

# 地盤地震防災研究委員会 活動報告書

第1期(平成23年6月)～第3期(令和5年3月)の活動成果

公益社団法人 地盤工学会四国支部 地盤地震防災研究委員会

令和5年3月



この度は、16年に亘る四国支部の表記研究委員会の最終報告書が発刊されることになり、関係した者として大変喜ばしく思います。この委員会は、2007年に「支部での研究活動を若手を集めてやりなさい」といわれ、始めたのがきっかけでした。当時、私は愛媛大学に移動してきたばかりで、課題となっている四国の地盤問題だけでなく、支部の様子や支部会員についてもほとんど知識が無い中、「地盤問題研究会」を支部に置くことをお認め戴き、活動を始めました。2年余りの期間で5回の委員会を開催するなど活動をし、地盤工学に関する課題を技術・学術・社会の各方面から整理をしました。その頃は、構造物の設計がレベル2地震を考慮し、また設計法も性能設計が大幅に取り入れられるなど大きな変革期にあり、四国には南海地震が迫っているだけでなく2000年には芸予地震で大きな被害が出るなど地震防災に対する関心が高まっていました。そこで、委員会の活動対象を絞り、委員会の名称を「地盤地震防災研究委員会」として改めて公募した18名の委員で2011年に出発することになりました。このように始めた研究委員会は、参加された多くの委員の熱心な活動に支えられ、第2期の渦岡先生、第3期の原先生のリーダーシップのもと実績を積み重ね、このような立派な成果報告書が取りまとめられるに至ったことは、私にとって大きな喜びです。

地盤を構成する土は他の材料と比べ物にならない、強い非線形性と材料特性の多様性を持つ極めて難しい材料です。したがって地盤に関する実務設計では多くの経験的な定数が頻繁に現れ、例えば液状化判定法ひとつとっても、そこで使われる式を十分理解することは容易ではありません。本研究委員会は長期に亘って継続され、10年以上継続されている委員も少なくありません。一朝一夕には習得できないが、じっくりと取り組むことにより際限なく理解が深まる地盤工学の奥深さの一部を委員会を通じて経験されたことと思います。そこでの知識や経験を発展させながら再び次世代に繋げることに、本報告書が役立てられることを祈念します。

発刊に寄せて

第2期委員長 京都大学 防災研究所  
渦岡良介

この度は地盤工学会四国支部「地盤地震防災研究委員会」の活動報告書の発刊おめでとうございます。平成23年6月から12年間にわたる委員会活動、特に原忠委員長による第3期の成果に基づき、四国4県の代表的な河川や港湾における地盤調査・土質試験結果などがとりまとめられています。各地の液状化特性を把握する上で有益な情報が示されており、今後の地盤調査や液状化判定の実務においても大いに参考になるものと思います。原先生そして委員の皆様、大変お疲れ様でした。皆様のご努力に改めて敬意を表します。以下では第2期の委員長として委員会活動を振り返ってみたいと思います。

第1期（平成23年6月～平成25年6月）では岡村未対委員長のもと、地盤地震防災に関する共通課題（液状化）を通じて調査・設計・解析・実験技術向上、そして社会貢献を委員会活動の基本とすることにしました。まずは、液状化解析技術の向上のため、遠心模型実験のブラインドシミュレーションや東日本大震災の被災事例の再現シミュレーションを実施しました。この頃は委員会活動そのものや液状化解析が初めての委員も多く、皆さん手探りの状態であったと思いますが、岡村先生のリーダーシップのおかげで委員会活動が軌道に乗ったと思います。

この軌道に乗って第2期（平成25年7月～平成29年3月）では渦岡が委員長を引継ぎ、解析技術だけでなく調査や試験・実験技術にも活動の幅を広げました。2011年東北地方太平洋沖地震で被災した北上川堤防の視察、繰返し三軸試験や遠心模型実験の実習、これらに基づく液状化解析における材料パラメータの設定などを実施し、その成果を国内だけでなく国際会議でも発表しました。繰返し三軸試験の実習では高知大学、遠心模型実験の実習では愛媛大学の設備を使わせて頂きました。ご尽力頂いた原先生、岡村先生に改めて御礼申し上げます。実習を通じて初めて技術に触れた委員もいたかと思いますが、座学だけでなく実習を通じて得た試験・実験技術はしっかりと根付いているものと思います。また、現地調査で訪れた宮城県石巻市、液状化解析の勉強会で訪れた高知県中土佐町では、充実した昼間の活動だけでなく、さらに充実した懇親会も思い出です。

以上、先発の岡村先生に基礎を築いて頂き、中継ぎの渦岡で息切れしそうなところ、ロングリリースの原先生に締めて頂いたという印象です。本報告書で示されている液状化特性を整理する上で、それまでの委員会活動で得られた調査・解析・実験技術が生かされていけばなによりです。そして、技術だけでなく委員会活動を通じた会員の交流がなによりの成果だと信じております。四国4県、拡大する高速道路ネットワークのように会員の皆様のさらなる交流と地盤工学会四国支部の益々のご発展をお祈り申し上げます。

地盤工学会四国支部「地盤地震防災研究委員会」の活動を終了するにあたり、活動報告書を発行することになりました。平成23年6月の発足から12年間にわたる委員会活動を取りまとめたもので、四国4県の代表的な河川や港湾における地盤調査・土質試験結果などを丁寧に取りまとめた資料であります。これまで本活動を支えていただいた岡村未対先生、渦岡良介先生をはじめ、四国内外の委員の皆様、事務局をお勤めの地盤工学会四国支部の皆様方に御礼申し上げます。

本委員会は、四国地域で喫緊の課題である南海トラフ地震などの大規模地震への対応を目指し、地盤防災上の諸課題の調査研究を通じて支部会員の技術研鑽や連携を高めることを目的に始まりました。四国全域で生じる可能性の高い液状化問題に対して、各県や参加大学の強みを生かした活動を行い、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の被災地調査には多くのメンバーが現地を訪れ、被災の実態と今後の対応策を夜遅くまで議論しました。2010年に高知大学に着任した筆者にとりまして、四国という慣れない地で始まった活動ではありましたが、活動を重ねる間に交流の輪が広がり、地域を知るきっかけにもなりました。

委員長を仰せつかった第3期の活動では、第2期までに蓄積した学術的な知見を地域に還元するため、国土交通省や各県の協力を得て、四国地方の既存の地盤調査結果の整理等を体系的に整理してまいりました。令和3年度の四国支部技術研究発表会では支部初である特別セッションを企画し、四国県内の液状化地盤に関する成果を速報版として取りまとめ、委員会の方向性を深く議論してまいりました。

本報告書は、一連の成果に対して、特に社会に還元すべき内容をまとめたものであります。四国4県の代表的な河川や港湾における地盤調査・土質試験結果などを丁寧かつわかりやすくまとめ、考察も加えています。とりわけ調査で得られた結果は各県や構造物ごとに分類・整理しましたが、これらの結果から四国地域における地盤の特徴が理解され、喫緊の課題であります地盤防災対策を検討するうえでの基礎資料ともなる実用的な内容と確信しております。

10年を超える長期間の活動を通じて、現地調査や室内試験、解析技術が災害多発国の四国に根付きました。四国のみならず他支部から参加した委員同士に深い絆が生まれ、地盤工学を軸とした連携が構築されたことは、委員各位の技術の研鑽に負けるとも劣らない大きな成果です。委員として長年に渡り活動に携わることができましたことを誇らしく思いますとともに、会員の皆様のさらなる交流と地盤工学会四国支部の益々のご発展を心よりお祈り申し上げ、冒頭のご挨拶に代えさせていただきます。



# 目 次

1. はじめに	1-1
1.1 委員会設立趣旨とその概要	1-1
1.2 委員会メンバー	1-2
1.3 委員会活動	1-5
2. 四国の地盤特性	2-1
2.1 概要	2-1
2.2 地形・地質	2-3
2.2.1 香川県	2-3
2.2.2 徳島県	2-14
2.2.3 高知県	2-27
2.2.4 愛媛県	2-41
2.3 河川	2-50
2.3.1 対象河川の概要	2-50
2.3.2 河川特性	2-51
2.3.3 河川周辺の地形特性	2-53
2.3.4 液状化と河川地形との関係性	2-57
2.4 港湾	2-58
2.4.1 対象港湾の概要	2-58
2.5 液状化対策事例	2-66
2.5.1 液状化対策工法	2-66
2.5.2 液状化対策事例	2-73
3. データ収集およびデータベース作成	3-1
3.1 概要	3-1
3.2 地震被害データベース	3-3
3.3 地震被災事例の文献調査データベース	3-4
3.4 地盤調査・土質試験結果データベース	3-4
4. 地盤調査・土質試験データの分析	4-1
4.1 概要	4-1
4.2 河川	4-2
4.2.1 土器川（香川県）	4-2
4.2.2 旧吉野川・今切川・那賀川・桑野川（徳島県）	4-16
4.2.3 鏡川・四万十川（高知県）	4-29

4.2.4 重信川・石手川（愛媛県）	4-38
4.3 港湾・海岸	4-48
4.3.1 高松港（香川県）	4-48
4.3.2 撫養港（徳島県）	4-57
4.3.3 浦戸湾・高知海岸（高知県）	4-67
4.4 四国四県の地域性	4-94
4.4.1 液状化強度特性および物理特性の地域性	4-94
4.4.2 港湾施設における液状化強度特性	4-112

## 委員会を終えるにあたって

## あとがき

## 執筆主担当

## 添付資料

(1) 地盤被害データベース	資料 1-1
(2) 地盤被災事例の文献調査データベース	資料 2-1
(3) 地盤調査・土質試験結果データベース	資料 3-1
(4) 投稿論文	資料 4-1

## 1. はじめに

### 1.1 委員会設立趣旨と活動内容

四国地域は豊かな自然を享受する一方、人口の集積する平野部では軟弱地盤が堆積し、山地では複雑な地質や地形に起因した課題を有する。近年、南海トラフ地震など大規模地震への対応が喫緊の課題となっており、沖積地盤における土の動的性質は重要課題で、防災事業では一層のコストダウンや更なる技術開発、高度化した技術の普及が求められている。

このような背景のもと（公社）地盤工学会四国支部では、迅速性が求められる地盤地震防災上の諸課題に対して調査研究を行うと共に、最新技術を普及させ、四国地域の地盤防災研究の推進と地域コミュニケーションを目的として、平成23年度に「地盤地震防災研究委員会」を設立した。研究対象は興味関心の高い地盤地震防災とし、液状化問題を中心に定期的な研究会や研究発表会を開催し、全国の最新情報の収集・交換の他、東日本大震災被災地の視察及び現地調査、ブラインドシミュレーション、遠心模型実験や要素試験、四国地方の既存の地盤調査結果の整理等を実施し、各委員の技術力向上と委員相互の交流を図った。令和3年度の四国支部技術研究発表会では支部初である特別セッションを企画し、四国県内の液状化地盤に関する成果を6編の論文に取りまとめ、委員からの発表を通じて支部会員に活動を周知した。

委員会は現在第3期・12年目を迎えている。近年はコロナ禍の影響によりオンライン会議が中心ではあるが、学術的側面から定期的な勉強会を開催するほか、河川流域などの地盤調査結果の収集など共通課題を通じて調査・設計・解析・実験技術の向上に努めている。これらの一連の活動は学会の発展に大きく貢献したものと評価され、令和3年6月には地盤工学会事業企画賞が授与された。

## 1.2 委員会メンバー

発足からの委員構成は表 1.2-1～1.2-3 に示すとおりである。委員は四国地域を中心に公募された地質調査、地盤解析に携わる技術者で主に構成されるが、最近では関東・関西・中国支部から加入するなど他支部にない支部横断的な組織になっている。

表 1.2-1 第1期委員会 委員構成（平成23年6月～平成25年3月）

氏 名		所 属
委員長	岡村 未対	愛媛大学理工学研究科
副委員長	渦岡 良介	徳島大学工学部
幹事	山中 稔	香川大学工学部
幹事	原 忠	高知大学農学部
委員	石川 裕規	ニタコンサルタント(株)
委員	稲村 貴志	(株)荒谷建設コンサルタント
委員	岩原 廣彦	(株)四国総合研究所
委員	大角 恒雄	徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部
委員	岡林 宏二郎	高知工業高等専門学校 建設システム工学科
委員	北出 圭介	中電技術コンサルタント(株)
委員	黒田 修一	(株)エイト日本技術開発
委員	齋藤 和	(株)四電技術コンサルタント
委員	嶋本 栄治	(株)第一コンサルタンツ
委員	常川 善弘	(株)相愛
委員	中川 頌将	(株)基礎建設コンサルタント
委員	中根 久幸	(株)地研
委員	平田 正憲	四国電力(株)
委員	向谷 光彦	香川高等専門学校専攻科
委員	米澤 和宏	四国電力(株)

表 1.2-2 第2期委員会委員構成（平成25年4月～平成29年3月）

氏名		所属
委員長	渦岡 良介	徳島大学工学部
副委員長	原 忠	高知大学農学部
幹事	岡村 未対	愛媛大学理工学研究科
幹事	山中 稔	香川大学工学部
委員	安藤 秀一	(株)ウエスコ四国支社
委員	遠山 登	ニタコンサルタント(株)
委員	稲村 貴志	(株)荒谷建設コンサルタント
委員	岡林宏二郎	高知工業高等専門学校 建設システム工学科
委員	尾川 七瀬	(株)技研製作所
委員	押谷 優	(株)相愛
委員	神田 幸正	(株)ビュー設計
委員	北出 圭介	中電技術コンサルタント(株)
委員	北村 暢章	(株)第一コンサルタンツ
委員	黒田 修一	(株)エイト日本技術開発
委員	小串 隼人	ハイスピードコーポレーション(株)
委員	小林 昌弘	(株)基礎建設コンサルタント
委員	齋藤 和	(株)四電技術コンサルタント
委員	嶋本 栄治	(株)第一コンサルタンツ
委員	鈴木 麻里子	香川高等専門学校 建設環境工学科
委員	中川 頌将	(株)基礎建設コンサルタント
委員	中島 昇	(株)地研
委員	中根 久幸	(株)地研
委員	中村 雅夫	(株)芙蓉コンサルタント
委員	西本 健一	(株)愛媛建設コンサルタント
委員	野谷 正明	(株)エイト日本技術開発
委員	馬場 達也	四国電力(株)
委員	平田 正憲	四国電力(株)
委員	藤川 誠次	四国建設コンサルタント(株)
委員	船井 孝誠	(株)相愛
委員	古市 正敏	(株)四電技術コンサルタント
委員	渡邊 弘志	応用地質(株)

表 1.2-3 第 3 期委員会 委員構成（平成 29 年 4 月～令和 5 年 3 月）

氏 名		所 属
委員長	原 忠	高知大学理工学部
副委員長	山中 稔	香川大学工学部
幹事	上野 勝利	徳島大学工学部
幹事	岡村 未対	愛媛大学理工学研究科
幹事	神田 幸正	(株)エフ設計コンサルタント
幹事	齋藤 和	(株)四電技術コンサルタント
幹事	中島 昇	(株)地研
幹事	野谷 正明	(株)エイト日本技術開発
委員	安藤 秀一	(株)ウエスコ四国支社
委員	稲村 貴志	(株)荒谷建設コンサルタント
委員	大藪 剛士	応用地質(株)
委員	岡林宏二郎	高知工業高等専門学校 建設システム工学科
委員	尾川 七瀬	(株)技研製作所
委員	押谷 優	(株)相愛
委員	甲把 浩基	四国電力(株)
委員	増田 盛士	四国電力(株)
委員	北澤 聖司	(株)第一コンサルタンツ
委員	北出 圭介	中電技術コンサルタント(株)
委員	北村 暢章	(株)第一コンサルタンツ
委員	黒田 修一	(株)エイト日本技術開発
委員	小林 昌弘	(株)基礎建設コンサルタント
委員	嶋本 栄治	(株)第一コンサルタンツ
委員	鈴木 麻里子	香川高等専門学校 建設環境工学科
委員	田村 晋吾	(株)荒谷建設コンサルタント
委員	塚田 秀太郎	応用地質(株)
委員	遠山 登	ニタコンサルタント(株)
委員	中川 頌将	(株)基礎建設コンサルタント
委員	中根 久幸	(株)地研
委員	中村 雅夫	(株)芙蓉コンサルタント
委員	西本 健一	(株)愛媛建設コンサルタント
委員	廣瀬 文明	四国電力(株)
委員	藤川 誠次	四国建設コンサルタント(株)
委員	古市 正敏	(株)四電技術コンサルタント
委員	渡邊 弘志	応用地質(株)

### 1.3 委員会活動

11年の委員会活動は3期に分けられ、全33回の委員会開催、液状化解析プログラムの勉強会、液状化解析理論に関する講習会、遠心模型実験・繰返し非排水試験の実習、および宮城県石巻市北上町橋浦の現地調査が行われた。表1.3-1～表1.3-3に委員会活動履歴を示す。

#### 第1期：平成23年6月～平成25年6月

##### (1) 遠心模型実験のブラインドシミュレーション

遠心模型実験を対象とした一斉シミュレーションを行った。シミュレーションは、模型の諸条件、土質材料特性、入力地震動を与え、まず実験結果を伏せたブラインドシミュレーションを行い、得られた結果を比較しながら実験結果が既知の条件のもとで再度解析を行った。

##### (2) 東日本大震災の被災事例を対象とした再現シミュレーション

東日本大震災で被災した北上川左岸河口部の河川堤防において、「液状化プログラム LIQCA」を用いた二次元有効応力シミュレーションより、パラメータ等の入力条件が解析に及ぼす影響や大きな沈下を伴う変状のメカニズムについて検討を行った。

#### 第2期：平成25年7月～平成29年3月

##### (1) 東日本大震災被災地の視察と現地調査

平成25年8月22日から2日間の工程で、河川堤防が被災した北上川の河口から上流9kmまでの被災状況を中心に視察した。対策工事に伴う堤防開削工事現場では、掘削面の観察、採取した土の物理試験などから堤体および基礎地盤の材料特性を分析した。

##### (2) 構成式の材料パラメータの設定

材料パラメータの設定は、学習会などで学術的側面を検討したのち、実地盤の繰返し非排水三軸試験結果を対象に、有効応力解析に用いる要素シミュレーションを行い、入力パラメータや既知条件数、熟練度の違いがフィッティングに与える影響を検討した。

##### (3) 繰返し非排水三軸試験と遠心模型実験の実習

液状化に対する基本的な知識を習得することを目的に、少人数に分かれた実技演習を行い、成果をまとめた。遠心模型実験では、参加者が模型を作成し、実験で得られた加速度計や間隙水圧計の測定値から、地盤密度の違いが液状化現象に及ぼす影響を分析した。

#### 第3期：平成29年4月～令和5年3月

社会貢献の一つとして実地盤を対象に、国土交通省四国地方整備局、地方自治体などの協力を得ながら、地震被災データ、および既存地盤データの収集と整理を行った。具体的には、四国地域の河川・海岸工事で得られたボーリングや物理試験、繰返し非排水三軸試験等を分析し諸課題を整理した。

表 1.3-1 第1期委員会活動履歴

開催	日 時	場 所	内 容
第1回	2011年6月30日(木) 16:00~18:00	サポ-トホール高松 55会議室	委員会の主旨・活動方針の説明および意見交換、活動内容の決定
第2回	2011年8月11日(木) 17:00~18:00	サポ-トホール高松 52会議室	液状化に関する話題提供(岡村委員長・原委員) 香川・愛媛・徳島・高知の4グループに分かれ、模型実験を対象にブライツシミュレーションを実施することが決定
第3回	2011年10月4日(火) 15:00~17:00	サポ-トホール高松 55会議室	対象とする模型実験の決定
第4回	2012年1月17日(火) 10:00~12:00	サポ-トホール高松 55会議室	各グループからブライツシミュレーションの中間報告
第5回	2012年7月5日(木) 13:00~15:00	サポ-トホール高松 51会議室	各グループからブライツシミュレーションの中間報告
第6回	2012年10月5日(金) 13:00~15:00	サポ-トホール高松 51会議室	各グループからブライツシミュレーションの中間報告
第7回	2012年12月4日(火) 15:00~17:30	アルファ穴吹ホール 第1会議室	東日本大震災で被災した北上川左岸5.4~5.8kの橋浦地区の河川堤防を対象とした再現シミュレーションを実施することが決定
第8回	2013年1月11日(金) 11:00~12:30	徳島大学工学部 A408会議室	各県の地盤モデル作製の中間報告 入力地震波、土層物性値の設定確認
第9回	2013年6月7日(金) 15:00~17:00	サポ-トホール高松 52会議室	各グループから再現シミュレーションの中間報告

表 1.3-2 第 2 期委員会活動履歴

開催	日 時	場 所	内 容
勉強会	2013 年 8 月 2 日 (金) ~ 3 日 (土)	高知県中土佐町	液状化解析プログラム LIQCA による解析実習 (講師: 渦岡委員長・黒田委員)
現地調査	2013 年 8 月 22 日 (木) ~ 23 日 (金)	宮城県石巻市 北上町橋浦	再現シミュレーションを実施している北上川左岸 5.4~5.8k の橋 浦地区の河川堤防を中心に、被災・復旧状況・周辺環境・ 強震動観測点等を確認
第 10 回	2013 年 10 月 25 日 (金) 10:00~12:00	香川国際交流会 館 第 3 会議室	第 1 期の活動報告, 新委員 13 名の自己紹介 今後の活動方針の検討
講習会	2013 年 12 月 6 日 (金) ~ 7 日 (土)	大歩危祖谷阿波 温泉 あわの抄	飽和地盤の液状化解析で用いられている基礎式および 構成式について基本仮定から式誘導を含む定式化の説 明 (講師: 渦岡委員長)
第 11 回	2014 年 1 月 10 日 (金) 14:00~17:00	サポ-トホール高松 51 会議室	各グループ, 各委員の活動報告
第 12 回	2014 年 9 月 4 日 (木) 15:00~17:00	高知会館 平安の間	高知グループ から要素シミュレーションの途中報告
第 13 回	2014 年 12 月 19 日 (金) 15:00~17:00	愛媛大学工学部 多目的ルーム EL12	各グループ から活動報告
実習	2015 年 5 月 25 日 (木) ~ 29 日 (金)	愛媛大学工学部	動的遠心模型実験の実習 (第 1 回) 飽和砂質土の液状化挙動を調べることを目的に, 小型模 型地盤の作製から動的遠心模型実験までを行った (指導: 岡村幹事)
第 14 回	2015 年 8 月 24 日 (月) 15:00~17:00	高松サポ-トホール 52 会議室	動的遠心模型実習 (第 1 回) の報告
実習	2015 年 10 月 26 日 (月) ~27 日 (火)	高知大学農学部	繰返し非排水三軸試験の実習 豊浦砂による三軸供試体の作製から試験, 試験結果の整 理までを習得することを目的とした (指導: 原副委員長)
第 15 回	2016 年 1 月 15 日 (木) 10:00~12:00	高松市生活学習 センター 小研修室	繰返し非排水三軸試験実習の報告
実習	2016 年 7 月 22 日 (金)	愛媛大学工学部	動的遠心模型実験の実習 (第 2 回) 第 1 回と同内容とし, 両実験内容の対比を行った (指導: 岡村幹事)
第 16 回	2016 年 12 月 8 日 (木) 15:00~17:00	サポ-トホール高松 63 会議室	遠心模型実験 (第 1 回) の結果を用いた液状化シミュレーシ ョンの報告 動的遠心模型実験実習 (第 2 回) の報告
第 17 回	2017 年 3 月 13 日 (月) 14:30~16:30	サポ-トホール高松 62 会議室	次年度以降の活動計画

表 1.3-3 第3期委員会活動履歴

開催	日 時	場 所	内 容
第18回	2017年6月16日(金) 14:30~16:30	ちより街テラス 貸会議室2	第3期活動方針の検討 香川チームから地盤情報の収集・整理の途中報告
第19回	2017年12月12日(火) 14:30~17:00	二番町ホール	各グループから活動方針と途中経過の報告
第20回	2018年4月11日(水) 14:00~17:00	あわぎんホール 第4会議室	話題提供「道路盛土におけるL2地震対応」(古市委員) 各グループから液状化による被災事例収集の報告
第21回	2018年10月23日(火) 14:00~17:00	サポ-トホール高松 64会議室	話題提供「港湾施設の技術上の基準改定について」(田村委員) 話題提供「平成28年3月に改訂の河川堤防の耐震性能照査指針・点検マニュアルについて」(野谷委員) 各グループから地盤データ収集・整理結果の中間報告
第22回	2019年7月11日(木) 14:00~17:30	高知大学理学部 第1会議室	話題提供「液状化ハザードマップの現状と課題ー熊本地震の事例紹介ー」(北澤委員) 話題提供「改訂版ALIDを用いた中小河川における堤防の地盤変形解析」(中河氏・特別参加) 各グループから地盤データ収集・整理結果の中間報告
第23回	2019年10月29日(火) 14:00~17:00	サポ-トホール高松 62会議室	話題提供「室内土質試験 実務におけるetc」(遠山委員) 各グループから地盤データ収集・整理結果の中間報告
第24回	2020年5月22日(金) 14:00~15:45	Web会議	話題提供「地盤の堆積環境を考慮した液状化被害予測に関する研究(熊本地震を対象として)」(中島委員) 各グループから地盤データ収集・整理結果の中間報告
第25回	2020年6月30日(金) 14:00~15:00	Web会議	地盤データベース作成の中間報告
第26回	2020年8月6日(木) 10:00~11:30	Web会議	話題提供「平成30年北海道胆振東部地震現地調査報告」(原委員長) 地盤データベース作成の詳細方針と工程確認
第27回	2020年9月25日(金) 10:00~12:00	Web会議	令和2年度地盤工学会四国支部技術研究発表会に向けての進捗状況と論点の確認
第28回	2021年5月17日(木) 10:00~11:40	Web会議	本委員会の成果取りまとめ方針の検討
第29回	2021年7月19日(月) 10:00~10:40	Web会議	本委員会の成果取りまとめ進捗状況の確認
第30回	2021年9月1日(水) 10:30~11:40	Web会議	本委員会の成果取りまとめ方針の確認
第31回	2021年10月7日(木) 17:00~18:20	Web会議	本委員会の成果取りまとめ進捗状況の確認
第32回	2021年11月18日(木) 10:00~11:30	Web会議	本委員会の成果取りまとめ進捗状況の確認
第33回	2022年8月8日(月) 11:00~12:00	Web会議	本委員会の成果取りまとめ進捗状況の確認

## 2. 四国の地盤特性

### 2.1 概要

四国の主な平野としては、道後平野（松山）、道前平野（新居浜、西条平野など）、讃岐平野（三豊、丸亀、高松平野）、徳島平野、高知平野がある（図 2.1-1）。前三者は瀬戸内海へ流入する河川によって形成された扇状地を主体とする平野である。なお、これらの扇状地は完新世のものと更新世のものがある。これに対して、高知平野は物部川の扇状地性の低位段丘を除くと、扇状地は発達していない。

四国は山地が多く平野の面積は狭い。四国西部では、低地が山地間に点在する（図 2.1-1）。

平野・低地の表層地質は、臨海部やそれに隣接する内陸部では第四系が、台地では主に第三系が露出している。

松山平野や讃岐平野ほか四国北部の瀬戸内海南岸の平野では、扇状地性砂礫質の更新統の上に主に三角州性あるいは海岸平野構成層としての完新統が重なる。

四国西部、宇和海東岸のリアス式海岸に点在する小規模な低地では、扇状地性砂礫質の更新統の上に主に三角州性の完新統が重なる。ここでの完新統の岩相は、おおむね単調な構成であり、下位から順に層厚の薄い礫混じり泥層、相対的に厚い海生貝類を含む泥層、砂層、砂礫層で構成される。

高知平野では、四国北部と比べて第四系は比較的厚く、扇状地性の砂礫層などからなる更新統の上に、三角州性の完新統が重なる。完新統の岩相は、三角州相は主に泥層で部分的に砂層を狭在する。また、河川流路沿いの表層では、主に砂層、砂礫層である。

四国で最も第四系が厚いのは徳島平野（吉野川平野）である。この地域では、河川成砂礫層の更新統の上に吉野川による三角州性の完新統が重なる。ただし、平野の南東部では、更新統は海成層と陸成層が互層になっている地域があり、相対的海水準変動を反映した岩相の変化を示していると考えられる。完新統の岩相は、堆積環境により泥質～砂礫質と違いはあるが、おおむね単調な構成で、下位から順に礫混じり砂層、海生貝類を含む相対的に厚い泥層、砂層、砂礫層で構成される。

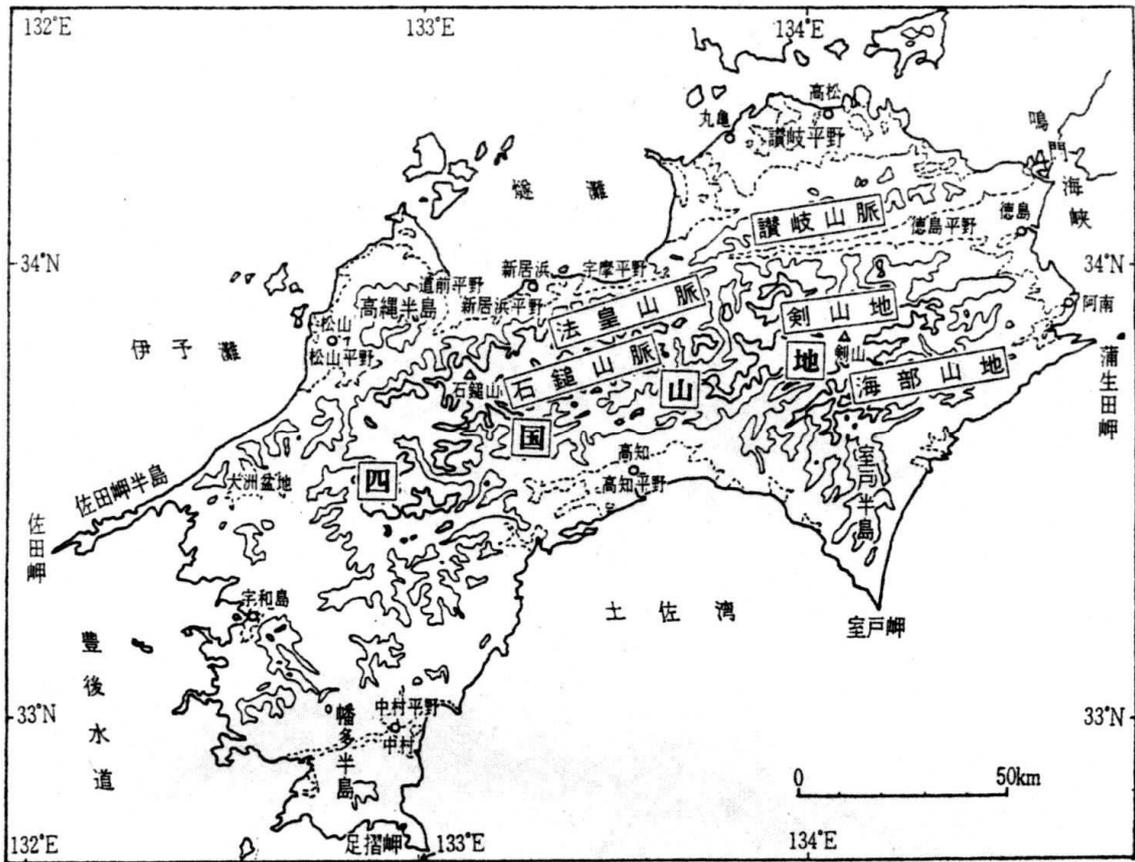


図 2.1-1 四国地方の地形概略図 (寺戸, 1991)

参考：四国建設弘済会 40 周年事業「四国の地盤」(2010.2)

## 2.2 地形・地質

### 2.2.1 香川県

#### (1) 地形概要

香川県の地形は、東西方向に繰り返される低地と山塊・台地から構成され、地形的にみると、南から和泉層群からなる讃岐山脈、花崗岩類から構成される前山丘陵地帯、讃岐層群からなる丘陵・台地、主として第四紀堆積物から構成される平野部に区分される。これらのうち平野部と大地を讃岐平野と総称する。

香川県の南に位置する讃岐山脈は、南北 10km×東西 100km で広がる標高 1,000m の山地で、その南は吉野川が作る平野へ注ぐ南北の支流が山地を刻んでおり、山地の北では瀬戸内海に流れ出る香東川、綾川、土器川などが流れる丘陵地、平野が広がっている。

主な平野は西から順に、三豊平野、丸亀一坂出平野（丸亀一宇多津低地、坂出低地）、高松平野（高松低地、池戸低地）、東かがわ市の低地である（図 2.2.1-1）。平野の南縁には東西方向に伸びる活断層が長尾断層、鮎滝断層ほか計数条見出されており（活断層研究会，1991）、平野と山地の境界に位置している。

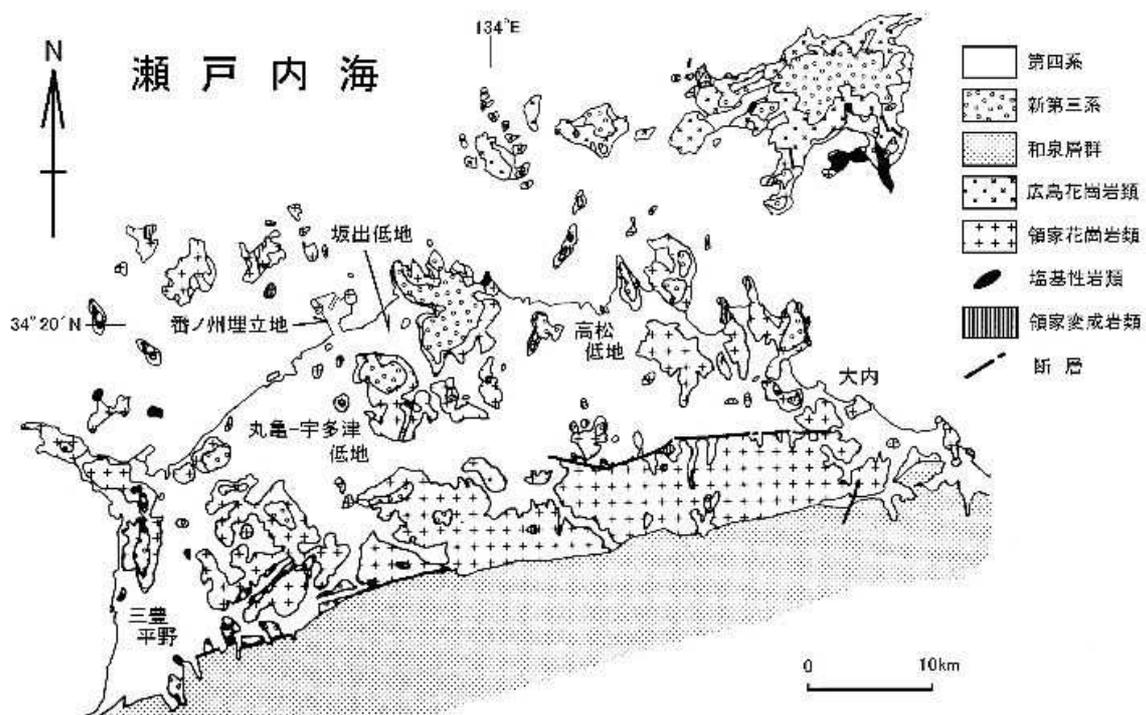


図 2.2.1-1 香川県の地質図（氏家，1991 を修正）

香川県内の平野のうち高松平野は讃岐平野の中部，北は備讃瀬戸に面し，五色台ほかの山塊に西～南側を囲まれた沖積平野である．平野は西部の高松低地，東部の池戸低地に区分されており，後者は東方に伸びている．高松低地は，内陸部では主に香東川水系の扇状地が広がり，臨海部は香東川ほか，春日川などの三角州，海成平野などに区分されている（図 2.2.1-2，図 2.2.1-1，川村，2000；Kawamura，2002）．香東川は，三木町の高仙山に源を発し，西に流れ，塩江町安原付近から北へ流れて，香川町岩崎を扇頂とする扇状地を形成している．香東川は，江戸時代の初めまでは香川町大野付近で二つに分かれ，本流は，ほぼ現在の御坊川に沿って北流し，高松城の西側に河口があったと推定されている．

高松平野の東は，屋島，庵治半島および前田山の丘陵が，また，西側には五色台から鷲ノ山に続く丘陵が高松平野を囲むように分布しており，これらの丘陵の山頂付近は，前田山を除き，讃岐層群の火山岩類が分布して急斜面を形成している．高松平野の北東部に位置する屋島と西部に位置する五色台は，“メサ”と呼ばれる溶岩が侵食されてできた山頂が平らな台地上の地形（開析溶岩台地）を形成している．

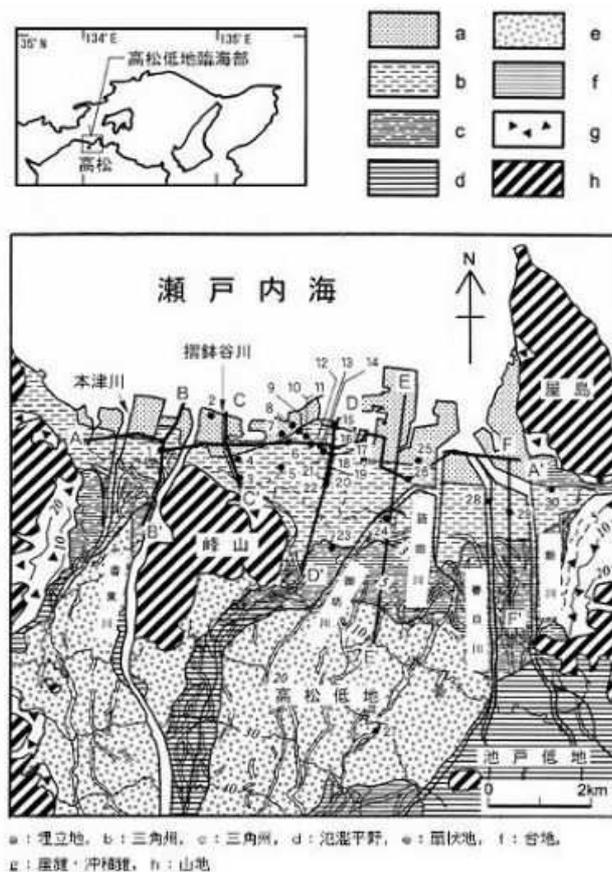


図 2.2.1-2 高松低地臨海部の地形分類とボーリング地点 (Kawamura, 2003 を修正)

坂出平野（坂出低地）は、備讃瀬戸南岸の臨海沖積低地の一つで、平野の東部は綾川下流域に氾濫原および三角州、埋立地が広がる（図 2. 2. 1-3）。平野西部には大東川水系の流路の一つが通っていたと推定され、古大東川の氾濫原および三角州、埋立地から構成される。

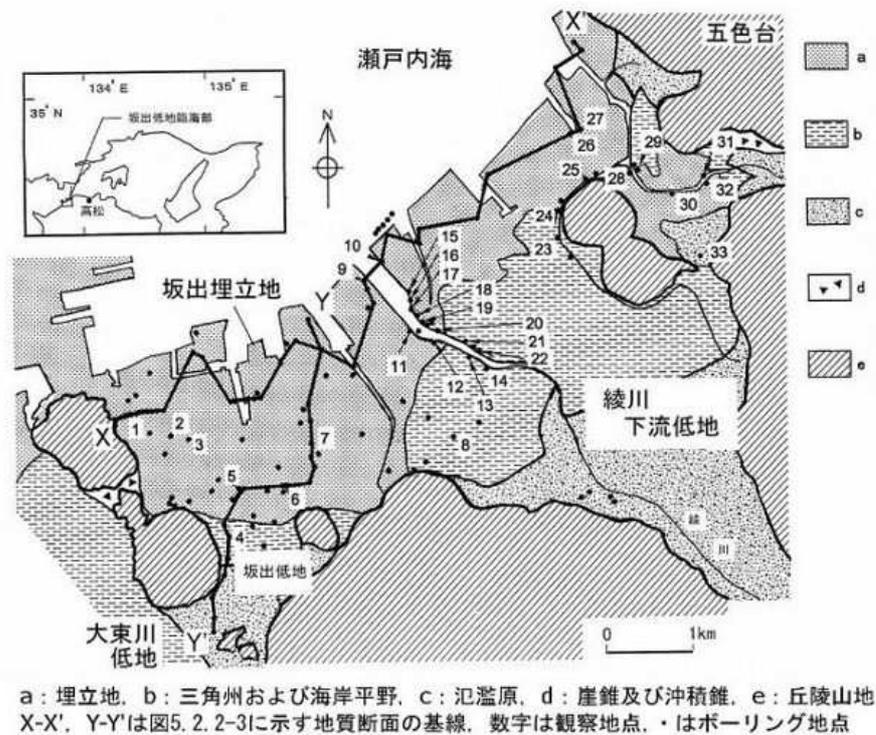


図 2. 2. 1-3 坂出低地臨海部の地形分類図（川村，2002）

丸亀平野（丸亀一宇多津低地）は備讃瀬戸の南岸，西から順に多度津町，丸亀市，宇多津町の臨海部～内陸部に広がり，平野の主部は扇状地，臨海部は三角州，海岸平野，埋立地などから構成される。

三豊平野の主要河川は，平野北部を西流する財田川，中部を西流する柞田川があり，いずれも下流域には氾濫原が分布する．平野南西部では扇状地が発達する．これらの河川はいずれも山地から燧灘へ流入している．平野西端の臨海部は海岸平野，埋立地である（栗原，1972）．財田川と柞田川に挟まれた地域および平野南東端の地形には段丘がある．平野の東側には領家花崗岩類からなる丘陵が，南側には和泉層群からなる阿讃山脈がある（図 2. 2. 1-4）．

東かがわ市大内町の低地における主要河川は，西部に与田川，東部に湊川があり，いずれも阿讃山地から播磨灘へ流入している．これらの河川の下流域には臨海沖積平野が分布している．低地の西～南側には領家花崗岩類からなる山地が，南東側には白亜系和泉層群からなる阿讃山地がある．

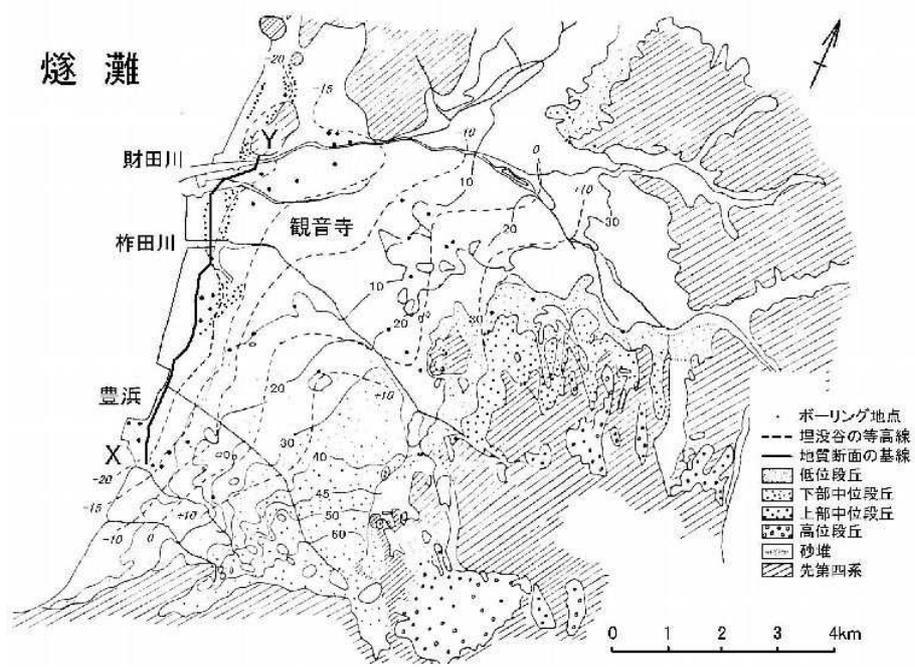


図 2.2.1-4 三豊平野の地形分類とボーリング地点 (栗原, 1972 を修正)

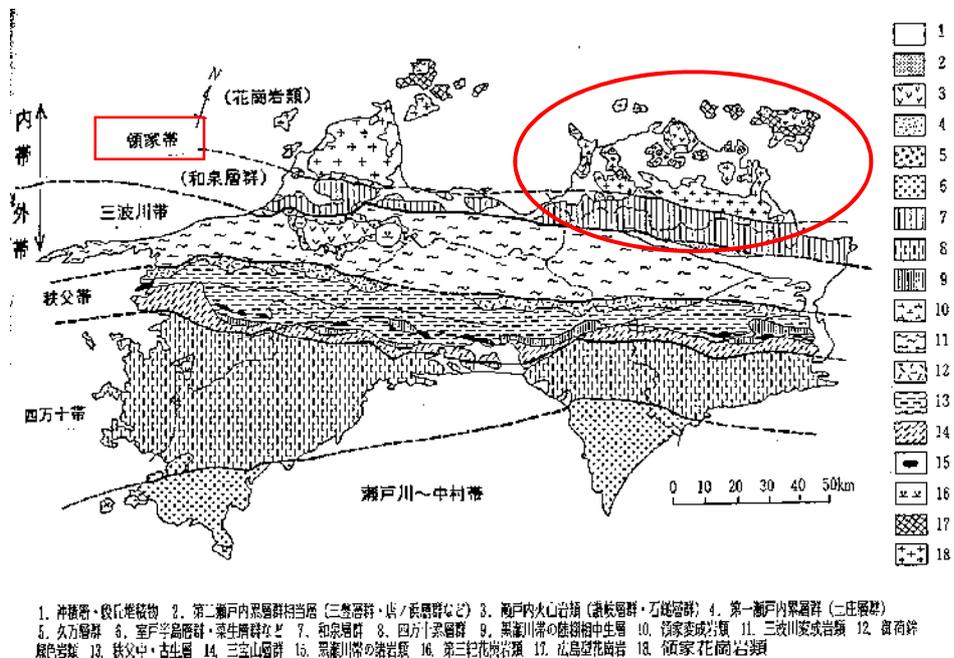
(2) 地質概要

四国地方の地質は、東西方向に帯状に伸びる4つの地質構造に分けられる。それらは北から順に領家帯、三波川帯（御荷鉢帯を含む）、秩父累帯、四万十帯と呼ばれる。これらはそれぞれ中央構造線、御荷鉢構造線、仏像構造線と呼ばれる3つの大きな断層によって区分される（図2.2.1-5参照）。香川県に分布する地質帯のうち領家帯は北側の花崗岩類と南側の堆積岩類に大別される。

このうち花崗岩類は片状～片麻状の花崗岩類や変成岩類を伴い県内では観音寺市～東かがわ市にかけての広い範囲に分布する。牟礼町と庵治町の町境に分布する庵治花崗岩は、細粒の黒雲母花崗岩で最高級の石材の庵治石として採掘・加工されている。

一方、和泉層群に属する堆積岩類は砂岩、泥岩の互層をなして県の南側の阿讃山脈（讃岐山脈）を形成する主な基盤地質として広範囲に分布する。和泉層群の砂岩、泥岩は、層理面および節理面と呼ばれる剥離しやすい亀裂面が発達した岩である。和泉層群のうち「主部相」は和泉層群を代表する岩相の砂泥互層からなり、地層は緩やかな凹状の褶曲（向斜）をなしている。この主部層の北側には、領家花崗岩類との境界に沿って細長く分布する「北縁相」が分布し、「主部相」との境界は断層関係（衝上断層）にあるとされる。

領家帯の花崗岩の上位には、中新世に噴出した瀬戸内火山岩類及びそれに伴う淡水性の堆積岩である讃岐層群が分布している。カンカン石として有名な讃岐層群の酸性凝灰岩安山岩など火山性噴出物が領家帯の岩石を被覆し、屋島、五色台、飯野山など、小山塊群を形成している。



○・・・香川県

図 2.2.1-5 四国の地質概要図（長谷川ほか 1989）

（出典）「四国地方土木地質図解解説書（四国地方土木地質図編集委員会）平成 10 年 3 月、P459」

これら基盤地質を形成する丘陵地の周辺は、更新世の三豊層群や段丘堆積物など未固結～半固結堆積物に覆われている。

表 2.2.1-1 に香川県の地質層序表を示す。

表 2.2.1-1 香川県の地質層序表

地質時代 (Ma (100 万年))		地 層 名	岩 質	堆積環境など	主な化石			
新 生 代	第 四 紀	完新世	0.01	沖積層	砂・礫および粘土	三角州・扇状地成層	-10m 海棲貝類	
		更新世		段丘堆積物	砂・礫および粘土	扇状地成層	ナウマンゾウ, シカ	
	新 第 三 紀	鮮 新 世		1.7	(焼尾峠礫層) 三豊層群	砂・礫および粘土 (一部半固結)	扇状地成層 河湖沼成層	トウヨウゾウ, アカシノウ, スギヤマゾウ, メタセコイア, ヒシなど
			中新世	5.1	讃岐層群	酸性凝灰岩, 讃岐岩類など	湖成層	フウ, アナ, コイ科
		漸新世	24	土庄層群	石英質～アルコース砂岩 亜炭およびベントナイト, 礫岩	浅海成層 (一部潟湖成)	タマガイ, キリガイダマシ, タマガイ, アヲザメ, メタセコイア, クスノギ, ヤマモモなど	
	古 第 三 紀	始 新 世		38				
			55					
		晩新世	65	和泉層群	砂質頁岩, 砂岩・泥岩互層, アルコース砂岩, 礫岩	海成層	アンモナイト, イノセラムス, コグダイアマモ	
	中 生 代	白亜紀	143	領家花崗岩類	黒雲母アゲメロ岩, 花崗閃緑岩	深成岩		
		ジュラ紀	212					
三疊紀		247	領家変成岩類 (一部未変成 山口層)	ホルンフェルス, 片麻岩, 雲母片岩, 変成輝緑岩, 結晶質石灰岩	海成層	放散虫		
二疊紀		289						
古 生 代 後 期	石炭紀	367						

この表では、沖積層を後氷期堆積層と考え、その時代を更新世最後期(1.8万年前)から完新世(現世)としてある。  
(長谷川・斎藤1989を一部加筆, 斎藤1991)

(出典) 地学のガイド(香川県) コロナ社; 1996年6月. P.3

本報告対象である高松低地臨海部の第四紀層のうち、中部～上部更新統は、陸成の砂礫層を主体とした下部・中部香東川層(寿町下部砂礫部層, 寿町泥部層, 寿町上部砂礫部層), 上部香東川層(番長礫部層, 福岡町泥部層), 最上部更新統～完新統は、河川成のちに主に海成となる高松層(浜ノ町砂礫部層, 春日町砂部層, 西内町泥部層, 西内町砂部層および西内町礫部層)から構成される(表 2.2.1-2, 図 2.2.1-2) (Kawamura,2003)。

○上部更新統

【中部香東川層】高松市中心部, 標高-5m 以下-20 数 m まで分布が確認されている砂礫層を主体とする層である(図 2.2.1-6 の C-C')。本層中の礫層には、上部香東川層の番町礫部層と比べ花崗岩質岩石の礫が多いことが特徴である。

【上部香東川層】高松低地地下で広く分布している砂礫層を主体とする層である(図 2.2.1-6, 図 2.2.1-7, 図 2.2.1-8)。本層の上面の分布深度は、香東川扇状地では深度数 m, 臨海部では深度 10～20m 程度である。本層は河川システムにより形成された、河川流路, 自然堤防, 後背湿地の堆積物から形成される。

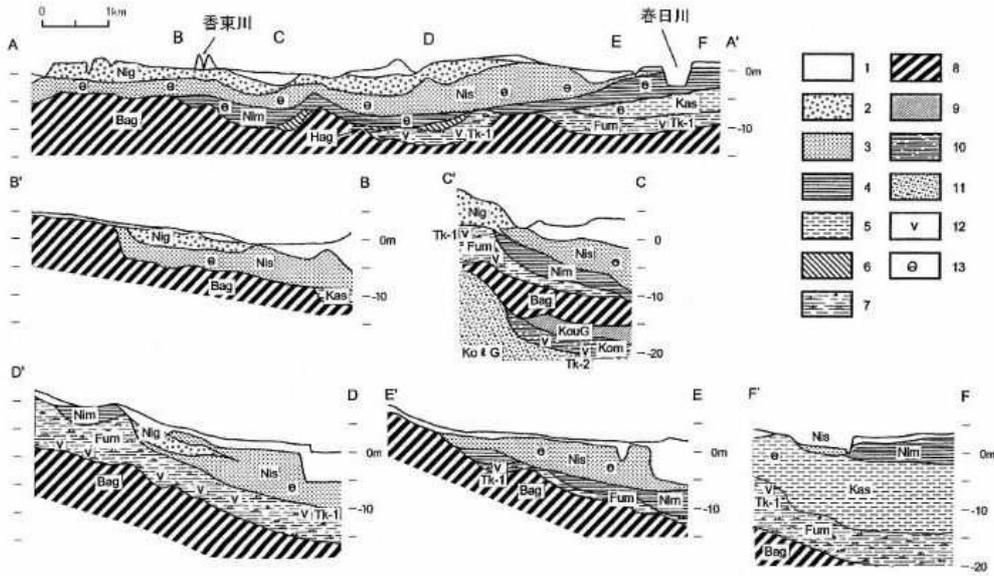
○最上部更新統～完新統

【高松層】本層は海生の貝類をしばしば含む，主に内湾性の堆積物である．平野臨海部のみに分布し，本層底面の分布深度は，数 m～10 数 m で北方に向かって深くなる(図 2.2.1-6, 図 2.2.1-7, 図 2.2.1-8)．

臨海部の東部～中部では，更新世末期から完新世にかけて福岡町泥部層に重なるように，河川システムにより浜ノ町砂礫部層が形成された．臨海部東部の本層は完新世中期以降の湾システム，古香東川による三角州システムによる堆積物である (Kawamura,2002)．特に，春日町砂泥部層，西内町泥部層，西内町砂部層および西内町礫部層などの三角州システム堆積物は岩相の変化が著しく，同時異相の関係にあたる部分が多い．このため，模式地付近以外では，ボーリング柱状図の岩相だけで層序区分をすることは不適切な場合があり，層序区分のために火山灰の広域対比や化石の  $^{14}\text{C}$  年代値に基づいた年代層序の検討がなされている．図 2.2.1-9 に高松層の基底面深度と層厚分布を示す．

表 2.2.1-2 高松低地の地質層序 (Kawamura, 2003 を修正)

地質年代		高松低地臨海部	
第四紀	完新世	高松層	西内町礫部層
			西内町砂部層
	更新世	上部香東川層	西内町泥部層
			春日町砂部層
		中部香東川層	浜ノ町砂礫部層
			福岡町泥部層
鮮新世	中新世	香町礫部層	
		三豊層群	
白亜紀		壽町上部礫部層	
		壽町泥部層	
		壽町下部礫部層	
		?	
		下部香東川層	
		?	
		讃岐層群	
		領家花崗岩類	



地点番号は図5.2.1-1に同じ。1：埋土，2：西内町礫部層(Nig)，3：西内町砂部層(Nis)，4：西内町泥部層(Nim)，5：春日町砂部層(Kas)，6：浜ノ町砂礫部層(Hag)，7：福岡町泥部層(Fum)，8：番町礫部層(Bag)，9：寿町上部砂礫部層(uKog)，10：寿町泥部層(Kom)，11：寿町下部砂礫部層(lKog)，12：火山灰層(Tk-1：高松1火山灰層, AT, Tk-2：高松2火山灰層, K-Tz)，13：貝殻，2～6は高松層，7～8は上部香東川層，9～11は中部香東川層

図 2.2.1-6 高松低地臨海部の地質断面図 (Kawamura, 2003 を修正)

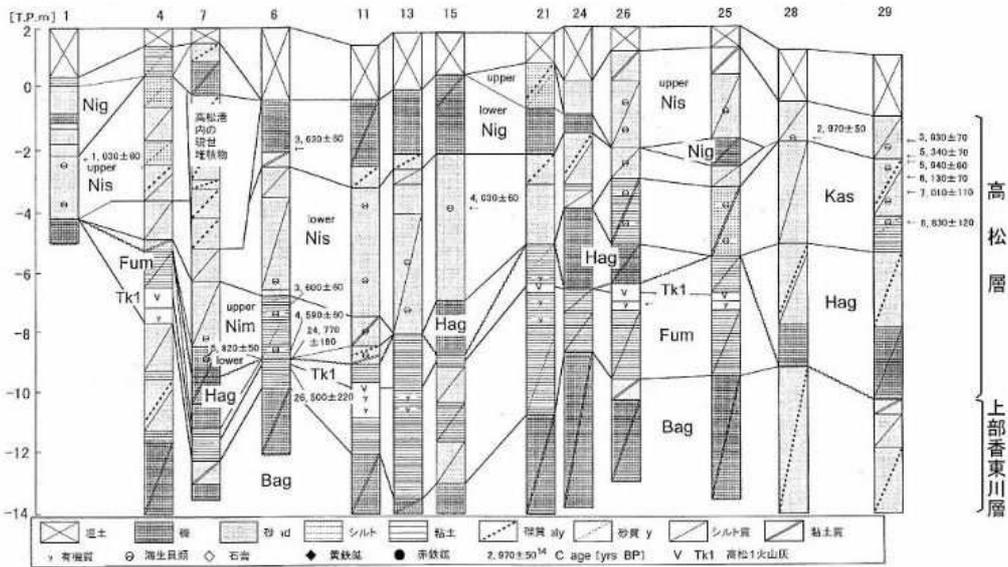
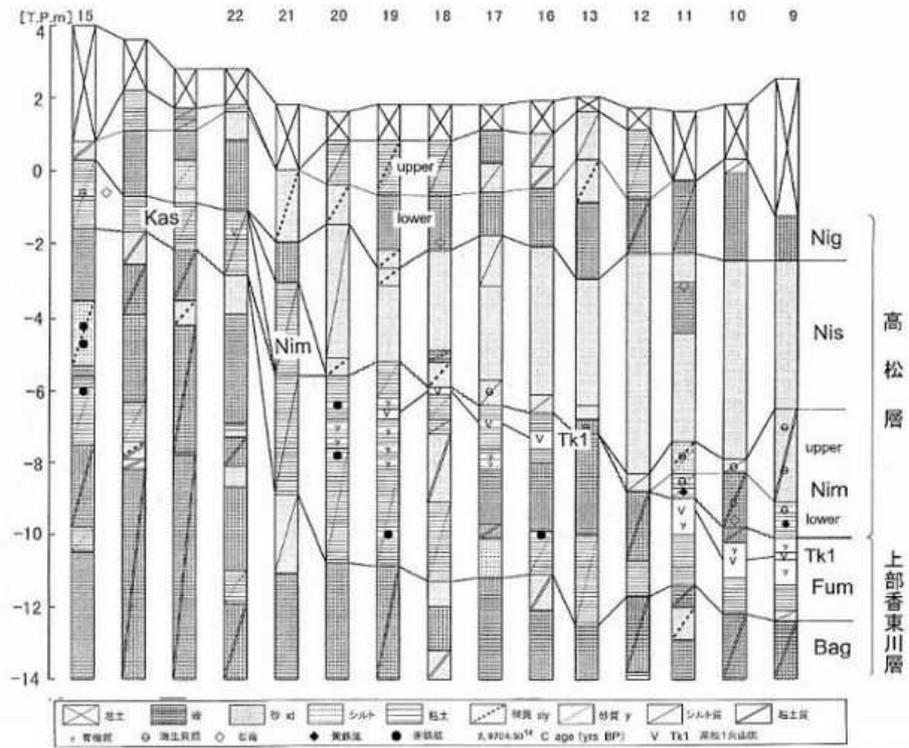


図 2.2.1-7 高松低地臨海部の地質柱状図 (東西方向)



断面位置は図5. 2. 1-2を参照

図 2. 2. 1-8 高松低地臨海部の地質柱状図 (南北方向)

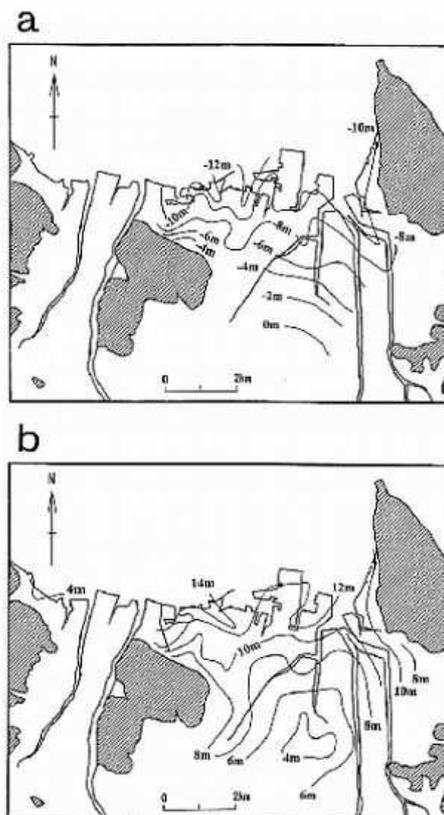


図 2. 2. 1-9 高松層の基底面標高深度 (a) と層厚分布 (b) (川村, 2000)

### (3) 活断層

香川県内の重要な活断層として讃岐平野南縁部に長尾断層が分布している。国の地震調査研究推進本部・地震調査委員会により、長尾断層（帯）について、調査研究結果をもとに長期評価が行われている。地震調査研究推進本部による「長尾断層帯の長期評価について」（2003）によれば、長尾断層の長期評価を含む概要は以下のとおりである。

長尾断層帯は、香川県さぬき市から高松市南部を経て香南町に至る断層帯である（図 2.2.1-10）。長さは約 24km で、概ね東西方向に延びており、断層の南側が北側に対して相対的に隆起する逆断層である。本断層の最新活動時期は 9 世紀以降、16 世紀以前であったと推定され、平均的な活動間隔は概ね 3 万年程度であった可能性があるとしている。長尾断層地帯では、全体が 1 つの区間として活動し、マグニチュード 7.1 程度の地震が発生し、断層を挟んで相対的に 1.2—1.7m 程度南側が隆起すると想定される。本断層帯の最新活動後の経過率及び将来このような地震が発生する長期確率は、表 2.2.1-3 に示すとおりほぼ 0% である。

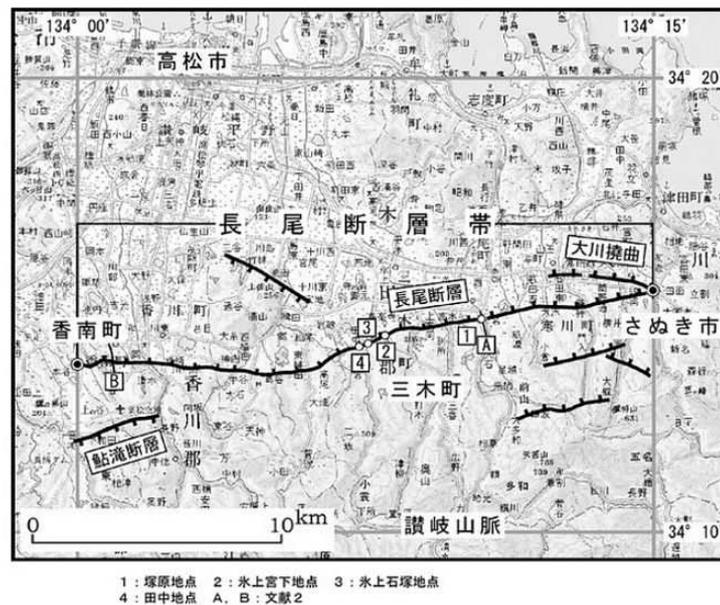


図 2.2.1-10 長尾断層の断層位置と主な調査位置（地震調査委員会，2003）

表 2.2.1-3 長尾断層帯の将来の地震発生確率等（地震調査委員会，2003）

項目	将来の地震発生確率等 <sup>1)</sup>	信頼度 <sup>2)</sup>
地震後経過率 <sup>3)</sup>	0.01-0.04	b
今後30年以内の地震発生確率	ほぼ0%	
今後50年以内の地震発生確率		
今後100年以内の地震発生確率		
今後300年以内の地震発生確率		
集積確率 <sup>4)</sup>		

1) 評価時点はすべて2003年1月1日現在。

2) 信頼度を a から d の 4 段階で表す。a：（信頼度が）高い b：中程度 c：やや低い d：低い

3) 最新活動（地震発生）時期から評価時点までの経過時間を、平均活動間隔で割った値。

4) 前回の地震発生から評価時点までに地震が発生しているはずの確率。

香川県内の長尾断層以外の文献活断層を以下に記載する。

鮎滝断層 (Sangawa,1978) は、長尾断層の南西を走る确实度I, 活動度 C 級, 長さ 4km の活断層とされる (活断層研究会, 1991)。

岡田断層, 上法軍寺断層は、活断層研究会 (1991) により地形学的に推定された長さ 3km 程度の断層で、その実態はよくわかっていない。

江畑断層は、讃岐山脈西部の北麓において、竹成断層は三豊平野の南部において、それぞれ和泉層群が三豊層群へ衝上する逆断層で、第四紀後半の活動はないようである (Sangawa,1978)。活断層研究会 (1991) では、両断層とも、确实度II, 活動度 D 級と評価されている。

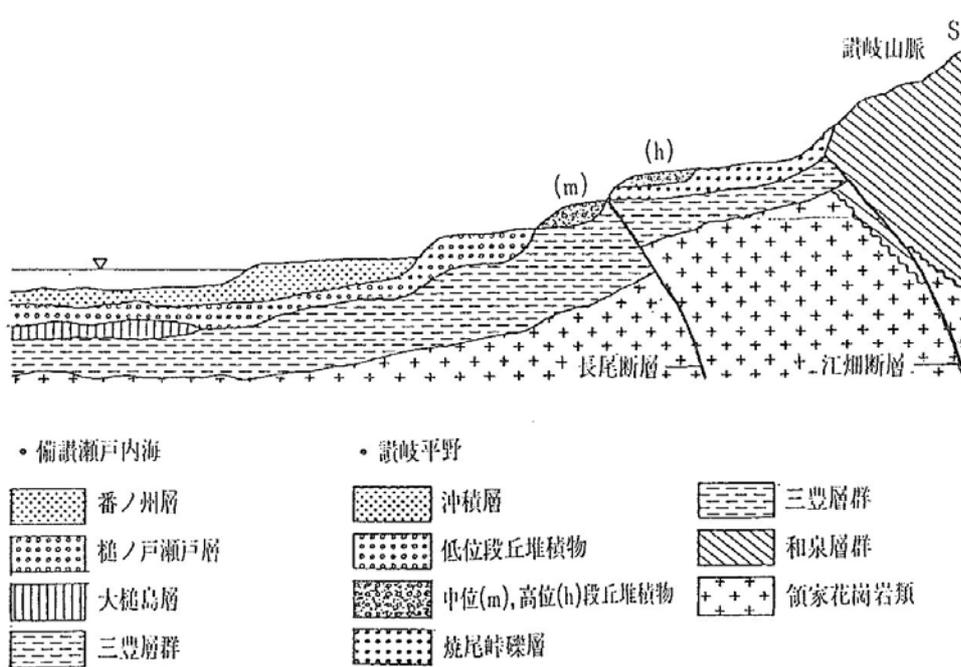


図 2. 2. 1-11 讃岐平野と瀬戸内海の地質構造 (長谷川ほか, 1989)

## 2.2.2 徳島県

### (1) 地形概要

徳島平野は、徳島県北部を西から東へ流下する吉野川に沿った東西に細長い平野である。平野の北方には、白亜系和泉層群からなる讃岐山脈が連なっており、平野南方には、三波川変成岩類からなる四国山地が広がっている。讃岐山脈の南縁部には、中央構造線活断層系が通過しており、断層地形や活動履歴などに関する詳細な検討が行われてきている（森野ほか，2001 など）。

県南部を流れる那賀川の河口域には、大規模な扇状地性の三角州が広がっている。標高 5m 以上の部分が扇状地性であり、それ以下の部分は三角州的な地形を呈する。平野には、かつての旧河道が多数認められ、歴史時代の河道変遷も何度も繰り返されている（寺戸，1990）。

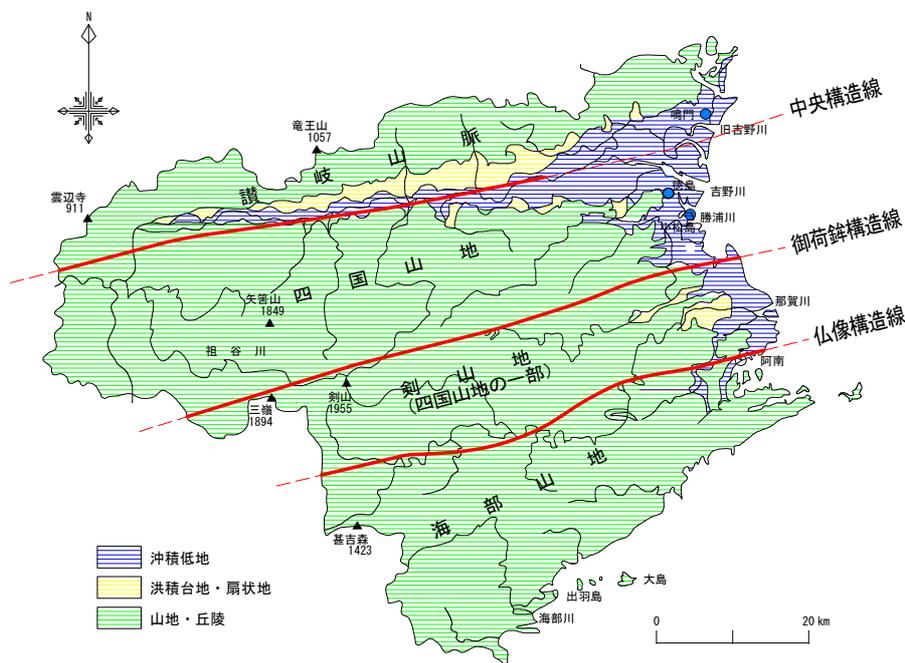


図 2.2.2-1 徳島県の地形概念図

#### 1) 徳島平野

徳島平野は吉野川河口の三角州を中心とした低平な平野であり、多くの分流（例：旧吉野川，今切川）を伴う（図 2.2.2-2）。平野上には多くの旧河道と自然堤防が分布しており、標高はほぼ 10m 以下である。吉野川に合流する鮎喰川は扇状地をつくっており、両者の合流点より下流では吉野川が複数の支川（新町川など）に分流した三角州をなすのに対し、鮎喰川との合流点より上流は分流しておらず、蛇行原をなす。紀伊水道の沿岸部には、南北に伸長した砂州（例：徳島市沖洲・下別宮，鳴門市里浦）が分布する。紀伊水道に面した徳島平野の臨海部には、塩田跡や干拓地，埋立地などの人工改変地形が広く分布する。

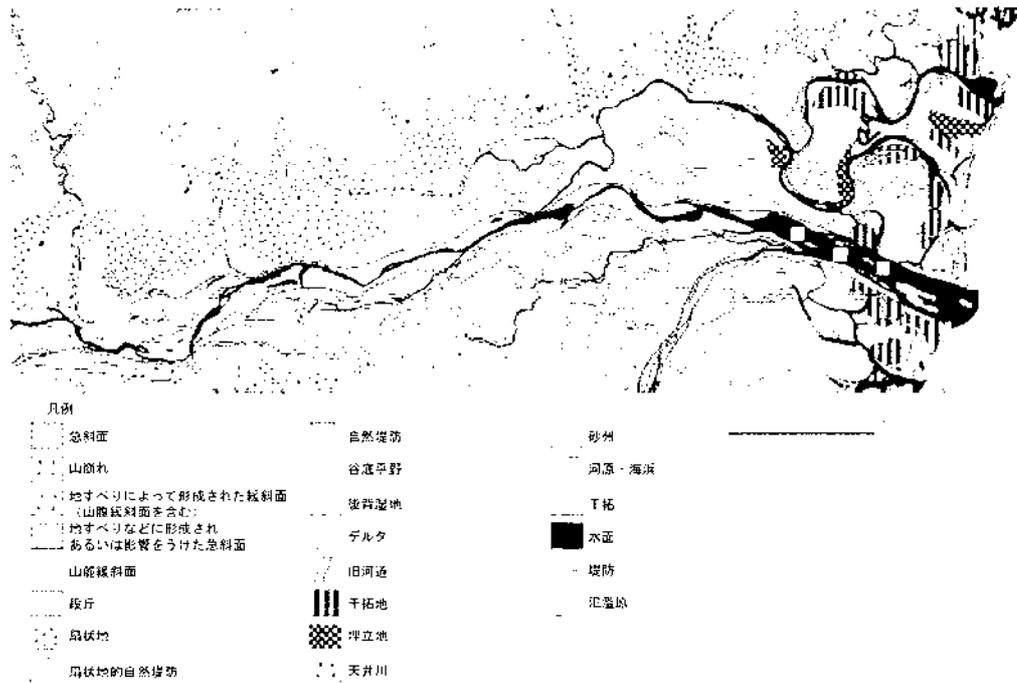


図 2.2.2-2 吉野川下流域地形分類図 (大矢, 1993)

## 2) 小松島平野

小松島地域は、徳島市の南部に隣接する地域である (図 2.2.2-3)。小松島地域と徳島市地域との間には、三波川変成岩からなる日峰山の丘陵が海岸部に分布し、勝浦川が流れる狭い沖積低地をはさんで西側には、園瀬川上流へ連続する三波川変性岩からなる山地が広がっている。小松島地域の沖積低地の面積が狭く、東は紀伊水道に面している。

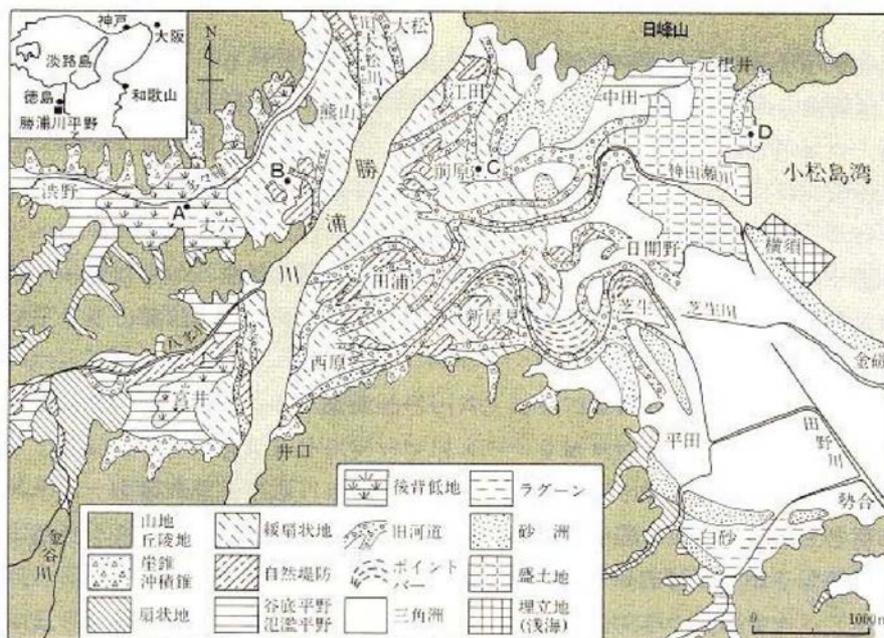


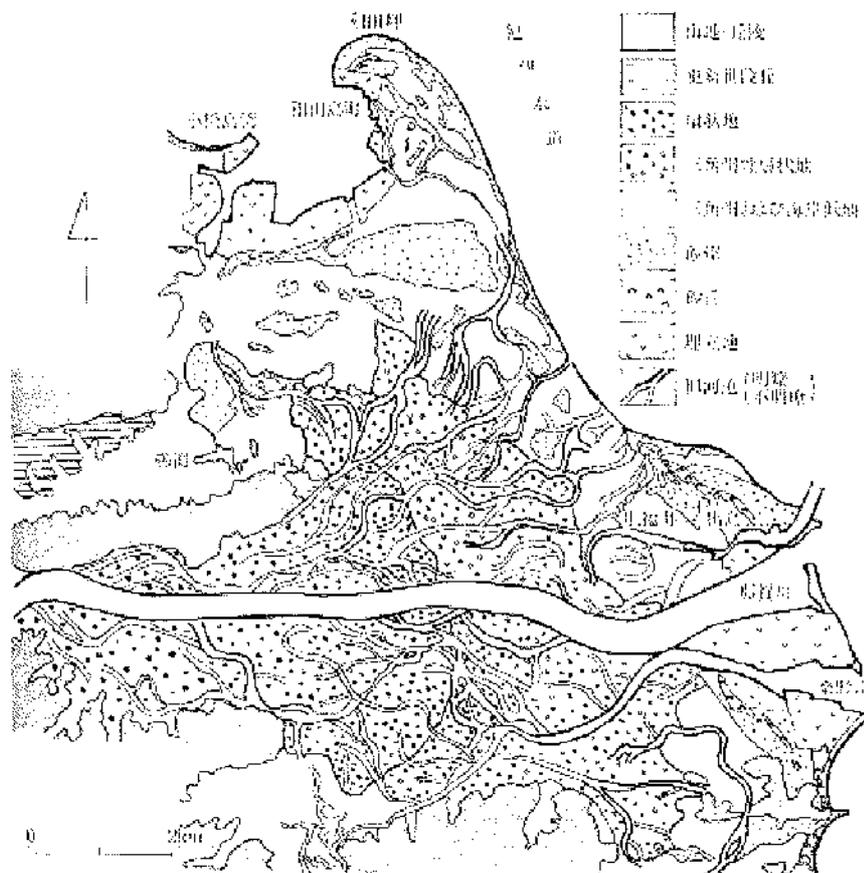
図 2.2.2-3 勝浦川下流域地形分類図 (日下, 1996)

### 3) 阿南・那賀川平野

阿南市の那賀川の河口域には、大規模な扇状地性の三角州が分布するとともに、那賀川の河口から和田島にかけての海岸部には、南北に伸長した砂州が認められる。(図 2.2.2-4)。

那賀川平野では、沖積層中部の海成シルト層を堆積させた縄文海進のピーク後、那賀川のデルタが前進し、上部砂層を形成するとともに、那賀川河口から北に延びる和田島の砂州が形成されていると考えられる。

一方、那賀川下流の平野部(那賀川の北岸)には、羽ノ浦丘陵が平野上に点在している。平野には、かつての旧河道が多数認められ、歴史時代の河道変遷も何度も繰り返されており、江戸時代には堤防による河道の制御も試みられてきた(寺戸, 1990; 1995)。



那賀川平野の地形分類図【大矢ほか, 1997 を基特化】 那賀川平野のうち、標高約 15 m の扇状地から標高 5 m までは、勾配 2/1000 の緩急帯の扇状地で、それより低い標高 2-3 m までの部分は、勾配 1/1000 の下流沖積層扇状地となっている。扇状地では、放射状にのびる旧河道が分布し、三角州性扇状地では下流側が扇状地に分岐した明確な旧河道も見られる。

図 2.2.2-4 那賀川地形分類図 (大矢, 1993)

### 4) 海部・海南平野

海部・海南平野は、いずれも分布面積が狭く、平野に流下する河川の流域面積も狭いものが多い。日和佐地域には、日和佐川と北河内谷川に沿った細長い沖積低地が形成されている(図 2.2.2-5)。

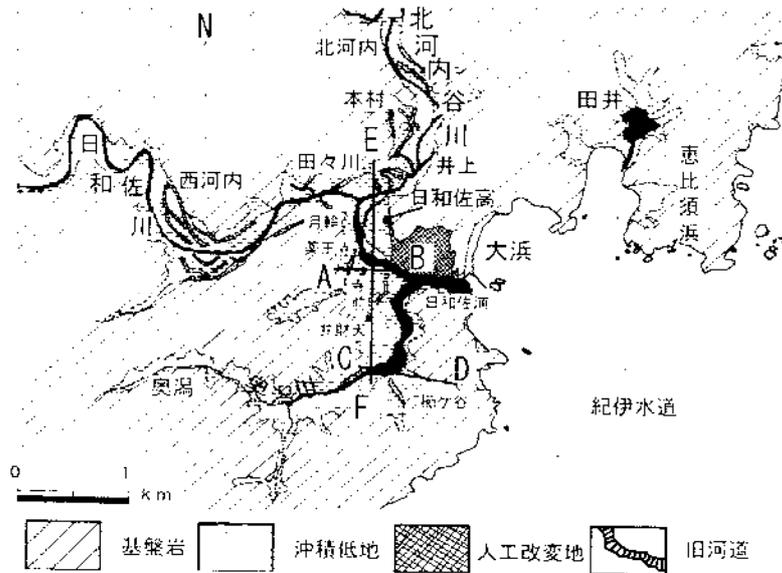
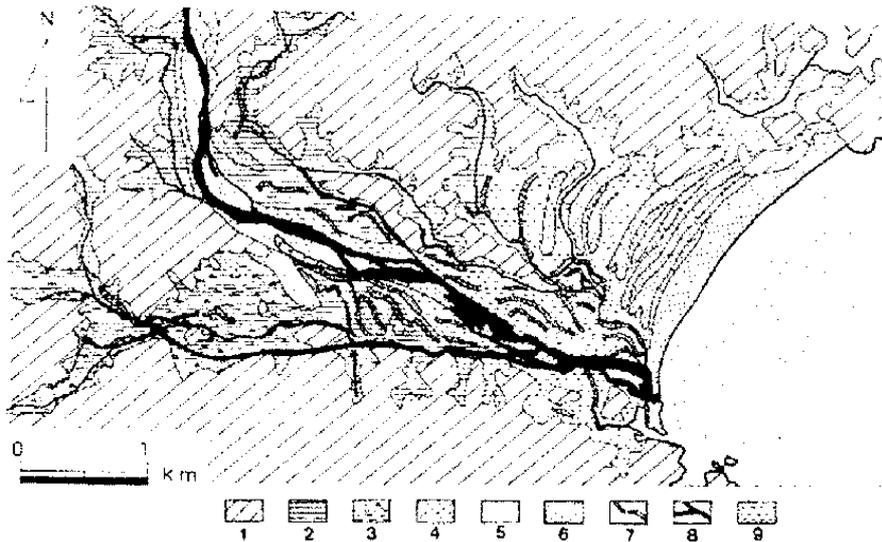


図 2.2.2-5 日和佐平野の地形分類図 (古田, 2005)

徳島県南部の平野では、海部川の下流域が最も広い (図 2.2.2-6)。海部川中流域では谷底平野が大変狭く、河谷に沿って河成段丘が数段発達している。河口域には、東西 3km、南北 1km ほどの沖積低地が広がっており、海部川河床には河口まで礫が堆積している。



海部川下流域平野の地形分類図

1. 扇状地、2. 谷内沖積低地、3. 沖積低地、4. 河成段丘、5. 河成段丘、6. 河成段丘、7. 河成段丘、8. 河成段丘、9. 河成段丘

図 2.2.2-6 海部平野の地形分類図 (古田, 2005)

## (2) 地質概要

徳島平野の地下を構成する地層は非固結（未固結）の砂礫層である。この砂礫層は、ボーリングにより確認されているだけでも厚さ 500m 以上に達し、まだ基盤岩に達していない（佃・佐藤，1996）。このうち、深度約 50m より浅い部分の堆積物については、主にボーリング資料に基づいた研究がいくつかなされている。（鈴木・北崎，1964；中川・須鎗，1965；横山ほか，1990；古田，1996；徳島県立博物館，1997；中尾，2001；古田，2005）。このうち、堆積物の記載と層序区分を行った中川・須鎗（1965）では、沖積層（最終氷期極相期以降の一連の堆積物）を「徳島層」と命名し、下部層と上部層に区分した。また、徳島層の下位にある洪積層（更新統）を「北島層」と命名した。横山ほか（1990）は徳島層の細区分を行い、徳島層下部を基底礫層と下部砂層に、徳島層上部を中部泥層、上部砂層、上部泥層に、それぞれ区分、計 5 ユニットに区分した。また、中部泥層に特徴的に含まれる火山灰層の対比を行い、南九州の鬼界カルデラ起源の鬼界アカホヤテフラ（K-Ah）であることを明らかとした。

### 1) 徳島平野

徳島平野の地下地質は、上位の沖積層（徳島層，上部更新統～完新統）と、下位の北島層（更新統）とに大きく 2 分されている。また、北島層との境界が不明確ながら、平野下には、厚さ 500m を超える厚い礫質堆積物が分布している。本報告では、沖積層を下位より、「基底礫層」、「下部砂層」、「中部シルト層」、「上部砂層」に 4 区分した。徳島平野におけるボーリング位置（図 2.2.2-7）・層序対比（表 2.2.2-1，図 2.2.2-8，図 2.2.2-9）・徳島層基底深度（図 2.2.2-10）を示す。

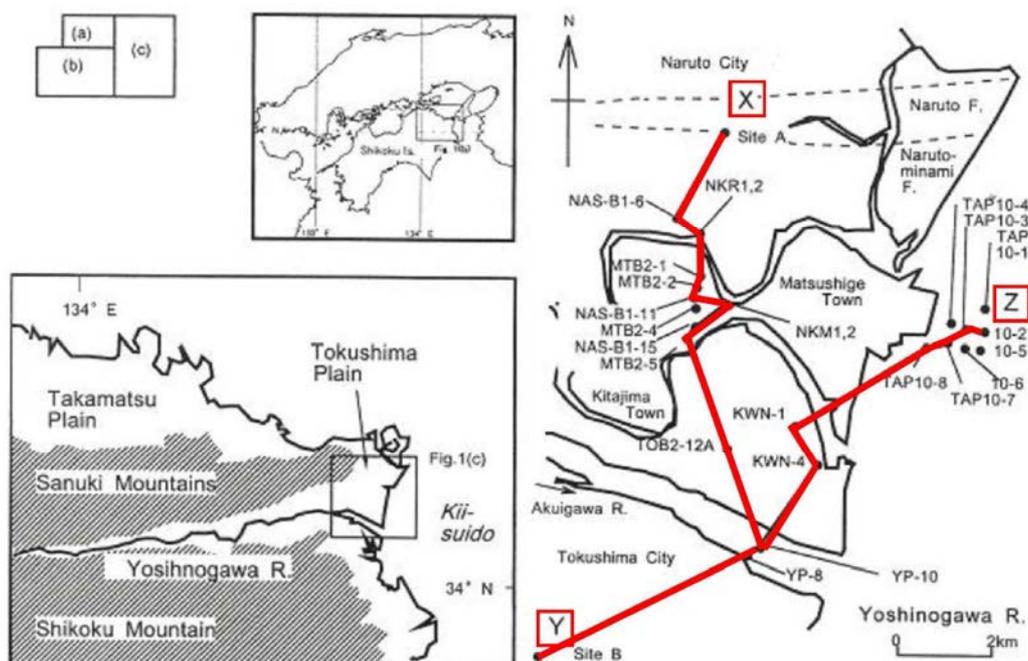


図 2.2.2-7 徳島平野のボーリング位置図（Kawamura, 2006）一部加筆

表 2.2.2-1 徳島平野の層序対比表 (Kawamura, 2006) 一部加筆

References	Suzuki and Kitazaki (1964)*		Nakagawa and Suyari (1965)	Akojima <i>et al.</i> (1972)	Yokoyama <i>et al.</i> (1990)	This study		
							XXVI-1 Cores	
Stratigraphy	Uppermost Beds		Tokushima F.	Upper Member	Upper Member	Uppermost Muds	upper part	unit 9
	Upper Gravels	Upper Sands				Upper Sands		unit 8
	Lower Sands and Clay				Lower Member	Middle Member	Middle Muds	middle part
	Lower Clays		Lower Sands	unit 6				
	Lowermost Beds		Lower Member	Lower Member		Lower Sands	lower part	unit 4
	Basal Sandy Gravels				Basal Gravels	unit 3		
			Kitajima F.	Kitajima F.	Kitajima F.	lowestmost p.	unit 2	
					Kitajima F.		unit 1	

\*Upper Clays is lack in study area.

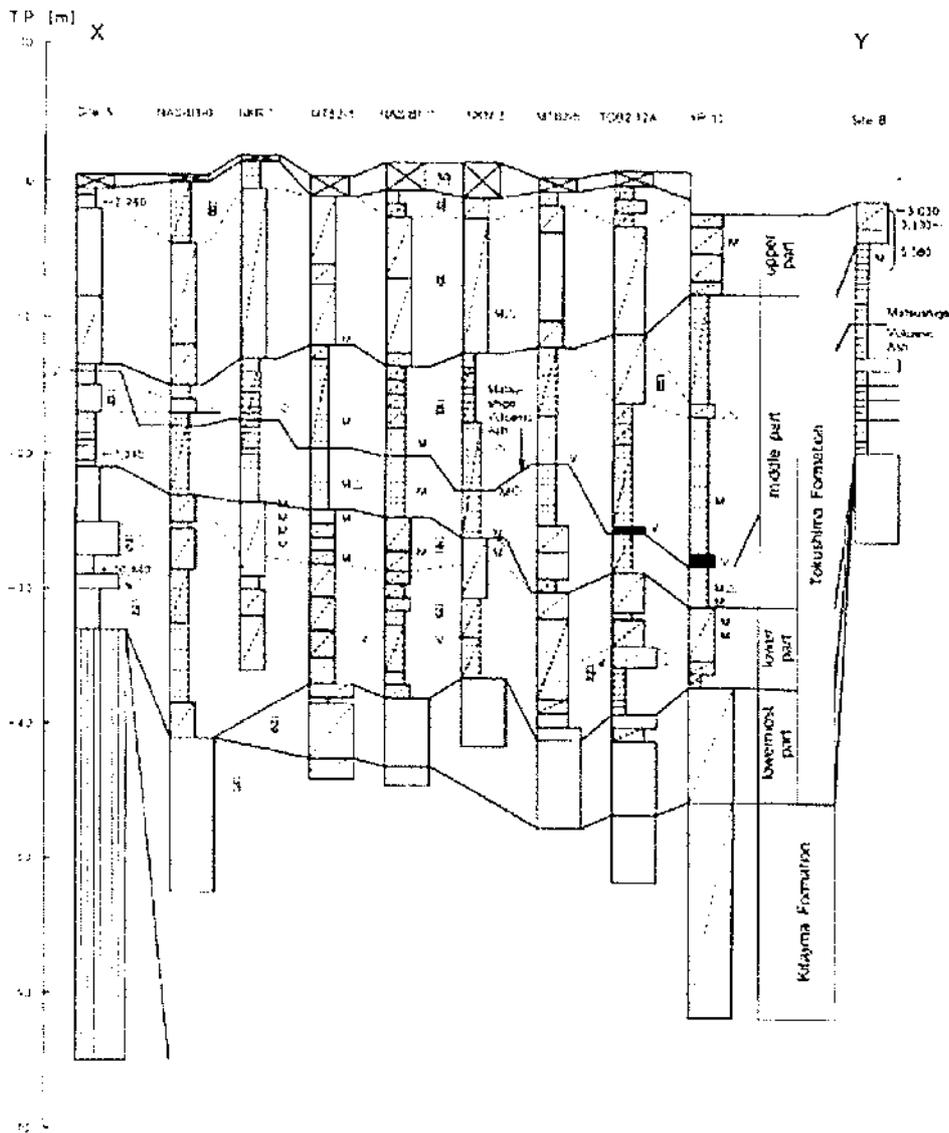


図 2.2.2-8 徳島平野のボーリング対比図 1 (X-Y 断面) (Kawamura,2006)

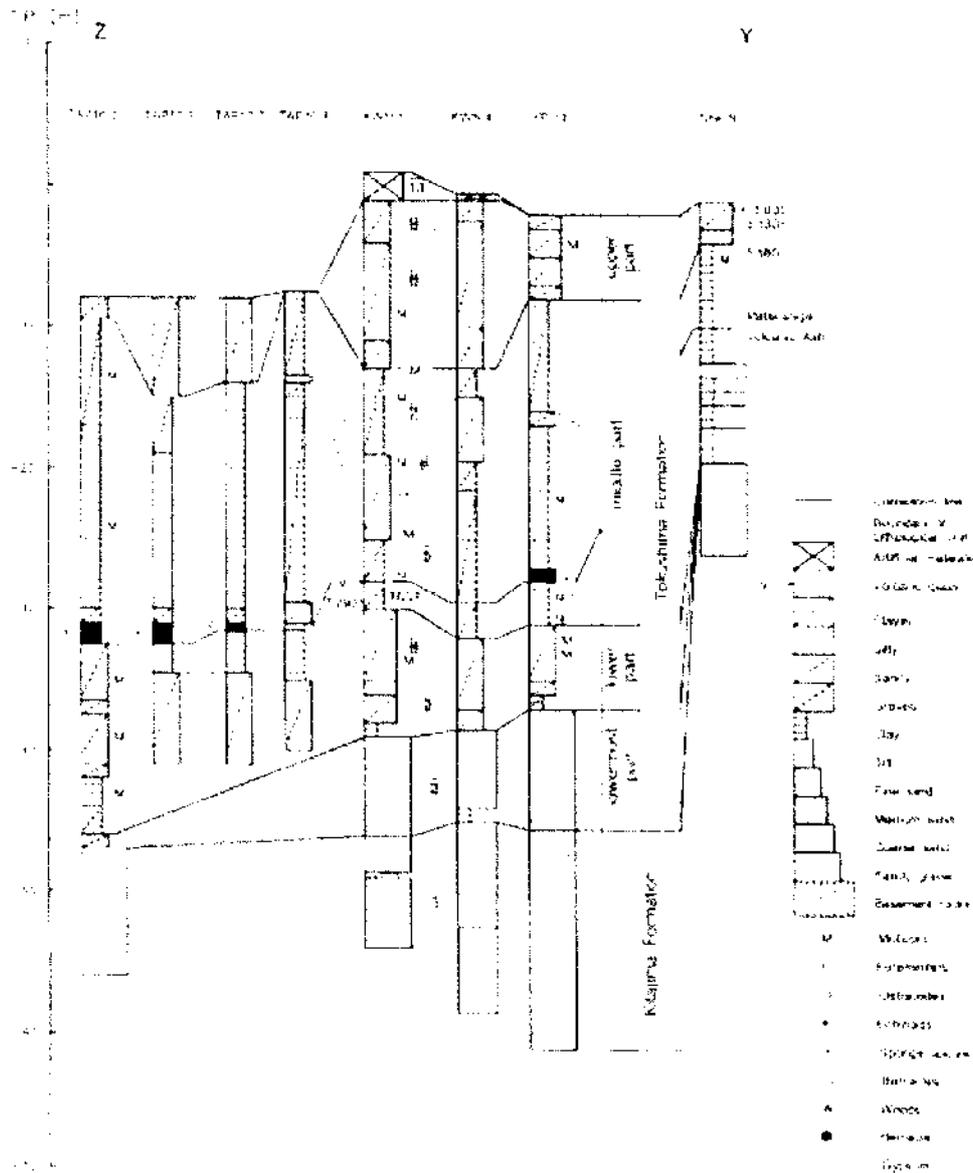


図 2.2.2-9 徳島平野のボーリング対比図 1 (Z-Y 断面) (Kawamura,2006)

【基底礫層】基底礫層は、径数 cm 程度の礫（亜円礫）を主体とする層であり、河成礫層と判断される。層厚は 10m 程度あるいはそれ以上であり、下位の北島層上部も礫層を伴うため、両者の区分が困難な場合が多い。標準貫入試験による N 値は 40～50 以上であり、徳島平野における良好な支持地盤となっている。

【下部砂層】下部砂層は、厚さがやや増減することが多いが、層厚 5～10m 程度である。主に砂およびシルトからなり、若干礫を混入する場所がある。N 値は 10～30 程度である。基底部分（下位の基底礫層との境界付近）に腐植物を挟在していることがあるため、主に河成層と判断される。

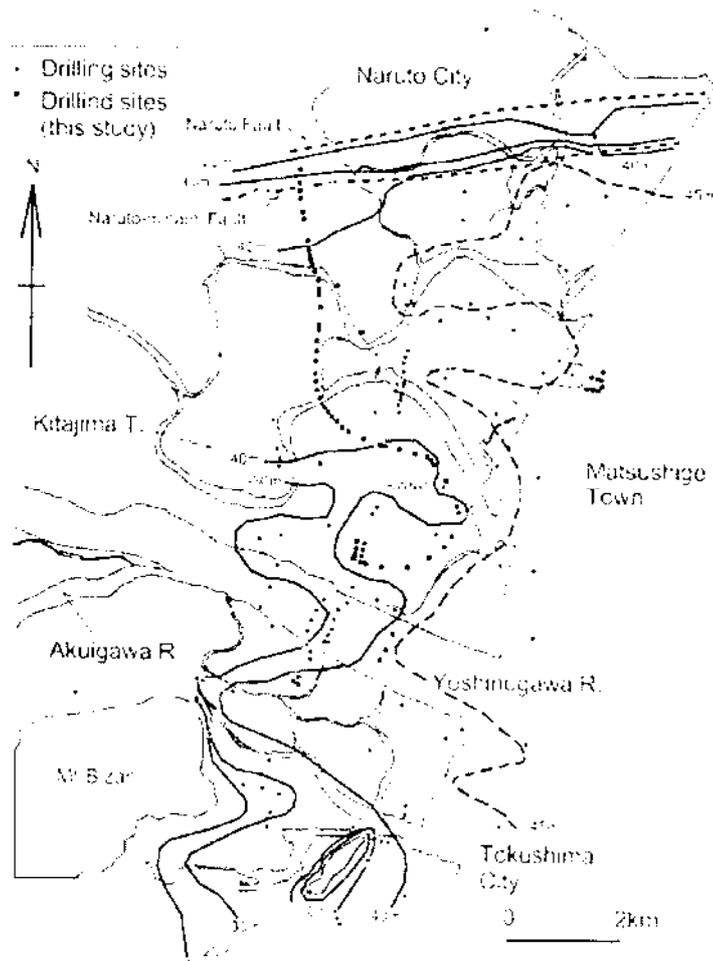


図 2.2.2-10 徳島平野・徳島層基底深度図 (Kawamura, 2006)

【中部シルト層】 中部シルト層はシルトを主体とし、砂も多く含む。層厚 10～15m 程度である。N 値は 15 以下と比較的軟弱な地層である。中部シルト層中には、しばしば層厚数 10cm 程度の細粒ガラス質火山灰が挟在しており、火山ガラスの屈折率に基づいて、鬼界アカホヤテフラ (K-Ah) に同定されている (横山ほか, 1990 など)。

【上部砂層】 上部砂層は、層厚 5～15m 程度であり、層厚の変化が大きい。この地層は、徳島平野のうち、藍住町より上流でしばしば礫を多く含むのが特徴的であり、吉野川上流方向ほど、礫質、下流方向ほど砂質となる。N 値は 10～40 程度とばらつきが大きく、砂層卓越部分では小さめ、礫層卓越部分では大きめである。

【北島層】 更新統である北島層は、主に礫・砂・シルトの互層からなる地層であるが、その下限まで達したボーリング資料による層序・年代・堆積環境に関する研究がなく、実態が不明である。ボーリング柱状図で見ると、北島層は礫を主体とする粗粒な層相と、粘土・シルトを主体とする細粒な層相とが、何度か交互に現れる特徴を呈する。

## 2) 小松島平野

基盤岩を覆って非固結の堆積物が累積しており、基盤岩の上面深度が深い場所では厚さが 50m ほどに達する。深度-30m~-35m 付近に分布する礫質の層を、沖積層の基底礫層とみなすことができる。基底礫層より上位の沖積層の層相は、厚さ 15~20m の厚い中部シルト層によって特徴づけられ、下部砂層の分布がわずかとなっている。

基底礫層の N 値は、下部はほぼ 50 以上であるが、上部では 20~30 程度の場所もある。下部砂層は深度-20m 付近に分布し、礫質の部分や粘土質の部分を含み、N 値は 10~30 程度である。中部シルト層は深度-10~-20m 付近に分布し、N 値が 0~10 程度の軟弱な地盤である。

## 3) 阿南・那賀川平野

阿南平野における沖積層の分布は、基本的に小松島平野とほぼ同様である。

那賀川平野のボーリング位置・地質断面図・徳島層基底深度図を、図 2.2.2-11、図 2.2.2-12、図 2.2.2-13、図 2.2.2-14、図 2.2.2-15 にそれぞれ示す。

那賀川平野では、沖積層中部の海成シルト層を堆積させた縄文海進のピーク後、那賀川のデルタが前進し、上部砂層を形成するとともに、那賀川河口から北に延びる和田島の砂州が形成されていると考えられる。和田島の砂州を構成する上部砂層の厚さは、ほぼ 20m 強であり、一部に礫質の部分に伴うことがある。N 値は 10~20 程度であるが、10 以下の軟弱な部分もある。

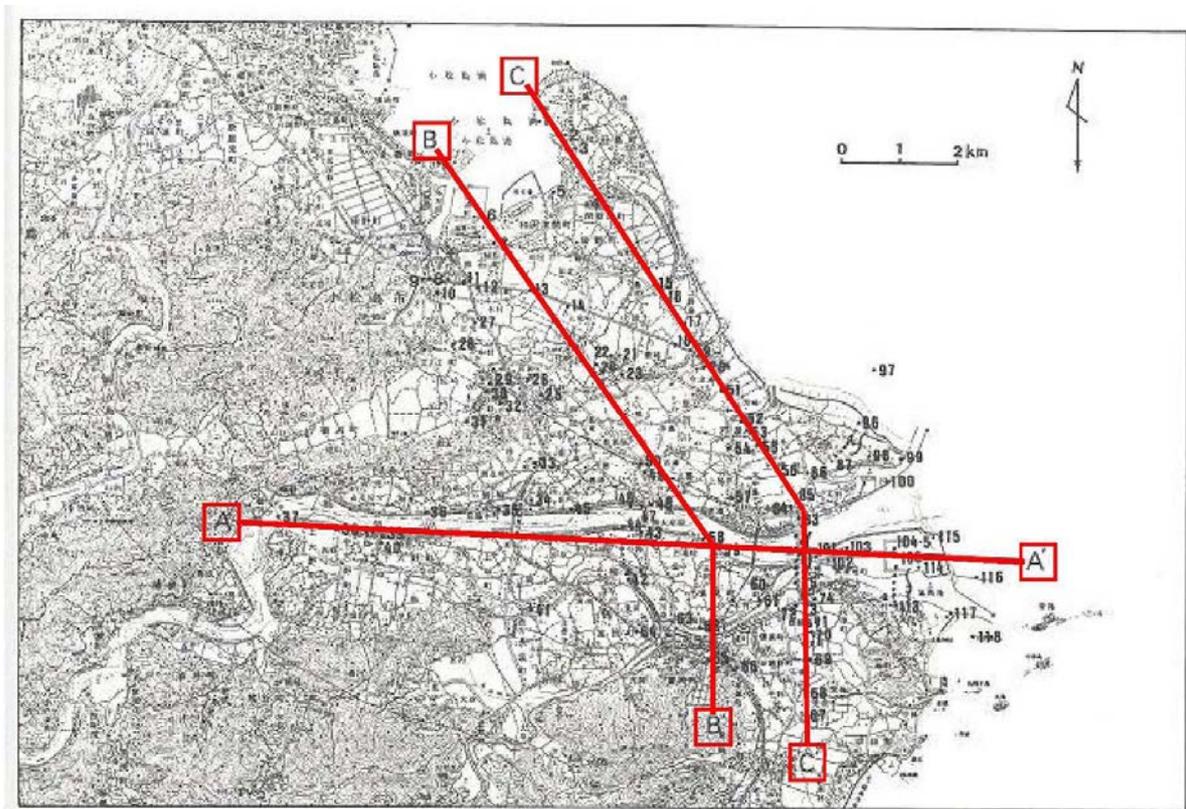


図 2.2.2-11 那賀川平野のボーリング位置図（石田ほか，1995）一部加筆

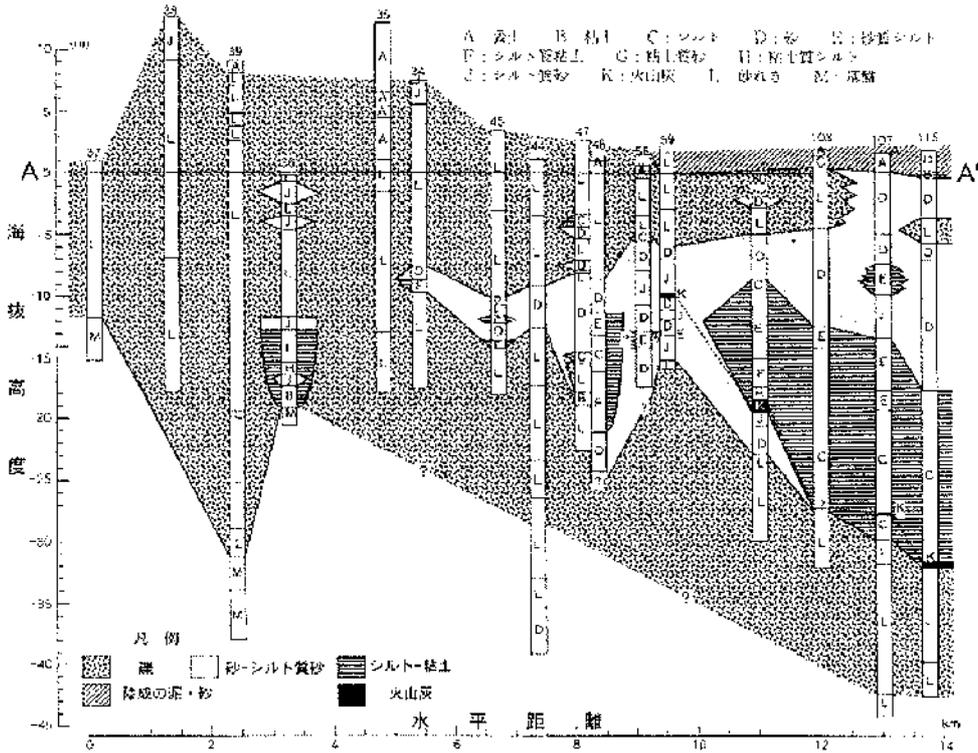


図 2.2.2-12 那賀川平野の地質断面図 1 (A-A') (石田ほか, 1995)

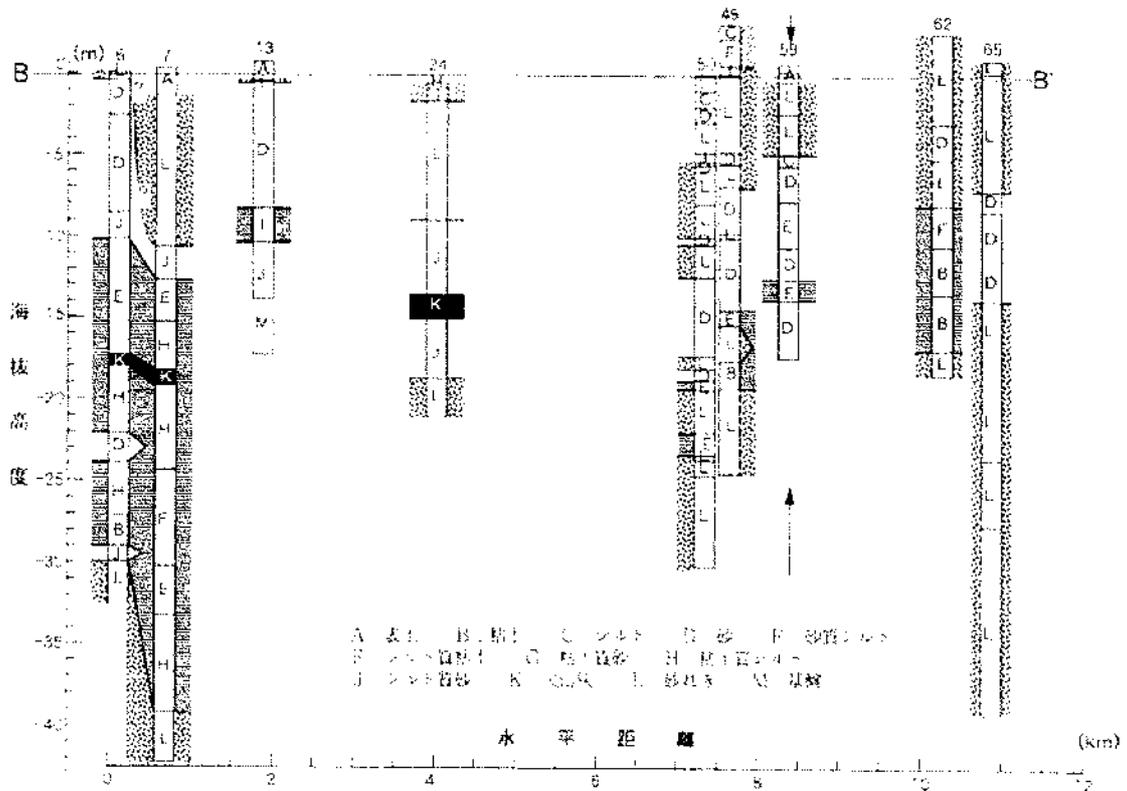


図 2.2.2-13 那賀川平野の地質断面図 1 (B-B') (石田ほか, 1995)

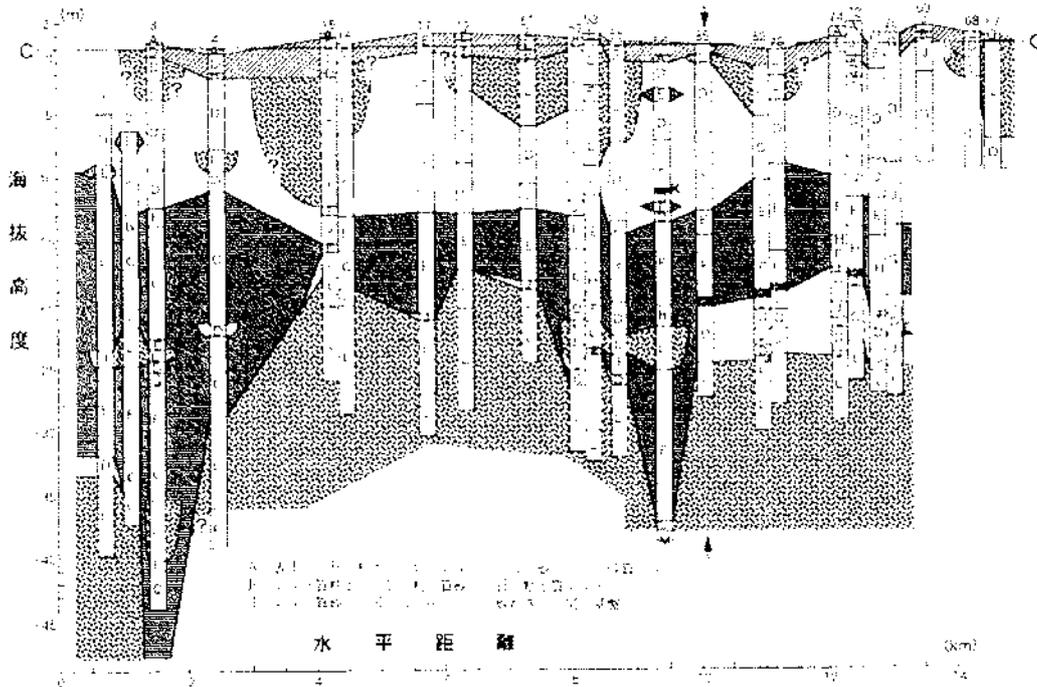


図 2. 2. 2-14 那賀川平野の地質断面図 1 (C-C') (石田ほか, 1995)

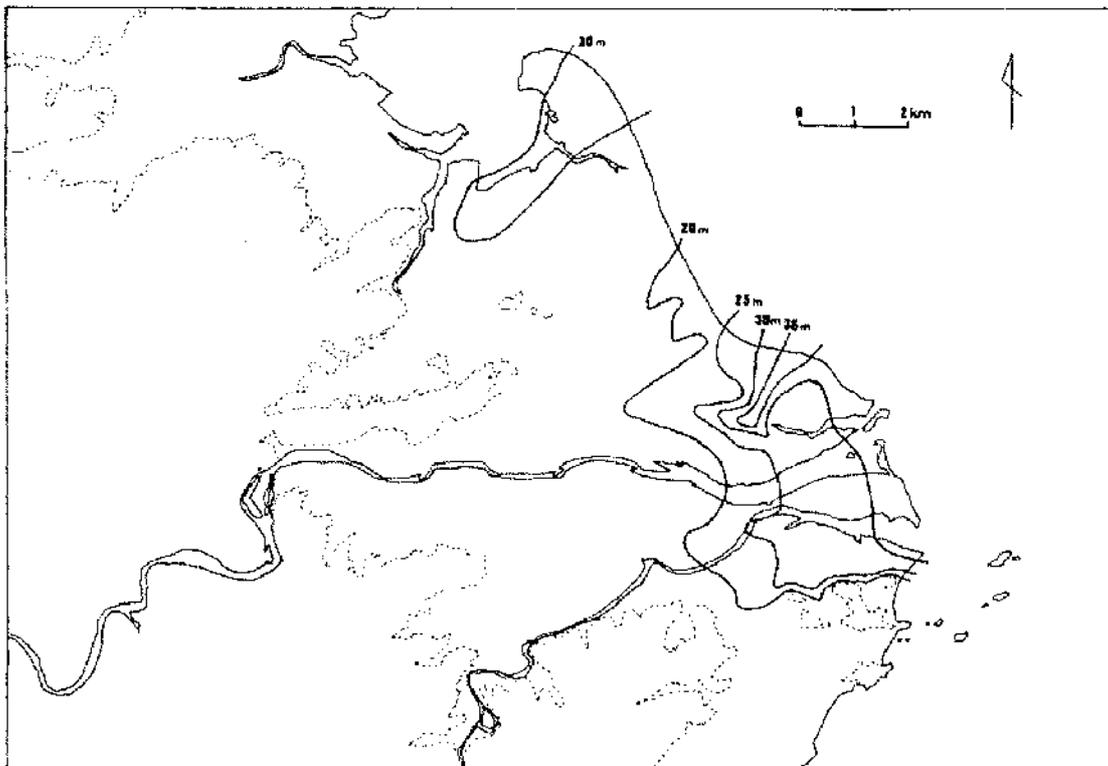


図 2. 2. 2-15 那賀川平野における徳島層基底深度図 (石田ほか, 1995)

#### 4) 海部・海南平野

日和佐平野では、-20~-40m に基盤岩である四万十累層群の岩盤が分布し、その上位に沖積層が累積している（図 2.2.2-17）。貝殻を含む中部シルト層は厚さ 10m 以上にも達するとともに、その中に挟在する K-Ah の厚さが 1m を超え、最大で 5m に達することもある。

海部川河口付近では、沖積層基底礫層の上面標高が-22~-30m 程度であり、礫層の下位には、基盤岩である四万十累層群の岩盤が分布する。基底礫層の上位には、貝殻を含む厚いシルト層が分布し、その中には K-Ah テフラが挟在する。その上位には、海部川が運搬してきた礫質堆積物が累積しており、合流する支流との合流点付近には砂礫堆が形成されている。

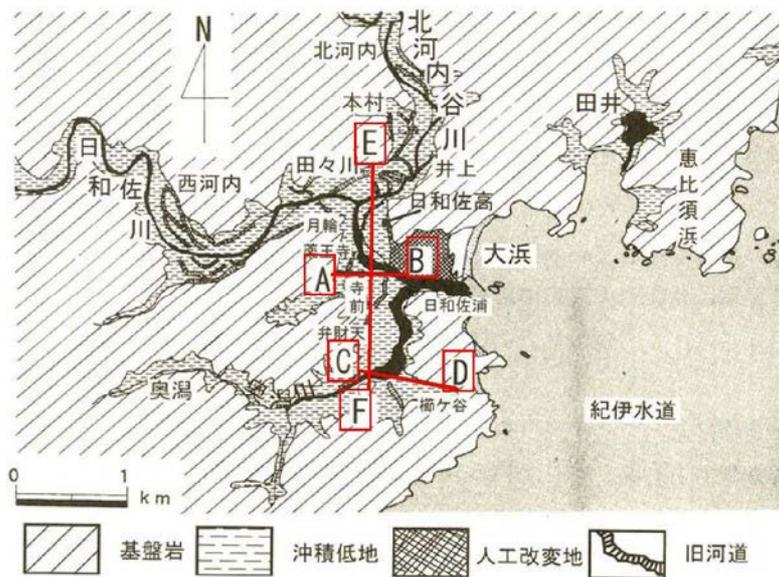


図 2.2.2-16 日和佐平野の地形分類図（古田，2005）一部加筆

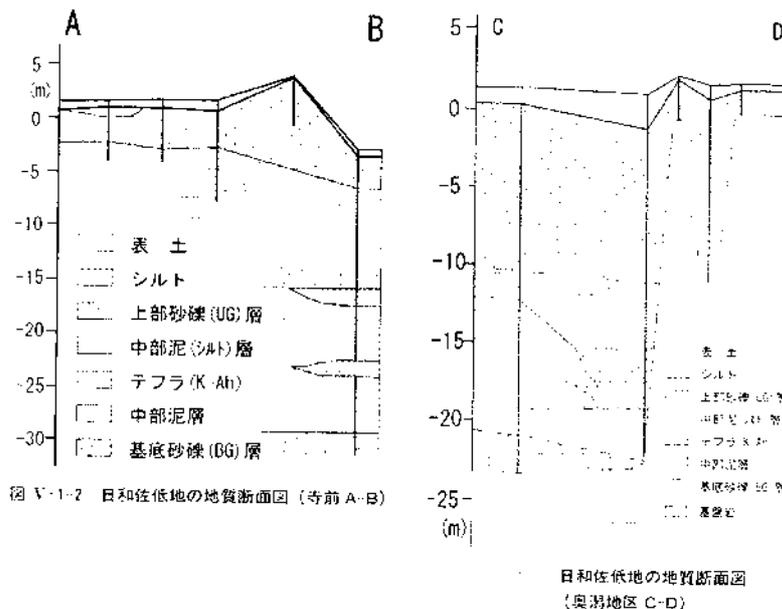
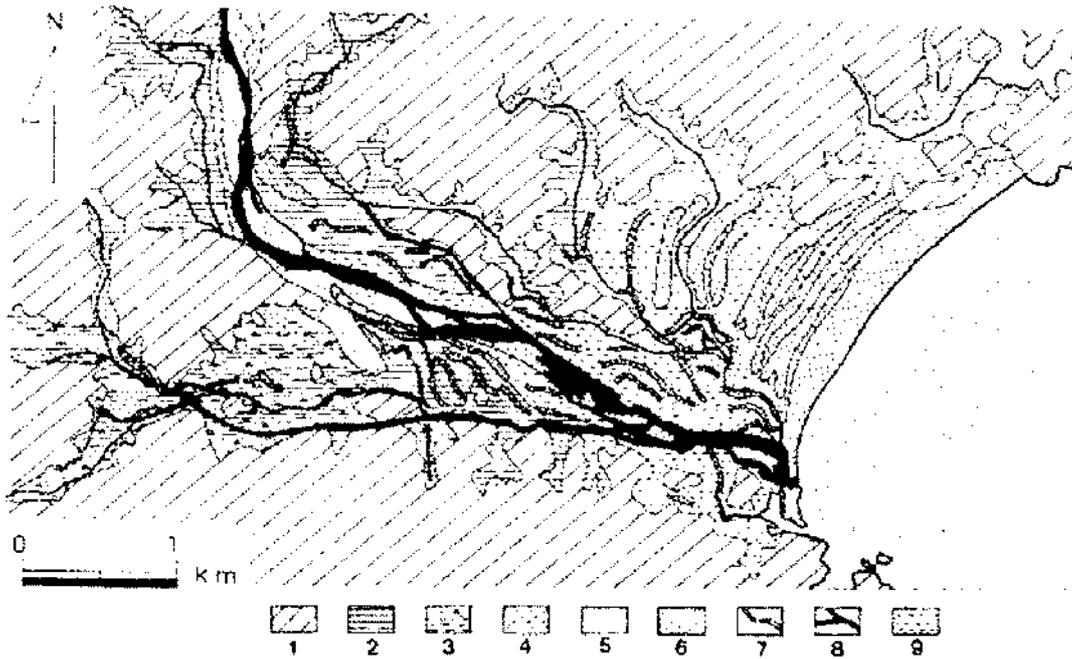


図 V-1-2 日和佐低地の地質断面図（寺前 A-B）

日和佐低地の地質断面図（奥湯地区 C-D）

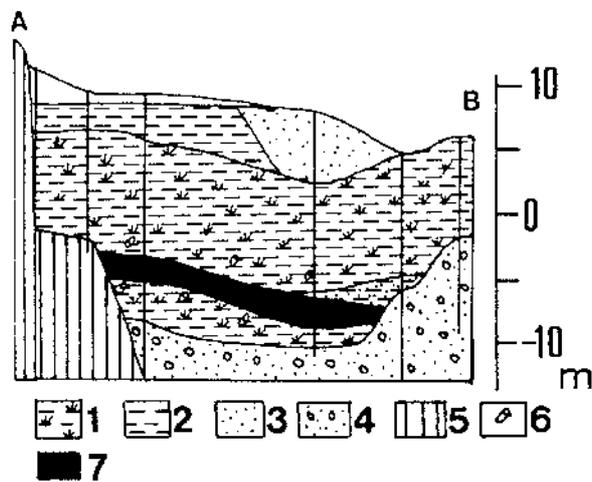
図 2.2.2-17 日和佐平野の地質断面図（古田，2005）



海部川下流域平野の地形分類図

1：旧河成物、2：谷成物、3：沖積物、4：扇状地、5：砂丘、6：沖積物、7：扇状地、8：扇状地、9：扇状地

図 2. 2. 2-18 海部平野の地形分類図 (古田, 2005)



母川流域 (川西平野) の地質断面図

1：礫層、2：腐植土、3：砂層、4：砂層、5：砂層、6：砂層、7：K、Al、Mn 火山灰

図 2. 2. 2-19 海部平野の地質断面図 (古田, 2005)

## 2.2.3 高知県

### (1) 地形概要

#### 1) 高知平野

高知市街地の立地する高知平野の微地形は、図 2.2.3-1 の地形分類図に示すように、各水系とも溪口部に扇状地、それに続く自然堤防地帯、河口部の三角州に分けられ、それぞれの特徴は以下のとおりである。

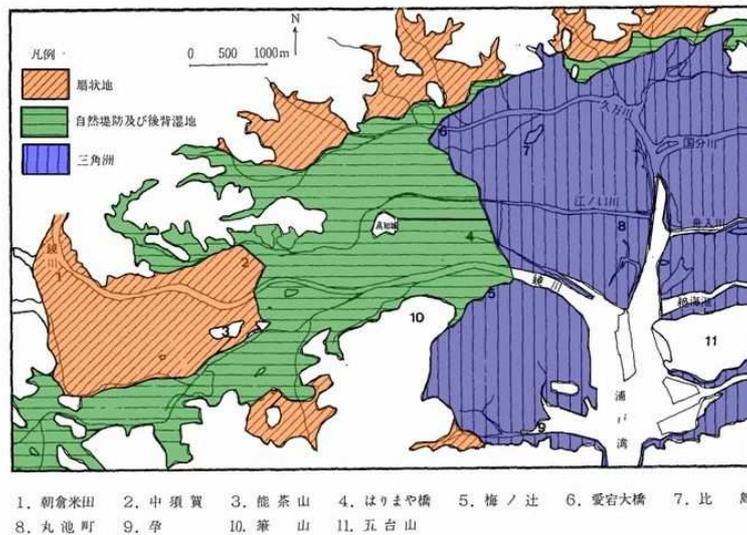


図 2.2.3-1 高知平野の地形分類図(甲藤・西, 1971 より)

扇状地は、鏡川の形成したものが最大で、標高 10m の米田地区を扇頂とし、能茶山付近を扇端とする。構成物質は砂礫で、その層厚は 10m 位である。北部山麓地域の開析地を埋める久万川の各支流もそれぞれ扇状地を形成している。

自然堤防地帯は扇状地の下流側に続く地域である。中州賀ー能茶山の標高 5m 付近から、はりまや橋ー梅ヶ辻付近の 1~1.5m まで平均勾配 1.2/1000 の地域である。久万川流域では、愛宕大橋付近までである。構成土質は砂または小礫である。自然堤防間の低地は後背湿地で、排水不良地帯であり、構成土質は砂~シルトで山麓付近では腐植土が分布する所もある。

三角州は標高 1~1.5m 以下の地域で、浦戸湾に注ぎ込んでいる各河川の河口部に形成された平均勾配 0.5/1000 の平坦低地である。三角州を形成する河川では、河川勾配が 1.0/1000 より小さい河床は砂からなり、平野の地質は砂と泥で礫はない。勾配が 1.0/1000 より大きいと礫が混じってくる。地表面の平均勾配が 0.5/1000 以下のところは粘性土が多い特徴があり、三角州を構成する土質はシルトが主体である。扇状地・自然堤防が各河川別に高度および規模を異にするのに対し、三角州は各河川合同の複合三角州である。

その陸地化は藩政時代以後の人工埋立に負う所が大きい。しかし、約 5000 年前から現在までの自然条件のもとでの堆積は、南部山地の存在からくる盆地状平野内の浅海性の湾内堆積であること、浦戸湾頭を中心とした最も自然沈下の大きい地域であったことなどから、三角州としてはいわゆる底置層的な時間を長く持った地域であるといえる。

## 2) 中村平野

四万十市中村市街地の立地する中村平野は、地溝性の沈降地形部分であるが、その凹地が河川の運搬物である砂礫・粘土等によって埋立てられてできた小起伏の平坦地、いわゆる沖積平野である。

沖積平野内の微地形を地形区分すると、図 2.2.3-2 のように四万十川の自然堤防、後川の自然堤防～三角州性低地に分けられる。

自然堤防および三角州性低地帯は、主として海成の沖積粘性土層が分布する点では共通しているが、それぞれの微地形が表層の土層の違いを反映している。

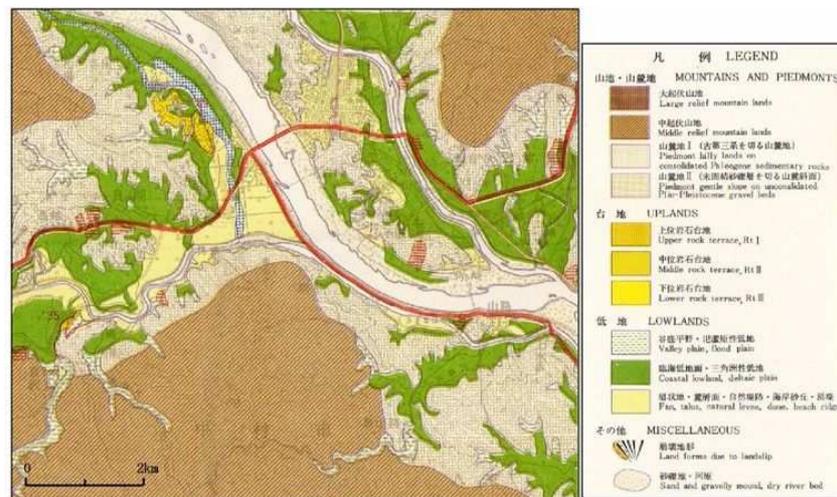


図 2.2.3-2 中村平野の地形分類図

(高知県, 1974: 土地分類基本調査(地形分類図)「宿毛・土佐中村」)

## (2) 地質概要

### 1) 高知平野

高知平野は、主に秩父帯“黒瀬川亜帯”から“三宝山亜帯”にかけての構造的盆地である（図 2.2.3-3）。沖積平野地下の基盤岩類は、黒瀬川亜帯では蛇紋岩、三滝火成岩類および砂岩泥岩互層やチャートなどの堆積岩よりなり、三宝山亜帯では、砂岩泥岩互層の他に輝緑凝灰岩・チャートおよび石灰岩などよりなる。これらの基盤岩からなる構造的盆地を埋める状態で、第四系の洪積層および沖積層が堆積している。高知平野の第四紀層は、泥質層と砂礫層が比較的明確な層理をなして堆積しており、それぞれの堆積基底面は、東西・南北方向共に浦戸湾頭に向かって深くなる傾向にある。



図 2.2.3-3 高知平野(物部川～仁淀川の間)の沖積低地の分布

高知平野の沖積層は、第Ⅰ砂礫層 (GⅠ)、第Ⅰ泥質層 (MⅠ)、第Ⅰ砂層 (SⅠv, Sib) および第Ⅱ泥質層 (MⅡ) に大別される。

【第Ⅰ砂礫層 (GⅠ)】

現在の沖積低地に展開する河成の微地形を形成する直接的な地層である。全体に扇状地的構造を示すが、一部に粘土を狭在する。山麓付近では層厚約 10m の礫層からなるが、河口部においては 2~5m の砂層で薄い (図 2.2.3-4)。

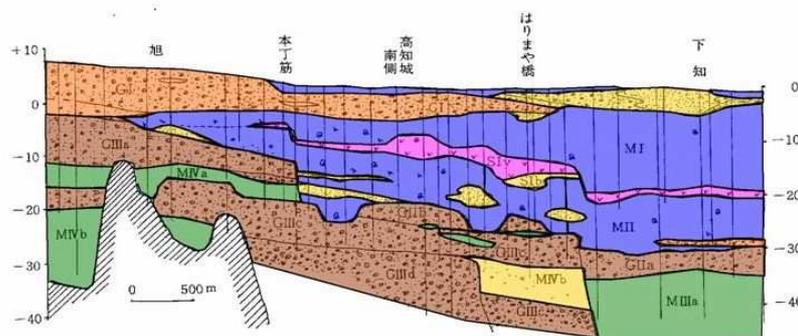


図 2.2.3-4 東西方向の地質断面図(甲藤・西 1971 の一部訂正)

【第Ⅰ泥質層 (MⅠ)】

最も連続性のよい、そして最も広い範囲にわたって分布する層である (図 2.2.3-5)。腐植物・貝殻などを含有した粘土~シルトで、淘汰度も 1.2~1.5 と沖積層中最もよい。層厚は、第Ⅱ砂礫層の深さにより愛宕・追手筋・下知と地域差があり、最大は下知・潮江などの浦戸湾付近で 18m 前後である。第Ⅰ泥質層は、構成物の特徴に加えて堆積サイクル・層厚変化などを考え合わせると、層相としては沖積層中最も安定した内湾性の海成泥質堆積層であるといえる。

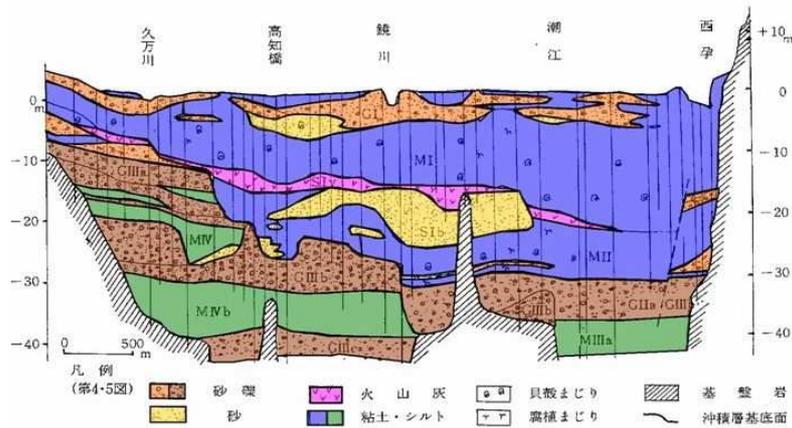


図 2.2.3-5 南北方向の地質断面図(甲藤・西 1971 の一部訂正)

### 【第 I 砂層 (S I)】

火山灰層 (S I v) と砂層 (Sib) とに分けられる。まず、火山灰層 (S I v) は、九州の南側、喜界カルデラに噴出源をもつ火山性ハリ質を主体とする降下堆積物 (7000 年 B.P.) で、九州のアカホヤに対比されるいわゆる音地火山灰の一種である。四国の沖積平野中および洪積台地上に広く分布する連続単一層である。そのためこの火山灰層は、沖積層の層序区分を行う上で有力な鍵層となる。

S I 層のうちで、はりまや橋から潮江にかけて顕著な分布を示すのが砂層 Sib である (図 2.2.3-5)。この層には、腐植物・貝殻片の混入がバッチ状にみられる。層厚は 0~10m で、上流方向に向かって急崖をなし、その谷底面は、旧浦戸湾に接続する (図 2.2.3-5)。

### 【第 II 泥質層 (M II)】

粘土~砂質シルトに腐植物・貝殻が多少混入してるが層厚は第 I 泥質層 (M I) に比較して、10m 前後と比較的一定している。

高知平野の沖積層下には、洪積層がほぼ全域にわたって埋没しているとみられる。地下の洪積層は、砂礫層が数層と泥質層が数層あって、一層の厚さはその多くが 10m 内外で、それらが交互に堆積している (表 2.2.3-1)。これらの洪積層の堆積環境から考察すると、河成と海成が繰り返しているとみられるが、全体に風化が進み、最も古い砂礫層は完全なクサリ礫層である。

図 2.2.3-5 に当地の東西方向の地層断面を示したが、三角州地帯 (はりまや橋以東) においては、基盤岩はおろか洪積層の層序ですら不明瞭であった。この断面に沿う地下の地層構造については、国土交通省四国技術事務所が実施した長尺基準ボーリングと、岩着はしていないが岩盤直上の固結粘土 (第三紀の泥岩に匹敵する固さをもっている) の状況からまもなく着岩すると予想される既存ボーリングから想定した地質断面図を示す (図 2.2.3-6, 図 2.2.3-7)。南北方向に深い谷が刻み込まれている様子がうかがえる。

表 2.2.3-1 第四紀層の層序区分

(甲西・西 1984)

年代	地層	層序区分	深度m	記号	地相	
更新世	縄文前期	第I期層 (S1)	0 - 5	河成堆積物、鏡形砂の層状地、自然堤防、三角洲形成	河成	
		第II期層 (S2)	5 - 10	三角洲堆積層又は陸地堆積物	海成	
	縄文中期	第I期層 (S1)	10 - 15	香取火山灰層下部、中ノ崎沿岸沖	海成	
		第II期層 (S2)	15 - 20	鏡形砂不整合面	河成	
	縄文後期	第I期層 (S1)	20 - 25	鏡形砂層、堆積物	河成	
		第II期層 (S2)	25 - 30	鏡形砂層	海成	
	沖積世	新石器時代	第I期層 (S1)	30 - 40	鏡形砂不整合面	河成
			第II期層 (S2)	40 - 50	下位層 (<30m平坦部) (沖積層基盤層)	河成
		縄文時代	第I期層 (S1)	50 - 60	鏡形砂層	海成
			第II期層 (S2)	60 - 70	鏡形砂層	海成
		縄文前期	第I期層 (S1)	70 - 80	鏡形砂層	海成
			第II期層 (S2)	80 - 90	鏡形砂層	海成
		縄文後期	第I期層 (S1)	90 - 100	鏡形砂層	海成
			第II期層 (S2)	100 - 110	鏡形砂層	海成
縄文前期		第I期層 (S1)	110 - 120	鏡形砂層	海成	
		第II期層 (S2)	120 - 130	鏡形砂層	海成	

※ 5,400 ± 100年 B.P. (94~201) (東田中義)
   
 ※※ 6,400 ± 100年 B.P. (94~202) (高村清久)
   
 ※※※ 32,600 ± 4,800年 B.P. (化学研究所) (高松吉彦) 甲西・西 (1984) 一部修正

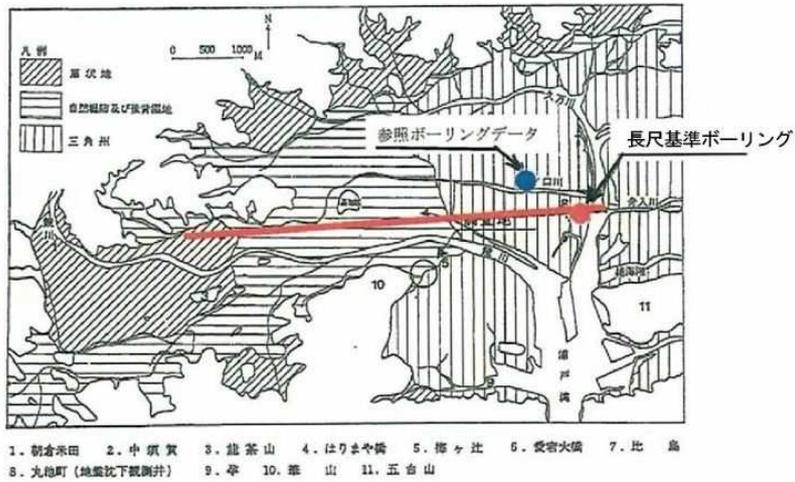


図 2.2.3-6 長尺基準ボーリング位置図

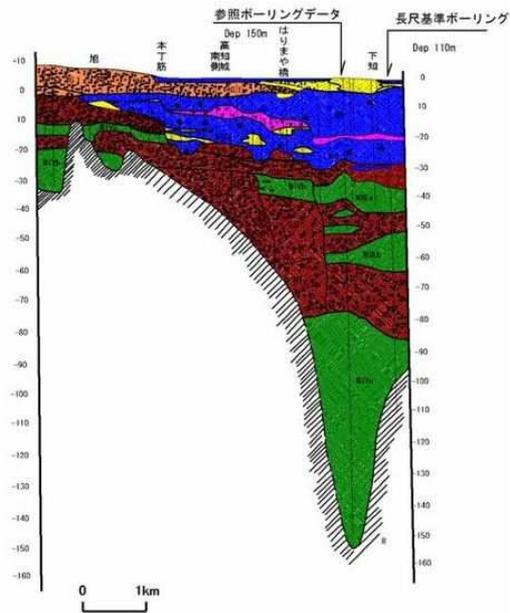


図 2. 2. 3-7 三角州地帯の東西方向地質断面（長尺基準ボーリング等による想定断面）

高知平野には、国分川・鏡川などの河川が流入しており、浦戸湾に注いでいる。高知平野はこれら河川によって土砂が運搬堆積され、現地形が構成されたものである。

高知市浦戸湾湾岸平野における地下の地質は、深度 150m におよぶ砂礫層と粘土層などから構成されている。このうち浅層部の深度 30m 前後までは、粘土質の軟弱層が広く分布している。中央平野部の深度 30~40m, 50~70m には、やや透水性の高い砂礫層が賦存している。なおこれらは山地周縁部で粘土を多く含んでいる傾向にある。地表面下深度 25~30m までの第四紀の地層は完新世に属しているが、これ以深の地層は更新世の地層に相当するものと考えられる。高知市の鏡川流域における基底深度は、一般に 30~40m 程度であるが、基盤岩がところどころに露出しているため、基盤深度はかなり不規則となっている。

鏡川右岸の朝倉地区では、鴨田用水路を通じて、かなり豊富な地下水が涵養されている。曙町など土佐電鉄沿線付近における地下水の水比抵抗値は、一般に 10,000  $\Omega$ -cm の高い値となっている。また下流の鴨部町から東横町にかけては 8,000→7,000  $\Omega$ -cm を示しており、次第に低い値に移行している。高知市帯屋町から播磨屋町にかけての鏡川系被圧地下水は、深度 25~33m で 4,000~5,000  $\Omega$ -cm を示しており、次第に深度を増しながら鏡川河口付近の停滞部に達している。国分川左岸流域における自由面地下水は一般に 9,000→7,000  $\Omega$ -cm を示しているが、これらの涵養源は主として国分川から分水されている多数の用水路によっている。また国分川系自由面地下水は浦戸湾沿岸平野に分布する被圧地下水の供給源ともなっている（図 2.2.3-8, 図 2.2.3-9）。

高知市での上水道取水量は 1 日当たり 150,000m<sup>3</sup> 程度であるが鏡川および仁淀川伏流水が主であり、地下水取水は鏡川および国分川周辺に簡易水道水源として分布している。

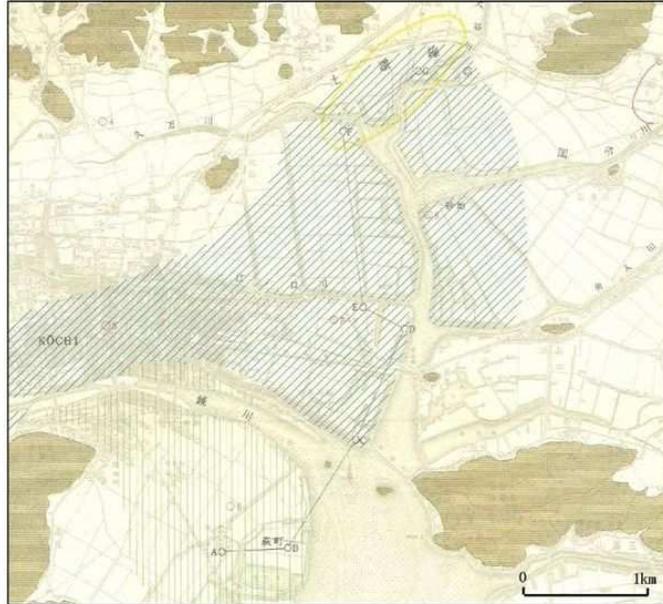


図 2.2.3-8 鏡川・国分川流域水理地質図

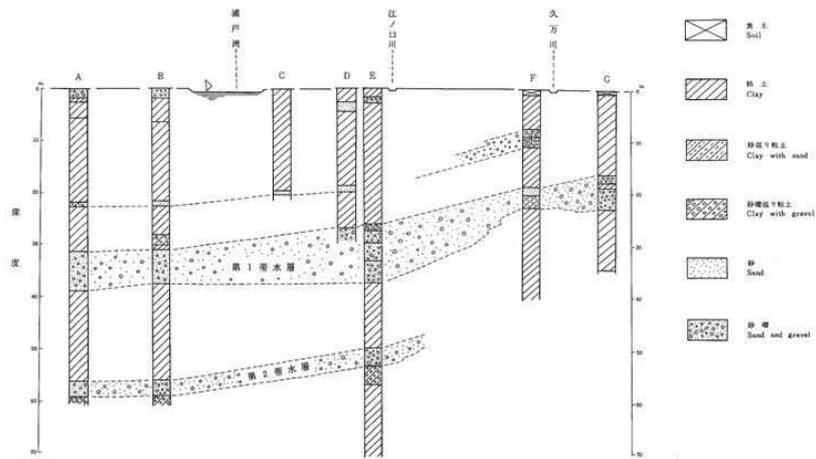


図 2.2.3-9 模式地下地質断面図



### 【第Ⅰ砂層（SⅠ）】

火山灰層（SⅠv）と砂質土層（SⅠb）とに分けられる。SⅠv層は、九州の喜界カルデラに噴出源をもつ火山性ハリ質を主体とする降下堆積物（7000年 B.P.）である。四国の沖積平野および、洪積台地上に広く分布する連続単一層である。このためこの火山灰層は、沖積層の層序区分を行う上で有力な鍵層として利用できる重宝な地層である。火山灰層の中村平野における堆積状態は、層厚は0～2m位で、全般に薄層である。

SⅠb層は、火山灰層とは軽微な不整合関係でその下位に厚く堆積している。この砂質土層も、N値10前後のルーズな地層であり、地震時の液状化現象に対する検討が必要な地層であるといえる。

### 【第Ⅱ泥質層（MⅡ）】

粘土～砂質シルト～砂に腐植物・貝殻が多少混入しているが、層厚は20m前後と比較的一定している。N値は10程度を示し、沖積粘性土としてはかなり大きな強度を有しており、高知平野の軟弱なMⅡ層との大きな差異である。MⅡ層の上半分くらいはシルト～砂質シルトの粘性土であり、下半分は砂質土が主体になってくることが大きな特徴といえる。

中村平野の沖積層下には、洪積層がほぼ全域にわたって埋没している。この洪積層は、砂礫層と粘性土層が交互に堆積しているとみられるが、ボーリングで確認した例はなく、最上部砂礫層（GⅡ層）で止められている。

### 【第Ⅱ砂礫層（GⅡ）】

河成の礫層（GⅡ）で $N \geq 50$ を示す非常に良く締まった地層である。またかなりの圧力水頭を持った被圧帯水層を形成しており、深層地下水取水対象層としての価値も大きいものがある。

以上、第四系の層序区分について説明したが、これらの各地層の変化を連続的にとらえるために2つの地質断面図（図2.2.3-11、図2.2.3-12）を作成した。

層序区分は表2.2.3-2を基準にしているが、「地質断面図」の層序区分は、土質特性に主眼をおいた層序区分としているため、記号が異なる。

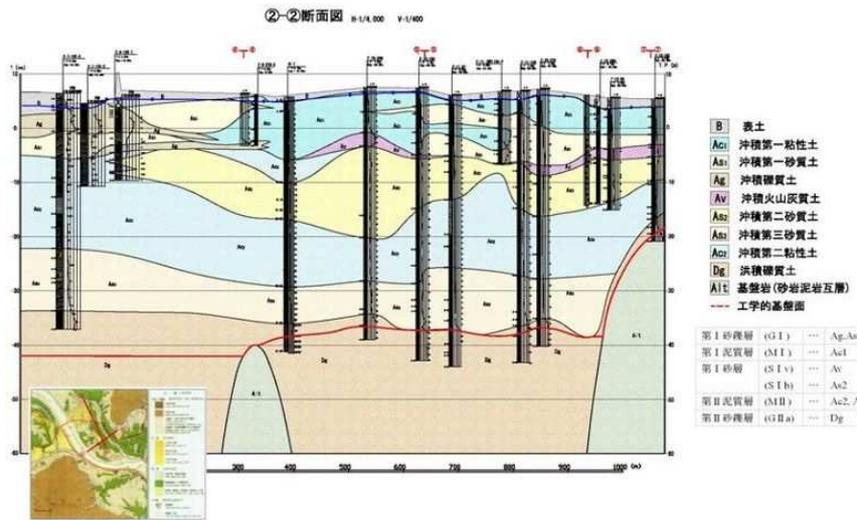


图 2.2.3-11 ②-②断面图

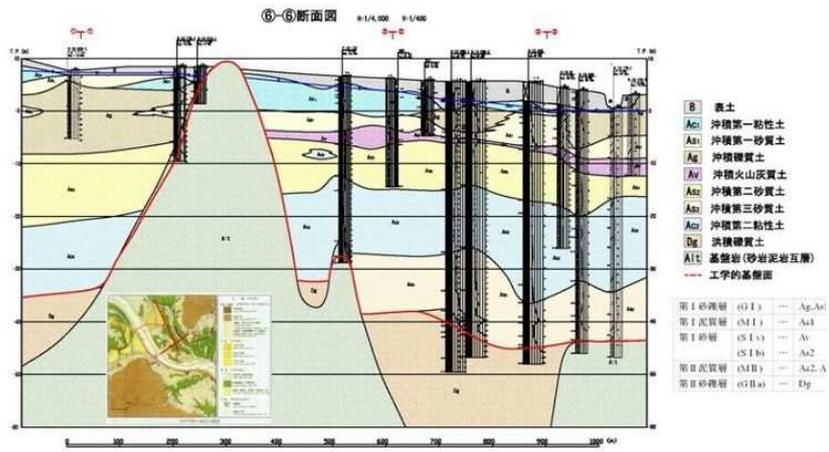


图 2.2.3-12 ⑥-⑥断面图

表 2.2.3-2 第四紀層の層序区分

(中西・西 1984)

年 代	地 層	層 名	厚 m	深 度 m	記 号	備 考	堆 積 相
新 世	沖 積 層	埋溝IV期	0 10	0 5		河床堆積物・埋溝の崩壊地・自然地形・三角州形成	河成
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
埋溝I期	0 10	0 5					
新 世	沖 積 層	埋溝IV期	0 10	0 5		河床堆積物・埋溝の崩壊地・自然地形・三角州形成	河成
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
埋溝I期	0 10	0 5					
新 世	沖 積 層	埋溝IV期	0 10	0 5		河床堆積物・埋溝の崩壊地・自然地形・三角州形成	河成
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
		埋溝I期	0 10	0 5			
		埋溝IV期	0 10	0 5			
		埋溝III期	0 10	0 5			
		埋溝II期	0 10	0 5			
埋溝I期	0 10	0 5					

資料 ※ 5,400 # 130年B. P. 9a~221 (鹿田市教育) ※※ 6,400 # 130年B. P. 9a~222 (鹿田市教育) ※※※ 37,400 ± 4.8. P. 埋化学研究所 (高知市吉田町) 中西・西 (1984) 一部修正

中村平野は、四万十川が四国西南地域を大きく蛇行しながら、落差のない流れとなって四万十市下田で土佐湾に注いでいる。中村平野はこれらの河川によって土砂が運搬堆積され、源地形が構成されている。

帯水層としては、浅層不圧地下水（AG層を流動）と深層被圧地下水（DG層を流動）の分布が確認される（図 2.2.3-13）。

四万十川右岸は浅層不圧地下水の利用が多く、7~11m程度の浅井戸が多く分布している。四万十川左岸～後川にかけては部分的に浅層および深層地下水の分布がみられるが、残丘が多く市街地を中心に砂質土層や粘性土層の堆積が厚く帯水層は限定される。

浅層および深層地下水ともに透水係数は  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/秒}$  を示す良好な帯水層である。上水水源は四万十川周辺に多く分布し、その取水量は日量  $20,000 \text{m}^3$  に達している。

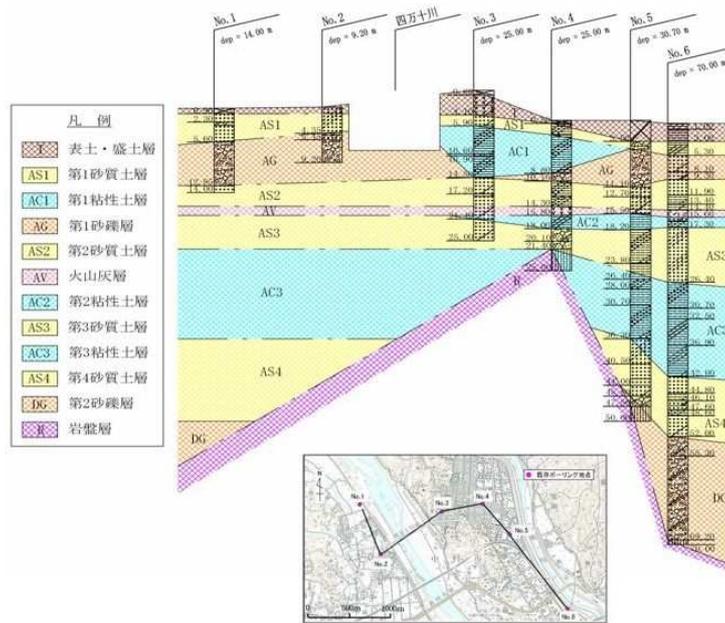


図 2. 2. 3-13 模式地層断面図

参考：四国建設弘済会 40 周年事業「四国の地盤」(2010.2)

## 2.2.4 愛媛県

### (1) 地形概要

#### 1) 愛媛県内の平地・低地

愛媛県内の平地・低地は、主には瀬戸内海沿岸の臨海沖積平野，県西部の宇和海沿岸の臨海沖積低地，県西部の山間部の盆地に分布する。

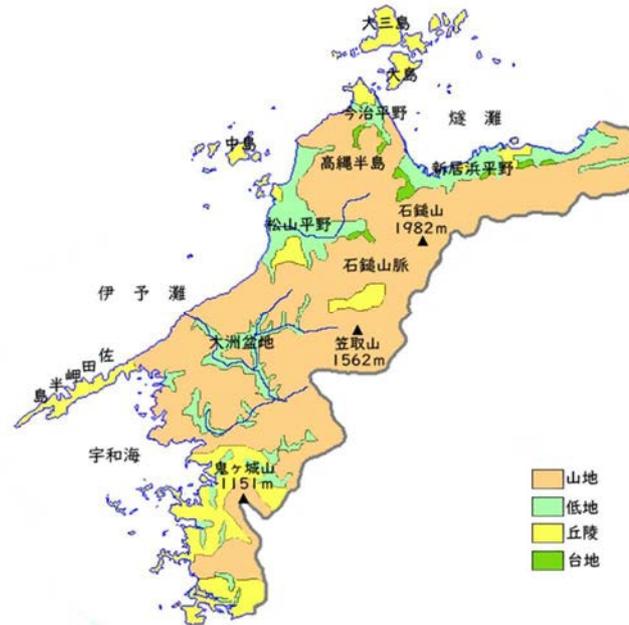


図 2.2.4-1 愛媛県の地形図

瀬戸内海沿岸の臨海沖積平野として主なものは西から順に、松山平野，周桑・西条平野，新居浜平野がある。これら平野の南縁には東西方向に伸びる中央構造線系の活断層が数条確認されており，平野と山地の境界に位置している。宇和海沿岸の臨海沖積低地はいずれも小規模で，リアス式海岸の湾奥部の八幡浜市，宇和島市他に分布する。山間部の盆地として肱川流域などに，宇和盆地，大洲・内子盆地などがみられる。

#### 2) 松山平野

松山平野は道後平野とも呼ばれ，その西側が瀬戸内海・伊予灘に面し，北東側が高縄山地，南側が石鎚山系および出石山地に囲まれた，東西約 20km，南北約 17km の沖積低地である。主要な河川は，高縄山系から伊予灘へほぼ東西に流れる重信川，その支流で北東方向から流れる石手川および小野川である。これらの河川は明瞭な扇状地を形成し，扇径はそれぞれ約 6km，4km および 2.5km であり，土砂流出量が多いことで知られている。これらの扇状地の間には，さらに古い扇状地堆積物が一部段丘化した更新世段丘が分布する。扇状地より下流から海岸部にかけては氾濫原，旧河道および自然堤防が分布し，礫質土を主体とした堆積層が分布する。特に砂礫を構成

する礫径は下流に向かうほど小さくなる傾向にある。この砂礫中には豊富な伏流水脈が存在し、これを利用した水源地が各所に設置されている。

城山から堀江にかけては北北西－南南東方向に伸びた細長い沖積低地（堀江低地）が分布し、松山平野北側の山地を直線的に切り開いたような特異な地形をなしている。また、堀江低地の地形は、谷部が西側に偏った非対称な形状を示す。堀江低地の勾配は南方の重信川流域と比べて緩く、約 2/1000 である。また、西縁の山地部に向かって標高が低くなり、その比高は低地中部で約 6m である。

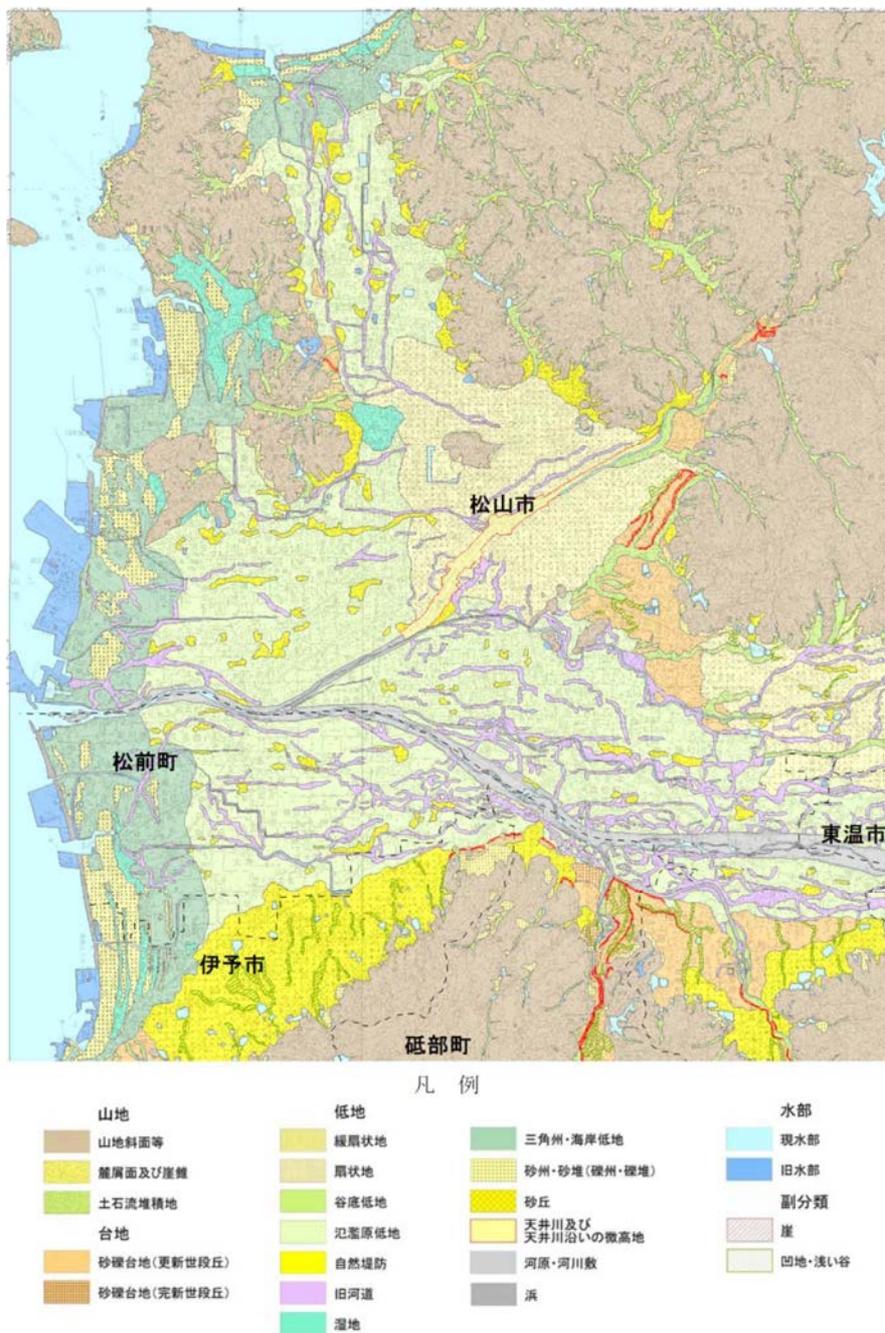


図 2. 2. 4-2 松山地域の自然地形分類図

### 3) 周桑・西条平野

周桑・西条平野は道前平野とも呼ばれ、その北東側が瀬戸内海・燧灘に面している。

周桑平野は中山川や大明神川によって形成された典型的な扇状地形が発達し、その扇端部は東西約15km、南北約8kmの沖積平野である。扇状地の大部分が果樹園地として利用されている。

一方、西条平野は加茂川が平野に開ける地点を扇頂とする狭い扇状地と沿岸部の東西約20km、南北約17kmの沖積低地である。平野部面積は26km<sup>2</sup>で、このうち水田が約60%を占め、畑地はごくわずかである。

西条平野では、石鎚連峰を涵養源とする水量の豊富な大中小の河川が貫流しており、低地部ではそれら河川水が伏流し、全国的にもまれな被圧地下水の自噴地帯が広範囲にわたる。自噴水や自噴井「うちぬき」は、生活用水、農業用水や工業用水などに広く利用されている。

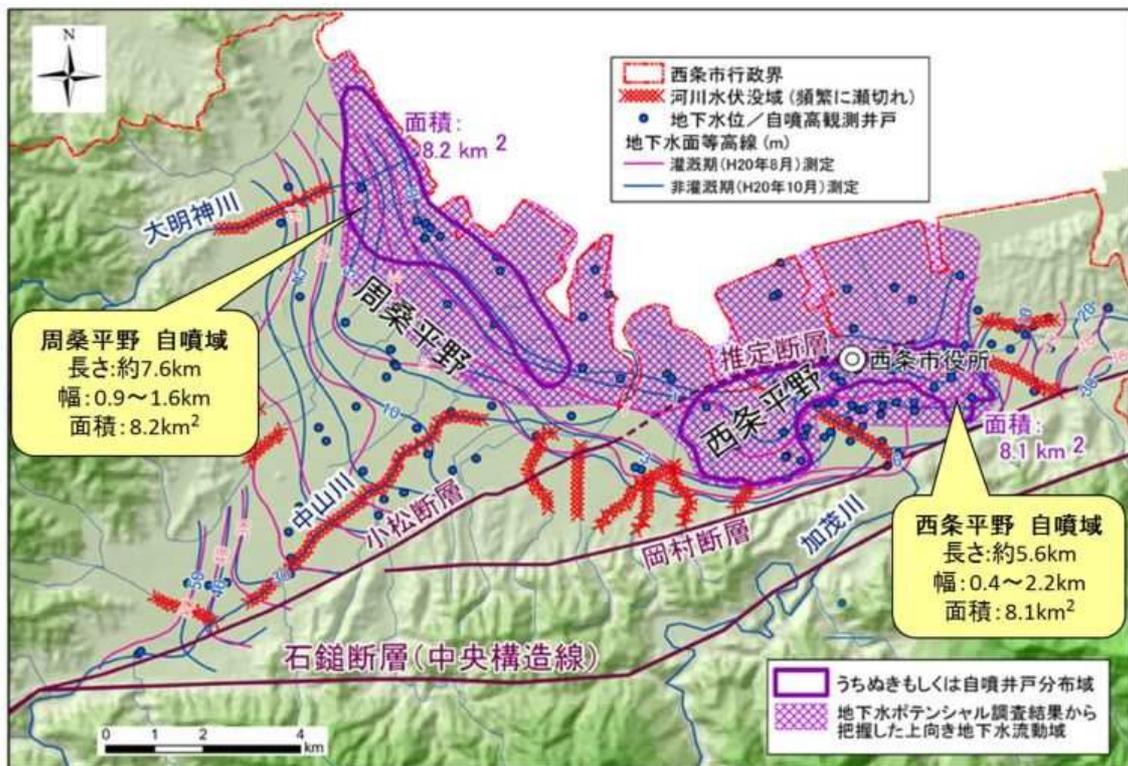


図 2.2.4-3 道前平野の自噴域の分布

### 4) 新居浜平野

新居浜平野は、愛媛県の東部、燧灘沿岸のほぼ中央に位置する臨海沖積平野である。平野内の主要河川として国領川があり、石鎚山脈から燧灘へ北流している。

平野の地形は、主部は国領川のファンデルタで、その他、段丘、扇状地、氾濫原、埋立地などに区分されている。

#### 5) 八幡浜・保内低地

四国西部には、宇和海沿岸湾頭低地と総称される多くの臨海沖積低地が比較的小規模かつ局地的に点在する。佐田岬半島の南東部付近に、最大東西 2.5km、南北約 3.0km にわたり川之石低地がある。その南側に最大東西約 3.5km、南北約 3.0km にわたり八幡浜・保内低地が広がっている。

その八幡浜・川之石低地は、三波川帯の結晶片岩類で構成される標高 300～500m の出石山脈と宇和海に囲まれている。

八幡浜低地では千丈川の下流域沿岸は氾濫原、三角州である。海岸部は湿地や干潟を埋め立てた人工地である。

川之石低地における主要な河川は宮内川と喜木川で、下流域は氾濫原、三角州である。

#### 6) 宇和島低地

宇和島低地における主要な河川は平野の南方から北流して低地南部に河口を持つ来村川と、平野北東方から西流して低地北部に河口を持つ須賀川がある。これら河川下流域は、氾濫原、三角州、干拓地である。東西 1.7km、南北 1.8km 四方の比較的狭い平野で、大半が標高 10m 以下で、南東の扇状地付近が標高 20m 程度となる。

#### 7) 宇和盆地

宇和盆地は四国山地西部にあり、肱川の上流域にあたる。盆地は山地を介して西部の宇和低地と東部の田之筋低地に区分できるが、両者は盆地南部で一部接している。宇和低地は南北約 10km、東西約 5km で、標高 200～250m に位置し、田之筋低地は南北約 7km、東西約 1km で、標高 200～300m に分布する。

#### 8) 大洲・内子盆地

大洲盆地の主要な河川は肱川であり、北流している。肱川沿いには氾濫原が分布している。また、内子盆地の主要な河川は肱川の支流小田川及び中山川流域に開けた小盆地である。

また、盆地の周囲には小起伏の丘陵地が広がる。

(2) 地質概要

1) 愛媛県内の平地・低地

平野の地下地質は、基盤岩の上に、鮮新統～更新統，完新統で構成される。

表 2. 2. 4-1 愛媛県の臨海沖積平野第四系の地質層序の対比

	宇和島		八幡浜		周桑一西条		広域テフラ(隣灰年代)
完新世	宇和島層	上部	八幡浜層	最上部	壬生川層	上部	K-Ah(7.3ka)
		中部		上部		中部	
		下部		中部		下部	
更新世	宇和海層		宇和海層		周桑層		AT(29~26ka)
					岡村層		Kj-P1(80~70ka)

平野の主な表層地質は、臨海部の表層地質は完新統，内陸部は更新統と完新統，山地に近傍では段丘構成層としての更新統で構成されている。平野地下地質の層厚は、徳島平野や高知平野と比べると一般的に薄い。



図 2. 2. 4-4 愛媛県の地質図 (桃井ほか, 1991 を修正)

愛媛県内の平野地下からは、しばしば火山灰層が見出され、特に西部ほど多く、層厚が厚い傾向にある。それらの多くは、久重第一，阿蘇 4，始良 Tn，鬼界アカホヤなどの更新世～完新世テフラと対比され、「沖積層」の基底の層準を検討するうえで極めて重要な手掛かりとなる。

## 2) 松山平野

松山平野は西南日本内帯に位置し、基盤岩類として領家帯の花崗岩および変成岩類、これを不整合に覆う上部白亜系の和泉層群および第三系の堆積岩類・火成岩類が分布する。領家帯の花崗岩類および変成岩類は城山より北側の山地に、和泉層群は南側の山地部に分布している。第三系の堆積岩類および火成岩類は、これら基盤岩中に点在して分布する。

松山平野周辺の山地部の裾には郡中層およびその相当層、八倉層および久万ノ台層等が分布している。

郡中層は、メタセコイア等の植物化石およびフィッシュトラック年代 ( $1.9 \pm 0.7\text{Ma}$ ) に基づいて、上部鮮新統～下部更新統であると考えられている。八倉層は古期扇状地堆積物で、前期更新世に堆積したと推測されている。久万ノ台層は堀江低地南西側の久万ノ台周辺に分布し、砂層の粒度分布より一部で海成～海成三角州堆積物を含むと考えられている。その堆積時代は更新世と推測されている。

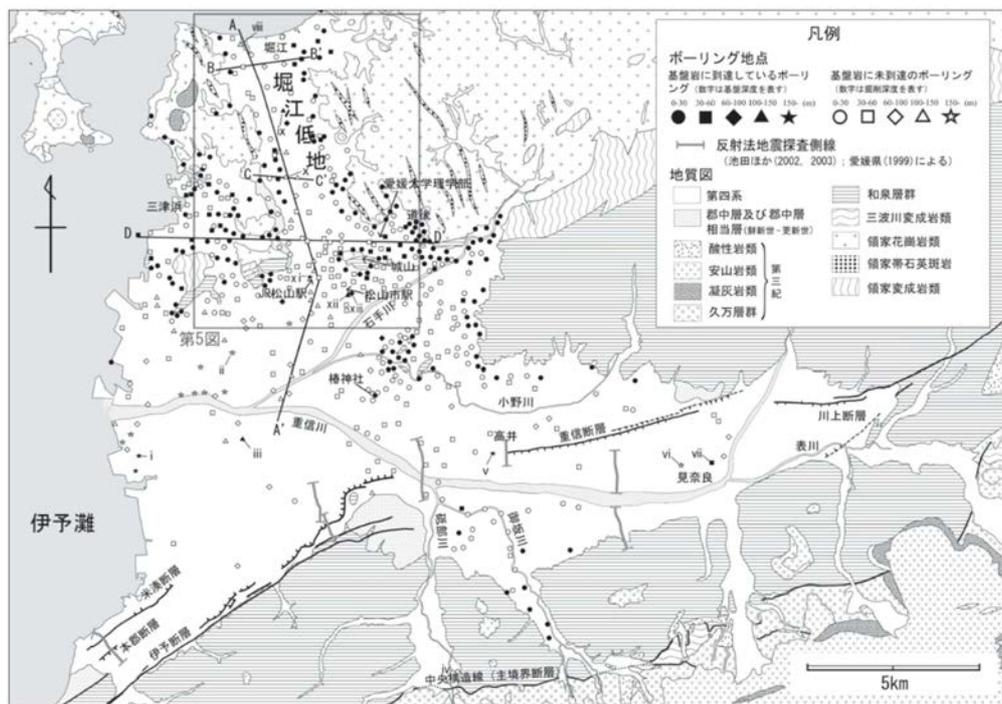


図 2. 2. 4-5 松山平野周辺における地質図および主なボーリングの位置図

松山平野下の第四系は、沖積層の層厚は石手川扇状地下において数～10m、堀江低地において15～25m であると推定されている。また、これらの地域の沖積層を下部礫層、中部泥層、上部砂礫層および上部泥層に区分している。このうち、中部泥層、上部砂礫層および上部泥層は完新統に相当し、中部泥層にはアカホヤ火山灰に対比されている火山灰が挟まれている。また、下部礫層は更新統最上部に相当し、最終氷期に堆積した扇状地性の堆積物と考えられている。

一部の地域では、堆積物中に含まれる炭質物の $^{14}\text{C}$ 年代値などから堆積年代が推定されている。 $^{14}\text{C}$ 年代値としては、重信断層沿い高井東の地下約2mのシルト～砂層における  $5,410 \pm 140 \sim 6,360$

±330yBP, 米湊断層周辺の低位段丘の地下 10~30m の細粒層における 29,560±1,290~39,750±510yBP の年代値が報告されている。また, 城山北部および堀江低地下の上部泥層は弥生時代前期 (4000~2500 年前) に堆積したことが推定されている。一方, 図 2.2.4-5 のボーリング vi における地下 153.80~155.40m の粘土層からはメタセコイアの花粉化石が報告されており, この堆積物は上部鮮新統~下部更新統とされ, 郡中層に対比されている。

松山平野周辺で確認されている活断層は, 中央構造線の活断層系に属する川上断層, 重信断層, 伊予断層, 米湊断層 (褶曲) および本部断層であり, 全て平野南部に位置する。これらの断層の走向は, 御坂川を境に東側では東西もしくは東南東-西南西, 西側では北東-南西方向である。このうち, 平野南東部に存在する重信断層は走向約 N75~85° E であり, 右ずれ南落ちの断層である。また, 反射法地震探査によると, ほぼ垂直な重信断層を挟む基盤岩上部の深度は南側が約 450m 落ちている。これに対し, 平野南西部に位置する伊予断層の走向は N50° E であり, 北落ちの断層である。伊予断層の運動方向は右横ずれ成分に卓越しており, 北落ちの逆断層成分を持つと考えられている。また, 伊予断層東部周辺では圧縮性バリアの存在が示されている。以上の見解は重信断層と伊予断層の間に大きな不連続が存在することを示唆している。一方, 重信断層と伊予断層の間に両者を連続させる断層を推定している。

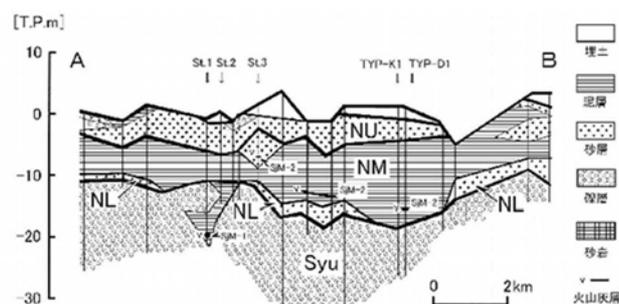
松山平野の地下水は, 重信川水域の伏流水が主である。近年では, 新たな水資源として松山平野南東部の堆積盆の深層地下水が注目されている。

### 3) 周桑・西条平野

臨海部の平野地下の基盤岩上面の高度は, 標高-200m 以下~-70m にある。平野の地下地質は, 更新統周桑層と完新統壬生川層に区分される。

周桑層は, 鮮新統岡村層の上位にある砂礫層である。平野南西部では和泉層群の基盤岩を不整合で覆う。内陸部の周桑平野では, 表層地質を構成しており, 標高約 50~3m の間に分布する。

また, 壬生川層は周桑層を多く比較的細粒の岩相の地層である。本層は西条平野臨海部の標高 20~3m に分布する。層厚は最大で 20m である。



Syu: 周桑層, NL: 下部壬生川層, NM: 中部壬生川層, NU: 上部壬生川層, Sjm-1: 西条港1火山灰 (AT), Sjm-2: 西条港2火山灰 (K-Ah)

図 2.2.4-6 西条平野臨海部の東西方向地質断面 (Kawamura and Minakuchi, 2008)

#### 4) 新居浜平野

平野の東西には白亜系和泉層群からなる丘陵が，南側には三波川帯の結晶片岩からなる石鎚山脈がある．平野北端の臨海部付近の地下には基盤岩として領家花崗岩類があり，その上面の深度は臨海部で 100m 以上，内陸部で 30～50m である．平野西部には南端に岡村断層が，平野南端には石鎚断層の活断層がある．

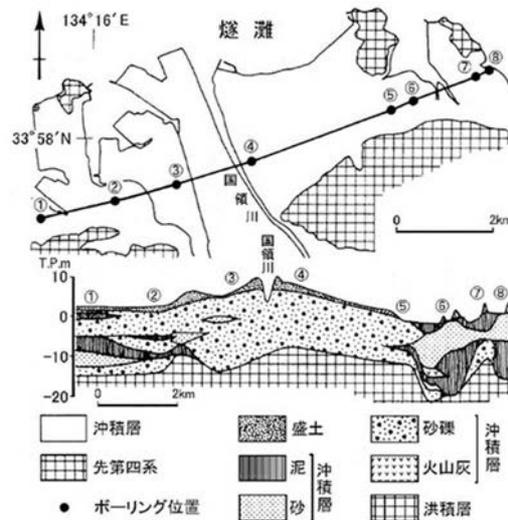


図 2. 2. 4-7 新居浜平野の第四系の分布と地質断面（鹿島・須槍，1991 を修正）

#### 5) 八幡浜・保内低地

当地に分布する更新統及び完新統は，下位から順に宇和海層，八幡浜港層である．

更新統宇和海層は，八幡浜・川之石両地区に分布し，三波川帯の結晶片岩類に不整合で重なり，八幡浜港層で覆われる一連の礫層，砂層，泥層である．

また，完新統八幡浜港層は，八幡浜・川之石両地区に分布し，宇和海層を覆い，主に海成の泥層から構成される地層である．

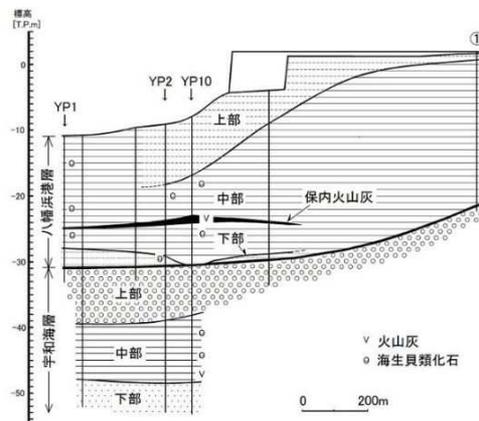


図 2. 2. 4-8 八幡浜港付近の地質断面

## 6) 宇和島低地

当地に分布する更新統及び完新統は、下位から順に宇和海層、宇和島層である。

更新統宇和海層は、八幡浜地区に分布するものと同じで、一連の礫層、砂層、泥層であり、上位に宇和島層が不整合で重なる。層厚は10m以上である。

また、完新統宇和島層は、宇和島低地及び宇和島湾周辺の低地に分布する。宇和海層を覆うもので、主に海成の泥層から構成される地層である。

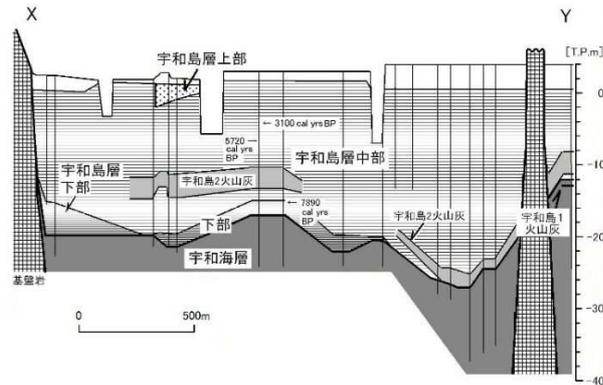


図 2.2.4-9 宇和島低地臨海部の地質断面

## 7) 宇和盆地

基盤岩として秩父帯の石城層が基盤岩となり、盆地南端部の山麓や田之筋低地沿いに段丘がみられる。さらに、盆地の沖積低地の下には厚さ約100mの未固結堆積層である宇和層が分布する。

## 8) 大洲・内子盆地

当地では、肱川、小田川、中山川などの主要河川及びその支流に沿って、更新統及び完新統が分布する。第四系は、段丘面を保存していない地層、段丘堆積物、完新統に区分される。

段丘面を保存していない地層は、下部更新統の富士山層と中部更新統の五百木層に区分される。両層とも礫層を主体とし、植物化石を含む有機質層や火山灰層を挟んでいる。

段丘堆積物は、高位段丘堆積物（中部更新統の上部）、中位段丘堆積物（上部更新統の下部）、低位段丘堆積物（上部更新統の上部）に区分される。これらは礫層を主体とする地層である。

完新統は、後背湿地及び谷底低地堆積物、自然堤防堆積物、扇状地及び崖錐堆積物、現河床堆積物に区分される。

## 2.3 河川

### 2.3.1 対象河川の概要

本研究では第3章に記述する四国4県の代表的な河川において土質資料を収集した。図2.3.1-1に資料を収集した対象河川の位置図を示す。表2.3.1-1に対象河川の基本諸元を示す。愛媛県は県都・松山市を貫流する重信川，香川県は県内で最大の流域面積を有する土器川，徳島県は県内で最大の流域面積を有する那賀川と四国最大の流域面積を有する吉野川の派川である旧吉野川，高知県は県内で最大の流域面積を有する四万十川と県都・高知市を貫流する鏡川で資料を収集した。対象河川は高知県の鏡川を除き下流域を国土交通省が管理する一級水系である。流域面積は127～2,186km<sup>2</sup>，幹川流路長は25～196km，生起しうる洪水規模を示す基本高水流量は1,500～17,000m<sup>3</sup>/sである。対象河川のうち，四万十川と那賀川は基本高水流量が10,000m<sup>3</sup>/sを超える大規模な河川に該当する。



図 2.3.1-1 対象河川の位置図

表 2.3.1-1 対象河川の諸元

県名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	幹川流路長 (km)	基本高水 流量(m <sup>3</sup> /s)	比流量 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	流域人口 (万人)	支川数	備考
愛媛県	重信川	445	36	3,300	7.4	23	74	
香川県	土器川	127	33	1,700	13.4	3.8	10	
徳島県	旧吉野川	213	25	1,500	7.1	—	—	派川
	那賀川	874	125	11,200	12.8	5.8	75	
高知県	四万十川	2,186	196	17,000	7.8	10	319	
	鏡川	170	31	2,380	14	8.2	—	2級水系

### 2.3.2 河川特性

図 2.3.2-1 に河川の規模や洪水時の外力の指標となる流域面積と幹川流路長および比流量<sup>1)</sup>(基本高水流量を流域面積で除した値)の関係図を示す。四国内の河川は、四国のほぼ中心を東西に貫流して紀伊水道に流下する四国最大の流域面積を有する吉野川を境界にして南北で特性が異なっている。瀬戸内海に河口を有する重信川や土器川は吉野川以南の河川（高知県の鏡川を除く）に比べて流域面積が小さく幹川流路が短い。旧吉野川は吉野川の下流域で分派する派川であるため単独流域の河川とは異なる特性を示す。峻険な四国山地を水源とする那賀川、四万十川は流域面積も他河川に比べて大きく、幹川流路長も長い。洪水時の営力を示す比流量は、土器川、那賀川および鏡川で 10 以上を示している。四国は他地域に比べて降雨量が多いため流域面積の割に比流量が大きく、特に流域面積が狭い河川ほどその傾向が認められる。

図 2.3.2-2～図 2.3.2-3 に対象河川の河口から 30km 地点までの河川の縦断勾配と川幅の変化特性を示す。本研究は液状化の要因と土質特性との関係を明らかにすることを目的としたものである。河口域に形成される平野部での液状化の発生が想定されるため、河川における下流域の地形特性に着目した。図 2.3.2-2 に示す河川縦断図は、河川整備基本方針の資料として公表されている国や県の管理区間の縦断図のデータ<sup>2)</sup>とそれより上流区間の国土地理院の地図データをもとに 2km ピッチで読み取った河道内の標高データに基づき作成したものである。図 2.3.2-3 は、同様に国土地理院の地図データをもとに河口から 2km ピッチで堤防や自然河岸の位置をもとに川幅として測定して作成したものである。

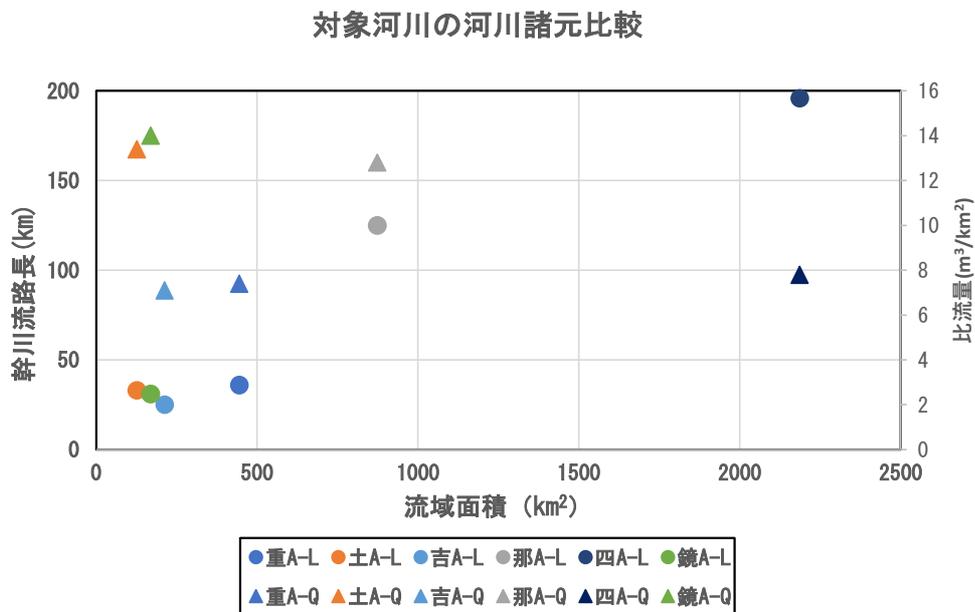


図 2.3.2-1 対象河川の流域面積～幹線流路長～比流量の関係  
(凡例の「A-L」は流域面積～幹線流路長, 「A-Q」は流域面積～比流量を示す)

図 2.3.2-2 では、瀬戸内海に河口を有する重信川と土器川とそれ以外の河川で縦断特性に明確な違いが見られる。重信川と土器川は平均河床勾配が約 1/120 とほぼ同じ縦断勾配を示し、河口から 30km の地点では標高が 300m 近くに達している。一方、吉野川以南の河川では、河床勾配が約 1/500 より緩勾配で、那賀川や四万十川など基本高水流量が 10,000m<sup>3</sup>/s を超過する大河川では 1/700~1/1,500 と緩勾配になっている。流域面積が 200km<sup>2</sup> よりも小さく、幹川流路長や比流量がほぼ同程度の扇状地河川である土器川と鏡川でも、河床勾配の特性は異なっていることが分かる。(鏡川は 15.6km 地点にダムが設置されているため縦断勾配の図示は 14km までとしている)。

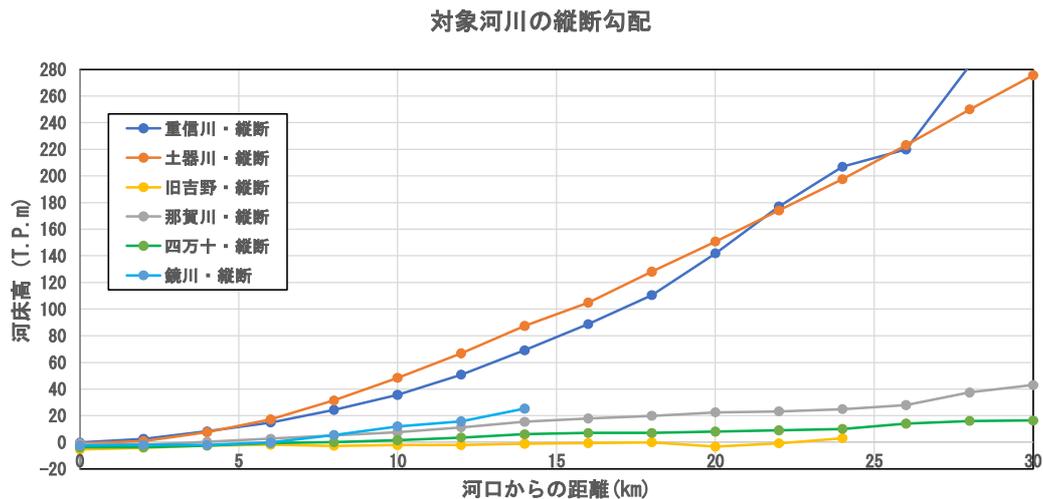


図 2.3.2-2 対象河川の河口から 30km の区間における縦断勾配の比較

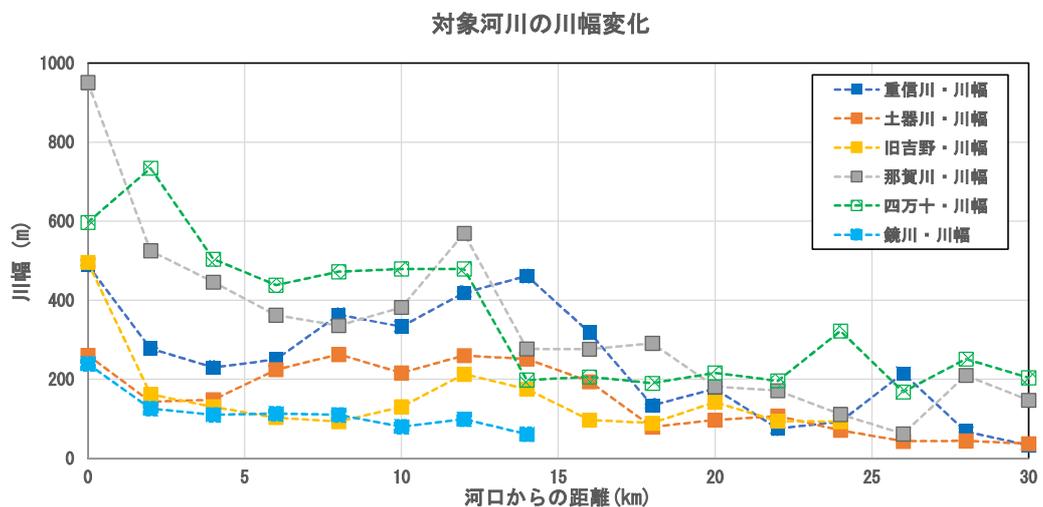


図 2.3.2-3 対象河川の河口から 30km の区間における川幅の比較

図 2.3.2-3 では、流域面積が 500km<sup>2</sup> を超える那賀川や四万十川の大河川と 500km<sup>2</sup> より小さい河川で特性が分かれている。大河川では河口より約 10km 程度の平野部を形成する区間では川幅が約 400m 以上で上流にいくに従い川幅が漸減している。瀬戸内海に河口を有する重信川と土器川は川幅特性でも近似しており、川幅の値は異なるが河口から約 15km 付近までは川幅の変化が比較的少ない。この傾向は吉野川以南では鏡川も同様の傾向を示している。

対象河川のうち派川である旧吉野川を除けば、いずれも地形的には扇状地河川である。河川の縦断および川幅特性から吉野川を境界として瀬戸内海に河口を有する河川では、流路が短く河床勾配が急勾配で、かつ、河川周辺の扇状地の地形勾配も急である特性を有すると考えられる。吉野川以南の河川は同じ扇状地河川であっても河床勾配は吉野川以北の河川に比べて緩勾配であり、河川周辺の扇状地の勾配も緩いと言える。これらの河川や河川周辺の地形勾配は、河川周辺の堆積環境との関係が認められ、後述の土質特性のまとめでも明らかのように重信川や土器川では掃流力が大きいため礫質土の割合が高く、吉野川以南の河川では砂質土の割合が高い傾向にある。

### 2.3.3 河川周辺の地形特性

河川周辺の堆積環境を考察するうえで、国土地理院が作成している治水地形分類図<sup>3)</sup>が有用である。治水地形分類図は、治水対策を進めることを目的に、国・都道府県が管理する河川の流域のうち主に平野部を対象として、扇状地、自然堤防、旧河道、後背地などの詳細な地形分類を示し、氾濫域の土地の性状や変化の過程、地盤高などを明らかにしたものである。

図 2.3.3-1～図 2.3.3-6 に対象河川の治水地形分類図を示す。重信川では兩岸の支川上流域および本川上流域に扇状地が分布し、河川沿いは氾濫平野が分布し多数の旧河道が認められる。これは平野部における流路の変遷が活発であったことを示唆している。土器川では河口から 5km 地点付近まで本川により形成された扇状地が多く分布している。那賀川では土器川と同様に河口から 5km 付近まで本川によって形成された扇状地が多く分布している。扇頂部から海岸部に向けて旧河道が網状に多数存在していることから流路変遷が著しかったことが示唆される。河口部周辺の氾濫平野では旧河道沿いに小規模ながら自然堤防が形成されている。四万十川では、他河川と異なり、扇状地が形成されておらず、河川周辺の氾濫平野も小規模で限定されている。河川沿いには小規模な自然堤防が点在している。鏡川では河口から 5km 付近まで本川による氾濫平野が形成され、その氾濫平野では派川との間や河川沿いに自然堤防が形成されている。河川周辺の地形分類より、河口部の縦断勾配が 1/1,000 より緩勾配の四万十川、旧吉野川を除き、河口から 5km 遡った上流から扇状地が多く分布する特性が示唆される。瀬戸内海に河口を有する重信川および土器川では、河川氾濫による堆積地形を特徴づける自然堤防は分布していないが、吉野川以南の河川では河口部付近の氾濫平野において自然堤防が分布している。これは同じように扇状地河川の特性を有していても河床勾配により土砂の流送状況が異なったものと考えられる。

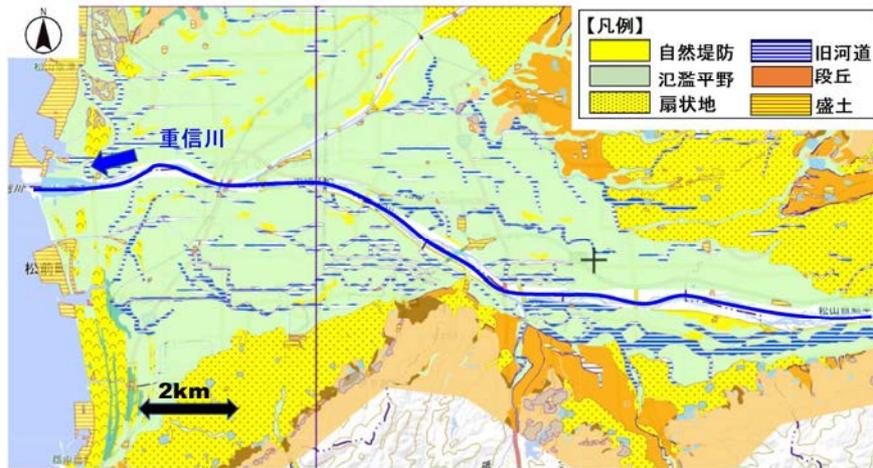


図 2.3.3-1 重信川(愛媛県)の治水地形分類図



図 2.3.3-2 土器川(香川県)の治水地形分類図

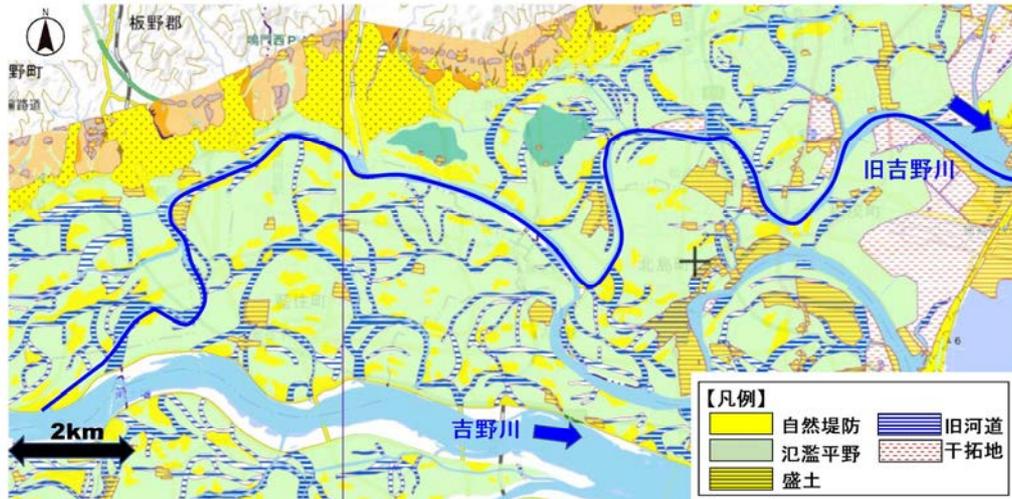


図 2.3.3-3 旧吉野川(徳島県)の治水地形分類図

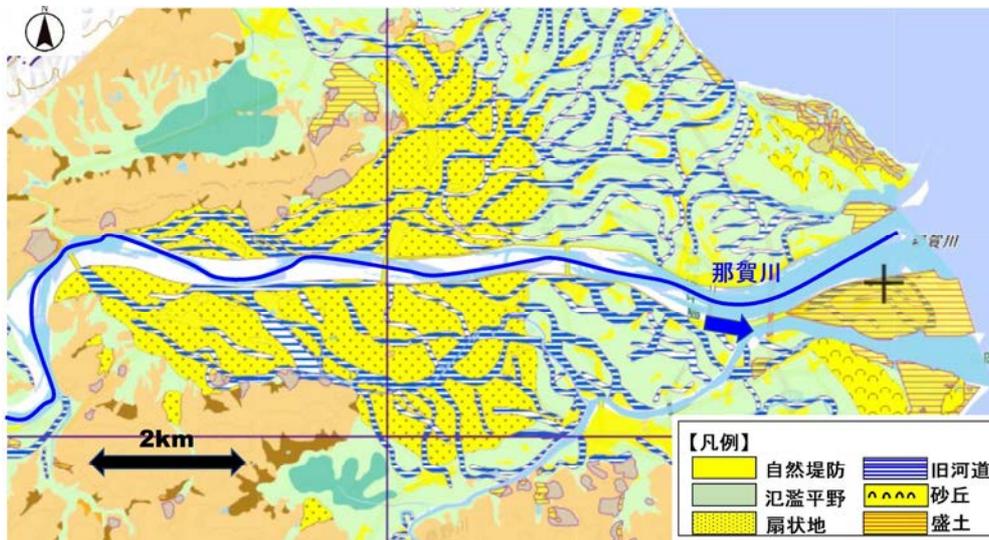


図 2.3.3-4 那賀川(徳島県)の治水地形分類図

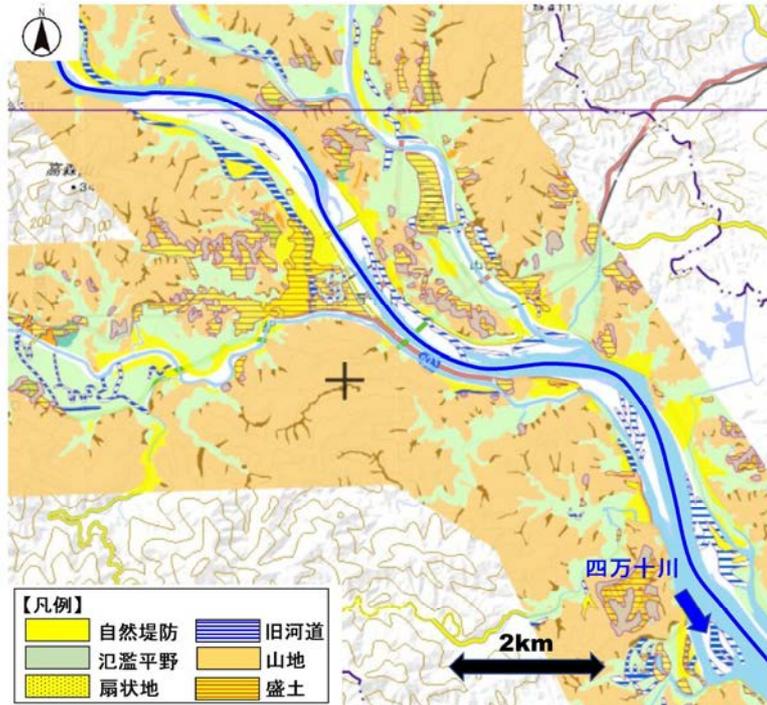


図 2. 3. 3-5 四万十川(高知県)の治水地形分類図

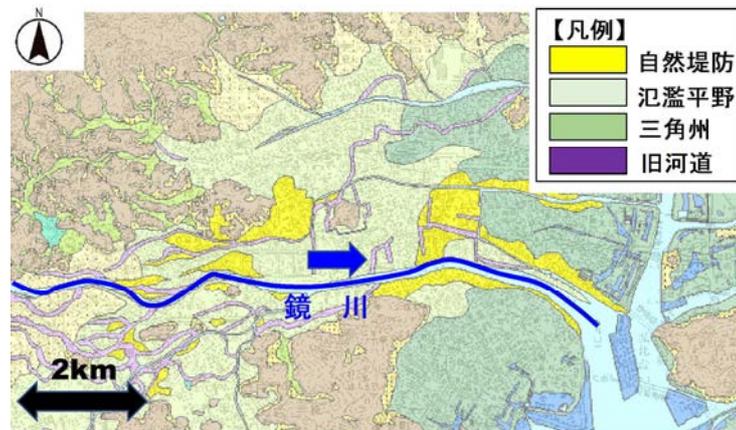


図 2. 3. 3-6 鏡川(高知県)の治水地形分類図

#### 2.3.4 液状化と河川地形との関係性

一般的に液状化は地下水位が高い河川下流域の低平地で発生する可能性が高いことが示されている<sup>4)</sup>。対象河川のうち、河床勾配が急で、平野部において扇状地地形が多く分布している重信川や土器川では後述の詳細な土質特性の分析でも裏付けられるように礫質土の割合が高い傾向にある。扇状地河川であっても河床勾配が緩い那賀川、鏡川および四万十川では砂質土の割合が高い傾向が見られる。そのため、土質的には液状化の可能性が高いと考えられる。本項の対象河川の地形特性の分析から、吉野川を境界として南北で河川特性および河川周辺の地形特性が異なり、河川周辺の堆積環境も異なることから液状化の発生特性にも違いが見られると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 例えば、石原安雄・佐藤基：洪水比流量に関する研究，京都大学防災研究所年報，第18号，1975.
- 2) 国土交通省：河川整備基本方針・整備計画について，国土交通省 HP
- 3) 国土地理院：地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp>
- 4) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ 745-2008，東京大学出版，2011.

## 2.4 港湾

### 2.4.1 対象港湾の概要

本報告では地盤調査および土質試験データを収集、分析を実施した。本項ではこれらのデータ分析を実施した各港湾の概要を紹介する。

#### (1) 高松港（香川県）

高松港は香川県の中央部よりやや東に位置し、对本州及び離島を含めた海上交通の要衝として、古くから地域の物流及び人流の拠点、また地域開発の中核として重要な役割を果たしている。背後圏は、瀬戸大橋、高松空港及び四国横断自動車道などの高速交通体系が充実し、四国と本州との連絡拠点としての機能を有し地域経済活動における中心的な役割を担っている。そのため、高松港は外貿及び内貿貨物を取り扱う物流機能、旅客船及びフェリーによる交流機能といった様々な機能を有している。

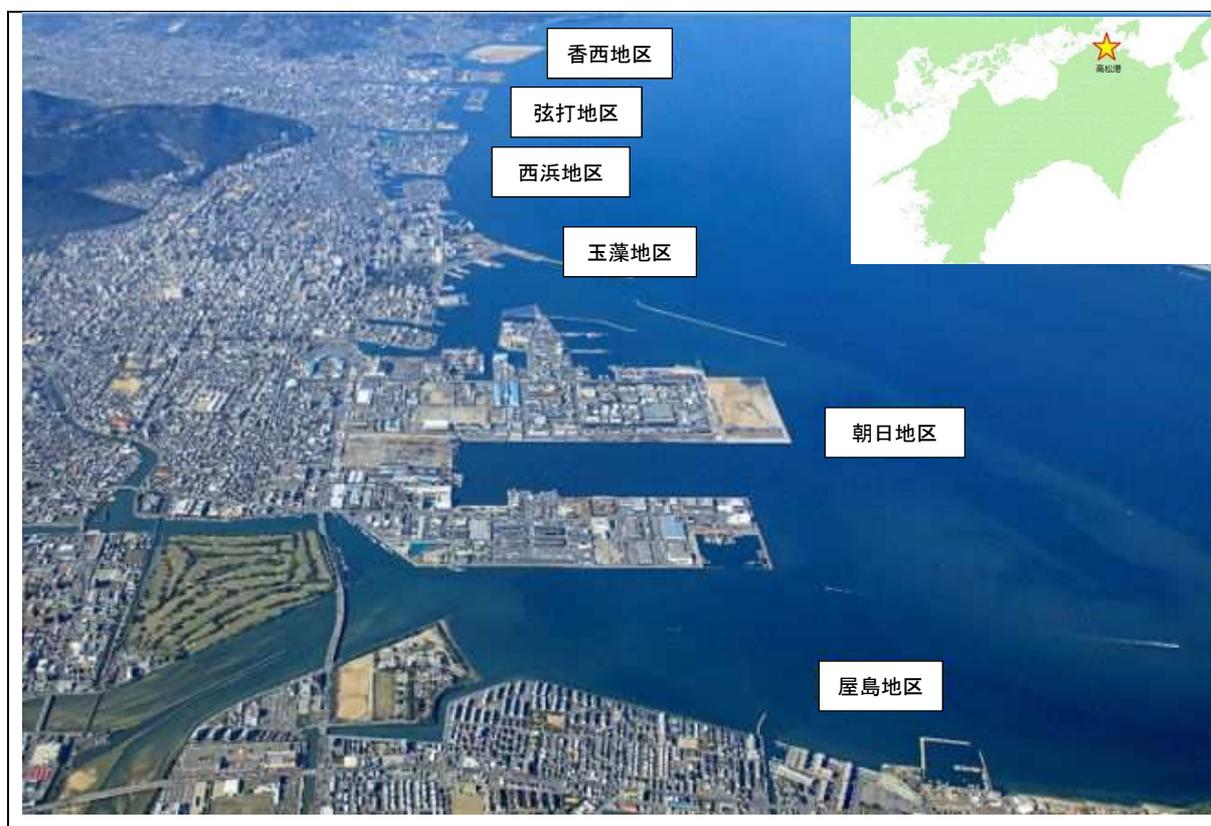


写真 2.4.1-1 高松港の様子（2016 撮影）

高松港は高松平野の北側臨海部に位置する。高松平野は瀬戸内海の備讃瀬戸南岸の平野で、南方の讃岐山脈から北流する香東川や春日川などの河川により、扇状地～三角州が形成されている。高松平野西側の扇状地は香東川により形成され、表層は砂礫層が覆う。高松平野東側には春日川などに形成された小規模な扇状地、下流域には氾濫原～三角州からなる海成平野が形成されている。高松港は高松平野の海岸線付近の塩田跡や浅海を干拓、埋立てなどにより造成されている。

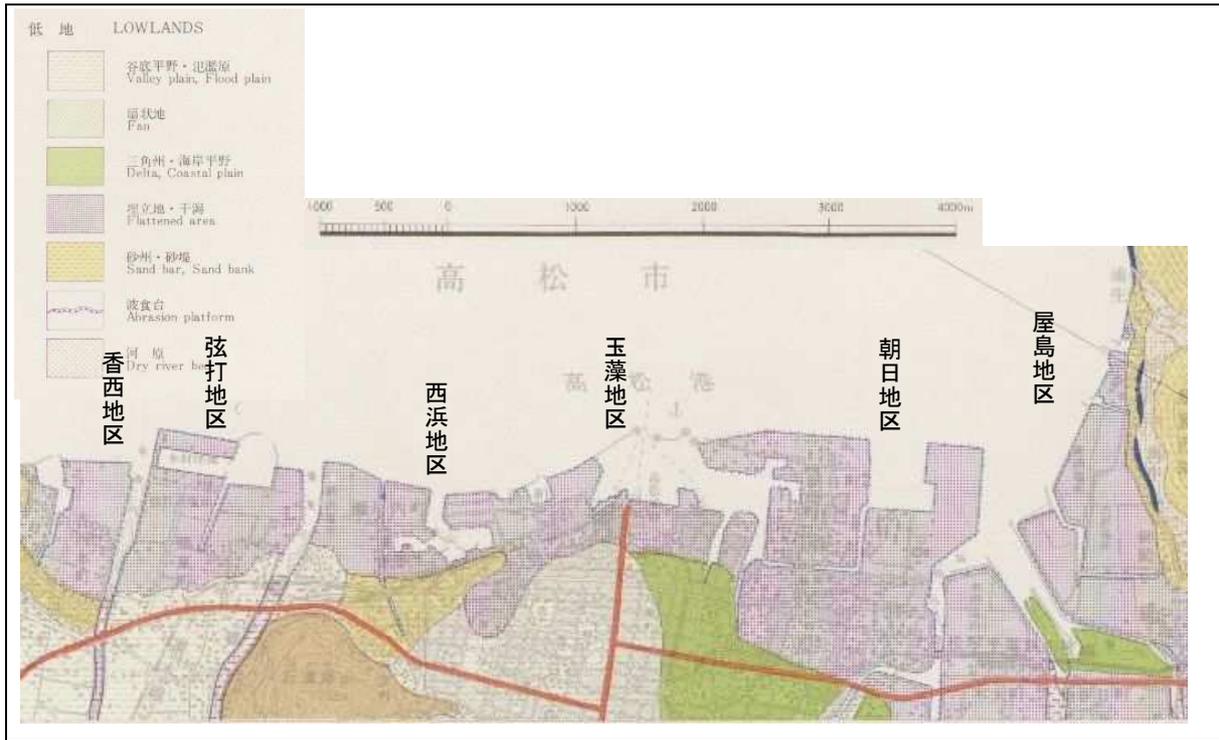


図 2.4.1-1 高松港付近の土地分類

国土交通省 国土調査（土地分類調査・水調査）昭和50年3月 香川より抜粋・追記

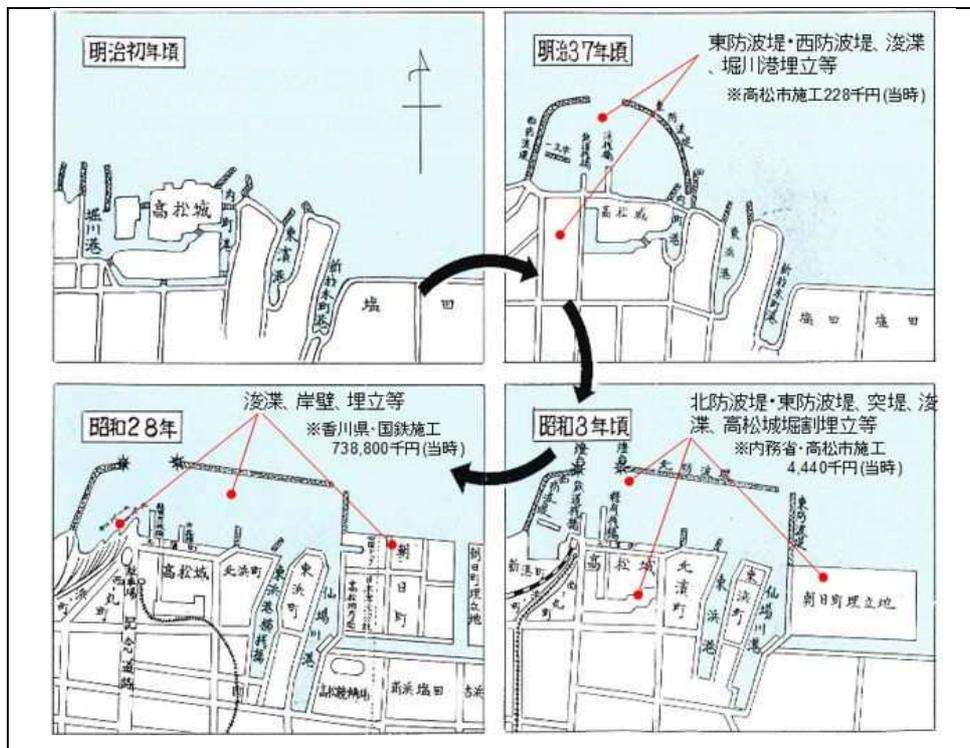


図 2.4.1-2 高松港の工事履歴

## 高松港の工事履歴（昭和 28 年頃まで）

明治 30 年に港の改修事業着手

⇒東防波堤・西防波堤，浚渫，堀川港等の埋立（明治 30 年～37 年）

⇒明治 43 年に宇野・高松間に鉄道連絡船が就航．貨物船の増加

⇒北防波堤，東防波堤，浚渫，高松城堀割の埋立（明治 39 年～昭和 3 年）

⇒新たな岸壁の設置等（昭和 22 年～28 年）

（図 2.4.1-2 参照）

高松港の改修事業は明治 30 年に着手されており，順次，防波堤や突堤などの建設および浚渫，埋立てが行われてきた．

1985（S60）年頃にはサンポート高松再開発が行われ，現在では朝日地区において耐震強化岸壁などのプロジェクトが実施中である．

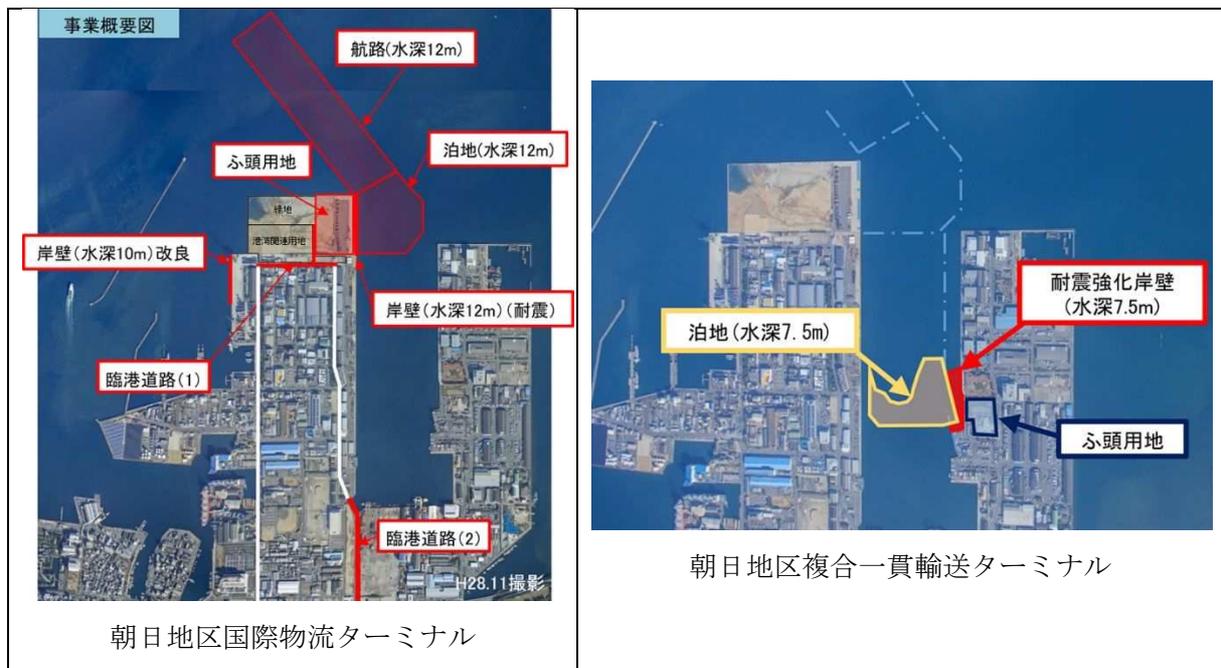


図 2.4.1-3 高松港 実行中のプロジェクト

参考ホームページ

国土交通省地方整備局高松港湾・空港整備事務所

<https://www.pa.skr.mlit.go.jp/takamatsu/main/kannai/zyuyou.html>

## (2) 撫養港（徳島県）

撫養港は徳島県の北東部に位置し、背後に鳴門市の中心市街地を擁している。淡路島を介し近畿との交通が至便なことから、遠く奈良・平安の時代から港として開かれていた。

蜂須賀氏が阿波に封じられて以後は、撫養の塩田で生産される塩、吉野川の上流域で産出される木材、中下流域で栽培される藍、煙草等を、主として大阪、遠くは北陸、東北地方までも積み出し、近世まで撫養港は阿波第一の商港として栄えてきた。

しかし、港口部に岩礁が多く、撫養川河口は水域が狭い。また、小鳴門海峡は潮流が早いなど不利な条件も多い。昭和40年には大桑島地区物揚場（-4m）180mが完成している。

平成3年から、高速旅客船の大阪・神戸航路が開設され、鳴門方面から本土へのアクセス向上に寄与していたが、明石海峡大橋の開通にともない航路は廃止された。

近年は、食料品の移出や石炭の移入などで利用されている。



写真 2.4.1-2 撫養港の様子（徳島の港湾 2021 より引用・加筆）

撫養港は小鳴門海峡に面している地区と紀伊水道に面している地区に分かれており堆積環境が異なる（図 2.4.1-4 参照）。また、撫養川を境に岡崎地区と桑島地区に区分される。紀伊水道沿岸部は浜堤など微高地が形成されている。小鳴門海峡に面する撫養港付近の低地は旧塩田や干拓地、埋立て地などの人工平坦地が広がる。

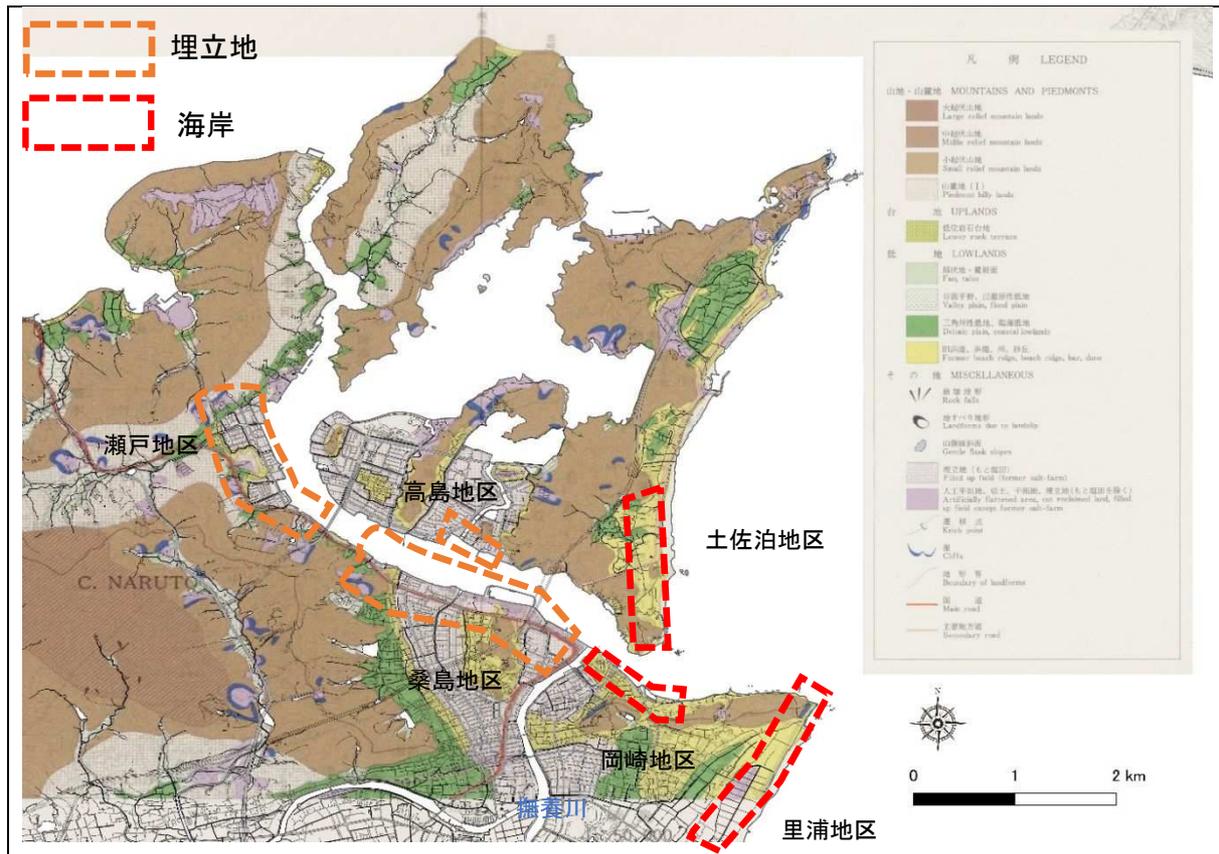


図 2.4.1-4 撫養港付近の土地分類

国土交通省 国土調査（土地分類調査・水調査）昭和 61 年 3 月 鳴門海峡より抜粋・加筆

桑島瀬戸地区では平成 18～29 年度にかけて、南海トラフ地震津波の発生による既存堤防の沈下・倒壊、その後に来襲する津波による背後地域の浸水被害を防ぐため、四国地方整備局において堤防の地震津波対策として、



て堤防の地震津波対策として、地盤改良や堤防の嵩上げ・補強が実施された。

(左図参照)

図 2.4.1-5 撫養港海岸直轄海岸保全施設整備事業

参考ホームページ：

徳島の港湾 2021 国土交通省 四国地方整備局小松島港湾・空港整備事務所 徳島県県土整備部運輸政策課

<https://www.pa.skr.mlit.go.jp/komatsushima/pdf/kouwan/20210331.pdf>

### (3) 高知港（浦戸湾・高知海岸）（高知県）

高知港は土佐湾の中央部に位置し、土佐湾から高知市に奥深く沈水した入り江である浦戸湾内と、外洋に面した高知新港に施設を有している。

高知港は古くから他地域との境界を険しい山々に隔てられている土佐の交通の要衝として重要な役割を果たしてきた。

我が国の鉄鋼産業に不可欠な石灰石の産地を背後に有し、積み出し基地としての役割や、韓国との定期コンテナ航路が就航するなど、外貿輸送拠点としての役割を担っている。

また、内航クルーズ船や外航クルーズ船の寄港にも利用されており、観光振興にも寄与している。平成 25 年には高知県の防災拠点港配置計画において、一次防災拠点港に指定されている。

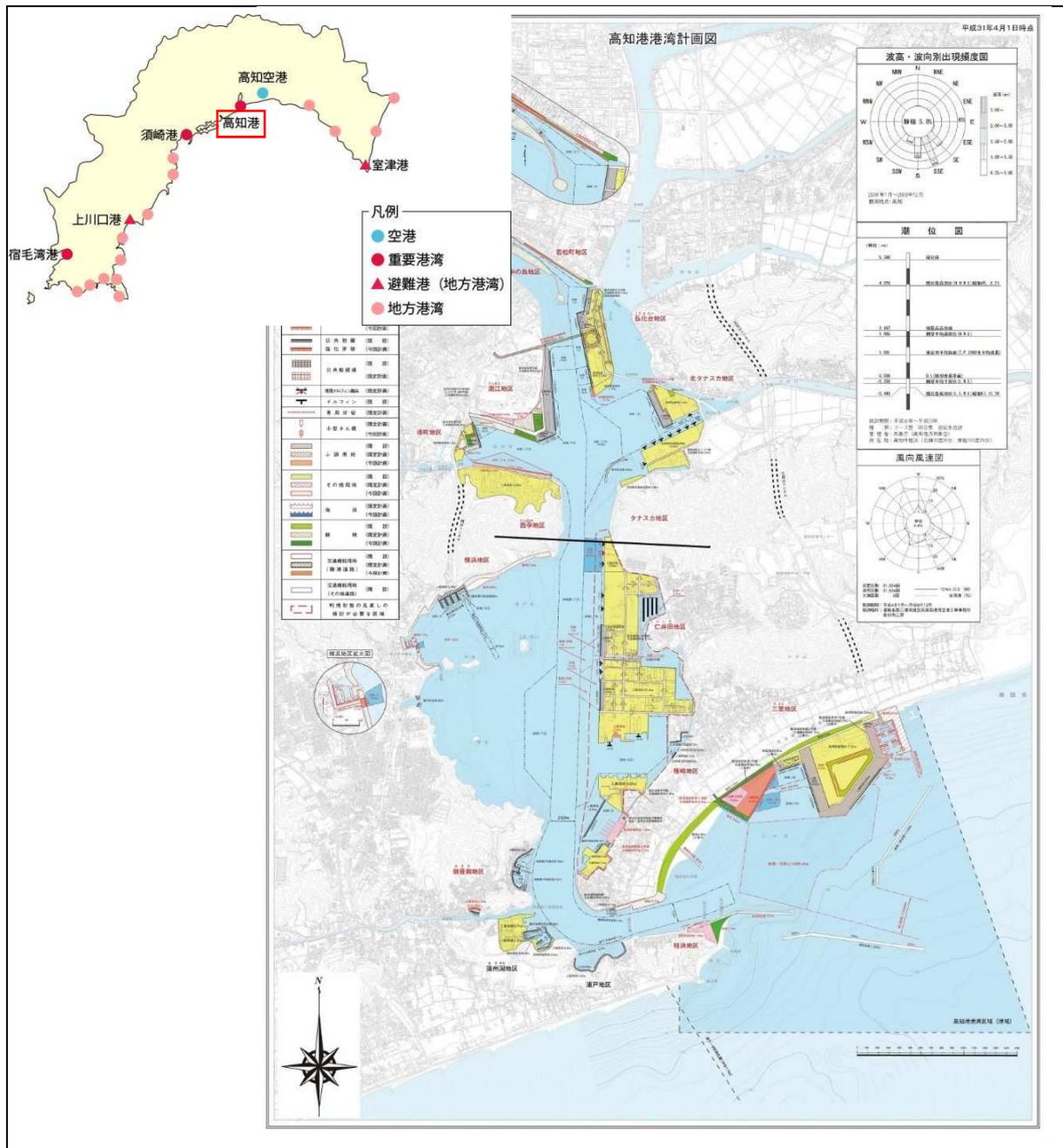


図 2.4.1-6 高知港 港湾計画図

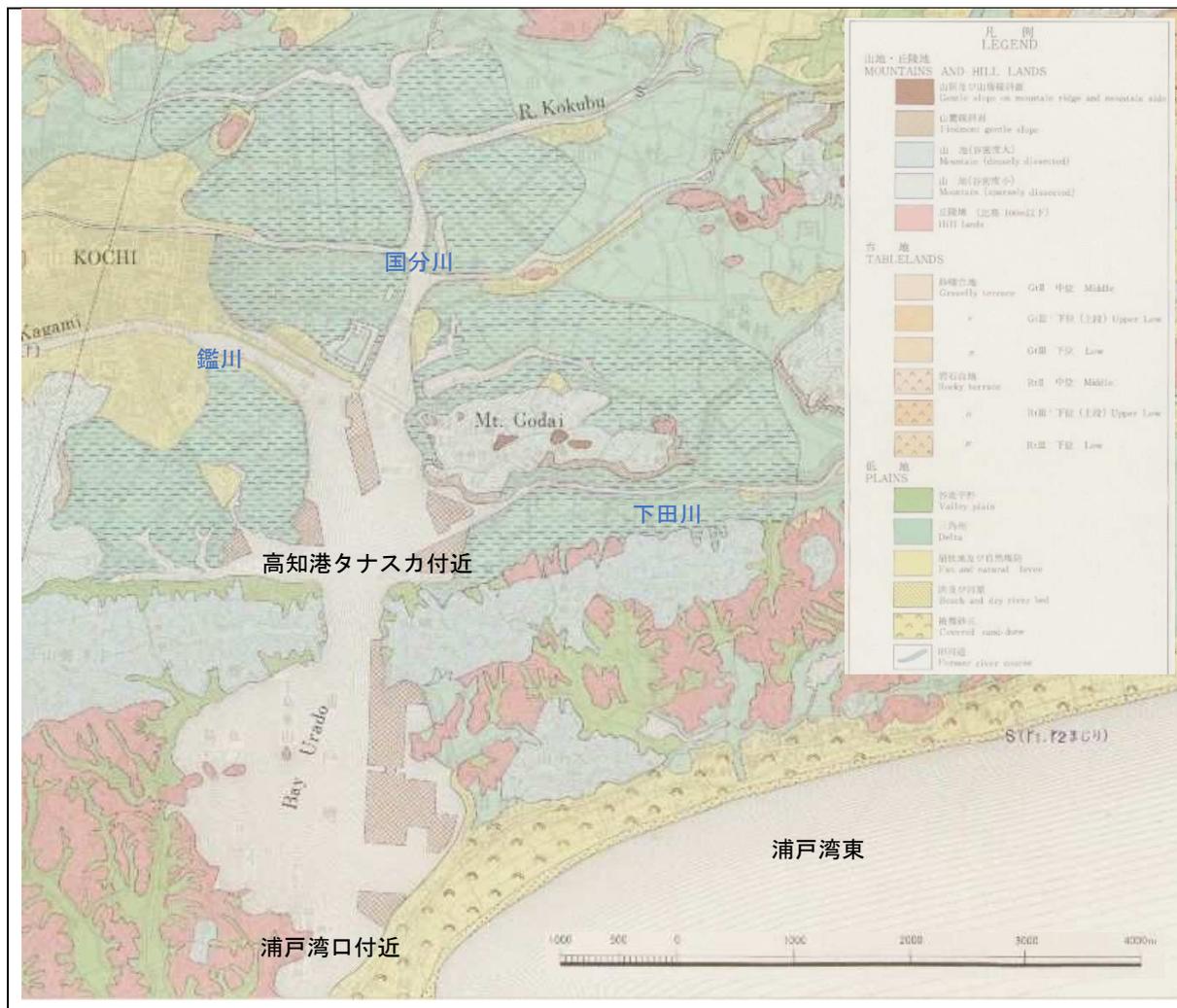


図 2.4.1-7 高知港付近の土地分類

国土交通省 国土調査（土地分類調査・水調査）昭和 41 年 3 月 高知より抜粋

高知平野は物部川により形成された東部の大規模な扇状地性平野と、西部の鏡川や久万川および国分川の浦戸湾流入による複合三角州に大別される。西部に位置する複合三角州が、いわゆる狭義の高知平野といわれている。浦戸湾に流入する各河川は三角州を形成しており、藩政時代以後、人工的に陸地化されたことが知られている。

浦戸湾口付近の太平洋に面する沿岸部には東西方向に被覆砂丘が表層に分布している。

高知新港においては、昭和 63 年度から東工区の岸壁 (-12m) と、その整備効果の早期発現のために不可欠な仮防波堤や防波堤（南）などの整備が行われてきた。岸壁 (-12m) は、仮防波堤や防波堤（南）の整備進捗により静穏度が確保された平成 10 年 3 月より供用を開始している。

その後防波堤（南）の延伸を進め、平成 22 年度までに 1,000m が完成した。また、平成 13 年度より更なる航行船舶や利用船舶の安全性・利便性向上のため、港内の静穏度確保に不可欠な防波堤（東第一）整備を実施しており、平成 30 年度までに延伸完了している。現在は防波堤（南）の延伸及び防波堤(東第一)・防波堤(南)の粘り強い構造への改良を行っている。



写真 2.4.1-3 高知港 整備事業

参考ホームページ：

国土交通省四国地方整備局高知港湾・空港整備事務所

<https://www.pa.skr.mlit.go.jp/kouchi/H/gyoumu.html>

## 2.5 液状化対策事例

### 2.5.1 液状化対策工法

構造物毎に設計基準が策定されており、本項では道路、河川堤防、港湾に関する基準における液状化対策工法の選定の考え方を整理した。

#### (1) 道路構造物

道路の液状化対策工法は、基本的に日本道路協会が発行している「道路土工 軟弱地盤対策工指針」<sup>1)</sup>をもとに検討、設計を行う。同指針では、解表 6-1 の「各対策工法の対策原理と効果」で液状化に対する効果を整理している。

対策目的は、1) 液状化の発生を防止する対策、2) 液状化の発生は許すが施設の被害を軽減する対策の2つに区分され、発生を防止する対策においても、砂地盤の性質改良（密度増大、固結、粒度の改良、飽和度の低下）、有効応力の増大、過剰間隙水圧の消散、せん断変形の抑制に区分される。

液状化対策の原理は、排水、締固め、固結、掘削置換、間隙水圧消散、盛土の補強、構造物による対策に区分される。

液状化に対して効果を発揮する対策工法には様々なものがあるが、一般的には、締固め（サンドコンパクションパイル工法、静的圧入締固め工法等）、固結（深層混合処理工法等）、盛土補強工法等が選定されることが多い。

「各対策工法の対策原理と効果」（表 2.5.1-1）において、液状化対策に関する工法が示されている。

#### (2) 河川

河川堤防の液状化対策工法の検討においては、「土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き」<sup>2)</sup>を参考とすることが多い。

河川堤防の液状化対策では、沈下量を抑制することが目的となる。対策工法は沈下量を低減するという観点から、①：液状化の発生そのものを抑制する対策と、②：液状の発生を許すが堤防の被害を軽減する対策、③：①と②の組合せの3つに大別できる。たとえば、①としては、堤体直下の液状化層を全面的に締固める工法や押え盛土、堤体液状化に対する地下水位低下工法がある。②としては、のり尻に矢板を打設し液状化層の変形を抑制する工法や固結工法、堤体液状化に対する押え盛土やドレーン工があり、液状化の発生を抑制する原理との組合せによって設計の考え方が変わることになる。

基礎地盤の液状化に対しては、のり尻付近の基礎地盤への締固め工法、固結工法、鋼材を用いた工法を対象としている。締固め工法に関しては、浸透安全性への影響も比較的少ないと考えられることから、のり尻付近の基礎地盤だけでなく堤体直下の基礎地盤全体に適用する場合も対象としている。堤体天端の沈下量を低減させるだけであれば、堤体直下全体を改良する必要がない

場合もありうるが、堤体直下を部分改良した場合の地震後の堤防の浸透安全性に関しては不明な点が多いため、堤体直下の基礎地盤全体を改良する場合を対象としている。

堤体の液状化に対しては、押え盛土工法やドレーン工法を対象としている。堤体の液状化する範囲がのり尻よりも低い場合等には、基礎地盤の液状化対策だけで堤体の液状化対策を実施しなくても、十分な耐震性能が確保できる場合も想定される。

表 2.5.1-2 に手引きで取り扱う工法、表 2.5.1-3 に各種施工法とその特徴を示す。

### (3) 港湾

港湾の埋立地の液状化対策については、「埋立地の液状化対策ハンドブック」(運輸省港湾局監修)<sup>3)</sup>を参考に検討することが一般的である。

液状化対策の基本的な考え方は、大きく分けて次の二つがある。

- 1) 地盤を液状化しないようにする方法 (地盤改良による方法)
- 2) 液状化しても支障が生じないように構造物を設計する方法 (構造物対策による方法)

実際には、両者を併用する方法もある。

これらの液状化対策の基本的な考え方をまとめて示したものが図 2.5.1-2 であり、表 2.5.1-4 に代表的な液状化対策工法を一覧として示している。



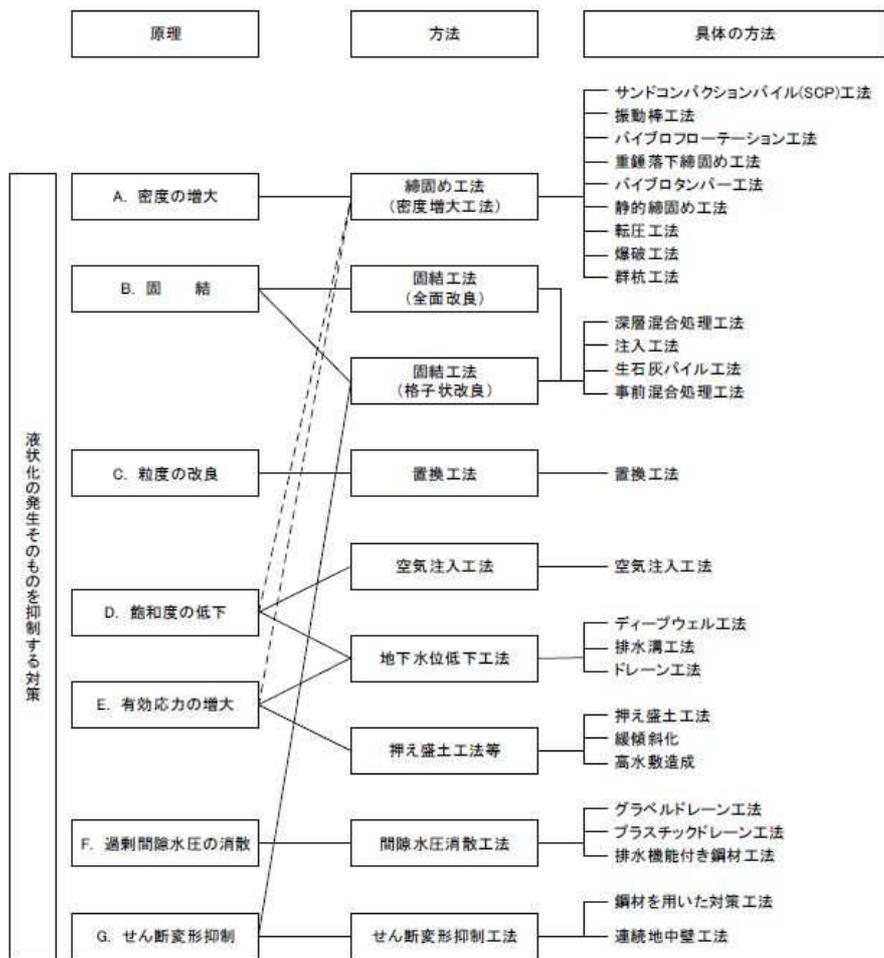


図 2.5.1-1 液状化対策の原理と方法【河川】<sup>2)</sup>

表 2.5.1-2 「河川堤防の液状化対策の手引き」で取り扱う工法【河川】<sup>2)</sup>

対象	工法	大別	位置	代表的な施工法
基礎地盤の液状化	締固め工法	液状化抑制 (密度増大) / 被害軽減	のり尻直下地盤	サンドコンパクションパイル工法
		液状化抑制 (密度増大)	堤体直下全体	静的締固め砂杭工法 砂圧入式静的締固め工法 コンパクションラフティング工法
	固結工法	液状化抑制 (固結) / 被害軽減	のり尻直下地盤	機械攪拌工法 高圧噴射攪拌工法 注入工法
	鋼材を用いた工法	被害軽減	のり尻直下地盤	自立(鋼管)矢板工法 自立(鋼管)矢板工法 (排水機能付き)
堤体の液状化	押え盛土工法	液状化抑制 (有効応力の増大, 粒度の改良) / 被害軽減	のり尻~のり面	
	ドレーン工法	液状化抑制 (有効応力の増大, 粒度の改良) / 被害軽減	川裏のり尻付近	

※「土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き」(土木研究所, H28. 3)p19 に一部加工

表 2.5.1-3 各種対策工法とその特徴【河川】<sup>2)</sup>

対象	工法	工法の原理と概要	工法の特徴	環境条件		地盤条件		経済性	留意事項	施工実績	
				振動騒音	施工による地盤変位	地下水流断	掘径				液状化層適用深度の厚
基礎地盤の液状化対策	押え盛土、高水敷造成、緩傾斜堤	押え盛土の荷重により、地盤に働く土圧を増し、液状化を抑制する。またすべりに対して盛土荷重が抵抗側に働く安定化する。	液透対策、侵食対策も兼ねる。 ・大深でも高密度化が期待できる。 ・施工実績が豊富である。	小	無	無	液状化層に侵襲が問題なし	3m	もともと安い	川裏側の場合、用地が必要。 ・押え盛土自体が液状化しないよう、十分に透水性の良い材料を用いる必要あり。 ・圧密沈下や既設堤防に生じる亀裂に注意。	やや多い
				大	無	無	細粒分に注意	30m	安い	・対象地盤に細粒分が多いと締固まりにくい。 ・周辺地盤に変位をきたすことがある。	多い
				小	無	無	細粒分に注意	20m	安い	・対象地盤に細粒分が多いと締固まりにくい。 ・周辺地盤に変位をきたすことがある。	多い
				小	無	無	細粒分に注意	20m	高い	・対象地盤に細粒分が多いと締固まりにくい。 ・中間層に細粒分を多く含む層があると、その下の層は締め固まりにくい。 ・周辺地盤にやや変位をきたすことがある。	少ない
基礎地盤の液状化対策	グラベルドレーン	透水性の高い砕石を地盤中に打設することにより、地震中に上昇する間隙水圧を速やかに消散させる。	・施工の信頼性が高い。 ・排土式を便えば、施工による地盤変位を小さくできる。 ・設備が小規模で狭い空間でも施工が可能。 ・振動・騒音に対する問題が少ない。 ・設備が小規模で狭い空間でも施工が可能。	小	有	有	大深不適	30m	普通	・周辺地盤に変位をきたすことがある。 ・大深があれば不適。	やや多い
				小	有	有	大深不適	ポーチング可能深度	高い	・大深があれば不適。 ・地下水位汚染に注意。	少ない
				小	有	有	細粒分に注意	ポーチング可能深度	高い	・細粒分が多いと注しづらい。 ・地下水位汚染に注意。 ・施工管理が難しい。	少ない
				小	無	有、ただし鋼材加工により対応可能	細粒分に注意	ポーチング可能深度	普通	・一般に、自立型の対策工では透層を対象とするが、使用鋼材によっては10m程度まで可能性あり。	少ない
堤体の液状化対策	押え盛土	上記、押え盛土と同じ。	液透対策を兼ねる場合がある。	小	中	無	問題なし	-	もともと安い	川裏側の場合、用地が必要。 ・押え盛土自体が液状化しないよう、十分に透水性の良い材料を用いなければならない。 ・軟弱地盤においては圧密沈下が生じ、堤体液状化の範囲が広がる恐れや堤体に亀裂等が生じる恐れがある。	やや多い
				小	小	無	堤体の透水性による	-	もともと安い	・堤体の透水性や堤内地盤の排水路の高さによって堤体内水位の低下効果が左右される。	多い (浸透対策としての実施例)

※「河川堤防の液状化対策の手引き」(土木研究所資料, H28. 3)p20

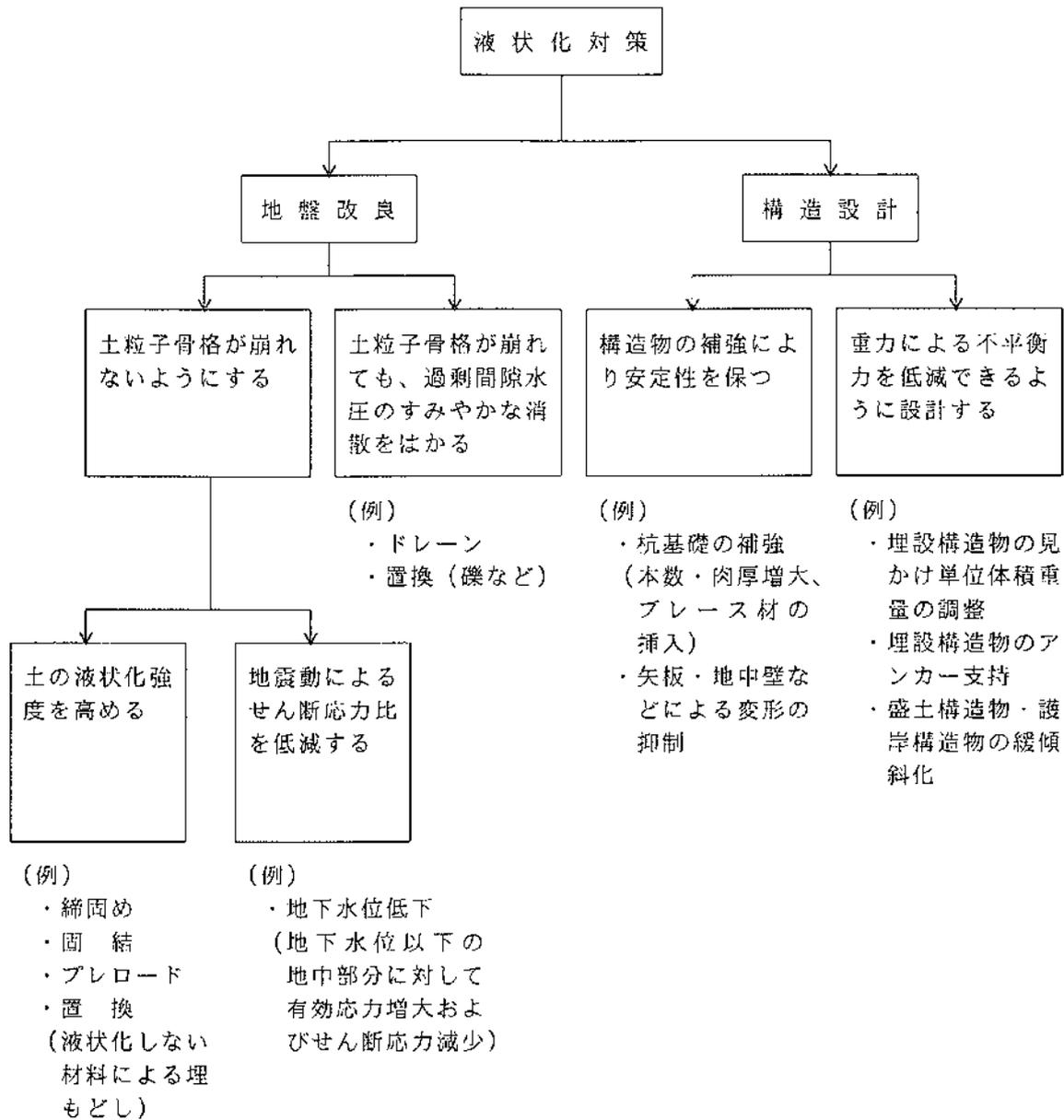


図 2.5.1-2 液状化対策の基本的な考え方<sup>3)</sup>

表 2.5.1-4 液状化対工法の一覧【港湾】<sup>3)</sup>

原理	工法名	適用深度	概要	環境への影響	その他
締固め	サンドコンパクションパイル工	GL-35m程度	鋼管ケーシングを地中に貫入させ、引抜き時に砂を圧入して締固めた砂杭を打設し、同時に周辺地盤を側方に締固める。	騒音・振動が大きい。その程度は施工機械に応じて異なる。	細粒分含有率25～30%程度までの地盤に対して、締固め効果が大い。 N値は25～30程度まで増加。
	振動棒工法 (ロッドコンパクション工法)	GL-20m程度	ロッドの振動圧入と、地表面からの補給材の充填により地盤を締固める。	サンドコンパクションパイル工法よりやや少ないが、騒音・振動がある。	細粒分含有率15～20%程度までの地盤に対して、締固め効果が大い。 N値は15～20程度まで増加。
	パイプフロテーション工	GL-20m程度	偏心荷重を内蔵した振動体による水平振動と先端ノズルからの射水によって周囲の地盤を締固め、間隙に補給材を充填する。	他の締固めによる工法と比較して騒音・振動が少ない。	細粒分含有率15～20%程度までの地盤に対して、締固め効果が大い。 N値は15～20程度まで増加。
間隙水圧消散	重錘落下工法	GL-10m程度	10～30tfの重錘を自由落下させ衝撃荷重で地盤を締固める。	振動・衝撃が大い。	細粒分が多い場合に締固めが困難になる。
	グラブルドレーン工法	GL-20m程度	ケーシングを所定の位置まで貫入させた後碎石を入れ、ケーシングを抜き取り碎石パイルを造る。碎石パイルにより地震時の過剰間隙水圧を消散する。	少ない。	締固めによる対策工法の適用が困難な場合に用いられることが多い。細粒分含有率が大く、低透水性の地盤には適用が困難。
固	排水機能付杭		孔あきの杭を地盤中に打設し、液状化対策を行う。	施工法により騒音・振動がある。	杭により浮上りおよび沈下防止効果が期待できる。
	深層混合処理工法	GL-30m程度	地盤にセメントなどの安定材を骨幹・混合して固化改良する部分改良がある。	少ない。	盛土などの既設物下部の地盤に液状化の可能性がある場合にも、その周囲に改良壁を設けることにより、液状化対策ができる。
置換	事前混合処理工法		埋立土砂に事前にセメントなどの安定材を添加混合しておき埋立を行う。そのため、埋立後の液状化対策が不用となる。	安定材の混合された土砂を水中投下するため、水質管理が必要。	埋立と同時に液状化対策が行えるので、施工期間が短縮でき、また、大量に処理できる。
	注入固化工法		地盤内に薬液などを注入し地質を固結させる。	地下水などの水質管理が必要。 掘削土の処分が必要。	地盤の透水性により適用限界がある。 管理された材料で対象断面を置き換えるため、施工が確実である。
地下水位低下	ディーブウェル工法	15～20m程度の水位低下	液状化対策地盤の周囲を矢板等の止水壁で囲い、ディーブウェルで地下水位を下げると同時に、液状化対策地盤の周囲を矢板等の止水壁で囲い、ディーブウェルで地下水位を下げる。	地下水位低下に伴う周囲への影響および地盤の圧密低下に注意	既設構造物の下部に適用できる。 ランニングコストがかかる。 透水性に不確実さがある。
	連続地中壁工法		液状化の可能性のある地盤を地中壁で囲み、地震時のせん断変形を抑制し液状化防止を図る。	少ない。	液状化した周辺地盤から過剰間隙水圧の伝播も阻止できる。
プレロード	盛土	盛土幅との関係	盛土によるプレロードを地盤に与え過圧密にする。	少ない。	荷重分散があるので、地盤中に伝播される応力の算定を行っておく。
	ディーブウェル工法	15～20m程度の水位低下	一度、液状化対策地盤の地下水位を下げ、その後回復させる。	地下水位低下に伴う周囲への影響および地盤の圧密低下に注意。	既設構造物の下部に適用できる。 透水性に不確実さがある。
構造的対策、その他	杭基礎		液状化が発生しても耐えられようように杭の強度を大きくする。	少ない。	
	シートパイル		地盤をシートパイルで囲い液状化後のせん断変形を抑制する。	シートパイル打設時に騒音・振動がある。	液状化した周辺地盤からの過剰間隙水圧の伝播も阻止できる。
	こま型基礎		こまの形をしたブロックを地盤に敷き直接基礎として用いる。	少ない。	家屋などの小型の建築物に適用されている。

※「埋立地の液状化対策ハンドブック」(運輸省港湾局監修, H9)p142

## 2.5.2 液状化対策事例

ここでは、四国内における液状化対策事例について紹介する。

### (1) 締固め

静的締固め砂杭工法は、無振動・低騒音タイプのサンドコンパクションパイル（SCP）工法であり、密度増大を改良原理とする液状化対策工法である。

#### 1) 徳島県那賀川河川堤防での適用事例<sup>4)</sup>

徳島県を流れる那賀川では、右岸側河口部約 1.5km の範囲で地震・津波被害を軽減するために静的締固め砂杭工法による液状化対策が実施された。

本報告では、「細粒分含有率を多く含む地盤に対する静的締固め砂杭工法の改良効果確認結果について、塑性指数  $I_p$  に着目して分析を行った結果、塑性指数の高い地盤での改良効果の低下、すなわち改良効果  $\Delta N$  が  $I_p$  の大きさに依る可能性が示唆された」ことを報告している。

図-3 にチェックボーリング結果から得られた改良後実測  $N$  値と、既存の現場実測データにおける細粒分含有率  $F_c$  と有効締固め係数  $R_c$  の関係について統計処理をした結果得られた  $F_c$  と  $R_c$  の関係式より求めた改良後想定  $N$  値との関係を下図に示す。概ね既存の設計と同等の結果が得られている。また、図-6 に示すように  $I_p$  の増加とともに改良後  $N$  値の実測値と設計想定  $N$  値の比が減少することが確認された。現行の設計法では塑性指数  $I_p$  が 15 より小さい場合に増加  $N$  値を過小評価している傾向にあると指摘している。

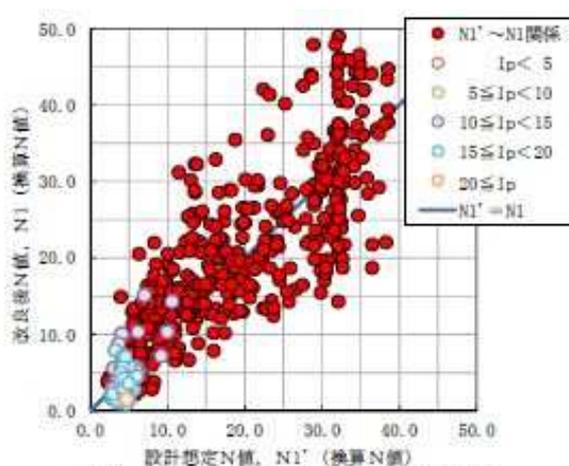


図-3 改良後想定N値～実測N値の関係

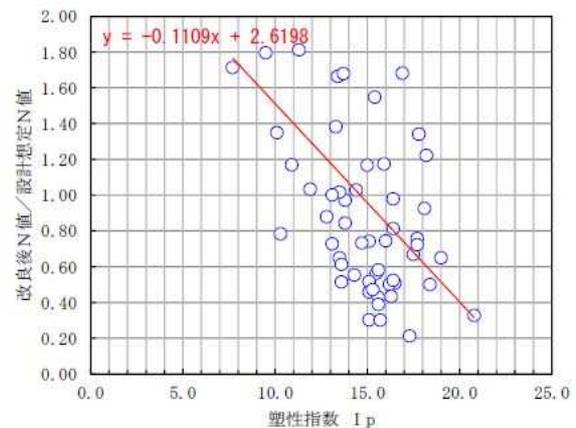


図-6  $I_p$ ～実測N値/設計想定N値の関係

#### 2) 徳島県撫養港海岸堤防での適用事例<sup>5)</sup>

撫養港海岸堤防の液状化対策として、砂圧入式静的締固め工法（SAVE-SP 工法）の試験施工が実施され、本工法が採用された。

本工法は、狭隘地や既設構造物直下の地盤の締固めを可能にするため、流動化した砂を小型施工機でロッドを通して地中に圧入することで地盤を締固めるものである。

従前の圧入式静的締固め工法は、低スランプのモルタルを使用するものであったが、採用され

た SAVE-SP 工法は、従前の工法と比較して以下の特徴を有している。また、小型の施工機械で施工可能である点や低振動・低騒音工法である。

- ① 圧入材は固化しないため、改良後に増杭や再改良が可能である。
- ② セメント系の材料を使用しないため、周辺環境への影響が少ない。
- ③ 圧入材は砂であるため、土地評価価格の下落をもたらさない。
- ④ 削孔と注入が連続して施工可能であるため、施工能率がよい。

### i) 現場状況

施工エリアは、工場建屋、荷揚棧橋、荷揚用アンローダー、機械設備等が近接していた。

地盤の状況は、上層から埋立層（砂礫）、沖積砂層（礫質砂、シルト質砂）の層序となっており、下部はシルト主体の層となっている。換算改良径  $\Phi 700$  で改良率 20% となるよう配杭し、既設堤防直下は堤防背面から 10 度の角度で斜打ち施工とした。目標とする改良強度（杭間  $N$  値）は、埋立層が平均等価  $N$  値 15 以上、沖積砂層が平均等価  $N$  値 16 以上である。

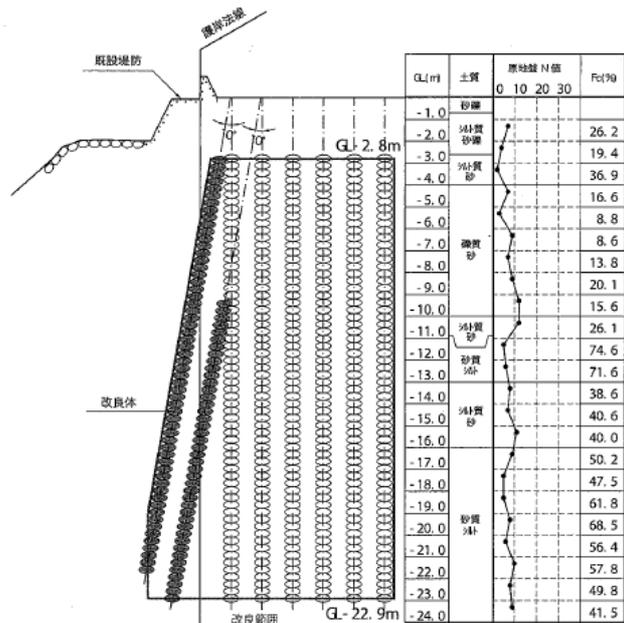


図-8 施工断面図および土質柱状図

### ii) 施工結果

改良範囲に最も近接した水平変位量は最大 37cm、建屋は 1.3cm であった。

改良後の地盤は事前調査に比べ改良全層で  $N$  値の上昇が確認された。通常の締固め工法では細粒分含有率の大きな地盤では締固め効果が得られにくい傾向にあるが本工法では GL-11m 以深の細粒分含有率の大きな深度でも  $N$  値の増加が確認された。目標とする改良強度を満足している。

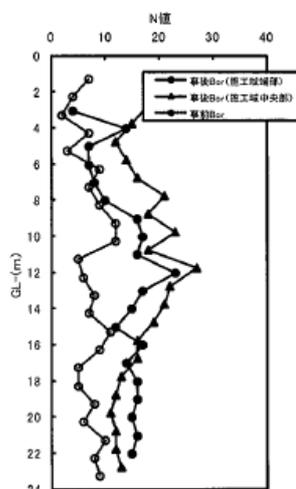


図-10 事後調査結果

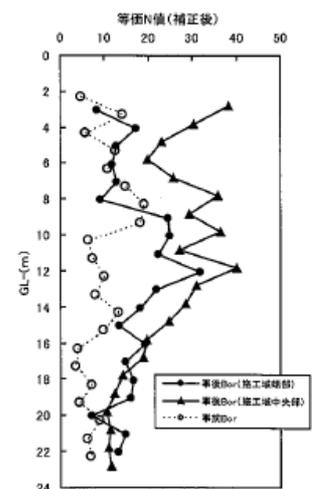


図-11 改良後等価N値

## (2) 固結<sup>6)</sup>

高知県越知道路計画のうち、仁淀川を渡る（仮称）新横倉橋の盛りこぼし橋台盛土の液状化による地震時のすべり破壊を防ぐため、高圧噴射攪拌工法による地盤改良が実施された。

高圧噴射攪拌工法は、小型の施工機械を用いて大口徑・高強度のセメント改良地盤を造成できることから耐震対策として適用される事例が増える一方で、改良体造成のメカニズムから、施工管理の方法に種々の課題を有す。本報告は、工事内に直面した施工管理の諸課題について解決された内容について報告したものである。

当該地区の地盤は、Rd1層（ $N$ 値 50 以上）、Rd2層が堆積しており、液状化層である下層の Rd2層のみを改良対象とするため、このような条件で施工可能なボーリングマシンタイプの高圧噴射攪拌工法（FTJ-SA 工法(以下、「FTJ 工法」と記す)）が採用された。

FTJ 工法は、ロッドの先端から 2 流線で固化材スラリーを噴射し、地盤を切削混合することで大径の改良体を従来技術よりも高速で造成することが可能な工法である。

本工事で FTJ 工法を施工するにあたっての品質管理の課題は以下の 2 点であった。

- ・改良体の出来形確認（改良径の確認）
- ・改良体一本毎の支持層への着底確認（改良下端の確認）

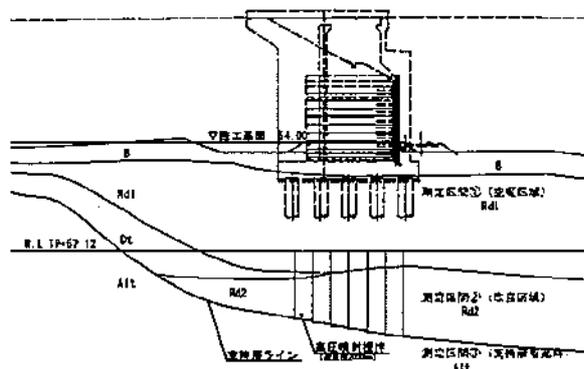


図-1 地盤改良断面図

### i) 改良径の確認

ボーリング孔に測定機器を挿入して造成時における改良材の到達をリアルタイムに確認する方法を検討し、塩ビ管（有孔管径 25mm，開口率 10%）を設計改良径の外縁付近に差し込んで、改良体造成時の音と目視（固化材スラリーが上がってくる状況等）で所定の改良径を確認する方法を採用した。

### ii) 改良下端の確認

改良範囲内で追加調査を 5 本実施し、支持層の分布状況の把握精度の向上を図ったうえで、施工機械に振動速度計を設置し、ケーシング貫入時の振動計測による改良体一本毎の支持層着底の確認を試み、空堀・改良区域と、着底時の卓越振動の相違から、着底の判断とした。

### (3) 盛土の補強<sup>7)</sup>

盛土補強工法は、基礎地盤の表面あるいは盛土下層部に補強材を設置し、補強材と盛土と一体化することによって、地盤の側方移動に伴う盛土底面の広がり拘束し、さらには盛土の安定確保を目的とした工法である。また、盛土材や基礎地盤が地震時に液状化した場合にも、盛土の変形抑制対策としても効果が期待できる。

四国では、1999年6月に四国自動車道の高知区間において、液状化に起因する橋台と背面盛土との車道路面の段差発生防止を目的として、高盛土敷網工法として高強度帯状ジオセティックスが採用された。サンドマット上にジオシンセティックスを敷設する併用工法である。その後、地盤の液状化時に盛土の変形を抑制するために、盛土下部あるいは基盤にジオシンセティックスを碎石で挟込む併用工法「SECURE G」が開発され、SECURE-G工法が2018年高知南国道路の高知中央ICにおいて橋台背面に対策工として、レベル2地震動における許容沈下量が50cmという条件下で採用された。

ジオシンセティックスの強度は弾性床土上の梁計算から算出し、沈下量の算出には静的FEMのALIDが用いられた。また、昨今では土木研究所資料「河川堤防の液状化対策工の手引き」(2016年)における液状化強度の見直し、有効土被り圧による液状化層の剛性見直しも標準的に取り入れた解析が行われている。

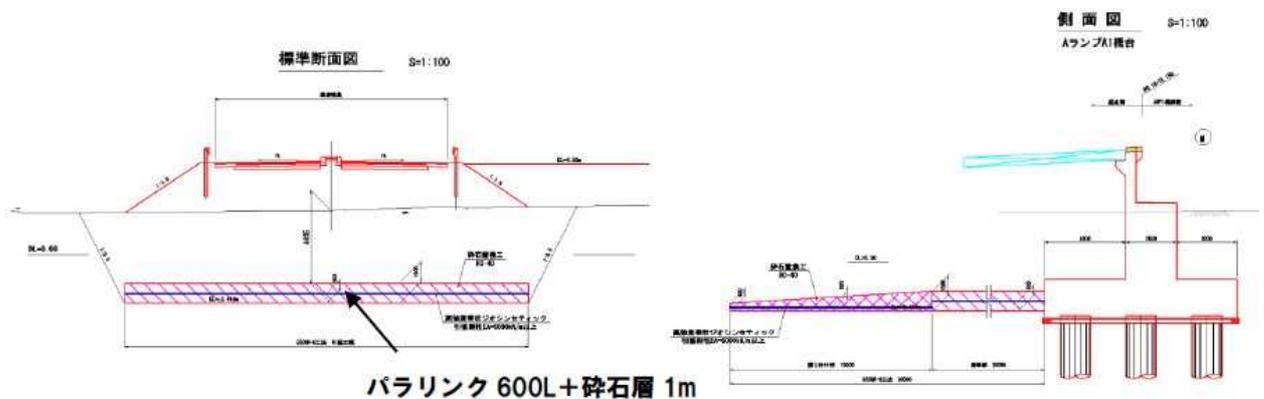


図-3 高知中央IC(土佐国道事務所)の施工事例

(4) 不飽和化<sup>8, 9)</sup>

四国横断自動車道（鳴門 JCT～徳島 IC）が通過する徳島平野域は軟弱な砂層が厚く（7～18m）堆積し、軟弱（ $N=10$  以下）のため、地震時に液状化する可能性がある。そこで、液状化対策工法として注目された「空気注入不飽和化工法」についてダブルパッカー式注入管と打ち込み注入管を用いた空気注入方法を高速道路盛土地盤（事前対策）に実施し、適用性が検討された。

i) 地盤概要

表層には粘性土が堆積し、As1 層は 3 層に分類され上部と下部は  $F_c$  が 40% 前後であるが、中部は  $F_c$  が 20% 以下である。粒度試験結果より、As1（中部）は比較的均一な砂層である。検討箇所から約 200m 離れた箇所で行われた CPT 試験結果より、As1 層の T.P.-7m 以深は、貫入抵抗が大きく上下すること、間隙水圧が大きくなる深度が確認され、粘土やシルト層のシーム層の存在が考えられる。

ii) 注入実験結果

高速道路盛土基礎地盤への適用性に関する現場実験（予備実験，本実験，事後調査）について報告された。

本実験の比抵抗変化率調査結果より空気侵入範囲を確認した結果、設計半径を満足する不飽和化領域を確認した。

空気注入から約 5 か月後に実施された PS 検層を用いた事後調査結果より、空気注入前の P 波速度は概ね 1500m/s であったが、As1（中部）は 500m/s 以下、As1（下部）は 700m/s 以下に遅くなり、不飽和状態であることが確認された。

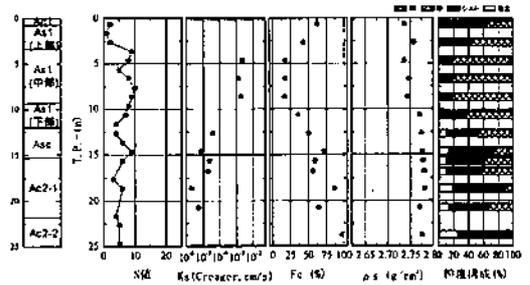


図-1 実験地点の地盤特性

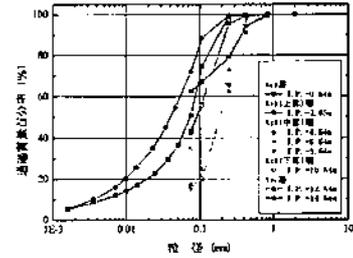


図-2 粒度試験結果

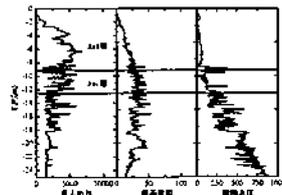


図-3 CPT 試験結果

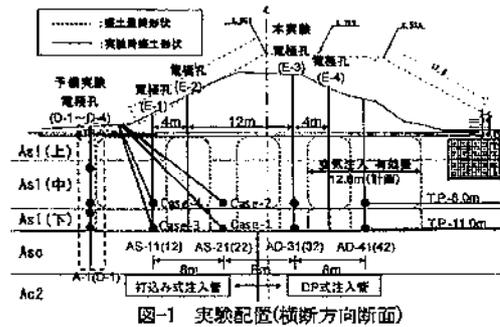


図-1 実験配置(横断方向断面)

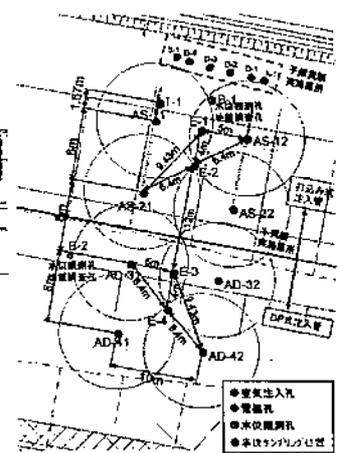


図-2 実験配置(平面)

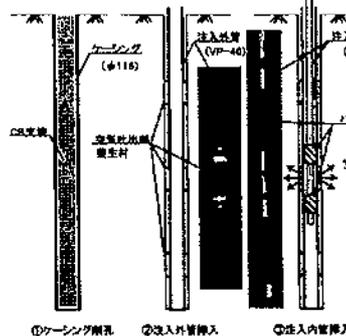


図-3 DP式注入管



図-4 打込み式注入管(斜め施工)

## 【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，2012.8.31
- 2) 土木研究所：土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き，2016.3
- 3) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック，1997
- 4) 出野智之，朝妻涼：細粒分含有率を多く含む地盤における静的締固め砂杭工法の改良効果，第 51 回地盤工学研究発表会，pp.843-844，2016.9
- 5) 藤野正宏，深田久：海岸堤防の耐震化－撫養港海岸堤防における SAVE-SP 工法の適用－，土木施工 2011 Dec Vol.52 No.12，pp.34-37，2011.12
- 6) 長澤一，杉本貴明，村上喜代治，出野智之：高圧噴射攪拌工法の施工事例－平成 29-30 年度 越知丙地区改良工事－，地盤工学会四国支部平成 30 年度技術研究発表会 講演概要集，pp.73-74，2018.11
- 7) 久保幹男，横山公明，ラアウン：ジオシンセティックスによる盛土の液状化対策－SECURE-G 工法－，ジオシンセティックス技術情報 Vol.37，pp.1-8，2021.7
- 8) 内田純二，紙田直充，高畑陽，山根信幸，深田久，大内正敏，橋本欣也，岡村未対：高速道路盛土基礎地盤への空気注入不飽和化工法の適用性検討 その 1（地盤調査，予備実験計画），地盤工学会四国支部平成 26 年度技術研究発表会 講演概要集，pp.41-42，2014.11
- 9) 藤井直，藤原斉郁，居場博之，矢部浩史，中園康平，岡村未対：高速道路盛土基礎地盤への空気注入不飽和化工法の適用性検討 その 2（ダブルパッカー式注入管，打込み注入管による注入実験），地盤工学会四国支部平成 26 年度技術研究発表会 講演概要集，pp.43-44，2014.11

### 3. データ収集およびデータベース作成

#### 3.1 概要

現在、地盤情報データベースの公開が進み、広域の地質図や柱状図などの地盤・地質情報を、誰もが簡単に Web 上で入手できるようになっている。しかしながら今日でも繰返し非排水三軸試験結果の入手は、四国地方に限らず全国的にみても一般には極めて困難である。こうしたなか、当委員会は平成 30 年度に国土交通省四国地方整備局より、高松港湾空港技術調査事務所と四国技術事務所を通じ四国 4 県の地盤情報データをご提供頂いた。また、高知県では高知県土木部より鏡川の地盤情報データをご提供頂いた。表 3.1-1～表 3.1-4 に提供いただいた資料の一覧を示した（注記：データ数には繰返し非排水三軸試験を含まないものも計上している）。

なお、データ収集は知的財産にあたらぬ現地の地質情報に限定して行われている。すなわち、①柱状図、②室内土質試験データシート（物理試験、力学試験、繰返し非排水三軸試験）、および③PS 検層結果を収集した。これらの収集データについて特筆すべきことは、先入手困難と述べた繰返し非排水三軸試験が多数含まれている点にある。ただし当初目標としていた四国平野（高知・徳島・高松・松山平野）の広範な領域をカバーした繰返し非排水三軸試験結果は収集できなかった。なぜならば繰返し非排水三軸試験は、重要港湾や重要河川（その河口域）などのごく限られた地域において実施されていたからである。こと松山平野に至っては、主要河川の沖積平野が砂礫層を主体としたものであるため、おそらく、ほとんど繰返し非排水三軸試験は実施されていない。

表 3.1-1 委員会が収集した香川県内の室内土質試験のデータ数

県名	業務名	データ数	区分	液状化試験の数※
香川県	平成21年度 高松港海岸土質調査	12	高松港	12
	高松港海岸土質調査（その2）	18	高松港	18
	高松港海岸土質調査（その3）	19	高松港	19
	平成23年度 高松港朝日地区岸壁(-10m)土質調査	2	高松港	2
	平成18年度土器川堤防土質調査業務	31	土器川	
	平成18年度土器川堤防質の整備検討業務委託	61	土器川	
	平成19年度土器川堤防質の整備検討業務委託	78	土器川	
	平成23年度土器地区地質調査業務	27	土器川	
	平成28年度土器川堤防強化外業務	31	土器川	
	平成24-25年度土器川堤防質の詳細調査業務	131	土器川	
	平成25-26年度蓬萊橋地質調査業務	90	土器川	
	平成17年度大内白鳥バイパス（2工区）地質調査業務	14	道路	
	平成17年度大内白鳥バイパス（3・4工区）地質調査業務	31	道路	
	平成18年度香川管内地質調査業務	69	道路	
	平成19年度管内地質調査業務	4	道路	
	平成19年度管内地質調査業務（その2）	3	道路	
	平成20年度豊浜地区外地質調査業務	38	道路	
	平成21年度管内地質調査業務	6	道路	
	平成23年度管内地質調査業務	9	道路	
	平成24年度香川管内地質調査業務	4	道路	
	平成24年度津田地区外地質調査業務	15	道路	
	平成25年度松島地区外地質調査業務	27	道路	

※空欄は0を意味する

表 3.1-2 委員会が収集した徳島県内の室内土質試験のデータ数

県名	業務名	データ数	区分	液状化試験の数※
徳島県	撫養港海岸桑島瀬戸地区土質調査(その2)	9	撫養港	9
	撫養港海岸桑島瀬戸地区土質調査	2	撫養港	2
	撫養港海岸桑島瀬戸地区土質調査(その2)	5	撫養港	5
	撫養港海岸土質調査	10	撫養港	10
	撫養港海岸土質調査	26	撫養港	26
	撫養港海岸土質調査(その2)	25	撫養港	25
	撫養港海岸土質調査(その3)	7	撫養港	7
	徳島小松島港沖洲(外)地区土質調査	1	徳島小松島港	1
	平成25年度 旧吉野川外堤防耐震設計業務	3	旧吉野川	3
	平成12年度 野神樋門設計業務委託	1	旧吉野川	1
	平成12年度 24番樋門設計業務委託	1	旧吉野川	1
	平成12年度 友打樋門設計業務委託	1	旧吉野川	1
	平成16-17年度 堤防地質調査業務	4	旧吉野川	4
	平成18年度 旧吉野川堤防地質調査業務	3	旧吉野川	3
	平成26-27年度 今切川外堤防耐震設計業務	1	今切川	1
	平成18年度 今切川堤防地質調査業務	2	今切川	2
	平成23-24年度 那賀川右岸耐震点検地質調査業務	32	那賀川	32
	平成23-24年度 那賀川左岸耐震点検地質調査業務	47	那賀川	47
	平成21年度 那賀川水系樋門等耐震検討外業務委託	4	桑野川	4
	平成23-24年度 桑野川右岸耐震点検地質調査業務	25	桑野川	25
平成23-24年度 桑野川左岸耐震点検地質調査業務	26	桑野川	26	

※空欄は0を意味する

表 3.1-3 委員会が収集した高知県内の室内土質試験のデータ数

県名	業務名	データ数	区分	液状化試験の数※
高知県	地震高潮第3-37号 鏡川地震高潮対策地質調査委託業務	28	鏡川	
	地震高潮第3-11号 鏡川地震高潮対策地質調査委託業務	18	鏡川	2
	地震高潮第3-22号 鏡川外1河川地震高潮対策地質調査委託業務	33	鏡川	1
	高知高潮第3-11号 鏡川外1河川高潮対策地質調査委託業務	7	鏡川	1
	地震高潮第3-29号 鏡川地震高潮対策地質調査委託業務	17	鏡川	
	地震高潮第3-15号 鏡川地震高潮対策地質調査委託業務	8	鏡川	1
	地震高潮第7-14号 鏡川地震高潮対策地質調査委託業務	13	鏡川	
	地震高潮第3-23号 鏡川外2河川 地震高潮対策地質調査委託業務	4	鏡川	
	地震高潮第14-1号 鏡川外1河川高潮対策地質調査委託業務	13	鏡川	1
	平成22年度長寿命化計画土質調査(その1)	33	東孕	1
	平成28年度 高知港海岸土質調査(その(2))	112	東孕	11
	平成29年度 高知港海岸土質調査	181	東孕	13

※空欄は0を意味する

区分「鏡川」の土質試験データは高知県からの提供データである。

表 3.1-4 委員会が収集した愛媛県内の室内土質試験のデータ数

県名	業務名	データ数	区分	液状化試験の数※
愛媛県	平成18年度 重信川上流地質調査業務	11	重信川	
	平成18年度 重信川堤防詳細点検業務	9	重信川	
	平成18年度 重信川堤防調査業務	26	重信川	
	平成19年度 重信川堤防調査業務	12	重信川	
	平成20年度 重信川堤防詳細点検業務委託	2	重信川	
	平成21年度 重信川堤防耐震性能照査業務委託	7	重信川	
	平成25年度 石手川左岸浸透対策設計業務	10	石手川	

※空欄は0を意味する

この貴重なデータを活用し、四国地方の液状化判定に役立てようという試みは、まだ道半ばであるが、それでも幾つかの知見が得られた。それについては第4章で述べることとし、ここでは、その前段階で行ったデータベース作成について簡単に述べる。

### 3.2 地震被害データベース

四国地方では南海トラフで発生する巨大地震が懸念されている。そこで、我が国で過去に発生した地震被害の状況を把握することを目的として、代表的な8つの地震に着目し、地震被害データベースを作成した。

< 着目した過去の地震 >

- ① 北海道南西沖地震
- ② 兵庫県南部地震
- ③ 平成12年鳥取県西部地震
- ④ 平成13年芸予地震
- ⑤ 平成15年十勝沖地震
- ⑥ 平成19年新潟県中越沖地震
- ⑦ 平成23年東北地方太平洋沖地震
- ⑧ 平成28年熊本地震

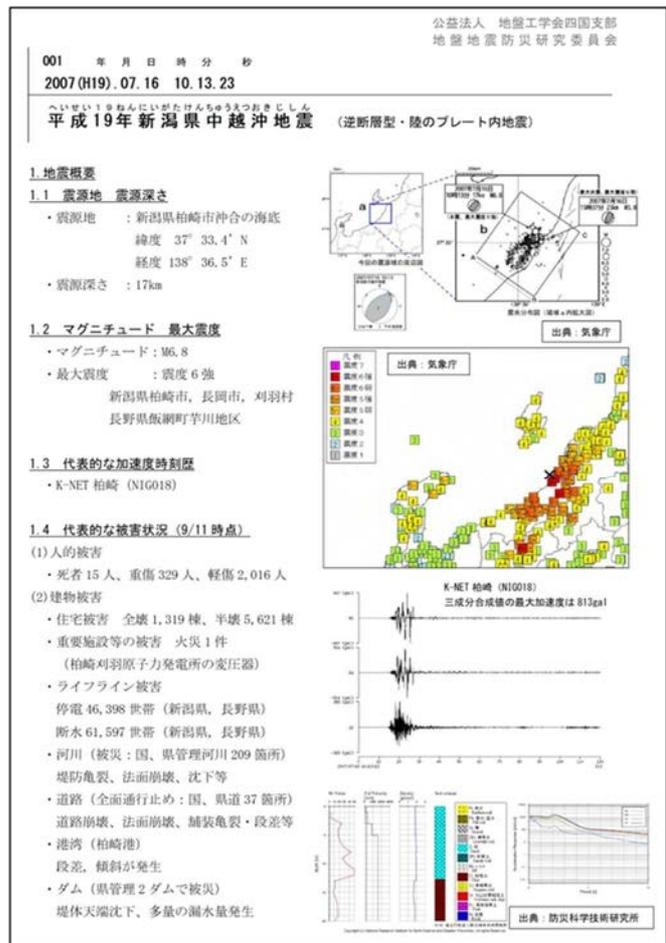


図 3.2-1 地震被害データベースの一例

地震被害データベースでは、地震概要のほか、代表的な液状化被害について整理している（巻末の添付資料(1)参照）。

### 3.3 地震被害事例の文献調査データベース

地震被害事例の文献調査データベースでは、前出の地震被害データベースで着目した8つの地震における液状化被害を沈下量に焦点をあてて整理している。詳細は巻末の添付資料(2)を参照頂きたいが、文献中の地盤変位量の記述の有無と内容に着目し、有限要素法による動的解析などでの再現計算を念頭に下表の項目を整理した。

表 3.3-1 地震被害事例の文献調査データベース (文献資料からの抽出項目)

No.	地震	文献名称	著者			掲載誌	巻・号・頁	発行年 (西暦)												
			第1著者	所属	共著者など															
調査箇所	構造物	地盤			室内試験	加速度	液状化検討		地盤変位量			特記事項 (地盤変位量の計測方法等)								
		人工 or 自然	水平 or 傾斜	地盤改良			柱状図	サウンディング SPT SWS	物理探査・検層	地下水位	粒度		密度	液状化強度	震度・計測震度	最大加速度	加速度波形	地質断面図	液状化層	液状化判定

### 3.4 地盤調査・土質試験結果データベース

前出の収集データ(表 3.1-1~表 3.1-4)は、全て各業務の電子納品データ(pdf形式)である。電子納品データと言えど、pdfファイルであるため紙ベースの室内土質試験データシートとほぼ変わらない。四国地方の液状化強度特性などを評価分析するためには、数値化(データベース化)を行う必要があった(巻末の添付資料(3)参照)。

そこで、試験結果から何を抽出するかについて意見交換を行い、Excel上でのデータベース様式を定め、各県(4チーム)に分かれて手作業による試験データの入力作業と相互チェックを2か月間かけて行った。

入力作業に携わった4チームのメンバーを表 3.4-1に示す。また、データベース化した試験値の項目を表 3.4-2に示す。なお、巻末のデータベースには掲載していないが、室内土質試験結果のデータベース作成時に各試験深度の上載圧を算定している。これは、委員会活動のなかで、道路橋示方書などの簡易液状化判定式との比較検討を行う際への配慮であった。室内土質試験深度と柱状図を照らし合わせて試験深度の上載圧を求めたが、室内土質試験結果から計算によって単位体積重量を算出するか、もしくは柱状図の土質区分とN値を基に経験値から推定した。前者は、試験深度が地下水位以下であることを確認し、飽和度を $S_r=100\%$ とおき $\rho_s$ と $e$ から $\rho_t$ を算出したものである。また、後者は実務で多用されている「Terzaghi and PeckのN値と相対密度の関係」に倣って土の締め具合を判定し、道路橋示方書の「概略設計で用いる土の単位体積重量」から単位体積重量を求める手法である(次頁)。

●経験値に基づく土の単位体積重量の算定方法

表-解 8.7.2 概略設計で用いる土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) の例

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然 地盤	砂及び砂れき	18	20
	砂質土	17	19
	粘性土	14	18
盛 土	砂及び砂れき	20	
	砂質土	19	
	粘性土	18	

- (注) (1) 地下水位以下にある土の単位体積重量は、それぞれの表中の値から9を差し引いた値としてよい。  
 (2) 碎石は砂利と同じ値とする。また、ずり、岩塊等の場合は種類、形状、大きさ及び間隙等を考慮して定める必要がある。  
 (3) 砂利まじり砂質土、又は砂利まじり粘性土については、混合割合及び状態に応じて適当な値を定める。  
 (4) 地下水位は施工後における平均値を考える。

出典：日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，平成 29 年 11 月，p.119

表-6.2.2 N 値と砂の相対密度の関係 (Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

N 値	相対密度 (Terzaghi and Peck)	現場判別法
0~4	非常に緩い (very loose)	鉄筋が容易に手で貫入 <b>緩いもの</b>
4~10	緩い (loose)	シヨベル (スコップ) で掘削可能
10~30	中位の (medium)	鉄筋を 5 ボンドハンマで打込み容易
30~50	密な (dense)	同上、30 cm 程度貫入
>50	非常に密な (very dense)	同上、5~6 cm 貫入、掘削には はし必要、打込み時金属音 <b>密なもの</b>

注) 鉄筋は φ13 mm

表-6.2.4 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

N 値	q <sub>v</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	コンシステンシー
0~2	0.0~24.5	非常に軟らかい
2~4	24.5~49.1	軟らかい <b>緩いもの</b>
4~8	49.1~98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い <b>密なもの</b>
30~	392.4~	固結した

出典：地盤工学会：地盤調査の方法と解説，平成 16 年 6 月，p.263, 267

表 3.4-1 地盤調査・土質試験データベースのチェック作業参加メンバー

チーム	参加者名簿
高知	中島委員 (株)地研
	嶋本委員 (株)第一コンサルツ
徳島	神田委員 (株)エフ設計コンサルト
	小林委員 (株)基礎建設コンサルト
	遠山委員 ニタコンサルト(株)
	中川委員 (株)基礎建設コンサルト
香川	藤川委員 四国建設コンサルト(株)
	齋藤委員 (株)四電技術コンサルト
	増田委員 四国電力(株)
愛媛	古市委員 (株)四電技術コンサルト
	野谷委員 (株)エイト日本技術開発
	中村委員 (株)芙蓉コンサルト
	大藪委員 応用地質(株)

※所属は、2019 年当時

表 3.4-2 地盤調査・土質試験データベース（室内土質試験結果からの抽出項目）

・地点名～物理試験結果ほか

地点名	座標 (上段:緯度) (下段:経度)	地層区分	孔口標高 T.P.(m)	地下水位		試料標高 T.P.(m)	一般						粒度					塑性 指数 IP (%)	分類
				T.P.(m)	GL-(m)		湿潤密度 $\rho_L$ (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子 密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	自然 含水比 w <sub>n</sub> (%)	間隙比 e	飽和度 (%)	礫分 (%)	砂分 (%)	細粒分 含有率 (%)	粘土分 含有率 (%)	平均粒径 D50 (mm)		

・繰返し非排水三軸試験

三軸圧縮試験		繰返し非排水三軸試験											
$\phi_{CD}$ (°)	$\phi_{CLIBAR}$ (°)	試料 No	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )		相対密度 $D_r$ (%)		有効 拘束圧 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	RL20	DA=1% (上段: $\sigma_d/2\sigma'_c$ 0) (下段: 回数)	DA=2②③ or 2.5①% (上段: $\sigma_d/2\sigma'_c$ 0) (下段: 回数)	DA=5% (上段: $\sigma_d/2\sigma'_c$ 0) (下段: 回数)	DA=10% (上段: $\sigma_d/2\sigma'_c$ 0) (下段: 回数)	過剰間隙水圧比 95% (上段: $\sigma_d/2\sigma'_c$ 0) (下段: 回数)
			圧密前	圧密後	圧密前	圧密後							

・原位置試験

原位置試験		出典	特記事項
N値	Vs (m/s)		

補遺：

表 3.1-1～表 3.1-4 に示したデータ数は入力作業の着手時点のものである。その後、データベースへの登録にあたり、室内土質試験結果の記載はあっても N 値が不明などのため、分析に供することが叶わなかったデータを取捨するなどの見直しを行った。また徳島県では当初の目論見通り繰返し非排水三軸試験結果のみを抽出したデータベースを作成したが、愛媛県では繰返し非排水三軸試験が全く実施されていなかったため物理試験結果を抽出したデータベースを作成するなど、各県の委員が、それぞれの地域性や実情に即したデータ整理を行うなど紆余曲折を経た。そのため最終的な登録データ数や次章で述べるデータ分析数と、表 3.1-1～表 3.1-4 のデータ数とは必ずしも一致していない。

## 4. 地盤調査・土質試験データの分析

### 4.1 概要

本委員会で収集した地盤調査・土質試験データを用いて、液状化強度特性に主眼を置いた分析を実施した。ここでは、まず、試験データを河川および港湾に区分し、四国四県ごとに整理した後、物理および力学特性、液状化強度と物理特性の関係、既往基準との比較の観点でそれぞれ考察を加えた。液状化強度特性については、繰返し非排水三軸試験結果を用いることを基本としたが、試験データが無い地点では道路橋示方書に基づく算定値による検討も行った。

河川では、県ごとに複数の河川を比較することや、地形分類や流域に着目した分析を行った。一方、港湾では、埋土と自然地盤との違いや埋立年代の影響を検討した。高知海岸については、浦戸湾内、湾口および湾東部の各地点で物理力学特性を分析した。

最後に、港湾、河川ごとに液状化強度特性および物理特性を比較するとともに、微地形と液状化強度の関係を整理することで四国四県の地盤の地域性について検討を行った。さらに、港湾施設の人工地盤（埋土）を対象として、液状化強度に対するせん断波速度  $V_s$ 、相対密度  $D_r$  および埋立年代の影響をそれぞれ分析した。

## 4.2 河川

### 4.2.1 土器川（香川県）

#### (1) 収集資料データの概要

香川県の河川として、一級水系の土器川における土質試験データを収集した。

国土交通省香川河川国道事務所の資料<sup>1)</sup>によると、土器川は、香川県中央部に位置する幹川流路延長 33km、流域面積 127km<sup>2</sup>の一級河川である。その流路は、香川県仲多度郡まんのう町勝浦の讃岐山脈を水源とし、明神川と合流後に北西に流れ、まんのう町炭所西常包にて讃岐平野に出る。その後、大柞川、古子川、清水川等と合わせ、丸亀市において瀬戸内海に注ぐ。

土器川の流域は、**図 4.2.1-1** に示すように流域形状が南北約 33km、東西約 5km の帯状をなしており、流域中央部のまんのう町炭所西常包付近（河口から約 19km 程度遡った地点）を境に南部の山地と北部の扇状地に分けられる。南部の山地は、竜王山や大川山などの讃岐山脈の深い浸食谷が形成された急峻な山地で構成される。北部の扇状地は、まんのう町常包付近を扇頂部として北西方向に広がり讃岐平野が開け、土器川はその中央部を北流し、この平野部に至っても**図 4.2.1-2** のように河床勾配は急で、洪水は短時間に一気に河口まで到達する全国有数の急流河川である。また、下流平野部は、地盤高が土器川の計画高水位よりも低いため、潜在的に堤防の決壊による被害拡大の危険性を有している。<sup>1)</sup>



図 4.2.1-1 土器川水系流域図<sup>1)</sup>

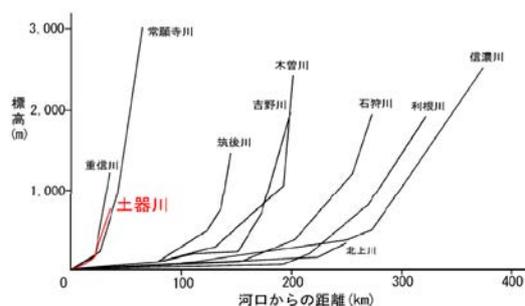


図 4.2.1-2 河道勾配の比較図<sup>1)</sup>

土器川に関して収集した地質調査では、繰返し非排水三軸試験は全く実施されておらず、ボーリング調査と物理試験のみである。

表 4. 2. 1-1 に収集したデータの試料数, 基本的な物理諸元値の最大・最小値, 平均値等を示す。

図 4. 2. 1-3 にボーリング調査位置図, 図 4. 2. 1-4 に流域の地形分類図, 図 4. 2. 1-5 に流域の表層地質図をそれぞれ示す。

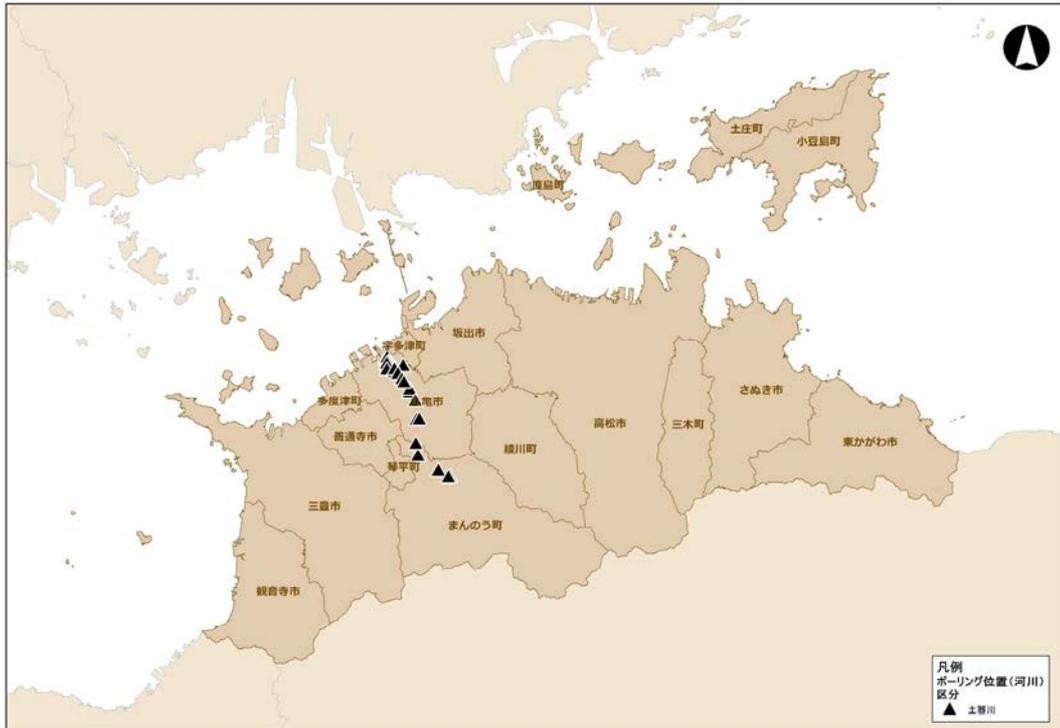


図 4. 2. 1-3 土器川のボーリング調査位置図

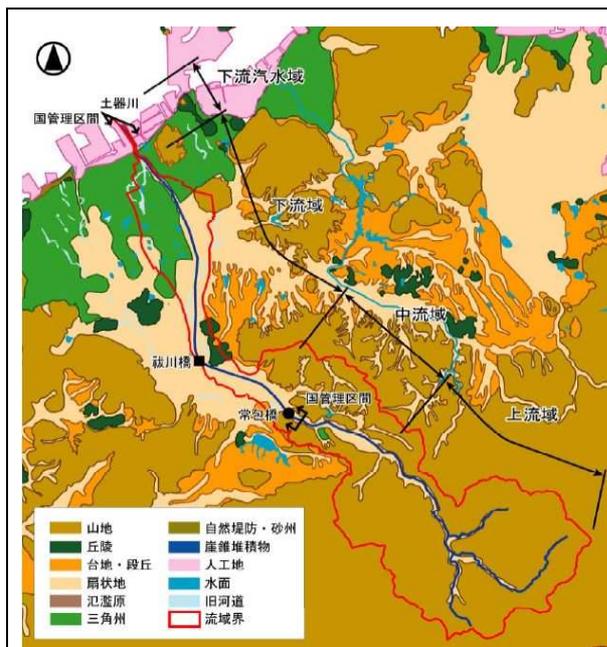


図 4. 2. 1-4 土器川流域の地形分類図<sup>1)</sup>



図 4. 2. 1-5 土器川流域の表層地質図<sup>1)</sup>

土器川周辺について、微地形区分図を作成し、調査地点をプロットしたものを図 4.2.1-6 に示す。

背景地図は、国土地理院の地理院地図を使用し、微地形 250m メッシュは、若松加寿江・松岡昌志によるものを使用した。

調査地点は、土器川の下流域及び下流汽水域に存在し、微地形区分では、下流から「干拓地」、 「三角州」、 「扇状地」の3種類である。

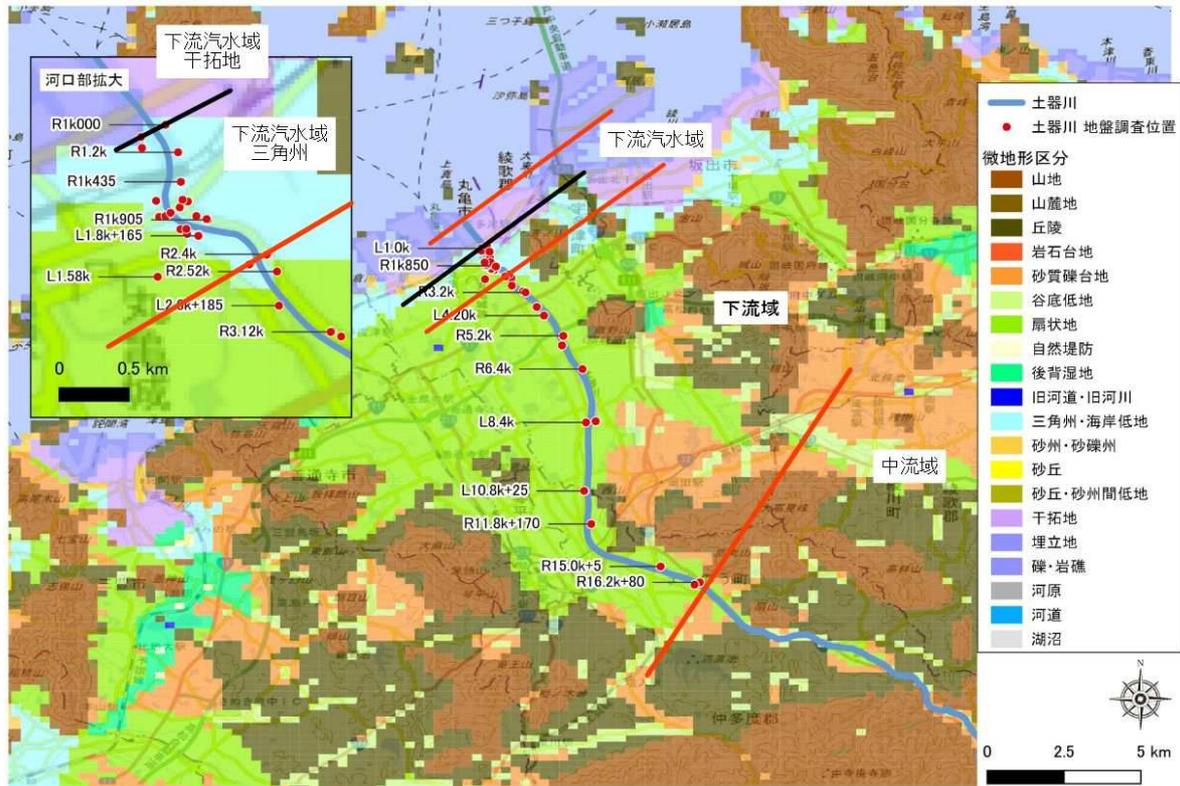


図 4.2.1-6 土器川流域の微地形区分図と調査地点位置図<sup>2), 3)</sup>

表 4.2.1-1 香川県の土器川における繰り返し三軸試験の試料の諸元値

区間	土質名	項目	$\gamma_{12}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$F_c$ (%)	$D_{50}$ (mm)	$I_p$ (%)	N値	$\sigma'_v$ (KN/m <sup>2</sup> )
下流汽水域 (千拓地)	盛土	データ数	0	4	4	0	4	4
		最大値	-	15.2	18.500	-	23	43.7
		最小値	-	4.9	0.460	-	3	24.7
		平均値	-	12.0	5.732	-	10.5	32.9
		中央値	-	14.0	1.984	-	8.0	31.6
	砂質土	データ数	0	6	6	1	6	6
		最大値	-	45.3	1.072	9.6	45	184.2
		最小値	-	8.2	0.119	9.6	3	64.4
		平均値	-	18.9	0.644	9.6	22.5	126.0
		中央値	-	12.7	0.656	9.6	20.0	126.0
	粘性土	データ数	1	6	6	6	5	5
		最大値	1.9	98.1	0.045	38.6	17	123.4
		最小値	1.9	59.0	0.002	17.6	3	61.5
		平均値	1.9	80.5	0.015	27.2	10.0	91.1
		中央値	1.9	77.4	0.011	26.0	10.0	90.2
	礫質土	データ数	0	18	18	0	18	18
最大値		-	39.7	20.500	-	50	238.2	
最小値		-	3.3	0.541	-	4	47.6	
平均値		-	11.9	6.863	-	30.3	137.0	
中央値		-	9.5	5.120	-	31.5	131.0	
下流汽水域 (三角州)	盛土	データ数	6	29	29	2	29	29
		最大値	1.9	56.5	29.100	9.7	30	93.0
		最小値	1.7	1.4	0.048	6.7	2	20.4
		平均値	1.8	18.0	3.403	8.2	9	42.2
		中央値	1.8	15.6	1.290	8.2	5.0	41.8
	砂質土	データ数	3	57	57	5	55	55
		最大値	2.0	48.4	1.750	17.8	60	332.9
		最小値	1.9	5.4	0.083	6.1	2	46.8
		平均値	2.0	18.0	0.728	11.4	28.2	145.6
		中央値	1.9	14.2	0.704	9.9	25.0	119.5
	粘性土	データ数	2	29	28	29	29	29
		最大値	2.0	99.3	0.073	126.3	60	352.2
		最小値	1.7	50.4	0.002	6.2	0	21.8
		平均値	1.9	80.2	0.019	32.7	17.4	184.1
		中央値	1.9	82.9	0.011	31.7	17.0	193.6
	礫質土	データ数	3	119	119	0	119	119
最大値		2.1	30.5	28.000	-	60	293.0	
最小値		2.0	1.8	0.336	-	3	5.1	
平均値		2.1	10.2	5.704	-	33.0	130.7	
中央値		2.1	9.5	3.780	-	34.0	118.5	
下流域 (扇状地)	盛土	データ数	8	33	33	0	32	29
		最大値	2.036	26.3	10.790	-	48	85.5
		最小値	1.675	2.6	0.432	-	1	23.2
		平均値	1.893	13.5	3.635	-	18.1	45.7
		中央値	1.927	14.2	2.813	-	18.0	45.5
	砂質土	データ数	2	19	19	0	15	12
		最大値	1.991	46.5	1.502	-	88	183.1
		最小値	1.798	6.4	0.096	-	2	42.2
		平均値	1.895	18.6	0.632	-	26.5	118.7
		中央値	1.895	15.1	0.705	-	16.0	116.7
	粘性土	データ数	2	13	13	13	11	10
		最大値	1.979	97.9	0.068	38.9	44	199.4
		最小値	1.965	51.1	0.003	6.1	3	64.9
		平均値	1.972	72.2	0.026	21.5	15.5	145.5
		中央値	1.972	70.2	0.027	20.1	13.0	156.1
	礫質土	データ数	3	51	51	0	43	38
最大値		2.213	28.0	10.056	-	100	230.6	
最小値		2.073	2.8	0.719	-	10	57.2	
平均値		2.160	12.1	4.407	-	37.0	134.3	
中央値		2.194	11.9	3.610	-	36.0	129.5	

※流域区分は、図 4.2.1-6 を参照

本検討で香川県の河川関係として収集した試験結果数は 384 試料である。

下流汽水域(干拓地)を河口からの距離標で 1km 以下, 下流汽水域(三角州)を 1~2.4km, 下流域(扇状地)を 2.4~16.3km として区分した場合, 34 試料が 下流汽水域(干拓地), 234 試料が下流汽水域(三角州), 116 試料が下流域(扇状地) のものである。

図 4.2.1-7 に試料の土質区分別の割合を示す。試料の土質は平均粒径  $D_{50}$  (以下,  $D_{50}$  と略記する) をもとに区分した。試料のうち 49.0%が礫質土, 21.4%が砂質土, 12.5%が粘性土, 17.2%が盛土である。

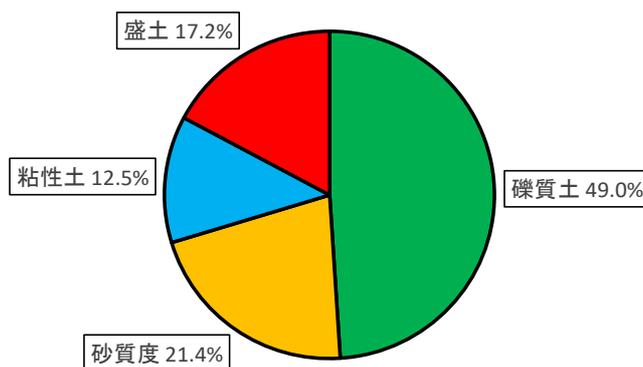


図 4.2.1-7 収集した資料データの土質区分の比率

各区分における収集試料の特性を以下に示す。

下流汽水域(土器川潮止堰より下流)は, 感潮区間で塩水が遡上する汽水域となっており, 河口には干潟がみられる。このうち, 下流汽水域(干拓地)の地質調査範囲は, 河口~1km 以下の区間で実施された 3 箇所のボーリング調査における 34 試料である。

この区間の層序は, 堤体盛土, 基礎地盤は粘性土層, 礫質土層, 砂質土層の互層である。河口から 1km 地点のボーリング結果によると, 堤体盛土は礫・シルト混り砂状を主体とするマサ土, 礫質土層は粘土混り砂礫~シルト混り砂礫~砂礫, 砂質土層はシルト混り砂~礫混り砂であり, 試料の採取深度は GL.-1.3m~23.2m である。

下流汽水域(三角州)の地質調査範囲は, 河口から 1~2.4km の区間で実施された 23 箇所のボーリング調査における 234 試料である。この区間の層序も, 下流汽水域(干拓地)と同様に, 堤体盛土, 基礎地盤は粘性土層, 礫質土層, 砂質土層の互層であるが, 河口から約 1.7km 地点のボーリング結果によると, 堤体盛土は主に砂礫からなり, GL.-16m 以浅は, 主に沖積礫質土層が分布し, 沖積粘性土層および沖積砂質土層が礫質土層内に薄く分布している。試料の採取深度は GL.-0.3m~33.3m である。

下流域(扇状地)の地質調査範囲は, 河口から 2.4~16.3km の区間で実施された 26 箇所のボーリング調査における 116 試料である。この区間の層序も下流側と同様に, 堤体盛土, 基礎地盤は粘性土層, 礫質土層, 砂質土層の互層であるが, 河口から約 6.4km 地点のボーリング結果によると, 堤体盛土は主に礫混り砂からなり, 主に沖積礫質土層が分布し, 沖積粘性土層および沖積砂質土層が礫質土層内に薄く分布している。試料の採取深度は GL.-0.6m~17.3m である。

## (2) 物理および力学特性

表 4.2.1-1 に示した調査結果の主要な試験値のうち、物理特性として図 4.2.1-8～図 4.2.1-11 に湿潤密度、細粒分含有率、平均粒径、塑性指数、図 4.2.1-12 に力学特性として  $N$  値の河川区間別並びに土質別の頻度分布図を示す。

湿潤密度（以下、 $\rho_t$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。土質別では、砂質土および粘性土は  $\rho_t=2.0\sim 2.1\text{g/cm}^3$  以下で頻度のピークが見られる。礫質土は  $\rho_t=2.1\sim 2.3\text{g/cm}^3$  であり、道路橋示方書等に示される一般値と比べて大きい傾向である。

微地形区分に関しては、粘性土は干拓地よりも三角州の方が、砂質土は三角州よりも扇状地の方が、それぞれ小さい値を示すものがあり、礫質土に関しては、三角州よりも上流にある扇状地のものが大きい値を示すものがある。

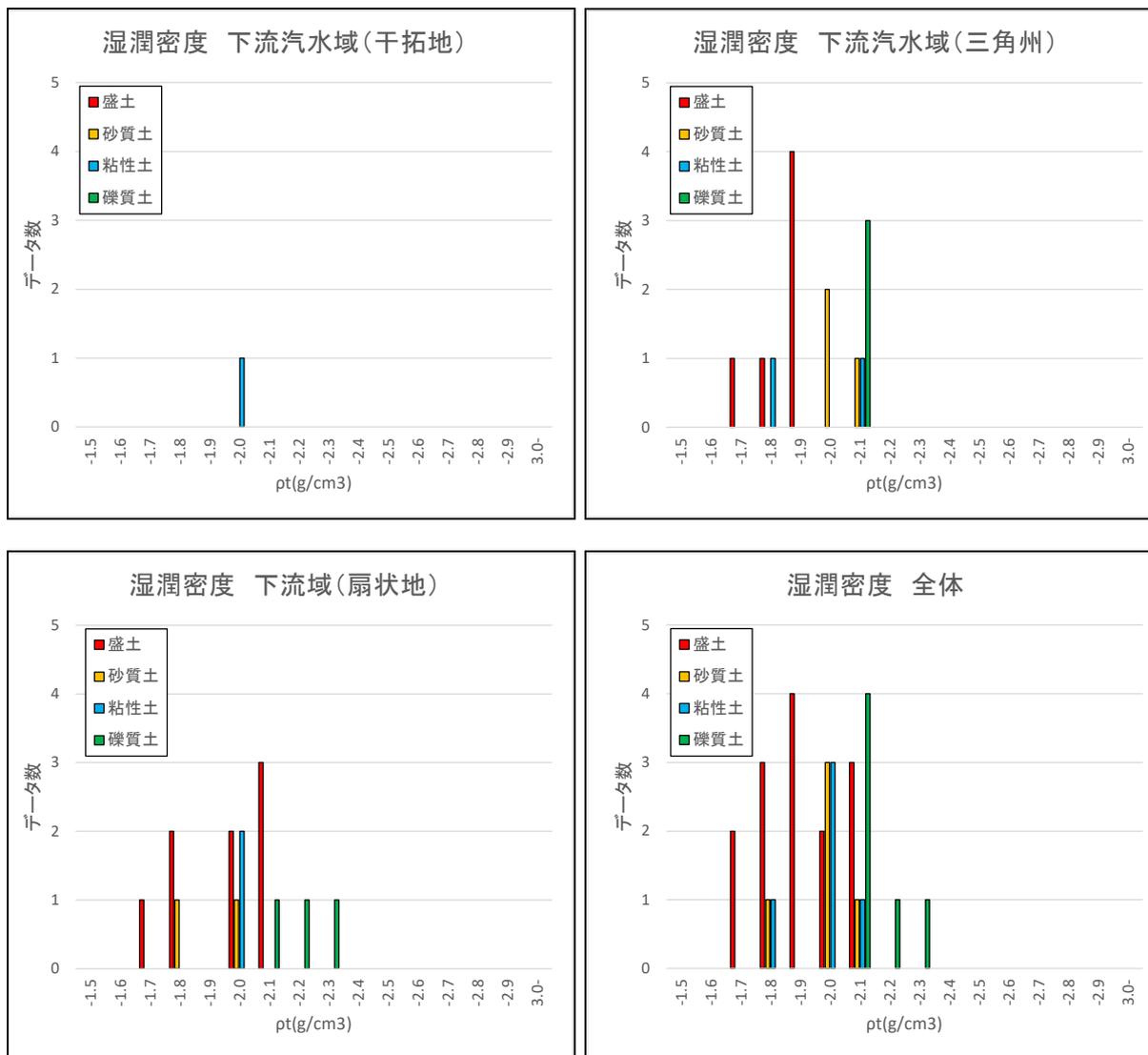


図 4.2.1-8 収集データの湿潤密度の頻度分布図

細粒分含有率(以下、 $F_c$  と略記する)に関する特性は以下のとおりである。

礫質土は 30%以下、砂質土は 10~50%でばらつきが大きい。粘性土は 55~100%である。

微地形区分に関しては、砂質土及び礫質土に着目すると、すべての地域で 10~15%でピークを示す傾向である。

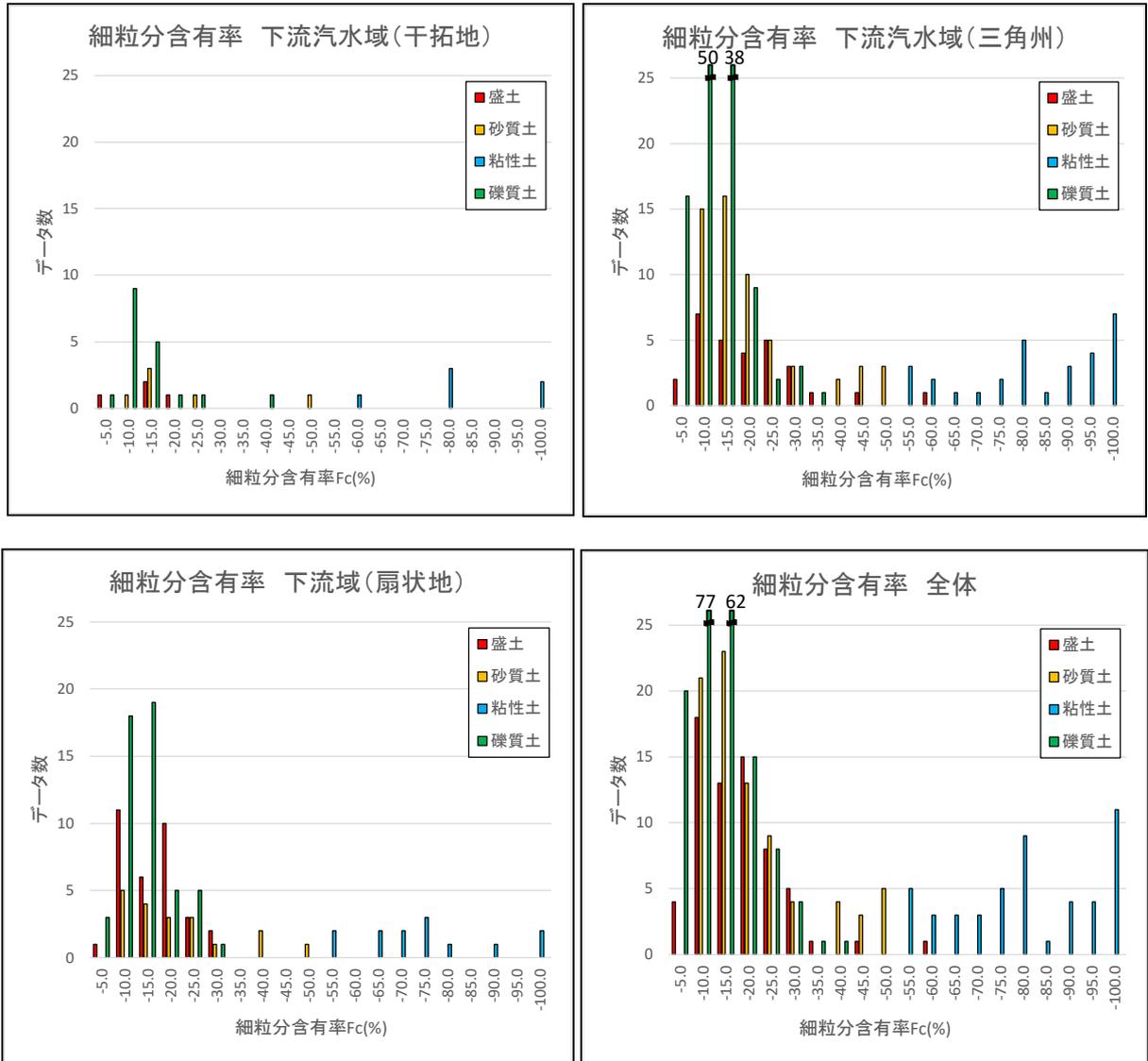


図 4. 2. 1-9 収集データの細粒分含有率の頻度分布図

平均粒径（以下、 $D_{50}$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。

礫質土は、粒径が 0.75~10mm でばらつき、5mm で頻度分布がピークを示している。砂質土は 0.10~2.25mm で、粘性土は、0.0033~0.10mm でばらついている。

微地形区分に関しては、粘性土は干拓地及び三角州が扇状地に比べて分布範囲が小さい傾向を示す。砂質土は区分による明瞭な違いはない。

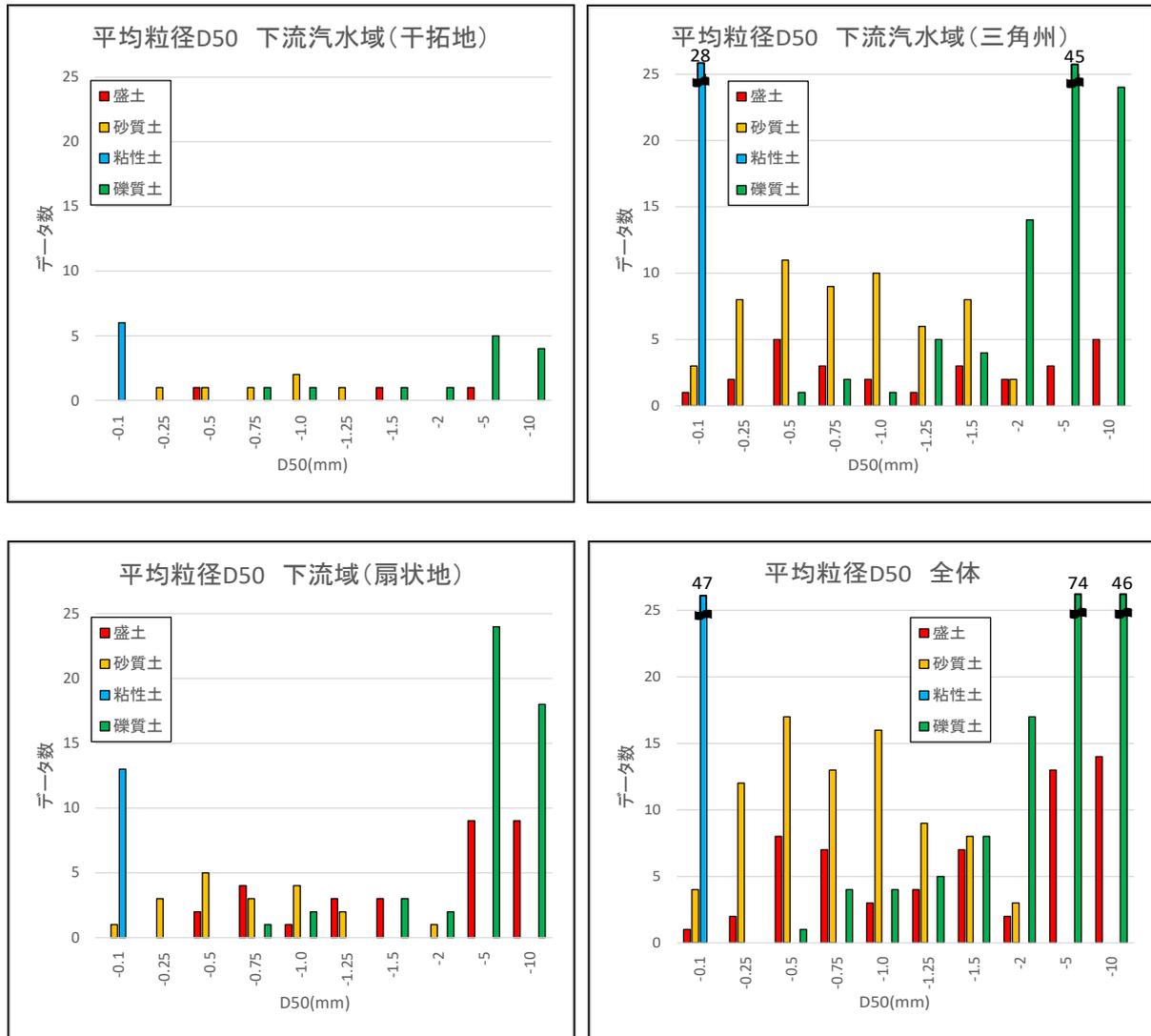


図 4. 2. 1-10 収集データの平均粒度  $D_{50}$  の頻度分布図

塑性指数（以下、 $I_p$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。

砂質土は 15%以下が大半であり、粘性土は 10~95%でばらつくが、25%がピークである。

微地形による違いは、三角州で  $I_p$  が 45%以上のデータがいくつか認められることである。

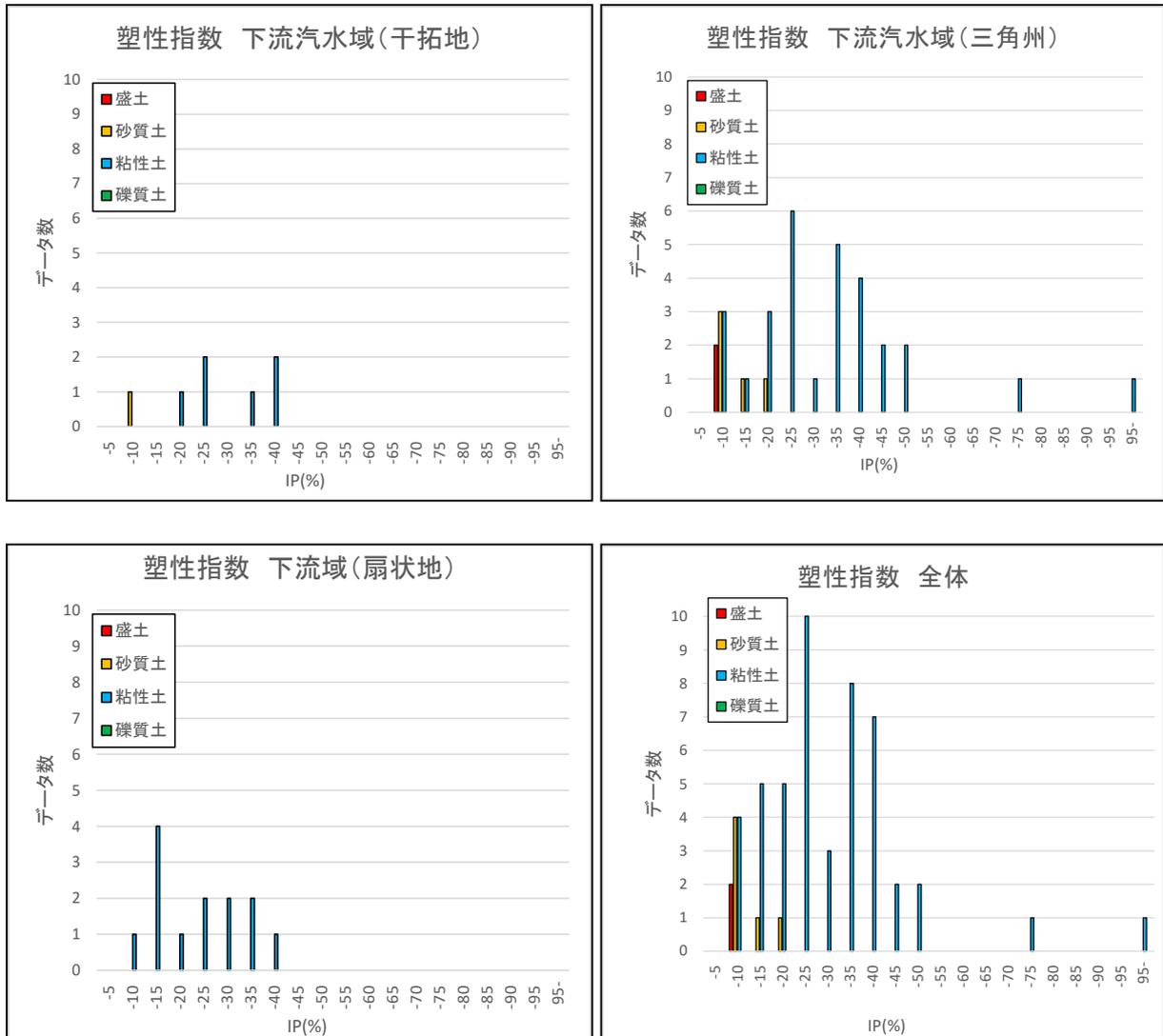


図 4.2.1-11 収集データの塑性指数の頻度分布図

N 値に関する特性は以下のとおりである。

礫質土，砂質土，粘性土ともにバラツキが大きい。沖積層に着目すると，全体に上流側が高い傾向を示す。

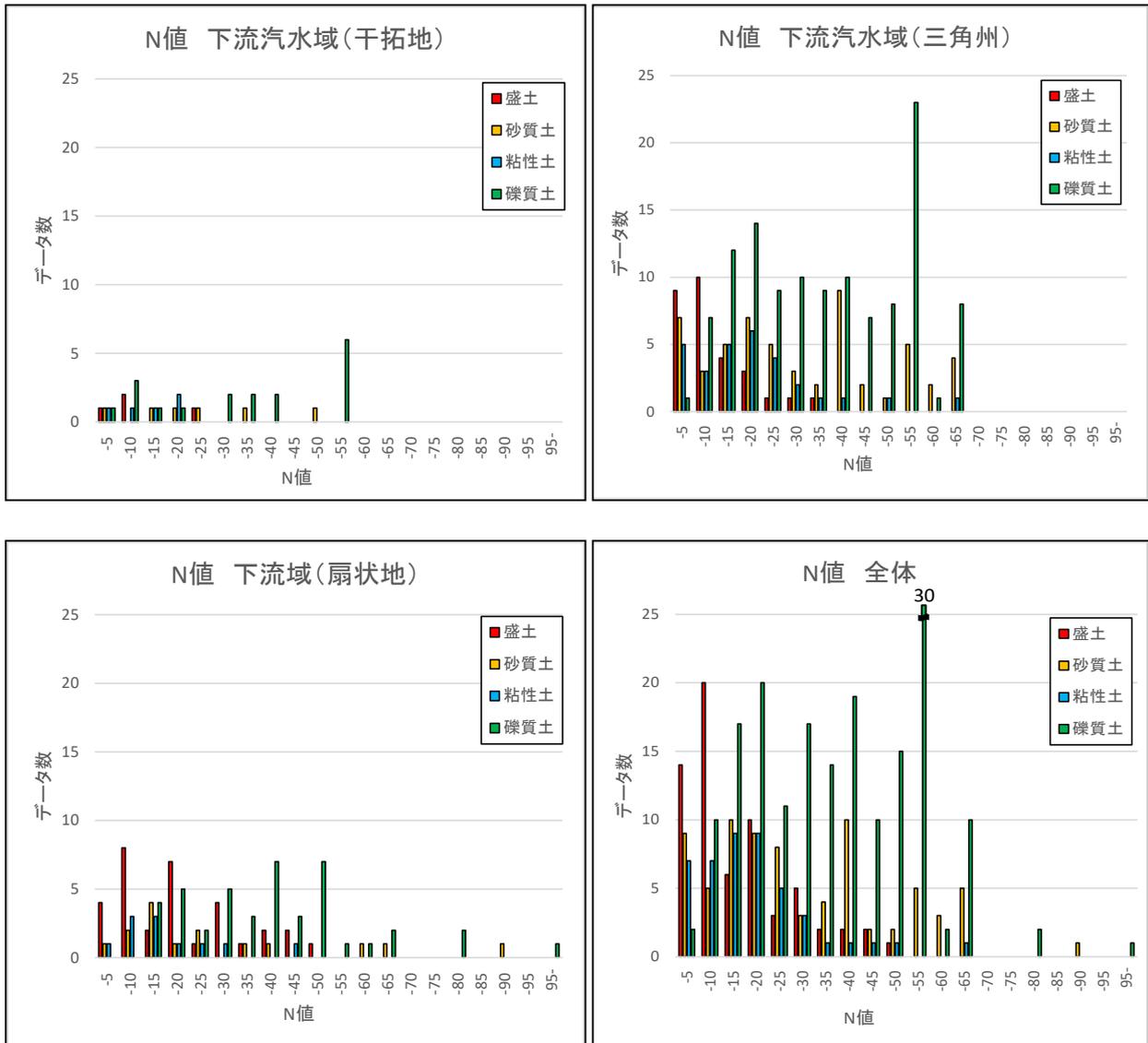


図 4. 2. 1-12 収集データの N 値の頻度分布図

### (3) 液状化強度と物理特性の関係

図 4.2.1-13 に道路橋示方書<sup>4)</sup>による液状化強度比  $R_{L20}$  と換算  $N$  値との関係を示した。道示により  $R_{L20}$  を算出する場合、砂質土は  $F_c$ 、礫質土は  $D_{50}$  による換算  $N$  値を補正するため、図中の  $N_1$  に対して道示  $R_{L20}$  はばらつく結果となっている。ばらつきはあるものの、全体的に  $N$  値が高くなるほど  $R_{L20}$  も高い傾向となり、 $N$  値 0~25 の範囲では礫質土、砂質土ともに比較的高い相関性を示す。

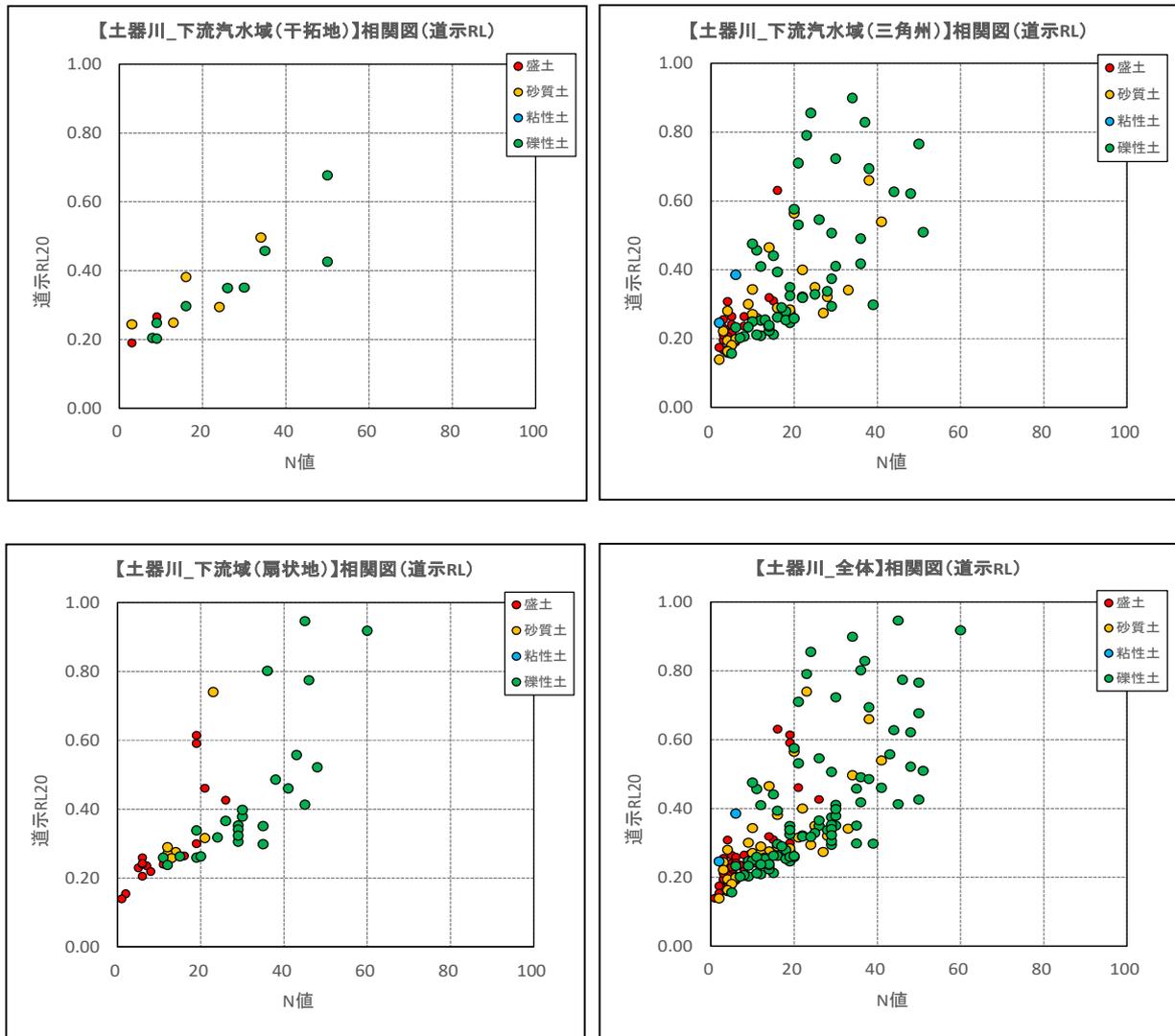


図 4.2.1-13 道路橋示方書(簡易法)による  $R_{L20}$  と  $N$  値との関係

図 4.2.1-14 に  $R_{L20}$  と  $F_c$  との関係を示した。砂質土はばらつきがあるものの、 $F_c$  の増加とともに  $R_{L20}$  が大きくなる傾向にある。

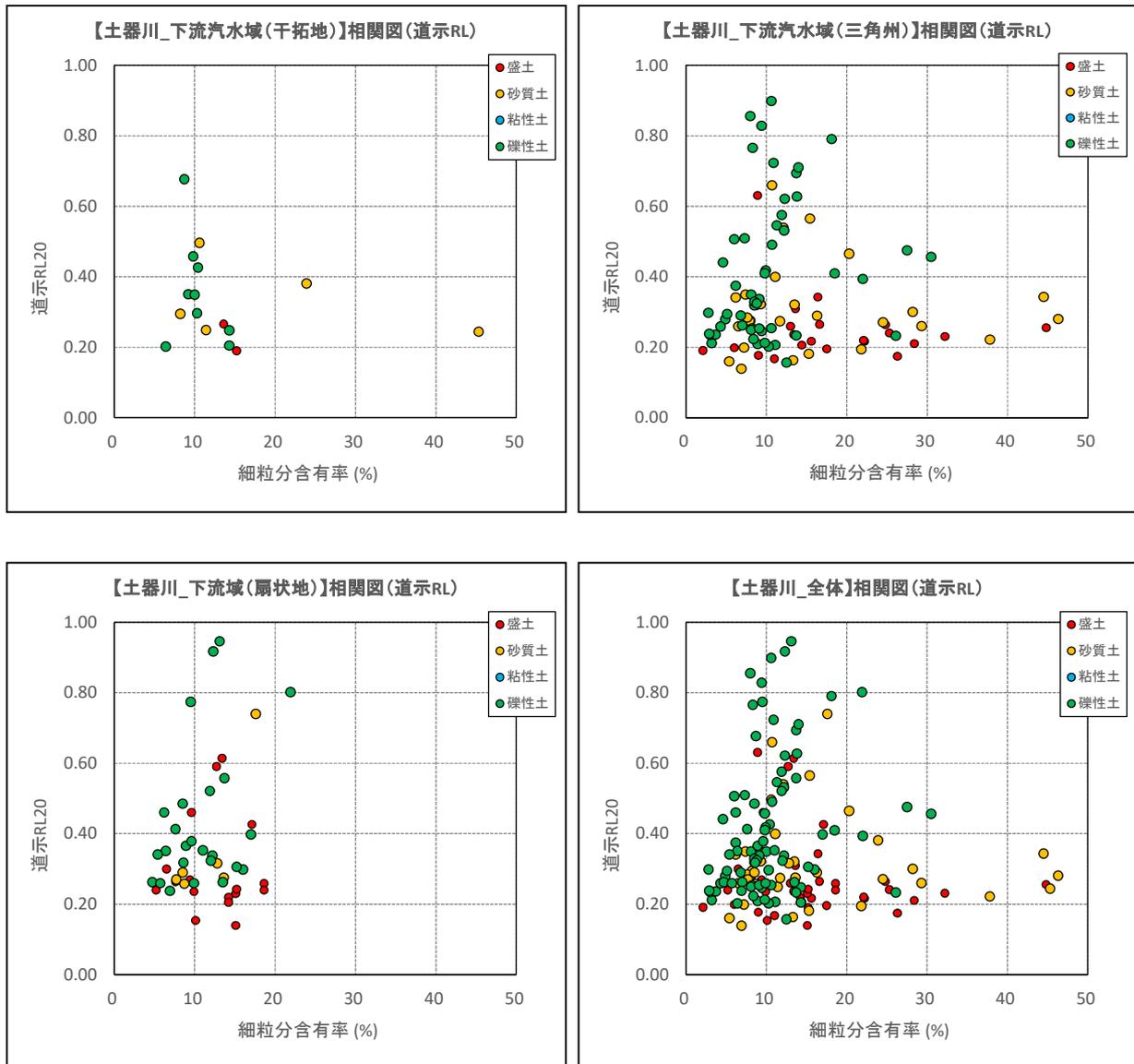


図 4.2.1-14 道路橋示方書(簡易法)による  $R_{L20}$  と  $F_c$  との関係

#### (4) 既往基準との比較

今回収集した土器川の調査・試験データには、繰返し非排水三軸試験が無かったため、(3)で示した道路橋示方書・同解説に基づく計算値と試験値の比較は実施できない。

そこで、 $D_{50}$ と $F_c$ の関係を整理し、H14.3道示に示されていた $D_{50}$ と $F_c$ の関係と比較した。

図4.2.1-15に土器川の整理結果を示す。同図より、表土(0.2mm)～細砂(0.15mm)区間は、試験データとH14道示の関係がほぼ一致している傾向を示す。一方、中砂(0.35mm)～砂れき(2.0mm)区間は、試験データは $F_c$ 値にバラツキがあるが、H14道示の値が安全側になるように $F_c$ を10%もしくは0%と設定していることが分かる。

表 4.2.1-2 【参考】H14.3 道路橋示方書・同解説<sup>4)</sup>

土質分類と単位重量，平均粒径，細粒分含有率の概略値		
土質分類	平均粒径 $D_{50}$ (mm)	細粒分含有率 $F_c$ (%)
表土	0.02	80
シルト	0.025	75
砂質シルト	0.04	65
シルト質細砂	0.07	50
微細砂	0.1	40
細砂	0.15	30
中砂	0.35	10
粗砂	0.6	0
砂れき	2.0	0

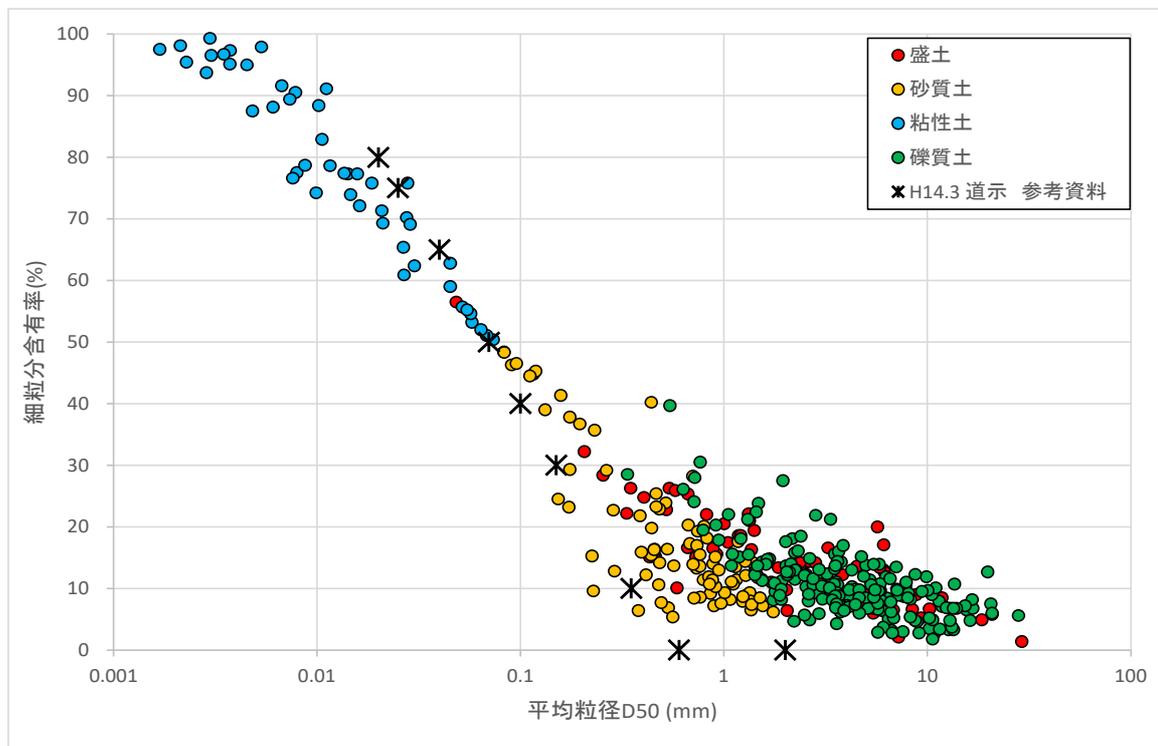


図 4.2.1-15 土器川の  $F_c$  と  $D_{50}$  の相関図

**【参考文献】**

- 1) 国土交通省香川河川国道事務所：土器川水系河川整備計画【案】－土器川の河川整備(国管理区間)－， 1. 土器川の概要， p1～5, 2012
- 2) 国土地理院地図
- 3) 若松加寿江・松岡昌志: 地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No.40, pp.24-27, 2020.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書 V. 耐震設計編， 2002.

## 4.2.2 旧吉野川・今切川・那賀川・桑野川（徳島県）

### (1) 収集資料データの概要

徳島県の河川としては、「3.データ収集およびデータベース作成」で記したように一級河川の旧吉野川と今切川、那賀川と桑野川を対象に繰返し非排水三軸試験（以下、「繰返し三軸試験」と呼称する）の結果を収集した。何れのデータも河川堤防や樋門の設計および耐震性能照査を目的に実施された地質調査の結果である。表 4.2.2-1 に収集したデータの試料数、基本的な物理諸元値の最大・最小値、平均値等を示すとともに、図 4.2.2-1～図 4.2.2-2 に治水地形分類図を背景としたボーリング調査位置図を示す。

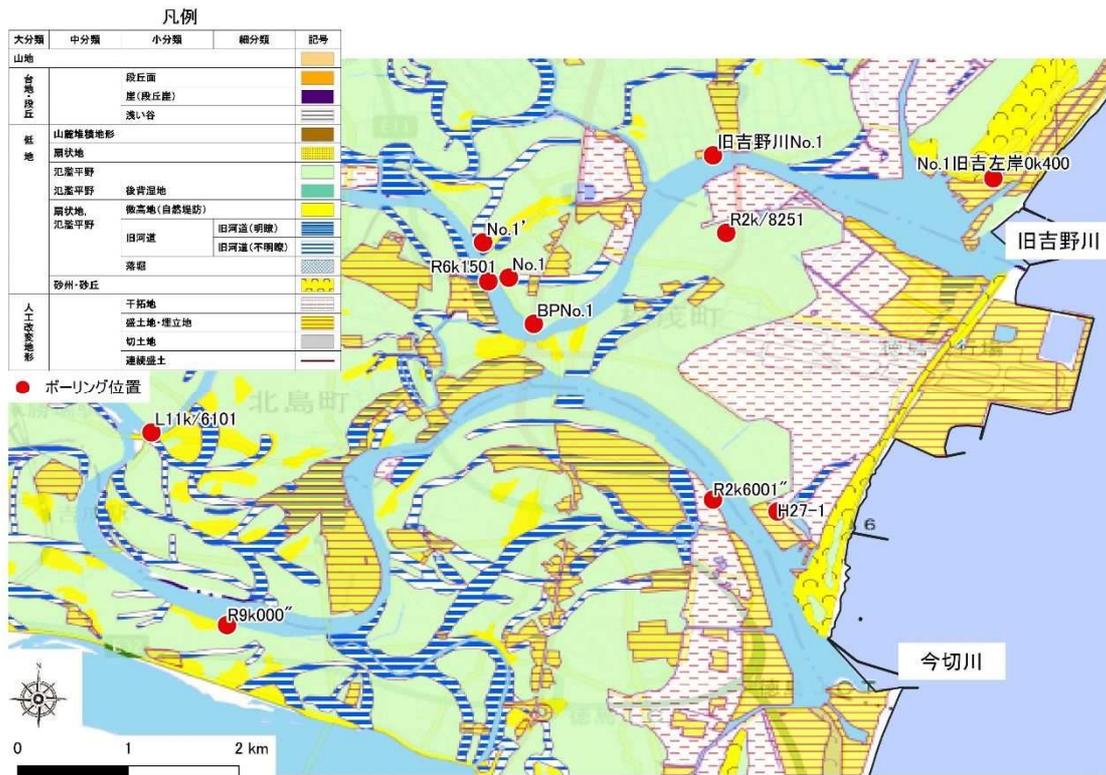


図 4.2.2-1 ボーリング調査位置図と治水地形分類〈旧吉野川・今切川〉

旧吉野川および今切川の地質調査位置の地形分類は、主として氾濫平野であり、旧河道も含まれる。また、河口付近では埋立盛土や干拓地が見られる。那賀川および桑野川の地質調査位置の地形分類も主として氾濫平野であり、その中でも微高地（自然堤防）や人工改変地形（盛土地）で得られたデータが多い。

収集した試験結果数は、4 河川合わせて 150 試料である。そのうち、13 試料が旧吉野川、3 試料が今切川、79 試料が那賀川、55 試料が桑野川のものである。図 4.2.2-3 に試料の土質区分別の割合を示す。試料の土質はボーリング柱状図および粒度試験を基に区分した。試料のうち 7.3%が盛土、76.0%が砂質土、10.0%が粘性土、6.7%が礫質土である。旧吉野川および今切川の試料は砂質土のみであった。

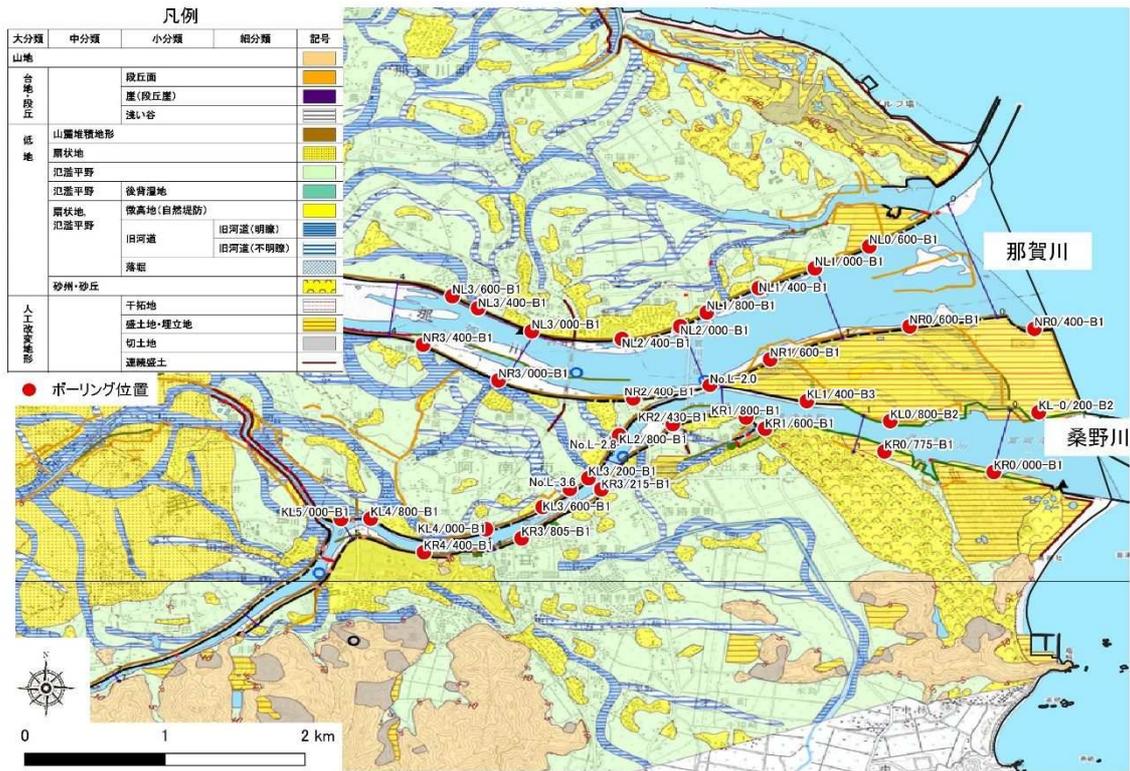


図 4. 2. 2-2 ボーリング調査位置図と治水地形分類〈那賀川・桑野川〉

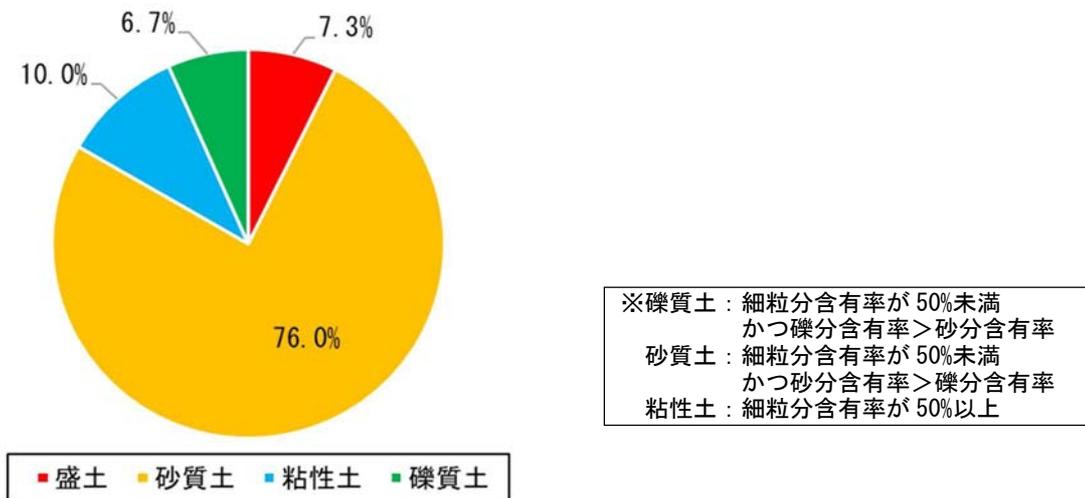


図 4. 2. 2-3 収集資料の土質区分別の割合

表 4.2.2-1 徳島県の河川における繰返し三軸試験の試料の諸元値

河川名	土質名	項目	$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$F_c$ (%)	$D_{50}$ (mm)	$I_p$ (%)	$R_{L20}$	N値	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
旧吉野川	砂質土	データ数	12	13	12	-	13	12	13
		最大値	2.000	48.5	0.833	-	0.315	17	401.5
		最小値	1.726	2.8	0.078	-	0.167	5	40.7
		平均値	1.863	24.6	0.236	-	0.229	10.2	111.4
		中央値	1.857	27.0	0.185	-	0.225	9.8	77.4
今切川	砂質土	データ数	3	3	3	-	3	3	3
		最大値	1.976	17.1	0.348	-	0.264	10	99.1
		最小値	1.828	4.9	0.258	-	0.189	1	88.6
		平均値	1.903	12.7	0.290	-	0.226	6.3	92.3
		中央値	1.906	16.2	0.266	-	0.226	8	89.4
那賀川	盛土	データ数	11	11	11	3	11	11	11
		最大値	2.342	19.3	9.673	22.7	0.435	750	125.9
		最小値	1.706	0.7	0.278	6.8	0.130	3	19.2
		平均値	2.081	8.8	6.578	13.6	0.295	78	71.6
		中央値	2.145	10.6	9.187	11.3	0.291	9	59.8
	砂質土	データ数	57	57	57	12	57	57	57
		最大値	2.209	43.2	1.629	29.3	0.627	32	346.2
		最小値	1.654	2.8	0.088	4.0	0.193	5	36.1
		平均値	1.936	20.8	0.409	10.2	0.306	16.1	174.1
		中央値	1.928	19.9	0.225	7.4	0.287	16	162.5
	粘性土	データ数	8	8	8	5	8	8	8
		最大値	1.898	89.1	0.062	19.6	0.375	23	321.1
		最小値	1.542	57.0	0.028	7.0	0.245	6	169.1
		平均値	1.787	68.1	0.046	12.8	0.285	11.1	237.7
		中央値	1.805	63.5	0.050	10.0	0.277	9.5	233.2
	礫質土	データ数	3	3	3	-	3	3	3
		最大値	2.341	2.9	14.700	-	0.345	33	194.5
		最小値	2.156	2.2	2.230	-	0.257	14	148.4
		平均値	2.244	2.5	9.568	-	0.310	22	167.1
		中央値	2.234	2.4	11.775	-	0.328	19	158.3
桑野川	砂質土	データ数	38	38	38	1	41	41	41
		最大値	2.072	49.6	1.400	9.1	0.438	30	259.5
		最小値	1.776	2.1	0.076	9.1	0.164	5	43.3
		平均値	1.899	17.9	0.307	9.1	0.259	14	141.7
		中央値	1.896	13.5	0.185	9.1	0.253	13	133.1
	粘性土	データ数	7	7	7	2	7	7	7
		最大値	1.895	68.2	0.074	13.5	0.288	25	209.3
		最小値	1.652	50.2	0.040	12.7	0.218	4	131.7
		平均値	1.812	57.8	0.061	13.1	0.259	11.1	165.0
		中央値	1.843	55.6	0.065	13.1	0.271	11	155.6
	礫質土	データ数	7	7	7	-	7	7	7
		最大値	2.334	5.6	14.820	-	0.445	22	179.5
		最小値	2.066	2.2	1.862	-	0.274	9	50.7
		平均値	2.215	4.0	7.996	-	0.377	14.3	101.6
		中央値	2.213	3.5	8.170	-	0.415	14	107.3

## (2) 物理および力学特性

表 4.2.2-1 に示した調査結果の主要な試験値のうち、物理特性として図 4.2.2-4～図 4.2.2-6 に湿潤単位体積重量  $\gamma_{12}$ 、細粒分含有率  $F_c$ 、平均粒径  $D_{50}$  を示し、液状化強度の推定に重要な  $N$  値と湿潤単位体積重量  $\gamma_{12}$ 、細粒分含有率  $F_c$  の関係を図 4.2.2-7～4.2.2-8 に示す。

湿潤単位体積重量(以下、 $\gamma_{12}$  と略記する)に関する特性は以下のとおりである。

土質別では、盛土は  $\gamma_{12}=17\sim 23\text{kN/m}^3$  とバラツキがあるが道路橋示方書等に示す盛土の一般値に比べて大きい傾向である。また、砂質土、粘性土、礫質土の最頻値は、道路橋示方書等に示す一般値の“密なもの”に概ね該当する傾向である。

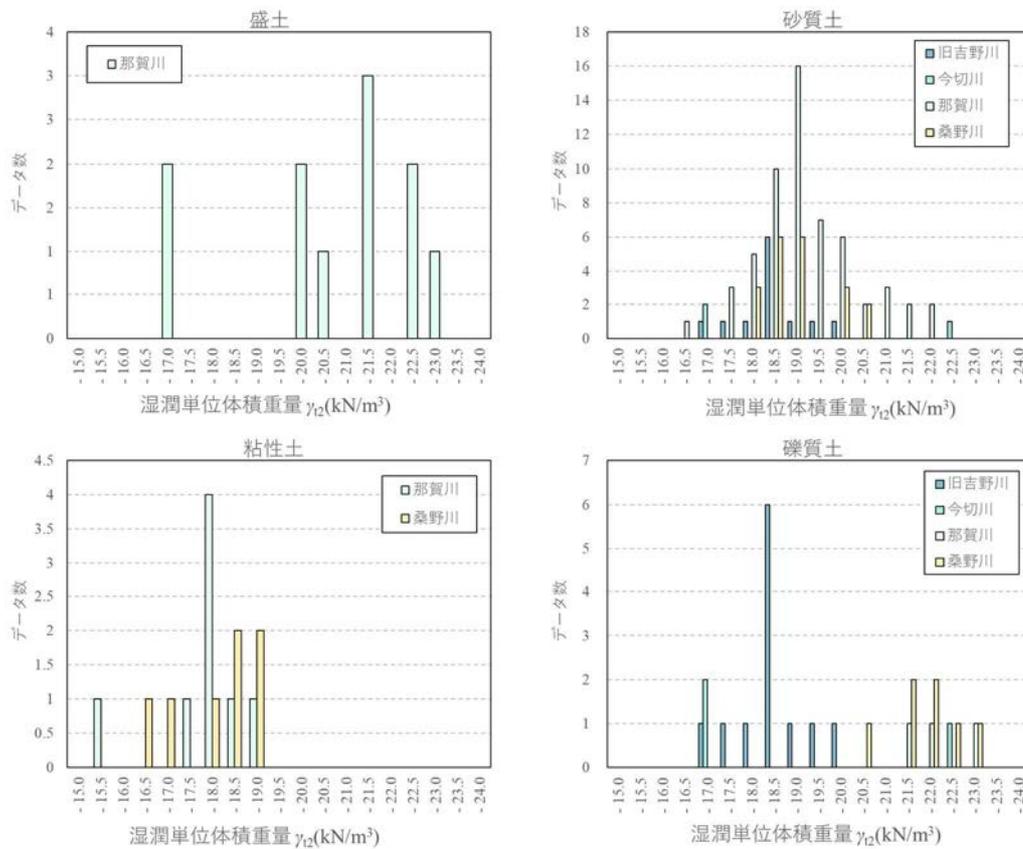


図 4.2.2-4 収集データの湿潤単位体積重量  $\gamma_{12}$  の頻度分布図

細粒分含有率(以下,  $F_c$  と略記する)に関する特性は以下のとおりである.

盛土,礫質土は  $F_c$  が 35%以下であり、砂質土も  $F_c$  が 35%以下に試料数が多いことから、一般的に液状化しやすい性状であるといえる.

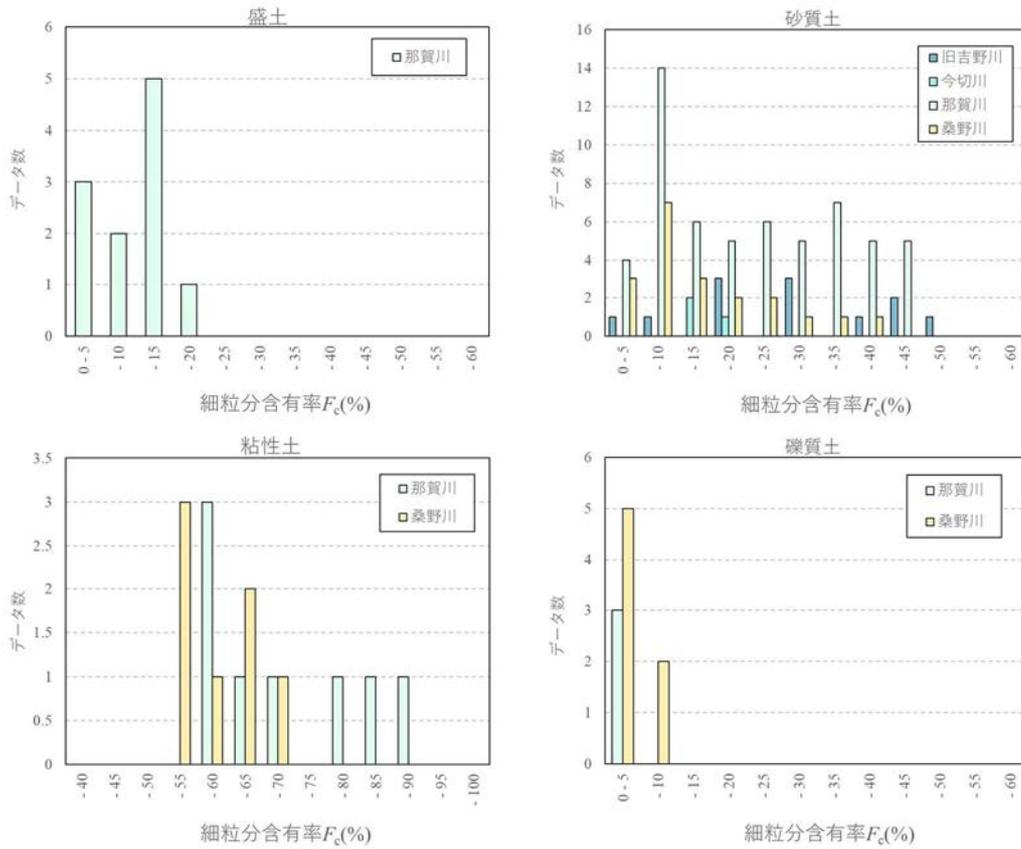


図 4.2.2-5 収集データの細粒分含有率  $F_c$  の頻度分布図

平均粒径（以下、 $D_{50}$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。

砂質土は 0.10~3.30mm とバラツキが大きい傾向である。

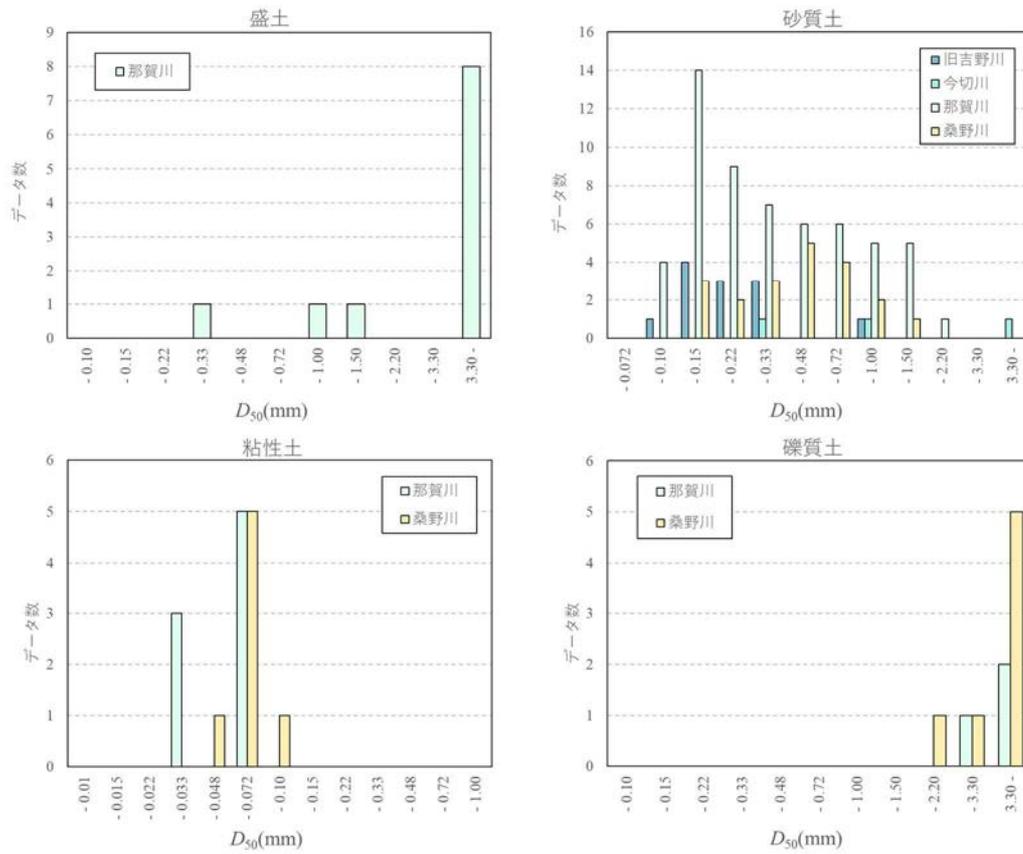


図 4. 2. 2-6 収集データの平均粒径  $D_{50}$  の頻度分布図

図 4.2.2-7 より各土質の単位体積重量のバラツキは小さいと言える。ここで、当委員会の地盤調査・土質試験結果データベースの整理【添付資料】において、道路橋示方書<sup>1)</sup>による推定  $R_L$  算定に当たり単位体積重量が得られていない場合は道路橋示方書による一般値を用いて有効上載圧を算定している<sup>2)</sup>。そこで、これらの一般値と試験結果を比較すると、砂質土や礫質土は一般値（緩いもの： $\gamma_{12}=17\sim 18\text{kN/m}^3$ ）に比べ  $\gamma_{12}=18.3\sim 22\text{kN/m}^3$  と大きく、粘性土においては一般値（密なもの： $\gamma_{12}=18\text{kN/m}^3$ ）と同等程度と言える。よって、砂質土や礫質土は一般値を用いる場合より換算  $N$  値が小さくなるため、液状化しやすい結果となる。

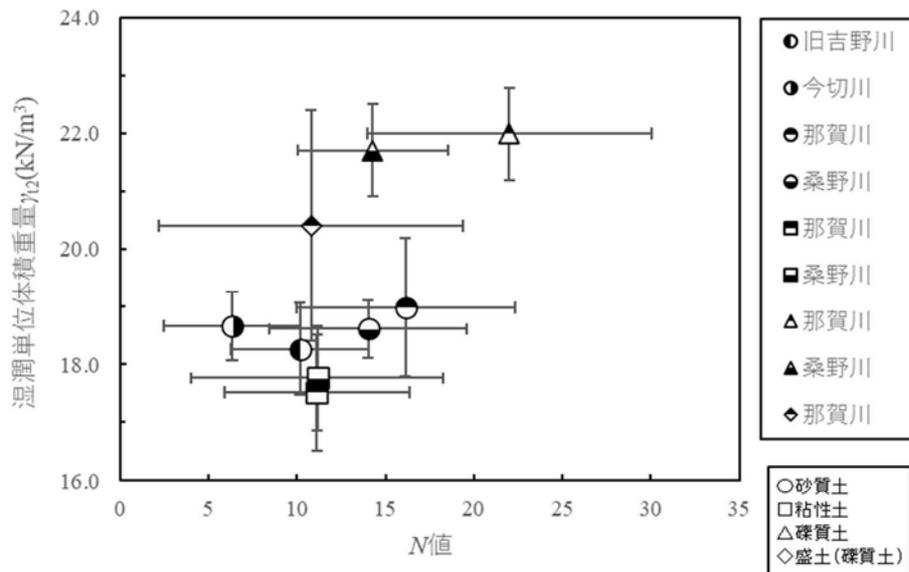


図 4.2.2-7  $N$  値と湿潤単位体積重量  $\gamma_{12}$  の関係

次に、図 4.2.2-8 に示した沖積砂質土層における  $N$  値と細粒分含有率の関係性について述べる。同図には箇所ごとの平均値と標準偏差の他、東京低地の沖積砂質土層における関係式<sup>3)</sup>を付記した。

$N$  値 25 以下で細粒分含有率のバラツキが大きく、今切川を除いては東京低地の関係式に比べ概ね細粒分含有率が高めであり、その地域性が確認できる。

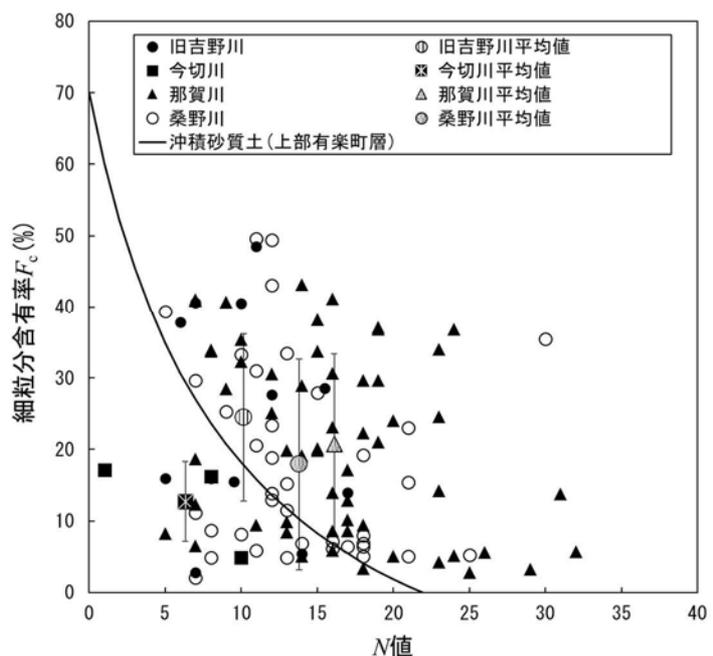


図 4.2.2-8  $N$  値と細粒分含有率  $F_c$  の関係

次に、図 4.2.2-9～図 4.2.2-10 に力学特性として  $N$  値および液状化強度試験値の土質別の頻度分布図を示す。

$N$  値に関する特性は以下のとおりである。

$N$  値 10 以下の相対密度「緩い」を示す試料は全体で 3 割程度であり、試料の 7 割程度は相対密度「中位の」を示す傾向である。

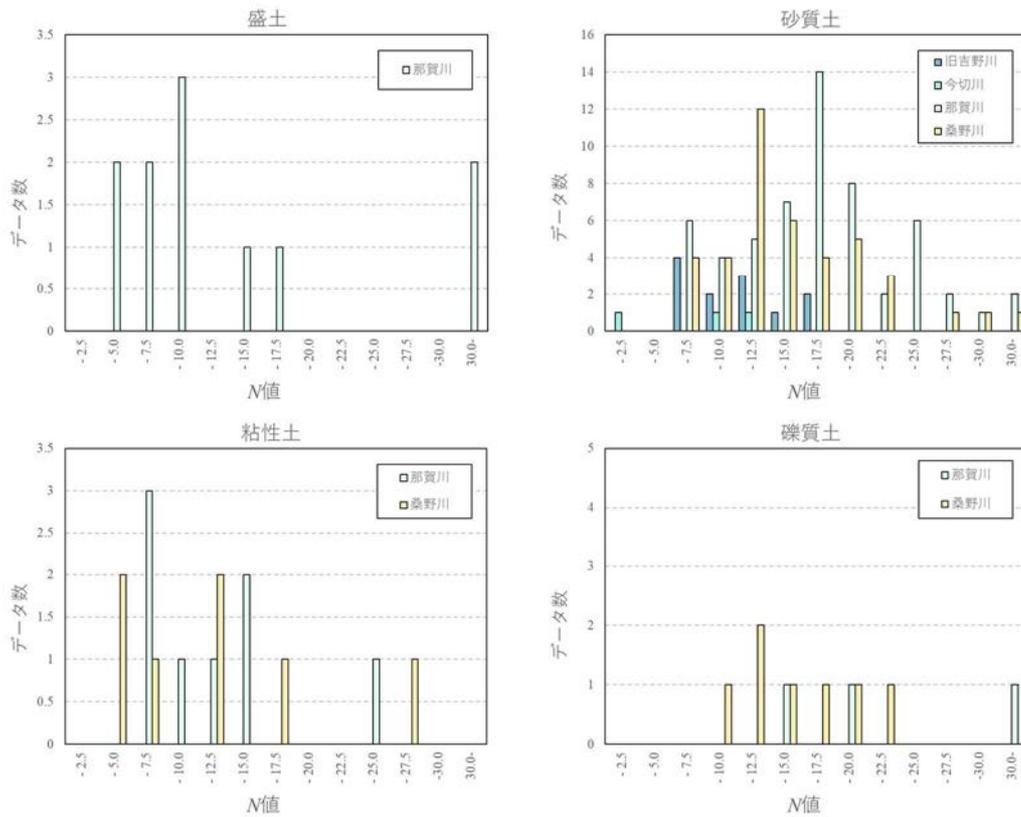


図 4.2.2-9 収集データの  $N$  値の頻度分布図

液状化強度 ( $R_{L20}$ ) に関する特性は以下のとおりである。

$R_{L20}$  の平均値は、盛土で 0.295、砂質土では 0.278 となった。また、盛土、砂質土での  $R_{L20}$  は 0.25~0.30 の間が最頻値となっている。

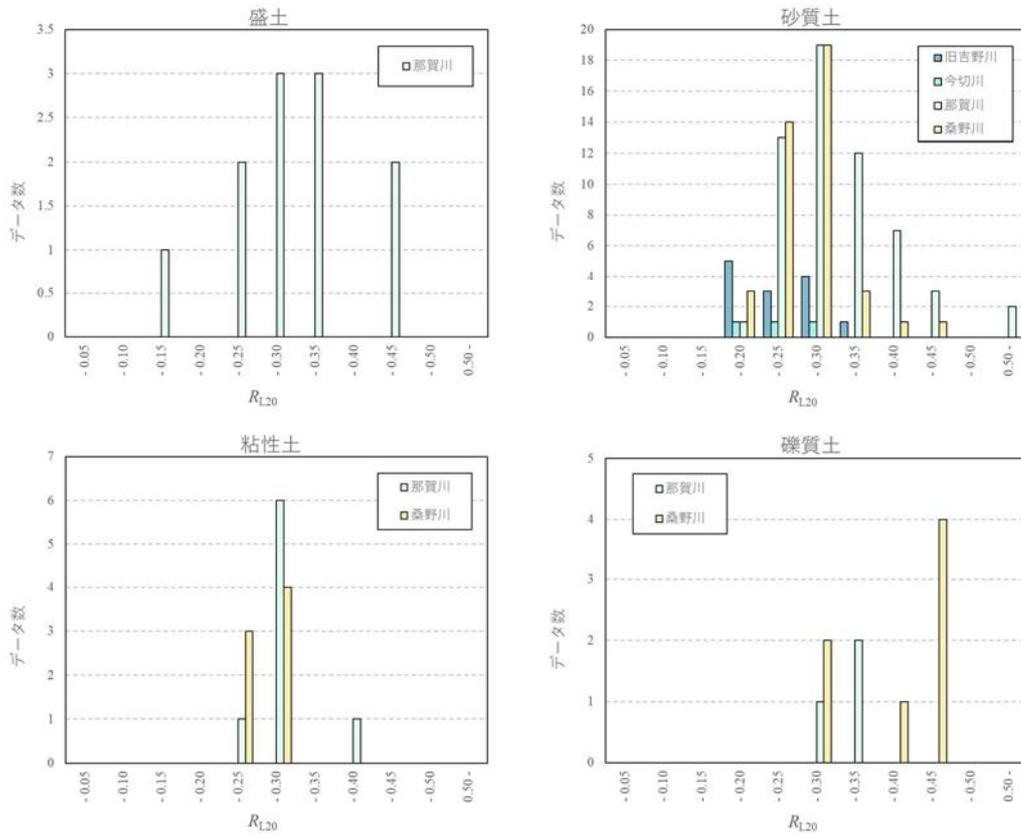


図 4.2.2-10 収集データの  $R_{L20}$  の頻度分布図

### (3) 液状化強度と物理特性の関係

細粒分含有率と今回収集した繰返し三軸試験  $R_{L20}$  との関係について述べる。図 4.2.2-11 には箇所ごとの平均値と標準偏差を付記している。 $R_{L20}$  の標準偏差は 0.03~0.08 であり、旧吉野川、那賀川で比較的ばらつきが大きい。また、何れの箇所においても  $F_c$  の増加に伴い、 $R_{L20}$  は横ばいかもしくは減少傾向が伺える。ここで、道路橋示方書の推定  $R_L$  の算定では、 $F_c$  の増加に伴い  $R_L$  は増加するため試験値  $R_{L20}$  より過大な結果となる。

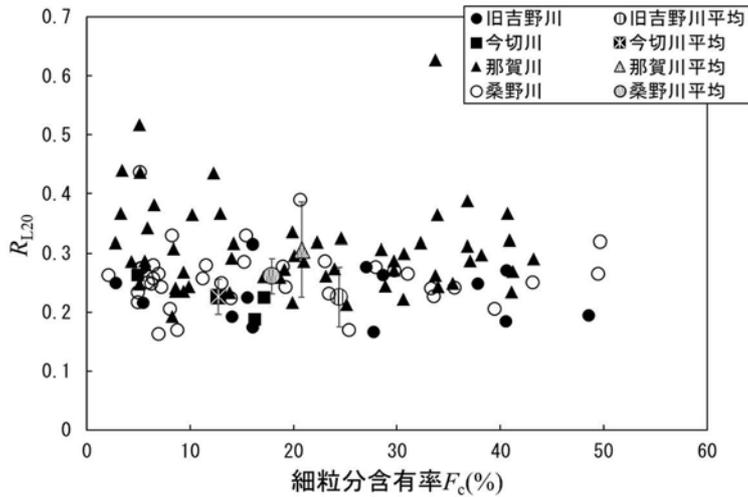


図 4.2.2-11  $R_{L20}$  と細粒分含有率  $F_c$  の関係

那賀川および桑野川については礫質土（礫分>砂分）において繰返し三軸試験結果が多く得られており、これについて述べる。箇所ごとの  $R_{L20}$  と  $F_c$  の関係を図 4.2.2-12 に、 $D_{50}$  との関係を図 4.2.2-13 に示す。 $F_c$  の増加に伴い  $R_{L20}$  は低下傾向にあり、 $D_{50}$  の粒径拡大に伴い  $R_{L20}$  は増加傾向にあると言える。ここで、道路橋示方書の推定  $R_L$  の算定では、 $D_{50} \geq 2\text{mm}$  の場合において  $D_{50}$  の粒径拡大に伴い補正  $N$  値は低下するため、繰返し三軸試験における液状化強度が過少評価されることになる。

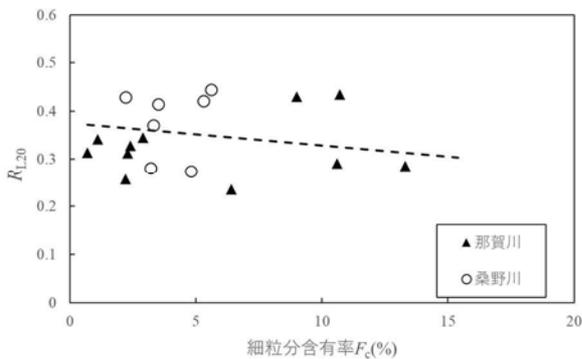


図 4.2.2-12  $R_{L20}$  と  $F_c$  の関係（礫質土）

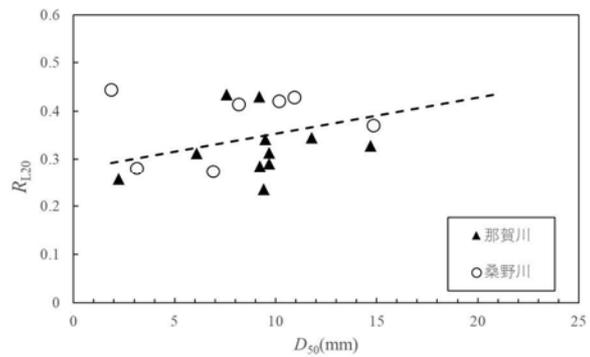
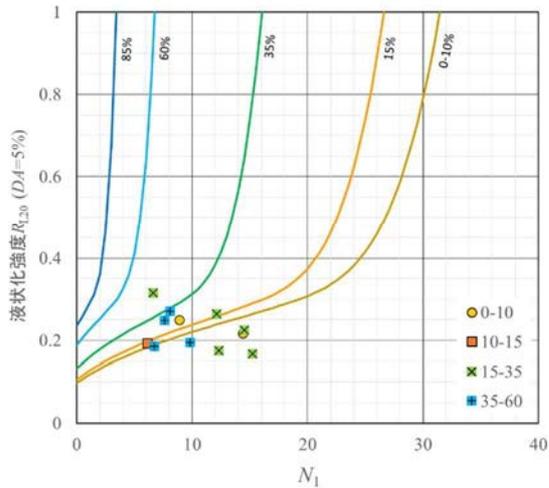


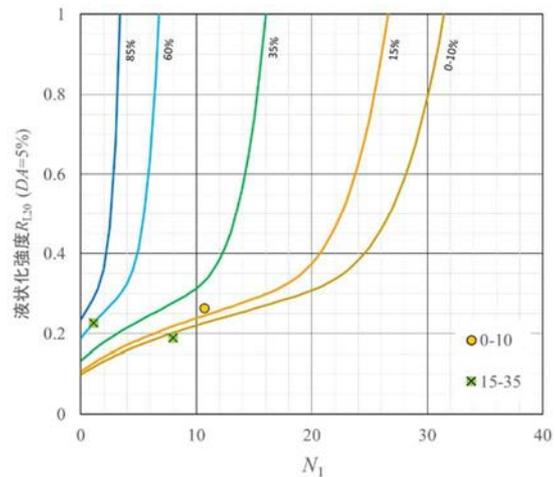
図 4.2.2-13  $R_{L20}$  と  $D_{50}$  の関係（礫質土）

#### (4) 既往基準との比較

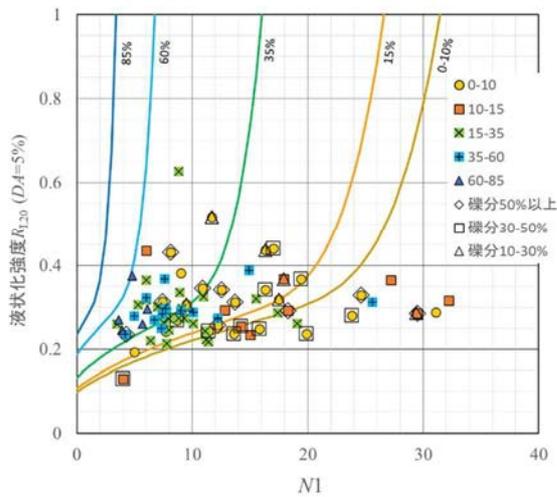
既往基準として一般的に適用されている「道路橋示方書 V耐震設計編 平成29年11月」に示されている液状化判定式における繰返し三軸強度比（以下、「道示式」と略称する）との比較を行った。図4.2.2-14に $R_{L20}$ の試験値と換算 $N$ 値との関係を示す。図中には $F_c$ の値による道示式の値を合わせて示す。 $F_c=15\%$ 以下のデータはバラツキが大きく、 $F_c$ が $15\%$ 超えると道示式と近い傾向を示している。



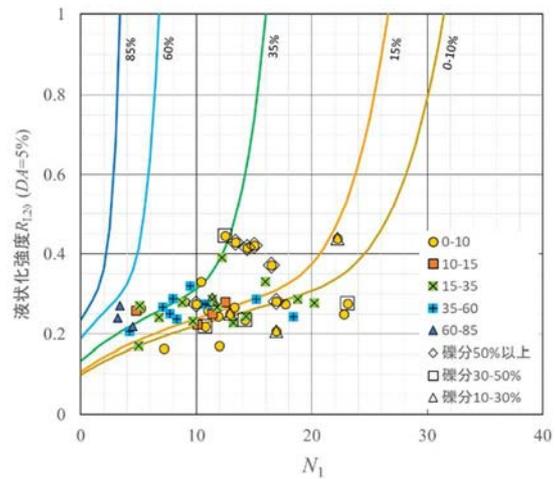
<旧吉野川>



<今切川>



<那賀川>



<桑野川>

図4.2.2-14  $R_{L20}$  と換算 $N$ 値の相関図

図 4.2.2-15 に  $R_{L20}$  の試験値と試験箇所地下水水位およびボーリングの地層データを用いて計算した有効上載圧をもとに計算した道示式との相関図を示す。1:1の直線に対して数箇所のデータを除くとほぼ左右均等にばらついており偏りはみられない。

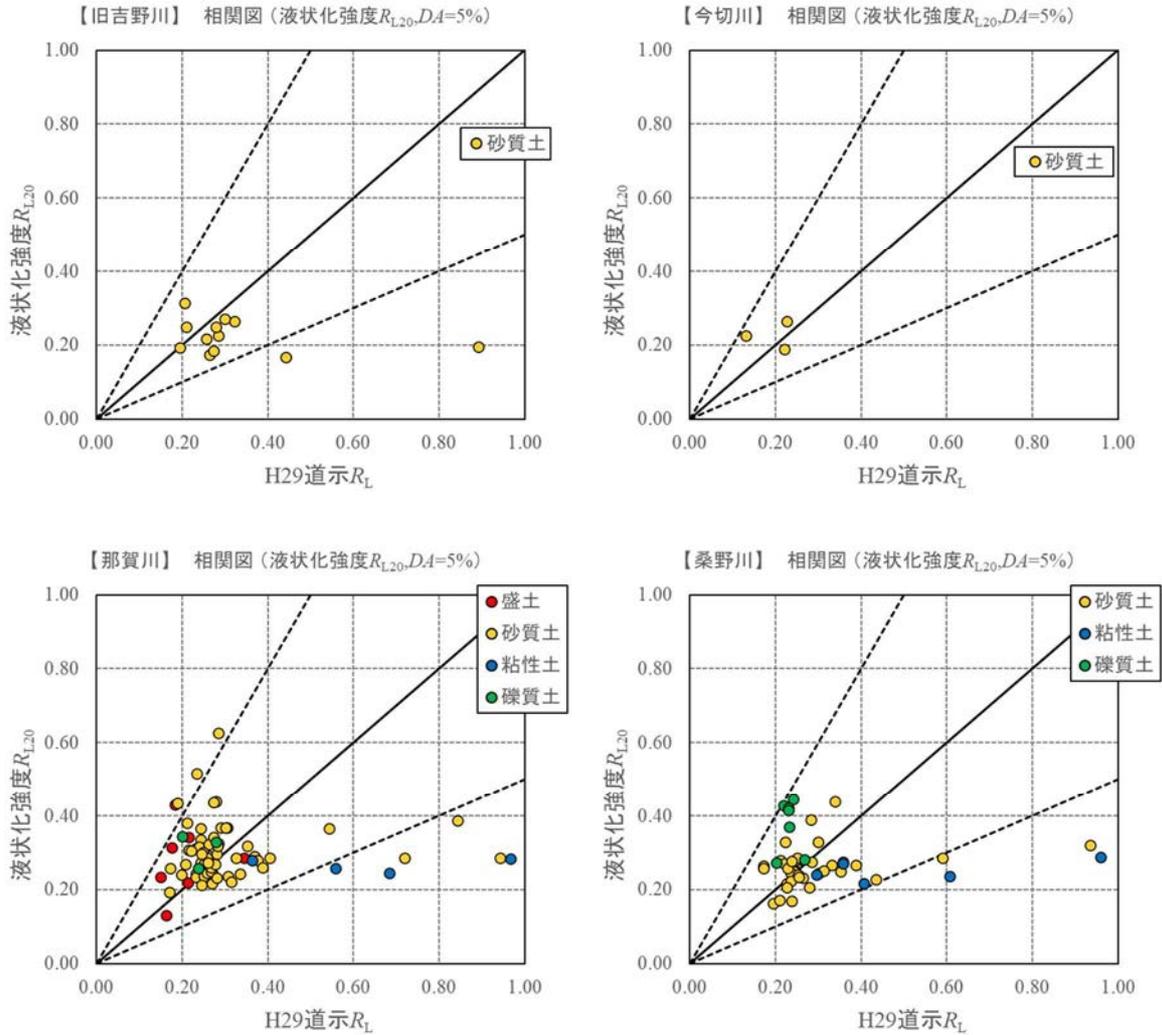


図 4.2.2-15  $R_{L20}$  道示式との相関図

## (5) まとめ

徳島県の河川における繰返し三軸試験結果を収集して、調査地点の土質区分や微地形をもとに液状化強度と物理特性等の比較を行った結果、以下の知見を得た。

- ・湿潤単位体積重量  $\gamma_{12}$  の頻度分布の最頻値は、道路橋示方書に示す一般値の“密なもの”に概ね該当する傾向である。
- ・那賀川および桑野川の礫質土の繰返し三軸試験結果は、 $F_c$  の増加に伴い  $R_{L20}$  は低下傾向にあり、 $D_{50}$  の粒径拡大に伴い  $R_{L20}$  は増加傾向にある。
- ・ $R_{L20}$  の試験値と換算  $N$  値との比較から、 $F_c=15\%$ 以下のデータはバラツキが大きく、 $F_c$  が  $15\%$ を超えると道示式と近い傾向を示している。

### 【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017.11.
- 2) 神田ら：四国地域の液状化に係るデータ収集と整理方法，令和2年度地盤工学会四国支部研究発表会，2020.
- 3) 亀井ら：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響，地盤工学会論文報告集，Vol.42，No.4，101-110，2002.

### 4.2.3 四万十川・鏡川（高知県）

#### (1) 収集資料データの概要

高知県の河川としては、第2章で記したように一級水系の四万十川および二級水系の鏡川における繰返し非排水三軸試験(以下、「繰返し三軸試験」と略称する)のデータを収集した。

四万十川の収集データは、河口付近の右岸側 1.8～5.2km の堤防設計を目的として実施された地質調査の結果である。鏡川の収集データは、河口から 3.0km までの左右岸において堤防の耐震性能照査のために実施された地質調査の結果である。図 4.2.3-1 (1) (2) に治水地形分類図を背景としたボーリング調査位置図を示す。四万十川の地質調査位置の地形分類は、丘陵地が河岸に迫る狭く細長い低地部を形成する氾濫平野が大半を占め、丘陵地を開析して本川に流入する小支川合流部に自然堤防が形成されている。鏡川の地質調査位置の地形分類は、堤防沿いに形成された自然堤防とその周辺の氾濫平野である。

本報告で高知県の河川関係として収集した試験結果数は、2 河川合わせて 40 試料である。試料の土質は表 4.2.3-1 に示す細粒分含有率  $F_c$  と砂分および礫分含有率をもとに区分した。表 4.2.3-2 に収集したデータの試料数、基本的な物理諸元値の最大・最小値、平均値等を示す。35 試料が四万十川、5 試料が鏡川のものである。図 4.2.3-2 に試料の土質区分別の割合を示す。試料のうち 37.5%が砂質土、47.5%が粘性土、15.0%が礫質土である。試料では、「盛土」は 1 試料であったため分析の対象から除外した。鏡川の試料は礫質土および砂質土で、粘性土はなかった。粘性土はいずれも四万十川の試料である。本報告では粘性土には平均粒径  $D_{50} < 0.005\text{mm}$  の粘土は含まれていない。そのため、以下の報告では粘性土を「シルト質土」と呼称している。

各河川における収集試料の特性を以下に示す。

四万十川の地質調査結果は、右岸側の 1.8～5.2km の区間で実施された 20 箇所でのボーリング調査における 35 試料である。調査範囲の下流に位置する 1.8～3.0km 区間は、丘陵地が河岸までに迫り、複数箇所でも尾根が河岸まで張り出し岩盤が表層付近まで分布している。尾根の間に形成された低地部の河川横断方向の幅員は 100m 未満である。この低地部の地質層序は、表層より砂礫層の互層を形成しており、表層より 18～40m の深さに岩盤が確認されている。地形分類は氾濫平野である。繰返し三軸試験の試料の採取深度は GL-2～-16m、土質区分は、砂または礫混じりのシルト質土が多い。

3.0～3.6km の区間は堤内側より小河川が本川に合流する箇所でも後背地は小規模ながら開けた沖積部を形成している。この区間の地質層序は、堤防盛土、礫質土で薄層の砂層や粘性土層が確認されている。地形分類は自然堤防で、試料の採取深度は GL-6～-16m、試料の土質は粘土質の砂礫である。

3.6～5.2km の区間は、下流の 1.8～3.0km と同様に丘陵地が河岸に迫る地形で、下流範囲に比べて低地部の幅員が 100～140m と広く尾根が河岸まで到達する箇所はない。この低地部の地質層序は、堤防盛土、粘性土層、砂礫層、砂質粘土層および粘土層である。地形分類は氾濫平野である。

試料の採取深度は GL-1~-19m, 土質区分は細砂を含むシルト質土が多い。

鏡川の調査範囲は、河口から 3.0km までの左右岸の区間である。試料は、この区間における 5 箇所のボーリング調査（左岸 1 箇所、右岸 4 箇所）の結果である。調査範囲の下流に位置する河口から 2.4km 付近までは自然堤防の微高地が河川沿いに幅員 50~100m で形成され、それ以外の区間は氾濫平野となっている。堤防沿いの区域の地質層序は、表層より堤防盛土、砂層および粘土層となっている。繰返し三軸試験の試料の採取深度は GL-2~-16m, 土質区分は、粘土または礫混じりの砂質土が多い。

表 4. 2. 3-1 土質の区分

土質区分	区分の考え方
砂質土	$F_c$ が 50% 未満かつ砂分含有率 > 礫分含有率
粘性土	$F_c$ が 50% 以上
礫質土	$F_c$ が 50% 未満かつ砂分含有率 < 礫分含有率

注) 土質区分の色分けは以下の分析の凡例として使用する。

表 4. 2. 3-2 高知県の対象河川における繰返し三軸試験の試料の諸元値

河川名	土質名	項目	$\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$F_c$ (%)	$D_{50}$ (mm)	$I_p$ (%)	$R_{L20}$	N 値	$\sigma'_v$ ( $\text{kN/m}^2$ )
四万十川	砂質土	データ数	11	11	11	2	11	11	11
		最大値	2.026	48.3	0.490	8.7	0.379	23	198.5
		最小値	1.743	5.3	0.081	2.7	0.080	2	26.6
		平均値	1.839	31.8	0.174	5.7	0.306	9.1	102.4
		中央値	1.838	27.7	0.146	4.8	0.286	6.6	91.7
	シルト質土	データ数	19	19	19	16	19	19	19
		最大値	2.065	99.5	0.071	15.6	1.316	24	207.8
		最小値	1.462	51.3	0.003	3.5	0.255	1	16.2
		平均値	1.832	67.1	0.043	10.6	0.455	6.8	98.3
		中央値	1.826	66.0	0.037	9.9	0.421	4.6	74.8
	礫質土	データ数	5	5	5	4	5	5	5
		最大値	2.254	19.4	8.390	11.6	0.125	50	184.9
		最小値	1.890	8.2	2.120	5.4	0.103	11	124.0
		平均値	2.090	13.3	4.430	8.0	0.112	25.4	154.7
		中央値	2.086	12.5	3.802	7.7	0.112	22.0	152.6
鏡川	砂質土	データ数	4	4	4	0	4	4	4
		最大値	2.075	43.9	0.265	-	0.236	5	121.3
		最小値	1.768	20.2	0.098	-	0.212	2	108.4
		平均値	1.861	30.1	0.173	-	0.226	3.7	113.5
		中央値	1.857	28.8	0.163	-	0.225	3.4	113.4
	礫質土	データ数	1	1	1	0	1	1	1
		試験値	1.913	10.5	2.605	-	0.225	12	117.5

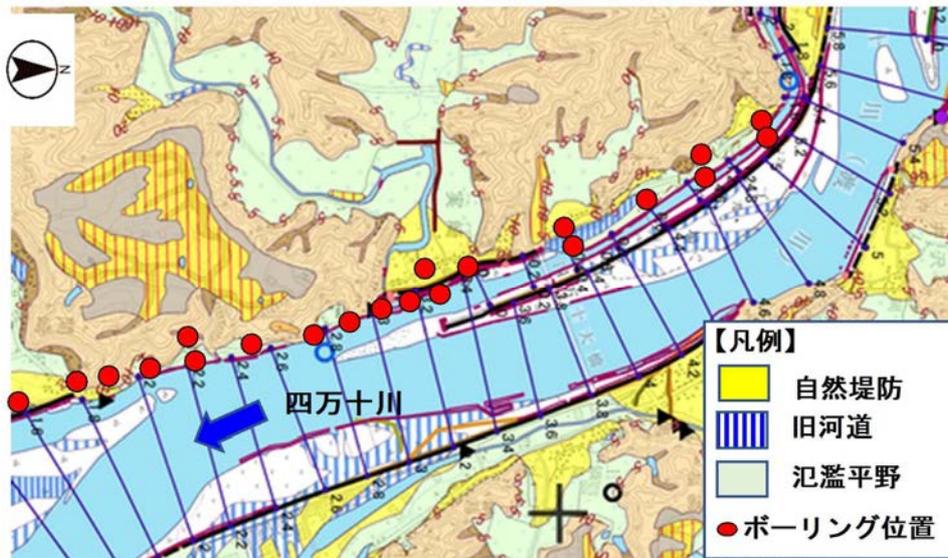


図 4. 2. 3-1(1) 四万十川のボーリング調査位置と地形分類図

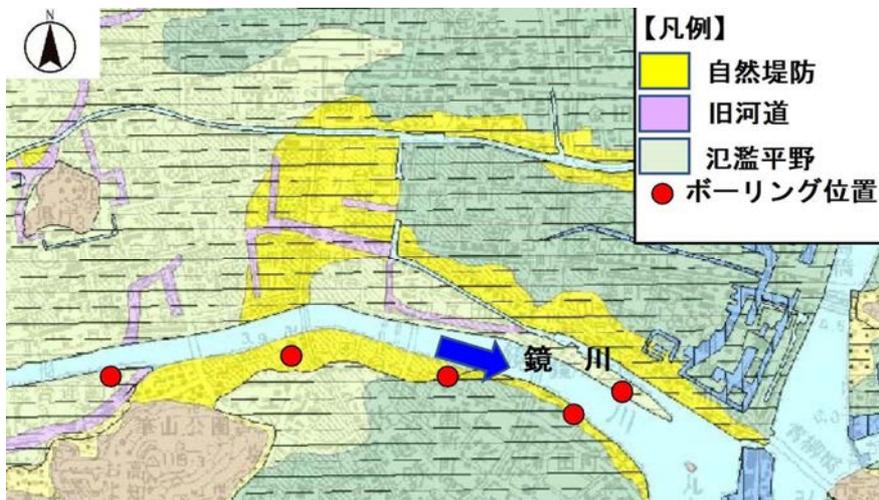


図 4. 2. 3-1(2) 鏡川のボーリング調査位置と地形分類図

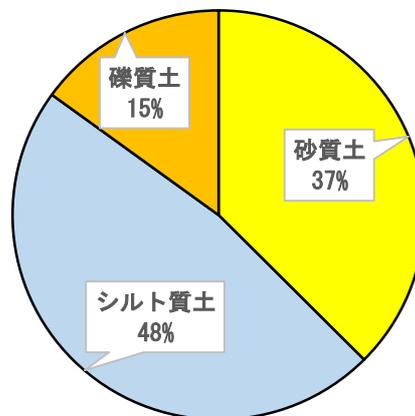


図 4. 2. 3-2 収集した資料データの土質区分の比率

(2) 物理および力学特性

表 4. 2. 3-1 に示した調査結果の主要な試験値のうち、物理特性として図 4. 2. 3-3(1)～(4)に湿潤単位体積重量、細粒分含有率、平均粒径、塑性指数、図 4. 2. 3-4～5 に力学特性として  $N$  値および液状化強度試験値の河川別並びに土質別の頻度分布図を示す。

湿潤単位体積重量（以下、 $\gamma_t$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。土質別では、砂質土およびシルト質土は  $\gamma_t=19.0\text{kN/m}^3$  以下で頻度のピークが見られる。シルト質土のデータは全て四万十川のものであり、礫混じりのシルトが多いことから、シルト質土の割には単位体積重量が砂質土と同程度を示していると考えられる。砂質土では四万十川と鏡川はほぼ同じ分布を示しており、類似した特性と考えられる。礫質土は  $\gamma_t=19.0\sim 21.5\text{kN/m}^3$  であり、道路橋示方書等に示される一般値とほぼ同じである。<sup>1)</sup>

細粒分含有率(以下、 $F_c$  と略記する)に関する特性は以下のとおりである。試験データは  $F_c$  が 50%で明確に区分される特性を示している。砂質土の  $F_c$  は 5～48%の範囲を示し、四万十川に比べて鏡川のデータはバラツキが少ない。四万十川のデータでは礫質土でも  $F_c$  が平均で 13%程度認められ、細粒分を含む構成になっている。

平均粒径（以下、 $D_{50}$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。試験結果データの土質区分で 47.5%がシルト質土であることから、細砂とシルトの境界部付近の粒径が頻度分布のピークを示し、細砂からシルトの境界付近の粒径が多かったことを示している。砂質土は、四万十川および鏡川とも中砂より細かい粒度

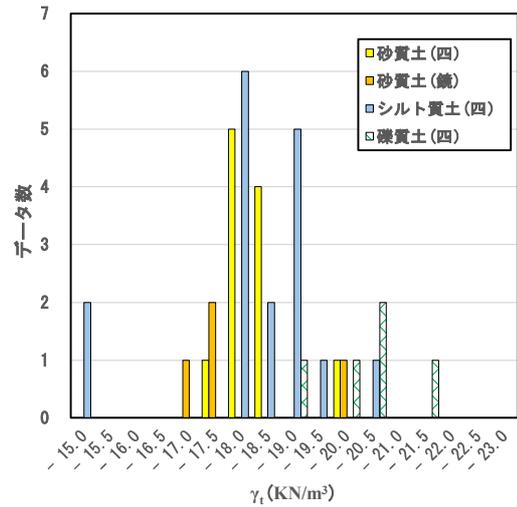


図 4. 2. 3-3(1) 収集データの単位体積重量頻度分布図

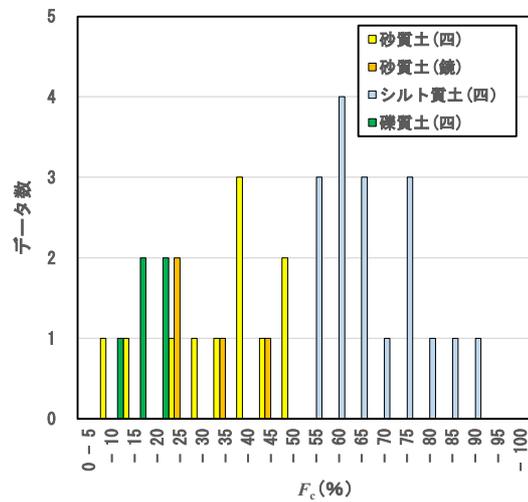


図 4. 2. 3-3(2) 収集データの細粒分含有率の頻度分布図

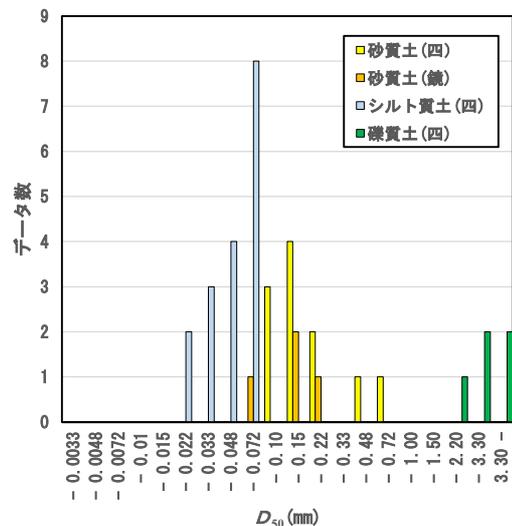


図 4. 2. 3-3(3) 収集データの平均粒径の頻度分布図

のものが多く、ほぼ同じ粒径特性を示していると考えられる。

塑性指数（以下、 $I_p$ と略記する）に関する特性は以下のとおりである。鏡川のデータではシルト質土の試料はなく  $I_p$ は検出されていない。四万十川では、礫質土でも  $I_p$ が得られた試料があり、粘性土がマトリックスになっていると考えられる。

$N$ 値に関する特性は以下のとおりである。試験地点の  $N$ 値は、試験深度において標準貫入試験が実施されていない場合は近傍の深度の  $N$ 値より推定した。試料のうち  $N$ 値 12.5 より未満が 71%を占めており、砂質土としては「ゆるい」から「中位」の硬さを示している。シルト質土としては「中位」から「硬い」性状を示している<sup>2)</sup>。四万十川のシルト質土で  $N$ 値 >15 の試料が含まれるのは、試料内に礫質土が含まれることが要因と考えられる。鏡川の砂質土の  $N$ 値は、7.5 より小さく、四万十川のシルト質土と同程度の分布を示し、 $F_c$  や  $D_{50}$  から推察されるように細砂が主体で、四万十川の砂質土に比べて緩い性状が見られる。

液状化強度を示す  $R_{L20}$  に関する特性は以下のとおりである。四万十川の砂質土の  $R_{L20}$  の最大値は 0.38 で、0.3~0.35 のデータ数の頻度が大きく 6 試料を示す。四万十川の平均値は 0.306 である。鏡川の  $R_{L20}$  は、0.212~0.236、平均値は 0.225 で値はバラツキが少なくほぼ同程度である。鏡川の砂質土は資料収集範囲で河川の縦断方向における均一性が高い傾向が見られる。

シルト質土のデータはすべて四万十川のものである。最小値は 0.32 で、0.4 以上がデータ数の 53%を占める。平均値は 0.46 である。図 4.2.3-5 の礫質土は四万十川のみを記載してい

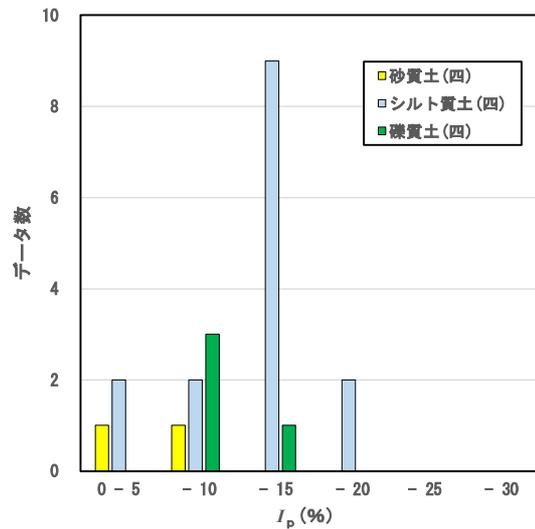


図 4.2.3-3(4) 収集データの塑性指数の頻度分布図

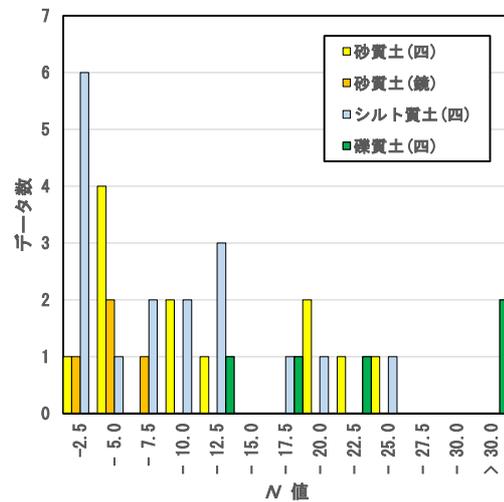


図 4.2.3-4 収集データの  $N$ 値の頻度分布図

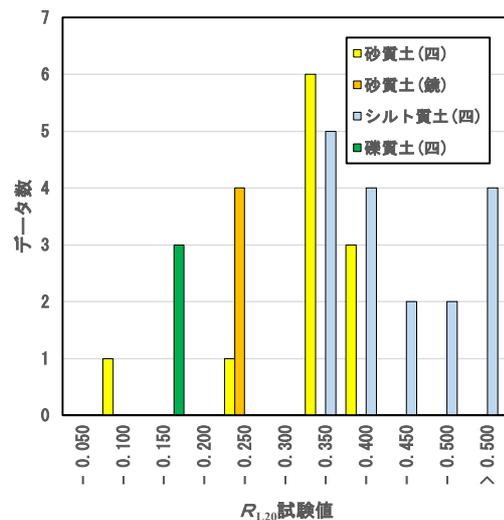


図 4.2.3-5 収集データの液状化試験値の頻度分布図

る。礫質土のデータは砂質土より小さく、0.15以下の値を示している。次項で比較する「道路橋示方書・同解説 V.耐震設計編」<sup>3)</sup>に示される液状化判定式（以下、「道示式」と略称する）において、一般的に砂質土やシルト質土より $N$ 値が大きくなる傾向を示す礫質土では、砂質土等に比べて大きい値を示す傾向にあるが、四万十川の試験値は逆の傾向を示し、砂質土の平均値より低い値を示している。礫質土の $R_{L20}$ の試験は5試料で実施されているが $R_{L20}$ が得られたのは3試料である。試料採取は乱れの少ない方法が望ましいが、トリプルサンプリングによる粒径の大きい礫質土のため、試料の乱れの影響も考えられる。2河川の試験値の比較から、 $R_{L20}=0.35$ を境界値として概ね砂質土とシルト質土とに区分されると考えられる。

### (3) 液状化強度と物理特性の関係

収集した繰返し三軸試験結果である液状化強度 $R_{L20}(DA=5\%)$ （以下、 $R_{L20}$ と略記）と土質の物理特性との関係を把握するために、(2)で整理した液状化判定の指標として適用される $F_c$ 、 $D_{50}$ 、 $I_p$ との比較および土の締まりを示す $N$ 値との比較を行った。図4.2.3-6(1)～(4)に $R_{L20}$ と各指標との相関図を示す。本項での検討では、土質区分に加え、河川周辺の堆積環境を反映させた地形分類の区分も合わせて考察した。地形分類としては、四万十川および鏡川の調査範囲に分布している「自然堤防」と「氾濫平野」を対象とした。

$R_{L20}$ と $F_c$ との関係から以下のことが考えられる。四万十川と鏡川で得られた試験値ではデータ全体から $R_{L20}$ と $F_c$ との間に正の相関が見られ、 $F_c$ が大きくなれば $R_{L20}$ の値も大きくなる傾向にある。地形分類別では自然堤防で $F_c$ が45%より小さく $R_{L20}$ は0.3より小さい傾向を示す。

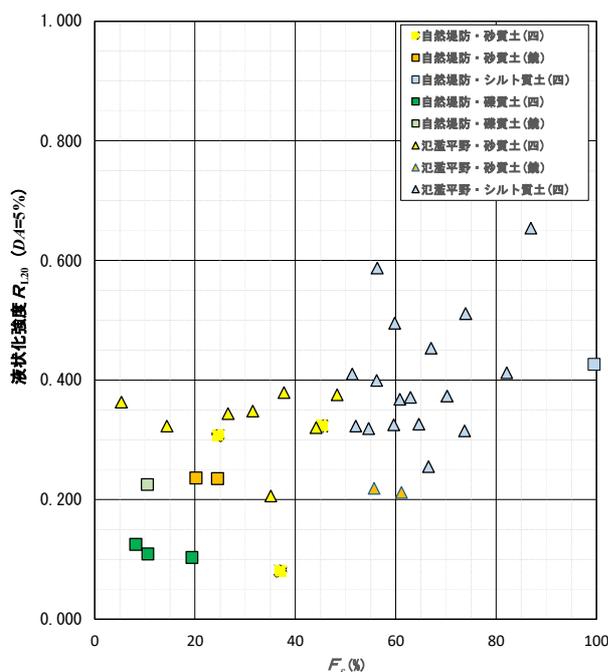


図4.2.3-6(1) 河川・地形分類別 $R_{L20}$ と $F_c$ の相関図

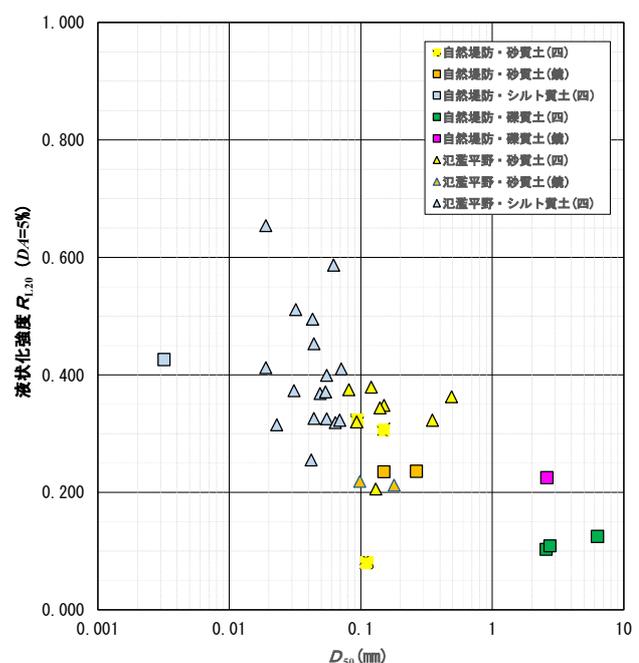


図4.2.3-6(2) 河川・地形分類別 $R_{L20}$ と $D_{50}$ の相関図

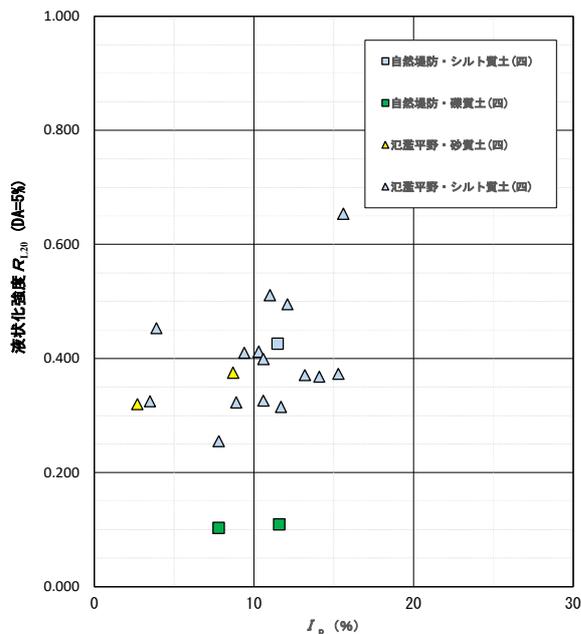


図 4. 2. 3-6 (3) 河川・地形分類別  $R_{L20}$  と  $I_p$  の相関図

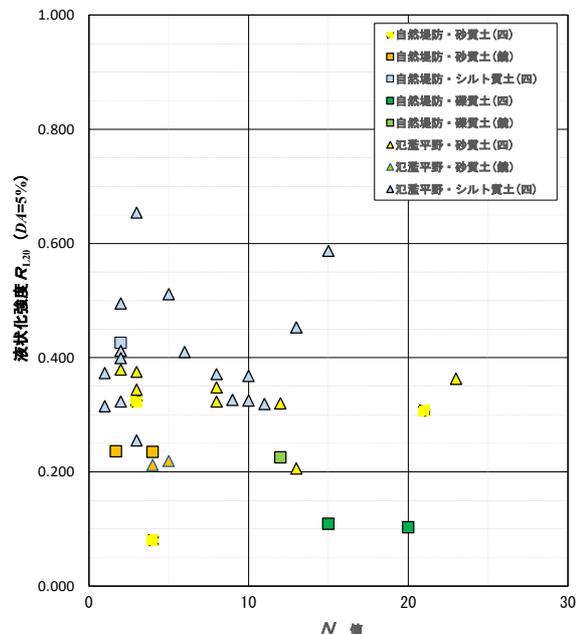


図 4. 2. 3-6 (4) 河川・地形分類別  $R_{L20}$  と  $N$  値の相関図

自然堤防の土質区分は砂礫質土であり、シルト質土はない。氾濫平野では  $F_c$  の幅が自然堤防に比べて広く、四万十川のデータでは  $F_c$  の 45% を境に砂質土とシルト質土で明確に区分されている。

$R_{L20}$  は大半が 0.3 以上を示している。河川別では鏡川のデータ数が四万十川に比べて少ない課題はあるが、鏡川の  $R_{L20}$  が四万十川に比べて地形、土質区分によらず小さい値を示している。

$R_{L20}$  と  $D_{50}$  との関係から以下のことが考えられる。四万十川と鏡川の試験試料の粒度は、シルトと砂の境界付近から細砂を示す 0.1mm 付近の粒度が大半を占めていると言える。得られた試験値ではデータ全体から  $R_{L20}$  と  $D_{50}$  との間に  $F_c$  とは逆の負の相関が見られ、 $D_{50}$  が大きくなれば  $R_{L20}$  の値は小さくなる傾向にある。地形別では自然堤防で  $D_{50}$  が 0.1mm より大きく  $R_{L20}$  は 0.3 より小さい傾向を示す。氾濫平野では、 $D_{50}$  は 0.5mm より細粒で  $R_{L20}$  は 0.3 より大きい値を示す傾向が高い。河川別では鏡川の砂質土のデータが地形分類によらずほぼ同じ粒径でかつ同程度の  $R_{L20}$  を示している。

$R_{L20}$  と  $I_p$  との関係から以下のことが考えられる。 $I_p$  はシルト質土が大半を占めており、砂質土は 2 試料のみである。四万十川では礫質土でも  $I_p$  が測定されている。これらの試料は礫質土であってもマトリックスとして粘性土が含まれていることによると考えられる。鏡川では  $I_p$  の結果は得られていない。 $I_p$  は 15% より小さい値が大半を占めており、 $F_c > 35\%$  のシルト質土であっても  $I_p < 15\%$  であることから、粘性が高い土質でも液状化判定が必要な土質として留意する必要があると考えられる。<sup>3)</sup>

$R_{L20}$  と土質の硬軟の程度を示す  $N$  値との関係から以下のことが考えられる。地形別では自然堤防のデータはバラツキが大きく  $R_{L20}$  と  $N$  値に有意な関係は認められないが、氾濫平野では  $N$  値  $< 15$  で  $R_{L20} > 0.3$  の傾向が見られる。河川別では鏡川のデータが  $R_{L20}$  と  $N$  値がいずれも小さい傾向を示す。

(4) 既往基準との比較

既往基準として一般的に適用されている「道示式」の繰返し三軸強度比との比較を行った。

図 4.2.3-7 に  $R_{L20}$  の試験値と換算  $N$  値との関係を示す。図中には  $F_c$  の値による道示式の値を合わせて示す。土質別では  $F_c > 45\%$  を示す四万十川のシルト質土の大半は、図中の  $F_c = 35\%$  の道示式のラインより左側に分布しており、道示式と近い傾向を示している。砂質土はシルト質土と同じ傾向を示すデータもあるがバラツキがシルト質土より大きい。地形別では、自然堤防で  $R_{L20}$  の試験値が道示式より小さい値を示す傾向が見られる。

図 4.2.3-8 に  $R_{L20}$  の試験値と試験箇所の地下水位およびボーリングの地層データを用いた有効上載圧をもとに計算した道示式との相関図を示す。松尾<sup>4)</sup>による比較結果に比べて 1:1 の直線に対して右側のバラツキが大きい傾向を示している。土質区分では、礫質土、砂質土では試験値と推定値のバラツキが大きく明瞭な傾向は見られないが、シルト質土では道示式の値が試験値より大きい傾向が見られ、道示式の値が液状化判定のうえでは安全側になる傾向が見られる。これは道示式において  $F_c > 40\%$  では粒度の影響を考慮した補正  $N$  値の値が大きく関与するためと考えられる。試験値と道示式の値の比較では地形別で明瞭な傾向は見られなかった。

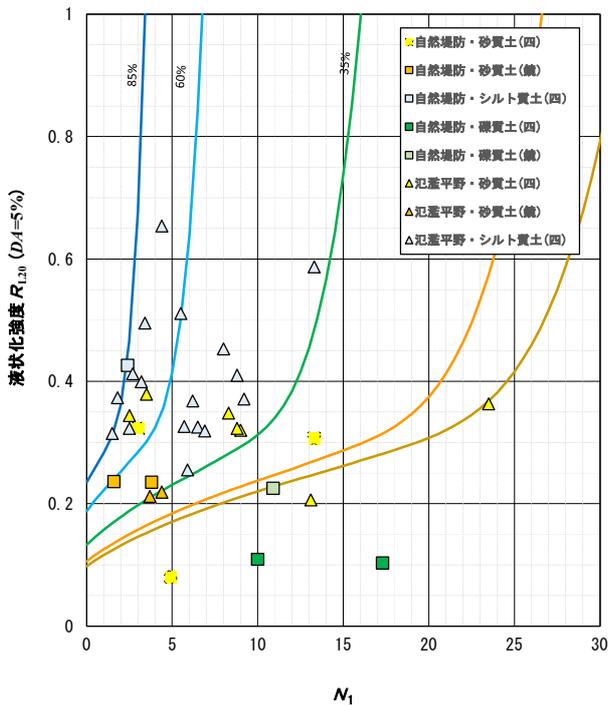


図 4.2.3-7 河川・地形分類別  $R_{L20}$  と換算  $N$  値の相関図

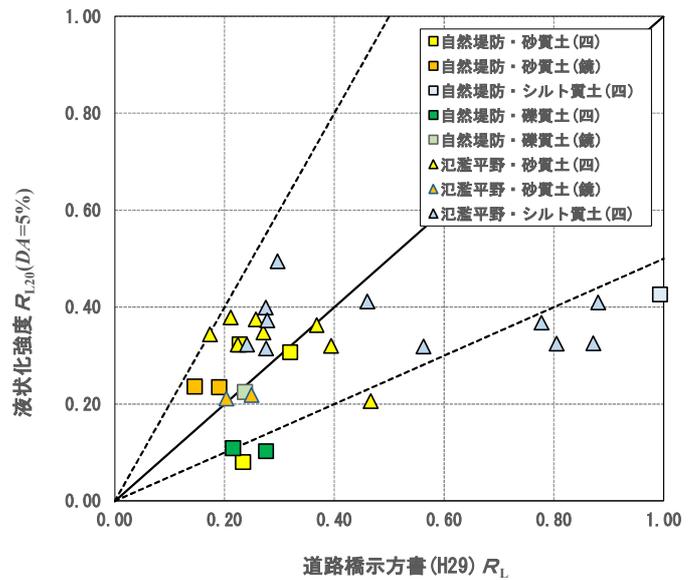


図 4.2.3-8 河川・地形分類別  $R_{L20}$  と道示式の相関図

## (5) まとめ

高知県の河川として一級水系の四万十川および二級水系の鏡川における地質調査結果の繰返し三軸試験結果を収集して、調査地点の土質区分や地形分類をもとに液状化強度と物理特性等との比較を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 2 河川の土質別の特性として、四万十川の礫質土は、塑性指数が検出されるデータがあり、マトリックスとして粘性土の割合が高い特性が見られた。液状化強度の試験値は概ね 0.35 を境界として砂質・礫質土とシルト質土で区分される傾向がみられた。
- 2) 液状化強度試験値と物理特性との関係として、2 河川のデータでは、細粒分含有率との間では正の相関が、平均粒径との間では負の相関が見られた。
- 3) 2 河川の土質および地形分類と液状化強度試験値との関係から、自然堤防では砂質および礫質土が主体となり、氾濫平野に比べて液状化強度が小さい傾向が見られた。氾濫平野ではシルト質土が主体となっていた。この傾向より、対象とした 2 河川において河川からの溢水氾濫で形成される自然堤防において、土質として砂礫質が優勢な状態であり、液状化強度は氾濫平野に比べて小さい傾向を示し、液状化の危険度が総じて高い可能性が考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編，2002.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，標準貫入試験，2013.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書 V. 耐震設計編，2017.
- 4) 松尾修：道路橋示方書における地盤の液状化判定法の現状と今後の課題，土木学会論文集 No.757，2004.

#### 4.2.4 重信川・石手川（愛媛県）

##### (1) 収集資料データの概要

愛媛県の河川としては、第3章で記述したように一級河川の重信川及び石手川における調査・試験データを収集した。ただし、愛媛県の両河川において、今回収集した調査・試験データの中に、繰返し非排水三軸試験結果は確認できなかった。したがって、物理試験結果を中心とした整理結果を示す。

重信川の収集データは、河口の0.0k～17.2k、石手川は、重信川との合流位置点を0.0kとして3.3kmまでの国土交通省直轄区間の77地点であり、その内訳は重信川67地点、石手川10地点である（図4.2.4-1参照）。表4.2.4-1に収集したデータの試料数、基本的な物理諸元値の最大値・最小値、平均値等を示す。図4.2.4-2に治水地形分類図を示す。重信川及び石手川のボーリング調査位置の治水地形分類は、「氾濫平野」が大半を占め、一部に「自然堤防」、「旧河道」が認められる。

図4.2.4-3に対象試料の土質区分の割合（礫質土64%、砂質土22%、粘性土14%）を示す。なお、土質区分は、地盤工学会基準「地盤材料の工学的分類方法」（JGS0051-2009）より分類した。また、堤体盛土は分析対象から除外した。

各河川における収集試料の特性を以下に示す。

重信川の対象範囲は、中流域（4.0k～17.2k（表川合流地点））から下流域（0.0k～4.0k（石手川合流位置点））区間で、松山市を中心とする氾濫平野の市街地である。石手川の対象範囲は、重信川との合流地点（4.0k）から3.3kmの中流域であり、氾濫平野の市街地である。

両河川流域の地質は、重信川の南側を走る中央構造線によって北側の領家帯と南側の三波川帯に分かれる。領家帯は、石手川流域に主に分布する花崗岩類、三波川帯は重信川上流に主に分布する砂岩泥岩互層の和泉層群からなる<sup>3)</sup>。松山平野は、扇状地性の堆積物である砂礫が主体であり、沖積層は下部礫層、中部泥層、上部礫層、上部泥層に区分される<sup>4)</sup>。

細粒分含有率は、礫質土（Ave 重信川9%・石手川11%）、砂質土（Ave 重信川20%・石手川16%）であった。自然含水比は、深度方向に高くなる傾向が見られ、石手川に比して重信川の方がやや高い傾向も認められた。N値は、両河川で大きな違いは認められなかった（礫質土（Ave 重信川30・石手川35）、砂質土（Ave 重信川16・石手川15）、粘性土（Ave 重信川9・石手川9）。松山平野全体の上部沖積層のN値（礫質土で20～40程度、砂質土で10程度、粘性土で0～5程度<sup>4)</sup>）と比較すると砂質土と粘性土はやや高い値を示す。



図 4.2.4-1 重信川・石手川のボーリング調査位置<sup>1)</sup>

地理院地図  
GSI Maps

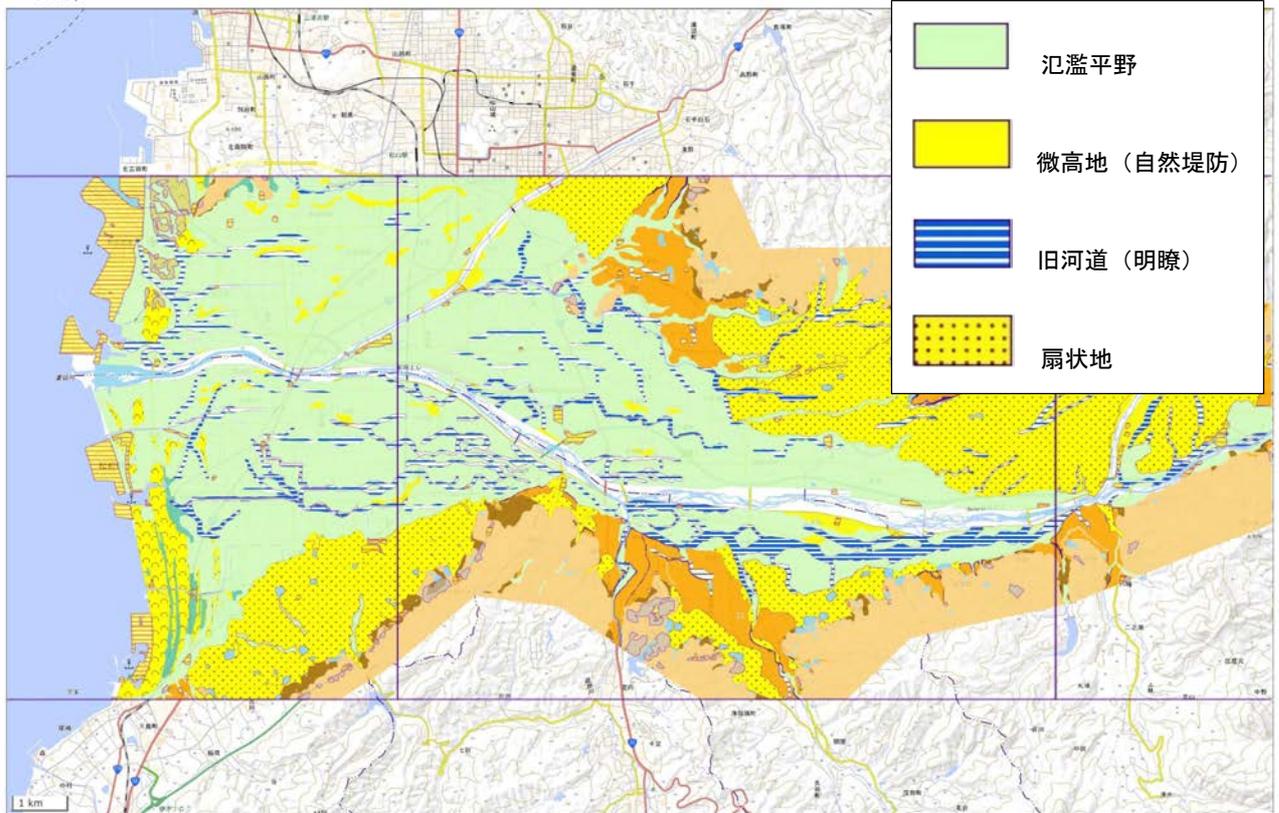


図 4.2.4-2 重信川・石手川の治水地形分類図<sup>2)</sup>

表 4.2.4-1 愛媛県の重信川・石手川における調査・試験の諸元値

河川名	土質名	項目	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	F <sub>c</sub> (%)	D50 (mm)	R <sub>L20</sub>	N値	$\sigma_v'$ (kN/m <sup>2</sup> )
重信川	礫質土	データ数	3	283	283	155	280	155
		最大値	22.3	46.2	28.6	0.58	187.5	245.4
		最小値	19.8	0.1	0.1	0.15	2.0	22.9
		平均値	21.2	8.7	7.49	0.28	29.6	116.4
		中央値	21.6	7.6	6.29	0.265	25.0	115.0
	砂質土	データ数	1	62	62	40	62	40
		最大値	18.7	48.8	1.77	0.56	49.0	220.7
		最小値	18.7	1.9	0.078	0.17	3.0	25.3
		平均値	18.7	19.7	0.44	0.28	15.9	137.1
		中央値	18.7	16.4	0.22	0.27	15.0	145.2
	粘性土	データ数	6	50	48	-	45	-
		最大値	20.3	99.5	0.075	-	39.0	-
		最小値	16.8	50.2	0.002	-	3.0	-
		平均値	19.0	77.7	0.028	-	9.2	-
		中央値	19.2	79.6	0.027	-	6.0	-
石手川	礫質土	データ数	1	60	60	48	59	48
		最大値	22.0	31	14	0.54	83	241
		最小値	22.0	0.30	0.758	0.21	7	63
		平均値	22.0	10.9	4.33	0.31	34.7	192.3
		中央値	22.0	8.9	3.57	0.28	24	166.3
	砂質土	データ数	6	55	55	37	49	37
		最大値	19.8	48.6	1.8	0.49	34.0	627
		最小値	17.0	3.0	0.088	0.13	2.6	25
		平均値	19.1	15.5	0.822	0.26	15.0	122.1
		中央値	19.6	12.0	0.75	0.26	15.0	97.6
	粘性土	データ数	1	22	22	-	21	-
		最大値	18.18	99.1	0.068	-	24.0	-
		最小値	18.18	56.6	0.002	-	3.0	-
		平均値	18.18	77.7	0.025	-	9.0	-
		中央値	18.18	82.2	0.02	-	7.0	-

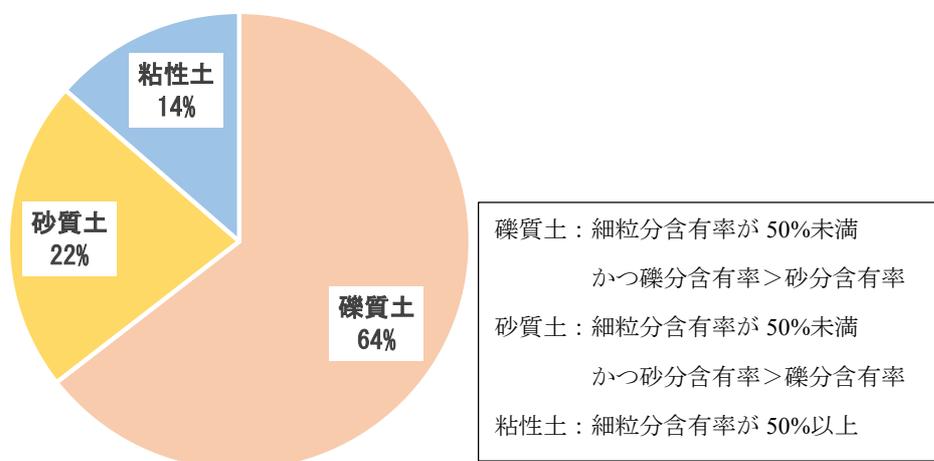


図 4.2.4-3 収集した試料データの土質区分比率

## (2) 物理および力学特性

表 4.2.4-1 に示した調査結果の主要な試験値のうち、物理特性として図 4.2.4-4～図 4.2.4-7 に湿潤単位体積重量、細粒分含有率、平均粒径、塑性指数、図 4.2.4-8～図 4.2.4-9 に力学特性として  $N$  値および液状化強度  $R_{L20}$  の頻度分布を示す。

### 1) 湿潤単位体積重量 ( $\gamma_{t2}$ )

湿潤単位体積重量（以下、 $\gamma_{t2}$  と略記する）に関する特性は、対象数が少ないが以下の通りである。礫質土は  $22.0\text{kN/m}^3$  前後であり、砂質土は  $20.0\text{kN/m}^3$ 、粘性土は、 $19.0\text{kN/m}^3$  前後の試験結果となる。道路橋示方書・同解説に示される一般値（密なもの：砂及び砂れき  $20\text{kN/m}^3$ 、砂質土  $19\text{kN/m}^3$ 、粘性土  $18\text{kN/m}^3$ ）よりやや大きめの値である。

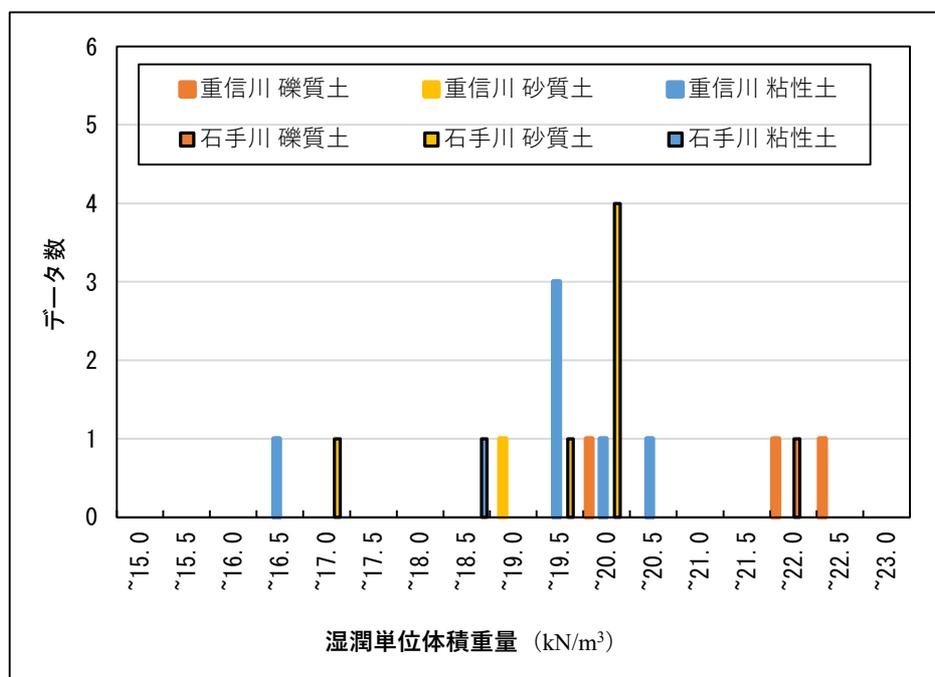


図 4.2.4-4 収集データの単位体積重量の頻度分布図

## 2) 細粒分含有率 ( $F_c$ )

細粒分含有率（以下、 $F_c$  と略記する）に関する特性は以下の通りである。礫質土は  $F_c$  15%以下が全体の約 90%を占めており、平均値は 10%程度である。砂質土は  $F_c$  2~48%の範囲を示し平均値は 15~20%である。粘性土の平均値は 78%である。重信川と石手川であまり違いは認められない。

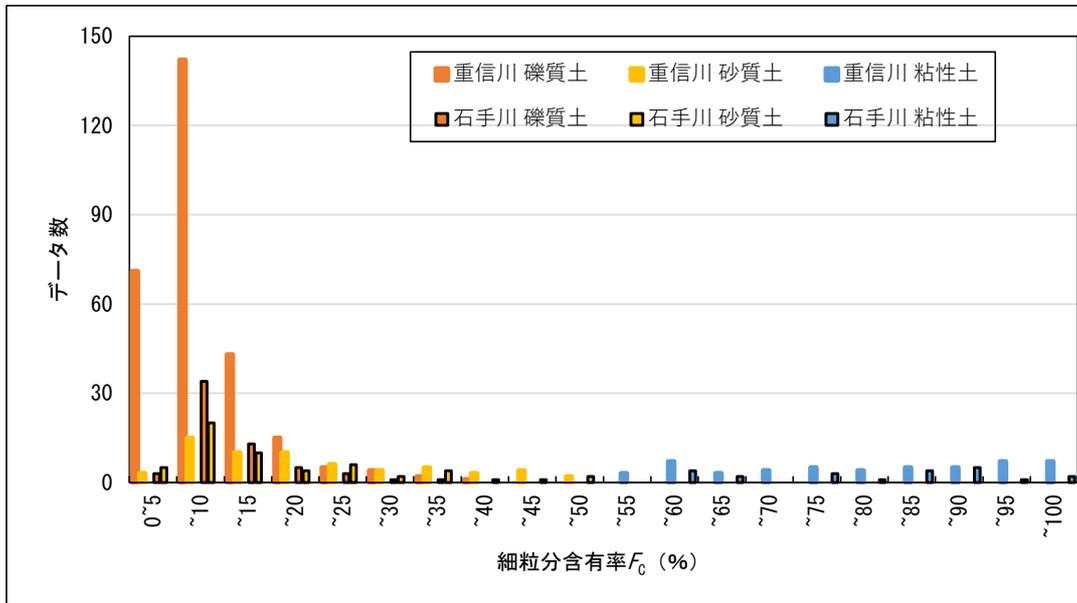


図 4.2.4-5 収集データの細粒分含有率の頻度分布図

## 3) 平均粒径 ( $D_{50}$ )

平均粒径（以下、 $D_{50}$  と略記する）に関する特性は以下の通りである。礫質土は 2.2mm 以上が全体の約 90%を占めており、平均値は 4~7mm 程度である。砂質土は 0.072~2.2mm の範囲を示し平均値は 0.4~0.7mm 程度である。粘性土の平均値は 0.025mm である。重信川と石手川であまり違いは認められない。

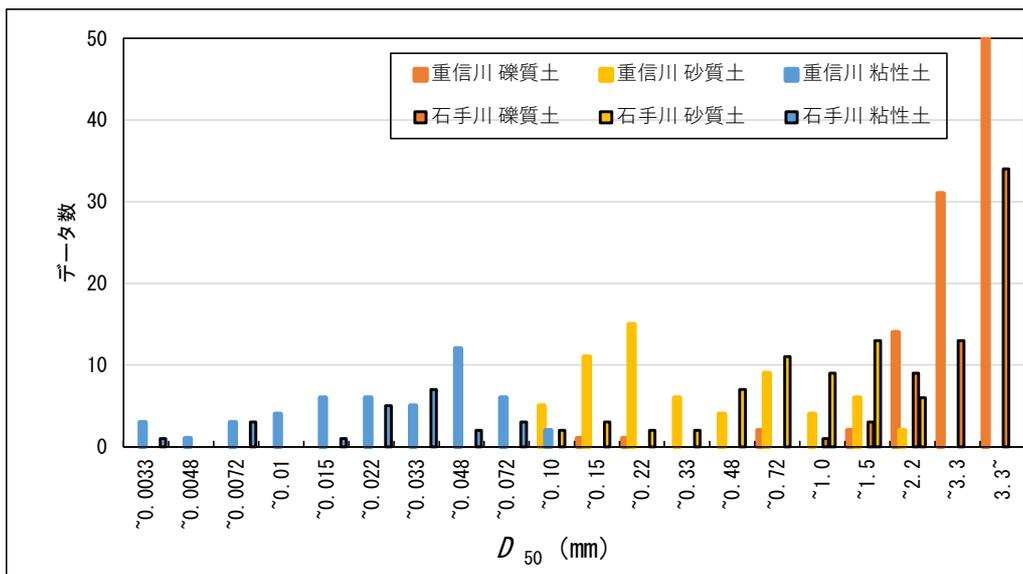


図 4.2.4-6 収集データの平均粒径の頻度分布図

#### 4) 塑性指数 ( $I_p$ )

塑性指数 (以下,  $I_p$  と略記する) に関する特性は以下の通りである。重信川及び石手川ともに、15~20%にピークが見られる。

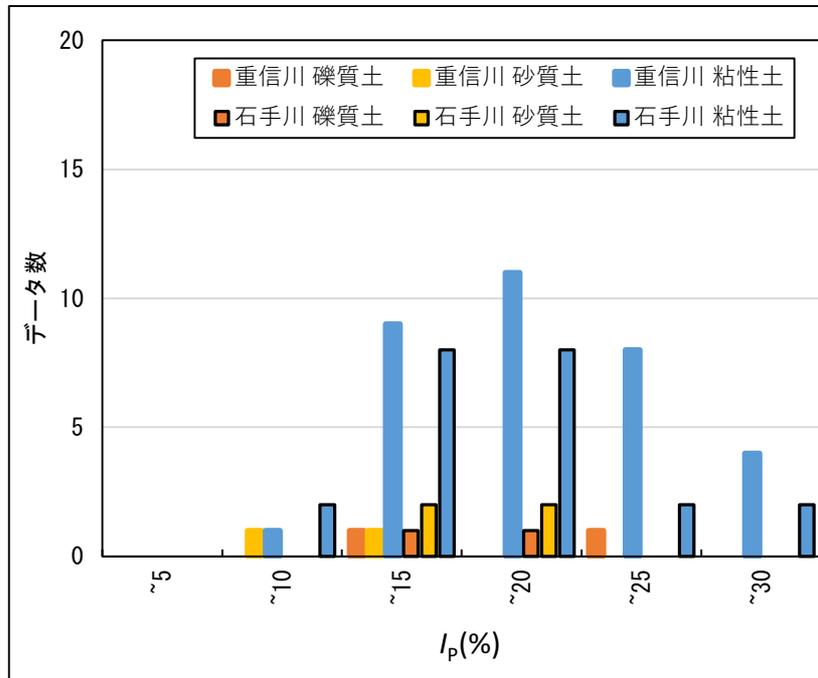


図 4.2.4-7 収集データの塑性指数の頻度分布

#### 5) N 値

$N$  値に関する特性は以下の通りである。礫質土は、 $N$  値 30 以上が全体の 30%程度を占め、平均値も 30 程度 となり「密」な状態を示している。砂質土は、平均値が 15 程度であり、「中位」な状態を示している。粘性土についても、平均値が 9 程度であり、「中位」~「硬い」の間の状態を示している。 $N$  値についても、重信川と石手川に大きな違いは認められない。

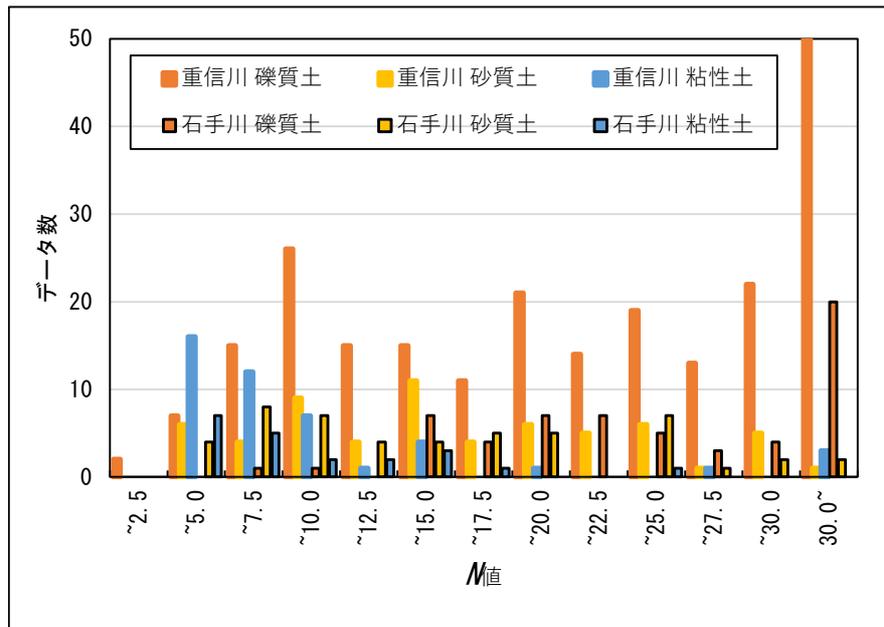


図 4. 2. 4-8 収集データの  $N$  値の頻度分布図

#### 6) 液状化強度 ( $R_{L20}$ )

液状化強度を示す  $R_{L20}$  に関する特性は以下の通りである。先述した通り、ここで示す  $R_{L20}$  は道路橋示方書・同解説に基づく計算値であり、今回収集した資料の中に繰返し非排水三軸試験結果はないので、計算値との比較が出来ていない。

礫質土は、重信川の平均値が 0.28、石手川の平均値が 0.34 である。砂質土については、重信川の平均値が 0.30、石手川の平均値が 0.26 である。

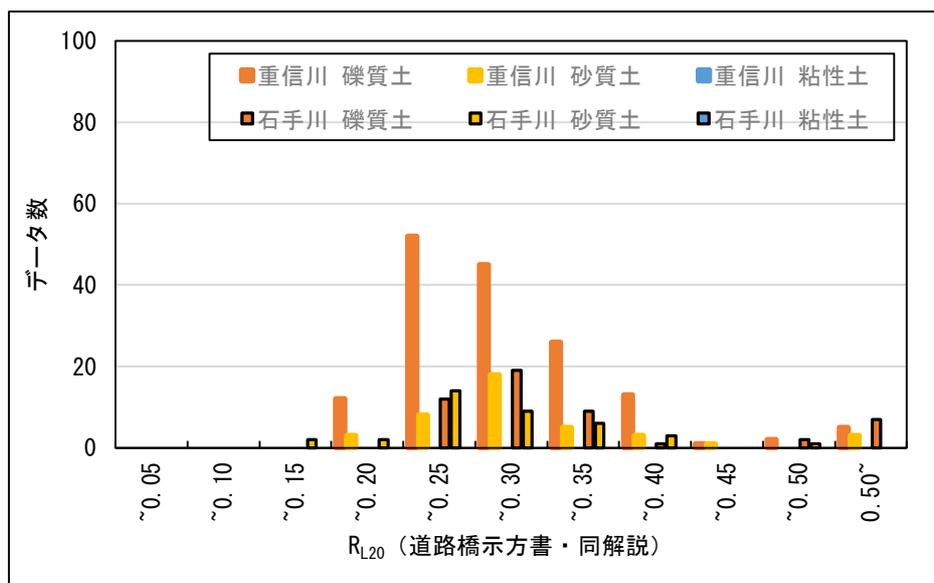


図 4. 2. 4-9 収集データの  $R_{L20}$  の頻度分布図  
(道路橋示方書・同解説による計算値)

### (3) 液状化強度(計算値)と物理特性の関係

ここでは、道路橋示方書・同解説に基づき算定した  $R_{L20}$  と土質の物理特性との関係を把握するために、(2)で整理した液状化判定の指標として適用される  $N_1$  値、 $F_c$ 、 $D_{50}$  との比較を行った。図 4.2.4.-10~12 に  $R_{L20}$  との相関図を示す。地形分類としては、主に「氾濫平野」のデータが対象である。

重信川及び石手川の礫質土、砂質土ともに、液状化判定時の関係式から  $N_1$  値が大きくなれば  $R_{L20}$  (道示) が大きくなる傾向を示している。同図には、比較のため重信川の砂質土の 5 つのデータに印をした。No.1 については、 $N_1$  値が 27.6 あり、 $R_{L20}$  (道示) が大きくなる傾向を示している。No.2 と No.3 は、同程度の  $N_1$  値に対して、図 4.2.4.-11 に示すように No.2 データの方の  $F_c$  が大きいいため、 $R_{L20}$  (道示) が大きくなる傾向を示している。No.4 と No.5 についても、同程度の  $N_1$  値に対して、図 4.2.4.-11 に示すように No.4 データの方の  $F_c$  が大きいいため、 $R_{L20}$  (道示) が大きくなる傾向を示している。図 4.2.4-12 に示すように、重信川の砂質土の  $D_{50}$  は 2mm であり、 $R_{L20}$  (道示) は、 $F_c$  と  $N_1$  及び  $N_a$  の影響により変化していることを示す。

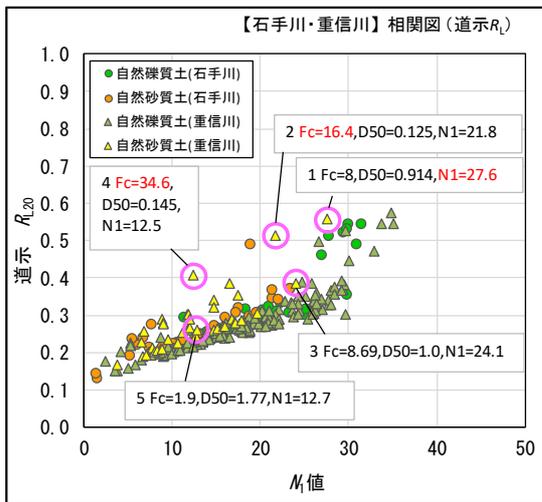


図 4.2.4-10 液状化強度(道示)と  $N$  値の相関図

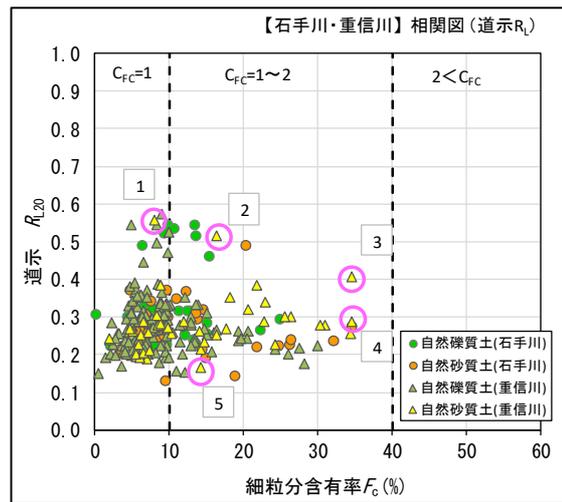


図 4.2.4-11 液状化強度(道示)と細粒分含有率の相関図

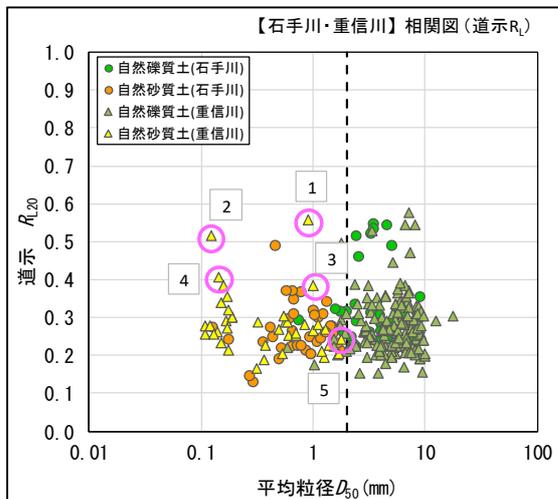


図 4.2.4-12 液状化強度(道示)と平均粒径の相関図

(4) 既往基準との比較

今回収集した重信川及び石手川の調査・試験データには、繰返し非排水三軸試験結果が無かったため、(3)で示した道路橋示方書・同解説に基づく計算値と試験値の比較は実施できていない。

そこで、 $D_{50}$  と  $F_c$  の関係を整理し、H14.3 道示に示されていた  $D_{50}$  と  $F_c$  の関係と比較した。図 4.2.4-13~14 に石手川と重信川の整理結果を示す。同図より、表土 (0.02mm) ~ 細砂 (0.15mm) 区間は、試験データと H14 道示の関係が一致している傾向を示す。一方、中砂 (0.35mm) ~ 砂れき (2.0mm) 区間は、試験データでは  $F_c$  にバラツキがあるもののある程度値が確認できるが、H14 道示は安全側となるように  $F_c$  を 10%もしくは 0%としていることが分かる。

【参考】H14.3 道路橋示方書・同解説

表-参 6.2 土質分類と単位重量, 平均粒径, 細粒分含有率の概略値

土質分類	地下水位面下の単位重量 $\gamma_{1z}$ (kN/m <sup>3</sup> )	地下水位面上の単位重量 $\gamma_{1s}$ (kN/m <sup>3</sup> )	平均粒径 $D_{50}$ (mm)	細粒分含有率 $F_c$ (%)
表土	17.0	15.0	0.02	80
シルト	17.5	15.5	0.025	75
砂質シルト	18.0	16.0	0.04	65
シルト質細砂	18.0	16.0	0.07	50
微細砂	18.5	16.5	0.1	40
細砂	19.5	17.5	0.15	30
中砂	20.0	18.0	0.35	10
粗砂	20.0	18.0	0.6	0
砂れき	21.0	19.0	2.0	0

粒径 (mm)	0.005	0.01	0.07	0.1	0.42	1.0	2.0	5.0			
土質工学会統一分類法	粘土		シルト		細砂	粗砂	細れき	中れき			
土質分類名			表土	シルト	微細砂	中砂	粗砂	砂れき			
平均粒径 $D_{50}$ の概略値 (mm)			0.02	0.025	0.04	0.07	0.1	0.15	0.35	0.6	2.0

図-参 6.8 平均粒径の概略値と地盤工学会統一分類法との対応

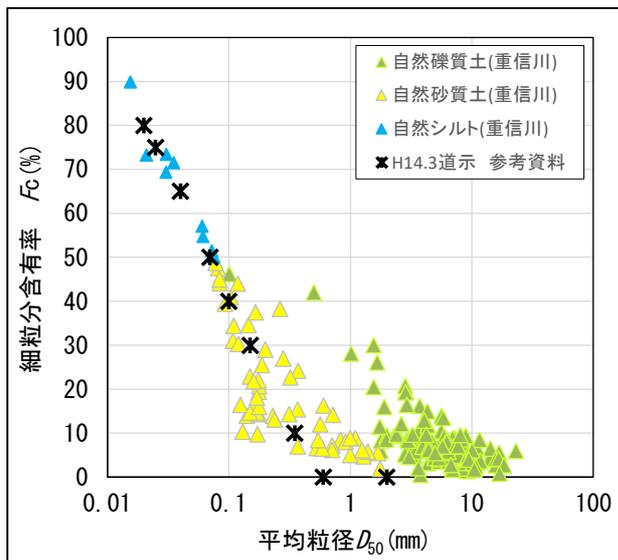


図 4.2.4-13 重信川の  $F_c$  と  $D_{50}$  の相関図

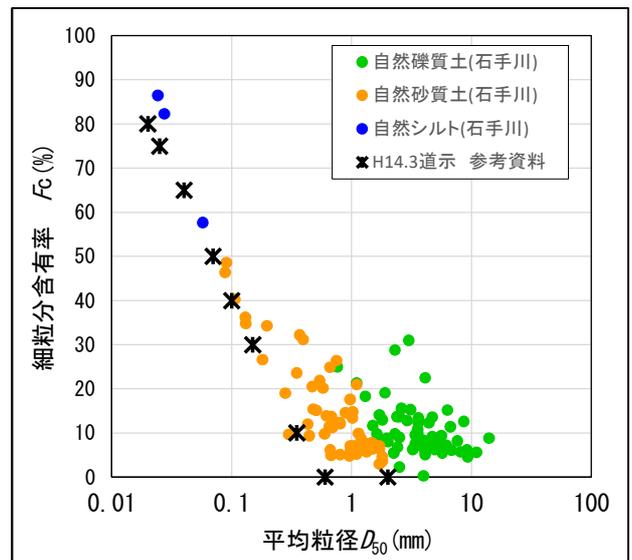


図 4.2.4-14 石手川の  $F_c$  と  $D_{50}$  の相関図

## (5) まとめ

愛媛県の河川として、1級水系の重信川及び石手川の地質調査結果を収集して、調査地点の土質区分や地形分類をもとに物理特性を整理した。なお、今回収集した調査結果には、繰返し非排水三軸試験結果がなく、液状化強度と物理特性との比較については、H29 道示による計算値を用いた比較となった。

- 1) 重信川と石手川の地質は、三波川帯（砂岩泥岩互層）と領家帯（花崗岩）に分かれるため、物理特性などに違いが認められると想定したが、今回の整理では両河川の物理特性の違いはあまり認められなかった。
- 2) これまで両河川周辺での液状化被害はあまり報告されていない。礫質土の分布割合が多い事が考えられ、H29 道示による計算結果は以下の通りであり、平均値でも比較的高い値が算定される。

表 4.2.4-2 重信川・石手川における  $R_{L20}$  (道示) の平均値

$R_{L20}$ (道示)	重信川	石手川
礫質土	0.28	0.34
砂質土	0.30	0.26

### 【参考文献】

- 1) 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web 2020 年 9 月 8 日閲覧）。
- 2) 国土交通省国土地理院：治水地形分類図（平成 24 年）。
- 3) 国土交通省四国地方整備局：重信川水系河川整備計画（平成 20 年 8 月）。
- 4) 社)地盤工学会：平成 20 年度「統合化地下構造データベースの構築」。

### 4.3 港湾

#### 4.3.1 高松港（香川県）

##### (1) 収集資料データの概要

香川県の港湾としては、第3章で記したように高松港における繰返し非排水三軸試験結果のデータを収集した。収集データ数は32箇所のボーリング調査における51試料である。調査は高松市沿岸部の東西5km程度の範囲で実施されたものであり、図4.3.1-1に調査位置を示す。試料について、人工地盤に該当するものを埋土とし、自然地盤については地盤工学会基準「地盤材料の工学的分類方法」（JGS0051-2020）により分類したところ、27試料（53%）が埋土、残りの24試料（47%）が砂質土であり、シルト質土や礫質土に分類される試料はなかった。表4.3.1-1に収集したデータの基本的な物理諸元値の最大・最小値、平均値等を示す。なお、試料の採取深度はGL-2.2m～-22.0mの範囲である。

図4.3.1-2に示す通り、高松港の調査位置の地形分類は、すべて埋立地・干潟となっている。また、図4.3.1-3に高松港東部地区の埋め立て年代と調査位置の関係を示す。1897年（明治30年）以前に埋め立てられた地区から1980年代に埋め立てられた地区まで100年近くにわたって徐々に海側（北側）へと埋め立て範囲が拡大している。埋土は、図4.3.1-4に示す通り、半数以上が高度経済成長期である1960年代に埋め立てられた地点の試料となっている。

表4.3.1-1 香川県の港湾における繰返し非排水三軸試験の試料の諸元値

港湾名	土質名	項目	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$F_c$ (%)	$D_{50}$ (mm)	$R_{L20}$	N値	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
高松港	埋土	データ数	27	27	27	27	27	27
		最大値	2.131	49.0	8.648	0.330	11	123.0
		最小値	1.477	2.2	0.083	0.150	1	35.5
		平均値	1.829	14.4	0.697	0.227	6	60.5
		中央値	1.821	11.0	0.300	0.214	6	53.8
	砂質土	データ数	24	24	24	24	24	24
		最大値	2.105	39.0	0.701	0.354	32	194.4
		最小値	1.649	3.8	0.140	0.168	4	67.1
		平均値	1.851	14.3	0.318	0.243	13	103.2
		中央値	1.854	13.6	0.310	0.235	11	94.4



図 4.3.1-1 ボーリング調査位置 (高松港)

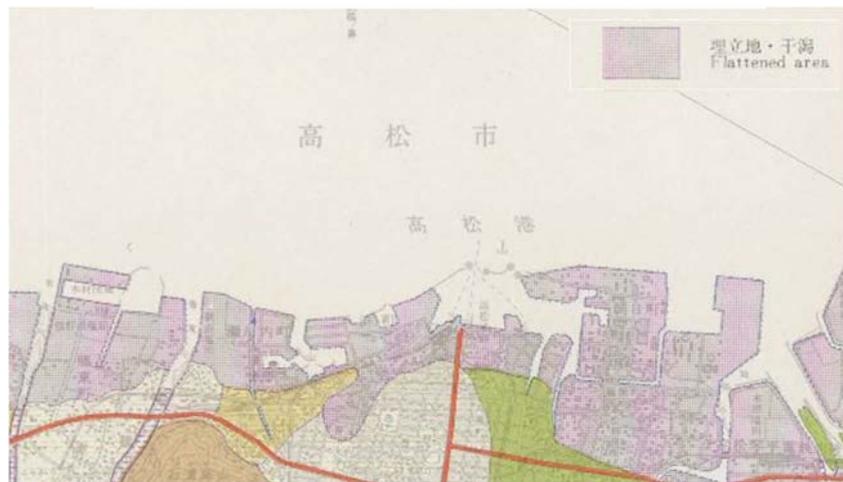


図 4.3.1-2 高松港の地形分類図<sup>1)</sup>

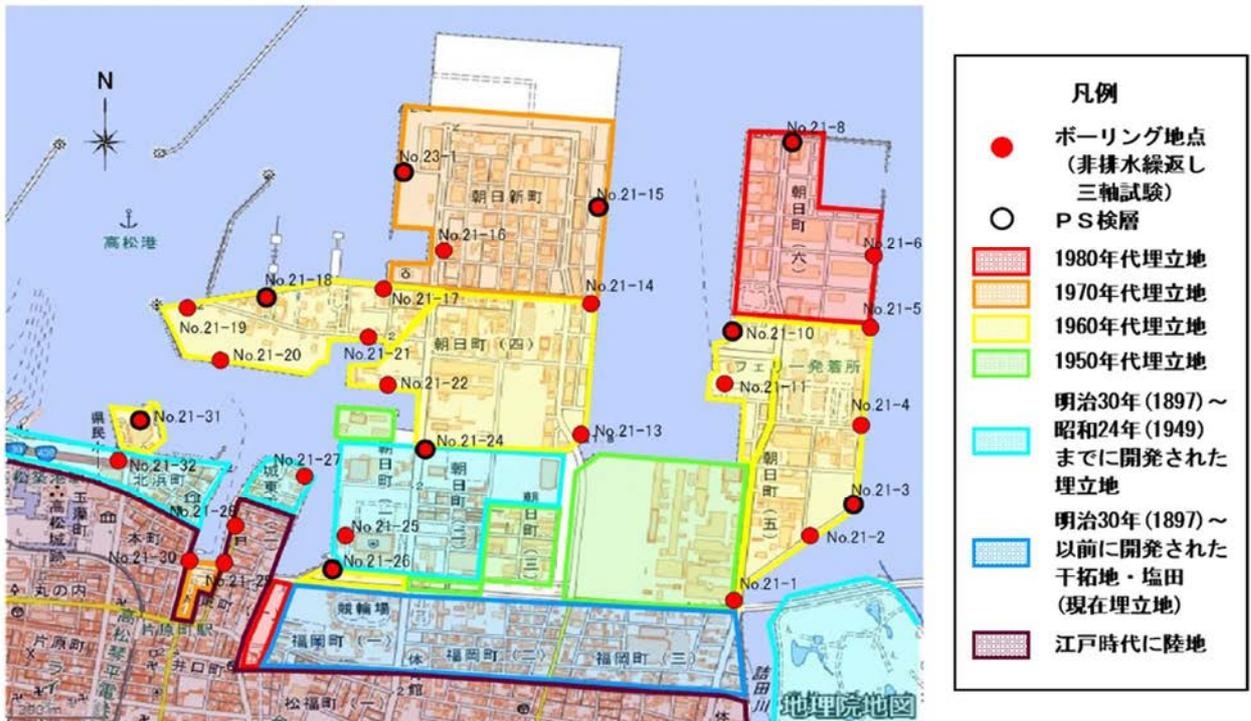


図 4.3.1-3 高松港東部地区の埋め立て年代とボーリング調査位置

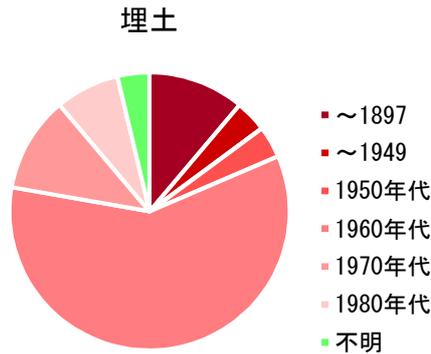


図 4.3.1-4 試料採取地点の埋め立て年代

(2) 物理および力学特性

表 4.3.1-1 に示した試験結果のうち、物理特性として図 4.3.1-5～図 4.3.1-7 に湿潤単位体積重量、細粒分含有率、平均粒径を、力学特性として図 4.3.1-8～図 4.3.1-9 に  $N$  値および液状化強度試験値の土質毎の頻度分布図を示す。

1) 湿潤単位体積重量

湿潤単位体積重量 (以下、 $\gamma_t$  と略記する)

に関する特性は以下のとおりである。埋土および砂質土とも  $\gamma_t=19\text{kN/m}^3$  以下で頻度のピークがみられ、平均値は、わずかに砂質土の方が大きい値を示しているものの、ほぼ同じ分布を示しており、類似した特性であると考えられる。なお、砂質土の一般的とされる値 (道路橋示方書では  $\gamma_t=17\text{ kN/m}^3\sim 19\text{ kN/m}^3$ ) の範囲内に大半が含まれており、砂質土として一般的な物性であるといえる。また、埋土で  $\gamma_t$  がやや小さいものがみられるが、締固め度がやや小さいといった理由などが推察される。

2) 細粒分含有率

細粒分含有率 (以下、 $F_c$  と略記する) に関する特性は以下のとおりである。埋土に着目すると、 $F_c=15\%$  以下のグループと 20%～30% 程度のグループに大別でき、埋め立て材料が異なる可能性

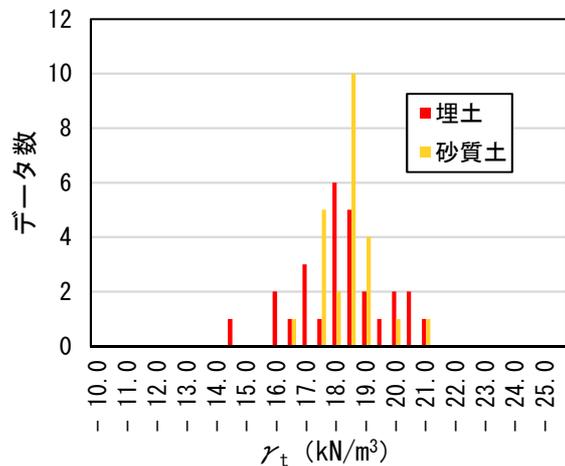


図 4.3.1-5 収集データの  $\gamma_t$  の頻度分布図

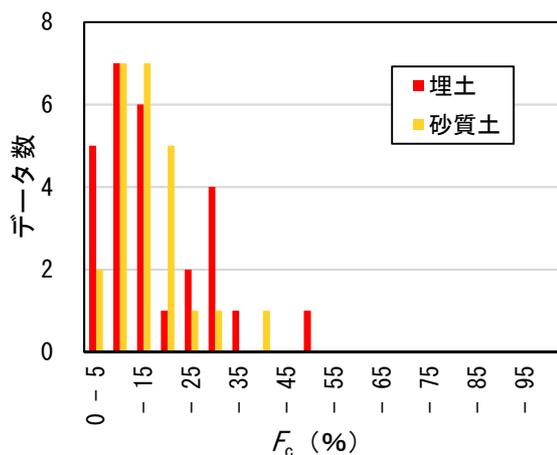


図 4.3.1-6 収集データの  $F_c$  の頻度分布図

が考えられる。一方、砂質土に着目すると  $F_c=5\% \sim 15\%$  が最頻値となるものの、 $F_c$  の分布には幅が見られる。なお、2つのデータを除き、 $F_c=35\%$  以下となっており一般的に液状化しやすい性状であるといえる。

### 3) 平均粒径

平均粒径（以下、 $D_{50}$  と略記する）に関する特性は以下のとおりである。人工地盤であり埋土と分類した試料についても、砂質土に該当する粒径が大半を占めており、ほぼ同様の物理特性であることがいえる。また、埋土の方がやや小さい粒径で頻度分布のピークを示しているとともに、バラ

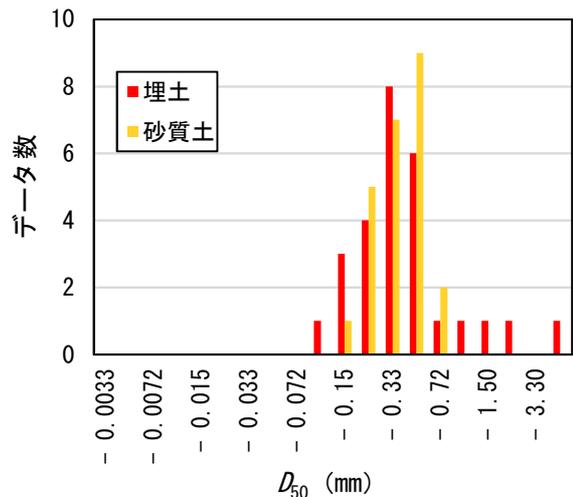


図 4.3.1-7 収集データの  $D_{50}$  の頻度分布図

ツキが大きいことも分かる。埋め立て材料には浚渫土砂のような粒径の小さいものが用いられた可能性があり、また、埋め立て年代や地点によりさまざまな材料が使われたことも想像できる。

### 4) N 値

$N$  値に関する特性は以下のとおりである。試料は、 $N$  値が 10 以下の一般的に「ゆるい」とされるものが 70% を占めている。そのうち、埋土に着目すると  $N$  値が 10 以下の試料は 85% となるが、砂質土では  $N$  値が 10 以下の試料は 50% となった。図 4.3.1-10 に示すように、埋め立て年代が古い（古来からの陸地に近い）ほど  $N$  値が大きいようにも見受けられる。

### 5) 液状化強度

液状化強度 ( $R_{L20}$ ) に関する特性は以下のとおりである。 $R_{L20}$  の平均値は、埋土で 0.227、砂質土では 0.243 となった。また、埋土の  $R_{L20}$  は 0.15~0.20 の間が最頻値となっているが、砂質土の場合は 0.20~0.30 が最頻値となっており、砂質土の方がやや  $R_{L20}$  が大きい傾向がみられる。

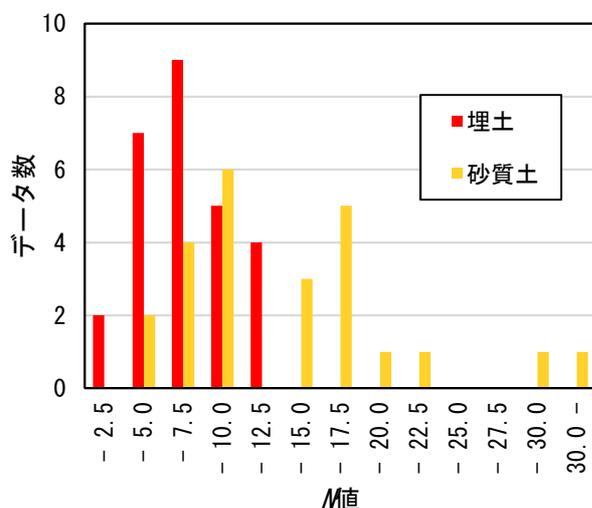


図 4.3.1-8 収集データの  $N$  値の頻度分布図

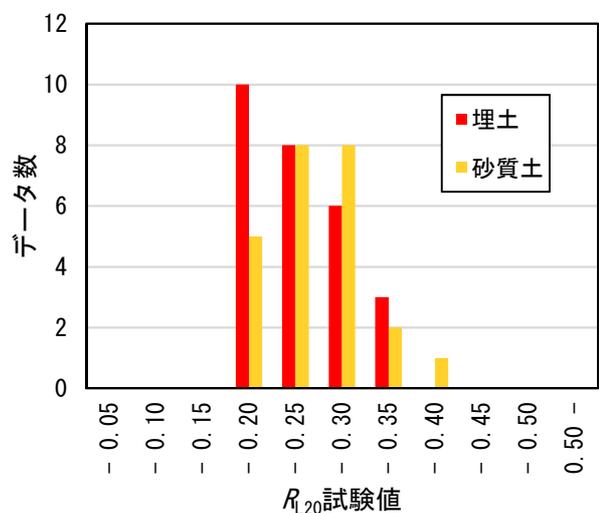


図 4.3.1-9 収集データの  $R_{L20}$  の頻度分布図

### (3) 液状化強度と物理特性の関係

収集した繰り返し非排水三軸試験結果（液状化強度  $R_{L20}$ ）と土質の物理特性との関係を把握するために、(2) で整理した項目 ( $F_c$ ,  $D_{50}$ ,  $N$  値) と  $R_{L20}$  の比較を行った。また、土質区分に加え試料採取地点の埋め立て年代についても合わせて考察した。年代は 1897 年以前, 1898 年～1949 年, 1950 年代, 1960 年代, 1970 年代, 1980 年代の 6 区分とした。

#### 1) $R_{L20}$ と $F_c$ の関係

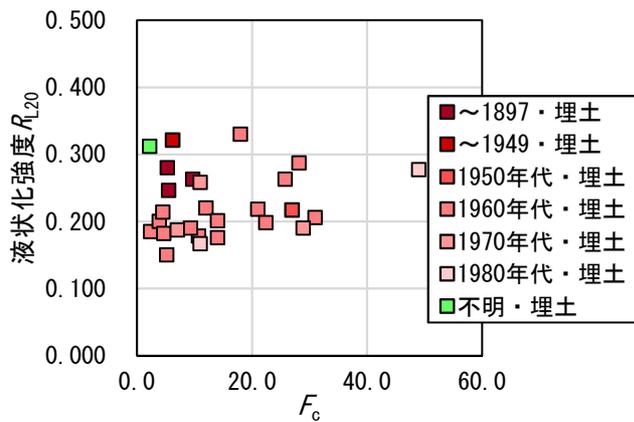


図 4.3.1-11  $F_c$  と  $R_{L20}$  の相関図 (埋土)

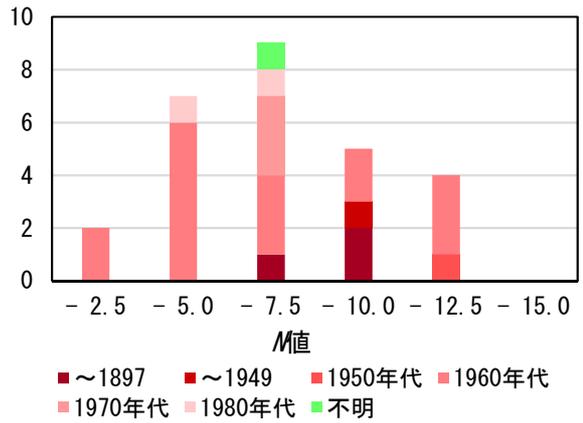


図 4.3.1-10  $N$  値と埋立年代の関係 (埋土)

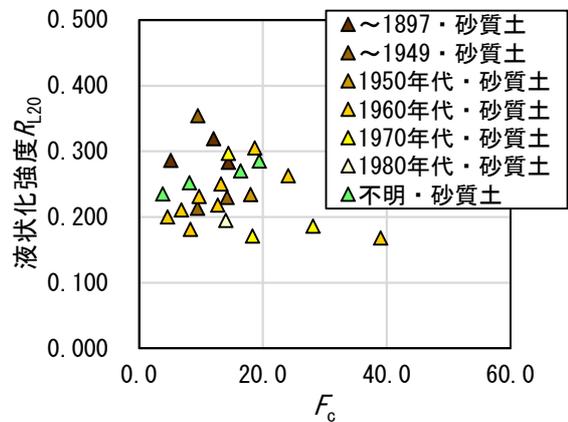


図 4.3.1-12  $F_c$  と  $R_{L20}$  の相関図 (砂質土)

$R_{L20}$  と  $F_c$  の関係 (図 4.3.1-11, 12) から以下のことがいえる。高松港では、埋土でも砂質土でも、 $R_{L20}$  と  $F_c$  の関係に明瞭な相関関係はみられない。ただし、埋土に関しては、図 4.3.1-13 に示すように 1950 年代以降に埋め立てられた地点のデータに限ると、正の相関 ( $F_c$  が大きくなると  $R_{L20}$  が大きくなる) がみられる。また、1949 年までに埋め立てられた地点の試料は、同程度の  $F_c$  であっても  $R_{L20}$  が大きくなっている傾向がみられ、年代効果 (地盤の液状化強度が年月とともに改善される現象) により  $R_{L20}$  が大きくなっている可能性がある。

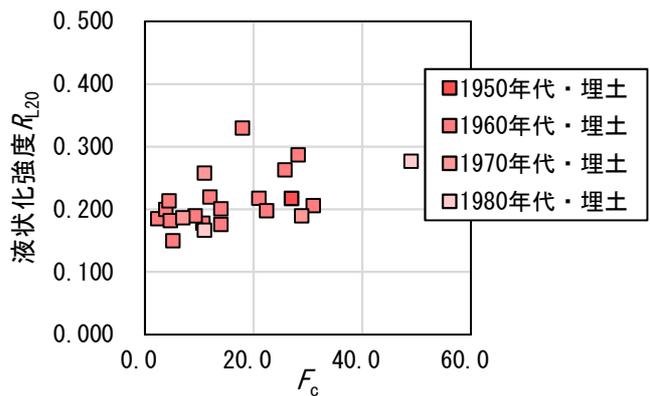


図 4.3.1-13

$F_c$  と  $R_{L20}$  の相関図 (埋土・1950 年代以降)

## 2) $R_{L20}$ と $D_{50}$ の関係

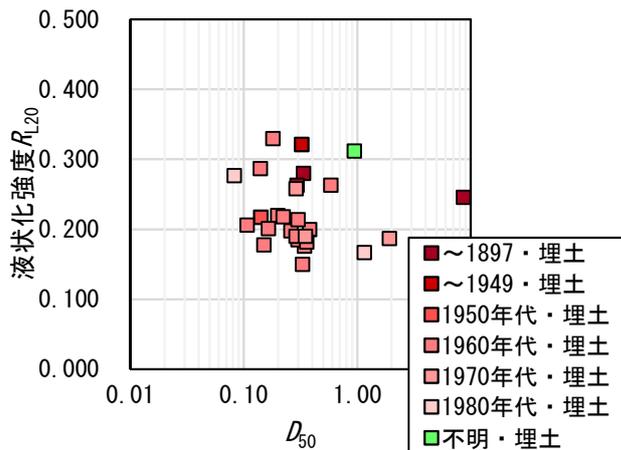


図 4.3.1-14  $D_{50}$  と  $R_{L20}$  の相関図 (埋土)

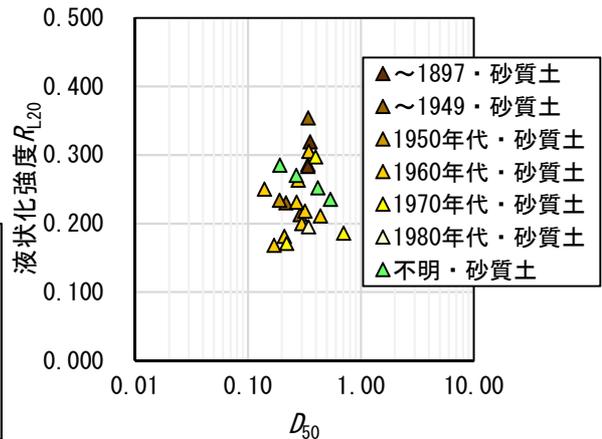


図 4.3.1-15  $D_{50}$  と  $R_{L20}$  の相関図 (砂質土)

$R_{L20}$  と  $D_{50}$  の関係 (図 4.3.1-14, 15) から以下のことが考えられる。試験試料の  $D_{50}$  は 0.1mm～0.5mm 付近に集中しており、細砂～中砂を示す粒度が大半を占めている。また、同程度の  $D_{50}$  であっても  $R_{L20}$  は 0.15～0.35 の範囲でバラツキがみられる。なお、埋立地の液状化対策ハンドブックには、「 $R_{L20}$  と  $D_{50}$  の関係をみると、 $D_{50}$  が 0.1mm 前後の砂の液状化強度が最も小さくなっている」との記載がある。高松港のデータは  $D_{50}=0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$  付近に集中しており、一概には言えないものの同様の傾向である可能性も考えられる。

## 3) $R_{L20}$ と $N$ 値の関係

$R_{L20}$  と  $N$  値の関係 (図 4.3.1-16, 17) から以下のことがいえる。埋土は  $N$  値が 10 程度以下の範囲に分布しており、砂質土については  $N$  値が 5～20 付近に広く分布している。埋土のデータからは正の相関がみられるが明瞭なものではない。概ね戦前、戦後の境である 1950 年を境とし、1950 年代以降に埋め立てられた地点のデータとそれ以前に埋め立てられた地点のデータを比べると、同程度の  $N$  値であっても  $R_{L20}$  がやや大きい傾向を示している。東畑ら<sup>3)</sup>は、「 $N$  値に基づく既存の液状化抵抗推定法に比べ、400 年を経た地盤は、年代効果により実用上、液状化強度が 4 割

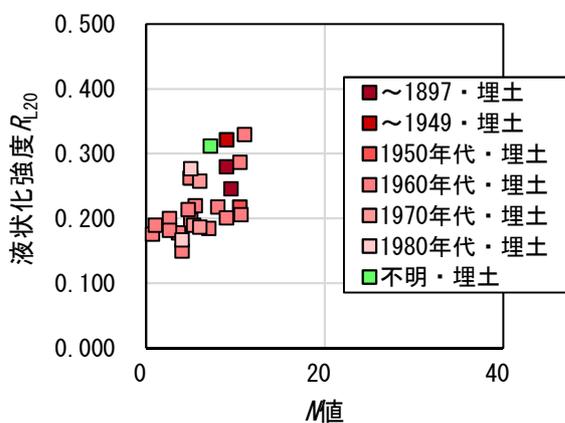


図 4.3.1-16  $N$  値と  $R_{L20}$  の相関図 (埋土)

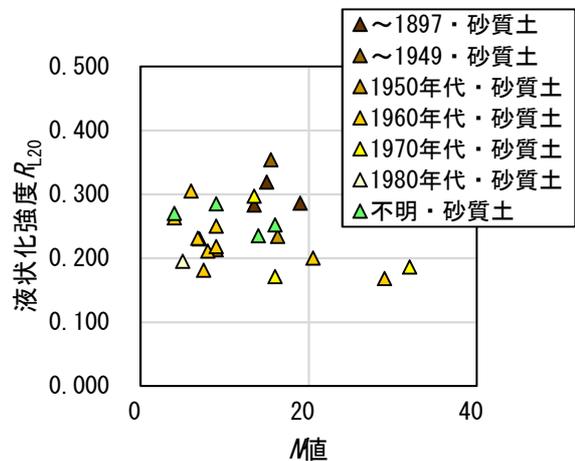


図 4.3.1-17  $N$  値と  $R_{L20}$  の相関図 (砂質土)

増しになっていると考えられる」とされており、本検討での試料も同様の現象を示している可能性がある。

#### (4) 既往基準との比較

既往基準として、一般的に適用されている「道路橋示方書 V耐震設計編 平成 29 年 11 月」に示されている液状化判定式における繰り返し非排水三軸強度比（以下、「道示式」と略称する。）との比較を行った。図 4.3.1-18 に換算  $N$  値と  $R_{L20}$  の試験値との関係を示す。図中には  $F_c$  区間毎の道示式の曲線を合わせて示す。 $F_c=15\%$  以下のデータについては、道示式の  $F_c=15\%$  の曲線より左側（液状化強度が大）、およびその付近に分布しているものが多く、道示式と近い傾向を示しているが、 $F_c$  が大きい場合、 $R_{L20}$  が道示式よりも小さいデータが散見される。

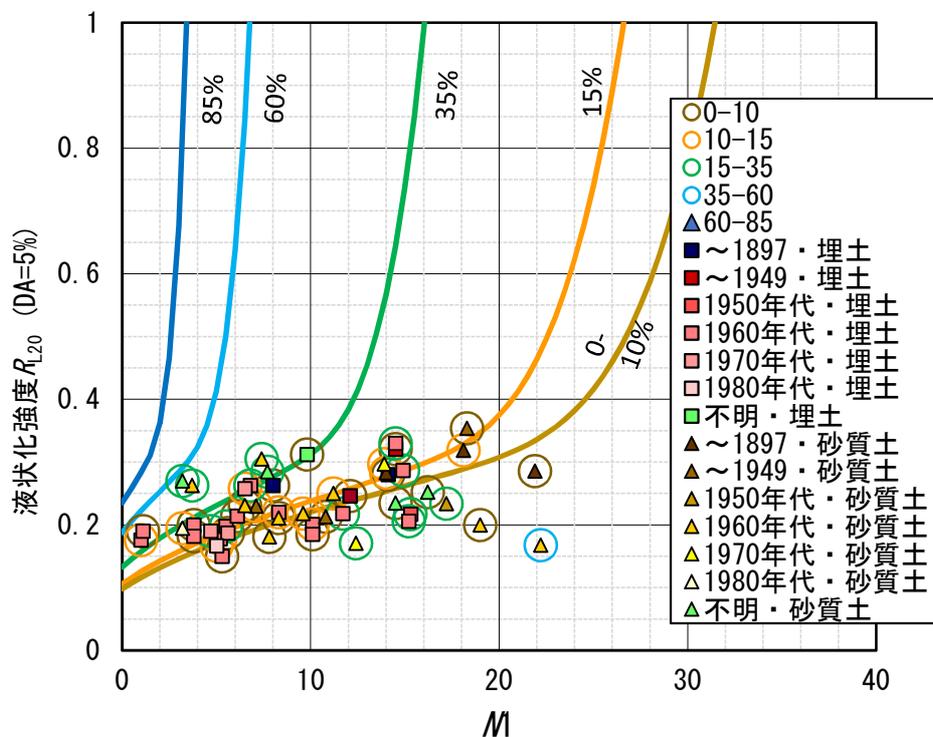


図 4.3.1-18 換算  $N$  値と  $R_{L20}$  の相関図

図 4.3.1-19 に道示式と  $R_{L20}$  の試験値との関係式を示す。1:1 の直線に対して数箇所のデータを除くとほぼ左右均等にばらついており偏りはみられない。図 4.3.1-20 に示すように 1949 年以前に埋め立てられた地点のデータのみを抽出すると、1:1 の直線に対して左側（道示式よりも液状化強度が大）に分布している傾向がある。

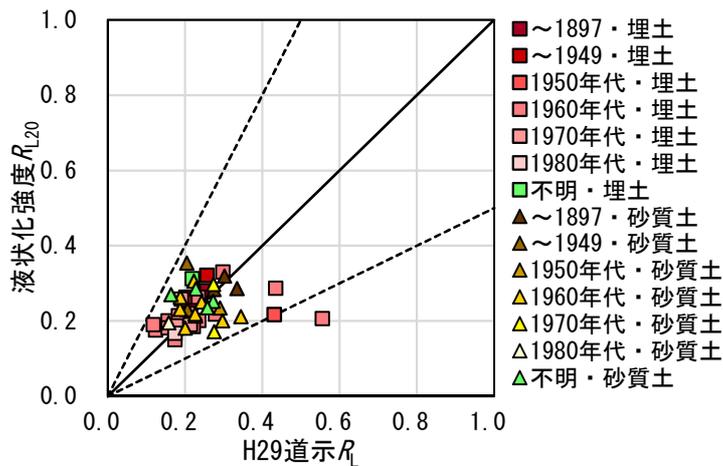


図 4.3.1-19 道示式と  $R_{L20}$  の相関図

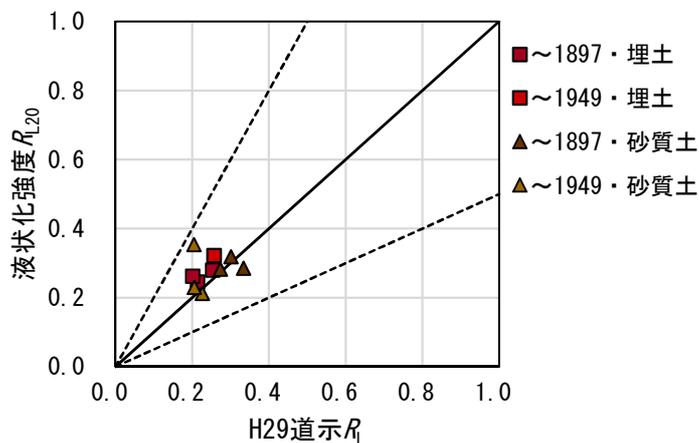


図 4.3.1-20 道示式と  $R_{L20}$  の相関図 (1949 年以前)

### (5) まとめ

香川県の港湾として、高松港における地質調査資料より繰り返し三軸試験結果を収集し、調査地点の土質区分や埋め立て年代をもとに液状化強度と物理特性等の比較を行ったところ、以下の知見を得た。

- ・ 高松港における埋土および砂質土の特性として、概ね砂質土と同様の傾向を示したものの、埋土の方が砂質土と比べてバラツキは大きく、また、浚渫土砂のような粒径の小さいものが用いられた可能性があることが推察された。なお、香川県土木史 第Ⅱ巻<sup>4)</sup>には、「1980年代の埋め立て地区について、建設残土、廃棄物、公共泊地浚渫土砂等を活用した」との記載があり、埋土のバラツキが大きい一因として、埋め立て年代や地区が同じであったとしても、埋め立て材料が異なる可能性があることが考えられる。
- ・ 物理特性と液状化強度試験値の関係は、全データを対象とすると明瞭な相関関係はみられなかったものの、埋め立て年代を2つに区分（本検討では概ね戦前、戦後の境である1950年を境に

区分)して比較すると、1950年代以降に埋め立てられた地点のデータからは、液状化強度と細粒分含有率の間には正の相関がみられた。また、同程度の諸元であっても、1949年以前のデータの方が液状化強度が大きい傾向がみられ、試料数は少ないものの年代効果が確認できたと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 5万分の1土地分類基本調査(都道府県調査)
- 2) 財団法人沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)，pp73
- 3) 東畑郁夫，田口雄一，林田敏彦，濱田悠貴，青山翔吾，後藤茂：砂の液状化抵抗が年代とともに増加する現象，日本地震工学会論文集，第15巻，第7号，2015
- 4) 香川県建設技術協会：香川県土木史，第Ⅱ巻，pp159

#### 4.3.2 撫養港（徳島県）

##### (1) 調査位置

撫養港は徳島県の北東部に位置し潮流の速い小鳴門海峡に面している港湾でやや複雑な沈水型海岸線となっている。また西から東へ流れる吉野川水系による土砂が海成作用により堆積された沖積層により形成されている。

収集した撫養港の DATA は調査ボーリング数が 31 本であり、概ね 20m 以浅における調査結果である。



図 4.3.2-1 ボーリング調査位置

##### (2) 物理特性

収集した試料より、土質区分を盛土、砂質土、粘性土、礫質土ごとに物理特性を整理し、深度分布と各々の物理特性との関係図を作成した（図 4.3.2-2～図 4.3.2-14）。この関係図から得られる物理特性の特徴を次に示す。

湿潤密度は土質性状に関係なく、概ね  $1.6\sim 2.0\text{g/cm}^3$  になっている。粒度については、礫質土を除けば、礫分はほぼ含まれていない。砂分は深度に関わらず、不規則に分布している。 $F_c$ （細粒分含有率）は 50%以下、 $P_c$ （粘土分含有率）は 20%以下がほとんどであり、また  $D_{50}$ （平均粒径）は  $0.1\sim 1\text{mm}$  に、 $D_{10}$ （10%粒径）は  $0.2\text{mm}$  以下に分布している。このことから、砂分主体の土層であることがわかる。

$N$  値と  $V_s$  は、深度方向に大きくなっており、砂質土主体の堆積地盤としては一般的な傾向である。また、表層から 20m 以浅は、 $N$  値 10 未満の砂質土があり、緩い地盤が多い。

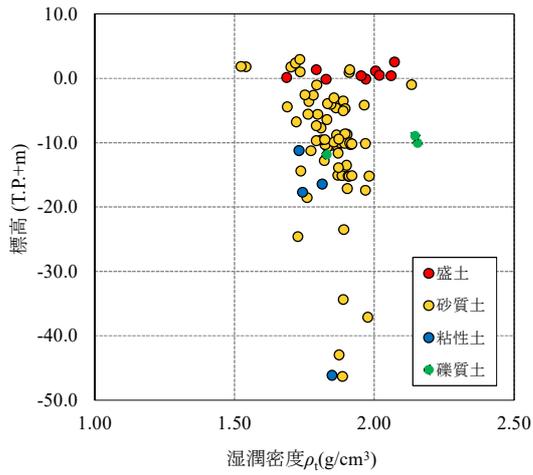


図 4.3.2-2 深度分布と湿潤密度の関係

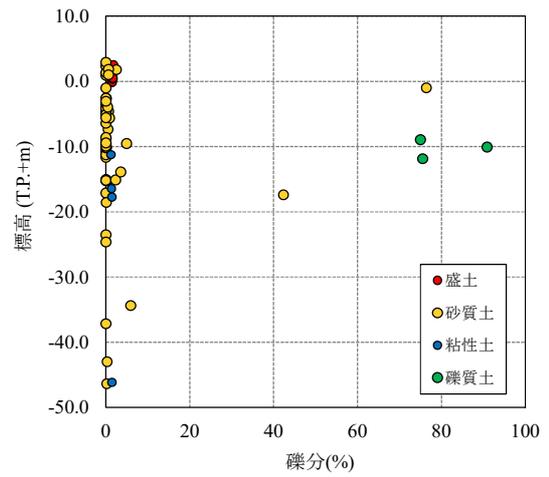


図 4.3.2-3 深度分布と礫分の関係

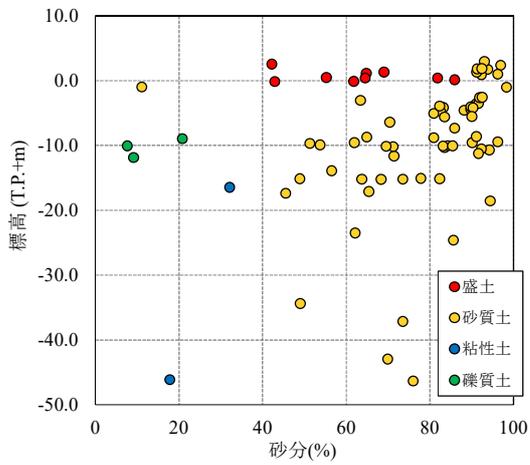


図 4.3.2-4 深度分布と砂分の関係

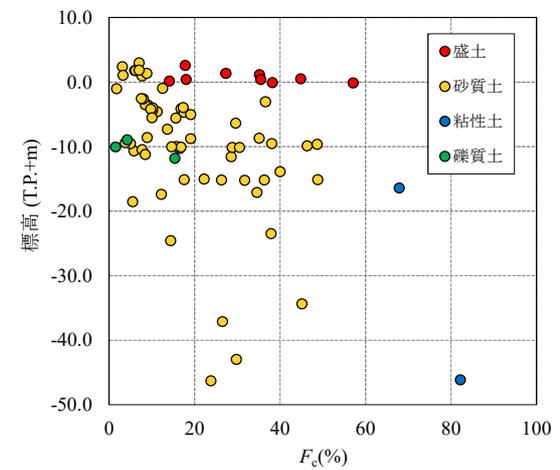


図 4.3.2-5 深度分布と  $F_c$  の関係

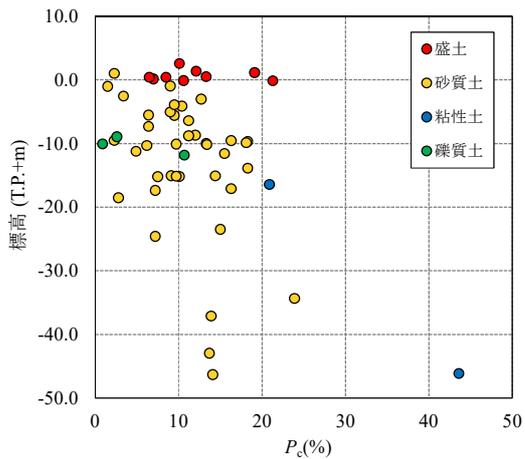


図 4.3.2-6 深度分布と  $P_c$  の関係

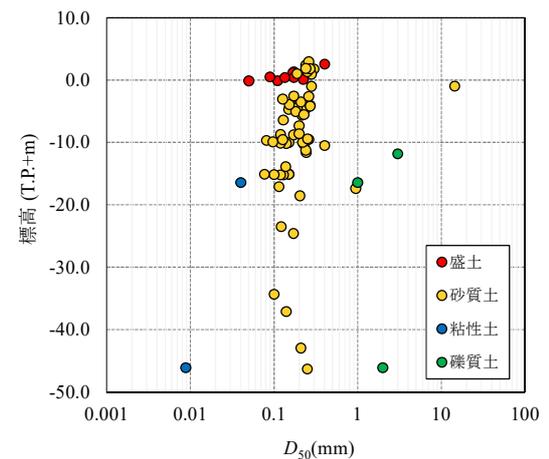


図 4.3.2-7 深度分布と  $D_{50}$  の関係

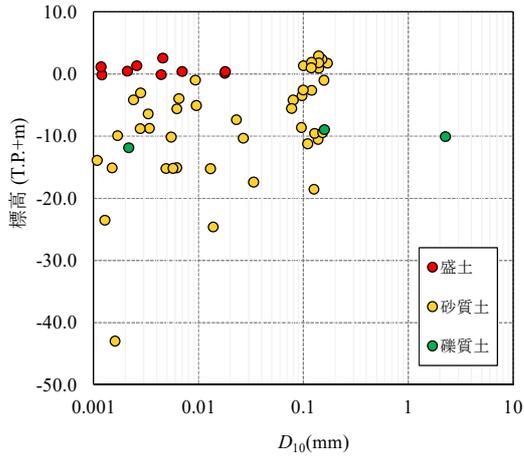


図 4.3.2-8 深度分布と  $D_{10}$  の関係

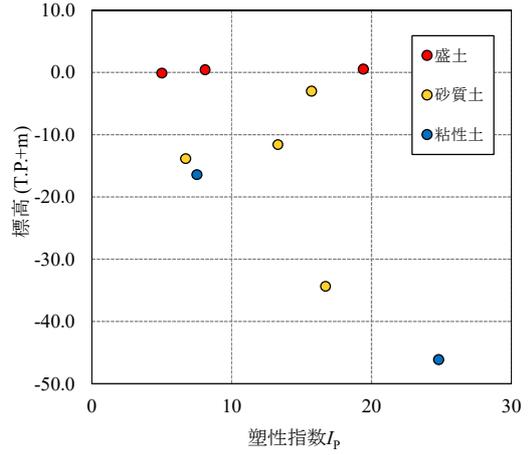


図 4.3.2-9 深度分布と塑性指数の関係

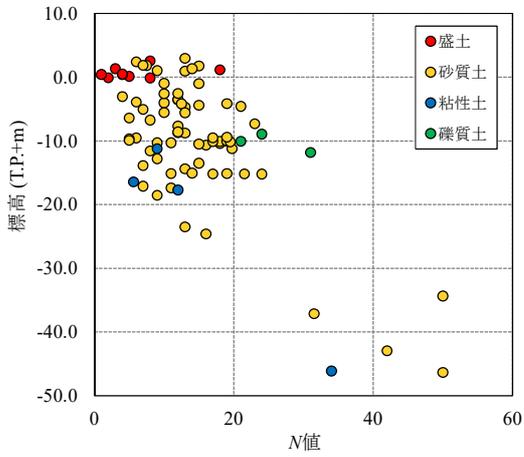


図 4.3.2-10 深度分布と  $N$  値の関係

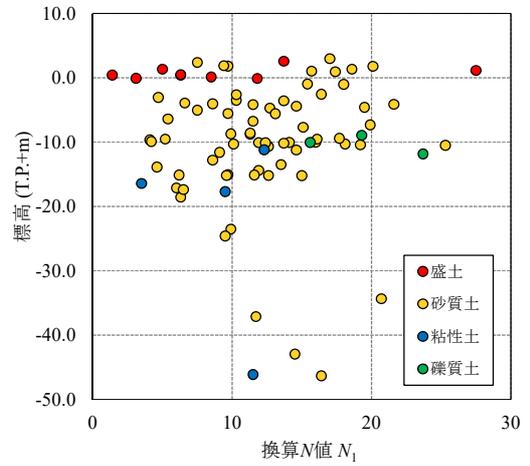


図 4.3.2-11 深度分布と換算  $N$  値  $N_1$  の関係

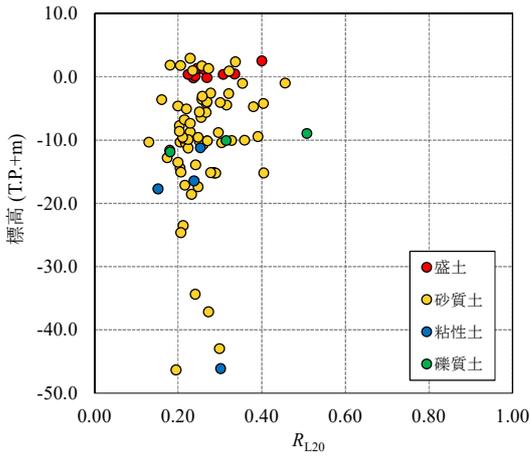


図 4.3.2-12 深度分布と  $R_{L20}$  の関係

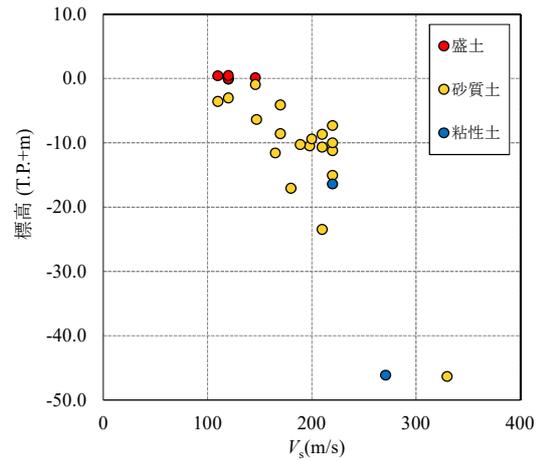


図 4.3.2-13 深度分布と  $V_s$  の関係

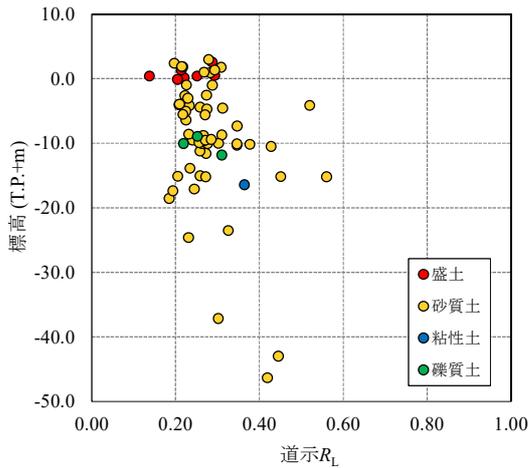


図 4.3.2-14 深度分布と道示  $R_L$  の関係

### (3) 液状化強度と各物理特性の関係

繰り返し非排水三軸試験と各物理試験値との関係をグラフ化した。土質区分は「盛土，砂質土，粘性土，礫質土」の4区分として整理した。区分の方法は粒度試験結果より「細粒分含有率，礫分，砂分」の関係より区分し整理した。

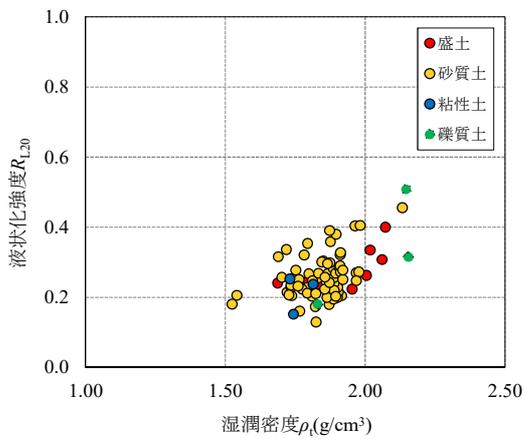


図 4.3.2-15 液状化強度  $R_{L20}$  と湿潤密度の関係

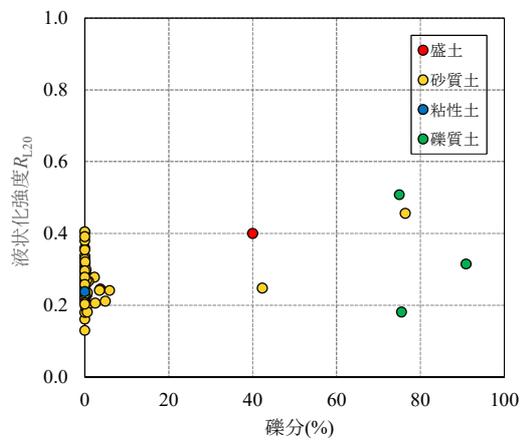


図 4.3.2-16 液状化強度  $R_{L20}$  と礫分の関係

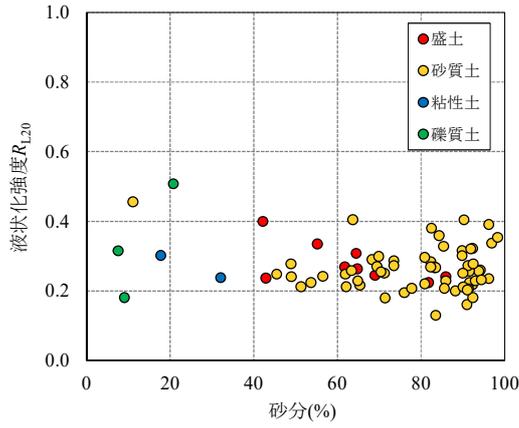


図 4.3.2-17 液状化強度  $R_{L20}$  と砂分の関係

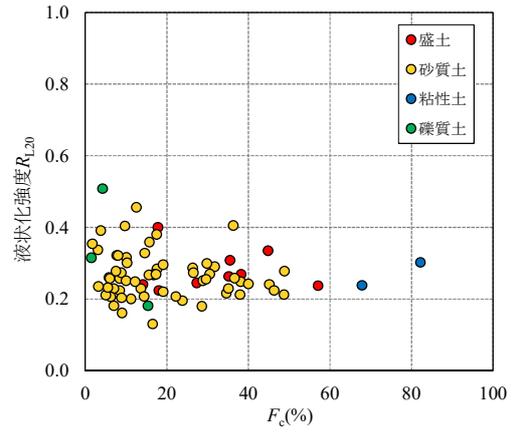


図 4.3.2-18 液状化強度  $R_{L20}$  と  $F_c$  の関係

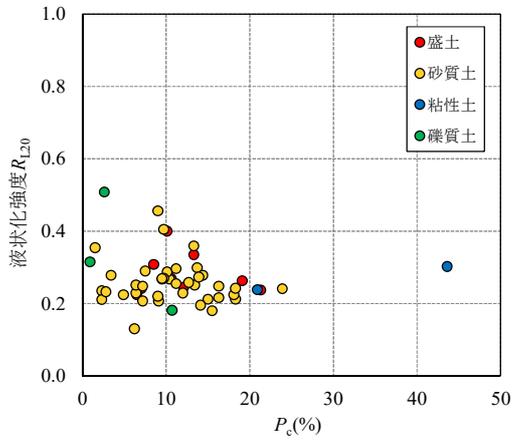


図 4.3.2-19 液状化強度  $R_{L20}$  と  $P_c$  の関係

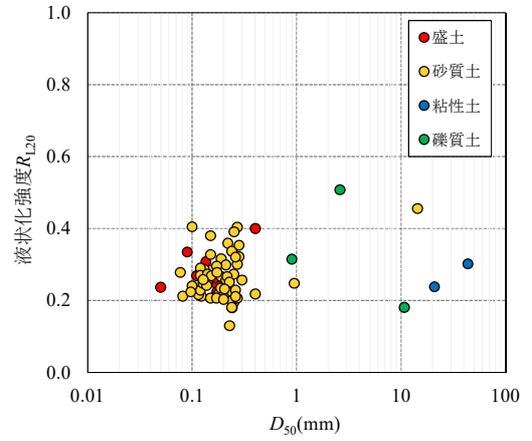


図 4.3.2-20 液状化強度  $R_{L20}$  と  $D_{50}$  の関係

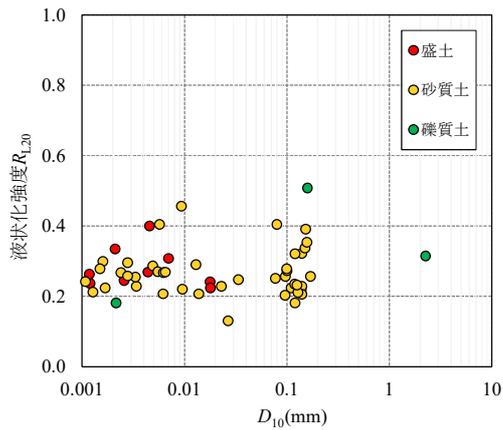


図 4.3.2-21 液状化強度  $R_{L20}$  と  $D_{10}$  の関係

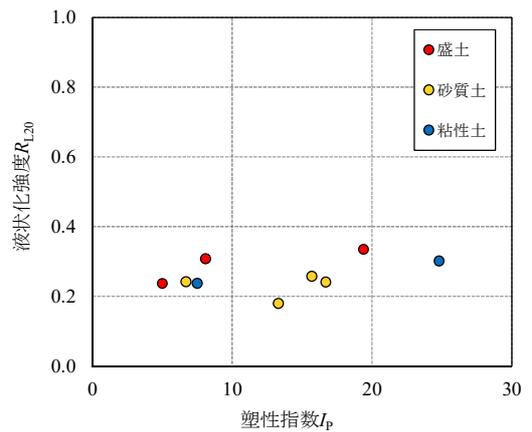


図 4.3.2-22 液状化強度  $R_{L20}$  と塑性指数の関係

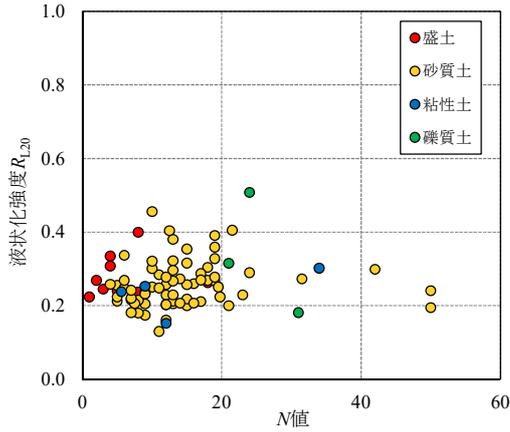


図 4.3.2-23 液状化強度  $R_{L20}$  と  $N$  値の関係

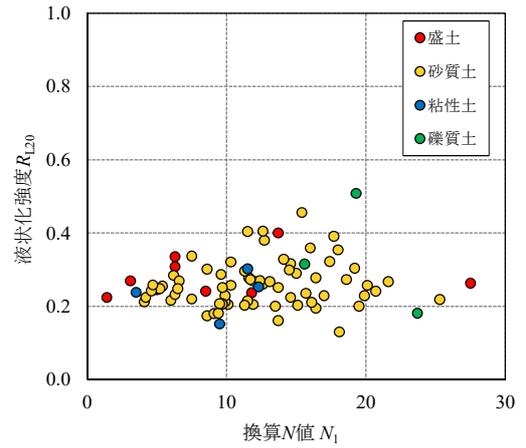


図 4.3.2-24 液状化強度  $R_{L20}$  と換算  $N$  値  $N_1$  の関係

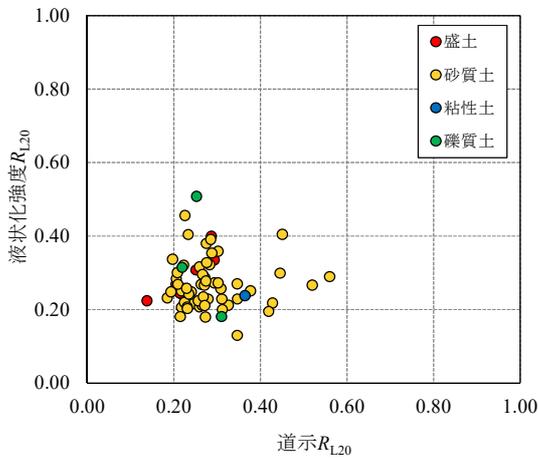


図 4.3.2-25 液状化強度  $R_{L20}$  と道示  $R_{L20}$  の関係

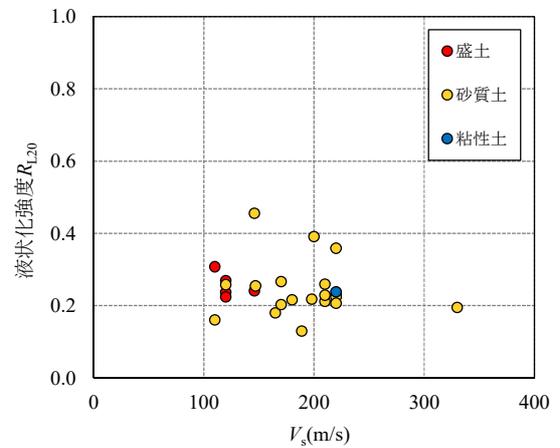


図 4.3.2-26 液状化強度  $R_{L20}$  と  $V_s$  の関係

#### (4) 道示 $R_L$ と各物理特性の関係

「公益社団法人 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 H29」に示される動的せん断強度比  $R$  を算出し、土質区分毎に物理試験値との関係をグラフ化した。

グラフの横軸を物理特性、縦軸は動的せん断強度比（道示  $R_L$  と略）を表す。

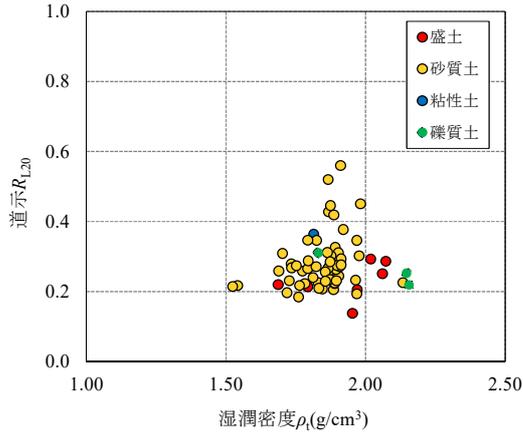


図 4.3.2-27 道示  $R_L$  と湿潤密度の関係

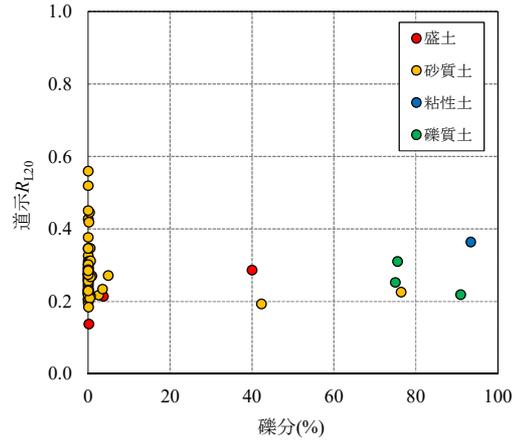


図 4.3.2-28 道示  $R_L$  と礫分の関係

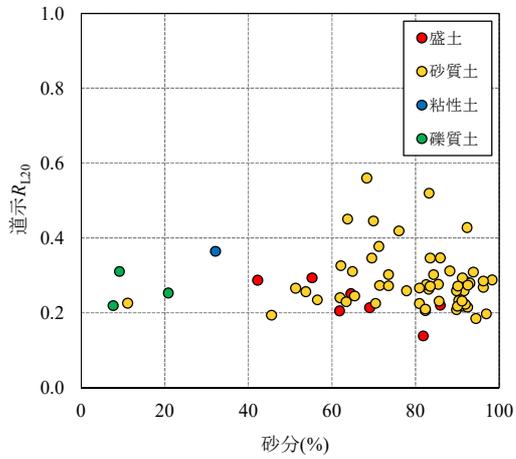


図 4.3.2-29 道示  $R_L$  と砂分の関係

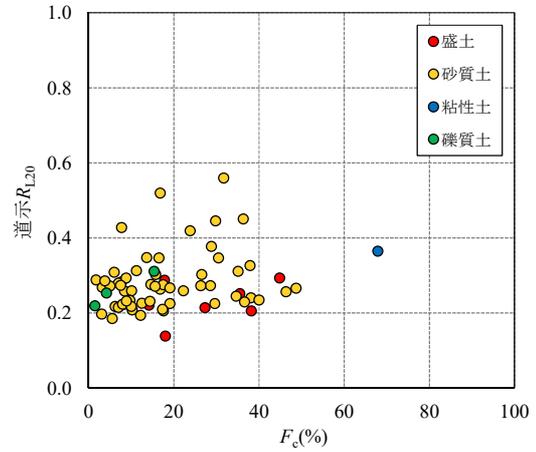


図 4.3.2-30 道示  $R_L$  と  $F_c$  の関係

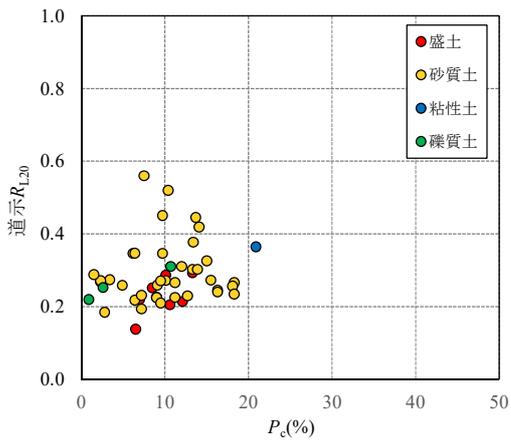


図 4.3.2-31 道示  $R_L$  と  $P_c$  の関係

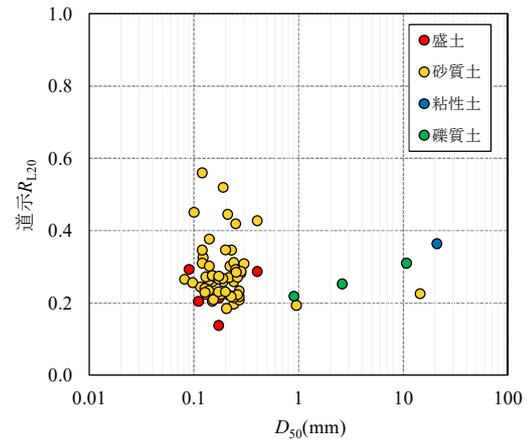


図 4.3.2-32 道示  $R_L$  と  $D_{50}$  の関係

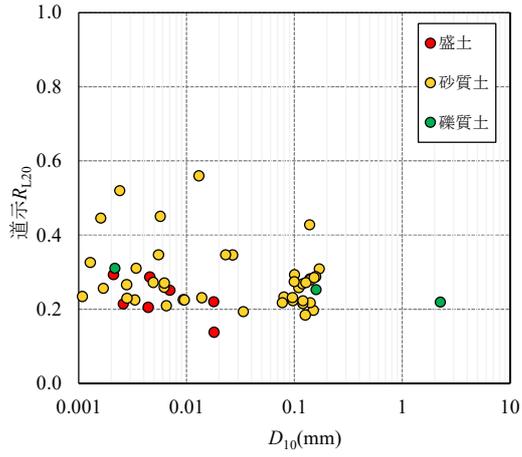


図 4.3.2-33 道示  $R_L$  と  $D_{10}$  の関係

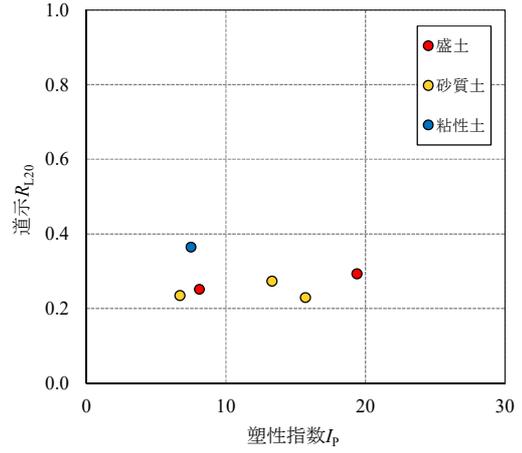


図 4.3.2-34 道示  $R_L$  と塑性指数の関係

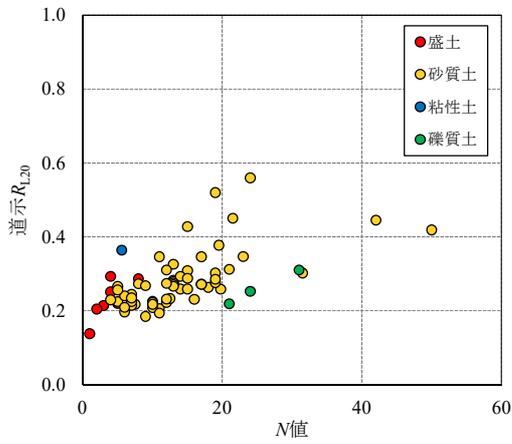


図 4.3.2-35 道示  $R_L$  と  $N$  値の関係

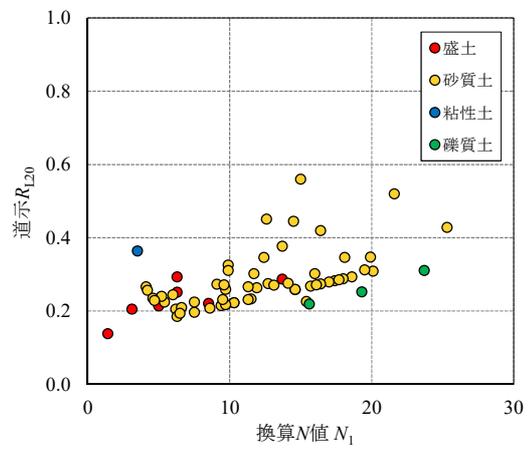


図 4.3.2-36 道示  $R_L$  と換算  $N$  値  $N_1$  の関係

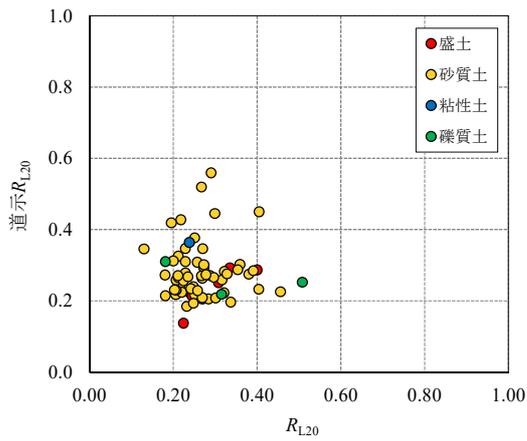


図 4.3.2-37 道示  $R_L$  と  $R_{L20}$  の関係

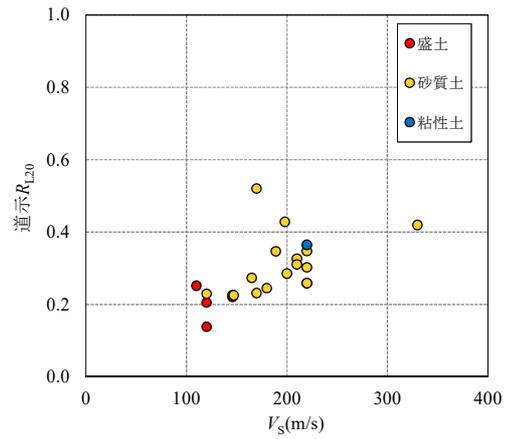


図 4.3.2-38 道示  $R_L$  と  $V_s$  の関係

(5) 基準類との比較

図 4.3.2-39 に換算  $N$  値と  $R_{L20}$  (試験値) の関係を示す. また図 4.3.2-40 に試験値である  $R_{L20}$  と道示  $R_L$  の関係を整理した. これによると多少のバラツキはあるが概ね一致していることがわかる.

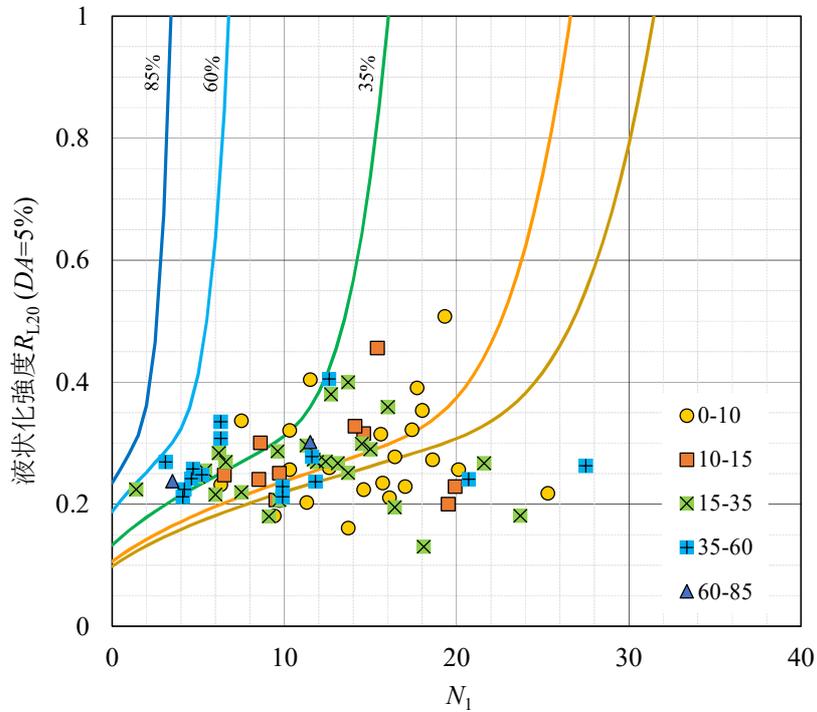


図 4.3.2-39 換算  $N$  値と  $R_{L20}$  の関係

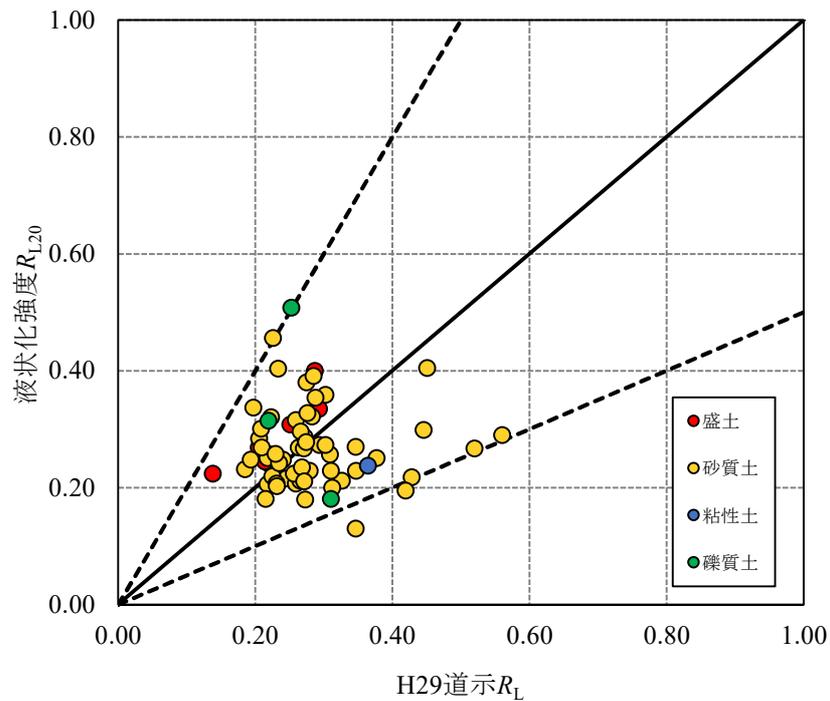


図 4.3.2-40 道示  $R_L$  と液状化試験値 ( $R_{L20}$ ) の関係

また、「公益社団法人 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 H14」の巻末資料で紹介されている兵庫県南部地震における液状化した土層と比較した。若干のバラツキはあるものの換算  $N$  値  $N_1$  が 20 以下では概ね一致していることがわかる。

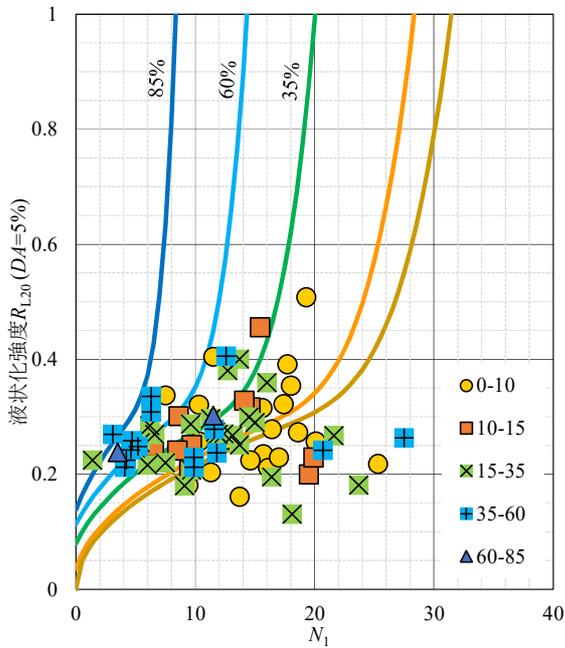


図 4.3.2-41 液状化強度  $R_{L20}$  と  
換算  $N$  値 (H24) の関係  
(撫養港)

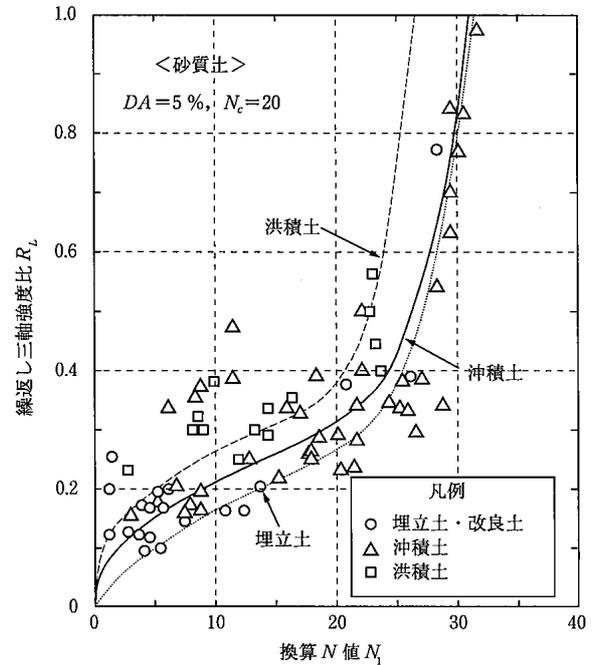


図 4.3.2-42 液状化強度  $R_{L20}$  と  
換算  $N$  値 (H24) の関係  
(兵庫県南部地震で液状化した土層)

### 4.3.3 浦戸湾・高知海岸（高知県）

#### (1) 調査位置

土佐湾は太平洋に向かって弧状に開いた湾で、海深が10~200mの間で緩やかな勾配の大陸棚を有している。土佐湾の両端は足摺岬と室戸岬であり、黒潮が25海里（約46km）南沖に平均的に位置し、東に向かって流れている。土佐湾沿岸は西南日本外帯の四万十帯に属し、主として白亜紀以降の地層からなる。

土佐湾の中央付近に位置する浦戸湾は面積7km<sup>2</sup>奥行き6kmの細長の湾で最大水深が10mであり、湾口部の幅が300m弱と狭く高い閉鎖海域となっている。このため、河川の影響とともに津波来襲時には極めて速い海からの流れが発生すると考えられる。また、閉鎖海域であることより土砂が堆積しやすい環境である。

収集したDATAは土佐湾の中央に位置する浦戸湾周辺のDATAである。DATABASEに入力されている調査ボーリング数は62本（内高知港タナスカ地区：東孕部14本）である。

分析は鏡川、国分川、下田川等の合流後の河口に相当する浦戸湾口付近(16本)、浦戸湾東(8本)、浦戸湾西(8本)および高知港タナスカ地区の4つに分類し実施した。



図 4.3.3-1 調査位置図

## (2) 土質の区分

分析を行う際、収集した DATA を「盛土、砂質土、粘性土、礫質土」の 4 つの土質に地質調査時の土層区分を鑑み、区分した。

表 4.3.3-1 土質の区分

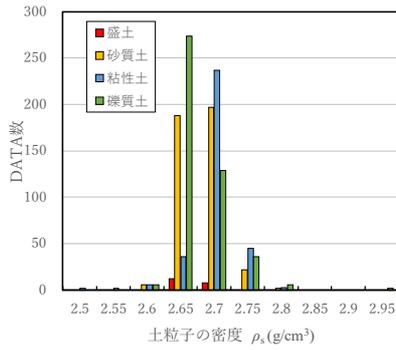
盛土：	地質調査時の土層区分
砂質土：	細粒分含有率が 50%未満かつ砂分含有率 > 礫分含有率
粘性土：	細粒分含有率 50%以上
礫質土：	細粒分含有率が 50%未満かつ礫分含有率 > 砂分含有率

## (3) 地盤の物理特性

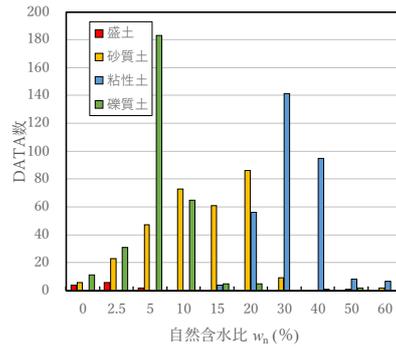
表 4.3.3-2、図 4.3.3-2 に収集した浦戸湾周辺全体（高知港タナスカ地区を除く）の地盤の物理特性を示す。DATA は深度が深い位置の土質試験結果も含まれている。

表 4.3.3-2 地盤の物理特性（高知海岸：浦戸湾周辺全体）

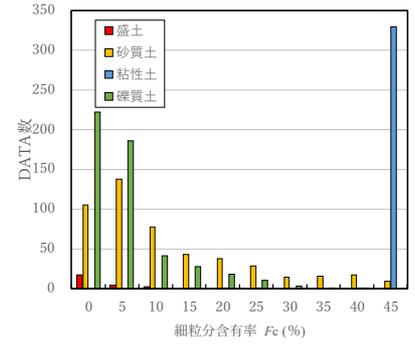
位置	土質名	項目	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	自然含水比 $w_n$ (%)	細粒分含有率 $F_c$ (%)	平均粒径 $D_{50}$ (mm)	塑性指数 $I_P$	礫分 $P_G$ (%)	均等係数 $U_c$
高知海岸	盛土	データ数	20	12	23	23	0	23	21
		最大値	2.72	9.2	13.9	15.20	-	82.5	77.1
		最小値	2.67	1.9	1.0	0.640	-	8.8	2.4
		平均値	2.69	3.8	4.4	3.32	-	43.3	11.9
		中央値	2.69	3.3	3.5	1.42	-	36.8	4.4
	砂質土	データ数	415	308	484	473	20	484	313
		最大値	2.81	87.0	49.4	8.90	33	47.2	820.0
		最小値	2.35	1.0	0.3	0.002	7	0.0	1.0
		平均値	2.70	16.1	14.0	0.74	16	18.8	17.9
		中央値	2.70	15.5	9.9	0.60	13	17.8	6.4
	粘性土	データ数	331	311	333	6	292	334	13
		最大値	2.83	70.8	99.8	6.86	73	60.3	257.7
		最小値	2.28	16.1	16.1	0.00	9	0.0	2.9
		平均値	2.72	37.0	87.9	0.04	24	1.5	73.1
		中央値	2.73	37.1	95.7	0.01	23	0.0	56.0
	礫質土	データ数	453	303	509	507	14	509	459
		最大値	2.99	55.0	43.7	52.30	143	98.1	1490.0
		最小値	2.63	0.3	0.2	0.180	6	32.5	1.8
		平均値	2.70	8.6	7.4	4.37	24	64.7	58.8
		中央値	2.69	7.4	5.5	3.60	14	65.0	19.7



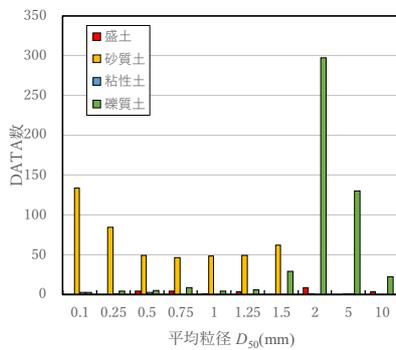
	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	20	415	331	453	1219
最大値	2.72	2.81	2.83	2.99	2.99
最小値	2.67	2.35	2.28	2.63	2.28
平均値	2.69	2.70	2.72	2.70	2.71
中央値	2.69	2.70	2.73	2.69	2.70



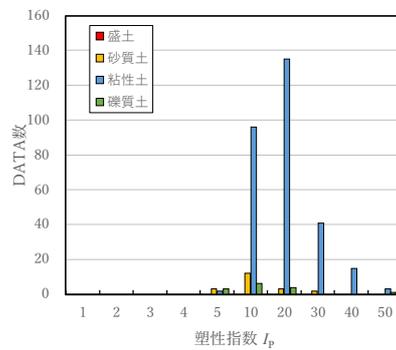
	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	12	308	311	303	934
最大値	9.2	87.0	70.8	55.0	87.0
最小値	1.9	1.0	16.1	0.3	0.3
平均値	3.8	16.1	37.0	8.6	20.5
中央値	3.3	15.5	37.1	7.4	15.9



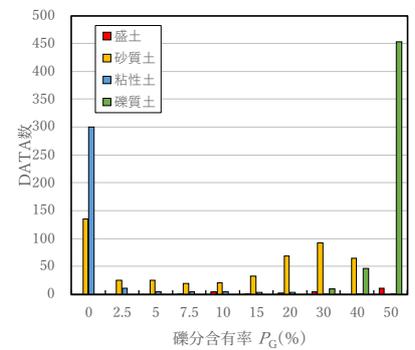
	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	23	484	333	509	1349
最大値	13.9	49.4	99.8	43.7	99.8
最小値	1.0	0.3	16.1	0.2	0.2
平均値	4.4	14.0	87.9	7.4	29.6
中央値	3.5	9.9	95.7	5.5	10.0



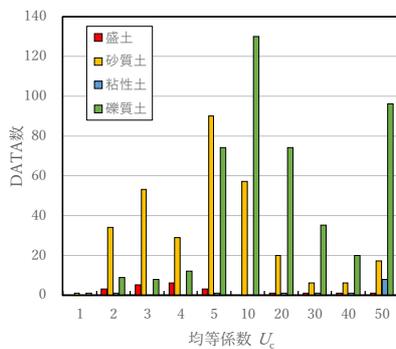
	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	23	473	6	507	1009
最大値	15.2	8.9	6.9	52.3	52.3
最小値	0.640	0.002	0.001	0.180	0.0
平均値	3.3	0.7	0.0	4.4	2.1
中央値	1.4	0.6	0.0	3.6	1.1



	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	0	20	292	14	326
最大値	0	33	73	143	143
最小値	0	7	9	6	6
平均値		16	24	24	24
中央値		13	23	14	22



	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	23	484	334	509	1350
最大値	82.5	47.2	60.3	98.1	98.1
最小値	8.8	0.0	0.0	32.5	0.0
平均値	43.3	18.8	1.5	64.7	32.2
中央値	36.8	17.8	0.0	65.0	31.0



	盛土	砂質土	粘性土	礫質土	全体
データ数	21	313	13	459	806
最大値	77.1	820.0	257.7	1490.0	1490.0
最小値	2.4	1.0	2.9	1.8	1.0
平均値	11.9	17.9	73.1	58.8	41.9
中央値	4.4	6.4	56.0	19.7	13.2

図 4.3.3-2 度数分布図 (地盤の物理特性 (高知海岸：浦戸湾周辺全体))

#### (4) 分析を行うための地域の細分および DATA の抜粋

入力された DATABASE は岩盤の DATA や深度が深い DATA も含まれる。また、液状化試験（繰返し非排水三軸試験）が実施されている地質調査も限られている。分析を実施するにあたり、地域を3つに細分し、DATA を抜粋した。

港湾に関する分析となるため浦戸湾の特性を表すと考えられる浦戸湾口付近、海流の影響を受けている可能性がある浦戸湾東および浦戸湾西の海岸に分類し抜粋した。また、DATA は液状化試験値との比較を考慮するために、道路橋示方書で規定される G.L.-20m の DATA を抜粋した。なお、浦戸湾東および浦戸湾西に関しては液状化試験が実施されていないため、G.L.-20m の物理特性について分析した。

対象地域の液状化試験実施時のサンプリングは概ね乱れが比較的少ないとされている GS サンプリングが実施されている。なお、礫質土の液状化試験時の供試体は 7cm×14cm で実施されている。

三軸試験は供試体径の 5 分の 1 を最大粒径として基準化されている。7cm×14cm の供試体の場合、ふるい寸法で 9.5mm が精度を保てる最大粒径となる。このため、液状化試験は粒径の大きな礫が混入している状態で試験されている可能性があることに留意が必要である。

例えば 7-GS-1→最大粒径 26.5mm（礫分 62.9%）

7-GS-2→最大粒径 26.5mm（礫分 77.6%）

7-GS-3→最大粒径 37.5mm（礫分 49.1%）

(5) 浦戸湾口付近

1) 抜粋した分析 DATA

調査地は、海岸砂州が形成された浦戸湾口付近に位置し、起伏に富んだ風化泥岩が基盤を構成する。基盤上位には、粘性土層を主体とした洪積層が分布する。洪積層の上位には、砂質土や礫質土を主体に構成される沖積層が最大 50m 程度の層厚を有して分布する。沖積層は、砂の粒径、礫の礫径が不規則に変化し、非常に不均質な土層である。さらに、沖積層の上位には現況地表を構成する埋土・盛土が分布する。地下水位以深の埋土は、締まり具合が緩く、液状化対象層に該当する土層である。

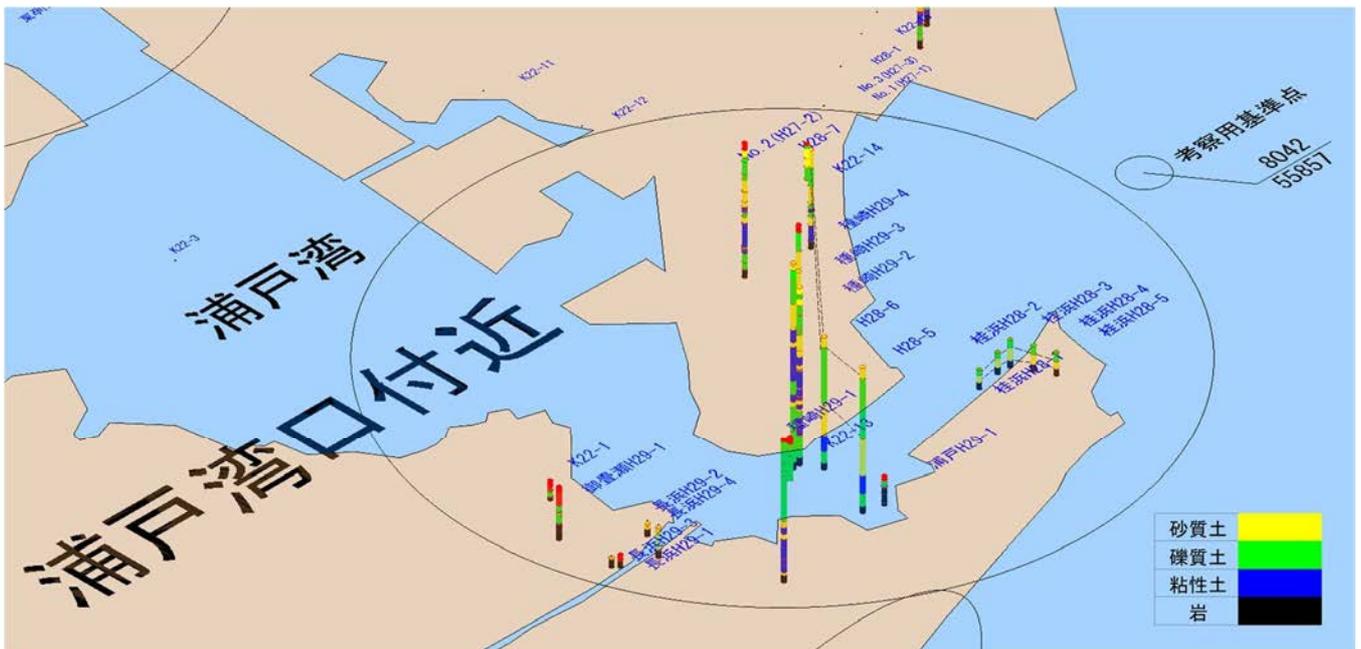


図 4.3.3-3 浦戸湾口付近調査位置図

表 4.3.3-3 浦戸湾口付近 液状化試験実施 DATA 抜粋

土質名	項目	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	細粒分 含有率 $F_c$ (%)	平均 粒径 $D_{50}$ (mm)	礫分 $P_G$ (%)	$N$ 値	有効 上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	道示液状 化強度 道示 $R_{L20}$	液状化試 験値 $R_{L20}$
砂質土	データ数	3	3	3	3	3	3	3	3
	最大値	2.14	13.5	0.85	31.10	50	281	0.75	0.26
	最小値	1.91	4.5	0.38	0.000	13	47	0.30	0.14
	平均値	1.99	8.2	0.55	11.33	36	194	0.46	0.18
	中央値	1.93	6.5	0.43	2.90	44	253	0.32	0.15
礫質土	データ数	14	14	14	14	14	14	14	14
	最大値	2.32	6.2	10.90	96.10	50	280	1.84	0.69
	最小値	2.12	0.7	1.89	49.100	17	126	0.22	0.23
	平均値	2.23	3.4	4.91	76.00	33	182	0.46	0.36
	中央値	2.23	3.7	3.77	77.15	31	166	0.30	0.33

## 2) 液状化強度と物理特性の関係

土質区分毎に各物理試験値と液状化試験値  $R_{L20}$ （両振幅ひずみ  $DA=5\%$ で20波に達した繰返しせん断応力度比）の関係をグラフ化した。

土質区分は盛土，砂質土，粘性土，礫質土の4区分とした。区分の方法は細粒分含有率，礫分，砂分の関係より区分し，目視による地層を確認したうえで決定した。

### ① 物理特性と液状化試験値 $R_{L20}$

図 4.3.3-4 に密度と液状化強度（液状化試験値）の関係を示す。湿潤密度 ( $\rho_t$ )・乾燥密度 ( $\rho_d$ ) は大きくなるにしたがって液状化強度が概ね大きくなる一般的な傾向を示す。図 4.3.3-5 に土粒子密度 ( $\rho_s$ ) と液状化強度の関係を示す。土粒子密度が大きくなると液状化強度が小さくなる傾向が見られる。これは、 $\rho_s$ が大きくなると間隙比 ( $e=\rho_s/\rho_d-1$ ) も大きくなり，液状化強度が小さくなる一般的な傾向に一致する。図 4.3.3-6 に自然含水比 ( $w_n$ )・間隙比 ( $e$ ) と液状化強度の関係を示す。自然含水比・間隙比と液状化強度の関係はプロットされている点群の様相が似ており，間隙比と含水比が相関関係にあることがよくわかる。図 4.3.3-7 に間隙比と含水比をパラメータとする飽和度 ( $S_r$ ) と液状化強度の関係を示す。

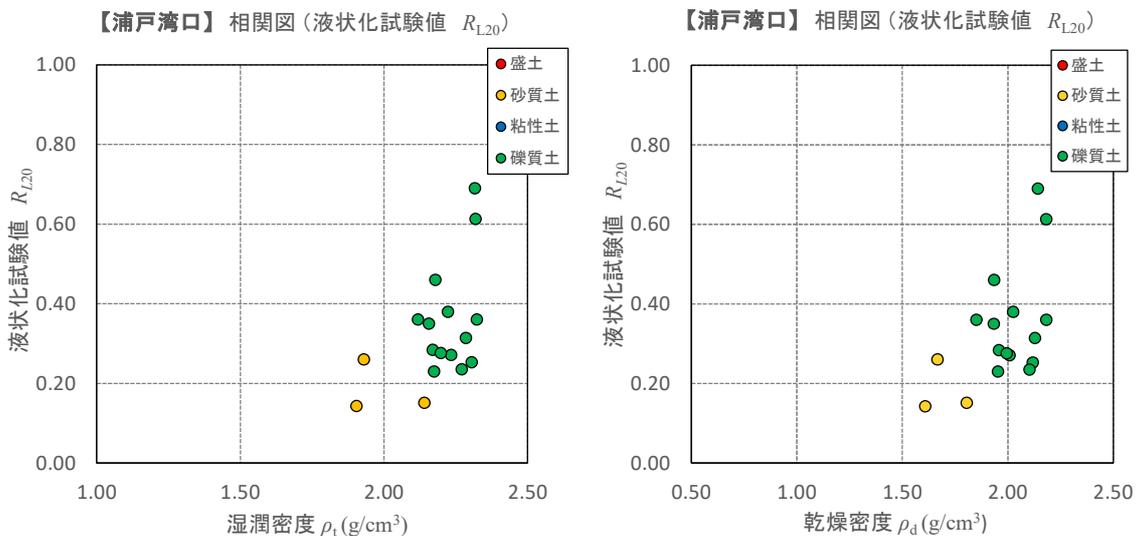


図 4.3.3-4 密度（単位体積重量）と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

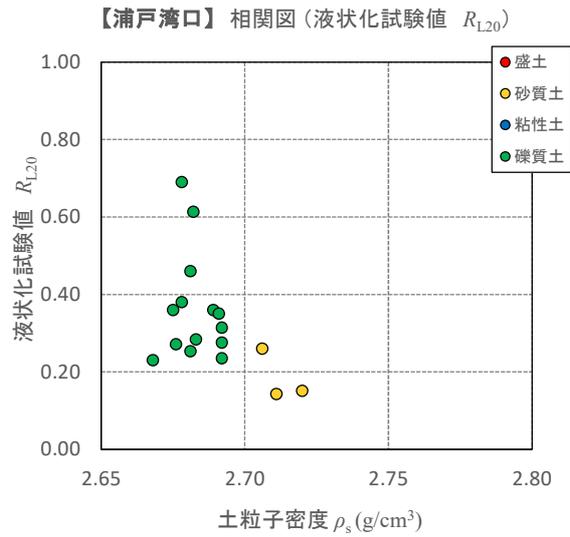


図 4.3.3-5 土粒子密度  $\rho_s$  と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

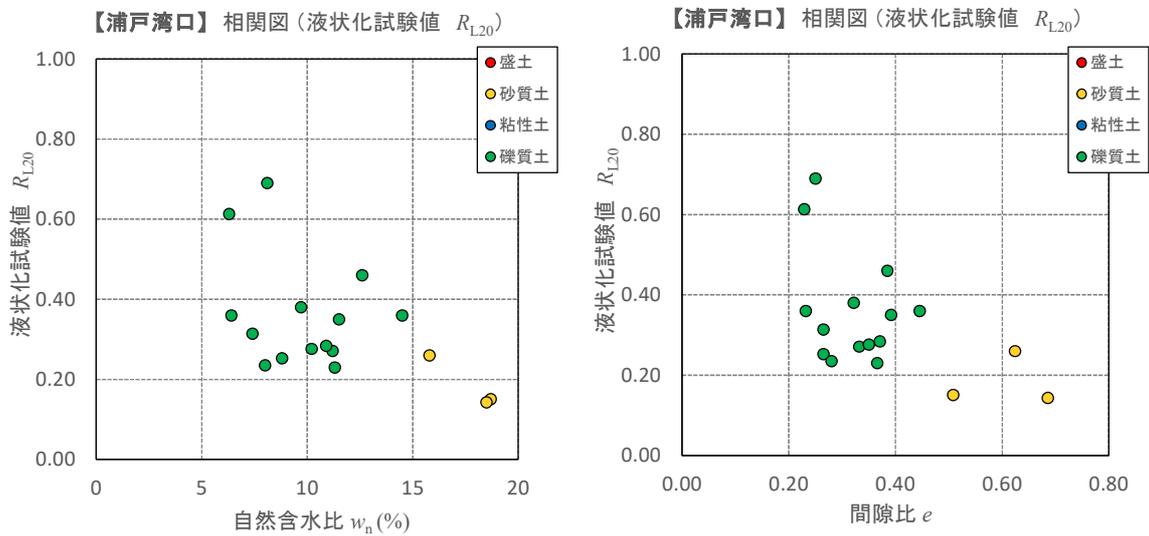


図 4.3.3-6 自然含水比  $w_n$ ・間隙比  $e$  と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

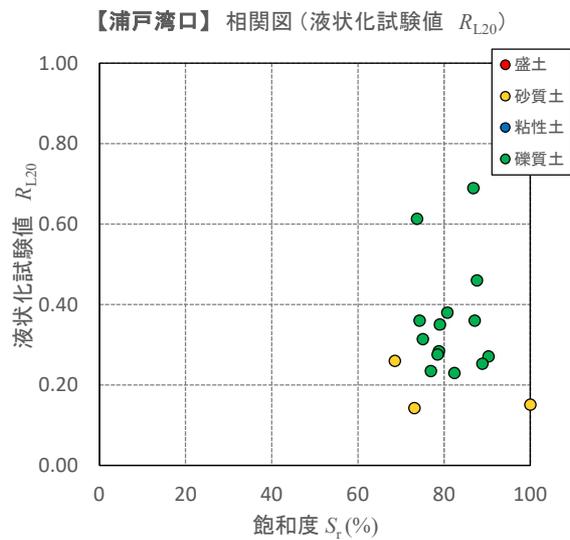


図 4.3.3-7 飽和度  $S_r$  と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

② 粒度特性と液状化試験値  $R_{L20}$

図 4.3.3-8 に粒度特性と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係を示す. 砂質土と礫質土の DATA であるため, 基本的に細粒分含有率は小さくなっている. 平均粒径 ( $D_{50}$ ) が比較的大きい礫質土は砂質土より液状化強度が大きくなっている. これは, 風化が少ない土粒子はかみ合わせの強度が大きくなるのが理由の一つと考えられる. 礫質土は均等係数 ( $U_c$ ) が大きくなると液状化強度が大きくなる傾向が見られるが相関は読み取れない. 粒径で分類した粒度特性でも同様である(図 4.3.3-9).

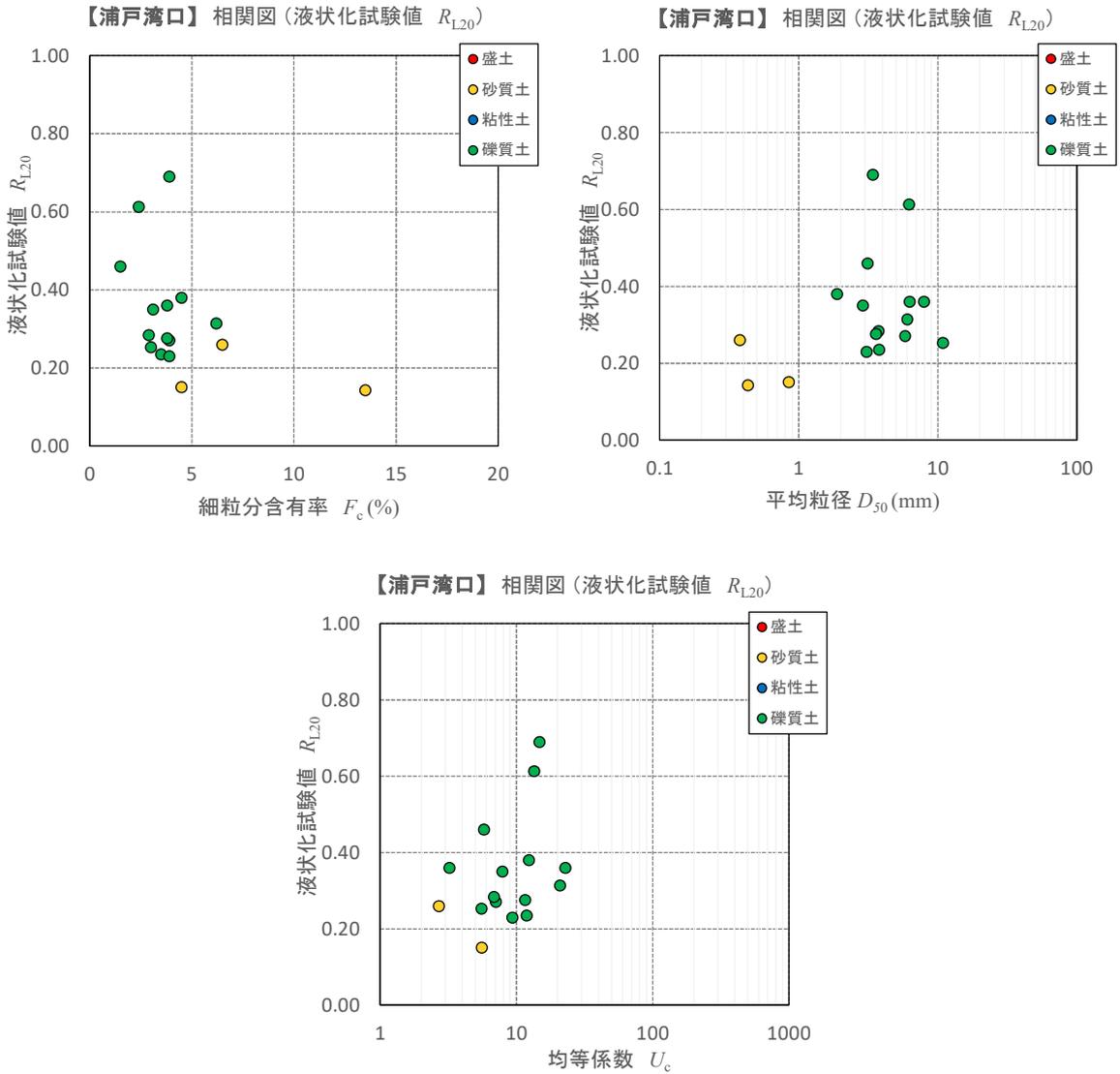


図 4.3.3-8 粒度特性と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

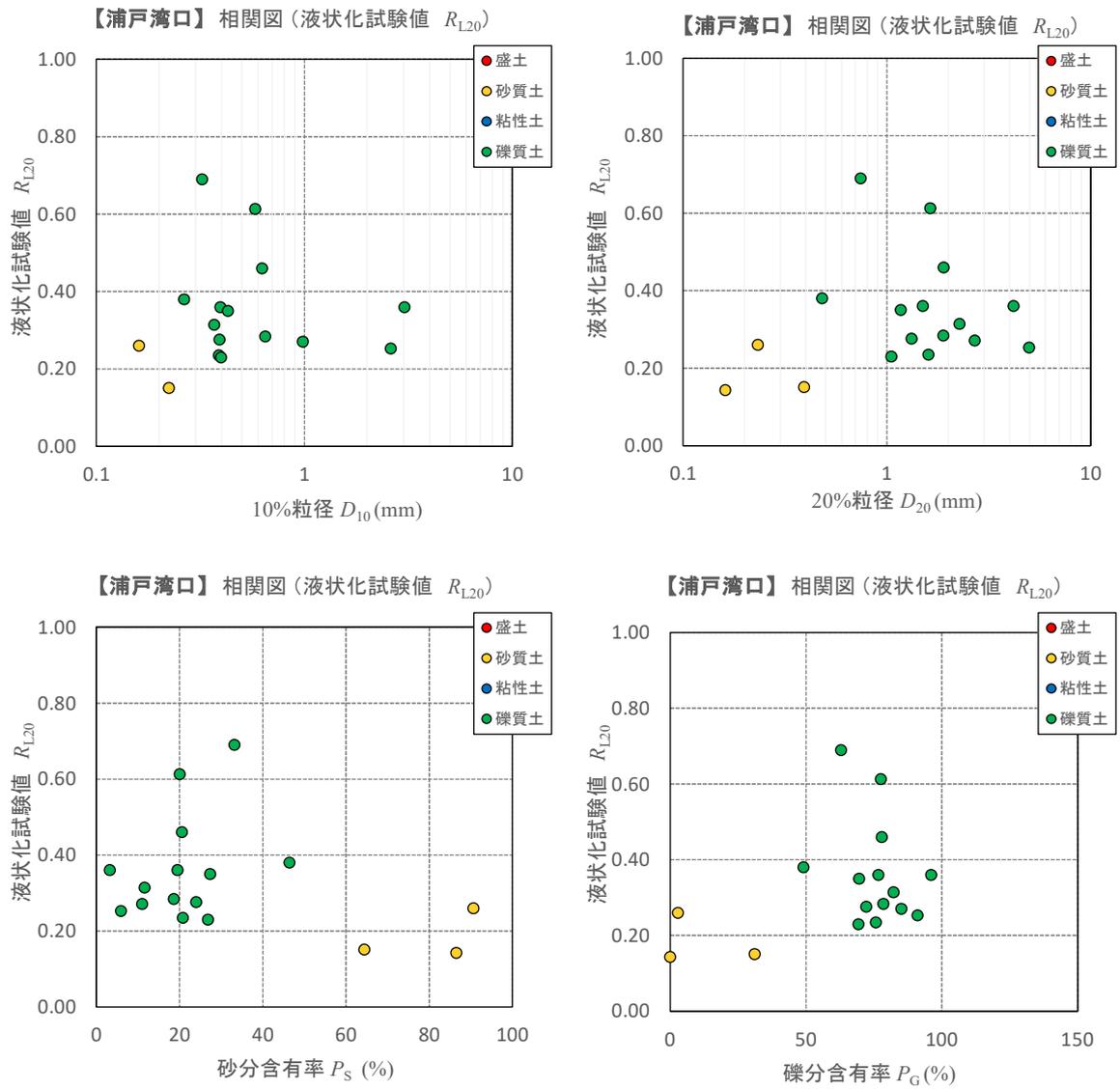
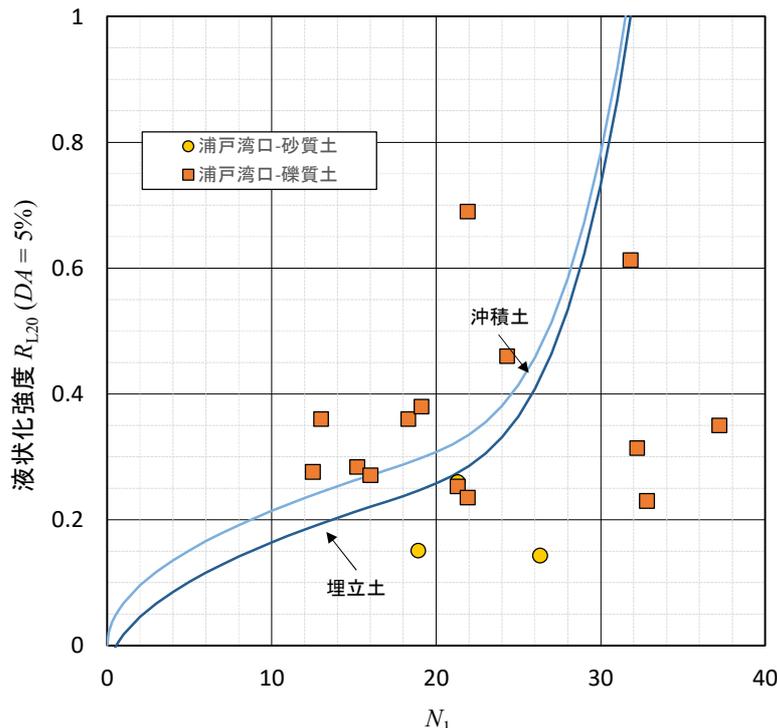


図 4.3.3-9 粒径で分類した粒度特性と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

### 3) 基準類との比較

図 4.3.3-10 に換算  $N$  値 ( $N_1$ : 有効上載圧  $100\text{kN/m}^2$  相当に換算した  $N$  値) と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係を松尾<sup>※)</sup> が示した曲線と合わせて示す。

$N_1$  値が大きい部分 ( $N_1 > 25$ ) で乖離が見られる。礫質土であり、 $N_1$  値が大きい箇所のサンプリングは一般的に困難であることより、 $N_1$  値が大きく液状化強度が小さい範囲は供試体の乱れの影響も考えられる。また、先に記述した液状化試験時の供試体径の  $1/5$  以上の礫の混入の影響の可能性もあると推察される。



※松尾修：道路橋示方書における地盤の液状化判定の現状と今後の課題,土木学会論文集 No.757/III-66,1-20,2004.3

図 4.3.3-10 換算  $N$  値 ( $N_1$ ) と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

図 4.3.3-11 に道路橋示方書 H29 (日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編,平成 29 年 11 月) と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係を示す。 $N_1$  値が大きい部分は礫分が 50%以上の値である。個別の液状化試験の有効応力経路を確認すると、間隙水圧が 80%程度までしか上昇していない試験も見られる (図 4.3.3-12)。液状化試験時の液状化判定は  $DA=5\%$  に 20 波で到達したときの繰返し応力度で規定される。間隙水圧が上昇していない場合、供試体は液状になっておらず、剛性は比較的大きい状態になる。静的解析では、液状化判定後に  $F_L$  に応じた過剰間隙水圧を設定 (図 4.3.3-13) されるが、 $N$  値の大きな部分では液状化試験値  $R_{L20}$  を素直に用いた場合は過大な設計を行う可能性があり、設計時には動的解析を実施するなど適切な評価方法を選択する必要があることがわかる。

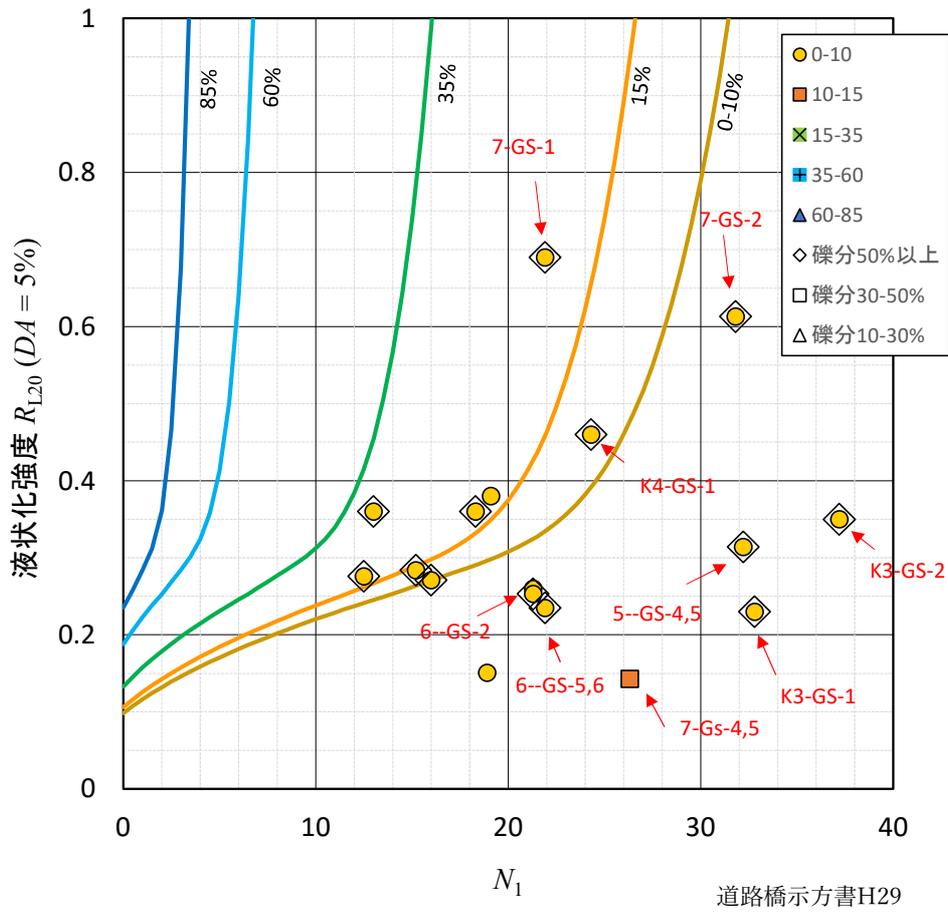


図 4.3.3-11 道路橋示方書 H29 と液状化試験値  $R_{L20}$  の関係

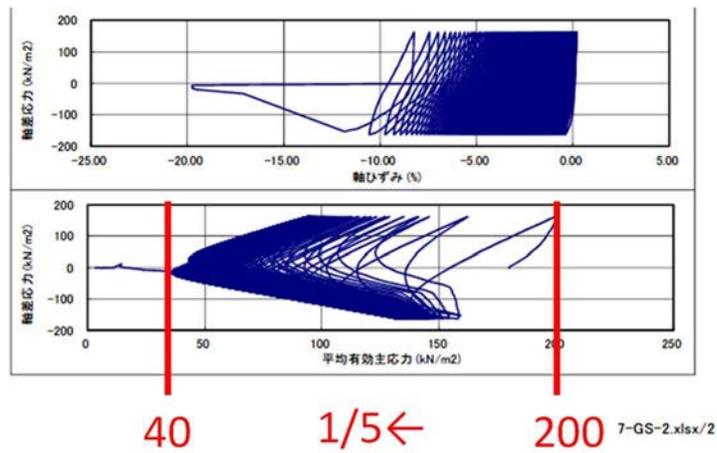
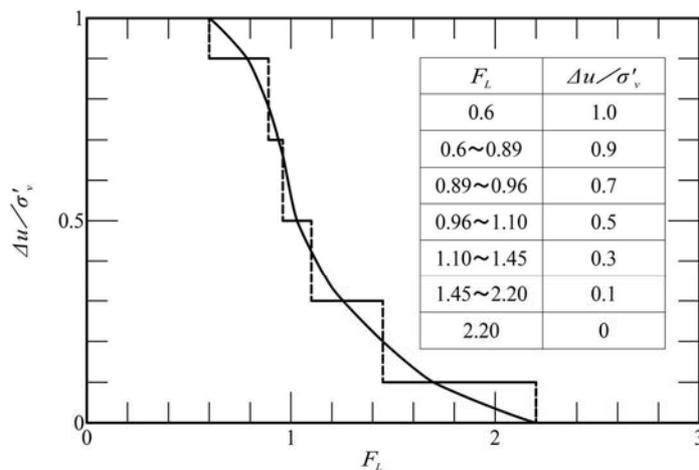


図 4.3.3-12 有効応力経路 (7-GS-2)

表-7.3.1 耐震設計上の土質定数の低減係数  $D_E$

$F_L$ の範囲	地表面からの の深さ $x(m)$	動的せん断強度比 $R$	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$0 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$0 < x \leq 20$	1	1

日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編,H29.11,p169



参図5-12 液状化に対する抵抗率  $F_L$  と  $\Delta u / \sigma'_v$ 、過剰間隙水圧の関係

日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度）,p172~173

図 4.3.3-13  $F_L$  に応じた過剰間隙水圧の設定

## (6) 浦戸湾東

### 1) 抜粋した分析 DATA

調査位置は、浦戸湾湾口付近から東の海岸部である。DATA は液状化に寄与する G.L.-20m 以浅に限定した。ボーリングおよび土質試験数は限られているが、浦戸湾湾口から流出した土砂が海岸の影響を受けどのように堆積しているか分析した。

なお、浦戸湾湾口部の海底地盤は砂と砂礫で構成されており、その中央粒径は 1.5mm、沈降速度は 0.12m/s である\*)。また、海の影響は浦戸湾湾口から高知新港までは防潮堤・防波堤の整備が実施されているように、浦戸湾湾口形状の影響を受け洗掘等が発生しやすい\*)。

※鈴木高二朗，池田直太，鶴田修己，朝比翔太，久保田博貴，伊藤春樹：浦戸湾湾口における津波防波堤堤頭部の津波による洗う掘について，土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol.77,No.2, I\_139- I\_144,2021.

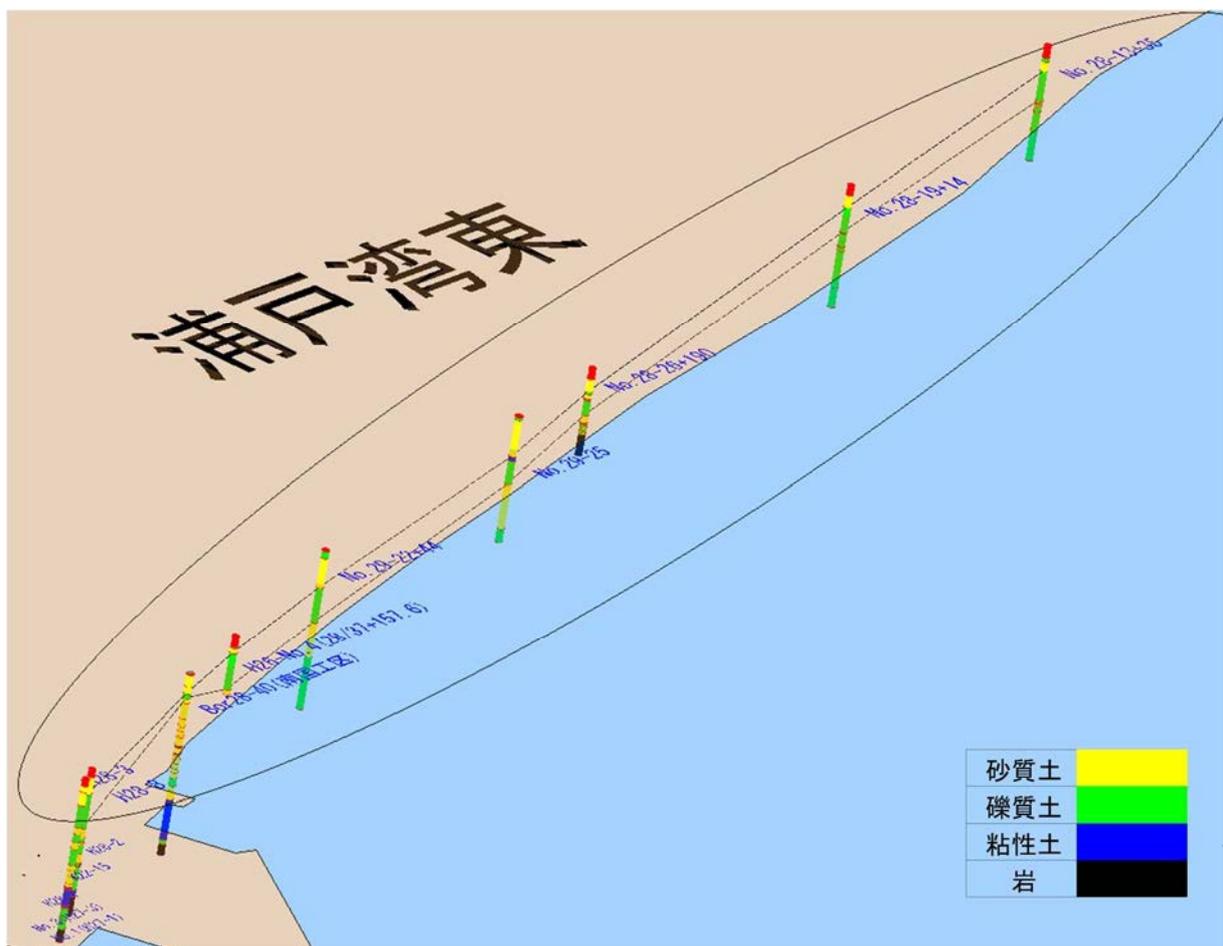


図 4.3.3-14 浦戸湾東調査位置図

## 2) 分析

浦戸湾湾口からの距離と土粒子の密度 ( $\rho_s$ ), 自然含水比 ( $w_n$ ), 礫分 ( $P_G$ ), 砂分 ( $P_s$ ), 細粒分含有率 ( $F_c$ ), 平均粒径 ( $D_{50}$ ) に着目した.

土粒子の密度, 自然含水比は土質試験数が少ないため傾向は見えない.

DATA は少ないが河口から距離が離れるにしたがって, 細粒分が多くなる相関 (砂分が少なくなる) が若干見られる.

【浦戸湾東】 G.L.-20以浅平均値

空白はDATAなし

孔番	浦戸湾からの距離 (km)	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		自然含水比 $w_n$ (%)		礫分 $P_G$ (%)		砂分 $P_s$ (%)		細粒分含有率 $F_c$ (%)		平均粒径 $D_{50}$ (mm)	
		礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土
H28-8	1.52	2.68	2.69	7.12	9.02	58.57	16.96	35.68	76.69	5.75	6.35	3.47	0.95
H28-3	1.56	2.68	2.69	8.93	13.85	58.59	19.61	36.10	70.44	5.31	9.95	2.85	0.92
Bor28-40(南国工区)	2.05					49.83	26.32	33.37	67.30	16.80	6.38	1.96	1.08
No.29-22+44	2.84	2.71	2.70		15.50	64.25	23.70	30.72	70.85	5.04	5.45	4.25	1.07
No.29-25	3.85	2.71	2.71		18.10	64.54	22.97	30.28	69.88	5.19	7.15	3.81	0.96
No.28-26+190	4.26					64.80	27.90	31.00	61.78	4.20	14.97	4.01	0.95
No.28-19+14	5.73					68.23	41.90	26.50	54.00	5.27	4.10	4.04	1.44
No.28-13+35	6.87					67.30	22.64	28.03	70.24	4.68	7.12	4.36	0.50

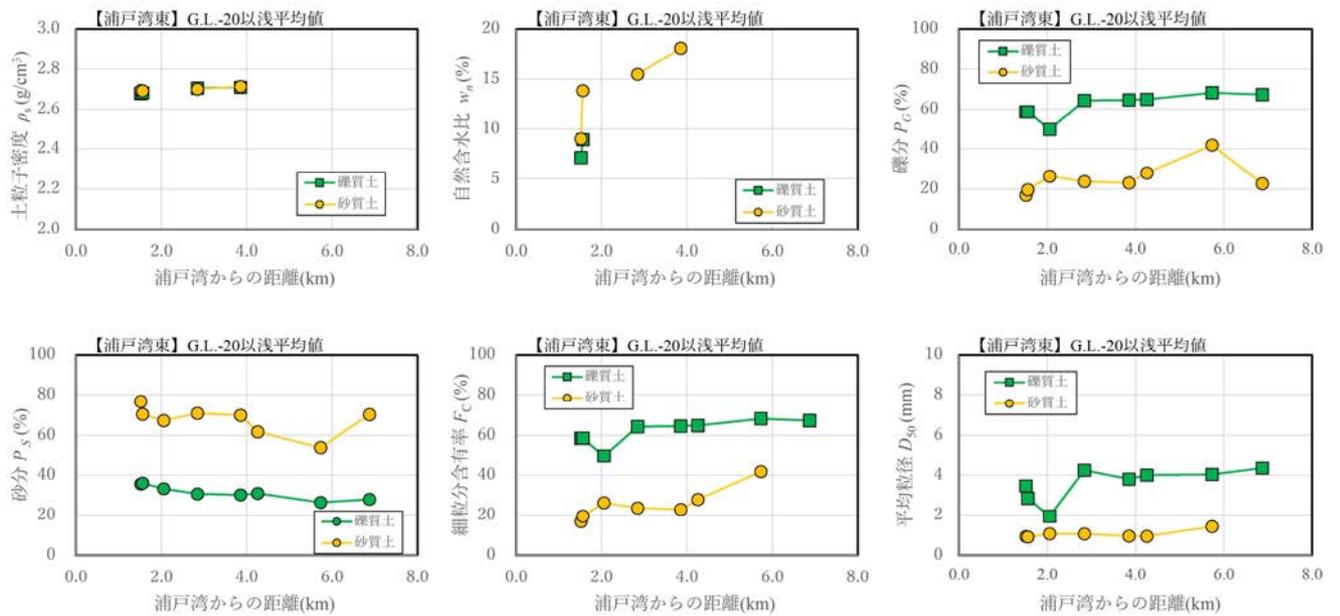


図 4.3.3-15 浦戸湾東の DATA 分析

(7) 浦戸湾西

1) 抜粋した分析 DATA

調査地は、浦戸湾口付近から西の海岸部である。DATA は液状化に寄与する G.L.-20m 以浅に限定した。ボーリングおよび土質試験数は限られているが、浦戸湾湾口から流出した土砂が海岸の影響を受けどのように堆積しているか分析した。

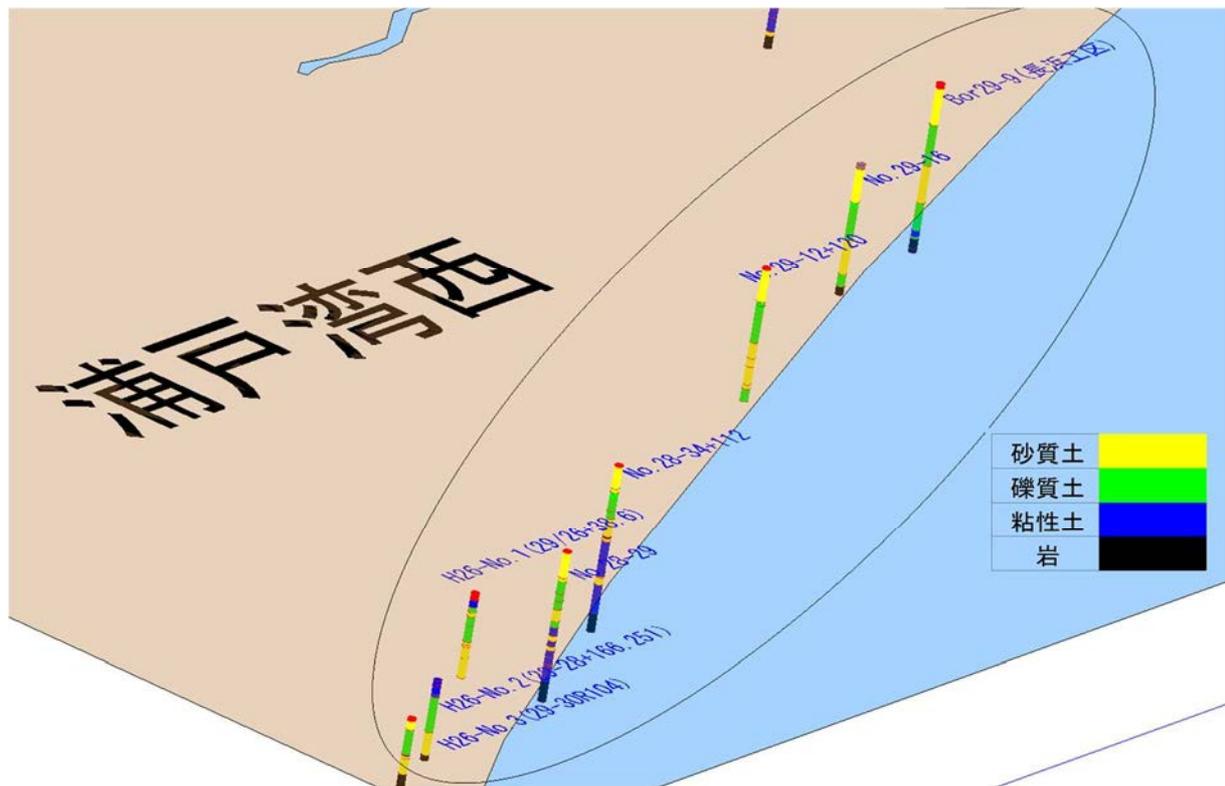


図 4.3.3-16 浦戸湾西調査位置図

## 2) 分析

浦戸湾からの距離と土粒子の密度 ( $\rho_s$ ), 自然含水比 ( $w_n$ ), 礫分 ( $P_G$ ), 砂分 ( $P_s$ ), 細粒分含有率 ( $F_c$ ), 平均粒径 ( $D_{50}$ ) に着目した.

河口から距離が離れることによる各因子の傾向は読み取れない.

【浦戸湾西】 G.L.-20以浅平均值

空白はDATAなし

孔番	浦戸湾からの距離 (km)	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		自然含水比 $w_n$ (%)		礫分 $P_G$ (%)		砂分 $P_s$ (%)		細粒分含有率 $F_c$ (%)		平均粒径 $D_{50}$ (mm)	
		礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土	砂質土
Bor29-9(長浜工区)	-3.44					66.85	35.10	28.65	61.50	4.50	3.40	3.69	1.55
No.29-16	-3.98	2.69	2.71	8.60	6.98	74.69	28.96	22.08	66.08	3.24	4.96	5.13	1.31
No.29-12+120	-4.67	2.70	2.71			71.29	32.92	24.20	62.92	4.51	4.16	4.51	1.52
No.28-34+112	-5.91	2.68	2.68	7.47	14.26	61.60	32.69	34.11	62.69	4.29	4.61	3.48	1.23
No.28-29	-6.46	2.68	2.69	8.41	8.05	69.52	26.92	26.89	69.34	3.59	3.74	5.62	1.01
H26-No.1(29/26+38.6)	-6.70	2.69	2.71	9.42	17.59	65.34	20.05	28.19	68.23	6.47	11.73	5.06	0.82
H26-No.2(29-28+166.251)	-7.23	2.69	2.70	9.36	17.48	64.71	18.73	31.99	67.26	3.30	14.02	3.62	0.76
H26-No.3(29-30R104)	-7.46	2.70	2.71	10.40	16.35	59.87	16.38	35.47	75.68	4.67	7.95	3.17	0.88

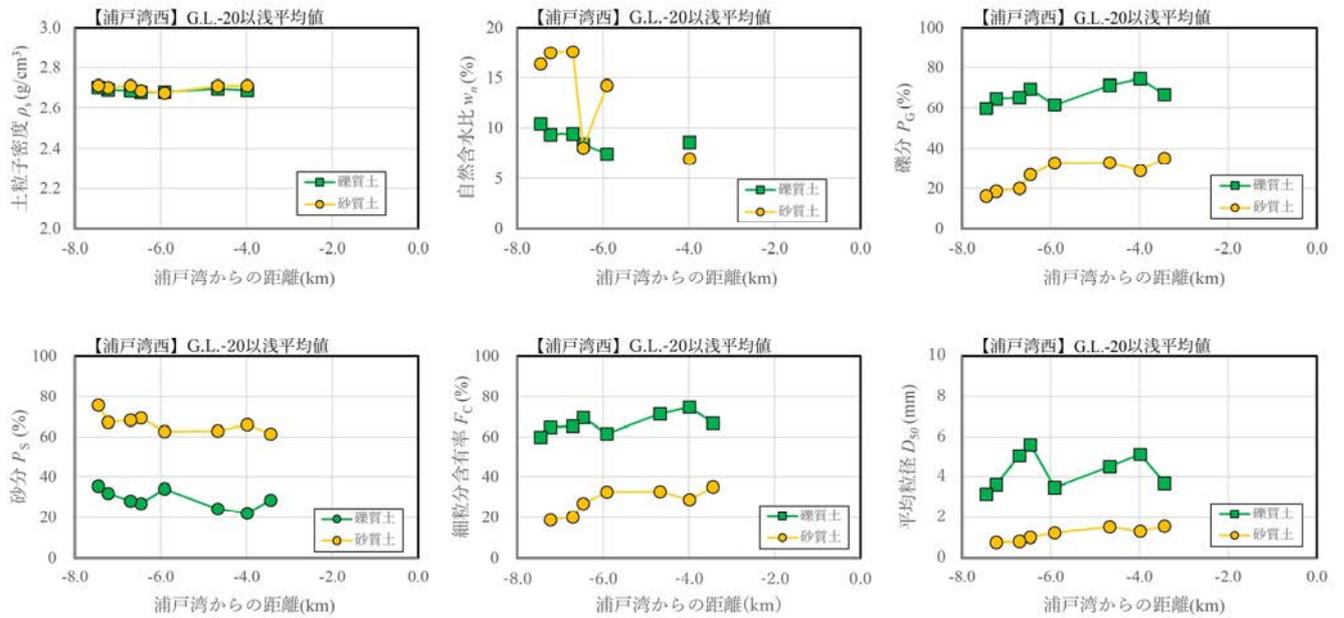


図 4.3.3-17 浦戸湾西の DATA 分析

(8) 高知港タナスカ地区(東孕部)

1) 調査位置

図 4.3.3-18 に位置図を示す。対象地域は高知市の液状化危険度図(高知市：液状化危険度図・微地形区分図)において「液状化の発生の可能性が極めて高い」または「液状化の可能性が高い」範囲に位置する。

図 4.3.3-19 に地質断面図を示す。地層年代特定に多く用いられる鬼界アカホヤ火山灰の分布深度は T.P.-20m 付近に位置している。なお、タナスカ地区の東孕部は図 4.3.3-20 に示すように昭和 30 年から現在に埋め立てられた地域である。



国土地理院：地理院地図（電子国土 Web），（2020 年 10 月 15 日閲覧）

図 4.3.3-18 位置図

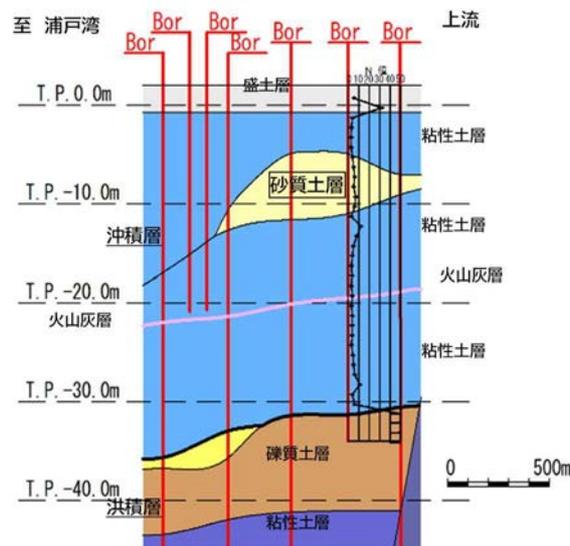


図 4.3.3-19 地質断面図 (B-B')

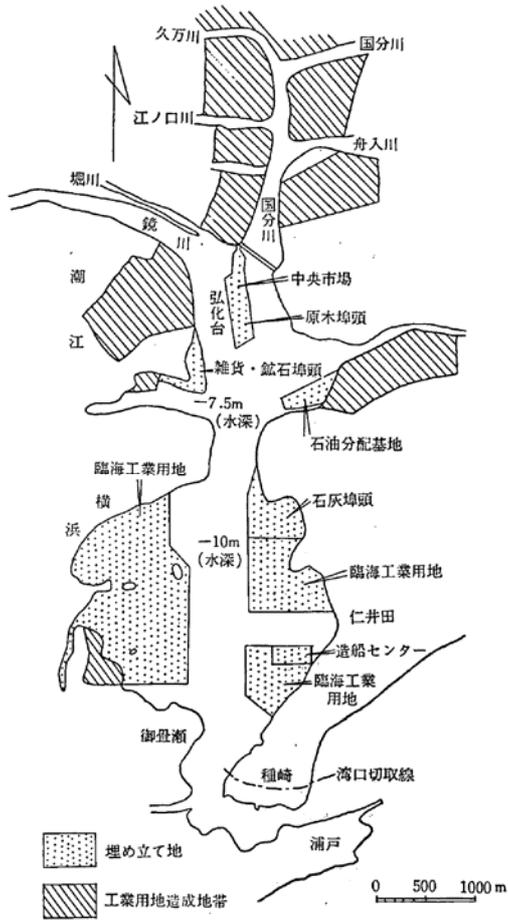


図5 高知港(浦戸湾)開発計画図(その1)

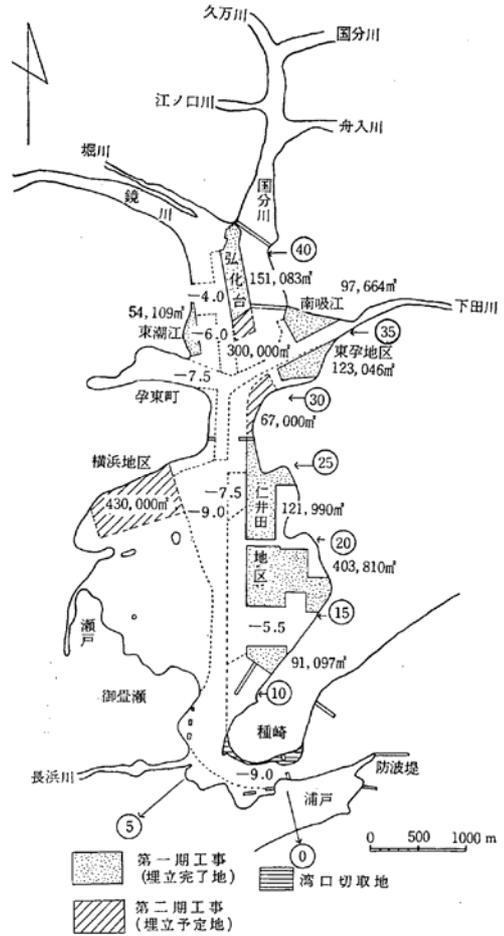


図6 高知港(浦戸湾)開発計画図(その2)

沢村武雄；土佐湾沿岸の地質の特徴と災害，高知大学学術研究報告 第20巻 自然科学 第12号

図4.3.3-20 浦戸湾開発計画

## 2) 堆積環境

液状化の可能性が高い沖積砂質土層を比較した場合、土粒子の密度や粒度特性、細粒分含有率において、河川による違いが明瞭に表れ、下田川の河口では沖積砂質土層の材料が細粒化していることが中島等により確認されている<sup>※</sup>。土粒子の密度を整理し図 4.3.3-21 に示す。鏡川部は 2.460～2.797 (g/cm<sup>3</sup>) と広い範囲を示し、深度方向でのばらつきが大きい。対して対象地域である下田川河口部では 2.639～2.763 (g/cm<sup>3</sup>) の狭い範囲でばらつきが小さく、やや深度方向に小さくなる傾向を示す。これは、鏡川の下流域では、時代により河川の流速等の堆積環境が繰り返し変化したが、下田川河口部では堆積環境の変化がなく安定していたためと推察される。

対象地域は下田川の河口ではあるが河川の流の影響を受けていない区域であると判断できる。

※) 中島昇他：高知市浦戸湾沿岸の堆積構造と液状化特性，令和元年度地盤工学会四国支部研究発表会，pp.383-389 (2019)。

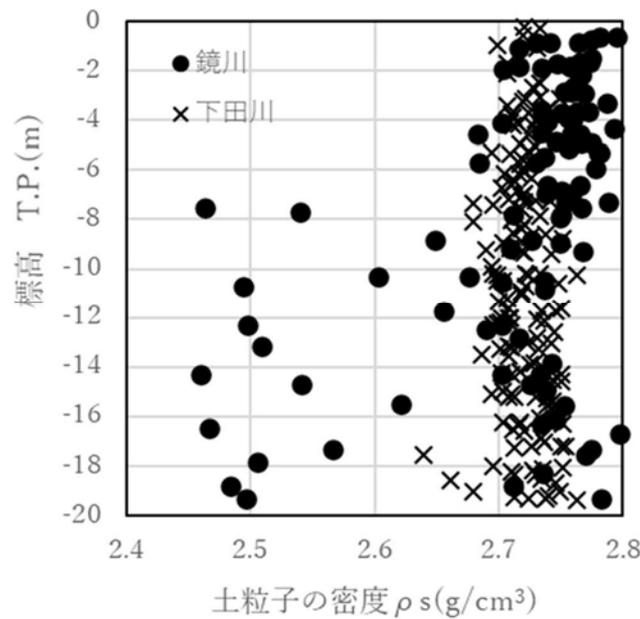


図 4.3.3-21 土粒子の密度  $\rho_s$  の深度方向の比較

### 3) 物理特性と道示 $R_{L20}$

物理特性と道路橋示方書による液状化強度（道示  $R_{L20}$ ）の関係を確認するために DATA を抜粋した（表 4.3.3-4）。道路示方書による液状化判定の対象土層に該当しないおよび有効上載荷重が不明確な土層は DATA から省いている。

DATABASE から道示  $R_{L20}$  は砂質土が 14 点，粘性土が 26 点，礫質土が 3 点抽出できる。砂質土に分類した DATA が細粒分の平均で 34.9%あることからわかるように低い塑性のシルトが多い。

1)地下水水位が地表面から 10m 以内にあり，かつ，地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
2)細粒分含有率 $F_c$ が 35%以下の土層または $F_c$ が 35%を超えても塑性指数 $I_p$ が 15 以下の土層
3)50%粒径 $D_{50}$ が 10mm 以下で，かつ，10%粒径 $D_{10}$ が 1mm 以下である土層
日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編,平成 29 年 11 月,p161～162

表 4.3.3-4 物理特性と道示  $R_{L20}$  比較用 DATA（東孕）

位置	土質名	項目	湿潤密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	細粒分含有率 $F_c$ (%)	平均粒径 $D_{50}$ (mm)	塑性指数 $I_p$	道路橋示方書 計算値 $R_{L20}$	N値	有効上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
東孕	砂質土	データ数	11	14	14	2	14	14	14
		最大値	2.11	46.4	0.81	11	0.97	107.1	512.2
		最小値	1.82	7.1	0.08	10	0.19	2.0	57.2
		平均値	1.96	34.9	0.22	10	0.32	19.8	228.0
		中央値	1.96	40.6	0.10	10	0.24	6.0	173.8
	粘性土	データ数	12	26	26	19	26	26	26
		最大値	1.98	98.6	0.07	20	0.92	12.0	253.2
		最小値	1.83	50.2	0.01	5	0.23	0.0	22.3
		平均値	1.89	78.4	0.03	12	0.46	3.2	118.5
		中央値	1.89	79.0	0.02	11	0.39	3.0	89.2
	礫質土	データ数	2	3	3	0	3	3	3
		最大値	2.32	17.3	6.58	-	0.53	71.4	298.0
		最小値	2.24	3.1	5.63	-	0.21	6.0	26.2
		平均値	2.28	8.9	6.15	-	0.36	44.3	201.3
		中央値	2.28	6.4	6.23	-	0.35	55.6	279.8
データ数計			25	43	43	21	43	43	43

図 4.3.3-22 に密度と道示  $R_{L20}$  の関係を示す。対象箇所は粘性土に分類される DATA が多い。粘性土に区分した DATA は密度が概ね一定範囲の中で液状化強度の大小が示されている。砂質土と礫質土は密度と道示  $R_{L20}$  の関係に相関性はなくばらつきも大きい結果となっている。

図 4.3.3-23 に土粒子密度と道示  $R_{L20}$  の関係を示す。土粒子密度の増加にともなって道示  $R_{L20}$  が大きくなっている傾向が伺えるがばらつきも大きい。

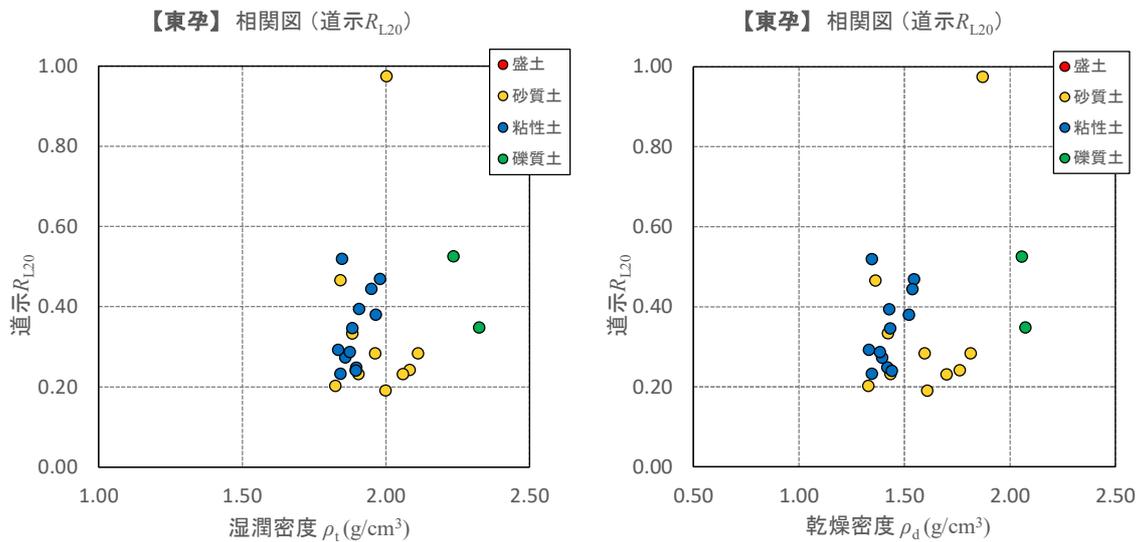


図 4.3.3-22 密度（単位体積重量）と道示  $R_{L20}$  の関係

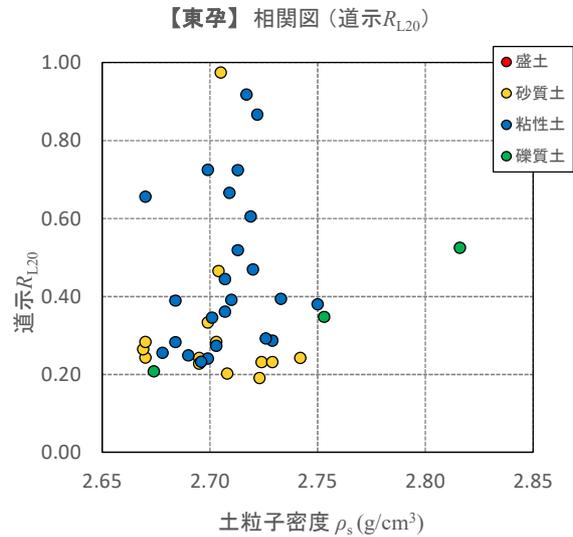


図 4.3.3-23 土粒子密度  $\rho_s$  と道示  $R_{L20}$  の関係

図 4.3.3-24 に自然含水比・間隙比と道示  $R_{L20}$  の関係を示す。全体的に自然含水比が高くなる（∵細粒分が大きいほど）あるいは間隙比が小さくなると道示  $R_{L20}$  が大きくなる一般的な傾向を示している。しかしながら相関性は小さい。

図 4.3.3-25 に飽和度と道示  $R_{L20}$  の関係を示す。対象箇所は全体的に飽和度が高い。なお、飽和度と道示  $R_{L20}$  との関係性は見られない。

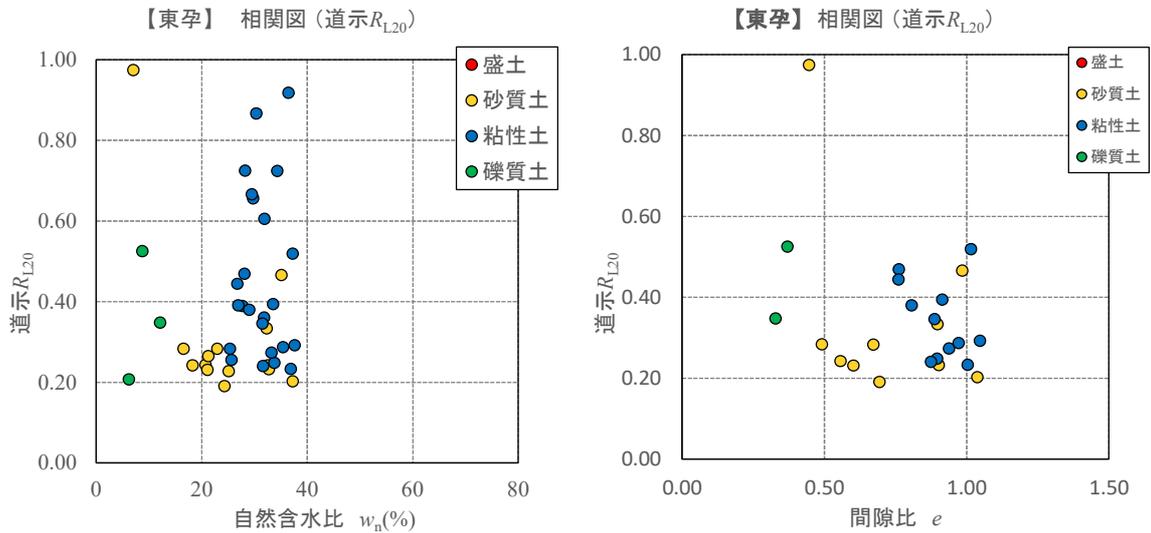


図 4.3.3-24 自然含水比  $w_n$ ・間隙比  $e$  と道示  $R_{L20}$  の関係

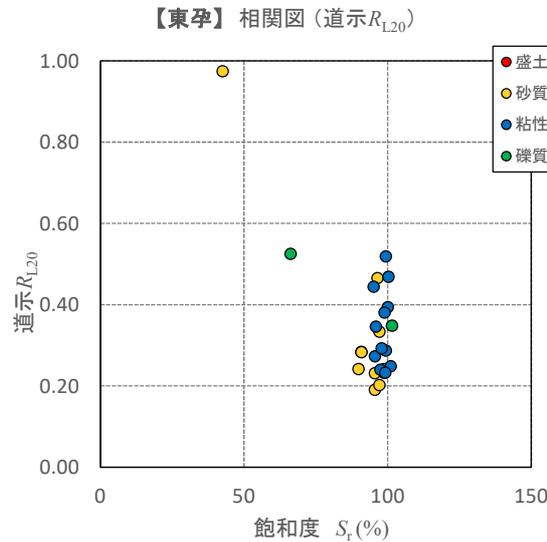


図 4.3.3-25 飽和度  $S_r$  と道示  $R_{L20}$  の関係

#### 4) 粒度特性と道示 $R_{L20}$

図 4.3.3-26 に粒度特性と道示  $R_{L20}$  の関係を示す。

細粒分含有率の大小による道示  $R_{L20}$  の相違は読み取れない。しかしながら、平均粒径 ( $D_{50}$ ) が大きくなると道示  $R_{L20}$  は小さくなる傾向（右下がり）が読み取れる。道路橋示方書の液状化判定において  $D_{50}$  のパラメータは液状化対象層の判定のほか、粒度の影響を考慮した補正  $N$  値 ( $N_a$ ) の算出時に使用される。 $N_a$  算出式は  $D_{50}$  が 2mm を閾値として 2 式あり、取得した DATA 範囲では  $D_{50}$  が 2mm 未満で右下がりの傾向がより見えるため、 $N_a$  算出式は地域特性を考慮し見直す余地があるといえる。なお、塑性指数 ( $I_p$ ) と道示  $R_{L20}$  に相関関係は見られない。

$$N_a = \left\{ \begin{array}{ll} c_{FC}(N_1+2.47)-2.47 & (D_{50} < 2\text{mm}) \\ \{1-0.36\log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 & (D_{50} \geq 2\text{mm}) \end{array} \right\}$$

$N_a$  : 粒度の影響を考慮した補正  $N$  値  
 $c_{FC}$  : 細粒分含有率による  $N$  値の補正係数  
 $N_1$  : 有効上載圧 100kN/m<sup>2</sup> 相当に換算した  $N$  値  
 $D_{50}$  : 50%粒径(mm)  
 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,平成 29 年 11 月,p162

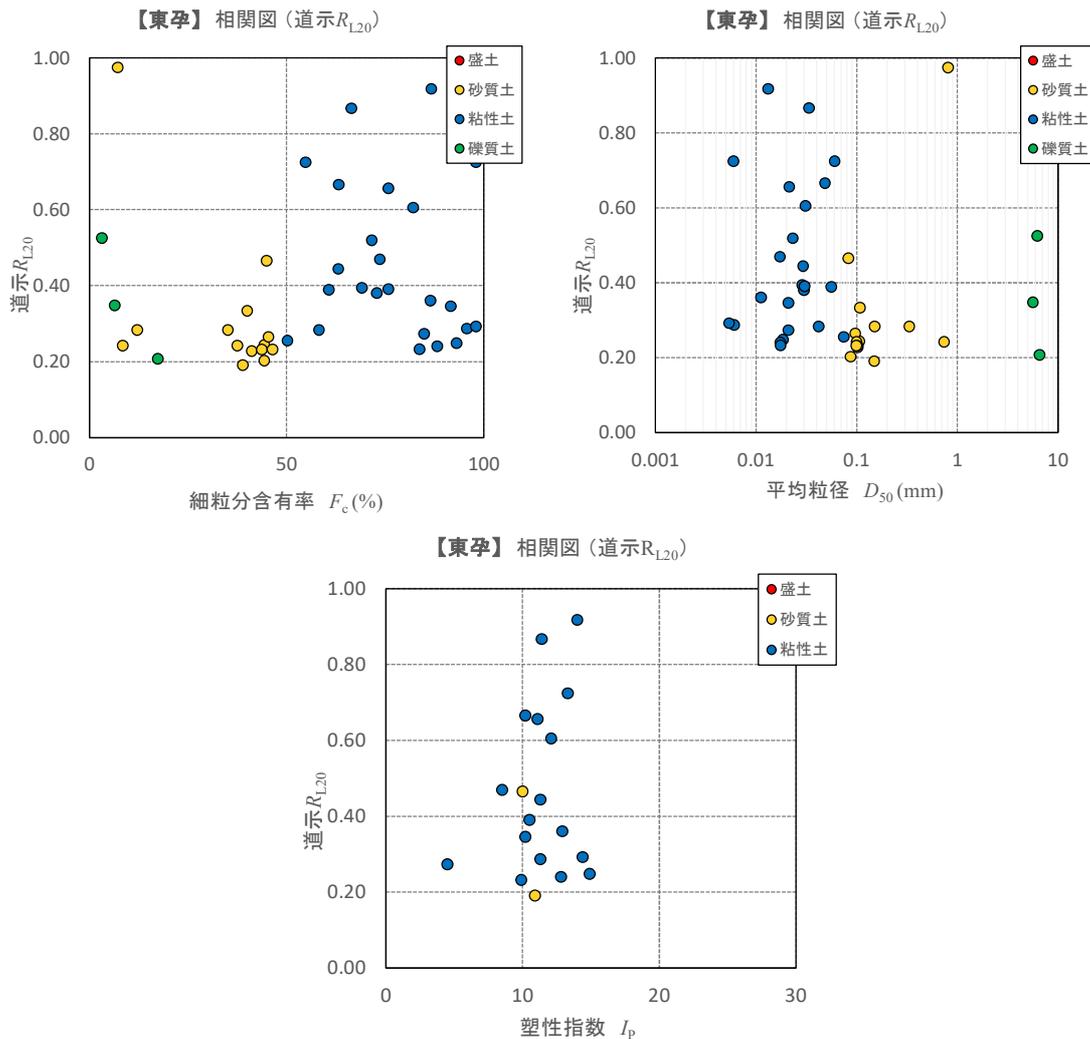


図 4.3.3-26 粒度特性と道示  $R_{L20}$  の関係

図 4.3.3-27 に粒径で分類した場合の各パラメータと道示  $R_{L20}$  の関係を示す。20%粒径( $D_{20}$ )および砂分含有率 ( $P_s$ ) は大きくなると道示  $R_{L20}$  が小さくなる傾向 (右下がり) が読み取れる。しかしながら、全体的にばらつきが大きい。

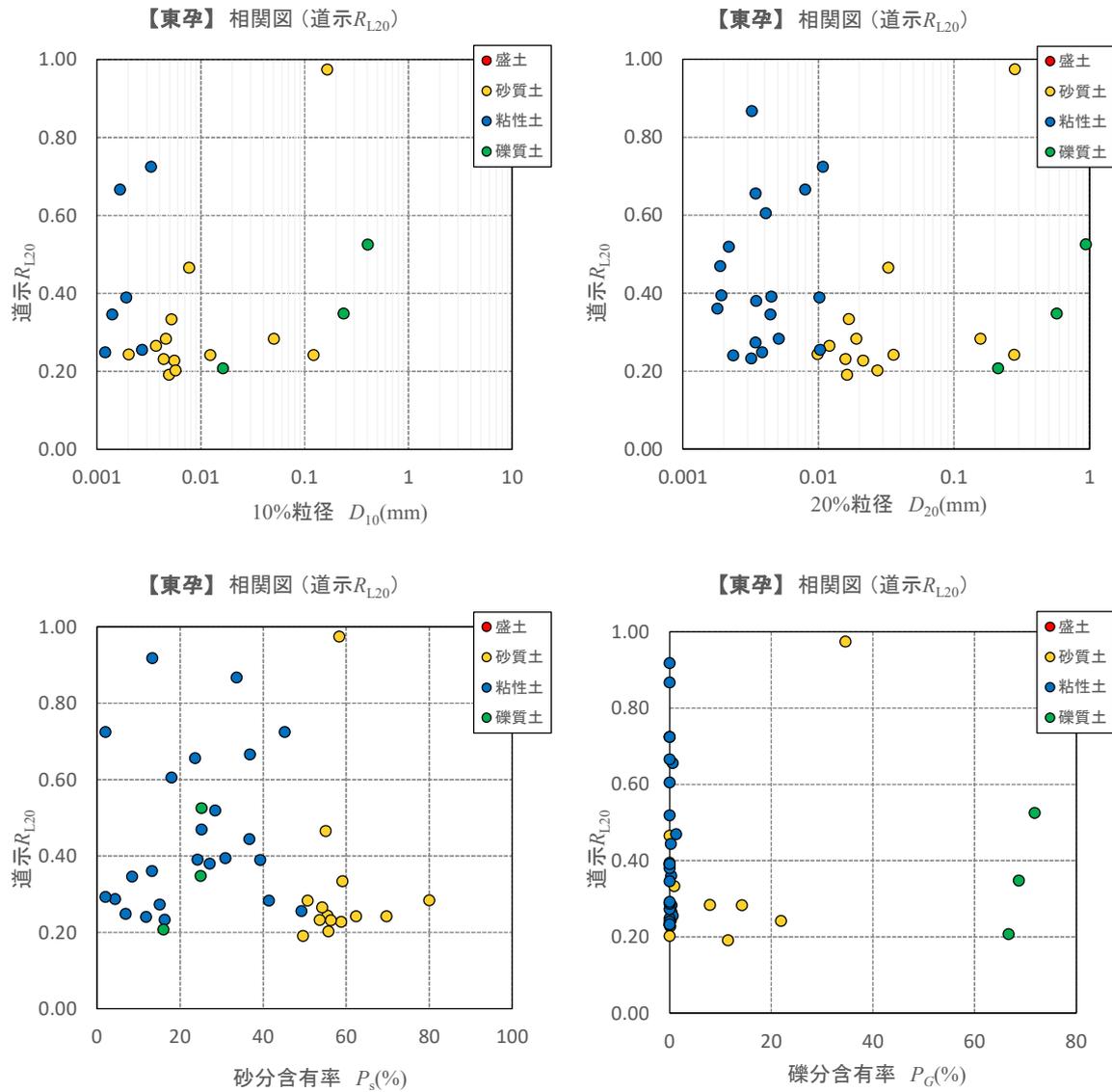


図 4.3.3-27 粒径で分類した粒度特性と道示  $R_{L20}$  の関係

### 5) 基準類との比較

対象地域は液状化試験（繰返し非排水三軸試験）が 27 点実施されている。粘性土に分類される試験が多く、 $I_p$  が 15 を超える点も実施されている。表 4.3.3-5 に液状化試験点の諸元について DATABASE から抜粋した。

表 4.3.3-5 物理特性と液状化試験値  $R_{L20}$  比較用 DATA（東孕）

位置	土質名	項目	湿潤 密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	細粒分 含有率 $F_c$ (%)	平均 粒径 $D_{50}$ (mm)	塑性 指数 $I_P$	道路橋示 方書 計算値 $R_{L20}$	$N$ 値	有効 上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
東孕	砂質土	データ数	12	12	12	2	12	12	11
		最大値	2.11	46.4	0.81	10	0.52	107.1	512.2
		最小値	1.82	7.1	0.08	9	0.19	2.0	57.2
		平均値	1.96	32.2	0.25	9	0.28	26.1	256.9
		中央値	1.93	37.2	0.11	9	0.25	12.0	255.6
	粘性土	データ数	12	12	11	8	12	7	12
		最大値	2.09	97.7	0.05	22	0.65	13.0	308.5
		最小値	1.80	52.2	0.00	16	0.21	4.0	12.8
		平均値	1.88	80.4	0.02	18	0.36	7.3	112.0
		中央値	1.85	82.3	0.01	17	0.30	7.0	110.8
	礫質土	データ数	3	3	3	0	3	3	3
		最大値	2.32	6.4	12.88	-	0.46	166.7	529.7
		最小値	2.03	3.1	5.63	-	0.21	55.6	279.8
		平均値	2.20	5.2	8.25	-	0.33	97.9	369.2
		中央値	2.24	6.1	6.23	-	0.32	71.4	298.0
データ数計			27	27	26	10	27	22	26

図 4.3.3-28 に換算  $N$  値 ( $N_1$ ) と細粒分含有率 ( $F_c$ ) 毎の液状化試験値 ( $R_{L20}$ : 両振幅ひずみ  $DA=5\%$  で 20 波に達した繰返しせん断応力度比) の関係を示す。図は  $F_c$  と道示  $R_{L20}$  の関係曲線および礫分の割合をあわせて示した。全体的に液状化試験値は道示  $R_{L20}$  によく一致しているとはいえない。特に礫分の多い液状化試験値は道示  $R_{L20}$  に比べてかなり小さめの値を示している。礫分の多い材料についてはサンプリングの乱れ等により液状化試験値が小さくなっている可能性がある。

図 4.3.3-29 に道示  $R_{L20}$  と液状化試験値の関係を示す。図は道示の対象外の液状化試験値を省略しているため、プロットが少なくなっている。道示  $R_{L20}$  より液状化試験値が若干小さめになっていることがわかる。

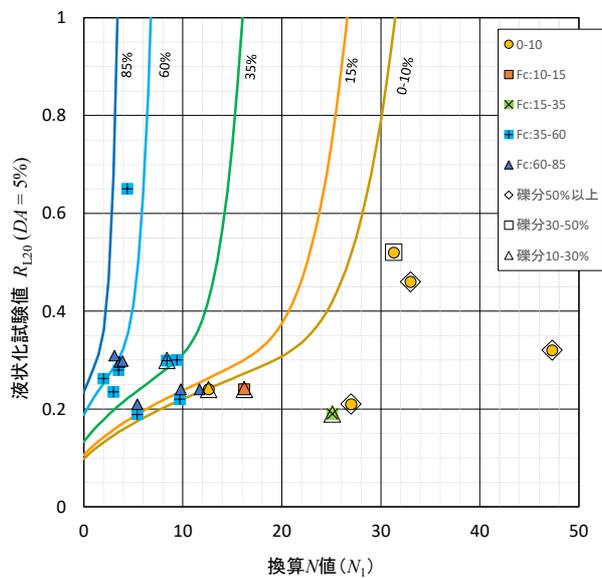


図 4.3.3-28 換算  $N$  値 ( $N_1$ ) と液状化試験値( $R_{L20}$ ) の関係

【東孕】 相関図 (液状化強度  $R_{L20}, DA=5\%$ )

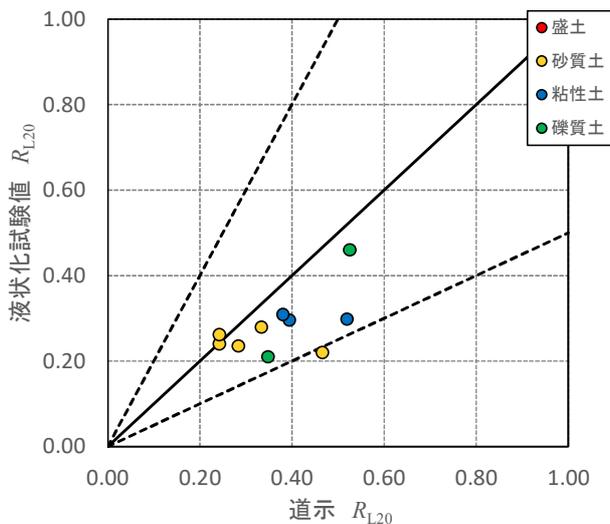


図 4.3.3-29 道示  $R_{L20}$  と液状化試験値( $R_{L20}$ ) の関係

### 6) 液状化試験値

東孕部の G.L.-10m 以浅の液状化試験結果 10 点を抜粋して分析を実施した。対象地域は比較的ボーリング点が近接しており、同様な堆積環境であることより同一深度付近では液状化試験強度が類似していると考えた。

図 4.3.3-30 に 10 点の供試体圧密後の乾燥密度 ( $\rho_d$ ) と細粒含有率 ( $F_c$ ) の関係を示す。図 4.3.3-31 に  $\rho_d$  が 1.2~1.6g/cm<sup>3</sup> の同じ密度条件で、 $F_c=30\sim40\%$  の液状化試験値を区分 A、 $F_c=50\%$  より大きい液状化試験値を区分 B と定義した液状化試験結果の生 DATA を示す。東孕地域で実施された液状化試験における液状化強度  $R_{L20}$  は 0.3~0.4 程度であるといえる。曲線は値の傾向を見るために、区分毎の試験で得られた  $R_{L20}$  に対して、 $a/N+b$  の式を仮定し、 $a$ 、 $b$  の定数を変えることにより、フィッティングしたものである。曲線の定義方法および有効応力経路等により試験値を吟味する必要があるが、細粒分の大きな区分 B は繰返し回数が小さい状態で液状化強度が若干大きくなる傾向を示している。

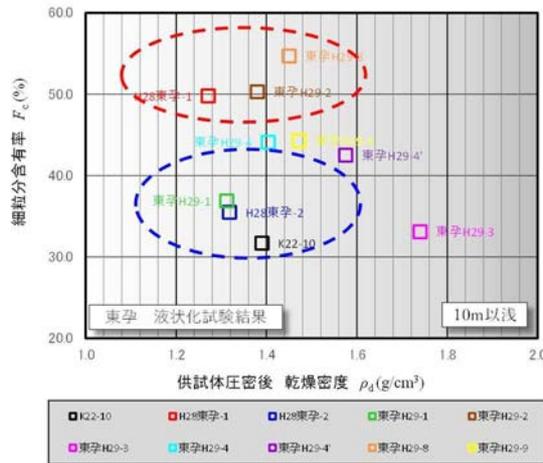


図 4.3.3-30 供試体圧密後の乾燥密度  $\rho_d$  と細粒含有率  $F_c$  の関係

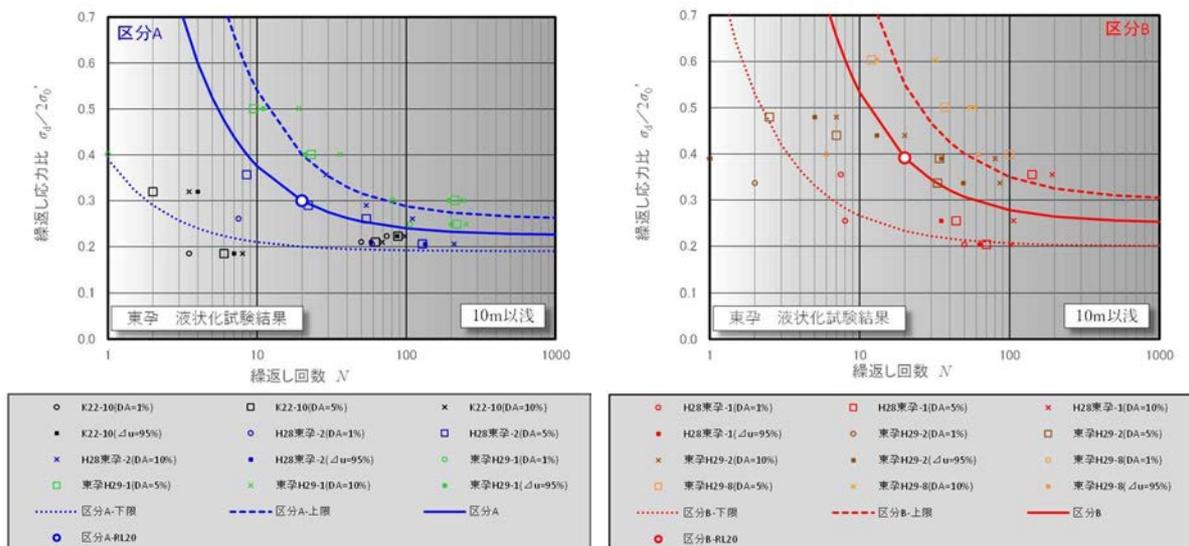


図 4.3.3-31 液状化試験結果 DATA

#### 4.4 四国四県の地域性

##### 4.4.1 液状化強度特性および物理特性の地域性

本節では、四国の河川および港湾における液状化強度特性と物理特性の地域性について分析した結果を報告する。

###### (1) 地盤データの概要

分析に用いた地盤データの調査位置図を図 4.4.1-1 に、収集整理した地盤データ数の一覧を表 4.4.1-1 に示す。分析対象とした地盤材料は、河川では自然地盤の砂質土を、港湾では人工地盤の盛土・埋土及び自然地盤の砂質土である。ここで、自然地盤の砂質土は、地盤材料の工学的分類法 JGS 0051-2000 に準じて 0.075mm 以上が 50%より多く、礫分含有率<砂分含有率の場合として抽出した。また、分析対象深度は、深度 30m 以浅とした。

なお、「(3) 微地形ごとの液状化強度特性の関係」では、粘性土および礫質土を含めた全データを使用した。ここで、砂質土以外の土質区分の方法としては、粘性土は細粒分含有率 50%以上、礫質土は細粒分含有率が 50%未満かつ礫分含有率>砂分含有率とした。

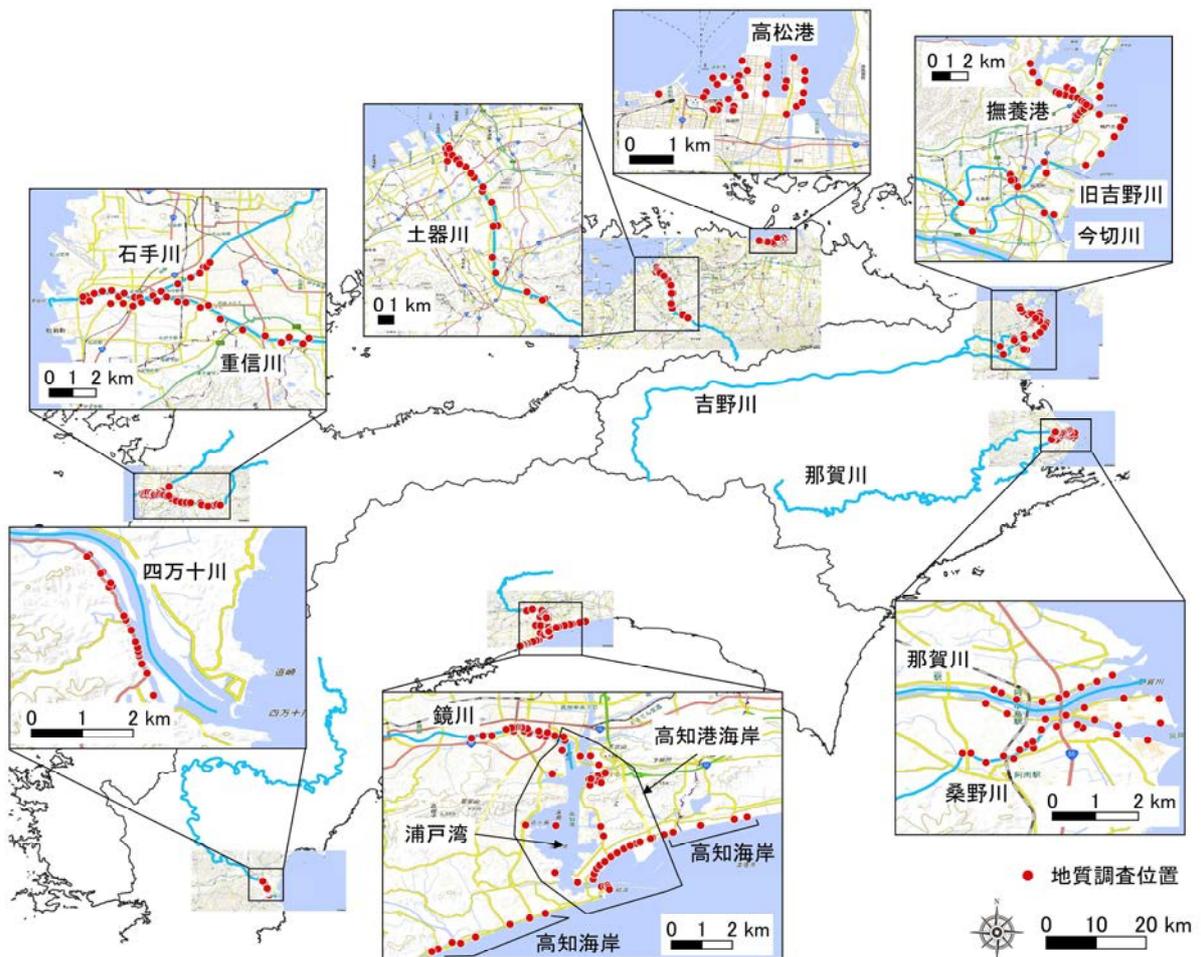


図 4.4.1-1 地盤調査・土質試験データの位置図

表 4.4.1-1 データ数

(単位：試料)

河川・港湾名			人工地盤	自然地盤		
			埋土・盛土	砂質土	粘性土	礫質土
港湾	徳島県	撫養港	9	67	4	4
	香川県	高松港	27	23	-	1
	高知県	高知港	-	79	13	50
河川	徳島県	旧吉野川	-	13	-	-
		今切川	-	3	-	-
		那賀川	11	57	8	3
		桑野川	-	41	7	7
	香川県	土器川	77	107	51	214
	愛媛県	重信川	112	86	58	349
		石手川	22	37	20	54
	高知県	鏡川	-	4	1	1
		四万十川	-	11	19	5
高知海岸		-	14	-	5	

赤字は繰返し非排水三軸試験実施箇所

## (2) 液状化強度および物理特性の地域性

### 1) 港湾の埋土

港湾の埋土については、撫養港と高松港を対象とする。撫養港は、1960～70年代に旧塩田地帯を埋め立てたものである。一方で高松港は、大部分が海上に造成した典型的な埋立地であり、地盤データの多くが1950～80年代の埋立土である。どちらも埋立方法や埋立材料の詳細は不明である。両港の地盤材料と液状化強度を図4.4.1-2に示す。当図では、各サイトの代表的な地盤傾向を把握するため中央値を採用した。横軸は港名（括弧内は液状化試験のサンプリング方法としてTS:トリプルチューブサンプリング、GS:GSサンプリングを示す）、左縦軸は材料別粒度を中央値で示し、累計は100%とならない。右縦軸には試験値 $RL_{20}$ の中央値を示した。同グラフには、液状化強度に関連性の高い $N$ 値、乾燥密度 $\rho_d$ 、均等係数 $U_c$ 、塑性指数 $I_p$ の中央値も併記した。両港の液状化強度を比較すると、撫養港が高松港に比べて1.2倍程度高めであった。これは、撫養港の細粒分含有率が15%程度多く、粒度分布が広く良い材料であること、乾燥密度も撫養港の方が大きく、良く締まっていることに起因していると考えられる。ここで、材料の液状化特性を見るため、道路橋示方書<sup>1)</sup>による一般的な液状化の検討対象範囲である「細粒分含有率 $F_c$ が35%以下の土層または $F_c$ が35%を超えても $I_p$ が15以下の土層」に試験値をプロットした(図4.4.1-3)。液状化対象外となるエリアでは、 $RL_{20}$ が0.28～0.34と比較的高い傾向が見られた。高松港では、砂分が多く材料が均質であるとともに、両港とも非塑性シルトを含んだ $N$ 値の低い人工地盤であるため、既往の事例<sup>2)</sup>から見ても液状化の可能性があると考える。

### 2) 港湾の砂質土(自然地盤)

港湾の砂質土(自然地盤)については、撫養港と高松港及び高知港(対功地区)を対象とする。3港の地盤材料と液状化強度を図4.4.1-4に示す。撫養港と高松港の液状化強度は盛土・埋土の傾向とは逆に撫養港が10%程小さい。撫養港の方が粒度は良いが乾燥密度の差から見ても材料の詰まり具合が小さく、これが液状化強度の差に影響していると考えられる。一方、高知港(対功地区)は、細粒分含有率が40%以上であり内湾特有の堆積状況と言え、他の2港とは大きく異なる。液状化強度は他の2港に比べて約15%程度高くなっている。粒度は比較的良いが、 $N$ 値や乾燥密度では液状化強度の大きさの説明はしづらいため、 $F_c$ による影響が大きいと考える。ただし、図4.4.1-4より高知港の試料は $F_c$ は高いが低塑性または非塑性な材料であり、液状化の可能性があると考える。撫養港は1試料(図4.4.1-3 凡例□)が道路橋示方書による液状化判定の検討対象外となった。しかし、撫養港では昭和南海地震において堤防や塩田地盤の液状化が生じていることから<sup>3)</sup>、このような液状化のベンチマークとなる事実を反映し、土木構造物の設計では液状化対象層として含めることが望ましいと考える。

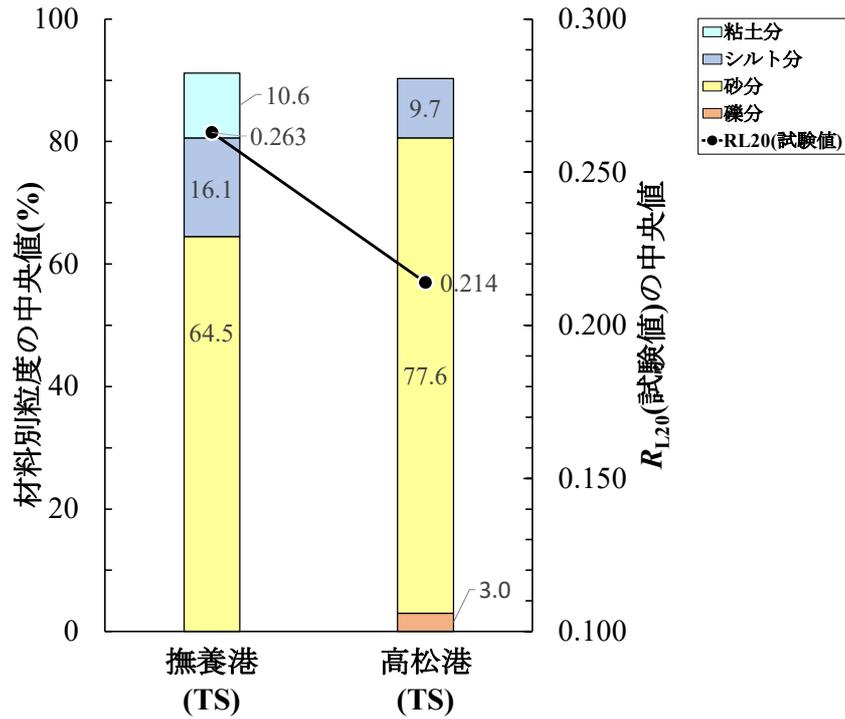


図 4.4.1-2 港湾（盛土・埋土）の地盤材料と  $R_{L20}$

注釈) TS:トリプルチューブサンプリング, GS:GS サンプリング

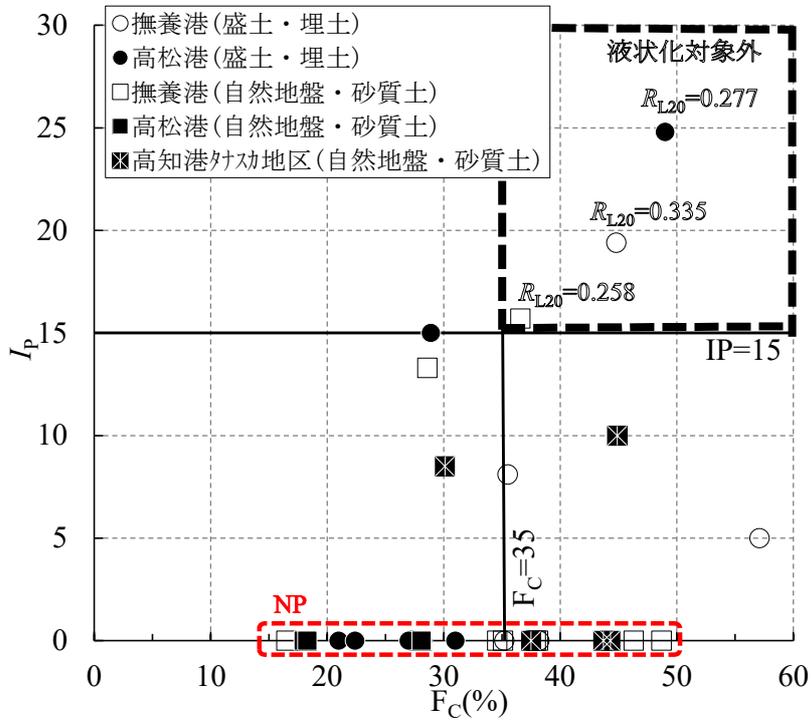


図 4.4.1-3 港湾別  $F_c$  と  $I_p$  の関係

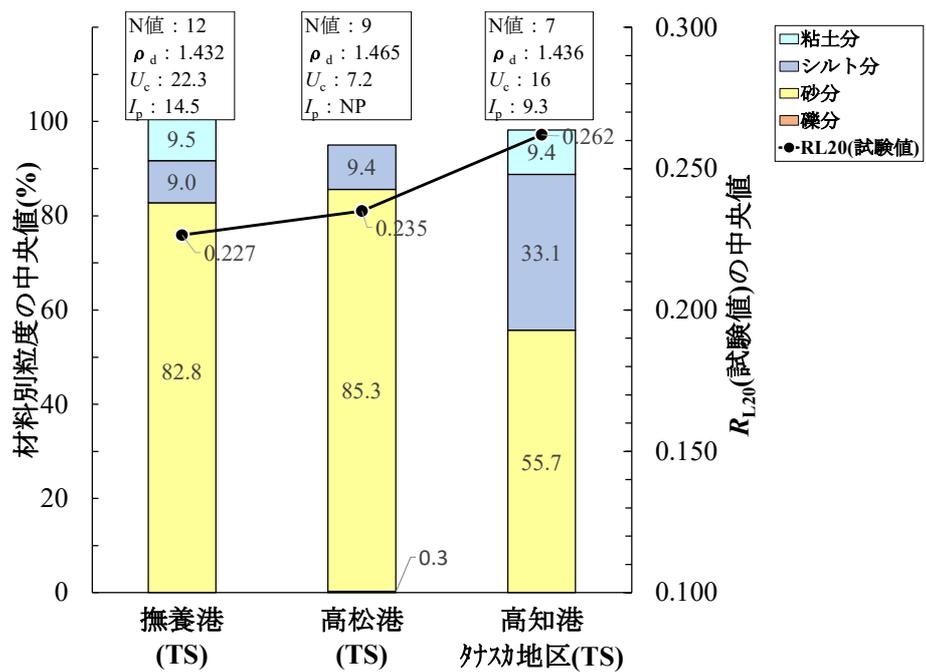


図 4.4.1-4 港湾（砂質土）の地盤材料と  $R_{L20}$

注釈) TS:トリプルチューブサンプリング, GS:GS サンプリング

### 3) 河川の砂質土(自然地盤)

表 4.4.1-1 に示す 9 河川 1 海岸を対象とする。液状化強度試験が実施されていない香川県と愛媛県の 3 河川については、平成 29 年の道路橋示方書<sup>2)</sup> による推定  $R_{L20}$  を示す。全河川の地盤材料と液状化強度を図 4.4.1-5 に示す。これらの河川は微地形別に、扇状地河川(那賀川, 桑野川, 重信川, 石手川, 土器川)と低平地河川(旧吉野川, 今切川, 鏡川)に大別され、各河川の河床勾配は図 4.4.1-6 のとおりである。扇状地河川では、いずれの河川においても礫分が混入しており、液状化強度  $R_{L20}$  が概ね 0.25 以上と高い傾向がみられる。一方、三角州・海岸低地を流れる低平地河川は、河床勾配が緩いことから細粒分が主体となり、液状化強度は扇状地河川に比べ小さい傾向である。また、図 4.4.1-7 よりいずれの河川においても  $F_c$  が高くても低塑性または非塑性な材料の割合が比較的多いことから、礫分を比較的多く含む扇状地河川でも液状化の可能性があり、このような地盤では設計上の取扱いが課題と考える。

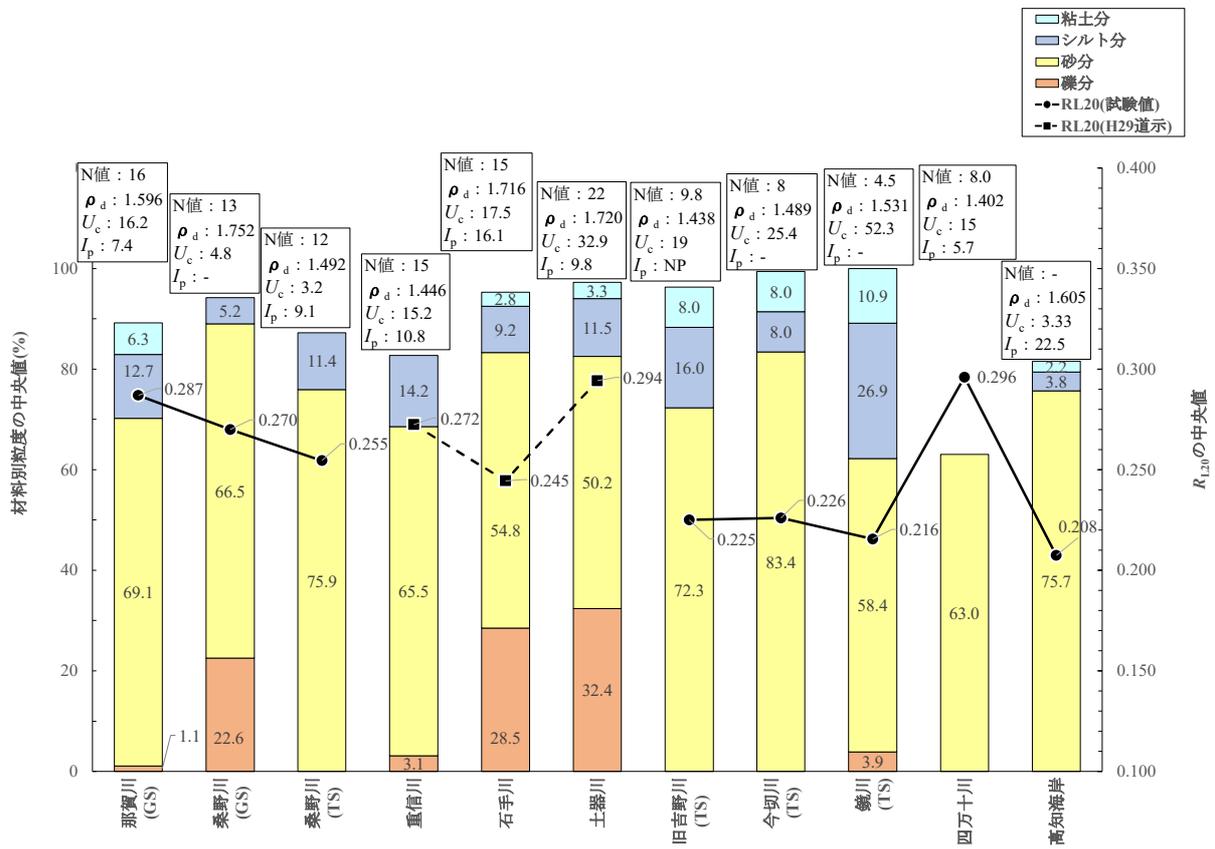


図 4.4.1-5 河川 砂質土の地盤材料と  $R_{L20}$

注釈) TS:トリプルチューブサンプリング, GS:GS サンプリング

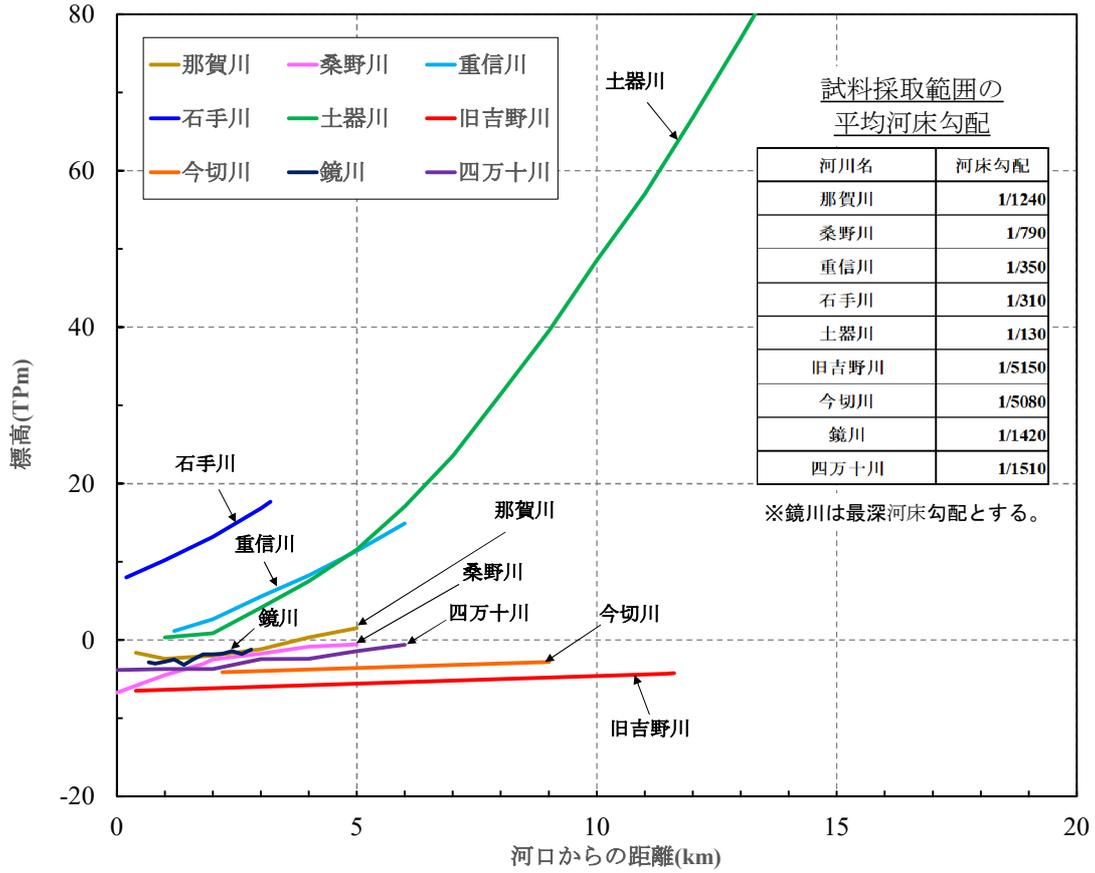


図 4. 4. 1-6 現況河床勾配(試料採取範囲)

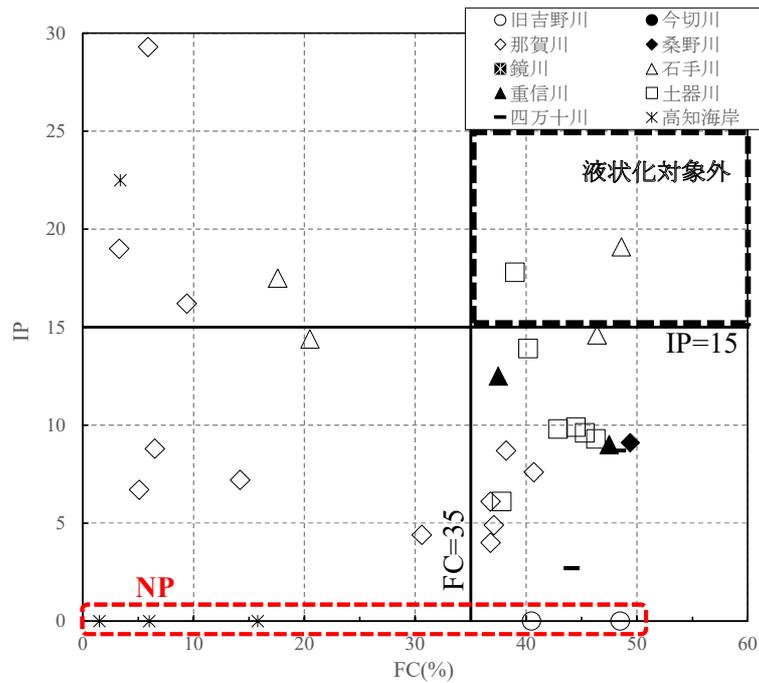


図 4. 4. 1-7 河川別  $F_c$  と  $I_p$  の関係

### (3) 微地形ごとの液状化特性

#### 1) 微地形概況と液状化可能性

微地形区分による液状化可能性の判定基準は液状化地域ゾーニングマニュアル<sup>5)</sup>・<sup>6)</sup>等に示されており、対象地点の微地形を把握することで大局的な液状化の危険性を確認することができる。

そこで、四国4県の河川を対象に、各河川で得られた地盤データを若松らの微地形区分<sup>7)</sup>に分類し、微地形の観点から液状化特性を考察する。

図4.4.1-8では、地盤データと微地形区分の位置関係を、図4.4.1-9には河川ごとの微地形区分に対する地盤データ数の割合を示す。

高知海岸の微地形「砂丘」については、物部川および仁淀川の流出土砂が沿岸漂砂により運ばれて形成された地形であるため、河川の分類として考察に入れることとした。

旧吉野川、今切川の地盤データは、吉野川本川の河口に位置するものであり、「三角州」、「干拓地」、「旧河道」、「埋立地」といった液状化可能性が非常に高い地形であると予想される。

那賀川、桑野川、土器川、重信川、石手川の地盤データは、液状化可能性の小さい「扇状地」の割合が大きいが、石手川を除き、河口部は「三角州」や「埋立地」、「旧河道」等の液状化可能性が非常に高い地形も含んでいる。

鏡川の地盤データは、河口部の「三角州」、「干拓地」、「自然堤防」であり、こちらも液状化可能性の高い地形であると予想される。

四万十川の地盤データは、河口部の「三角州」、「自然堤防」に位置するものであるが、背後に山地が迫っており、河原が卓越する点で他の河川と傾向が異なる。

高知海岸の地盤データは、全域「砂丘」に位置するものであり、砂丘上の堤防では液状化による沈下の可能性が非常に高いものと予想される。

表 4.4.1-2 微地形区分による液状化可能性の判定基準<sup>5)</sup>

グレード1	地盤表層の液状化可能性の程度				微地形区分
	グレード2				
	レベル1地震動		レベル2地震動		
液状化の検討を要する地域	大	液状化の可能性は大きい	大	液状化の可能性は非常に大きい	埋立地、盛土地、旧河道、旧池沼、蛇行州、砂泥質の河原、人口海浜、砂丘間低地、堤間低地、湧水地点
	小	液状化の可能性は小さい	小	液状化の可能性は大きい	自然堤防、湿地、砂州、後背低地、三角州、干拓地、緩扇状地、デルタ型谷底平野
	極小	液状化の可能性は極めて小さい	極小	液状化の可能性は小さい	扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜、扇状地型谷底平野
要しない地域	無	可能性なし	無	可能性なし	台地、丘陵地、山地

表 4.4.1-3 治水地形分類による地形区分と堤防の地震被害の可能性<sup>6)</sup>

地形区分による危険度ランク (括弧内は地震による堤防の沈下の可能性を表す)	治水地形分類による地形区分
A (極大)	旧河道、落掘、旧落堀、 高い盛土地、干拓地、砂丘
B (大)	自然堤防、旧川微高地、 氾濫平野、湿地、旧湿地
C (小)	扇状地、浅い谷
D (なし)	山地・丘陵地、台地、崖

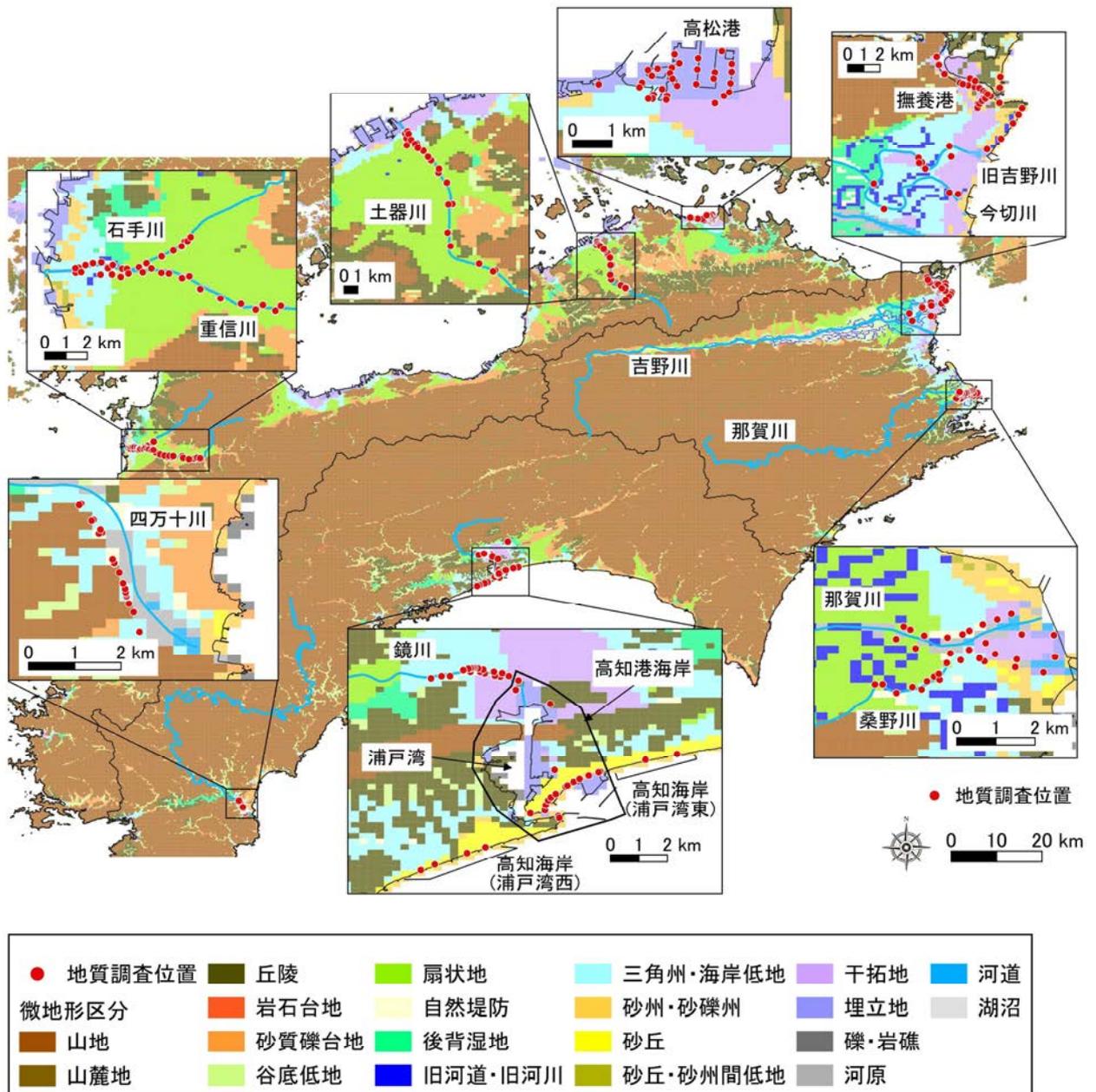


図 4.4.1-8 地盤データと微地形分類

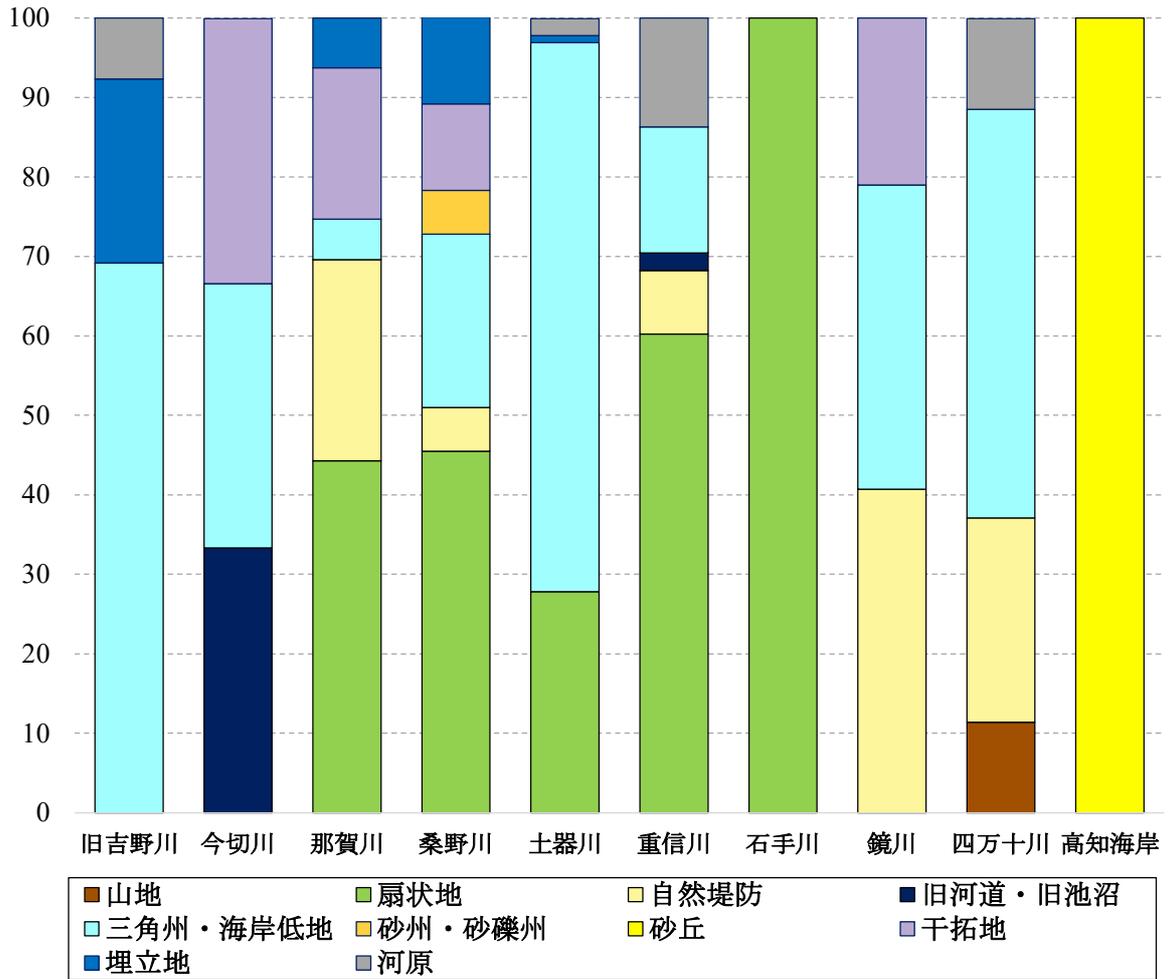


図 4.4.1-9 河川別地盤データの微地形区分

## 2) 微地形と液状化強度の関係

各河川および海岸で得られた繰返し非排水三軸試験結果による  $R_{L20}$  の中央値を河川・海岸ごとに微地形で区分した (図 4.4.1-10)。また、微地形ごとの試験値  $R_{L20}$  について平均値と標準偏差を図 4.4.1-11 に示す。液状化繰返し非排水三軸試験データのない土器川、重信川、石手川については、H29 道路橋示方書による手法で推定した  $R_{L20}$  とする。

「山地」は、四万十川のみデータであり、 $R_{L20}$  が 0.32~0.65 とかなり高い値を示し、既往の判定基準と整合する。また、図 4.4.1-13 の細粒分含有率と液状化強度の関係では強い相関を示しており、 $F_c$  の増加に伴う  $R_{L20}$  の増加に一定の関係性が見られた。

「河原」は、旧吉野川と四万十川のデータであり、図 4.4.1-13 では  $F_c$  50% 付近を境に両地点の散布が区分されている。すなわち、旧吉野川では  $F_c$  5% 未満、四万十川では  $F_c$  50% 以上と明確に分かれている。液状化強度については、旧吉野川で  $R_{L20}=0.25$ 、四万十川で  $R_{L20}=0.32\sim 0.51$  と、液状化強度の差が見られた。同じ微地形においても、物理特性や液状化強度に差異が生じており、「河原」の成り立ちによる影響が考えられる。

「自然堤防」は、那賀川、桑野川、鏡川、四万十川、重信川のデータである。図 4.4.1-10 によると、液状化強度は、四万十川を除き、 $R_{L20}=0.25\sim 0.30$  の範囲にある。四万十川の液状化強度は  $R_{L20}=0.13$  であり、他の河川と比べて半分以下の液状化強度である。四万十川は他の河川にある扇状地が見られないことから、液状化強度の差異は自然堤防の成り立ちによる影響が考えられる。

図 4.4.1-14 より N 値と液状化強度の関係はバラつきが大きい、図 4.4.1-15 の N 値と  $F_c$  の関係では相関が見られた。液状化強度の推定に際し、 $F_c$  と N 値の関係を利用できる可能性がある。

「三角州・海岸低地」は、那賀川、桑野川、旧吉野川、今切川、鏡川、四万十川、重信川のデータである。各地点で液状化強度にバラつきが見られる。「山地」の合間を流れる四万十川や背後に大規模で急勾配な「扇状地」を伴う那賀川、桑野川、土器川、石手川では  $R_{L20}$  が 0.25 以上と比較的高いが、小規模で緩勾配の「扇状地」を背後とする鏡川河口は  $R_{L20}$  が 0.20 程度と明確な差があることがわかる。扇状地の規模や傾斜（河川勾配）については、それぞれ、図 4.4.1-12、および図 4.4.1-6 を参照されたい。

また、旧吉野川は、後背湿地を背後とする「三角州」であるが、こちらも  $R_{L20}$  が 0.20 程度であった。これらより、当該地点の背後に位置する微地形、特に扇状地の規模や傾斜状況、後背湿地の有無が下流の「三角州」における液状化強度に影響を及ぼすと考えられる。

「埋立地」では、どの河川においても大きな差異がなく、埋土や盛土を対象として地域性を分析することは難しいと言える。

一方、「干拓地」では、「三角州」と同様に背後の微地形によって液状化強度に差が生じている。鏡川では他の河川に比べ突出して液状化強度が高くなっているが、鏡川の液状化強度試験データは 1 個であるため、さらなるデータ収集が必要である。

「旧河道」は今切川のみ試験データが得られおり、重信川は道路橋示方書の推定値である。液

状化強度の傾向としては、今切川の方が 0.07 程度小さい。「旧河道」の周辺地形は、今切川が「干拓地」、重信川が「扇状地」や「後背湿地」である。同じ「旧河道」でもその周囲の微地形によって液状化強度に差異があると考えられる。「旧河道」は特に液状化発生に影響が大きい微地形であるが、今回はデータ数が少なく十分な傾向がつかめていない。さらなる資料収集と分析が必要である。

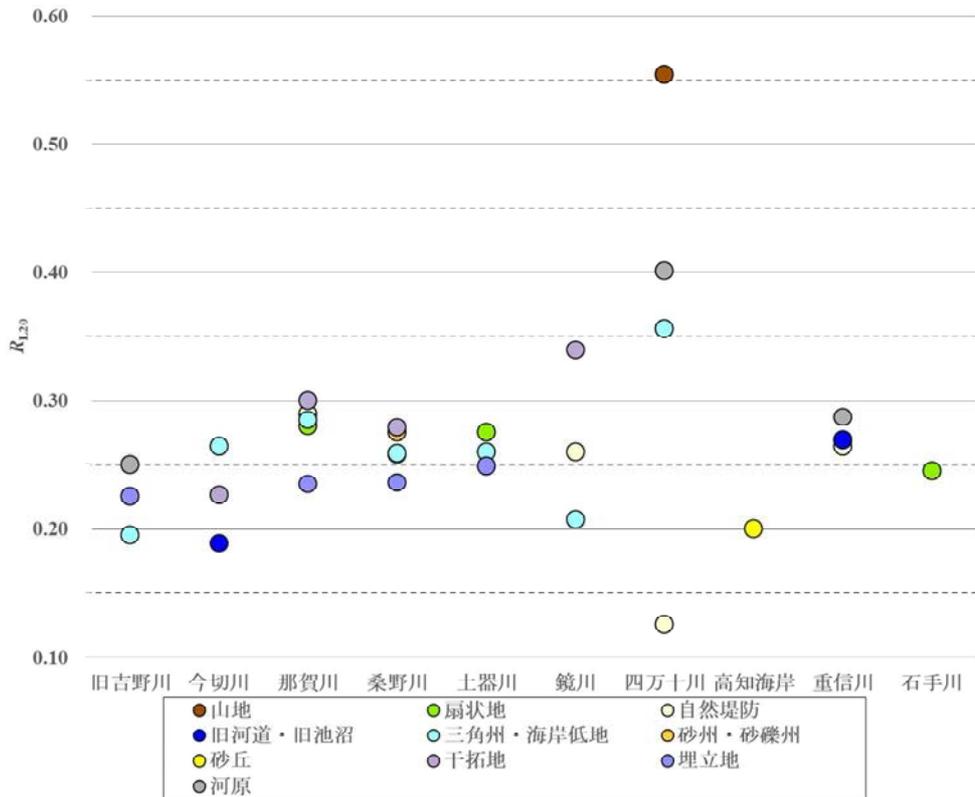
「砂丘」は高知海岸のみである。 $R_{L20}$  は 0.20 程度と低い値であり、図 4.4.1-13 に示す細粒含有率と  $R_{L20}$  の関係に明確な関係性は見られない。図 4.4.1-16 には、高知海岸を浦戸湾の東と西に区分し（図 4.4.1-8 参照）、平均粒径  $D_{50}$  と液状化強度の関係を示した。データ全体を見ると、液状化強度のバラつきが非常に大きい。また、平均粒径が大きいほど液状化強度が高くなる傾向ではなく、逆に低くなる傾向に見える。海岸砂の供給源である仁淀川および物部川の方法特性や形成過程（波浪や潮流などの作用）の影響が考えられる。

#### (4) おわりに

本節では、四国の河川および港湾における液状化強度特性と物理特性の地域性について分析を行った。

今回対象とした四国の河川・海岸において、微地形区分による液状化可能性の程度は、概ね一般的な傾向であった。しかし、地域ごとに見ると、同じ微地形や同一河川または海岸内の同じ微地形であっても液状化強度や物理特性に差が見られた。この差は、対象とする微地形とその周辺の地形、つまり、地形の成り立ちによって生じている可能性が考えられる。

したがって、液状化を検討する際は、試験値のみならず地域特有の地形の成り立ちを考慮し、面的な視点で考えることが重要である。



※土器川、重信川、石手川はH29道示による推定 $R_{L20}$ とする。

図 4.4.1-10 河川・海岸ごとの  $R_{L20}$  (中央値)

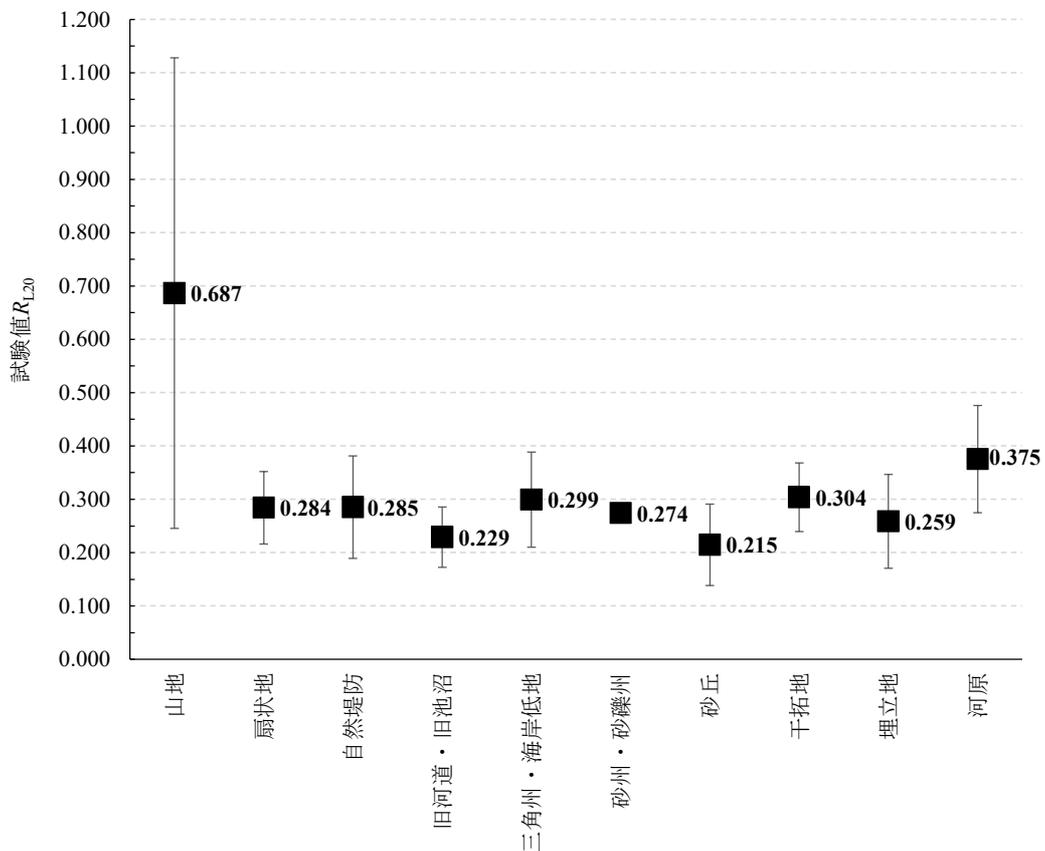


図 4.4.1-11 微地形ごとの試験値  $R_{L20}$  (平均値と標準偏差)

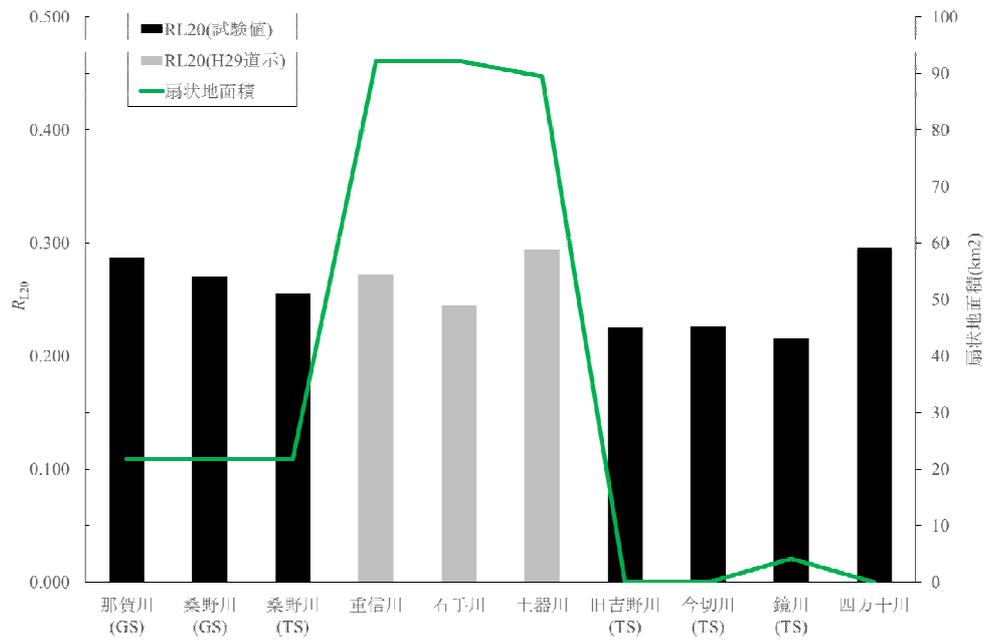


図 4.4.1-12 扇状地面積と  $R_{L20}$  (砂質土中央値)

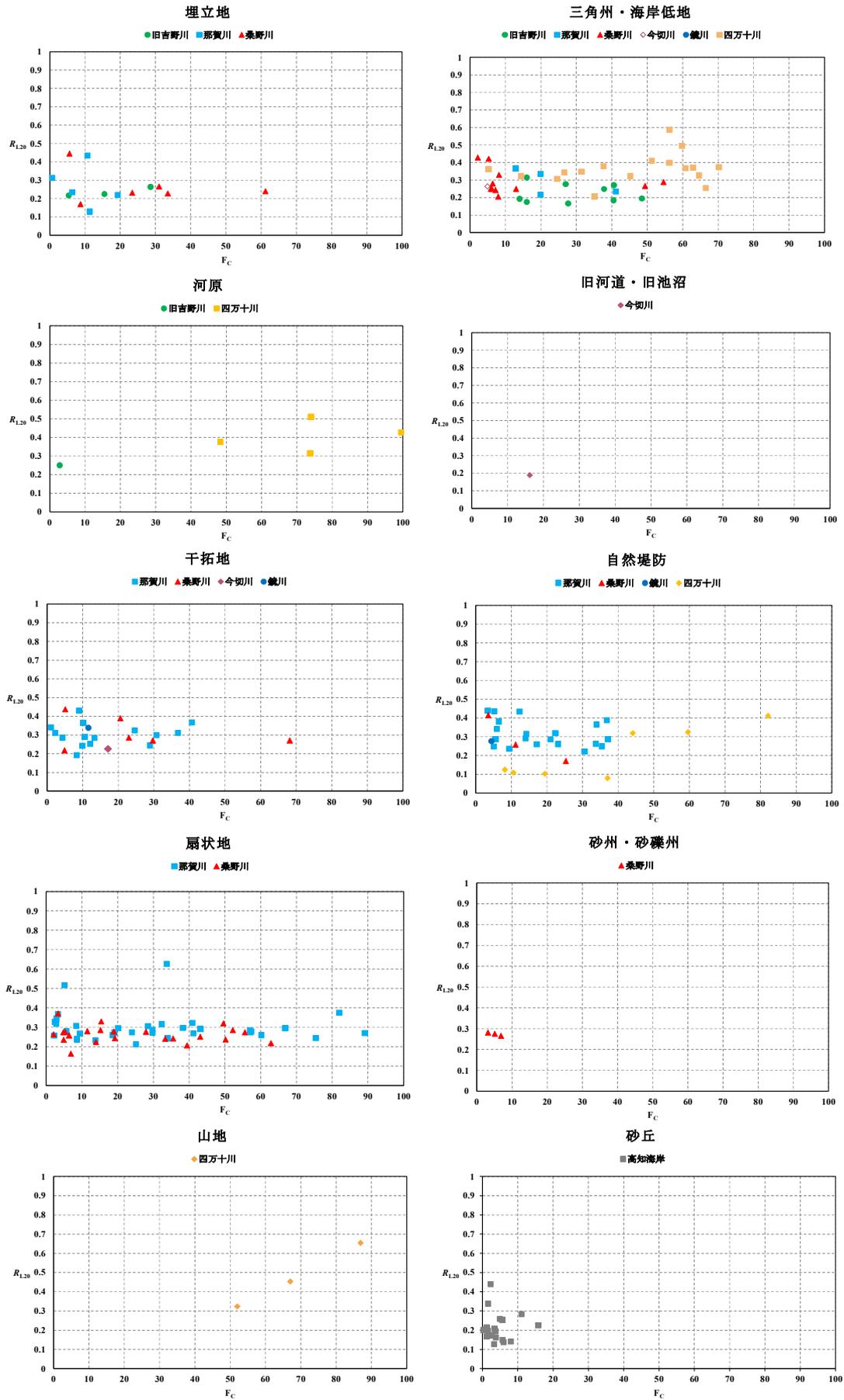


図 4.4.1-13 微地形ごとの  $F_c$  と試験値  $R_{L20}$  の関係

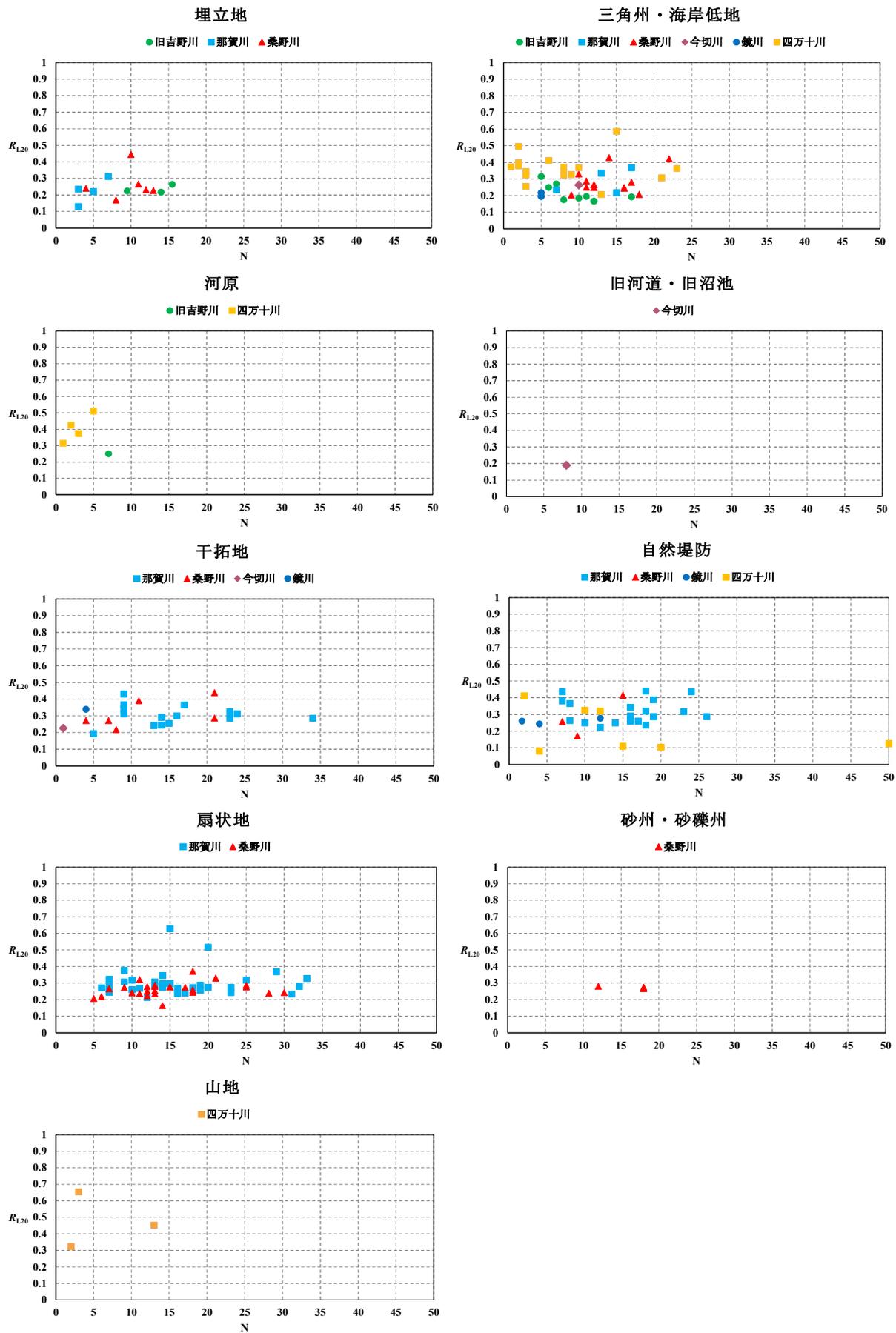


図 4.4. 1-14 微地形ごとの N 値と試験値  $R_{L20}$  の関係

# 自然堤防

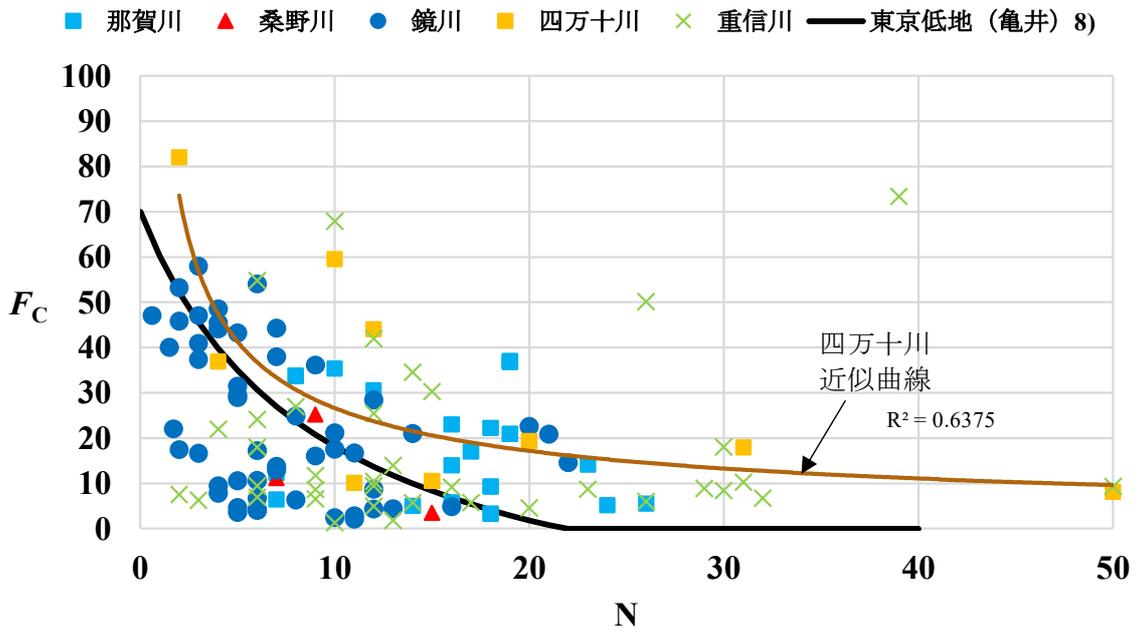


図 4. 4. 1-15 N 値と  $F_c$  の関係 (自然堤防)

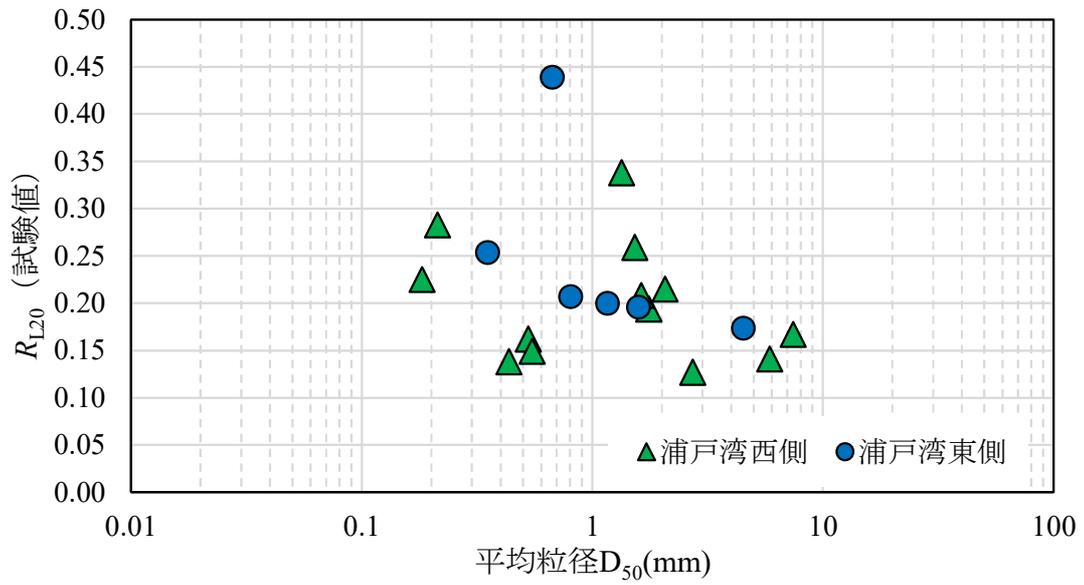


図 4. 4. 1-16 平均粒径  $D_{50}$  と  $R_{L20}$  の関係 (砂丘)

#### 【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017.
- 2) 京川裕之他：東北地方太平洋沖地震による浦安市埋立地盤の液状化被害調査，地盤工学ジャーナル，VOL.7，NO.1，PP. 265-273，2012.
- 3) 鳴門市史編纂委員会：「鳴門市史 現代編 1」，PP.936-937，1999.
- 4) 長谷川修一：香川の地震災害，香川の地盤，pp.159-170，2007.3.
- 5) 国土庁防災局：液状化地域ゾーニングマニュアル 平成 10 年度版，1999.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川堤防の耐震点検マニュアル，p.13，2016.
- 7) 若松ら：地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新，日本地震工学会誌，No.40，pp.24-27，2020.
- 8) 亀井ら：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響，地盤工学会論文報告集，42 巻 4 号 pp.101-110，2002.

## 4.4.2 港湾施設における液状化強度特性

### (1) 地盤調査データの物理力学特性

四国の港湾施設として、高松港、撫養港、高知港を対象とした。収集整理したボーリング調査位置を図4.4.2-1～4.4.2-4に、地盤調査・土質試験データの平均値、変動係数および数量を表4.4.2-1に示す。試験データの特徴は、試験数量が液状化強度で148個、せん断弾性波速度で49個と多数あること、相対密度が測定されていることである。これらの港湾施設では、主に沖積砂質土、粘性土の上に盛土・埋土が行われており、高松港および撫養港では盛土・埋土についても各種試験が実施されている。図4.4.2-5には、盛土・埋土および砂質土を対象として、土質試験データの平均値を港湾ごとに比較した結果を示す。同図より、土粒子密度、間隙比および細粒分含有率に代表される物理特性は港湾により違いが見られ、堆積環境など立地環境の影響が伺われる。

まず、人工地盤（盛土・埋土）と砂質土について $N$ 値、 $V_s$ 、液状化強度 $R_L$ を比較すると、高松港ではいずれも人工地盤で小さくなっているが、撫養港では人工地盤の $N$ 値、 $V_s$ が砂質土より小さいが、 $R_L$ は大きい。細粒分含有率 $F_c$ に着目すると、撫養港では人工地盤が有意に大きいことから $F_c$ が $R_L$ に影響した可能性が考えられる。一方、撫養港の相対密度 $D_r$ は人工地盤のほうが大きく、 $R_L$ と相関が見られる。また、高松港では乾燥密度 $\rho_d$ と $F_c$ が人工地盤と自然地盤で類似しているが、撫養港では両方で明らかに違いがある。この要因としては埋立材料や埋立方法等が異なることが考えられる。

つぎに、高松港と撫養港の人工地盤について、乾燥密度、土粒子密度、 $F_c$ 、 $R_L$ および $D_r$ を比べると、高松港でいずれも小さいことがわかる。ボーリング柱状図の記事によれば、高松港の埋立材料は地点・深度によって差異があるものの概ね砂質土が主体であり、砂礫、砂、シルト混じり砂～シルト質砂、砂質シルトなど変化に富んでいる。深度方向に詳細に見ると、表層付近では角礫を含み茶褐色の箇所が散見されるが、2m以深では貝殻片やシルト薄層がみられ、暗灰色を呈していることから浚渫土が用いられていると推察される。一方、撫養港は場所によって材料が異なり、粘土混じり砂、礫質砂、角礫や風化礫を主体とした層もあり不均質な特徴を有している。このように、高松港と撫養港では埋立材料に差異が見られ、これが物理力学特性に影響したと推測される。

さらに、砂質土の物理力学特性を港湾施設間で比較すると、 $N$ 値や密度はほぼ同程度にもかかわらず、高知港では液状化強度 $R_L$ 、細粒分含有率 $F_c$ が大きく、 $V_s$ がやや小さい傾向がある。高知港の調査地点は、浦戸湾に流入する下田川河口部に位置しており、その立地環境が物理力学特性に影響を及ぼしたと考えられる。



図 4.4.2-1 地盤調査・土質試験位置図



図 4.4.2-2 ボーリング調査位置 (高松港)



図 4.4.2-3 ボーリング調査位置 (撫養港)



図 4.4.2-4 ボーリング調査位置 (高知港)

表 4.4.2-1 地盤調査・土質試験データの平均値, 変動係数および数量

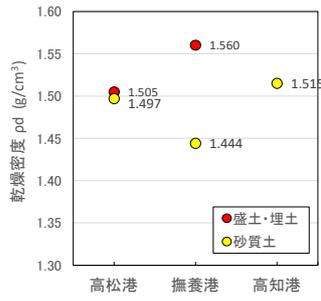
地点	土質区分	乾燥密度 $\rho_d$ ( $g/cm^3$ )			土粒子密度 $\rho_s$ ( $g/cm^3$ )			自然含水比 $w_n$ (%)			間隙比 $e$			細粒分含有率 $F_c$ (%)			N値			$V_s$ (m/s)		
		平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量
高松港	盛土・埋土	1.505	0.10	27	2.642	0.01	27	22	0.28	27	0.773	0.20	27	14	0.78	27	6	0.48	27	146	0.14	8
	砂質土	1.497	0.08	23	2.643	0.01	23	24	0.28	23	0.776	0.17	23	13	0.47	23	12	0.55	23	177	0.30	9
撫養港	盛土・埋土	1.560	0.09	9	2.734	0.01	9	24	0.22	9	0.767	0.22	9	32	0.44	9	6	0.87	9	123	0.11	5
	砂質土	1.444	0.06	63	2.735	0.01	63	27	0.26	63	0.902	0.12	63	18	0.72	56	13	0.39	63	186	0.19	17
	粘性土	1.306	0.09	3	2.726	0.00	3	36	0.31	3	1.100	0.16	3	68	—	1	9	0.36	3	220	—	1
	礫質土	1.855	0.16	3	2.671	0.00	3	11	0.76	3	0.470	0.57	3	7	1.05	3	25	0.20	3	—	—	0
高知港 ナカサカ地区	砂質土	1.515	0.12	9	2.710	0.01	9	29	0.27	9	0.809	0.24	9	36	0.32	9	13	1.14	9	154	0.14	5
	粘性土	1.383	0.05	11	2.710	0.01	11	35	0.10	11	0.964	0.11	11	83	0.16	11	7	0.57	6	170	0.24	4

地点	土質区分	液状化強度 $R_L$ (DA=5%,20回)			相対密度 $D_r$ (%)			最小密度 $\rho_{dmin}$ ( $g/cm^3$ )			最大密度 $\rho_{dmax}$ ( $g/cm^3$ )			最大間隙比 $e_{max}$			最小間隙比 $e_{min}$		
		平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量	平均	変動係数	数量
高松港	盛土・埋土	0.227	0.22	27	90	0.34	26	1.199	0.05	26	1.535	0.04	26	1.207	0.10	26	0.722	0.08	26
	砂質土	0.246	0.19	23	90	0.26	22	1.199	0.06	22	1.538	0.05	22	1.210	0.10	22	0.722	0.11	22
撫養港	盛土・埋土	0.280	0.20	9	94	0.22	8	1.171	0.06	8	1.633	0.04	8	1.343	0.11	8	0.676	0.10	8
	砂質土	0.256	0.23	63	90	0.23	42	1.143	0.10	49	1.516	0.06	49	1.417	0.17	49	0.812	0.13	49
	粘性土	0.214	0.25	3	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
	礫質土	0.335	0.49	3	112	0.13	3	1.311	0.19	3	1.732	0.15	3	1.098	0.42	3	0.567	0.46	3
高知港 ナカサカ地区	砂質土	0.266	0.25	9	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
	粘性土	0.329	0.34	11	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0

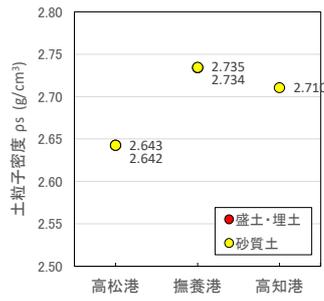
※ 深度 30m 未満のデータを対象とした。

JGS 0051-2000 に基づき、自然地盤を礫質土、砂質土、粘性土に区分した。

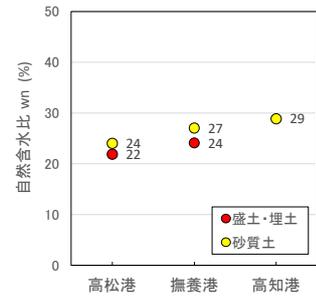
繰返し非排水三軸試験の試料はトリプルチューブサンプラーにより採取されている。



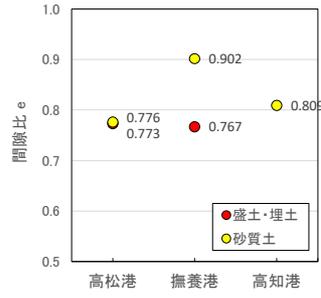
(a) 乾燥密度



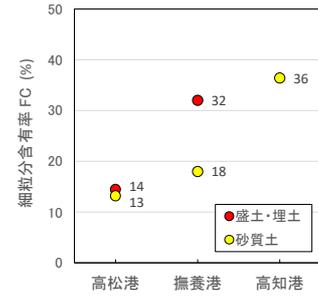
(b) 土粒子密度



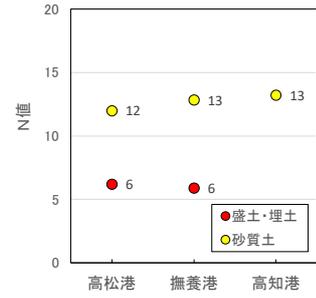
(c) 自然含水比



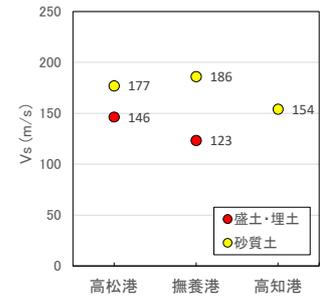
(d) 間隙比



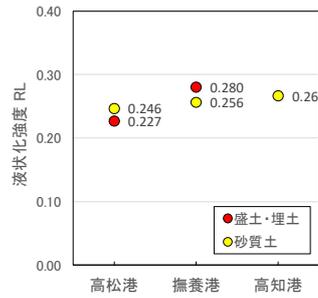
(e) 細粒分含有率



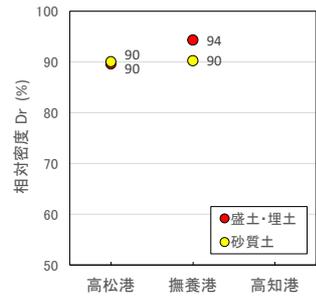
(f) N値



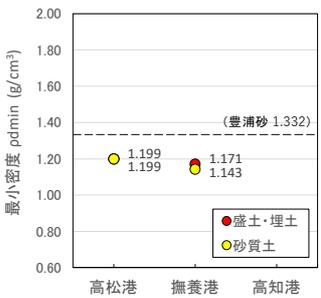
(g)  $V_s$



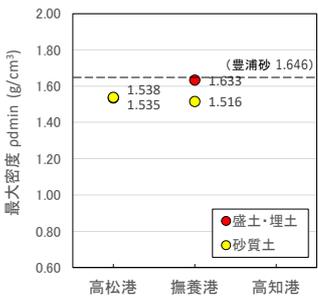
(h) 液状化強度



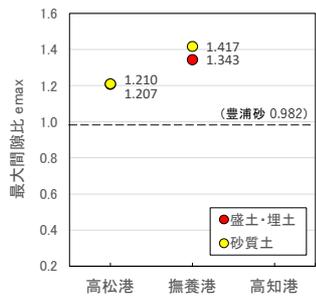
(i) 相対密度



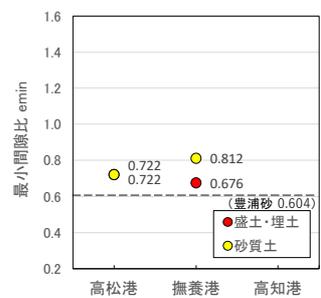
(j) 最小密度



(k) 最大密度



(l) 最大間隙比



(m) 最小間隙比

※ 最小密度, 最大密度, 最大間隙比, 最小間隙比の図には, 参考に豊浦砂の測定値も示す。

図 4.4.2-5 地盤調査・土質試験データの平均値

## (2) 液状化強度 $R_L$ とせん断波速度 $V_s$ の関係

既往研究<sup>1)</sup>によれば、せん断波速度  $V_s$  を利用して液状化強度  $R_L$  を推定する方法が提案されている。今回収集したデータによる  $R_L$  と  $V_s$  の関係を図 4.4.2-6 に示す。図より、ばらつきは大きいものの  $V_s$  の増加に伴い  $R_L$  が大きくなる傾向が見られることから、 $V_s$  は液状化強度  $R_L$  を推定するための指標となる可能性があると考えられる。図 4.4.2-7 には  $V_s$  と  $N$  値の関係を示す。同図に示す線は、道路橋示方書<sup>2)</sup>による推定式であり、粘性土・砂質土ともに  $N$  値と  $V_s$  の変化傾向は試験値と推定式で類似していることがわかる。なお、同図には、河川施設で得られたデータ（グレー色）も追加した。

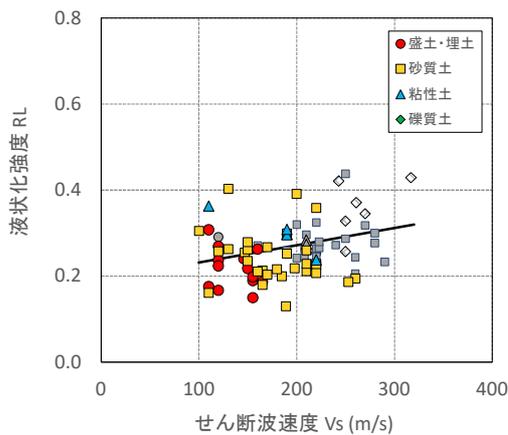


図-4.4.2-6  $R_L$  と  $V_s$  の関係

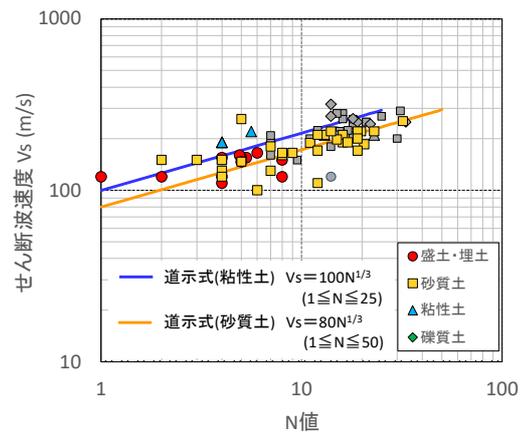


図 4.4.2-7  $V_s$  と  $N$  値の関係

## (3) 液状化強度 $R_L$ と相対密度 $D_r$ の関係

高松港および撫養港の液状化強度  $R_L$  と相対密度  $D_r$  の関係を図 4.4.2-8 に示す。図より、高松港、撫養港ともに  $R_L$  と  $D_r$  の間には明瞭な相関は見られなかった。これは、地盤材料の粒度が砂の最小・最大密度試験 (JIS A 1224:2000) の適用範囲である“2mm ふるいを通過し、75 $\mu$ m ふるいに 95%以上残留する砂”を超えているためと考えられる。そこで図 4.4.2-9 のように、最小・最大間隙比と細粒分含有率  $F_c$  の関係を整理した結果、既往報告の検討事例<sup>3)</sup>と同様に、 $F_c$  が 10~15% 程度を超えると最小・最大間隙比はともに増加する傾向を示した。以上を踏まえ、 $F_c < 10\%$  のデータに対して  $R_L$  と  $D_r$  の関係を再整理すると、図 4.4.2-10 のとおり、撫養港では概ね正の相関を確認できた。同図において相関が低いデータが見られたのは、試験に用いた 4 つの供試体が均質でないため  $R_L$  試験値そのものがばらついていることが一つの要因として挙げられる。また、後述のように高松港の埋土では年代効果の影響も考えられる。

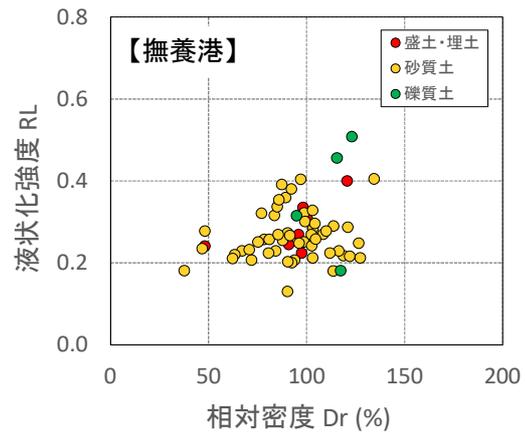
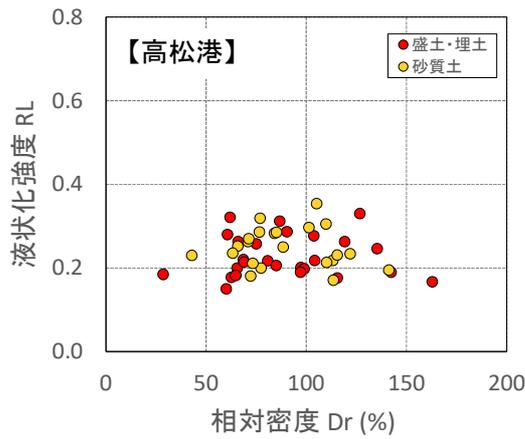


図 4.4.2-8  $R_L$  と  $D_r$  の関係 (高松港, 撫養港)

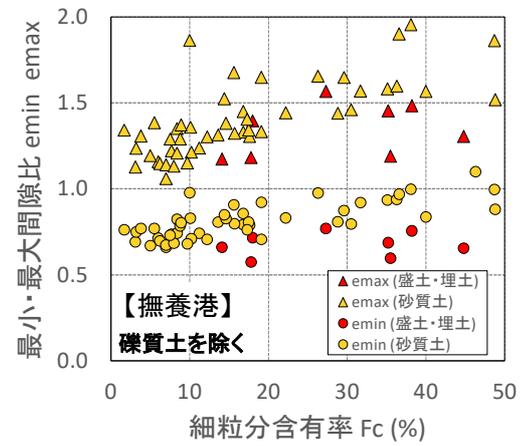
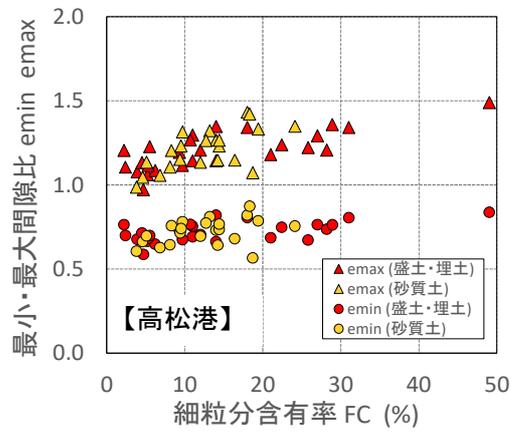


図 4.4.2-9  $e_{min}$ ,  $e_{max}$  と  $F_c$  の関係 (高松港, 撫養港)

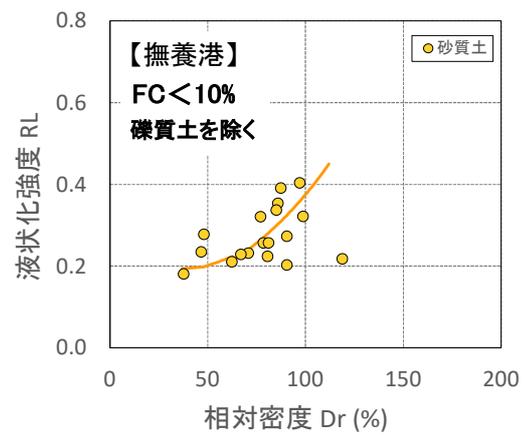
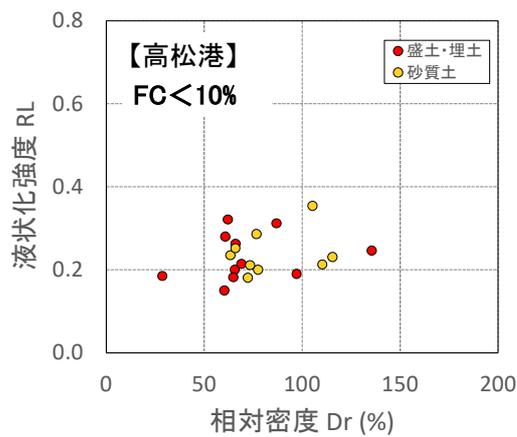


図-4.4.2-10  $R_L$  と  $D_r$  の関係 ( $F_c < 10\%$ : 高松港, 撫養港)

#### (4) 液状化強度 $R_L$ と埋立年代の関係

高松平野は香東川による扇状地を主体とし、中小6河川により形成された沖積平野である。沿岸部では江戸時代から干拓が行われ、塩田開発や港湾施設、企業立地のための埋め立てが進められてきた。高松港東部における調査位置を図4.4.2-11に示す。図には、江戸時代の資料<sup>4)</sup>、明治30年(1897年)の国土地理院地形図、1945年以降の空中写真などをもとに、埋立年代ごとに調査位置を色分けした。同図は図4.4.2-12の空中写真をもとに作成しており、戦後の埋立年代が明白である。埋土は層厚3~14mで沖に向かって厚くなっており、地下水位は深度1.0~4.6mで平均1.8mにある。既往文献<sup>5)</sup>によると、昭和21年(1946年)12月21日の南海地震時に、本地区(朝日町)の埋立地で液状化による噴砂が目撃されている。以下では、液状化が懸念される埋土を対象として、液状化強度  $R_L$  と埋立年代の関係を整理した。

埋立年代と液状化強度  $R_L$  の関係を図4.4.2-13に示す。ばらつきはあるものの、埋立年代が古いほど液状化強度がやや高い傾向が見られる。図4.4.2-14のように埋立年代により細粒分含有率  $F_c$  が異なることから、細粒分含有率が小さいデータ ( $F_c < 10\%$ ) について液状化強度の平均値を比較すると、1949年以前は0.278、1960年代は0.187であり、強度に差が表れた。図4.4.2-15には、液状化強度  $R_L$  と圧密後の相対密度  $D_r$  の関係を示す。1960年代の埋土はばらつきが大きく、 $R_L$  と  $D_r$  の間には明瞭な関係は見られない。図4.4.2-16には、 $DA1\%$ 時の液状化強度  $R_{L20}$  に対する  $DA5\%$ 時および  $DA10\%$ 時の  $R_{L20}$  の比を示す。埋立年代が古いほど強度比は大きい傾向にあることから、1949年以前の埋土は、繰返しせん断応力の増加に対してひずみが急増せず、徐々に液状化現象が進行すると考えられる。また、図4.4.2-17~4.4.2-18のように埋立年代が古いほうが  $N$  値、密度  $\rho_s$  ともやや大きくなっていることから、時間の経過とともに自重等により密度が増加したことが液状化強度特性を向上させた一因と考えられる。

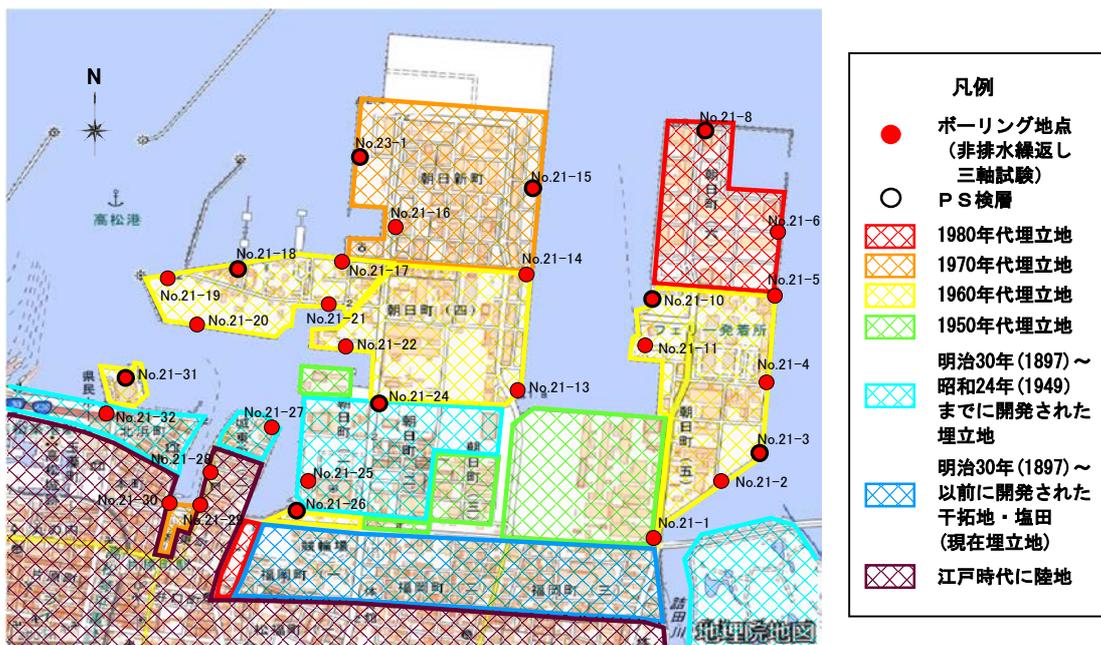


図4.4.2-11 調査位置(高松港東部埋立地周辺)



(a) 1947年4月



(b) 1953年4月



(c) 1959年5月



(d) 1962年8月



(e) 1967年8月



(f) 1970年5月



(g) 1982年5月



(h) 1988年4月



(i) 2021年5月

図 4.4.2-12 高松港（朝日地区）の空中写真<sup>6)</sup>

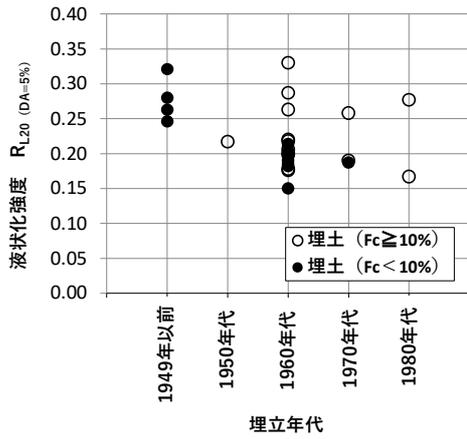


図 4.4.2-13  $R_L$  と埋立年代の関係

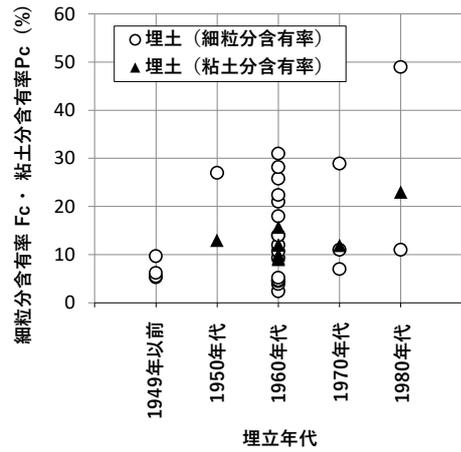


図 4.4.2-14  $F_c$ ,  $P_c$  と埋立年代の関係

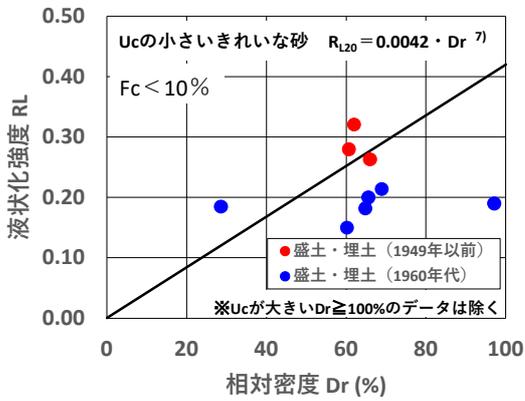


図 4.4.2-15  $R_L$  と  $D_r$  の関係

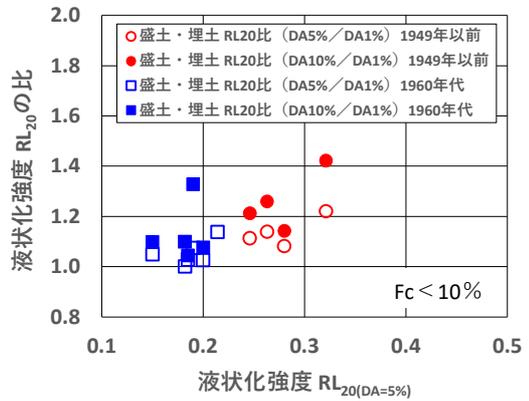


図 4.4.2-16 液状化強度  $R_{L20}$  の比

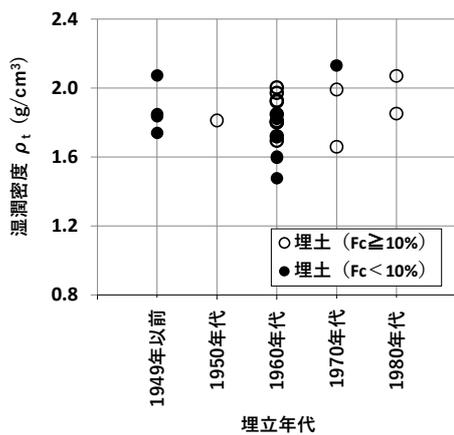


図 4.4.2-17  $\rho_t$  と埋立年代の関係

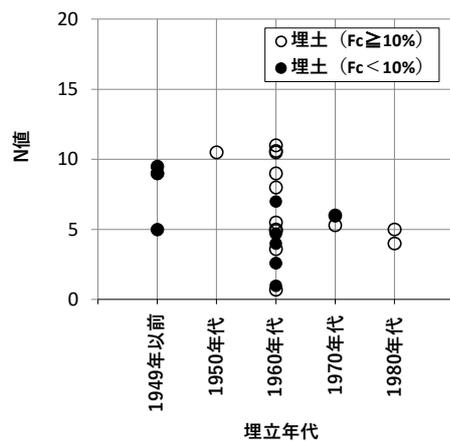


図 4.4.2-18  $N$  値と埋立年代の関係

#### 【参考文献】

- 1) 清田隆, 吳杰裕 : 原位置と室内試験による  $V_s$  を用いた液状化強度比の推定法, 地盤工学ジャーナル, Vol.12, No.4, pp.375-383, 2017.
- 2) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, pp.69-70, 2017.11.
- 3) 平間国興, 森田伸 : 砂の相対密度の実際工事への適用に関する検討, 大林組技術研究所報, No.25, pp.95-98, 1982.
- 4) 長谷川修一, 山中稔, 太田均, 斎藤章彦 : 高松平野の地盤と液状化特性, 香川の地盤, pp.180-201, 2007.3.
- 5) 長谷川修一 : 香川の地震災害, 香川の地盤, pp.159-170, 2007.3.
- 6) 国土地理院ウェブサイト (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)
- 7) Ishihara,K. : Simple Method of Analysis for Liquefaction of Sand Deposits during Earthquakes, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp.1-8, 1977.

委員会を終えるにあたって

香川大学創造工学部

山中 稔

地盤工学会四国支部「地盤地震防災研究委員会」を終えるにあたり、第3期の副委員長として一言述べさせていただきます。このところ皆様にお任せする場面が多く、原委員長はじめ幹事・委員の方々に誠に申し訳なく感じております。ただ、委員会の大きな目的である四国地域の実力を持った若手技術者が年々集まり、そしてパワフルに活動する委員会となっていることをうれしく思います。

手元にあった委員会の過去資料をガサガサしていると、当委員会の前身の「四国地域地盤問題研究委員会」の第6回委員会（今から15年前）で「各委員の近況報告集」という資料がありました。まだ、渦岡先生も原先生も委員会に入っていない時期で、岡村委員長を含めて21名の各委員が、顔写真入りで現在の業務内容や個人的話題をA4で1枚にまとめたものです。この当時は、まだまだ委員会活動での四国内の距離が遠く感じられて、今のように活発ではなかったために、せめて近況報告でお互いに切磋琢磨しようという趣旨でした。

それからの15年で、今では四国内の距離はほとんど感じられなくなっているようです。かつては、「四国4県が互いに外を向いている」が飲み会での笑いのネタでしたが、今ではそのネタは笑いにならずに「そんなことはない」と逆に叱られそうです。

当委員会の研究活動が、今後、四国のみならず日本全国に、そして世界に拡大することを強く願っています。

あとがき

地盤工学会四国支部地盤地震防災研究委員会は、平成23年6月から令和5年3月まで11年10ヶ月の間、転勤等に伴う委員の交代を行いながら活動を続けてまいりました。歴代の委員長（岡村先生、渦岡先生、原先生）をはじめ多くの先生方のご指導により、液状化解析プログラムによるシミュレーション、東日本大震災被災地の視察、繰返し非排水三軸試験と遠心模型実験など、実務では直接携わることが少ない大変貴重な経験をさせて頂きました。お忙しい中、ご指導ご鞭撻を賜りありがとうございます。

我々が生活の基盤を置いている四国地方では、今後30年以内の発生確率が70～80%と評価されている南海トラフ地震による被害が懸念されています。本委員会で培った技術や経験を、これからの四国の地震防災に役立てていきたいと考えております。

本委員会では、国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所、株式会社安藤・間、基礎地盤コンサルタンツ株式会社、愛媛大学および高知大学の研究室の皆様から多大なご支援をいただきました。また、国土交通省四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所および四国技術事務所、高知県土木部より多数の地盤調査データをご提供いただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

委員一同

## 【執筆主担当】

### 1. はじめに

1.1 原忠（委員長）

1.2～1.3 中根久幸（委員）

### 2. 四国の地盤特性

2.1

2.2 2.2.1 安藤秀一（委員）

2.2 2.2.2 小林昌弘（委員）

2.2 2.2.3 北村暢章（委員）

2.2 2.2.4 中村雅夫（委員）

2.3 北澤聖司（委員）

2.4 小林昌弘（委員）

2.5 古市正敏（委員）

### 3. データ収集およびデータベース作成

3.1～3.4 神田幸正（幹事）

### 4. 地盤調査・土質試験データの分析

4.1

4.2 4.2.1 古市正敏（委員）

4.2 4.2.2 藤川誠次（委員）

4.2 4.2.3 北澤聖司（委員）

4.2 4.2.4 野谷正明（幹事）

4.3 4.3.1 廣瀬文明（委員）

4.3 4.3.2 北出圭介（委員）

4.3 4.3.3 嶋本栄治（委員）

4.4 4.4.1 中川頌将（委員）

4.4 4.4.2 齋藤和（幹事）

委員会を終えるにあたって 山中稔（副委員長）

あとがき 委員一同

添付資料(1) 野谷正明（幹事）ほか

添付資料(2) 野谷正明（幹事）、西本健一（委員）ほか

添付資料(3) 塚田秀太郎（委員）ほか

添付資料(4) 中根久幸（委員）ほか