

### 3.2 WG1：地盤情報を活用した液状化などの広域地盤災害予測WG

#### 3.2.1 WGの研究目的と目的達成のための手段

本ワーキングでは広域被害予測および個別建造物の破壊メカニズムの究明を含む被害予測を取り扱うことを目的とし、下記に示すような具体的には2つ点の研究目的としている。これらの目的を達成するために、当初より自治体との連携を密に行うべきとし、対応等に困っている自治体の現状をヒアリング、その結果をWGでの取り組み課題に反映するとともに、WGの活動にご協力いただける自治体と共同し地盤に関わる課題の解決を進めてきた。

##### 【研究目的】

- (1)地域のニーズを踏まえた上で南海トラフ巨大地震に晒される中部地域に、少しでも危険回避できる術をハード面から地盤工学的に説明し提案していくこと。
  - ◆南海トラフ巨大地震に対する地域別のニーズの整理
  - ◆対策を行う事による広域の被害軽減の可視化
  - ◆地盤工学会中部支部と中部地域の自治体・住民との連携
- (2)地域のニーズ以外に、建造物の被害メカニズムの究明および被害予測に関する技術研究の開発。
  - ◆ピンポイント建造物の複合災害を含めたメカニズムの解明
  - ◆調査・設計・予測技術研究の社会への還元

##### 【目的達成の手段】

###### (1)地域ニーズを考慮

「南海トラフ巨大地震に向けた行政防災担当者との意見交換会」を開催、ニーズを吸い上げ対象自治体の絞り込み、ワーキングでニーズに対して提案できる内容について検討する。2014-2015年度は、自治体からのニーズを受けて、既存のハザードマップにおいて液状化被害が高いと予測されている三重県桑名市との協力で同市内の長島町について大学・企業が一体となり調査を実施、旧河道（青鷲川）を人工的に埋め立てられた地盤との周辺地盤との差異を示し、同様な河川埋立地での危険性の検討を行った。

###### (2)地域ニーズ以外の被害予測

広域またはピンポイント建造物の被害予測および効果的な対策法の提案の実施を話題提供の形で進め、対象物ごとの整理を行っていく。

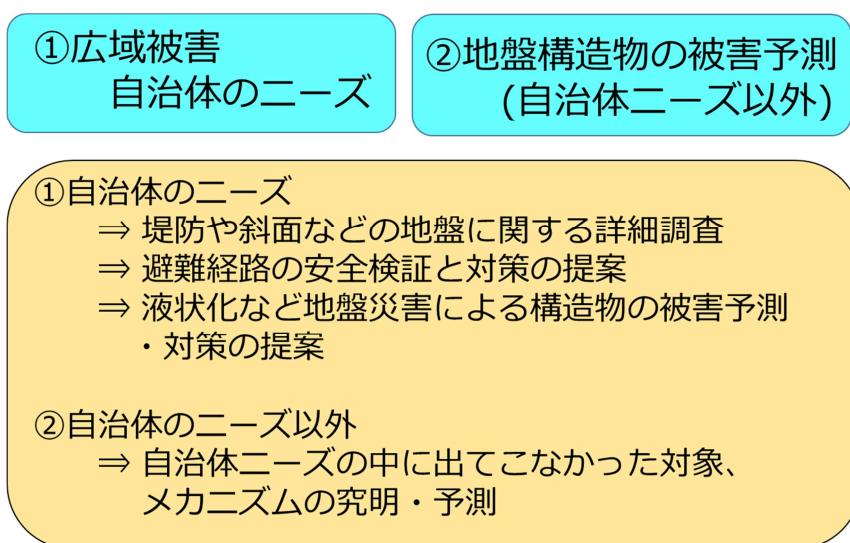


図3.2.1 WGの研究目的

### 3.2.2 自治体のニーズに対応した研究の進め方

本研究は、まず、自治体の地域防災担当者に意見交換会への参加申込みの募集を行い、地域の絞り込みを実施した。

#### (1)行政防災担当者との意見交換会の開催（2014年11月26日(水)13:30-16:00 安保ホール）

意見交換会案内送付先は、愛知県8市役所・役場、三重県3市役所・役場の防災危機管理担当宛て送付した。そのうち、桑名市、清須市、豊橋市、国土交通省中部地方整備局河川工事課を含め、参加者20名で「南海トラフ巨大地震に向けた行政防災担当者との意見交換会」が開催された。以下に、自治体からの報告内容を記す。

##### ①桑名市

- ・0メートル地帯が広く分布しており、地震後の津波に関する心配がある
- ・8月末に公表された南海トラフ被災予測を踏まえて結果をどのように住民に周知してよいかわからない。
- ・津波避難マップは作成済みである。
- ・どこに逃げなさいという指定はしていない。
- ・長島町は周囲を河川等に囲まれているため逃げることもできない。液状化して動けない可能性もある。
- ・海拔ゼロメートル地帯である長島地区、城南地区などではどのような液状化現象が発生し、どのような被害が生じ、液状化現象による避難行動への影響はどの程度あるか。
- ・木曾三川の堤防の安全性はどの程度確保されているか。

##### ②清須市

- ・南海トラフ地震だけでなく降雨や高潮などの複合災害を念頭に置いた対策を実施している。
- ・ハザードマップ作成しているが、住民自ら考え行動するための資料として用いている。特定の避難路を指定しておらず、自治会レベルで避難路を検討してもらう。補助金有。避難所は公共施設であり、避難所としての機能を有していない施設もいくつかある。
- ・堤防が破堤し、津波や洪水等で越水する危険性を心配している。
- ・南海トラフ地震に対しては耐震対策が優先されている。
- ・吊り天井等の改修を行っている。
- ・液状化など地盤災害による、河川堤防の被害想定や対策について知りたい。

##### ③豊橋市

- ・豊橋西部は、地盤が安定しているといわれている。ただし経験にもとづいたものである。
- ・豊橋東部は、液状化の危険性高く、公表された液状化マップではそのほとんどが液状化の可能性が高いという評価となっている。
- ・地震時の規制のかけ方等に不安がある。
- ・防災ガイドブックを作成中であり、今後住民に配布予定である。
- ・具体的な対策方法が見つからない。
- ・急傾斜地では、地震と雨でどれくらい危ないのかという情報が欲しい。
- ・土砂災害の予想される急傾斜地の診断
- ・避難経路の提案
- ・避難所の安全性
- ・道路の液状化対策について、安価でより効果的な対策方法があればご教授願いたい

○各自治体でハザードマップが作られているが、その状況確認と問題点が挙げられた。

- ・避難経路を考慮したマップの作成が必要である。
- ・どういう情報があると動きやすいか整理する必要がある。
- ・液状化マップにおいて赤(液状化の危険性が高い)を黄色や緑(比較的危険性が低い)に変えるほうがいいのか？赤の中でもさらに危険なところがあることを示すのか？
- ・本当に危ないところがあった場合は避難所を変えることも考えたほうがよいのではないのか
- ・被害経路を設定していないけれど、被害予測が変わった場合どうなるのか？避難所が変わってしまうのではないかと懸念が生じる。
- ・被害予測と対策がちぐはぐな状況がある。

## (2)地域の絞り込みと研究の流れ

意見交換の中から、桑名市より長島町の視察の要望があり、桑名市の現地視察をH27.1.23に実施した。その中で、長島町の旧青鷲川跡は、海拔0m地帯が広く分布し、周りを堤防に囲まれた地域、30m以上厚の沖積層の上に位置しており、以前に多くの河川が存在した中でも、最も川幅が広がった跡でもある。また、県道7号線が走っており、南北を繋ぐ重要な路線であり、液状化発生時の垂直避難（堤防・橋梁等）先への移動の障害の懸念があることから、青鷲川跡地を対象に絞り込むこととした。以降、「青鷲川プロジェクト」とする。

一方、メンバー個別で進めている個別構造物の評価についてもワーキング内で共有して意見交換を行うことを目的に、話題提供の形で進めることとした。

以上の研究の流れを図3.2.2に示す。

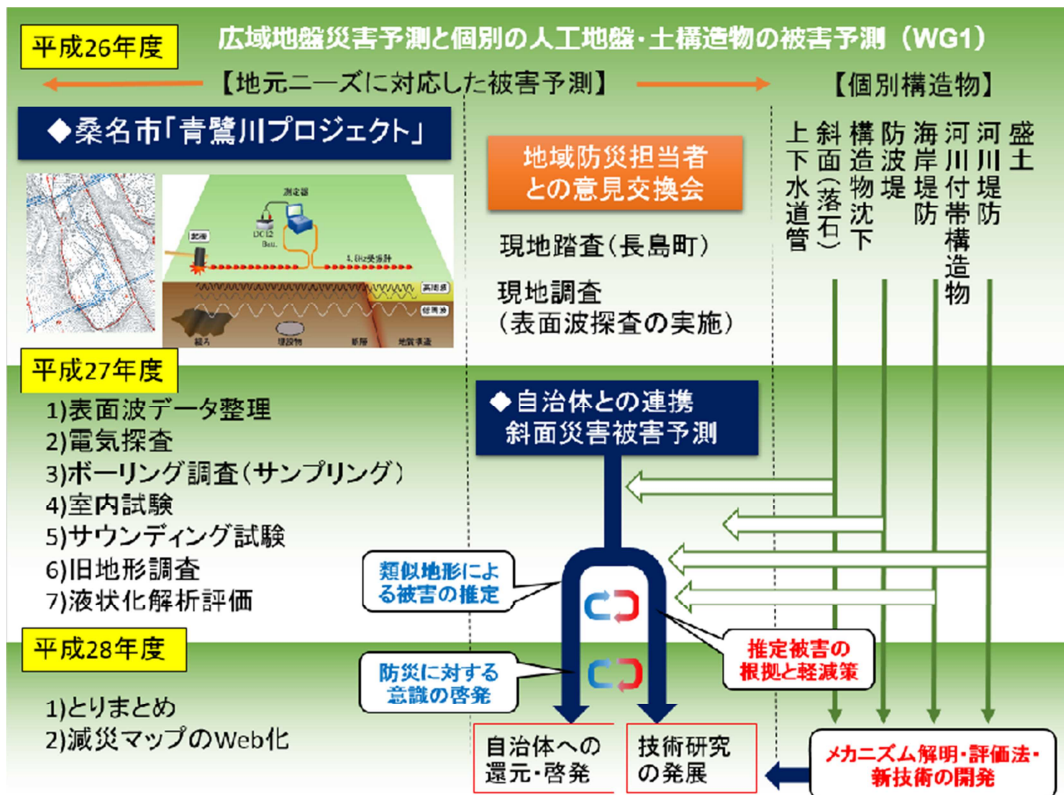


図 3.2.2 広域地盤災害予測と個別の人工地盤・土構造物の被害予測ワーキング (WG1) の研究フロー

### 3.2.3 青鷺川プロジェクト

#### (1) 青鷺川プロジェクト対象地における課題と目標

調査対象地である三重県桑名市長島町は、三重県防災対策部の公表した南海トラフ巨大地震による被災予測において、液状化危険度が全域で極めて高いとされている。しかし揖斐川、木曾川に挟まれており、移動経路も既設橋梁に限られていることから、住民が速やかに安全に退避することは困難である。

桑名市防災・危機管理課では、行政がいたずらに危険であることのみを警鐘して、対応策を示さないことで、住民自らが真摯に防災行動を起こせなくなることを危惧している。液状化危険度が極めて高いといえども、同じ長島町内、全域が均一な条件ではないことから、同じ地区内でも比較的被災しにくいと考えられる箇所、旧輪中堤防など古くからの集落、住居連担箇所など、過去からの被災を軽易に潜り抜けてきている箇所があるのではないかと考えられる。このことから、どのような液状化現象が発生して、どのような被害が生じるのかを、工学的な様々な検討を行って明らかにするとともに、地理学や治水地形分類など多角的な見地からの視点を加えることにより、文系と理系の垣根を越えた総合的な防災対策の実現を達成したいとしている。住民が地震防災に関する現状を正しく理解すること、様々な科学技術を理解することにより、自らで命を守る行動を判断できる能力、リテラシーを付与することが本プロジェクトの目指す究極の目標である。

#### (2) 桑名市の液状化危険度の現状

桑名市は、養老山地につながる丘陵地と段丘（台地）および厚い沖積低地からなっており、三重県が出している図 3.2.3 のように、市の約半分の面積を占める沖積低地において液状化の危険性が極めて高い地域とされている。特に長島町では、住民だけでなく、温泉、娯楽遊園地、宿泊施設等があり全国各地からの観光客が集まる場所である。周囲は、海、河川に囲まれ、地震発生時には津波からの垂直避難のため、地域を縦断する県道 7 号線を利用することが想定されるため、液状化による通行困難となることが懸念される。

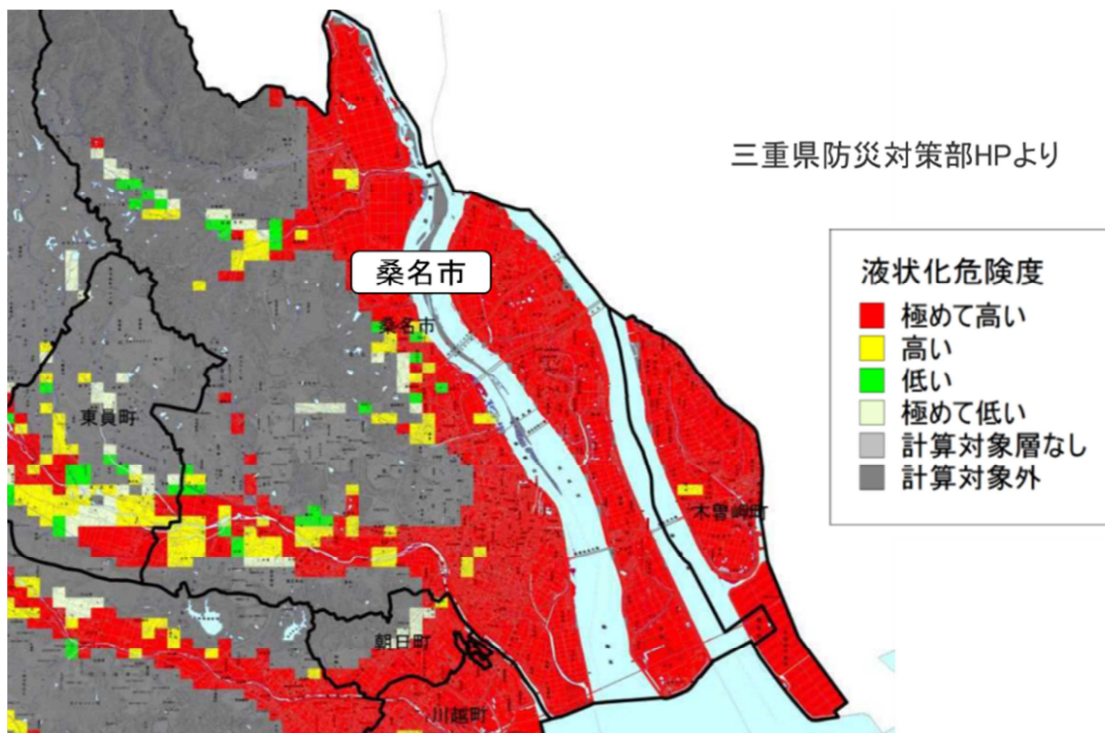


図 3.2.3 桑名市の液状化危険度予測図 南海トラフ（理論上最大クラス）の場合<sup>1)</sup>

(3)青鷺川の埋め立ての歴史

青鷺川は木曾川デルタの河口州（図3.2.4 朱色部）で、河川が分流した河道であり、名古屋の宮宿（熱田神宮区）と桑名宿（桑名市）を繋ぐ「七里の渡し」の航路として江戸時代初期から、明治20年まで利用されてきた。明治の木曾三川改修工事（明治21年）により締め切られた。



図3.2.4 七里の渡しの航路と青鷺川跡

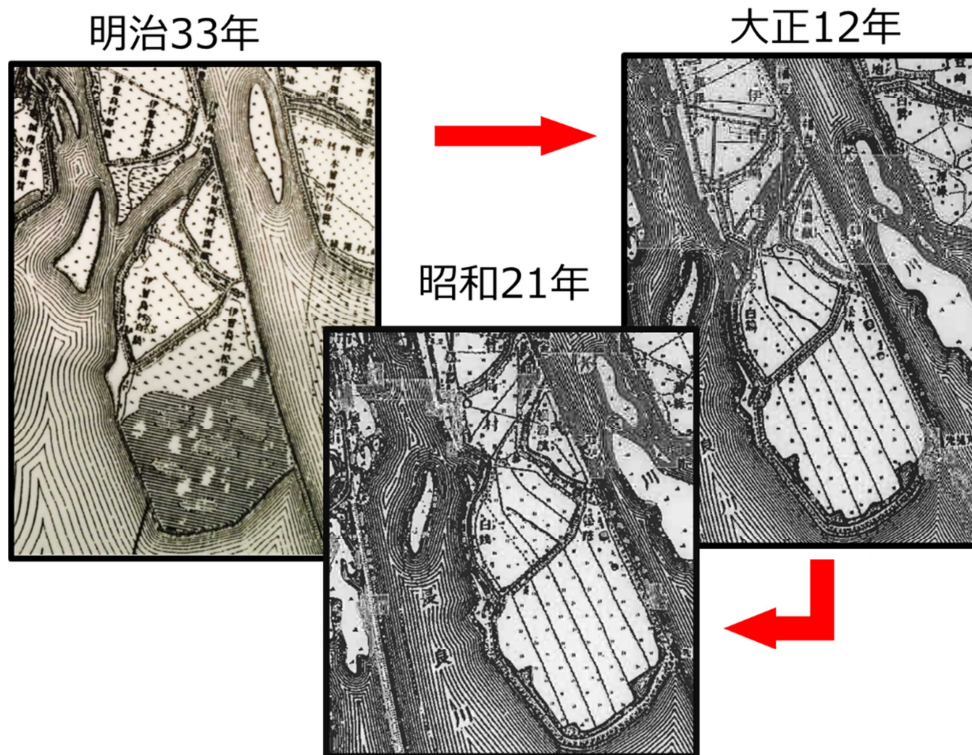
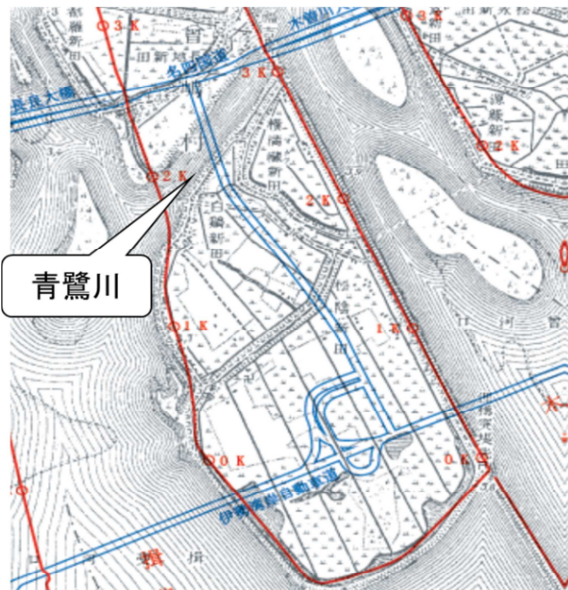


図3.2.5 桑名市長島町の埋立て変遷



木曾川下流河川事務所(木曾川堤防変遷図)  
M29年とH19年堤防重ね合わせ図



昭和11年に埋立完了

図 3.2.6 青鷺川跡の埋立て (桑名市長島町)<sup>2)</sup>

現在、北側に名四国道と南には伊勢湾岸自動車道が横断する形になっている。それを繋ぐ県道7号線が走っている。現在、青鷺川跡は住宅地およびスポーツランドとして利用されている。

#### (4)長島町青鷺川の地形・地質

図3.2.7に示すように、青鷺側の位置は、木曾川デルタ先端の干拓地に位置し、堆積年代は約1500～2000年前以降と推定される。

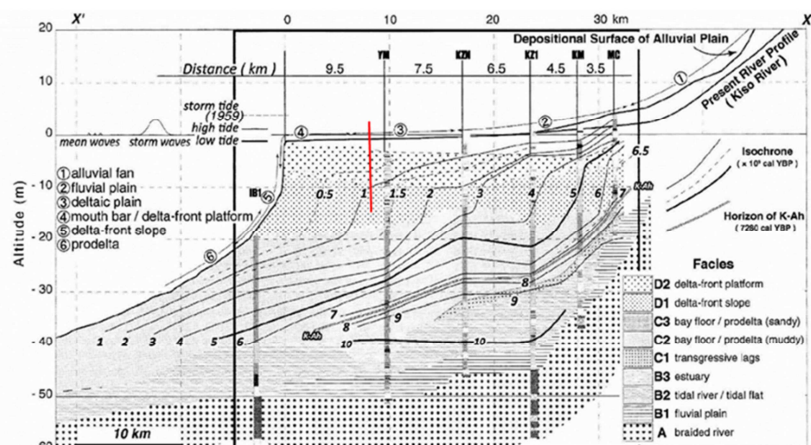
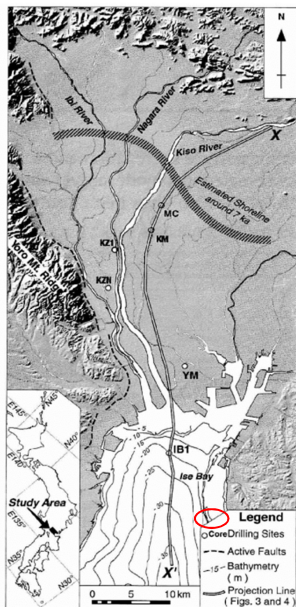


図 3.2.7 長島町青鷺川の地形・地質<sup>3)</sup>

また、図3.2.8は昭和51年に発行された治水地形分類図であるが、干拓地の年代が異なり、古いもので1750年代から江戸時代にかけて、青鷺川跡が最も新しい干拓地であることが分かる。

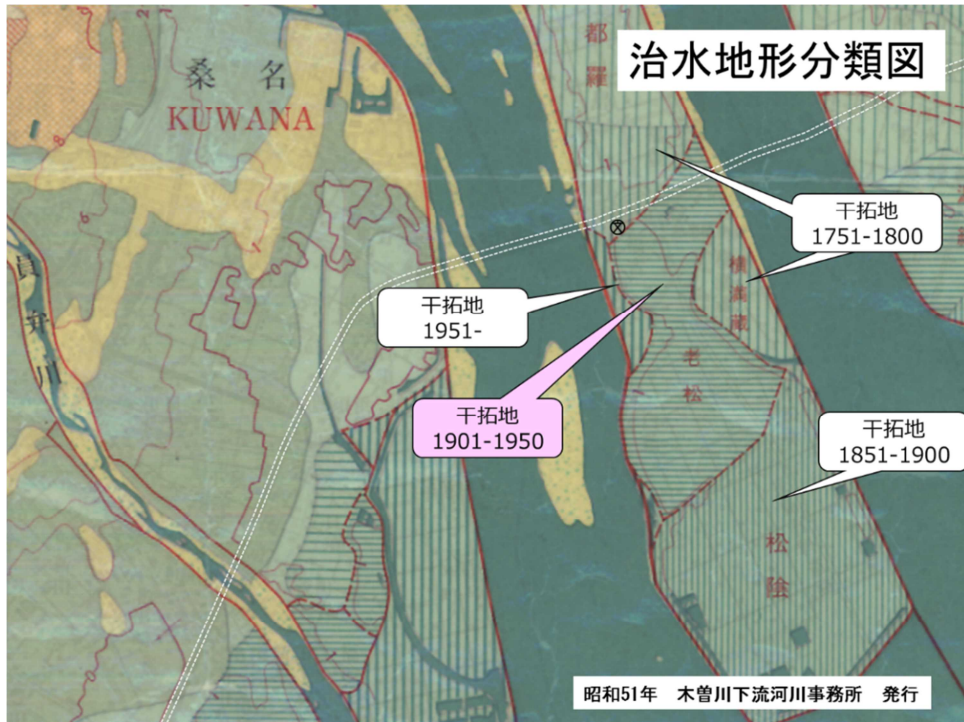


図 3.2.8 治水地形分類図

(5)青鷲川プロジェクトの調査と概要

地震発生時の地盤被害を想定し避難や救援物資の輸送，個々の耐震にも役立つこととし，青鷲川跡の埋め立て地盤の断面を把握し，旧河道跡との地盤強度の差がどの程度あるかを評価する．そこで，次のような手順で進めていった。

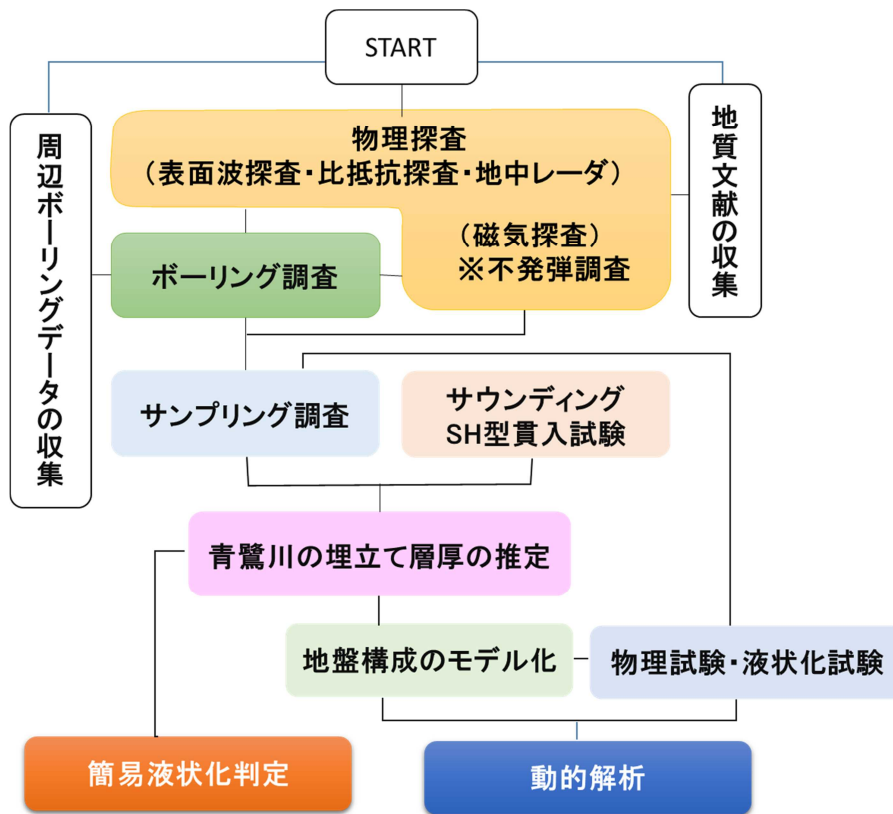


図 3.2.9 青鷲川プロジェクト調査フロー

(6)埋立て層厚(川底)の推定

i) 調査手法

今回、青鷺川埋立て地盤とその外側との違いを比較することを目的として以下の調査項目を実施した。  
 なお、ここ桑名市は不発弾が見つかっており過去に工事中に事故があった現場に近いことから、地元の輪中の里に情報を聞きに伺い、磁気探査を行うこととした。

◆掘削調査

- ①ボーリング調査・・・標準貫入試験, PS 検層, 磁気探査
- ②サンプリング孔・・・ボーリング調査近接

◆サウンディング調査

- ③SH 貫入試験

◆非破壊調査

- ④高密度表面波探査
- ⑤比抵抗探査
- ⑥地中レーダー
- ⑦磁気探査

●標準貫入試験

標準貫入試験用サンプラーを動的貫入することによって地盤の硬軟、締まり具合の判定、及び土層構成を把握するための試料の採取を目的とする。

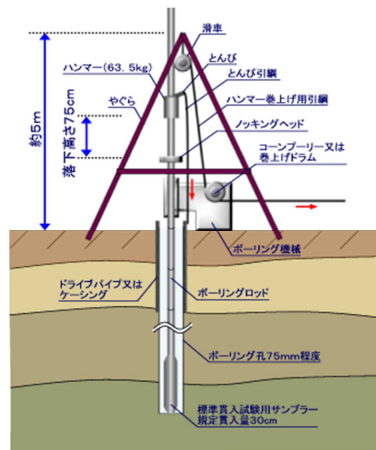


図 3.2.10 ボーリング+標準貫入試験

●PS 検層

P 波・S 波と呼ばれる二種類の弾性波が、地盤中を伝播する速度をボーリング孔を利用して測定する。P 波と S 波 S の速度値から、耐震設計に用いられる動的地盤定数を求める。

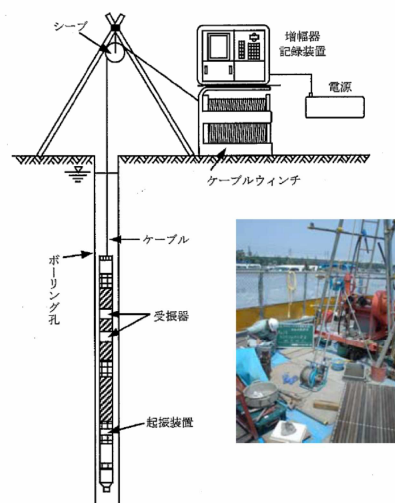


図 3.2.11 PS 検層



●SH 貫入試験 (表土層調査技術研究会)

質量 5kg のハンマーを 500±10mm の高さから自由落下させ、コーンを 100mm 貫入させるのに要する打撃回数を Nd/drop 値<sup>4)</sup>として表す。

$$\text{Nd/drop} = \frac{100(\text{mm})}{(3+2)\text{kgハンマー} \cdot 1\text{打撃のコーン貫入量}}$$

1 打撃ごとのデータ表示により、礫や根系等の影響を除外できるため、土層そのものの硬さの変化を把握するとともに、局所的な(薄い)軟弱層を検出できる。

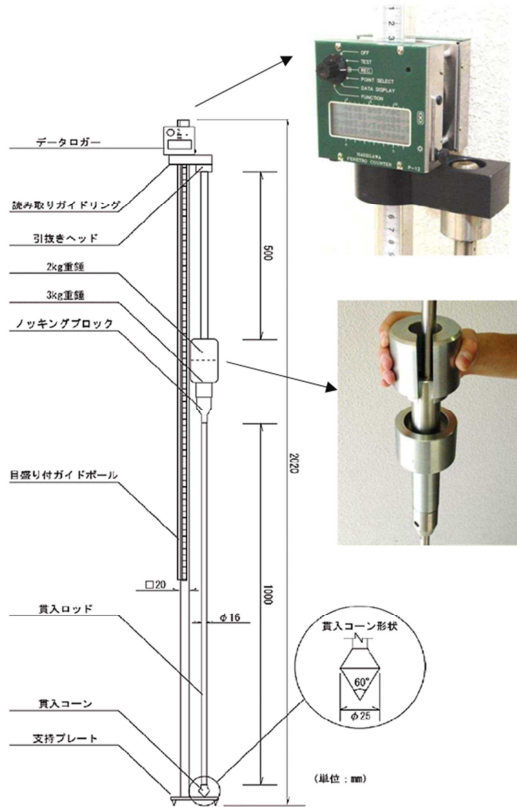


図 3.2.12 SH 型貫入試験

●高密度表面波探査

地表面を打撃することにより、「表面波 (レイリー波)」を発生させる。地盤の硬さに関する「S 波速度」に換算でき、深さによって周波数が長くなることから、地盤断面の S 波速度の分布を得る。

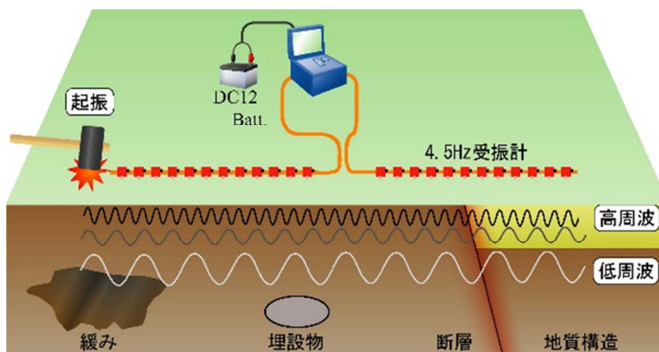


図 3.2.13 高密度表面波探査

●比抵抗探査

地表に設置した一対の電流電極から電流を流すことによって、地下の電流の流れ難さ（比抵抗）を推定する。岩石や地層の比抵抗はその構成鉱物の種類、乾湿の状態、風化・変質の状態、温度などによってかわることから、物性を推定する。

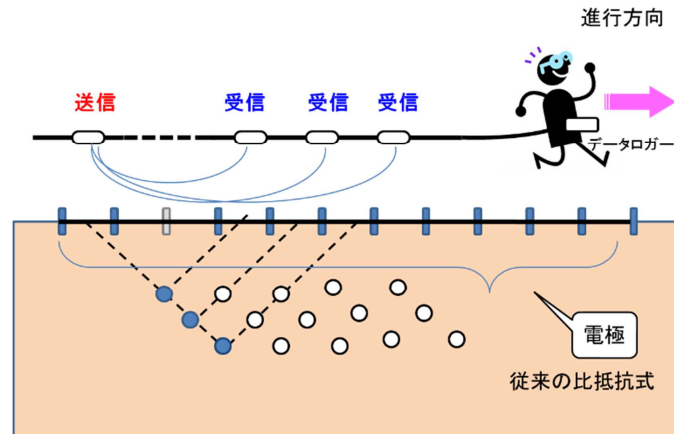


図 3.2.14 比抵抗探査（オームマッパー）

●地中レーダー法

地盤の誘電率が不均質であることを利用して、誘電率の異なる境界面で生じる電磁波の反射を捉え、電磁波の伝播速度と反射時間（往復走時）を測定して、埋設物や空洞の探査を行う。

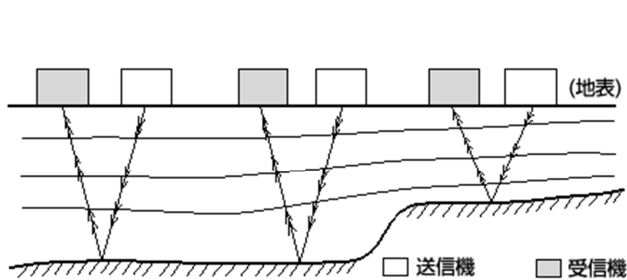


図 3.2.15 地中レーダー

ii)調査地点

調査地点は、下記に示すように旧青鷺川と推定される川を挟んで県道7号沿いに実施する測線S-1及びボーリング点No.1、および河道外側の河川にほぼ平行な測線S-2、河道にほぼ垂直なS-3とその交点置いたボーリング点No.2を設けることとした。



写真 3.2.1 旧青鷺川 河道付近

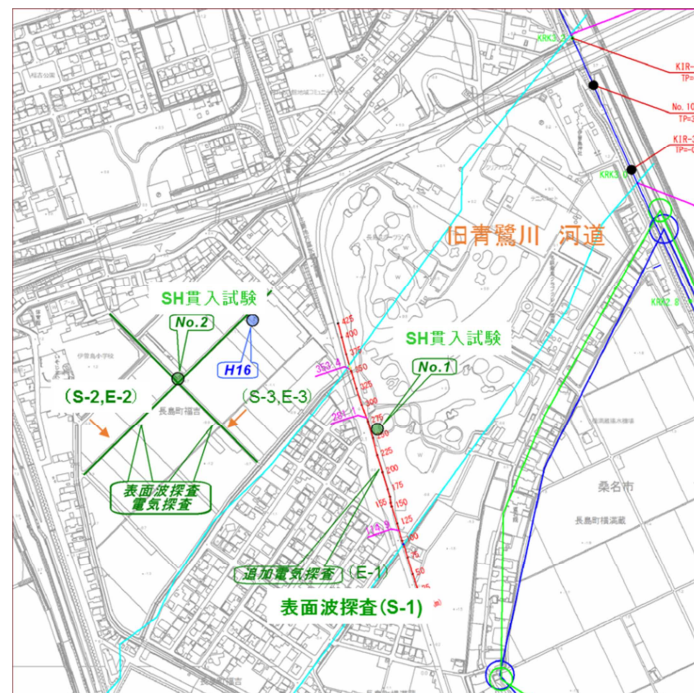


図 3.2.16 調査地点と調査測線

iii) ボーリング調査結果  
以下に調査ボーリング結果を示す。

BorNo.1

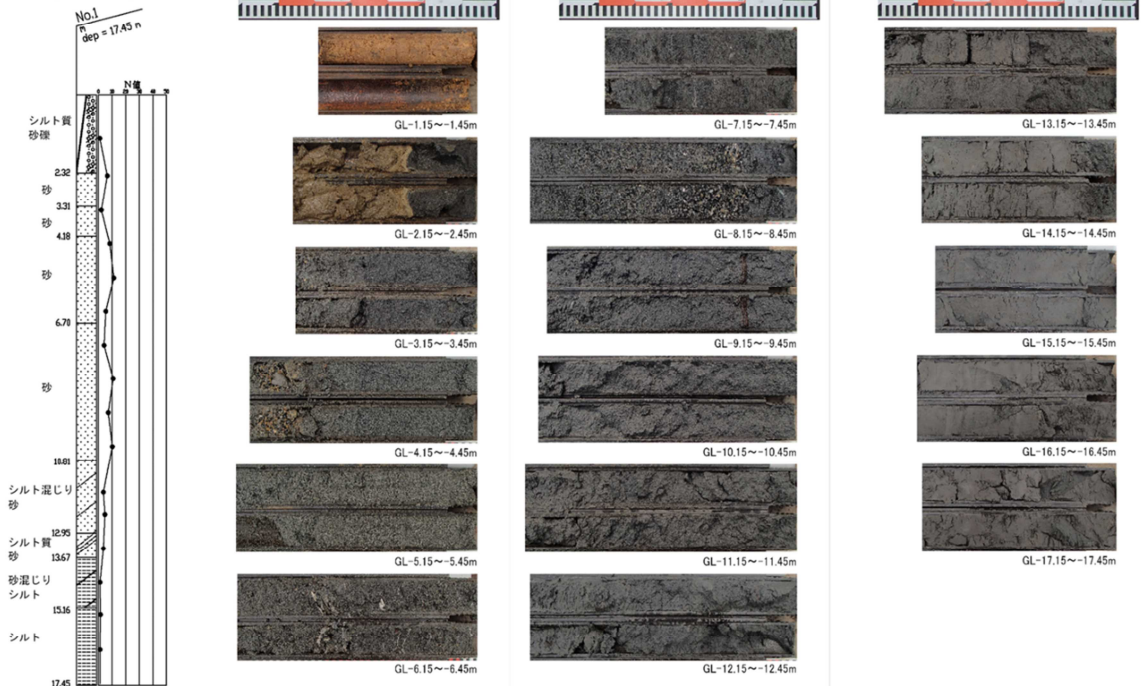


図 3.2.17 No.1 (河道内) ボーリング結果

BorNo.2

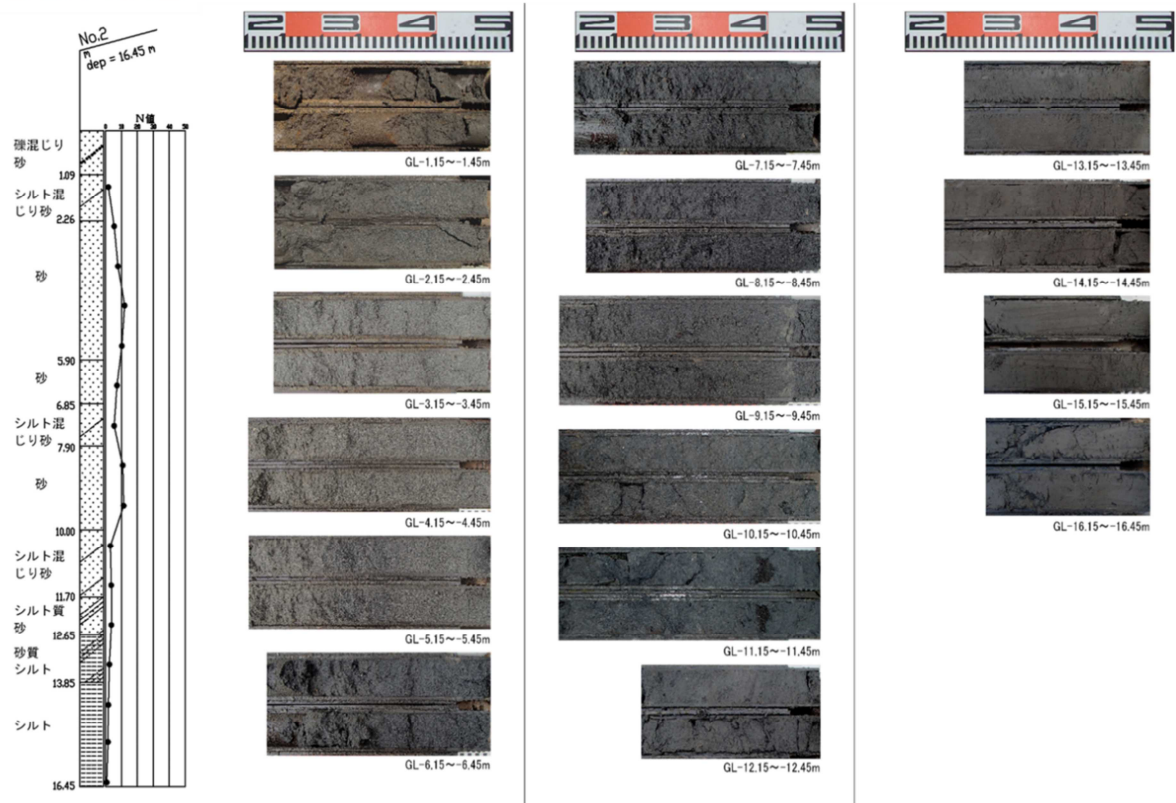
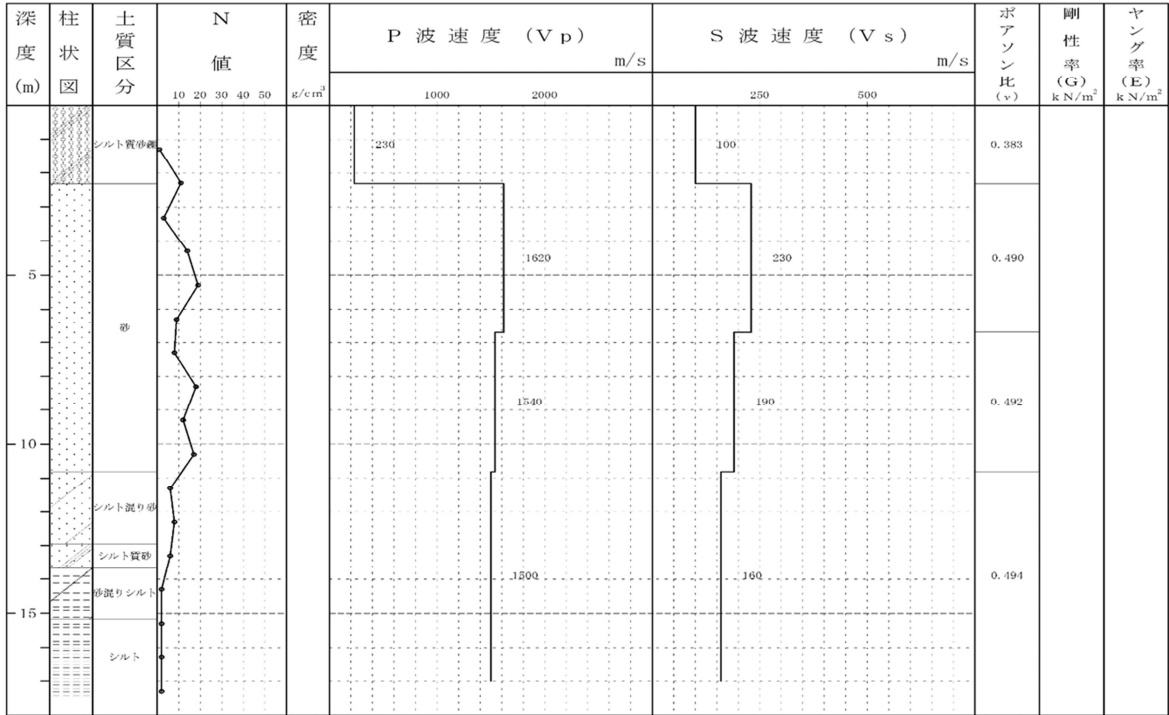


図 3.2.18 No.2 (河道外) ボーリング結果

# BorNo.1



# BorNo.2

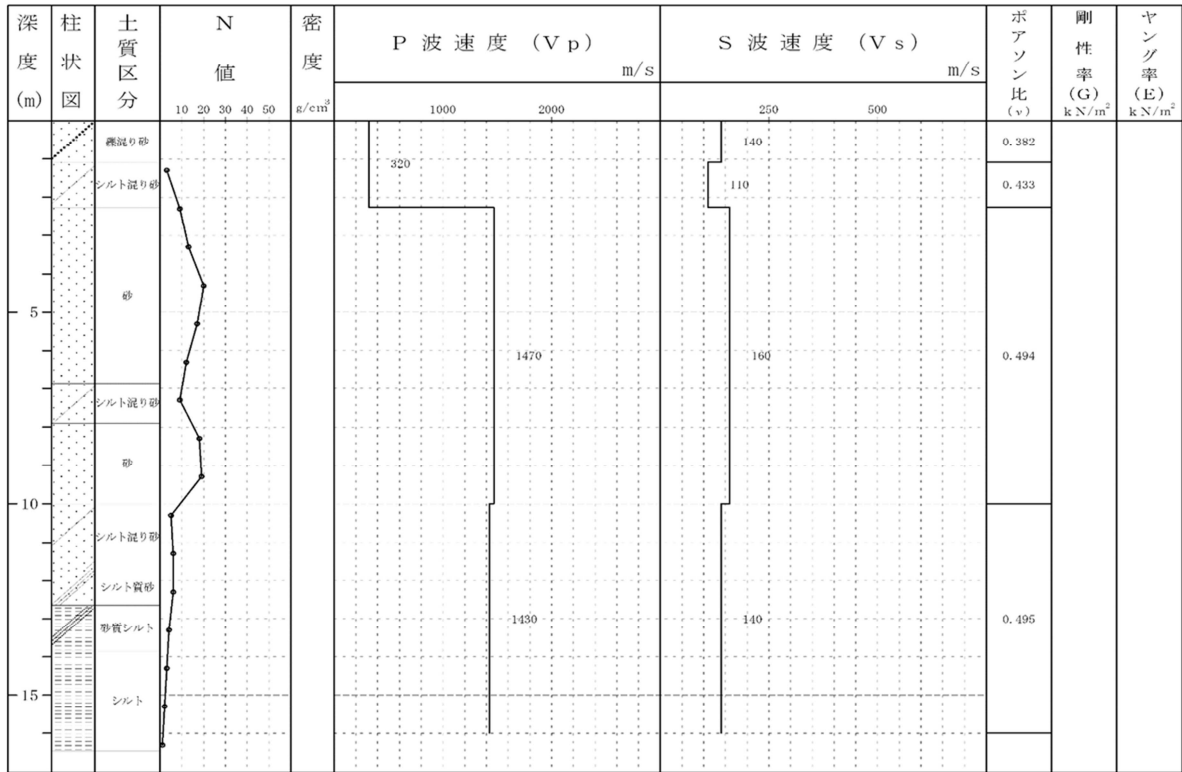


図 3.2.19 ボーリング No2.での PS 検層結果

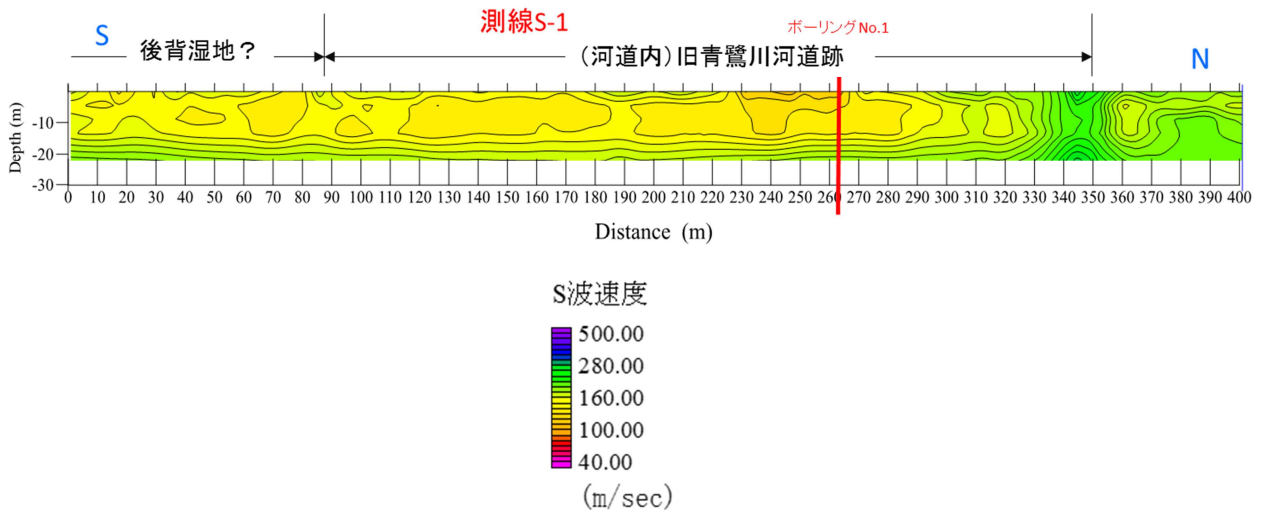


図 3.2.20 測線 S-1 (河道内) 表面波探査結果

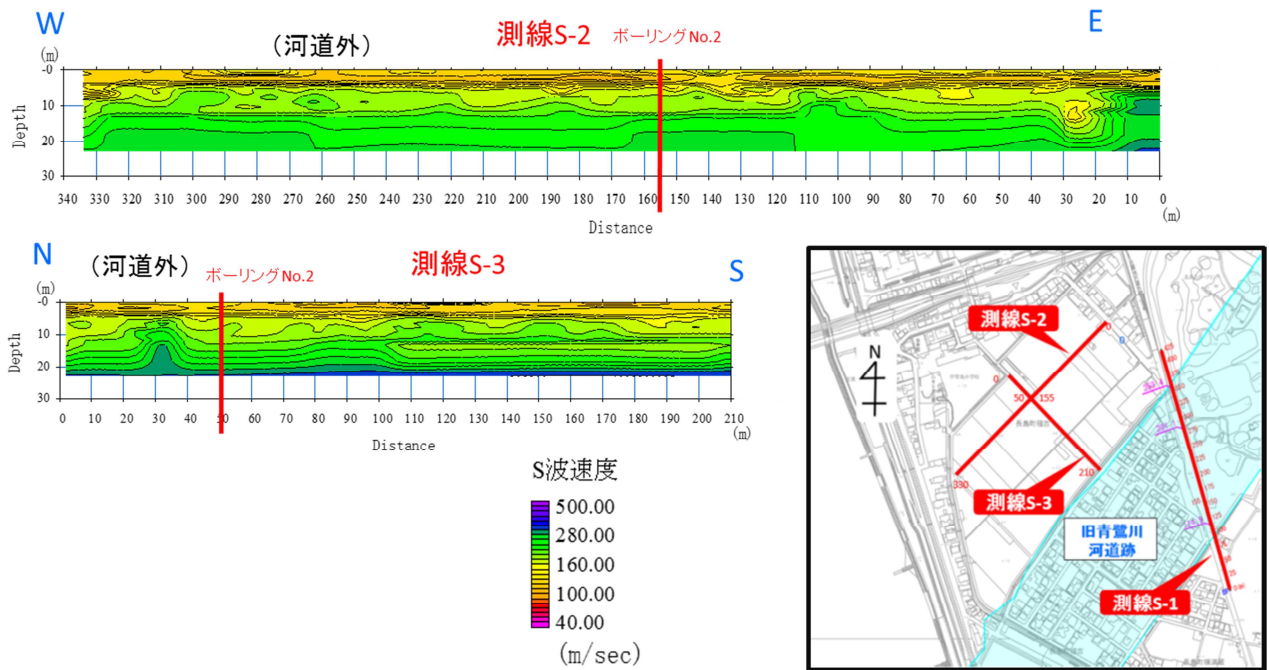


図 3.2.21 上部：測線 S-2 (河道外/河道と平行)，下部：測線 S-3 (河道外/河道と垂直) 表面波探査結果

図 3.2.21 より測線 S-1 では旧青鷺川跡河道内と想定される部分での S 波速度が小さい分布であることが分かり、軟らかい層が存在することが推察できる。また、S-1 と S-2, S-3 の測定器の誤差も考慮する必要があるが、測線 S-2, 測線 S-3 の結果と比較すると、S 波速度の大きさの差異は大きくはないが、河道外では成層状に堆積した地盤 (S-2, S-3) である一方、旧青鷺川跡河道内 (S-1) では S 波速度 (硬軟) の分布がばらついて成層状に堆積した地盤ではないようにも捉えることがき、河道内でも特に緩いところとそうでないところがあることが推察される。測線 S-1 の河道外についての後背湿地と記した部分の確認は必要であるが、この結果から埋立層は河道外の地盤よりも若干であるが緩い層が深いことが考えられる。

ボーリング No.1 コアの観察

旧青鷺川河道内の No.1 についてはサンプリングを実施したのでコアの観察を行い比較した。

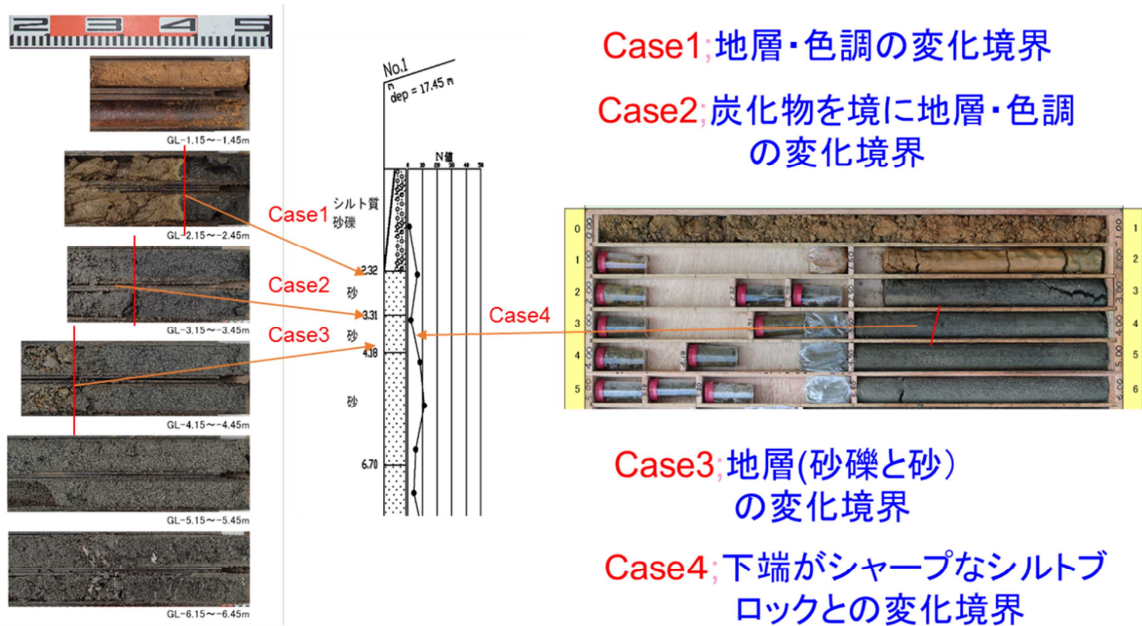


図 3.2.22 コアの観察と推定埋立て河床境界

コア観察の結果

コアの観察結果を整理すると表 3.2.1 のようになる。この中で最も可能性の高い Case2 から、川底までの深さを、3.3m と判断した。

表 3.2.1 コアの観察からの検討ケース

	境界特徴	検討	評価
Case1	地層・色調の変化境界	地層・色調の変化は明らかな境界であるが、川底とは言えない	可能性は低い
Case2	炭化物を境に地層・色調の変化境界	炭化物が水平に挟み地層・色調が変化	可能性は高い
Case3	地層(砂礫と砂)の変化境界	上位の砂礫がスライムに相当	可能性は無い
Case4	下端がシャープなシルトブロックとの境界	シルトブロックが上下部の砂層と差異が認められない	可能性は低い

検討結果による地質推定断面図

以上の結果から、旧青鷺川の埋土の厚さは約 3.30m になり、その結果を図 3.2.23 に示す。  
 また、表面波探査の拡大図、サウンディング結果とも比較して検証を行い、図 3.2.24 の表面波探査では埋土が S 波の低速度ブロックに相当し整合、さらに図 3.2.25 の SH 簡易貫入試験結果との対比では概ね一致する結果を得ることができた。

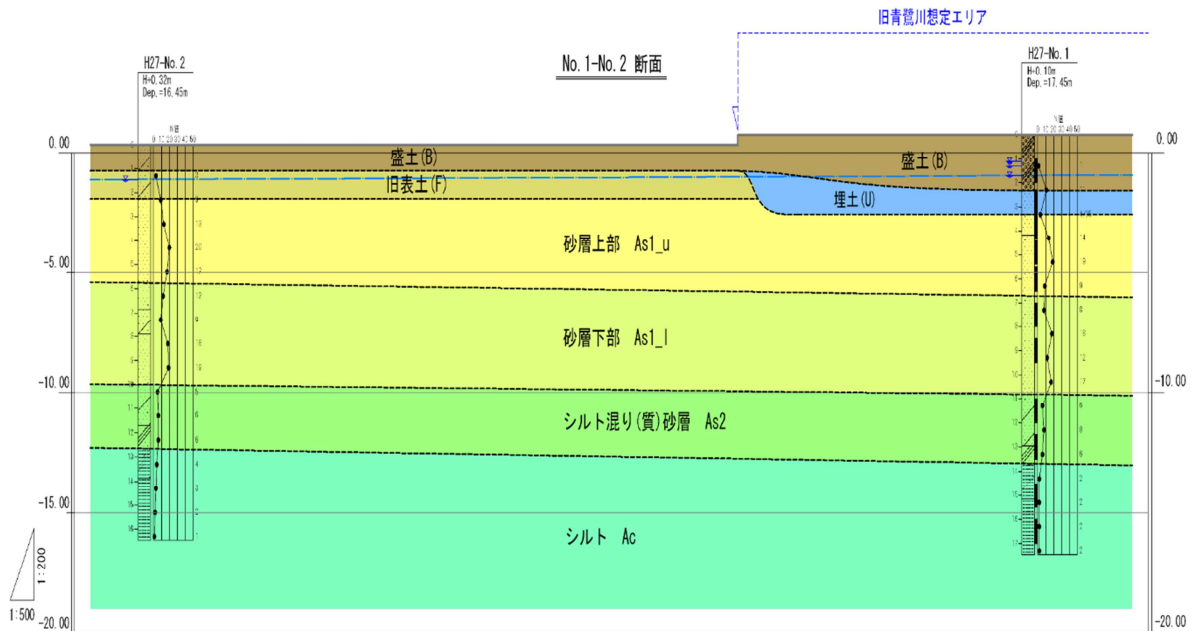


図 3.2.23 コアの観察と推定埋立て地盤

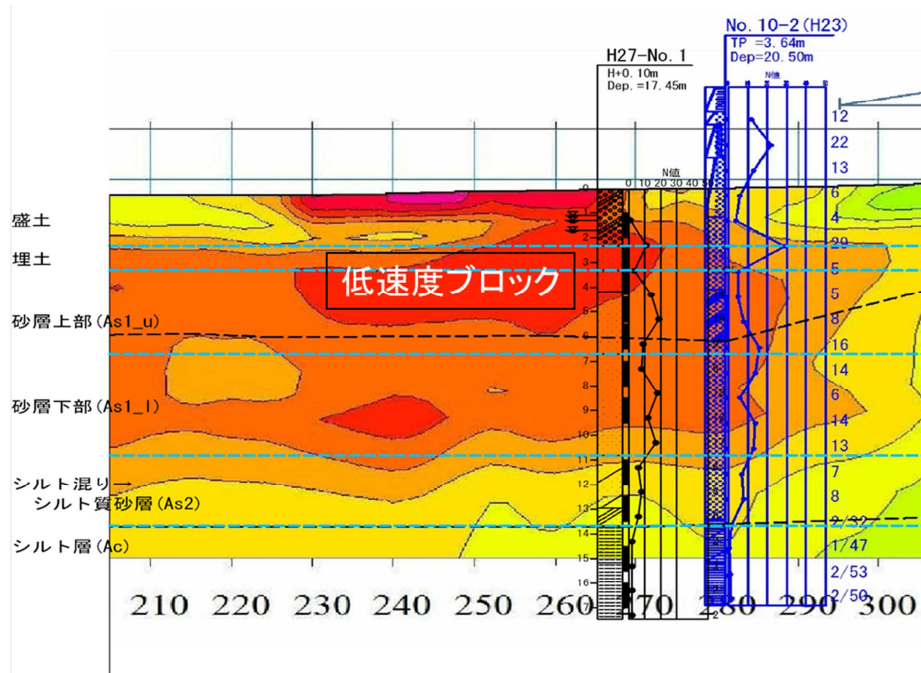


図 3.2.24 推定埋立て河床の表面波探査との検証



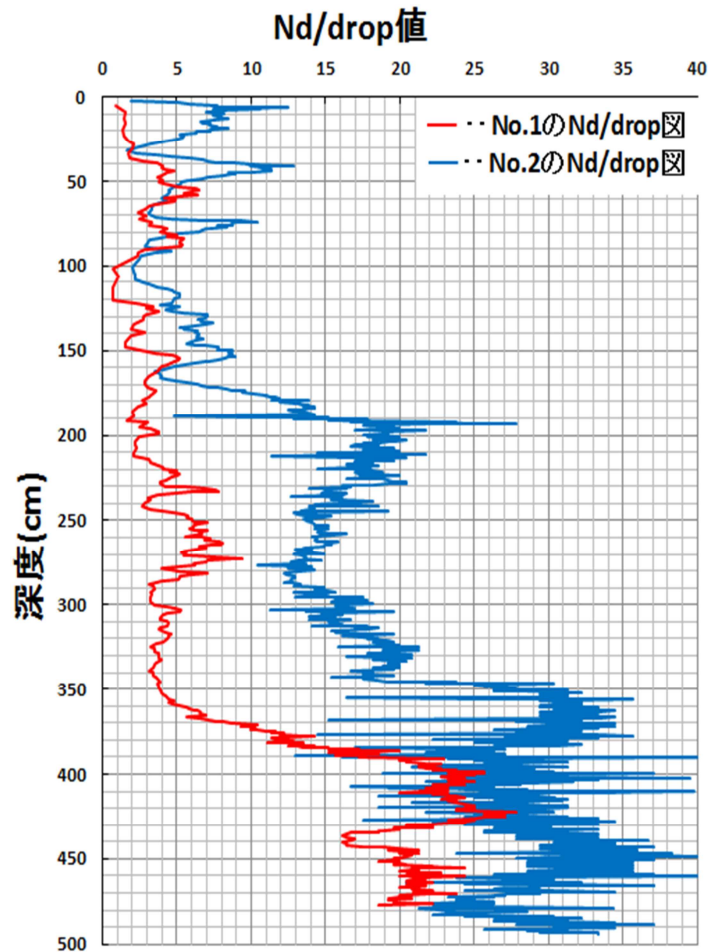


図 3.2.25(a) サウンディング (SH 型貫入試験) の結果

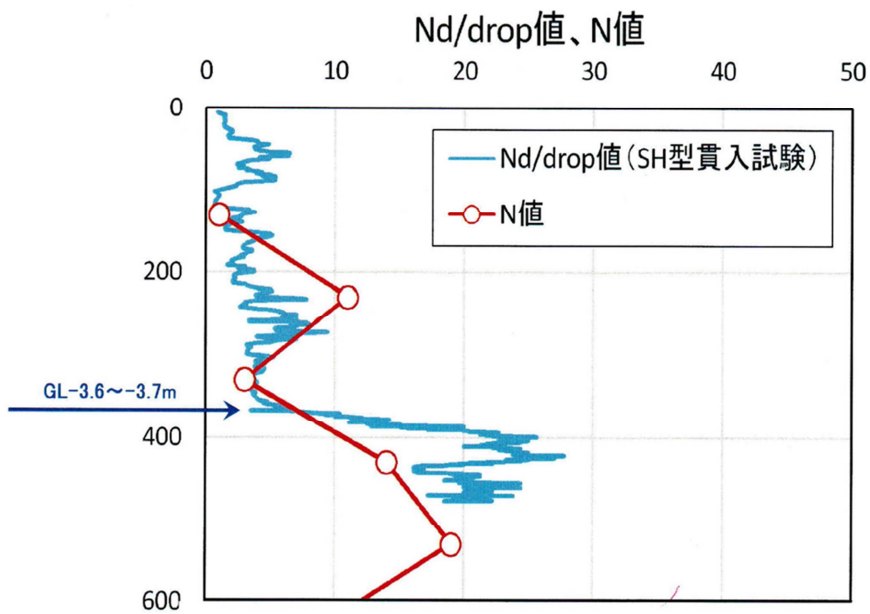


図 3.2.25(b) 推定埋立て河床境界のサウンディングとの検証

## (7)液状化の簡易判定

平成23年の東日本大震災では、震度5程度の中地震動から液状化現象が発生しており、液状化の発生については、地形条件や土地の造成履歴が密接に関係しているといわれている。

図3.2.26に長島町周辺での液状化履歴を「日本の地盤液状化履歴図」<sup>9)</sup>をもとに示す。図中の□印が1891年の濃尾地震、△印が1944年の東南海地震で液状化が発生した位置を示しています。記号の大きさは、液状化の起きた範囲の大きさではなく、液状化が発生した住所が過去の記録で特定できている場合ほど小さな記号になっている。今回の調査地点の北側では濃尾地震で液状化の発生が確認できているが、青鷲川の位置では濃尾地震でも液状化の発生が確認できていない。先の図3.2.6に示したように、濃尾地震の時は青鷲川が埋め立てられていなかったことによる。

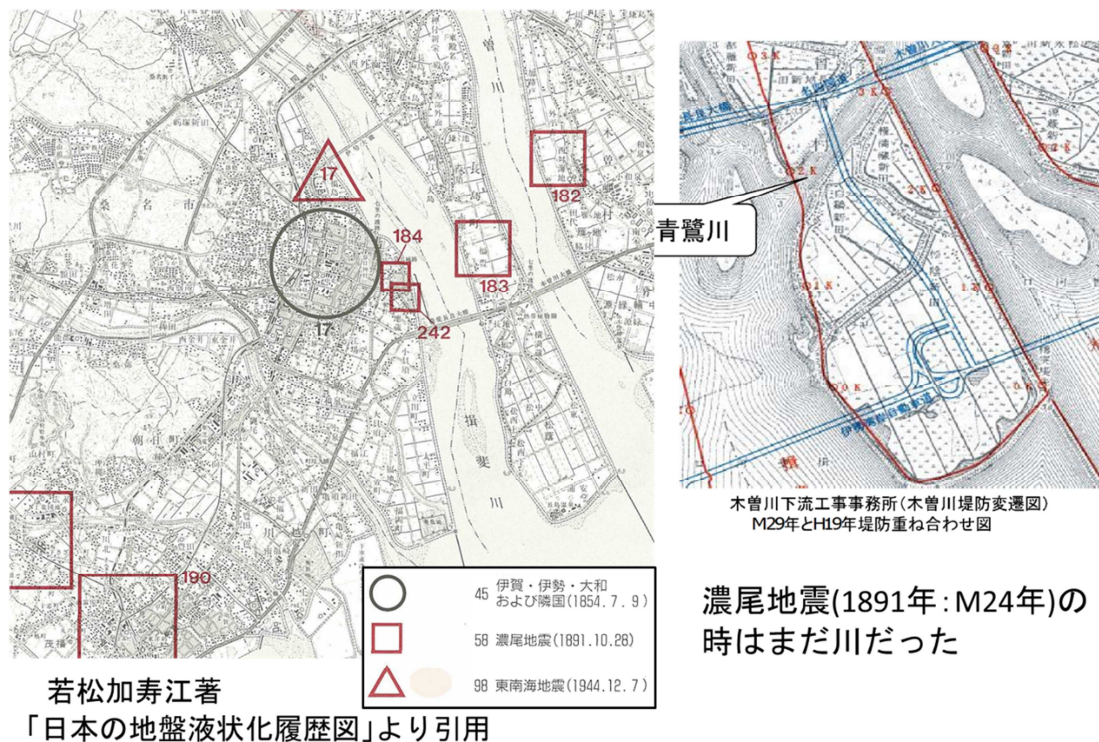


図 3.2.26 長島町周辺での液状化履歴

液状化の簡易判定のためには、地盤の液状化が地表面にどの程度の影響を与えるかで判定する。図3.2.27(a)に日本建築学会の小規模建築物基礎設計指針<sup>6)</sup>、図3.12.27(b)に、埋立地の液状化対策ハンドブック<sup>7)</sup>からの引用を示す。液状化の影響が地表面に及ぶ程度は、地表面から液状化が発生する層の上面までの非液状化層の厚さ $H_1$ と、その下の液状化層の厚さ $H_2$ の関係からこれらの図を用いて判定する。横軸が非液状化層厚 $H_1$ で、縦軸が液状化層厚 $H_2$ になっており、液状化層の厚さが厚くなると液状化の影響が大きくなり、非液状化層が厚くなると、影響が小さくなることはいえる。

図3.2.27(a)は中地震動、地表面の水平加速度が200galの場合を示しており、この場合、非液状化層が地表面から3m以上あれば、その下に何m液状化層があっても、液状化の影響が地表面に及ぶのが少なくなる。また、図3.2.27(b)は最大加速度200gal, 300gal, 400-500galの3本のグラフになっており、200galの場合、建築学会の図3.12.26(a)と同じ形になっている。これより、最大加速度が300galとなった場合、非液状化層が6m程度以上あれば、その下に何メートル液状化層があっても、液状化による地盤被害が発生しないという判定が得られることになる。

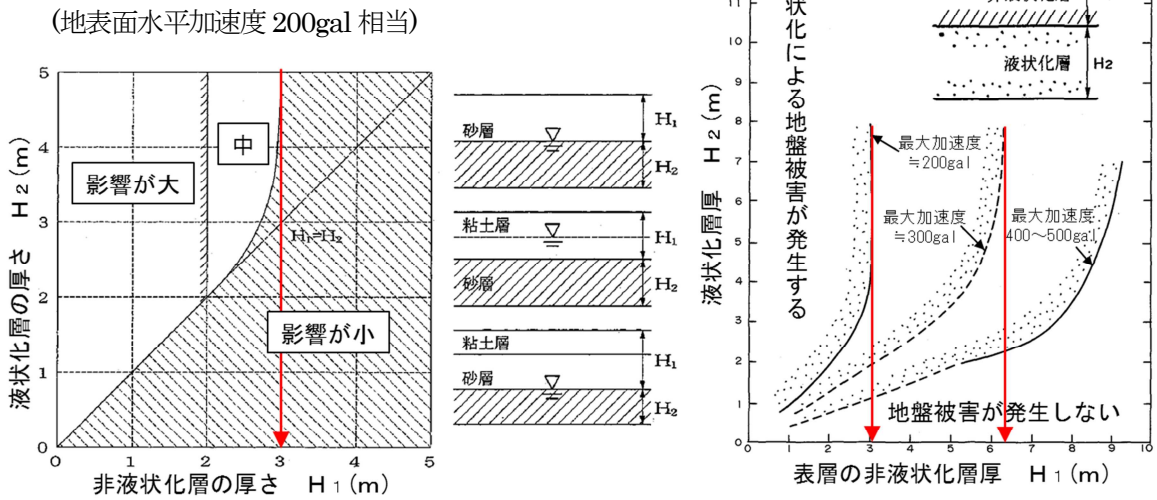
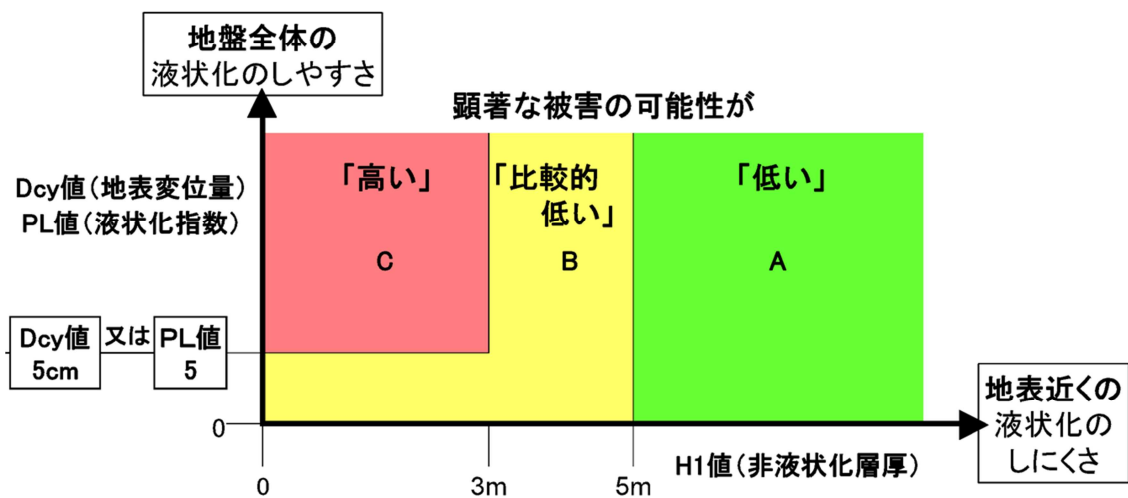


図 3.2.27(a) 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定<sup>6)</sup> 図 3.2.27(b) 液状化による地盤被害が発生する条件<sup>7)</sup>

液状化の影響が地表面に与える影響については、設計指針により違いが見られることから、平成 25 年 4 月に国交省から「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」<sup>8)</sup>という形で、宅地の液状化被害の可能性についてランク付けを行う判定法が示されており、それが図 3.2.28 である。横軸は非液状化層厚、縦軸は地表変位量 Dcy または液状化指数 PL 値をとる。

非液状化層が 5m を超えると顕著な被害の可能性が低いと判定され、非液状化層が 3m 以下で地表面の変位量が 5cm 以上、もしくは PL 値が 5 以上の場合には顕著な被害の可能性が高いと判定される。なお、中地震動(土木だとレベル 1 地震動)に対する宅地の液状化被害の可能性の目安を示すものであり、個別には建物特性によって被害発生状況は異なり被害の有無等を保証するものではないとしている。

**ボーリングデータを基に、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」等により、各種数値を算定し、下図により3段階で評価。(算出手法の一部を微修正。)**



※ 中地震動(震度5程度)に対する宅地の液状化被害の可能性の程度の目安を示すもので、個別には建物特性等によって被害発生状況は異なり、被害の有無等を保証するものではない。

図 3.12.28 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針<sup>8)</sup>

図 3.2.28 は、土木・建築両方の指針の液状化計算に対応しており、建築の場合は「建築基礎構造設計指針」に基づいて液状化計算を行い、非液状化層厚 $H_1$ と地表変位量 $D_{cy}$ もしくは $P_L$ 値より判定、土木の場合は、「道路橋示方書」に基づいて液状化計算を行い、非液状化層厚 $H_1$ と $P_L$ 値より判定される。ここに、非液状化層厚 $H_1$ と液状化層厚 $H_2$ は図 3.2.29 の関係にある。

- ・ 「建築基礎構造設計指針」で非液状化層厚 ( $H_1$ ) と地表変位量 ( $D_{cy}$  値) の関係から判定する方法
- ・ 「建築基礎構造設計指針」で非液状化層厚 ( $H_1$ ) と液状化指数 ( $P_L$  値) の関係から判定する方法
- ・ 「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」で非液状化層厚 ( $H_1$ ) と液状化指数 ( $P_L$  値) の関係から判定する方法

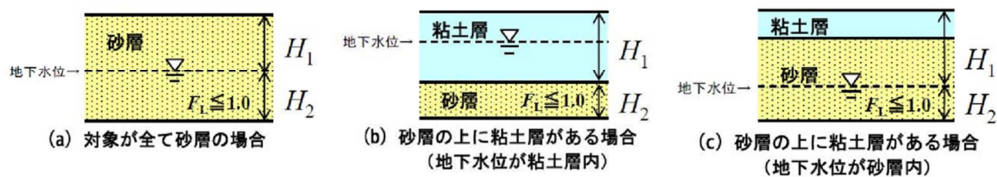
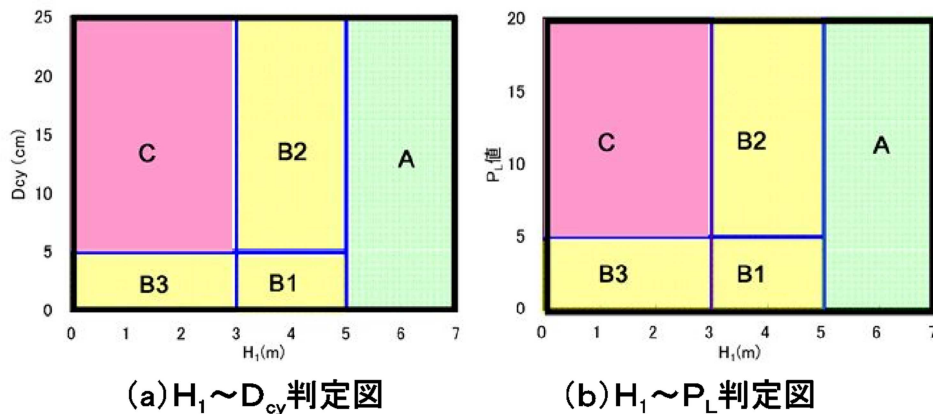


図 3.2.29 非液状化層厚( $H_1$ )と液状化層厚( $H_2$ )の関係<sup>9)</sup>

「市街地液状化対策推進ガイダンス」<sup>9)</sup>の液状化層厚 $H_1$ と地表変位量 $D_{cy}$ 、液状化指数 $P_L$ 値からの判定図を図 3.2.30 に示す。C ランクは顕著な被害の可能性が高い範囲で、A ランクは顕著な被害の可能性が低い範囲、B ランクは顕著な被害の可能性が比較的低いに判定分類される。液状化の判定から、宅地の液状化被害可能性判定までを一括して行える計算シートが国総研から提供されおり<sup>10)</sup>、次に青鷺川のボーリングで判定を行った結果をご説明する。



判定結果	$H_1$ の範囲	$D_{cy}$ の範囲	$P_L$ 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	—	—	顕著な被害の可能性が低い

図 3.2.30 宅地の液状化被害の判定方法

青鷺川ボーリングでの判定結果を使って建築基準の中地震動(設計用水平加速度 200gal, M=7.5)の結果を図 3.2.31 に示す. No1 が青鷺川の埋立地の位置で行ったボーリング (河道内) で, No2 が青鷺川の埋立地でない部分 (河道外) で行った結果を示している. 計算で使用するのは, 土の単位体積重量, N値, 粒度分布であり, 通常的设计に用いる土質調査のデータがあれば判定を行うことができる. この図の FL 値分布から, この赤い部分で液状化が発生すると判定される. この薄い緑色の部分は非液状化層を示している. この結果から, No1 (河道内) はCランクになり, 顕著な被害の可能性が高い範囲に分類されるが, No2 (河道外) は非液状化層厚が 5.5mあり, Aランクの顕著な被害の可能性が低い範囲に分類され, 両者の液状化判定結果に差異が見られた.

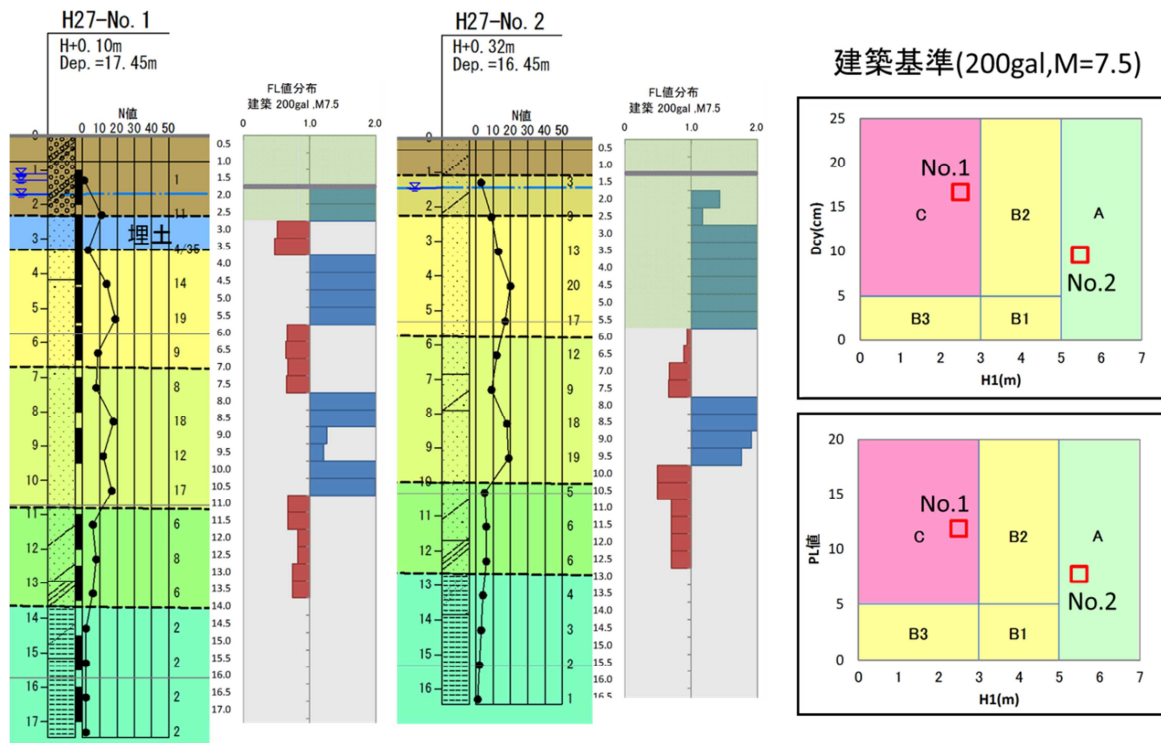


図 3.2.31 国総研「宅地の液状化被害可能性判定計算シート」<sup>10)</sup>による判定結果 (河道内)

南海トラフの巨大地震の場合, 地表面の水平加速度は, この判定で使用した 200gal より大きくなることから, 水平加速度を 1.5 倍の 300gal とした場合の計算を行った. その結果を図 3.2.31 に示す.

地表面の水平加速度が 300gal になると, 青鷺川の埋立地で無い No2 ボーリングでも表層部分で液状化が発生し, 判定結果は No.1, No.2 とともに顕著な被害の可能性が高いCランクになる.

宅地の液状化被害可能性判定より, 中地震動では青鷺川の埋め立て部の液状化により, 顕著な被害の可能性が高い結果を得たが, 地震動が大きくなると青鷺川の埋立地でない地域でも顕著な被害の可能性が高い結果となった.

そのため, 詳細な地盤調査に基づいた解析を行って違いを詳細に確認する必要があることが簡易液状化の宅地の液状化被害可能性判定より, 中地震動では青鷺川の埋め立て部の液状化により, 顕著な被害の可能性が高い結果となったが, 地震動が大きくなると青鷺川の埋立地でない地域でも顕著な被害の可能性が高い結果よりわかった.

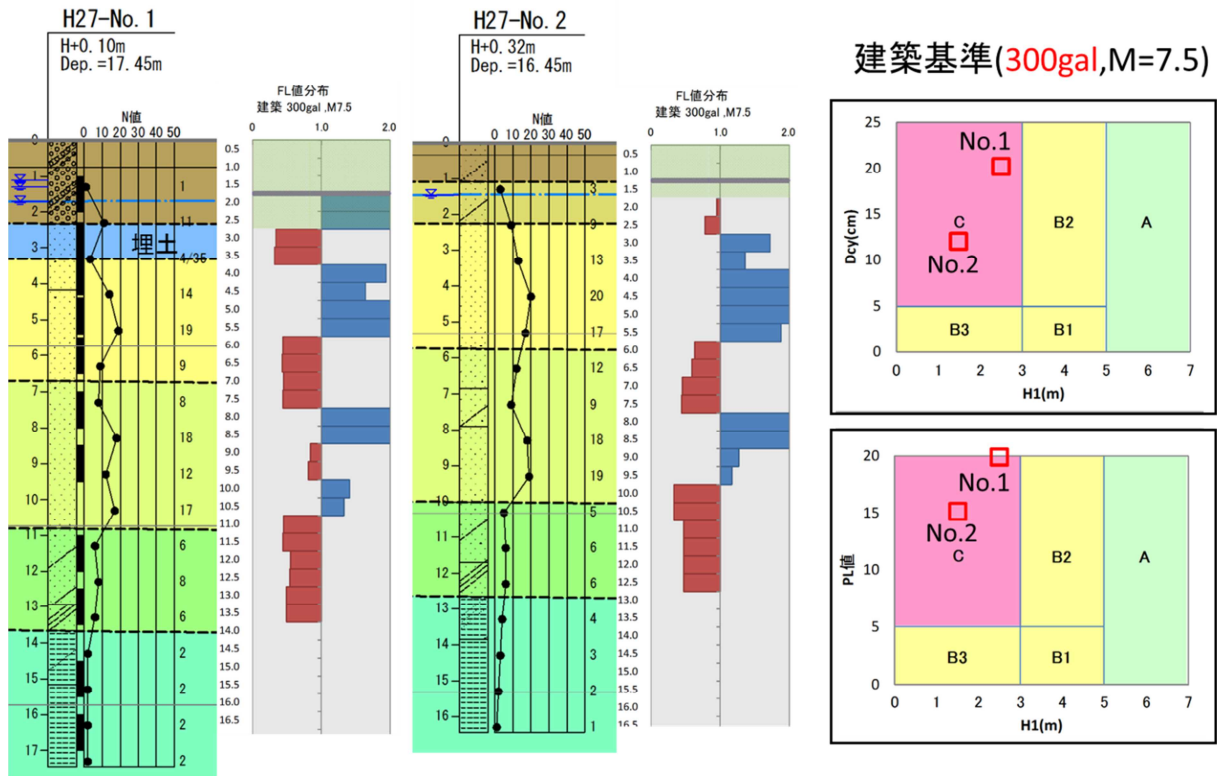


図 3.2.32 国総研「宅地の液状化被害可能性判定計算シート」<sup>10)</sup>による判定結果  
(No.1 : 河道名, No.2 : 河道外)

(8) 土質試験と動的応答解析

i) サンプルング状況

今回、青鷺川河道内における試料の凍結サンプルングを行い、物理試験（土粒子密度、粒度試験）、力学試験（CU-B、繰返し三軸、圧密試験（CRS/段階载荷））を実施した（図 3.2.33）。図中には、サンプルングの数と、試験状況を示す。

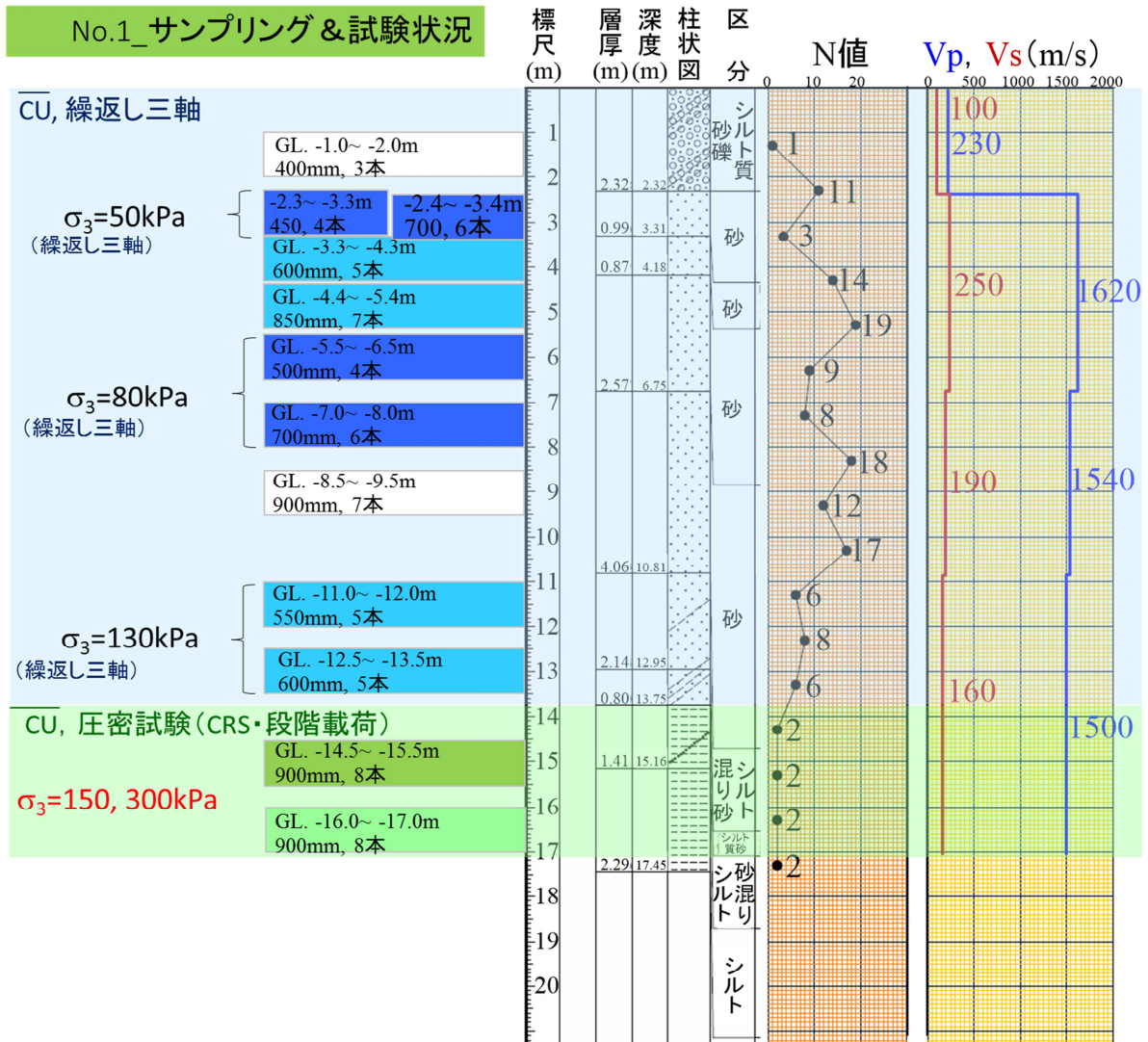


図 3.2.33 サンプルング深さと試験状況

ii) 粒度試験結果

粒度試験の結果を砂層は図 3.2.34、シルト層は図 3.2.35 に示す。砂層ではほぼ同じ粒度を示す傾向が得られている。埋立層厚が 3.3m 程度とすると粒度試験の情報は 3m 以深であるため、埋立て土の違いは推定できないが、深さ 5m まで同じ砂が堆積しており、深さ 5-6m にはやや粒径が粗くなり、また同じ砂が堆積している傾向が読み取れる。深くなるほどシルトの混じりが多めの傾向を呈している。

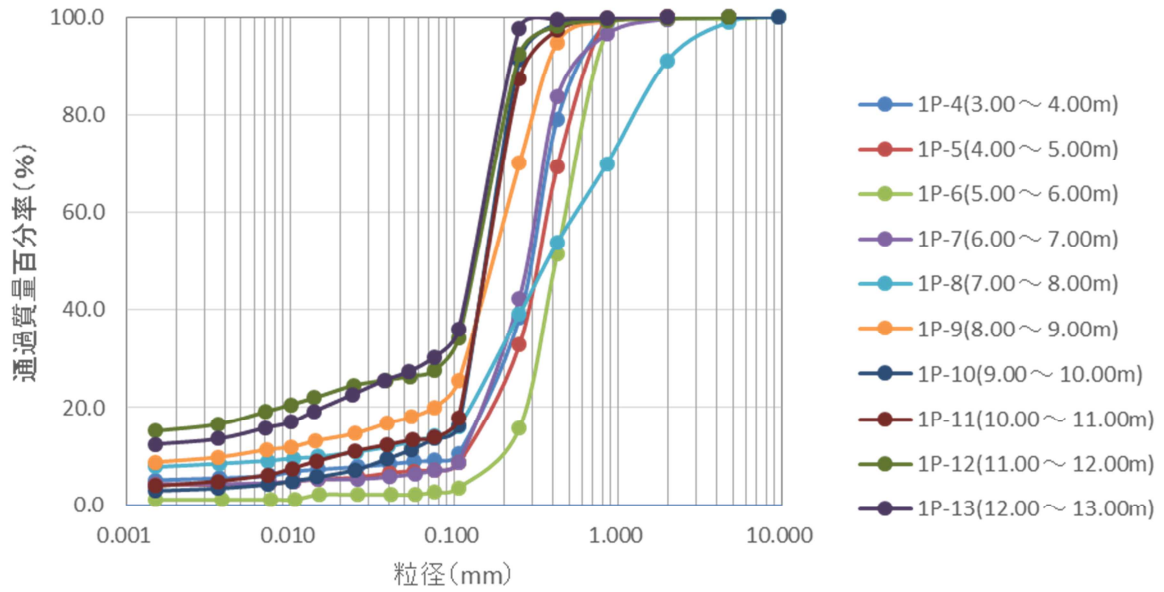


図 3.2.34 砂層の粒度分布

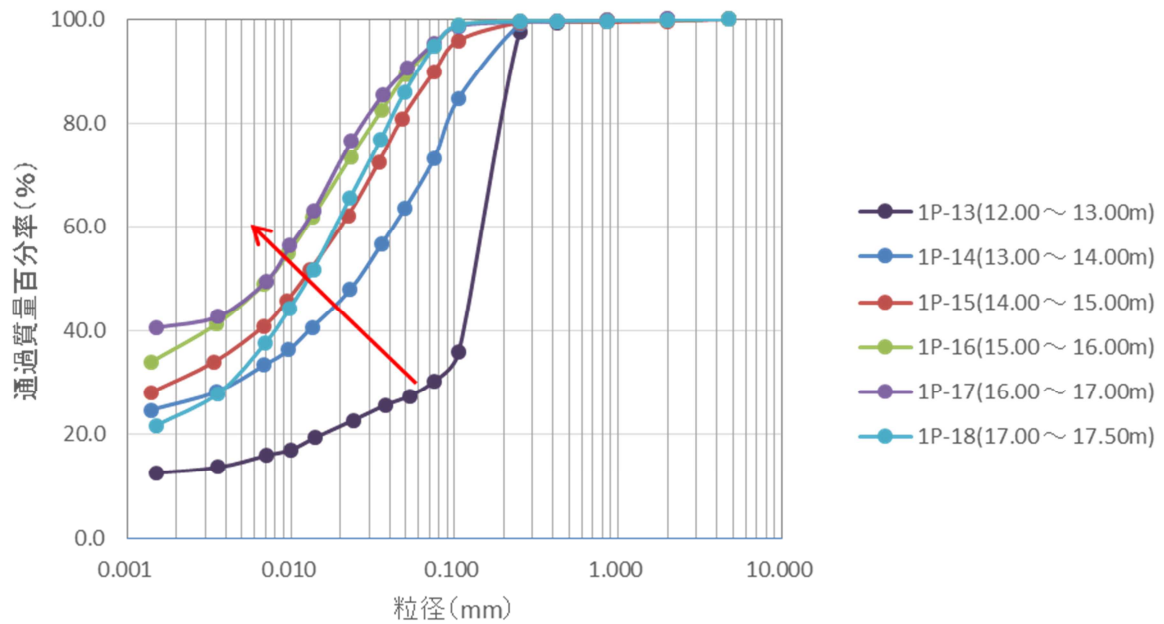


図 3.2.35 シルト層の粒度分布

### iii)液状化試験

繰り返し非排水三軸試験結果を図 3.2.36 に示す。V<sub>p</sub>, V<sub>s</sub> と合わせて示す。1S-3 はややばらついた傾向にあった。これらの結果、繰り返し応力振幅比は上部から RL=0.281, 0.232, 0.285, S 波速度はほぼ現場検層の結果に近い値となり、深さによる差異は少ないものと推察される。



# 液状化試験

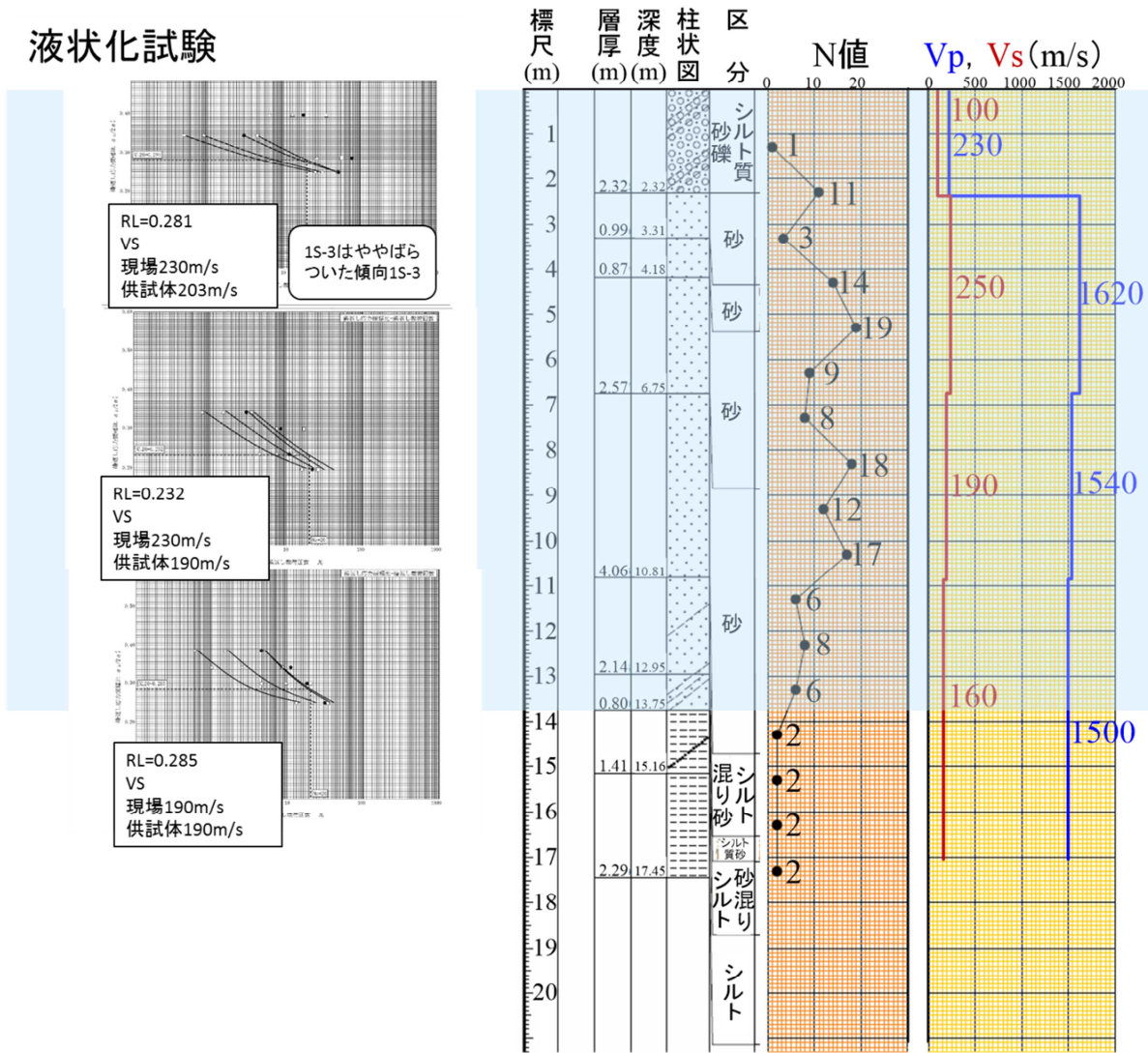


図 3.2.36 液状化強度試験と PS 検層データ

## iv) シルトの力学特性

深さ 14m 以下のシルトの強度特性を一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験により評価した。かなり鋭敏な傾向にあるシルトであることがわかる。

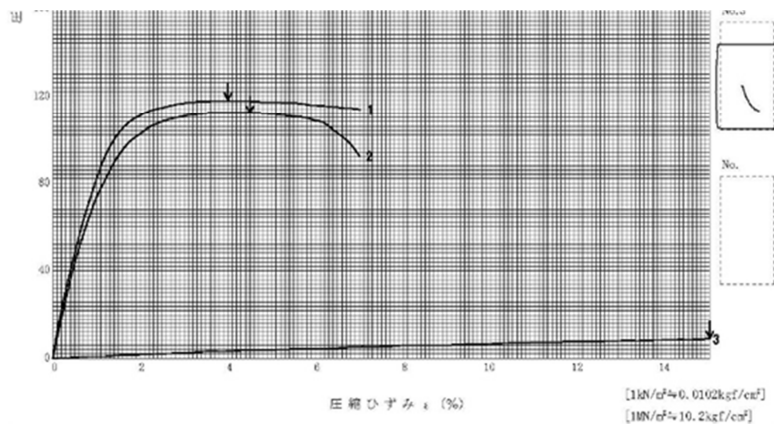


図 3.2.37 シルトの一軸圧縮試験

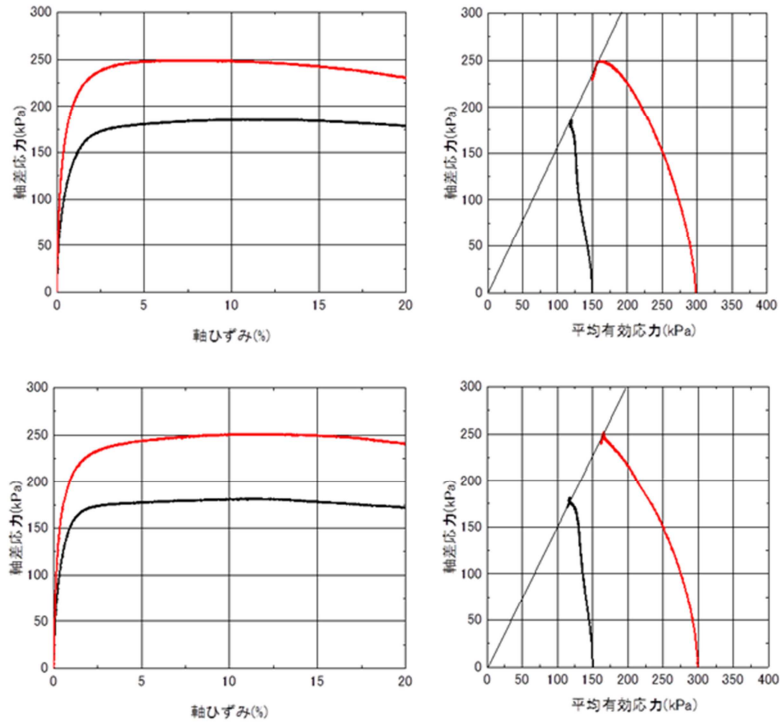


図 3.2.38 シルトの三軸圧縮試験

V) 地盤調査に基づく地盤構造のモデル化と解析メッシュ

近隣の既存のボーリングデータを利用して図 3.2.39 のように地盤構造をモデル化した。また、幅 200m、深さ 40m の解析メッシュを設定した (図 3.2.40)。

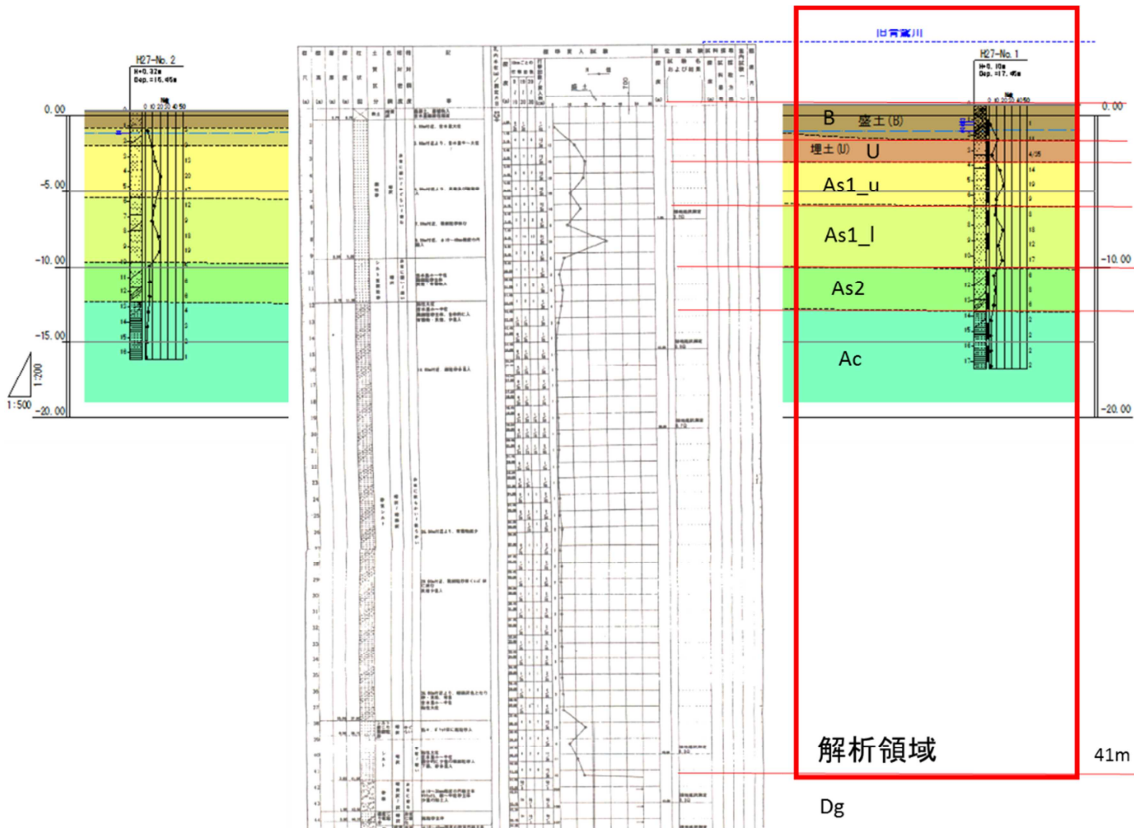


図 3.2.39 地盤構造のモデル化

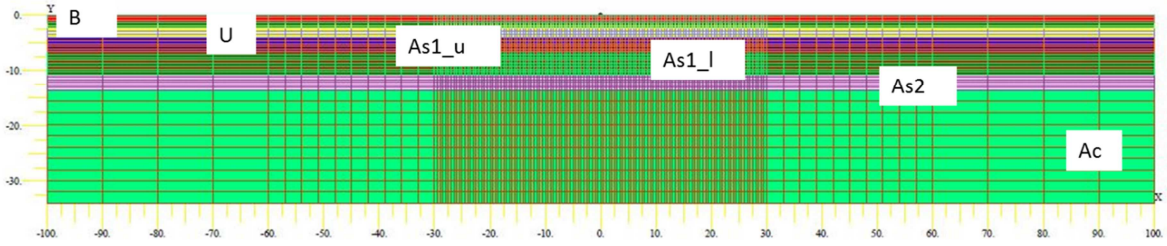


図 3.2.40 動的応答解析に用いる解析メッシュ

vi) 入力地震動の作成

入力基盤面の波形は、現在公開されている図中の近隣での2つのケースを(H15 中央防災会議公開 東海・東南海・南海地震波, H24 内閣府公開 南海トラフ地震波(陸側ケース))を用いた。

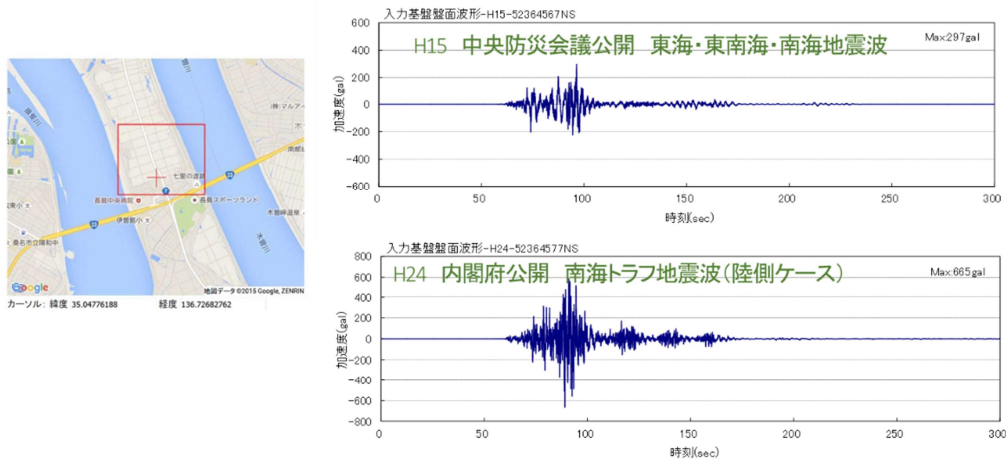


図 3.2.41 2つの入力基盤面波形

vii) 詳細な地盤調査と室内土質試験による解析パラメータの決定

地盤調査および室内土質試験の結果から解析パラメータを図 3.2.42 のように決定した。また各層におけるシミュレーションによるモデル化の結果を図 3.2.43 に示す。

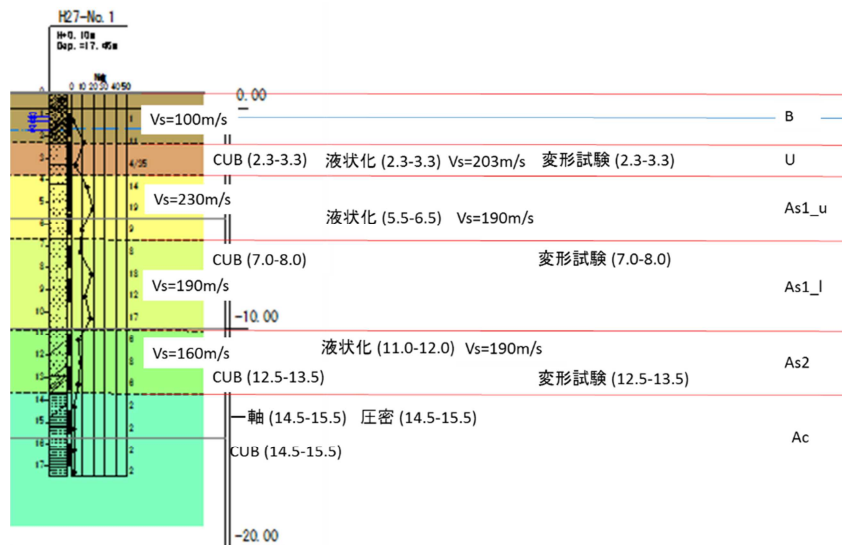


図 3.2.42 解析パラメータの決定

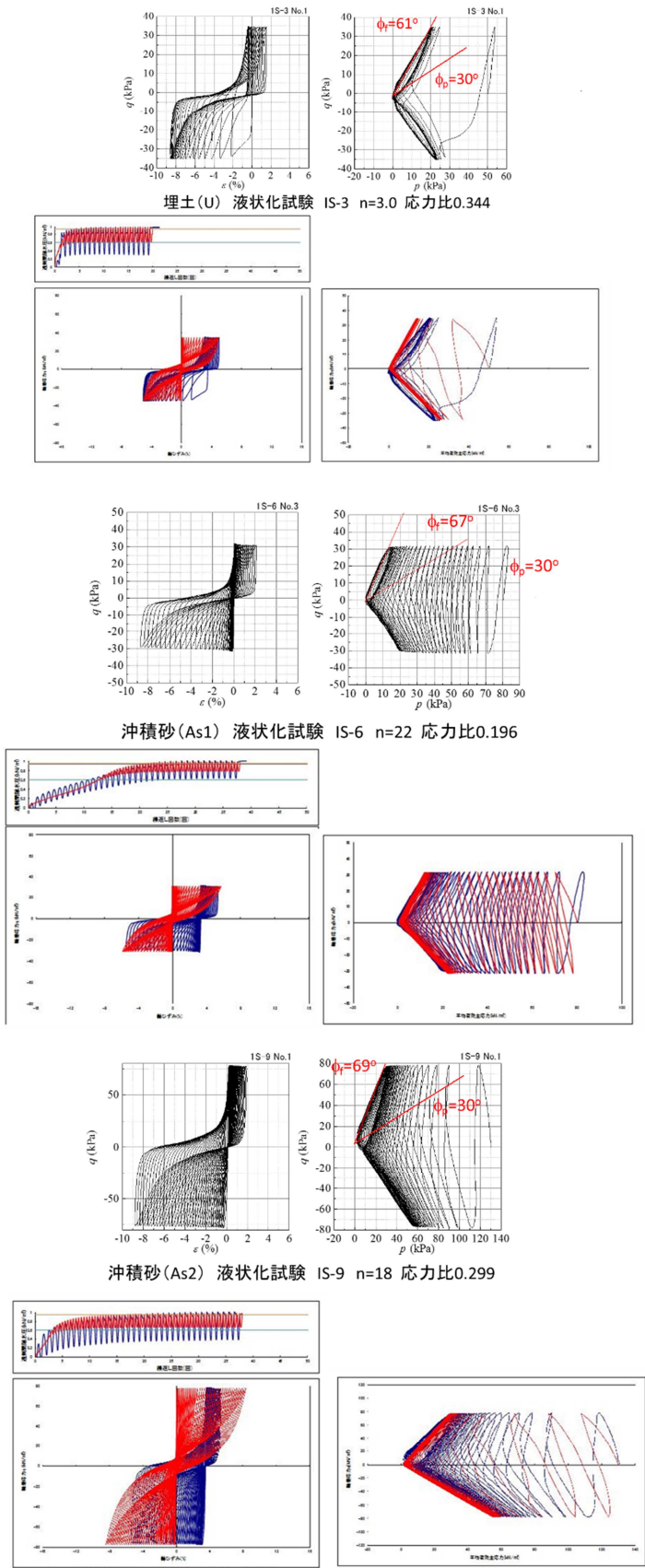


図 3.2.43 液状化試験と数値シミュレーションによるモデル化

viii) 液状化解析による動的応答解析

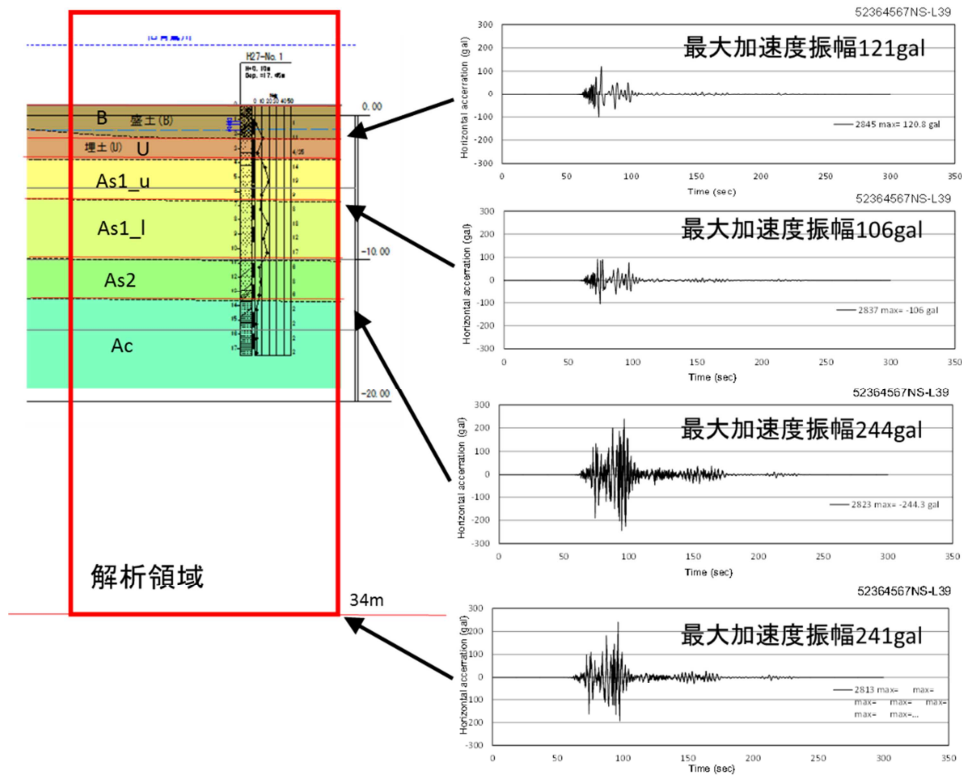


図 3.2.44 (H15 東海・東南海・南海地震)

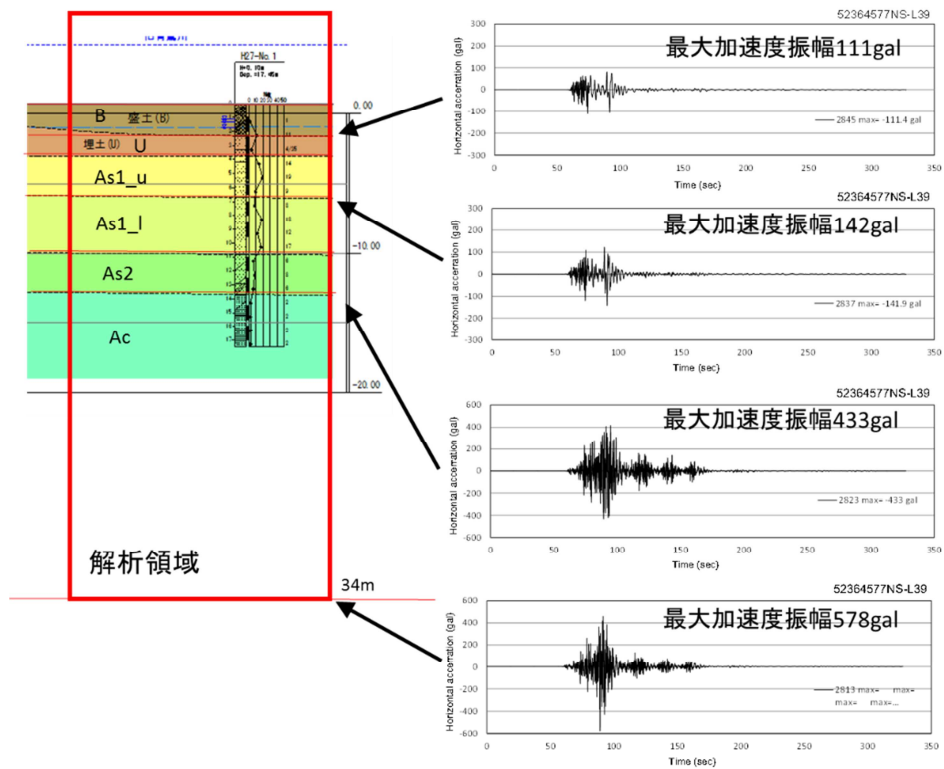


図 3.2.45 (H15 東海・東南海・南海地震)

ix) 液状化解析によるせん断ひずみ分布と過剰間隙水圧非分布 (2 ケース)

B 層から As2 層まですべて液状化するとした場合 43cm※の地盤沈下が懸念される。

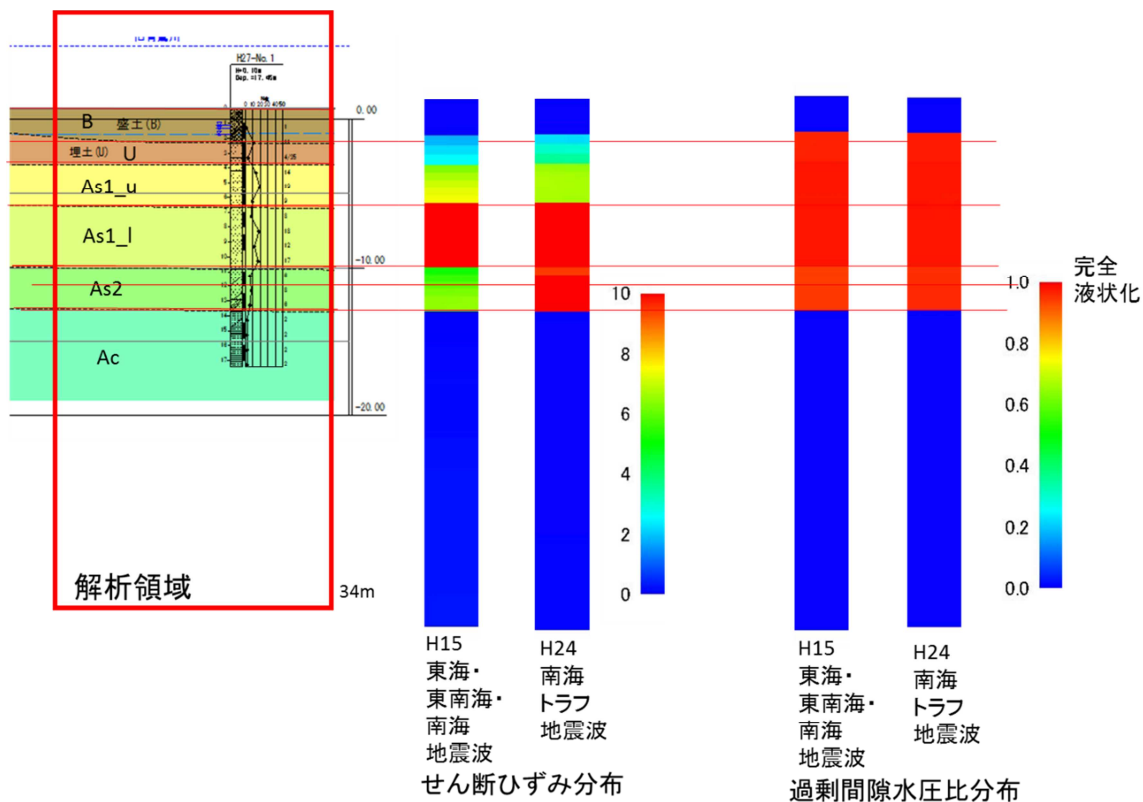


図 3.2.46 せん断ひずみ分布と過剰間隙水圧比分布

x) 青鷺川プロジェクトのまとめ

- 炭化物を水平に挟み地層・色調が変化するコアの観察、その他の調査結果からも青鷺川跡の埋土層厚は約 3.3m と推定された。
- 埋土の N 値は 10 以下と緩く、その下 10m までは N 値は 10-20 程度で中ぐらいに締まった砂である。
- 10m 以深においてはシルトを含むようになり非常に緩い層である。
- 14m 以深においては粘土層（近傍のボーリングデータからの推定）が厚く存在している。
- 旧青鷺川跡河道内外の表面波探査の比較の結果、S 波速度の大きさの差異は大きくはないが、河道外では成層状に堆積した地盤構造に対して、河道内（S-1）は S 波速度の分布がばらついており成層地盤の傾向を呈しておらず、硬軟のばらつきがあることが推察された。
- 旧青鷺川跡河道内と河道外ではレベル 1 の地震では液状化判定に差異が得られたが、レベル 2 地震では両者とも顕著な液状化被害と判定された。
- 旧青鷺川跡河道内での地盤調査と室内実験に基づき、液状化シミュレーションによる動的解析の結果、南海トラフ巨大地震のようなレベル 2 の地震では計算によれば 50cm 程度の沈下の可能性が考えられた。

### 3.2.4 貫入抵抗値の波形解析による地盤調査の開発<sup>11)</sup>

#### (1)研究の背景と目的

地盤情報を取得する方法として標準貫入試験とボーリングによるサンプリングが使用されているが<sup>12)</sup>、堤防などの延長が長く層が変化する構造物の場合には、密に行う必要があり時間と費用の問題がある。本研究は、深度 5m までの浅層部ではあるが、標準貫入試験や簡易貫入試験と異なり、最小 1m 貫入量まで計測できるサウンディング試験 (SH 型貫入試験<sup>4)</sup>) から地盤の層厚や土質種の区別をサンプリングせずに客観的に行う方法について検討を行った。

#### (2) SH 型貫入試験概要

SH 型貫入試験は動的サウンディング試験の 1 つで、簡易動的コーン貫入試験と長谷川式土壌貫入計の特徴を活かした試験である。3 kg 及び 5 kg の重錘を 50 cm の高さから落下させ、先端の貫入コーンを地盤に貫入し、1 打撃毎の貫入量をデータロガーで測定する。これから 10 cm 貫入させるための打撃回数に換算した貫入抵抗値  $Nd'/drop$  値 (式(3.4.2.1)) と  $Nd/drop$  値 (式(3.4.2.2)) を求め、地盤の硬軟を判断する。

$$Nd' / drop \text{ 値} = \frac{100}{3\text{kgハンマー1打撃における貫入量}} \text{ (mm)} \quad (3.2.4.1)$$

$$Nd / drop \text{ 値} = \frac{100}{5\text{kgハンマー1打撃における貫入量}} \text{ (mm)} \quad (3.2.4.2)$$

SH 型貫入試験の特徴として、1) 3 kg の重錘で試験を行うことができるため軟弱な地盤に対しての分解能が高いことが挙げられる。2) 他のサウンディング試験として標準貫入試験や簡易動的コーン貫入試験等があるが、ある長さ貫入させるために必要な回数を求めるものである。一方、SH 型貫入試験では 1 打撃毎の貫入抵抗値を求めるためデータ量が多く解析の幅が広がる。3) 櫓や広い調査スペースを必要とせず持ち運びも容易なため、短時間で調査ができ、1 日に複数箇所でのデータが取得可能なためデータの比較が容易である。

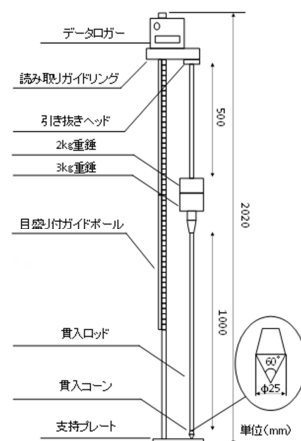


図 3.2.47 SH 型貫入試験機

#### (3)地層境界の判別

図 3.2.48 は三重県桑名地区における深度 5m で No.1 は約 400 点、No.2 で約 900 点の  $Nd/drop$  値を取得したデータを示す。なお、今回 2m 横でボーリングによるサンプリングを行っている。  $Nd/drop$  値は砂質土のように貫入抵抗の高い土で構成させた層では大きくなるが、粘性土のように貫入抵抗の低い土で構成された層では小さくなるため、層が変化するところで  $Nd/drop$  値の変動の幅や感覚が大きくなると見ることができる。そこで本研究では、  $Nd/drop$  値の変動係数を用いて層の変化から層境界の推定を試みた。  $Nd/drop$  値の変動係数は式(3.2.4.3)で求められる。

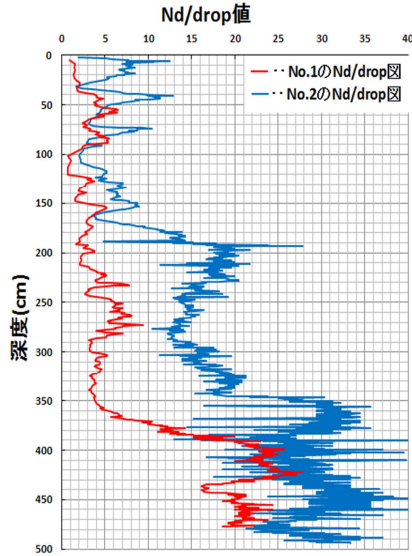


図 3.2.48 SH 型貫入試験の結果

$$CV_n = \frac{\sigma_n}{\bar{x}_n} \quad (3.2.43)$$

ここに、 $CV_n$ :Nd/drop 値の変動係数  $\sigma_n$ :Nd/drop 値の標準偏差  $\bar{x}_n$ :Nd/drop 値の平均値である。

図 3.2.49, 図 3.2.50 の赤い実線は Nd/drop 値の変動係数を一打撃目の Nd/drop 値から深度方向に一点ずつ増やしながら算出していった変動係数である。変動係数が増加するという事は、Nd/drop 値がそれ以前の値から大きく変化していることを示し、逆に変動係数が小さくなるということは、Nd/drop 値がそれ以前の値と類似していることを示す。このことから、変動係数が増加し始める地点から減少していき、また増加し始める前の地点までが同じ層なのではないかと判断した。しかし、図 3.2.49 のように波形が細かく境界の判別が困難な地点がある(深度 250~270cm)。そこで、一打撃当りの貫入量の変動係数を式 (3.2.4.4)より求め Nd/drop 値の変動係数との積を求めることで変動係数の変化を強調させた。図 3.2.49, 図 3.2.50 の緑色の実線が  $CV_n$  である。

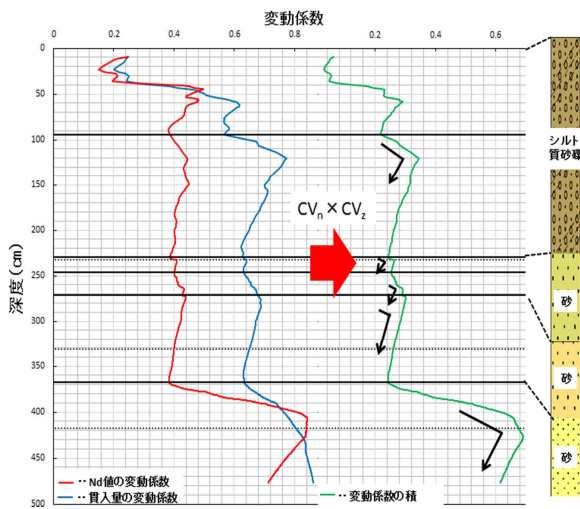


図 3.2.49 No.1 の変動係数

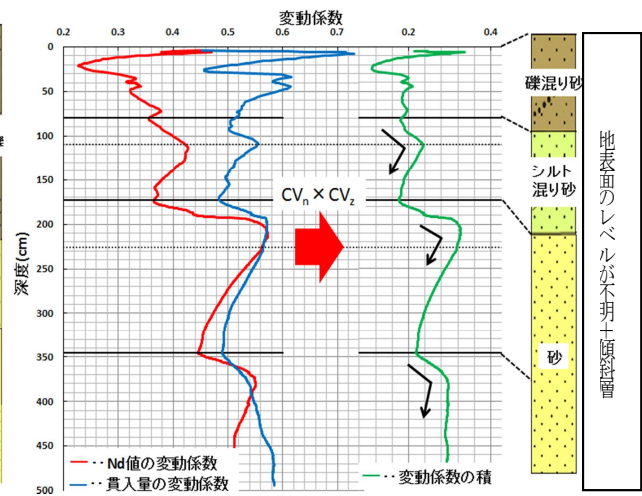


図 3.2.50 No.2 の変動係数



$$CV_z = \frac{\sigma_z}{\bar{x}_z} \quad (3.2.4.4)$$

$$CV = CV_n \times CV_z \quad (3.2.4.5)$$

ここに、 $CV_z$ :貫入量の変動係数、 $\sigma_z$ :Nd/drop 値の標準偏差、 $\bar{x}_z$ :Nd/drop 値の平均値、 $CV$ :変動係数の積である。

CV より地層境界の判別を行うと、図 3.2.49 の深さ 10cm 程度の薄層(深度 230cm 付近)であっても地層境界の判別を行うことができた。図 3.2.49、図 3.2.50 の右に示すボーリング柱状図は、SH 型貫入試験を行った地点より 2m 隣の地点で行ったボーリング調査結果である。ボーリング柱状図と比較すると深度が一致していないが、これは地盤内が傾斜しており、また、ボーリング調査と SH 型貫入試験を行った地表面のレベルが異なるのが原因と考える。

#### (4) 高速フーリエ変換による土質の特定化

SH 型貫入試験では Nd/drop 値を用いて波形を得ることができる。そこで、高速フーリエ変換によるスペクトル解析を行い、土質毎の特徴を得ることが出来ないか分析を行った。しかし、高速フーリエ変換を行うにはデータの個数が 2 のべき乗であることと、時間データの間隔が等間隔である必要があり、SH 型貫入試験から得られる波形データは後者の条件を満たしておらず、等間隔に改める必要がある。そこで、3 次スプライン補間を用いて関数を求め、等分割してデータを等間隔に改めた。3 次スプライン補間とは、

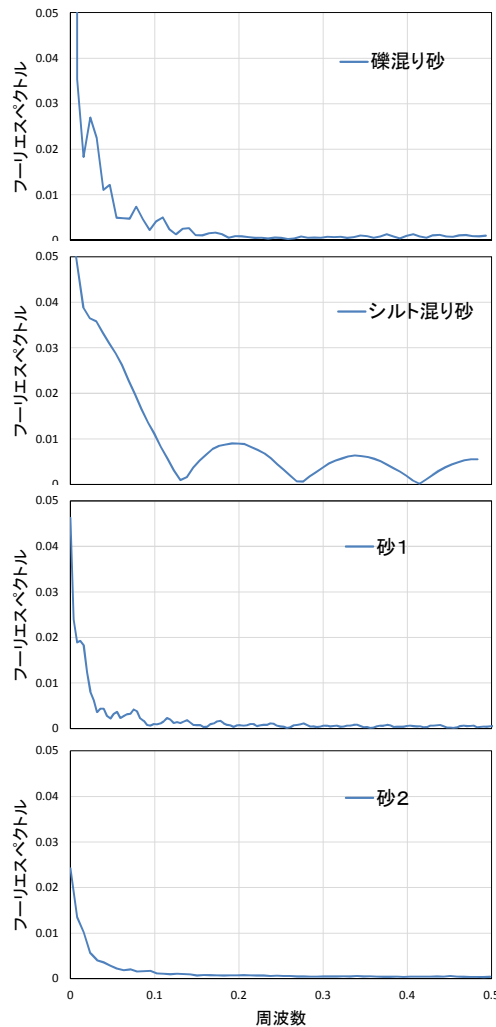


図 3.2.51 土質毎のフーリエスペクトル

点と点の間

の各小区間を3次の多項式で連続して計算し、近似することにより各小区間の繋ぎ目の傾き、曲率が滑らかな曲線を得ることができるものである。

図 3.2.51 は高速フーリエ変換の結果を表している。礫混り砂、シルト混り砂、砂いずれもフーリエスペクトルの分布に違いがみられ、特徴的であることが得られた。また、砂1と砂2のフーリエスペクトルは類似しており、土質が類似しているとフーリエスペクトルの分布も同傾向になるということが考えられる。また、土質毎にフーリエスペクトルが特徴的であることが得られたことから提案した変動係数<sup>11)</sup>を用いた地層境界の判別が可能であるということが示されたと考える。

### 3.2.5. 南海トラフ地震時の河川堤防の変状予測<sup>13)</sup>

#### (1)研究の背景と目的

南海トラフ地震のような巨大地震時の河川堤防の変状を高精度に事前予測することは喫緊の課題であるが、それを行う解析ツールの整備が十分に進んでいるとは言えない。現在、有限変形解析などの最先端の解析手法の開発が進められているが、現行の耐震性照査に用いられている解析ツールの適用性などを把握しておくことも重要である。今回、東海地方のある都市河川の堤防を対象として、現行のレベル2地震に対する耐震性照査の適用性と課題を検討するために詳細な地盤調査に基づくケーススタディーを実施した。具体的には、工学的基盤面までのボーリング調査、主要な深度における粘性土、砂質土を含めた不攪乱試料のコア採取<sup>14)</sup>、それら不攪乱コア試料による詳細な室内試験（静的、動的）<sup>15)</sup>、工学的基盤面まで含めたPS検層などである。本報では、これらの成果に基づき地盤のモデル化を行い、時刻歴地震応答解析を実施した結果を示す。

#### (2)解析条件

地盤調査は平成26年1月に実施し、ボーリングによるコア試料の採取の他、ボーリング孔を用いたPS検層（ダウンホール法）を実施した。また、採取した不攪乱試料を用いた室内試験を行った。それらの成果を用いて解析に用いる各種の土質パラメータの設定を行った。地震応答解析には、河川堤防耐震性照査の実務で一般的によく用いられる液状化解析コードFLIPを用いた。解析に用いた地盤モデルを図3.2.52に示す。堤防断面は、当該河川を管轄する河川事務所より提供を受けた河川横断測量データを用いている。図は堤体部分を拡大したものであるが、実際の解析領域は、堤体天端を中心として250mの範囲とした。なお、図の左側が川表であり、解析領域の左端が河道中心なるように設定している。また、メッシュの両端部では粘性境界とした。地盤構造は水平と仮定し、ボーリング時に確認した土質とPS検層のS波速度分布を慎重に検討することによって、基礎地盤6層と盛土層の合計7層にモデル化した。基礎-6より下は、N値とS波速度から工学的基盤面であると判断した。なお、基礎地盤の一番上の層（以降、基礎-1と表記）は粘性土層であり、基礎-2、基礎-3は砂質土の液状化層（液状化強度 $RI=0.24$ ）であり、基礎-4は比較的厚い粘性土層が堆積しており、その下の基礎-5ならびに基礎-6はやや密詰めの砂質土層（液状化強度 $RI=0.31$ ）である。地震応答解析は、内閣府中央防災会議が平成15年に公表した東海・東南海・南海地震波と内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会が平成24年に公表した南海トラフ地震波（陸域ケース）をベースに行った。特に後者の南海トラフ地震波は、5連動型の地震を想定した理論上最大の地震波である。それぞれの地震波をFDELによって距離減衰を考慮して当該地点の基盤波に変換し、等価線形解析によって工学的基盤面まで引き上げた。図3.2.53にそれぞれの最終的な入力地震動を示す。東海・東南海・南海地震に比べて、南海トラフ地震の入力地震動は最大加速度が5倍程度もある。さらに、地盤調査および室内試験とモデル化を図3.2.54に示す。

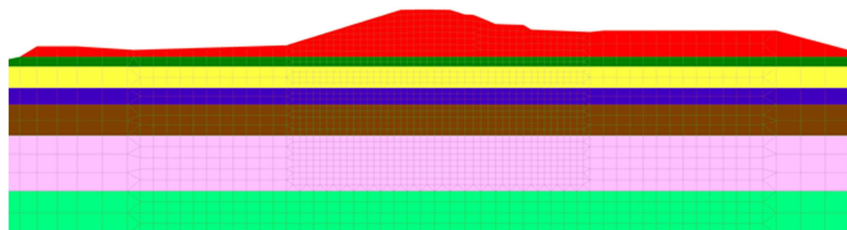


図 3.2.52 解析に用いた地盤モデル

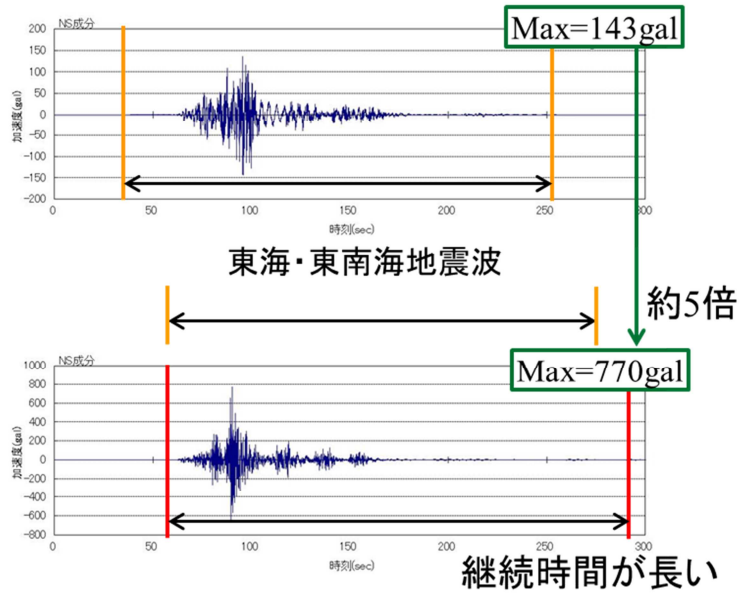


図 3.2.53 解析に用いた地盤モデル

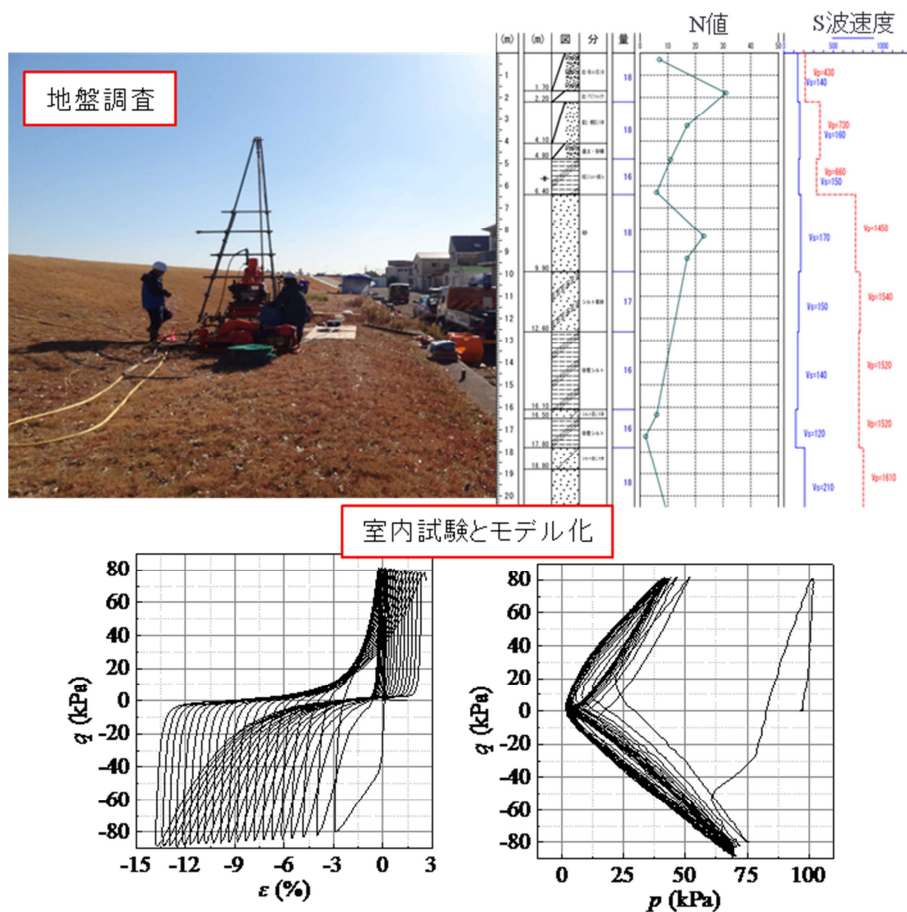


図 3.2.54 地盤調査および室内試験とモデル化

### (3)解析結果

表 5.2.2 に本解析で求められた鉛直変位量を示す。堤防天端直下の位置における盛土ならびに基礎地盤の各層の鉛直圧縮量である。ボーリング調査位置における盛土材料は礫質土であり、強度定数は  $c=0$ ,

表 3.2.2 解析による各層の変形量と天端沈下量

地層名	土質	東海・東南海・南海 沈下量 (cm)	南海トラフ 沈下量(cm)		
			基本	粘着力 5kPa	粘着力 10kPa
盛土	砂礫	4.6	693.3	74.1	48.6
基礎-1	粘性土	0.6	18.3	18.6	16.6
基礎-2	砂質土	1.1	34.1	38.3	38.0
基礎-3	砂質土	0.6	20.4	24.5	24.7
基礎-4	粘性土	0.9	31.5	37.8	38.7
基礎-5	砂質土	1.1	37.4	44.5	47.6
基礎-6	砂質土	0.7	7.1	5.6	5.8
合計 (天端沈下量)		9.6	842.1	243.5	220.1

=30° を基本として設定した。東海・東南海地震の沈下量を見ると、盛土層において 5cm 程度の圧縮以外に、基礎地盤の変形はほとんど見られず、全体としての天端沈下量は 10cm 未満 (9.6cm) となっている。本地点からおよそ 100m 下流からは液状化対策のため地盤改良工事が行われたが、本地点は対策不要と判定されている。その判定結果は、今回の東海・東南海地震波によるわずかな変形のみという解析結果と整合している。一方、南海トラフ地震の天端沈下量は、基本ケースにおいては合計 8.4m となっており、盛土だけでも元の堤防高以上の 7m の変形が発生しており、微小変形解析の範疇を超えた不合理な解析結果となった。ただし、過大な変位が計算されているのは盛土部に限られていることから、拘束圧が低い盛土部の粘着力  $c$  をゼロと設定したために盛土部での計算が発散したと判断し、盛土部のみの粘着力を  $c=5\text{kPa}$  ならびに  $10\text{kPa}$  としたケースを追加した。表 1 の沈下量には、それらの結果も示している。ちなみに、 $c=5\text{kPa}$  以下の解析も実施したが、 $c=0$  とした基本ケースと同様に、盛土部の変位が不合理に大きくなった。逆に、 $c=5\text{kPa}$  以上になると、 $c=10\text{kPa}$  の結果を見てもわかるように、盛土部を含めて各層の変位は大きく変わらず、最終変位量は粘着力にそれほど敏感ではなくなる。以上より、本報の解析においては、 $c=5\text{kPa}$  のケースが比較的合理的な結果を与えているものと判断し、以降で示す南海トラフ地震の解析結果は  $c=5\text{kPa}$  のケースを中心に説明する。なお、 $c=5\text{kPa}$  においても、最終的な天端沈下量の解析値は当該地点の照査外水位とほぼ同等であることを付記する。

図 5.2.55 に水平加速度応答、水平変位ならびに鉛直変位の時刻歴を示す。青線が堤防天端直下、緑線が基礎-2 上面の点における解析結果である。東海・東南海・南海地震の加速度応答は、いずれの位置にお

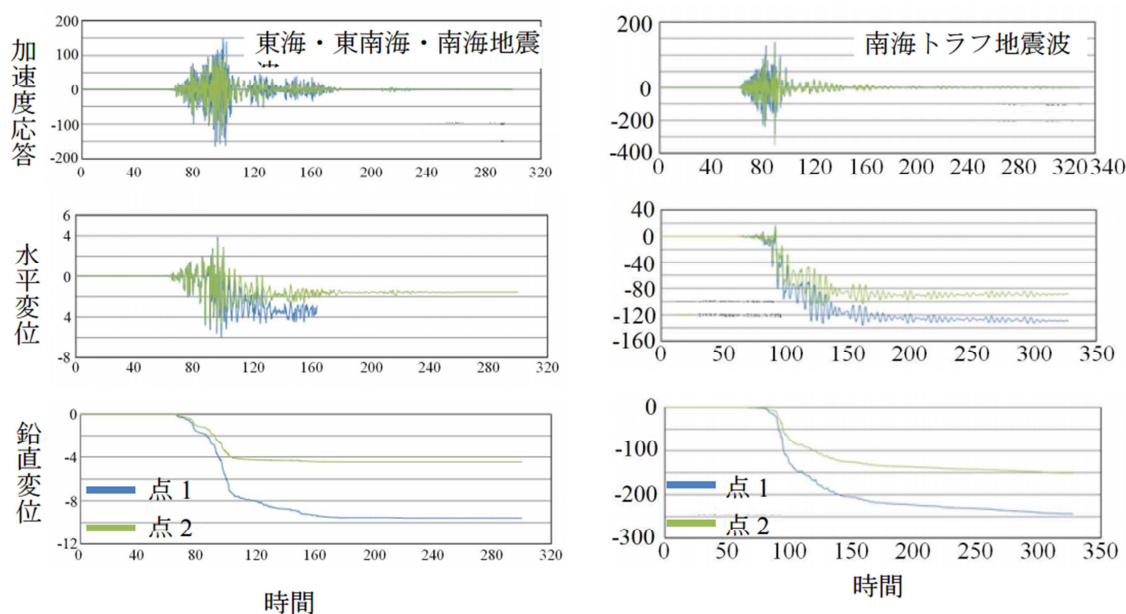


図 3.2.55 加速度応答ならびに変位の時刻歴

いても入力地震動とほぼ変わらず、堤体、基礎地盤ともに剛性に近い動きを示したと考えられる。ただし、水平変位は鉛直変位と同等の永久変位が発生している。南海トラフ地震の加速度応答は、いずれの位置においても 100 秒以降で大きく減衰し、液状化の影響が表れている。変位については、南海トラフ地震においては、基礎地盤においても 1m 程度堤外地側に大きな水平変位が発生する。また、鉛直変位も基礎地盤に 1.5m 程度発生していることがわかる。

図 5.2.56 に地震終了後のせん断ひずみ分布を示す。東海・東南海・南海地震では、比較的大きなひずみが堤外地側の法先に集中している。一方、南海トラフ地震では、堤外地側の基礎地盤までを含む範囲で大きなせん断ひずみが生じているが、堤体には大きなひずみの集中は見られない。図 5.2.57 に地震終了後の間隙水圧比分布を示す。東海・東南海・南海地震では、基礎2 および基礎3 の間隙水圧が上昇しているが、堤防直下では完全な液状化には至っていない。南海トラフ地震波では、上部の砂質土層のみならず、全層にわたって大きな間隙水圧が発生しており、特に深部の比較的密詰めの砂層も液状化あるいはそれに近い状態になっており、これが大きな沈下を生じさせる原因となっている。

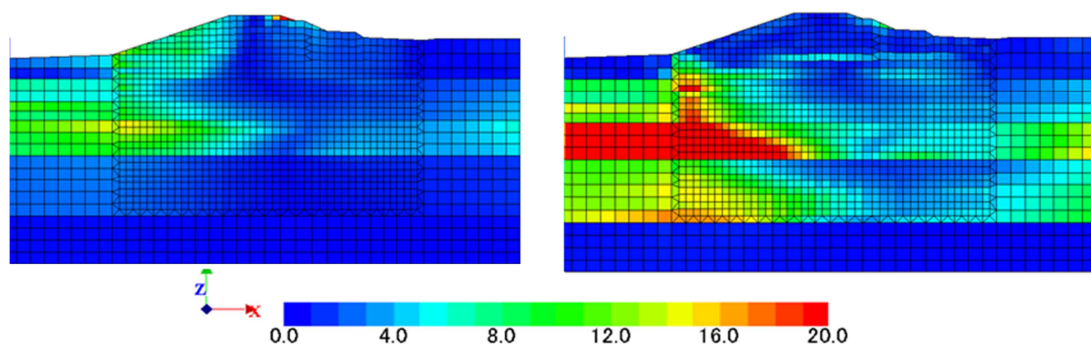


図 3.2.56 地震終了後のせん断ひずみ分布

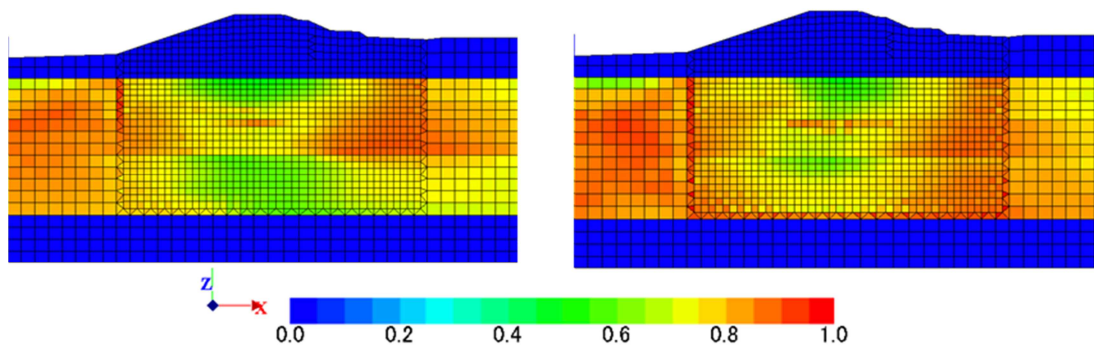


図 3.2.57 地震終了後の地震終了後の間隙水圧比分布

#### (4)まとめ

東海・東南海・南海地震における明確な液状化層は基礎2 および基礎3 だけであり、なおかつ薄いためにこの層が液状化しても致命的な損傷につながりにくい。しかし、南海トラフ地震においては通常では想定しないような下部密詰め砂層の液状化が懸念される結果となった。本報では、現行の実務で行われている手法での巨大地震の耐震性照査を試行したが、堤体の地盤定数の設定に解析結果が左右される微小変形解析の危うさも見られた。堤体の大変状にもロバストに対応できる有限変形解析などが有効であろう。

### 3.2.6 木曾川下流部における堤防の耐震化

#### (1) 河川と堤防

河川は、自然状態で公共の用に供する自然公物である。河川は、自然の営力によって築かれた河道や自然堤防から成りたち、様々な人為や自然との関わりを経て現在の位置に存在している。

河川堤防は、利水のための分派施設としての堤防や、河口部の堆砂抑制のための導流堤の事例を除けば、専ら自然公物である河川のはん濫を防止するための施設として、水文気象、地形地質など条件など人為的には決定できない制約条件のもとで造られた構造物である。

河川堤防とは、自然堤防や河川沿いの微高地などに沿って整備されている。一般には過去に築造された堤防に腹付けや嵩上げ、あるいは整形された構造物である。新川開削や放水路整備以外では、河川堤防が新たに設計されて築造されることは、ほぼ無い。

しかも計画高水を流すために縦断計画、流量に規定される計画高水位や流下断面、さらに市街地、工場や鉄道、道路、港湾などのインフラをコントロールする平面計画が優先される。土工中心となるので工事での土量バランスや、事業費が低廉となる計画が重視される。

また、河道付替等により、かつての左岸堤防が右岸堤防として利用されていたり、水理条件、飽和条件が様変わりするケースも多い。河川堤防の特徴には次のようなものがあると、図説 河川堤防 第2章に整理されている<sup>16)</sup>。

①建設位置を人為的に決められない。

堤防は、もともと自然状態の河川に合わせるため、ルートを地質条件に合わせることはできない。

②自然条件によって形状、材料が変わる。

河川周辺の地理地学的条件、河道のセグメントによっても形状、堤体材料を変える必要がある。

③下部構造を人為的に決められない。

自然堤防や既存堤防、旧河道の上に造られるので、構造物の設計にとって重要な基礎地盤を人為的に選択することが出来ない。

④社会的要請に合わせて施設規模を変化する。

堤防は、被災するたびに嵩上げや腹付けで施設規模が変わる歴史的構造物であり、堤内地の発展や保全対象の増大にも対応して計画規模を変えてきた。

河川整備にあたって、河川堤防を地盤条件は良好である地点にどう配置するかは、概略時の検討程度で、ほぼ中心の議題にはなり難く、歴史的な履歴や、地形地理学的な背景よりも、工学的な克服に委ねられているのが現状である。

#### (2) 治水地形分類図による地盤条件の想定

##### i) 堤防の安全性の再確認に向けた治水地形分類図<sup>17),18)</sup>

高度成長時期を中心として平野部の河川の想定氾濫区域内の土地利用は高度化し、遊水地として機能を果たしていた低地（水田や湿地）までが居住地や工業用地等に広範に開発利用されるようになった。

そのような状況下、昭和51年の台風17号による長良川の破堤は岐阜県安八町を中心として大きな被害をもたらし、堤防の安全性の再確認を行う気運が高まるきっかけとなった。

治水地形分類図は、河川堤防の立地する地盤条件を包括的に把握して、氾濫域の土地の性状とその変化の過程、地盤高等を明らかにすることを目的として、昭和51年度から53年度にかけて国が直接管理する109水系のうち104水系の平野部を対象として初期版が作成された。平成19年度から見直し更新する作業に着手しており、東日本大震災以降、精力的に更新版が作られ、順次公開されている。

地形分類とは、地形及び表層の地質に着目して、形成時期、形成営力、形態、構成物質というに基づいて分類するものであり、治水地形分類図は「山地・丘陵」、「台地・段丘」、「低地」に大別している。

自然地形の地形分類以外に人工改変地を「干拓地」、「盛土地（埋立地）」、「切土地」、「連続盛土」に分

けて、さらに治水に関わりの深い「低地」を「微高地（自然堤防）」、「旧河道」、「落堀」、「後背湿地」等に細分類しており、その他の地形として「旧流路」、「旧堤防」及び「河川管理施設」を分類している。

ii) 治水地形分類項目と想定される災害

治水地形分類図 解説書には、分類項目ごとに特徴及び取得基準、予想される災害の特徴についての一般的な傾向が示されており、地形分類項目の特徴を理解することが重要とされている。対象地と災害との関係を検討予測する場合には、大局的にはどの地形面上に対象地が位置して、細部としてはどのような地形の場所なのか、というように地形スケールの大分類～細分類双方の要素を勘案して、地形を解釈することが重要とされている。例えば、微高地（自然堤防）は、洪水時に河川が運搬した粗粒～細粒の砂礫物質が流路外側に堆積した微地形で、地下水位が浅い縁辺部では強い地震動により液状化が発生しやすいとしている。旧河道は、また、周囲に比べて、シルトや粘土が緩く堆積していたり、埋め立てが行われて軟弱地盤になっていたりとすることが多くあるため、堤体や土木構造物の基盤として利用する際には注意が必要で、地震時には軟弱地盤下の砂礫層で液状化が起こりやすい。特に、旧河道と交差する地点にある堤防は、軟弱地盤による不等沈下や砂礫層でのパイピング現象（地盤内の脆弱な部分に浸透水が集中し、パイプ状の水の通りができる現象）、地震時の液状化などによる被災に注意が必要であるとしている。

上述のような基礎情報を一般化していくとともに、堤防管理に実践的に活用していくことが重要である。

(3) 木曾川下流管内の堤防耐震対策の現状について 19), 20)

青鷲川プロジェクト対象地は、木曾三川河口部に位置しており、近隣の木曾川、揖斐川の河川堤防については、国土交通省 木曾川下流河川事務所により堤防耐震対策が平成 23 年度から進められており、平成 29 年度に耐震対策が必要な区間や耐震対策の進捗状況を公表した。南海トラフ巨大地震に備え、平成 35 年度を目標に津波による浸水被害の防止を進めるとしている。平成 29 年 4 月 6 日に公表した木曾三川河口部の耐震対策進捗状況によると木曾三川河口部での要対策区間は合計 45.7km で対策済みは 16.3km とされている。詳細は下記のとおりである。

i) 木曾三川河口部の耐震対策について（木曾川下流河川事務所 HP より）

①耐震対策の必要性

木曾三川河口部は、南海トラフ巨大地震などによる津波の遡上が予想され、濃尾平野は緩い砂層で覆われており、地下水位も高いことから、地震発生時には地盤の液状化により、堤防の変形・沈下が危惧されている。また、我が国最大の海拔ゼロメートル地帯であり、地震により堤防が決壊すれば、長期間湛水したままの状況が続くなど、甚大な被害が予想される。

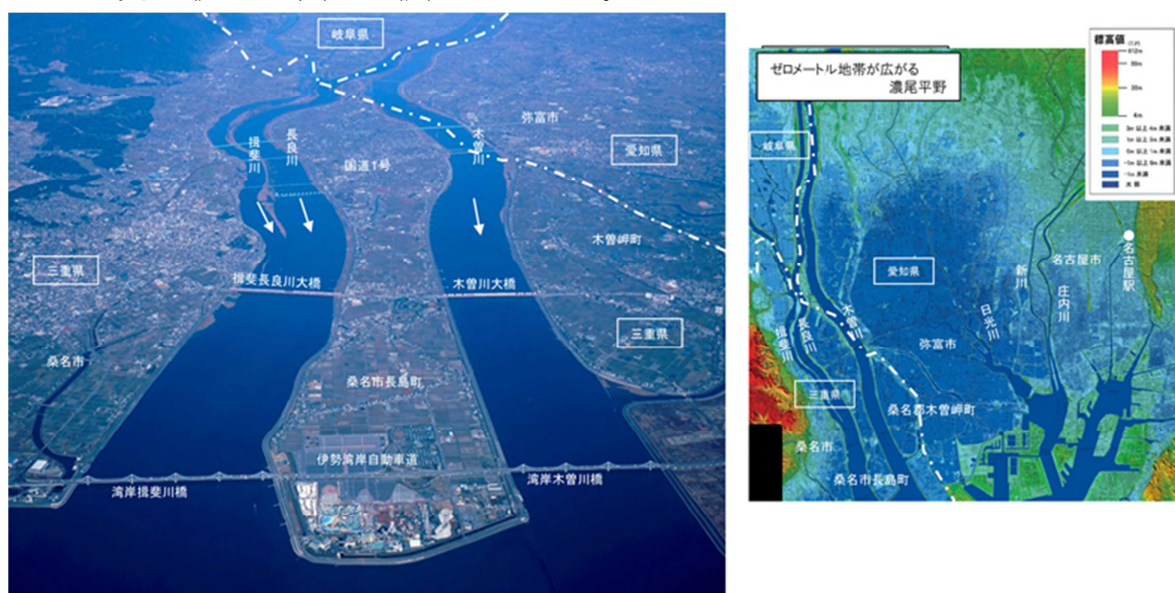


図 3.2.58 木曾川河口部海拔ゼロメートル地帯



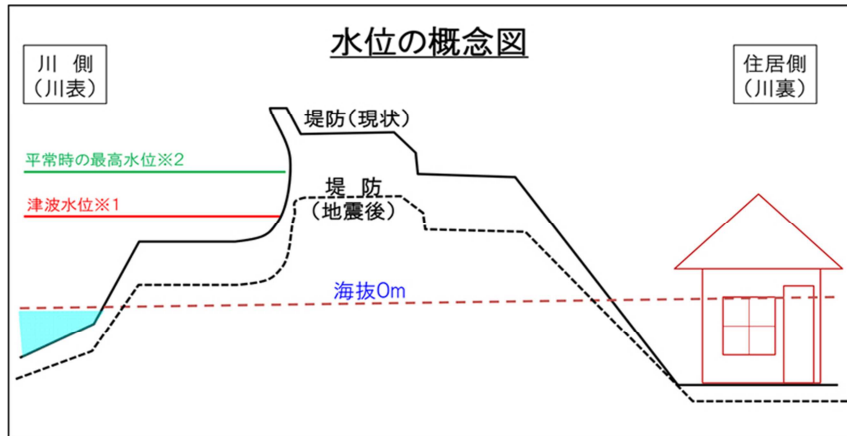
## ②耐震対策の目的

浸水被害のリスクが高い木曾三川河口部において、地震による河川堤防の沈下を抑制し、浸水被害の軽減を図っている。津波による浸水被害に対しては、平成35年度※1までに、効果を発現させることを目指している。※1「南海トラフ地震防災対策推進基本計画 H26.3.28 中央防災会議」を踏まえ、目標とする時期

## ③耐震対策が必要な区間（要対策区間）の設定の考え方

耐震対策の必要性は、地震後の堤防高が、津波水位※2や、平常時の最高水位※3を下回るか否かで判断し、下回る区間を要対策区間として、設定。

木曾三川河口部は、伊勢湾内湾に位置しており、津波が減衰することから、想定される津波水位よりも、平常時の最高水位が最も高くなると想定している。



※2) 津波水位：数十年から百数十年に一度程度の頻度で到達すると想定される津波による水位

※3) 平常時の最高水位：被災した堤防を復旧する期間内に発生するおそれのある最高水位で、朔望平均満潮位に波浪を考慮したもの、または同期間内に発生するおそれのある出水による水位

図 3.2.59 水位の概念図

## ④河川堤防の耐震性能照査結果

河川堤防の耐震性能照査の結果を下図に示す。「要対策区間のうち地震後の堤防高が津波水位以下となる区間」は、「3. 耐震対策が必要な区間（要対策区間）の設定の考え方」の「概念図」のとおり、より大きく沈下する区間である。今後は、この区間を優先的に耐震対策工事を進めていく予定。

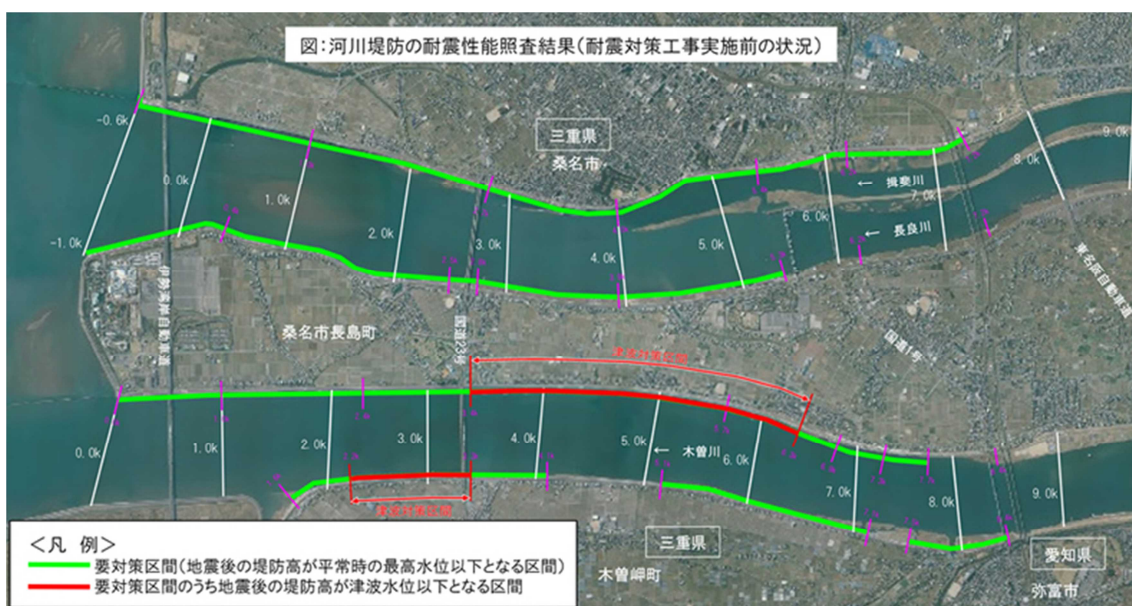


図 3.2.60 河川堤防の耐震性能照査結果<sup>20)</sup>

注1) 東日本大震災における堤防被災の知見を踏まえ、堤体の液状化の照査方法、地震動の見直し等が進められ、平成28年3月に「河川構造物の耐震性能照査指針Ⅱ. 堤防編」が改定された。ここで示した要対策区間は、この指針に基づき照査を実施したものである。

注2) 要対策区間は、地質・地形的要件から、同一と見なせる範囲にブロック分けし、地震時に最も不利（沈下する）と想定される断面で、耐震性能を照査し、性能を満足しない範囲を設定した。

注3) 対策工事にあたっては、設計段階で、より多くの土質調査を行い、現地条件等を踏まえ、対策工事の範囲を決定する。このため、設計段階で、要対策区間を変更する場合がある。

注4) この照査結果には、これまでに実施した耐震対策工事は加味していない（対策前の状況で評価）。

#### ⑤耐震対策の工法

耐震対策は、地盤等の液状化による堤防の沈下を抑制することを目的に実施するもので、主な対策工法は以下のとおりである。

- A. 液状化の発生そのものを抑制する対策
  - ・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
- B. 液状化の発生は許すが、堤防の被害を軽減する対策
  - ・のり尻に矢板を打設し液状化層の変形を軽減する工法
- C. AとBの組合せ
  - ・のり尻直下地盤に対する締固め工法や固結工法
  - ・堤体液状化に対する押え盛土やドレーン工

#### ◆対策のイメージ

締固め工法を例とした対策のイメージを以下に示す。

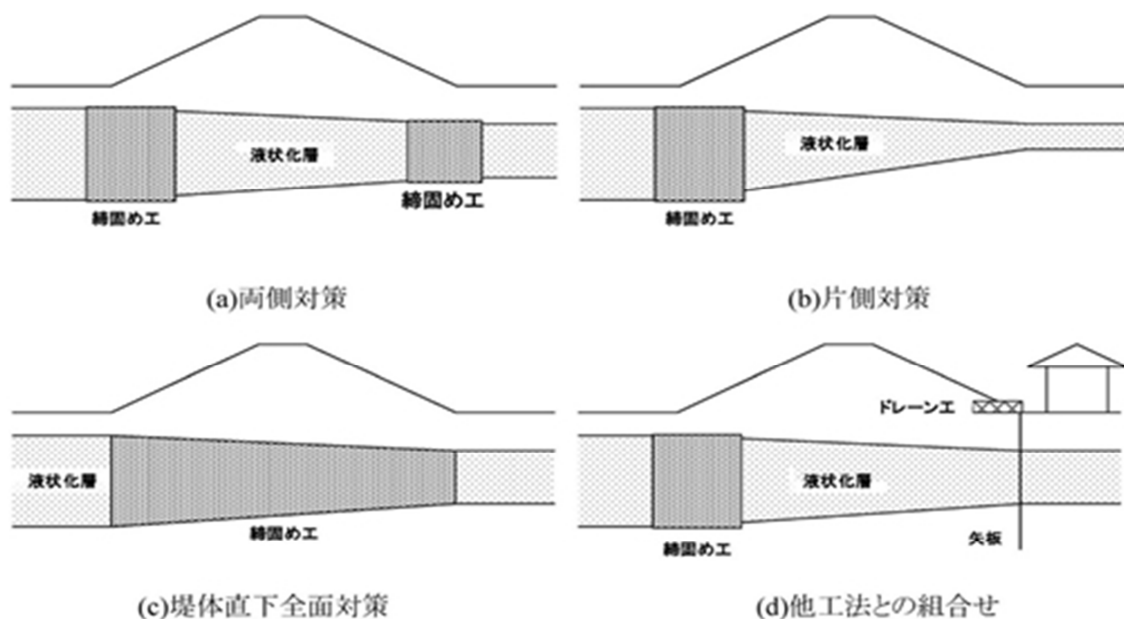


図 3.2.61 対策のイメージ

出典：「土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き H28.3 (国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム」

なお、対策工事にあたっては、東日本大震災における堤防被災の知見等を踏まえ、とりまとめられた「河川堤防の液状化対策の手引き H28.3」等を参考に、現地条件等を踏まえ、適切な対策工法を選定し実施していく。

#### ⑥耐震対策工事の課題

対策工事の実施箇所には、戦争中に投下された不発弾が残っている可能性があり、また、昭和34年伊勢湾台風で被災した堤防の復旧に使用したと思われる巨石などの地中支障物が多数確認されている。こ

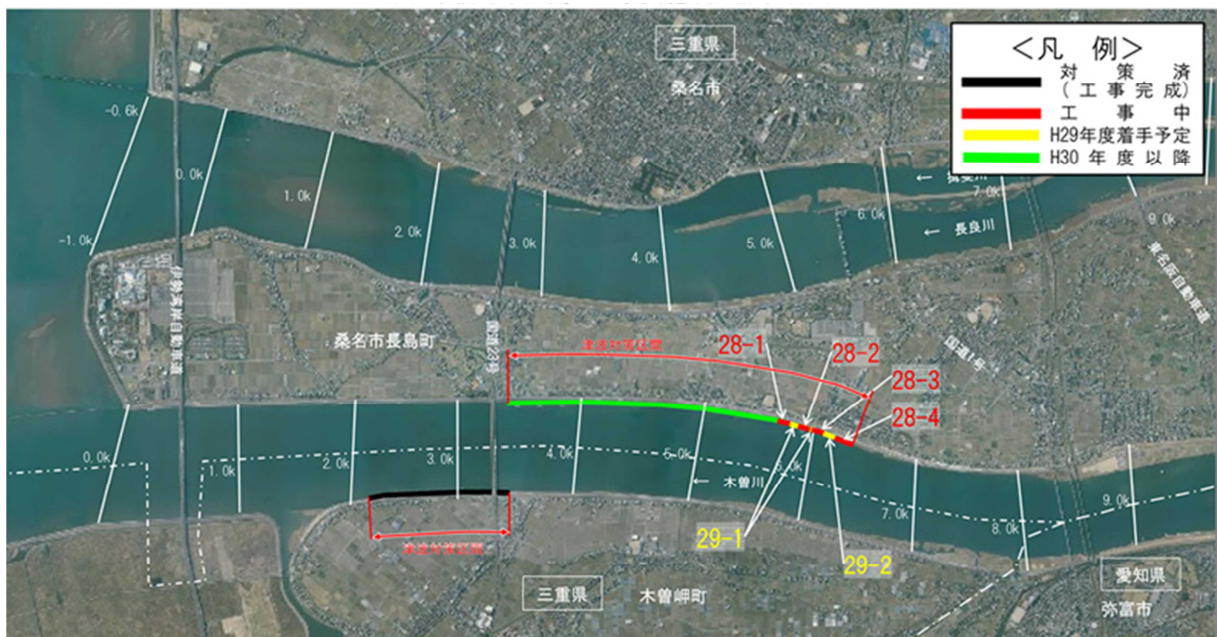
のため、工事の前には想定していなかった不発弾や巨石などの地中支障物の撤去のため、工期の延伸・費用の増額などが生じる工事がある。



図 3.2.62 地中支障物(巨石)の撤去状況<sup>20)</sup>

#### (4) 津波対策区間の進捗状況

津波対策区間については、平成35年度末までに、津波による浸水被害が発生しないよう工事を進めていく予定で、「要対策区間」のうち、「津波対策区間」の、平成29年4月時点における工事の進捗状況を以下に示す。



- 注1) 津波対策区間内の、対策工事の範囲（対策済も含む）を示したものである。
- 注2) ここで示した対象工事の範囲は、現時点での想定のため、今後、変更する場合があります。
- 注3) 着色範囲は、作図の精度や縮尺の関係上、位置や長さが現地と異なる場合があります。

図 3.2.63 津波対策区間の工事実施<sup>20)</sup>

表 3.2.3 平成 29 年度 工事实施(予定)箇所の状況<sup>20)</sup>

H28年度予算工事(繰越工事)

H29.4現在

河川	左右岸	工事 状況	工事 番号	工事名	施工延長(m)		工期		工事の状況
					当初(予定)	最終(予定)	当初(予定)	最終(予定)	
木曾川	右岸	工事中	28-1	平成28年度 木曾川鎌ヶ地下流川表高潮堤防補強工事	99.1	(99.1)	H29.9.29	(H29.9.29)	-
		工事中	28-2	平成28年度 木曾川鎌ヶ地上流川表高潮堤防補強工事	99.1	(99.1)	H29.9.29	(H29.9.29)	-
		工事中	28-3	平成28年度 木曾川松ヶ島下流川表高潮堤防補強工事	99.1	(99.1)	H29.9.29	(H29.9.29)	-
		工事中	28-4	平成28年度 木曾川松ヶ島上流川表高潮堤防補強工事	121.9	(121.9)	H29.9.29	(H29.9.29)	-
合計					419.2	(419.2)			

H29年度予算工事

河川	左右岸	工事 状況	工事 番号	工事名	施工延長(m)		工期		工事の状況
					当初(予定)	最終(予定)	当初(予定)	最終(予定)	
木曾川	右岸	準備中	29-1	平成29年度 木曾川鎌ヶ地川表高潮堤防補強工事	127.0	(127.0)	H30.2.28	(H30.2.28)	-
		準備中	29-2	平成29年度 木曾川松ヶ島川表高潮堤防補強工事	102.6	(102.6)	H30.2.28	(H30.2.28)	-
合計					229.6	(229.6)			

準備中 : 工事契約締結前まで   
 工事中 : 工事契約締結から工事完成まで   
 工事完成 : 完成した工事(対策済)  
発注延期 : 今年度内に工事の発注を予定していたが、次年度以降に発注することとした工事   
 発注とりやめ : 工事契約が不調になったなど、工事発注を取りやめた工事

津波対策区間の工事進捗延長 (H29.4時点)

単位 (km)

		津波対策区間	対策済	工事中	H29年度着手予定	H30年度以降	備考
木曾川	左岸	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	津波対策完了
	右岸	3.1	0.0	0.4	0.2	2.4	
合計		4.1	1.1	0.4	0.2	2.4	

注1) 延長の合計は四捨五入の関係で一致しない場合があります。  
 注2) 対策にあたっては、設計段階で、より多くの土質調査を行ったうえで、現地状況等を考慮し、対策工事の範囲を決定します。このため、設計段階で、対策範囲を変更する場合があります。

津波対策区間の工事進捗率 (H29.4時点)

進捗率

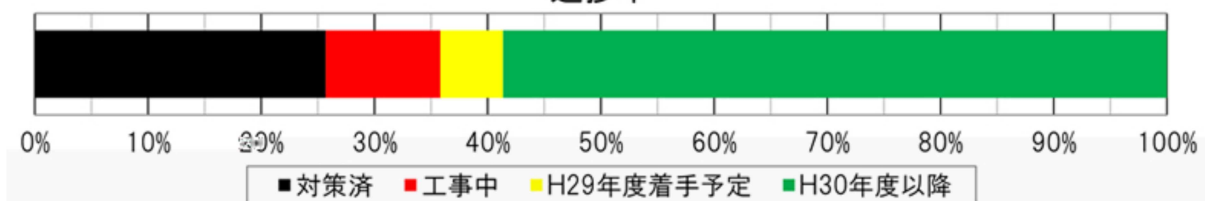


図 3.2.64 津波対策区間の工事状況 (木曾川下流河川事務所 HP より)

(5) 要対策区間全体の進捗状況

「③河川堤防の耐震性能照査結果」で示した要対策区間全体の、平成29年4月時点における対策の進捗状況は以下のとおりである。

また、耐震対策工事は、「⑤耐震対策の工法」のとおり、堤防及び地盤の状況により「川表」または「川裏」またはその両方で実施している。次の図は、対策工事の実施箇所をより詳細に説明するため、「川裏」「川表」別に工事の進捗状況を着色している。