

# 1. 第5回検討委員会の概要

## 1.1 議事概要

開催日：平成18年2月2日

### ■ 第5回検討委員会開催日、場所

- 開催日：平成18年2月2日（木曜日）
- 開催時間：13:30～17:00
- 開催場所：ウェルシティ徳島（徳島厚生年金会館）3F エディ

### ■ 出席者

- 委員長：山上 拓男（徳島大学工学部 教授）
- 委員：岡部 健士（徳島大学工学部 教授）  
澤田 勉（徳島大学工学部 教授）  
石川 浩（四国地方整備局 徳島河川国道事務所 所長）
- 事務局：四国地方整備局 徳島河川国道事務所  
応用地質株式会社
- 傍聴者、記者（計6名）

### ■ 議事概要

以下に示す。

### 第5回 吉野川堤防強化検討委員会 議事録要旨

#### ■第1章「第4回検討委員会の概要」について

特になし

#### ■第2章「第5回堤防強化検討委員会の討議内容」について

特になし

#### ■第3章「強化工法の検討（浸透・侵食）」について

委員長 Q：地下水への影響評価は定量的な評価をしているのか？定性的なものなのか？定量的な評価をする予定はあるのか？

事務局 A：定量的な評価には至らず、定性的なものである。施工中にモニタリングをし、順次対応している。

委員長 Q：対象区域全体の対策工法の開示はするのか？

事務局 A：工事時には施工現場に工法などを掲示している。地下水への影響がある場合は、事前に地元に調査にはいるため、工事についてのお知らせはある。

委員長 Q：P3-1の「上下流・左右岸の連続性を保つ」とはなにか？

事務局 A：堤防の高さや護岸の形式を同程度進めていくということである。左右岸の構造は、対岸の住民も見ている。左右岸の地域住民の声を聞いてバランスをとることを考慮している。

委員 Q：透水性の良い矢板として穴あき矢板があるが、強度に問題があるのか？穴あき矢板を使うのと、透水層まで打たないのとどちらがよいのか？

事務局 A：穴あき矢板でも強度に問題はない。どの程度効果があるかはこれからの課題である。

委員 Q：L19k060の低水護岸の矢板と根固めは2重投資にならないのか？

事務局 A：矢板は法留めのために設置しており、根固めを設置せずに矢板のみで対応すると矢板長が長くなりすぎるので不経済となる。

委員 Q：P3-6二次選定結果で「護岸＋矢板＋根固め」の施工性が良くなっているのはどういうことか？

事務局 A：「護岸」のみの設置の場合、水替えの量が増え、施工性が悪くなる。胴木の高さが上がると掘削高さが小さくなり水替えの量が少なくなる。「護岸＋矢板＋根固め」は胴木高さが高くなり矢板が短くなる。矢板が短くなることによって矢板の打ち込みが減る。

委員長 Q：P3-5の対策工法選定のフロー図の中で、地下水利用があり、漏水対策機能との調整ができない場合の明示がない。

事務局 A：修正して次回提示します。

委員長 Q：対策工法によって安全率が異なるが提示されていない。

事務局 A：各工法は、所定の安全率を満たすものを提案しているが、程度は記入していない。次回提示します。

委員長 Q：川表側の対策で対応するということを前提にしているが、川裏側の対策で対応する場合の判定フローは必要ではないのか？

事務局 A：今のところ川裏側の対策がどうしても必要な例はない。

委員 Q：P3-6侵食対策工法にいろいろな種類があるが、強度の違いはあるのか？経済性よりも安全性が大事ではないか

事務局 A：強度に違いはない。すべてについて同程度である。

■第4章「吉野川下流域に被害を及ぼす地震」について  
特になし

■第5章「地震に対する徳島河川国道事務所のとりくみ」について

委員 Q：吉野川本川の対策がなされていないのはどういうことか。

委員 A：吉野川は点検の結果、安全であり、対策が必要な箇所については速やかに対応できた。旧吉野川・今切川は堤防がなかったため進んでいない。

委員 Q：概略点検の外力180galはどこにかけているのか？

事務局 A：地表面である。

委員長 Q：既設対策工はどういう工法を採用したのか？

事務局 A：川表側に矢板を施工している。川表のすべりに対する対策はできているが、川裏側については出来ていない。

委員 Q：鋼矢板タイプの図を示して欲しい。

事務局 A：次回提示いたします。

■第6章「東南海・南海地震に対する堤防の安全性照査」について

委員長 Q：代表断面の設定について、堤防が完成していない箇所を選定する理由は。

事務局 A：現況でどの程度堤防が沈下するか予測し、浸水範囲を推定するために実施したい。

委員長 Q：解析結果は次回に示されるのか？

事務局 A：次回に出したいと思うが、全国的な流れに沿って進める。

委員長 Q：堤防が完成していないのに何を検討するのか？

事務局 A：現況の状態を知り、潮位が上がったときの被害の広がり具合を予測するため。被害を相対的に検討したいので、現況高さで検討する。

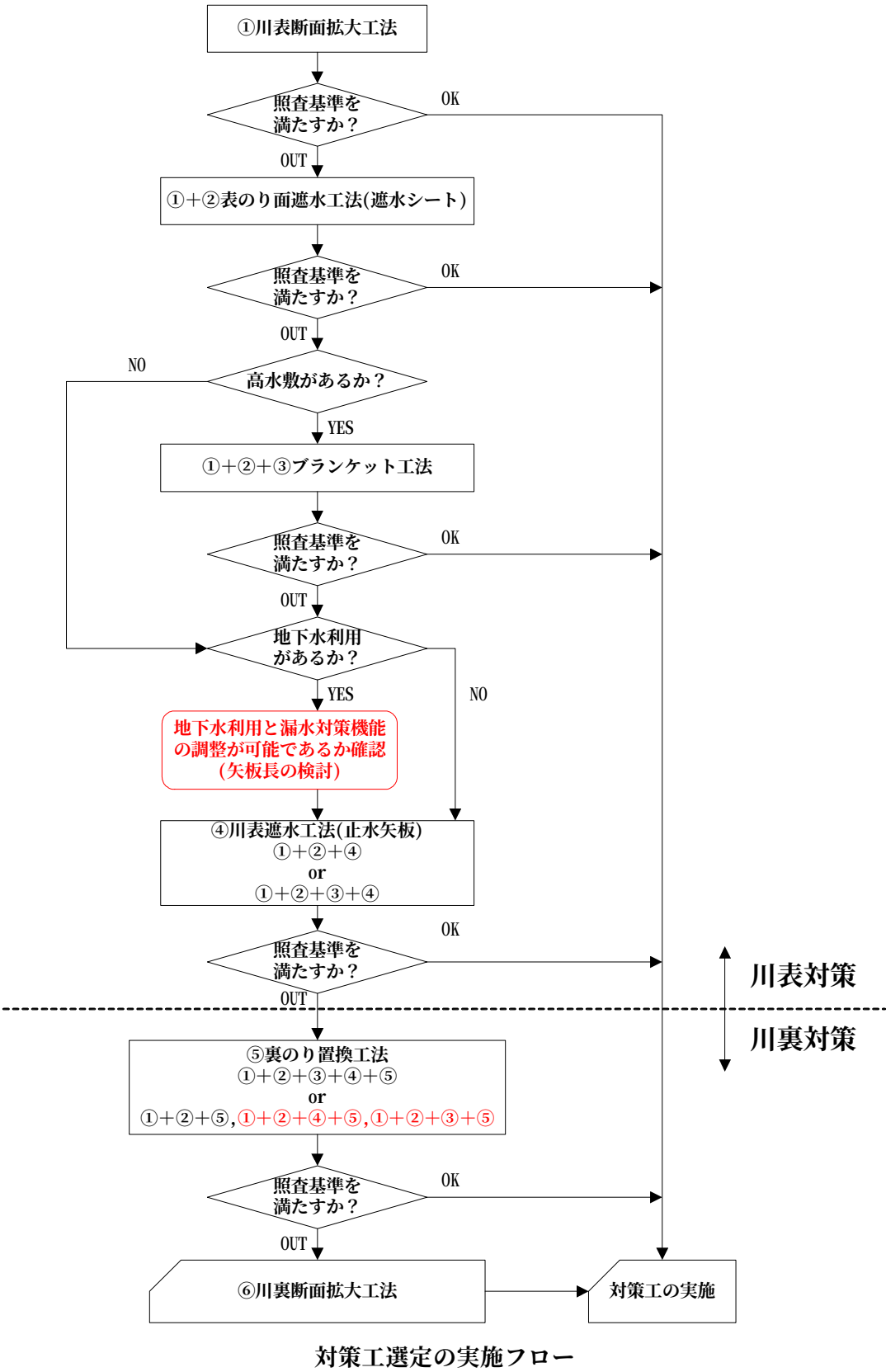
委員 Q：津波の解析はいつ頃できるのか？堤防沈下を考慮しないもので良いので、耐震検討が進まないうちに結果を出して欲しい。

事務局 A：できるだけ早く出したい。

1.2 指摘事項および回答

| 指摘事項および回答         |     |                                          |                                  |
|-------------------|-----|------------------------------------------|----------------------------------|
| テーマ               | No. | 指摘事項                                     | 回 答                              |
| 対策工の選定フローチャートについて | ①   | 地下水利用があり、漏水対策機能との調整が出来ない場合の明示がない         | ご指摘の点については、1-3ページの回答①に示しました。     |
| 対策工法の安全率について      | ②   | 対策工法によって安全率が異なるが示されていない                  | ご指摘の点については、1-3,1-4ページの回答②に示しました。 |
| 鋼矢板のタイプについて       | ③   | 鋼矢板のタイプの図を入れて欲しい                         | ご指摘の点については、1-4ページの回答③に示しました。     |
| 代表断面の設定方法について     | ④   | 堤防が完成していない箇所を検討する理由は                     | ご指摘の点については、1-4ページの回答④に示しました。     |
| 津波解析について          | ⑤   | 津波の解析はいつ頃できるのか。堤防沈下を考慮しないもので良いので、出して欲しい。 | ご指摘の点については、4-6ページに示しました。         |

回答① 「対策工法選定の実施フロー」について  
ご指摘に則して以下のとおり修正いたしました。修正箇所を朱書きで示します。



回答② 「対策工法の安全率」について  
第5回委員会資料で示した「L23k600」と「R19k060」の一次選定結果を以下に示します。

■L23k600について

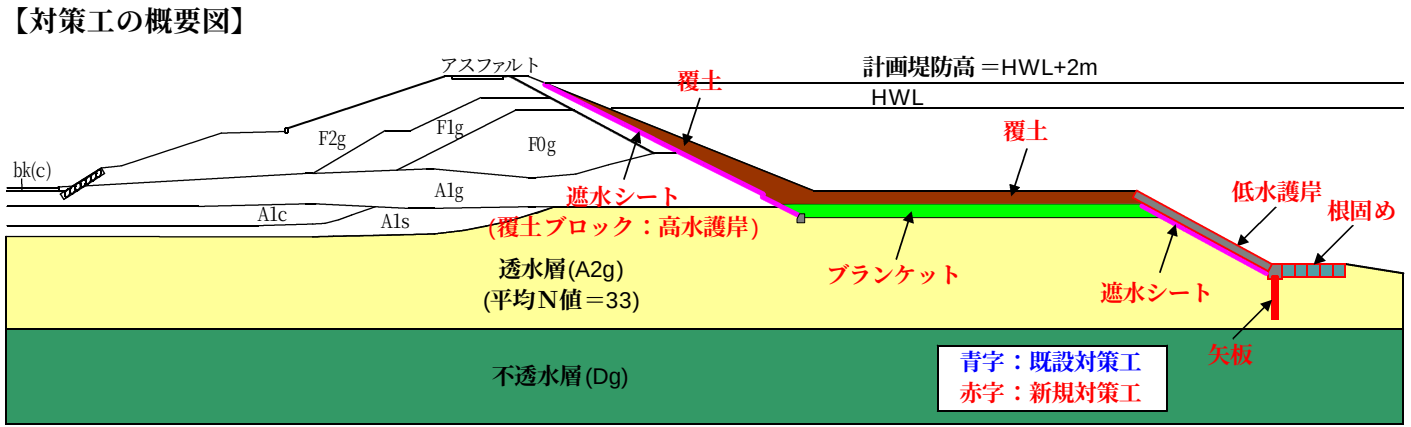
【対策工法の一次選定結果】

| 検討断面    | 目標安全率     |           |     | 既設対策工     |        |    |      | 対策工組合せ<br>( )は既設対策工 | 裏のり<br>Fs | 表のり<br>Fs | G/W  | 一次選定結果 |
|---------|-----------|-----------|-----|-----------|--------|----|------|---------------------|-----------|-----------|------|--------|
|         | 裏のり<br>Fs | 表のり<br>Fs | G/W | 遮水<br>シート | ブランケット | 矢板 | 2m矢板 |                     |           |           |      |        |
| L23k600 | 1.6       | 1.0       | 1.0 | 無         | 無      | 無  | 無    | 現況                  | 1.40      | 1.39      | 0.81 | ×      |
|         |           |           |     |           |        |    |      | 川表、川裏断面拡大           | 1.82      | 1.56      | 0.15 | ×      |
|         |           |           |     |           |        |    |      | 遮水シート               | 1.58      | 1.39      | 0.85 | ×      |
|         |           |           |     |           |        |    |      | 遮水シート+ブランケット        | 1.72      | 1.46      | 0.94 | ×      |
|         |           |           |     |           |        |    |      | 遮水シート+ブランケット+矢板     | 1.83      | 1.57      | 1.04 | ○      |
|         |           |           |     |           |        |    |      | 遮水シート+ブランケット+置換工    | 2.04      | 1.52      | 1.21 | ○      |

以上のように、L23k600における浸透対策工は、「遮水シート+ブランケット+矢板」、「遮水シート+ブランケット+置換工」が一次選定された。

【対策工法の二次選定結果】

| 浸透対策工の一次選定結果     | 侵食対策工の二次選定結果 |       | 浸透及び侵食対策の組合せ工法        | 二次選定条件 |     |     | 総合評価 |
|------------------|--------------|-------|-----------------------|--------|-----|-----|------|
|                  | 高水護岸         | 低水護岸  |                       | 自然環境   | 施工性 | 経済性 |      |
| 遮水シート+ブランケット+矢板  | 覆土ブロック       | 矢板根固め | 遮水シート+ブランケット+矢板(侵食対策) | ○      | ○   | ○   | ○    |
| 遮水シート+ブランケット+置換工 |              |       | 遮水シート+矢板+ブランケット+置換工   | ○      | ○   | △   | △    |



■R19k060について

【対策工法の一次選定結果】

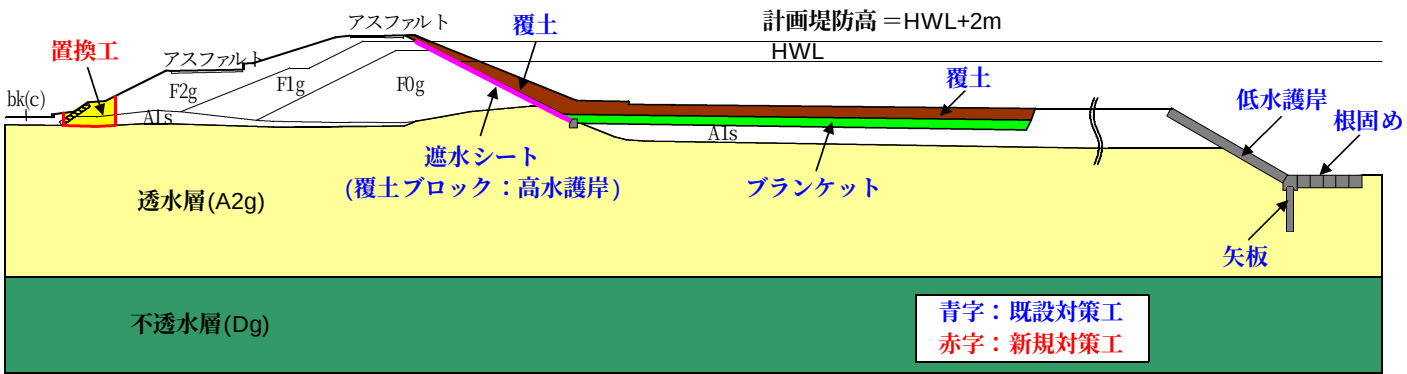
| 検討断面    | 目標安全率     |           |     | 既設対策工     |            |    |      | 対策工組合せ<br>( )は既設対策工      | 裏のり<br>Fs | 表のり<br>Fs | G/W  | 一次選定結果 |
|---------|-----------|-----------|-----|-----------|------------|----|------|--------------------------|-----------|-----------|------|--------|
|         | 裏のり<br>Fs | 表のり<br>Fs | G/W | 遮水<br>シート | ブ<br>ランケット | 矢板 | 2m矢板 |                          |           |           |      |        |
| L19k060 | 1.5       | 1.0       | 1.0 | 有         | 有          | 無  | 有    | 現況(遮水シート+ブ<br>ランケット)     | 1.37      | 1.12      | 0.79 | ×      |
|         |           |           |     |           |            |    |      | 川表、川裏断面拡大                | 1.64      | 1.75      | 0.44 | ×      |
|         |           |           |     |           |            |    |      | 現況(遮水シート+ブ<br>ランケット)+矢板  | 1.50      | 1.13      | 1.20 | ○      |
|         |           |           |     |           |            |    |      | 現況(遮水シート+ブ<br>ランケット)+置換工 | 1.70      | 1.10      | 1.16 | ○      |

以上のように、L19k060における浸透対策工は、「(現況：遮水シート+ブ  
ランケット)+矢板」、「(現況：遮水シート+  
ブ  
ランケット)+置換工」が一次選定された。

【対策工法の二次選定結果】

| 浸透対策工の一次選定結果     |       | 侵食対策工 |      | 浸透及び侵食対策の組合せ工法       | 二次選定条件 |     |     | 総合評価 |
|------------------|-------|-------|------|----------------------|--------|-----|-----|------|
| 既設対策工            | 新規対策工 | 高水護岸  | 低水護岸 |                      | 自然環境   | 施工性 | 経済性 |      |
| 遮水シート+ブ<br>ランケット | 矢板    | 既設護岸  | 既設護岸 | 遮水シート+ブ<br>ランケット+矢板  | △      | △   | △   | △    |
|                  | 置換工   |       |      | 遮水シート+ブ<br>ランケット+置換工 | ○      | ○   | ○   | ○    |

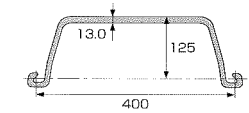
【対策工の概要図】



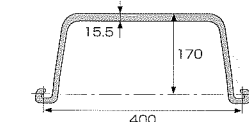
回答③ 「鋼矢板のタイプ」について

以下に鋼矢板の断面形状について示します。これまで吉野川下流域で耐震対策に用いられてきた鋼矢板は鋼矢板Ⅲ型からⅣ<sub>W</sub>型である。

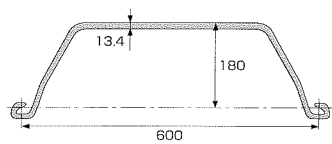
鋼矢板 Ⅲ型



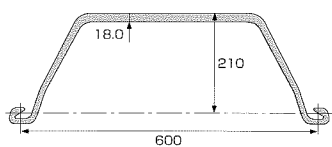
鋼矢板 Ⅳ型



鋼矢板 Ⅲ<sub>W</sub>型



鋼矢板 Ⅳ<sub>W</sub>型



回答④ 「代表断面の設定方法」について

代表断面の設定は、以下のとおり行くと第5回委員会では提案を行った(以下は、第5回委員会の抜粋)。

■代表断面の設定

地震に対する堤防の安全性照査では、地震に対して相対的に危険であり、二次(浸水)災害の可能性の高い断面を代表断面として選定する必要がある。

ここでは、グループ化した細分化区間の内から、以下の項目を考慮して代表断面を選定した。

①隣接する上下流より堤内地盤高の低い(相対的に被害が大きくなる可能性が高い)区間

②既往ボーリングデータのある箇所

③岸壁、坂路などの特殊形状でない標準的な堤防断面の箇所

④現況堤防高が設定水位より低い区間であっても、対策工法の検討に必要な区間

⑤現況堤防高が設定水位より十分高い区間であっても、安全性を確認すべき区間

- ここで、④については以下の理由で代表断面として検討対象断面とする。
- 想定している東南海・南海地震の発生確率は、今後30年以内で50～60%と非常に高く、いつ地震が起きるとも限らない。
  - 設定水位よりも低い堤防は、治水上からも築堤して、設定水位より高くする必要があるが、整備が完了しないうちに地震が発生することも想定しなければならない。
  - このため、地震によって現況堤防がどの程度沈下するかを予測し、浸水範囲を推定する必要があるため、現況堤防高が設定水位より低い区間であっても代表断面として設定した。

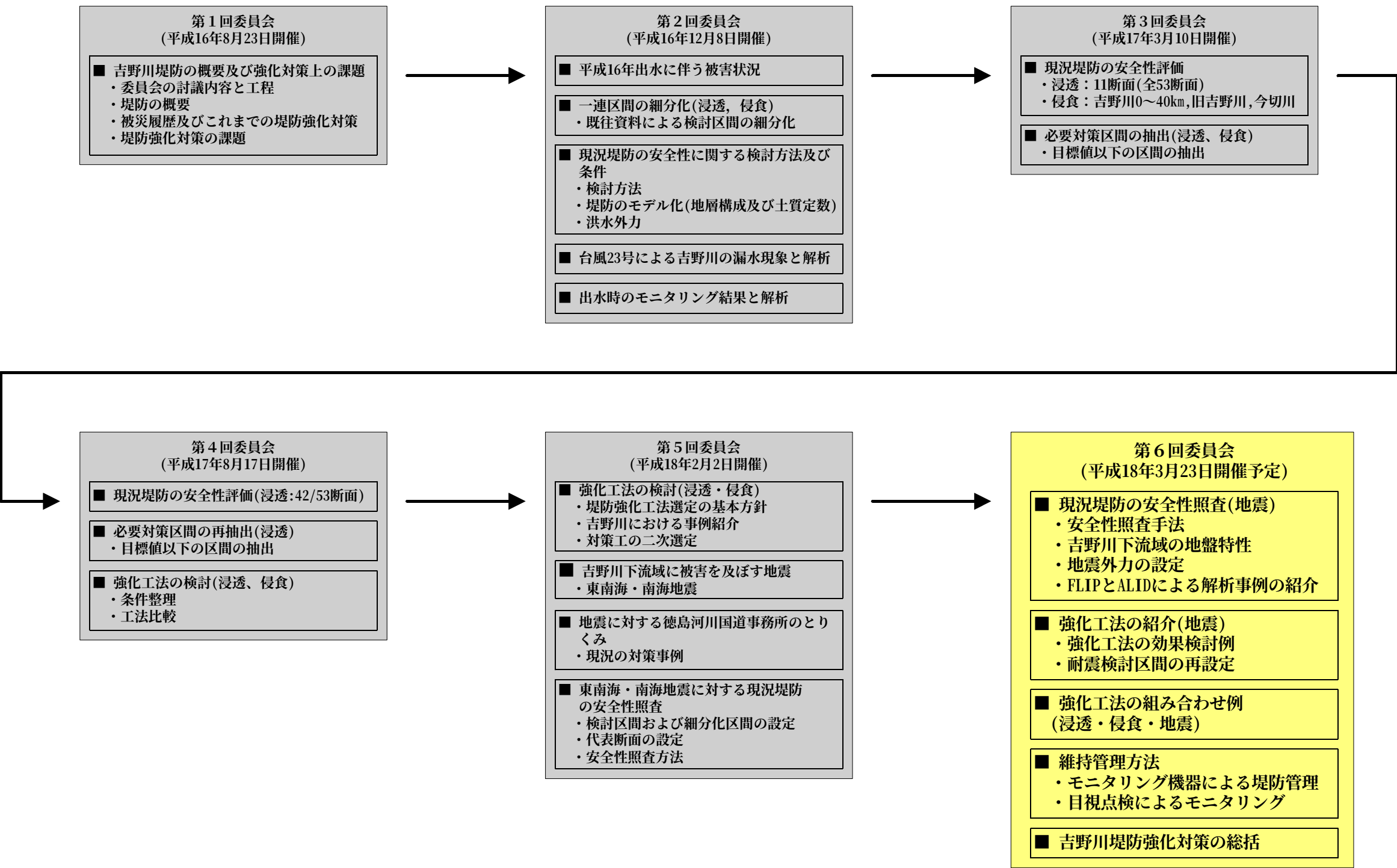


## 2. 第6回検討委員会の討議内容

### ■ 第6回検討委員会の主題

地震については、東南海・南海地震に対する動的変形解析(FLIP)と静的変形解析(ALID)による解析事例および強化工法について紹介する。さらに、浸透、侵食、地震を考慮した強化工法の組み合わせ例を紹介する。また、今後の堤防の維持管理方法について検討するとともに、吉野川堤防強化対策の総括を行う。

### ■ 討議内容と委員会のスケジュール



3. 東南海・南海地震に対する現況堤防の安全性照査

3.1 安全性照査手法

■変形解析手法の特徴

代表的な変形解析手法を以下に示す。

- ① LIQCA(Computer Program for Liquefaction Analysis) : F E M動的変形解析
- ② FLIP(Finite Element Analysis of Liquefaction Program) : F E M動的変形解析
- ③ ALID(Analysis for Liquefaction-Induced Deformation) : F E M静的変形解析
- ④ 東畑モデル : 流体力学に基づく解析
- ⑤ 円弧すべり計算(Δ U法) : 極限平衡法(従来の方法)

各種変形解析手法の特徴

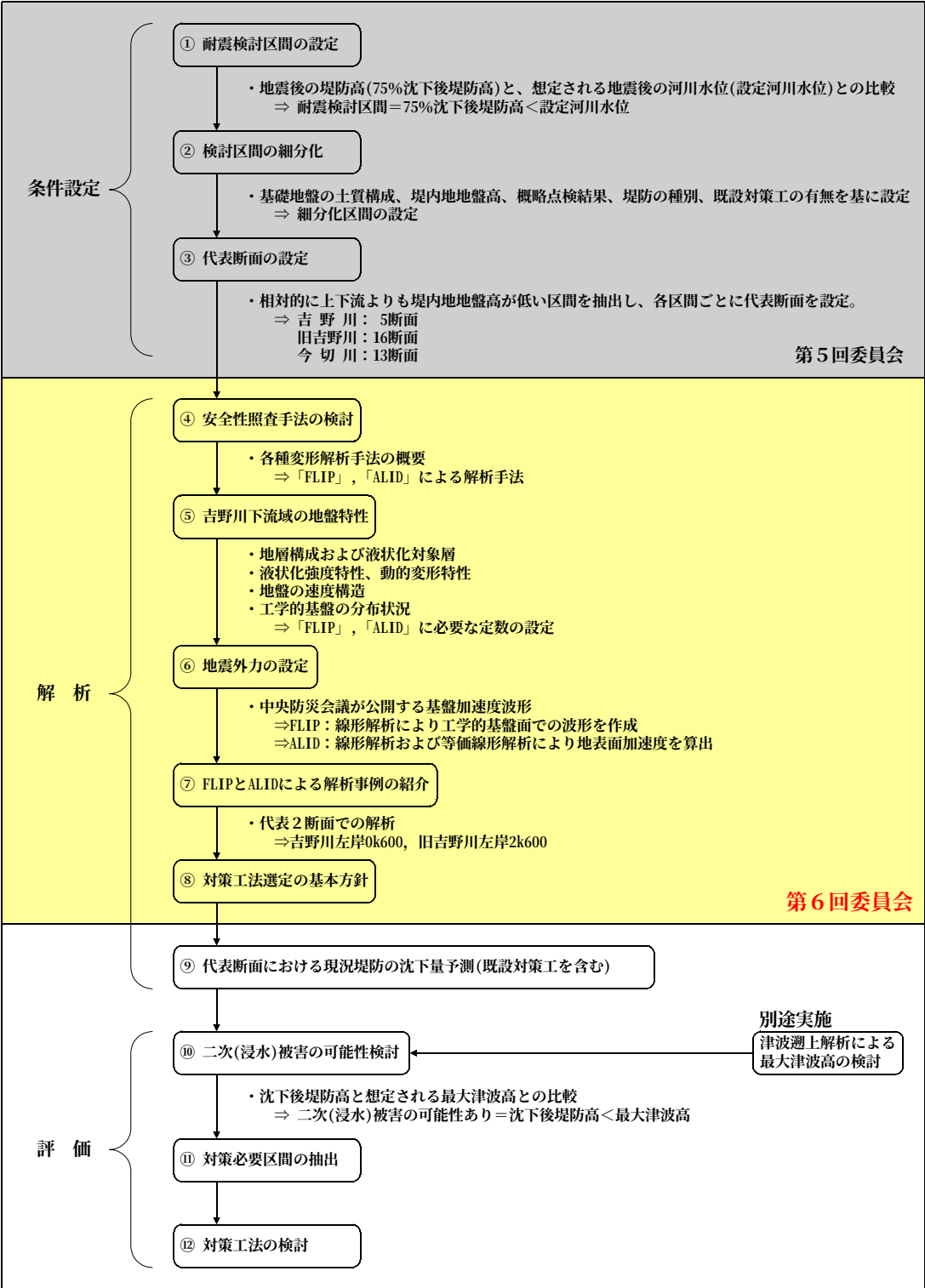
| 解析手法              |    |       | 特 徴                                                                                                                                                   | 解析時間        |
|-------------------|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 有限要素法             | 動的 | LIQCA | ・原理的に実際の現象を忠実に表現しうるモデル。<br>・地震動の特性(振幅,周波数,継続時間など)が考慮される。<br>・比較的多くの定数を設定する必要があり、そのために特殊な試験を必要とする。<br>・試験だけで決まらない定数の設定があり、結果に影響を及ぼすため、解析者にはある程度の経験が必要。 | ある程度の時間を要する |
|                   |    | FLIP  |                                                                                                                                                       |             |
|                   | 静的 | ALID  | ・比較的簡便である。<br>・ $F_L$ に応じて土の剛性を徐々に低下させており、 $F_L<1.0$ で強度を一律ゼロとするΔ U法と比較して実際の土の特性を反映している。                                                              | やや時間を要する    |
| 流体力学に基づく解析(東畑モデル) |    |       | ・比較的簡便である。<br>・地震動の継続時間は考慮される。                                                                                                                        |             |
| 円弧すべり法(Δ U法)      |    |       | ・極めて簡便である。<br>・数多くの被害事例の上限をとるように沈下量と安全率の関係が設定されている。                                                                                                   | 短い          |

出典：「河川堤防の地震時変形量の解析手法：財団法人 国土技術研究センター(平成14年2月)」の抜粋

本委員会においては、代表断面(吉野川、旧吉野川、各1断面)で実施した「FLIP」と「ALID」による解析事例を紹介する。

■堤防の安全性照査の手順

東南海・南海地震に対する堤防の安全性照査は、以下に示すフロー図に従って実施する。

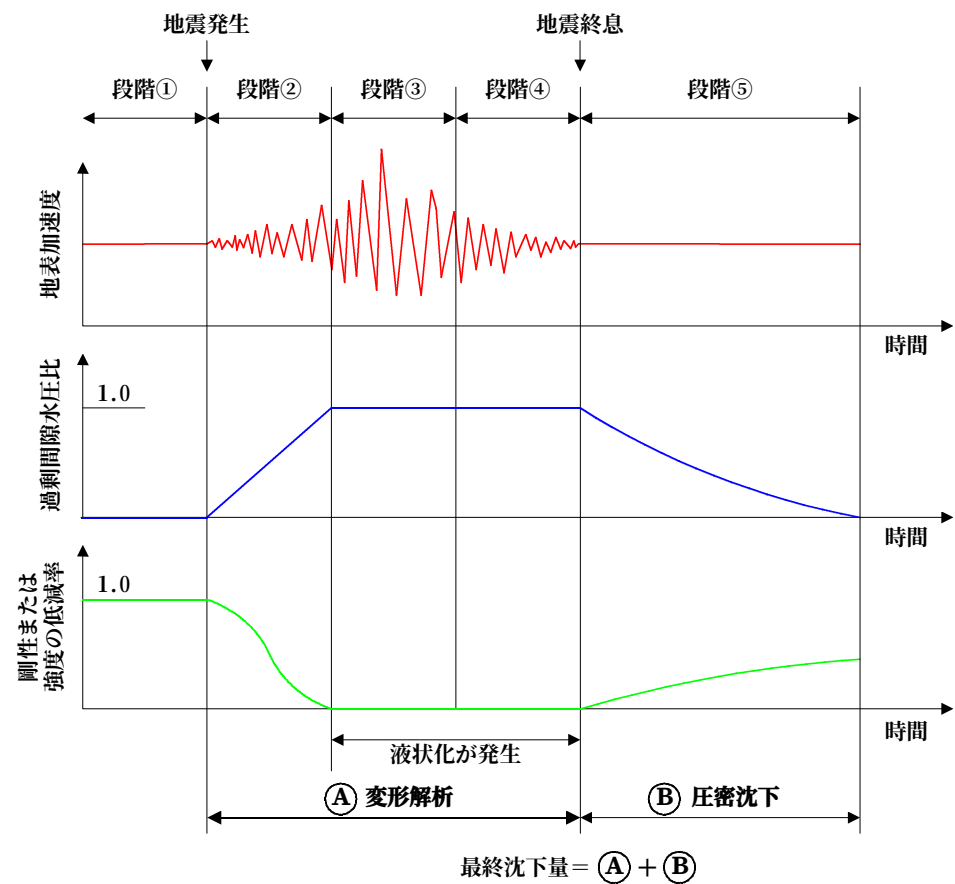


耐震対策検討フロー図

■地震による地盤変形のメカニズムと解析段階

地震時における地盤の挙動は、以下に示す5段階に区分できる(下図参照)。

- 段階①：地震前の状態であり、盛土には自重のみが作用し、地震の慣性力は作用しておらず静止している。盛土底面と基礎地盤との境界面には初期せん断力が作用しているが、基礎地盤の砂層の剛性は低下しておらず、安定性を保っている。
- 段階②：地震波の主要動の前半部における完全液化化に達するまでの段階である。地震時の慣性力による繰返し荷重が盛土および基礎地盤に作用することにより、砂層の過剰間隙水圧が上昇して完全液化化に至る。
- 段階③：過剰間隙水圧の上昇により、初期に作用していたせん断力は失われ、盛土内において応力の再配分が行われ、塑性破壊が生じる。基礎地盤の砂層では過剰間隙水圧の上昇に伴い、土の強度および剛性が低下する。
- 段階④：地震波の主要動の後半部における完全液化化後の段階である。液化化によりのり先地盤の有効応力が失われ、盛土直下の基礎地盤が左右に絞り出されるように変形する。
- 段階⑤：地震動が終息した後の段階である。この段階では地震の慣性力は作用していないが、発生した過剰間隙水圧の消散に伴う圧密沈下が生じ、盛土は沈下する。



地震時における地盤の挙動の概念図

過剰間隙水圧：地下水で飽和した緩い砂の地盤が地震によって揺されると、砂の粒子が浮いて浮遊状態(液化化現象)になり、その深度より浅いところにある土の全ての重みが、圧力として水圧に加わる。この状態での水圧を過剰間隙水圧といい、液化化が起こる際には必ず発生する。

■解析手法の特徴

地震時における地盤と盛土の挙動に対する動的変形解析(FLIP)および静的変形解析(ALID)の特徴を下表に示す。

| 項 目                                         | 有限要素法に基づく動的解析法(FLIP)                                                                                                                                                                                                                                                                   | 有限要素法に基づく静的解析法(ALID)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地震動の入力<br>～<br>過剰間隙水圧の発生<br>～<br>土の強度・剛性の低下 | <ul style="list-style-type: none"><li>解析底面において入力地震動を設定する。小さな時間ステップごとに変位や土の応力、過剰間隙水圧、ひずみ、強度、剛性などが地盤内の全ての地点において求まる。</li><li>地表面震度から求まる地盤内のせん断応力Lと土の液化化抵抗Rの比から簡便に液化化の程度を予測する液化化判定法(<math>F_L</math>法)とは異なり、地震動の特性(振幅、周波数、継続時間など)、土の力学特性や地層構成が地盤の状態(加速度分布、応力、ひずみなど)に及ぼす影響が考慮される。</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>液化化判定によって地盤内の<math>F_L</math>の分布を求め、液化化すると判定された土については<math>F_L</math>と繰返し三軸強度比<math>R_L</math>から液化化後の低下した剛性を求める</li><li>非液化化層の剛性も低下させる。</li><li>比較的簡便である。</li><li><math>F_L</math>に応じて土の剛性を徐々に低下させており、<math>F_L &lt; 1.0</math>で強度を一律にゼロとする<math>\Delta u</math>法と比較して実際の土の特性を反映している。</li></ul> |
| 盛土の沈下                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>地震中に生じる土の強度・剛性の低下、および地盤に作用する地震慣性力による地盤の変形が計算される。</li></ul>                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>地盤の剛性が低下したことによって盛土が沈下するものと考え、地盤剛性が低下した状態での堤防沈下量を静的なFEMによって求め、これを地震による沈下量とする。</li><li>比較的簡便である。</li></ul>                                                                                                                                                                                        |

$F_L$ (液化化抵抗率= $R/L$ )：動的せん断強度比( $R$ )と地震時せん断応力比( $L$ )の比で表され、 $F$ が1.0以下の土層については液化化すると判断。  
 $R$ (動的せん断強度比)：地震時における地盤の抵抗力  
 $L$ (地震時せん断応力比)：地震時に地盤に作用する力

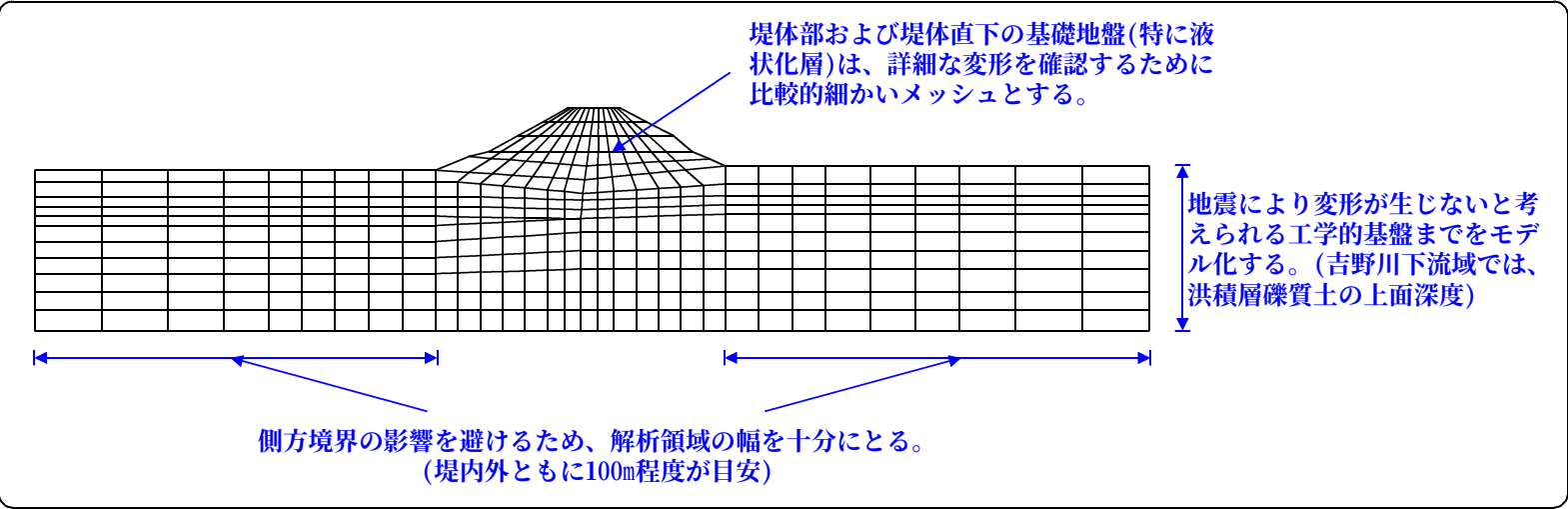
■解析手法の概要

(1)地盤のモデル化

【動的変形解析(FLIP)】

【静的変形解析(ALID)】

(1.1) F E Mメッシュの作成



(1.2)変形解析に必要な定数

| 分 類   | 項 目                                     | 変形予測手法 |      | 変形解析への利用の考え方                                                                         |
|-------|-----------------------------------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                         | FLIP   | ALID |                                                                                      |
| 物理特性  | 湿潤密度 $\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$     | ○      | ○    | 主に静的自重解析に用いる。<br>ALIDでは液化化抵抗率(FL)の算出およびせん断剛性低下率の算出に用いる。                              |
|       | 細粒分含有率 $F_c(\%)$                        |        | ○    |                                                                                      |
|       | 10%粒径, 平均粒径 $D_{10}, D_{50}(\text{mm})$ |        | ○    |                                                                                      |
|       | 塑性指数 $I_p(\%)$                          |        | ○    |                                                                                      |
| せん断特性 | 内部摩擦角 $\Phi_r(^{\circ})$                | ○      |      | FLIPにおいて、地盤の応力, 変位, 強度の算出に用いる。                                                       |
|       | 変相角 $\Phi_p(^{\circ})$                  | ○      |      |                                                                                      |
| 変形特性  | せん断弾性係数 $G(\text{kPa})$                 |        | ○    | 主にFLIPで、地盤の応力, 変位, 速度, 加速度, 強度, 剛性の算出に用いる。<br>ALIDでは、低下したせん断剛性(地震後の特性値)での静的自重解析に用いる。 |
|       | 初期せん断弾性係数 $G_{ma}(\text{kPa})$          | ○      |      |                                                                                      |
|       | 体積弾性係数 $K_{ma}(\text{kPa})$             | ○      |      |                                                                                      |
|       | ポアソン比 $\nu$                             | ○      | ○    |                                                                                      |
|       | せん断波速度 $V_s(\text{m}/\text{s})$         | ○      |      |                                                                                      |
|       | 履歴減衰の上限値 $h_{max}$                      | ○      |      |                                                                                      |
| 液化化特性 | 液化化特性の全体を規定する定数 W1                      | ○      |      | FLIPにおいて、地盤の応力, 水圧, 変位の算出に用いる。                                                       |
|       | 液化化特性の前半を規定する定数 P1                      | ○      |      |                                                                                      |
|       | 液化化特性の後半を規定する定数 P2                      | ○      |      |                                                                                      |
|       | 液化化特性の下限値を規定する定数 C1                     | ○      |      |                                                                                      |
|       | 液化化特性の最終状態を規定する定数 S1                    | ○      |      |                                                                                      |

(F.1.3)境界条件の設定

- 静的自重解析
  - ・側方：水平方向のみ固定
  - ・底面：水平, 鉛直方向固定
- 動的解析
  - ・側方, 底面：粘性境界(到達する波動が透過するような境界)

(A.1.3)境界条件の設定

- 静的自重解析
  - ・側方：水平方向のみ固定
  - ・底面：水平, 鉛直方向固定

粘性境界：動的解析においては、解析領域の境界面で反射波が発生する。この反射波による影響を避けるために、反射波を吸収するための境界を境界条件として与える。

ポアソン比：土に鉛直方向の圧縮力を加えたとき、「鉛直方向のひずみ $\varepsilon_a$ 」に対する側方に膨れ出す「水平方向のひずみ $\varepsilon_r$ 」の比。

$$\nu = \varepsilon_r / \varepsilon_a$$



(2)解析の実施

【動的変形解析(FLIP)】

【静的変形解析(ALID)】

(2.1)地震前の物性値を用いた静的自重解析

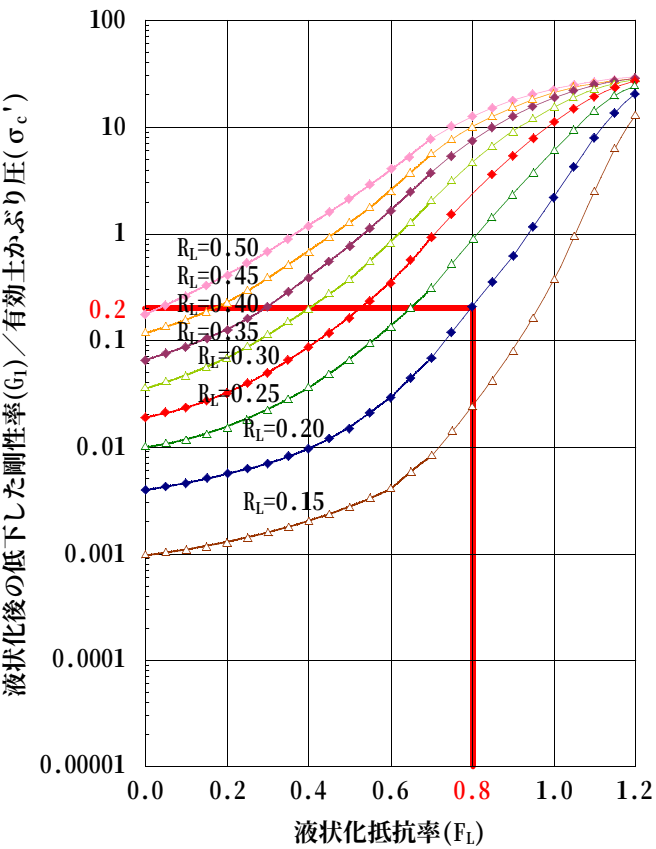
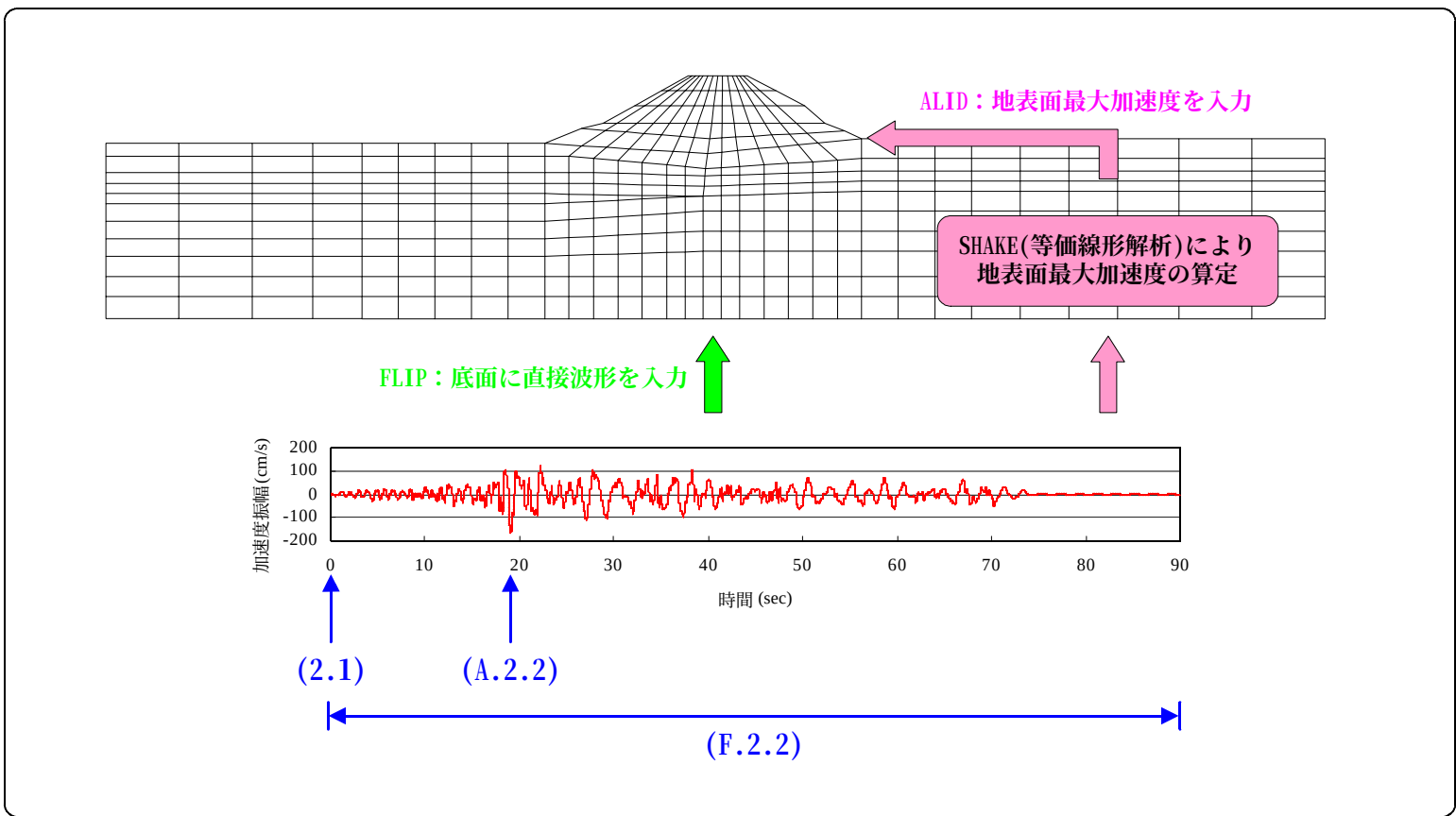
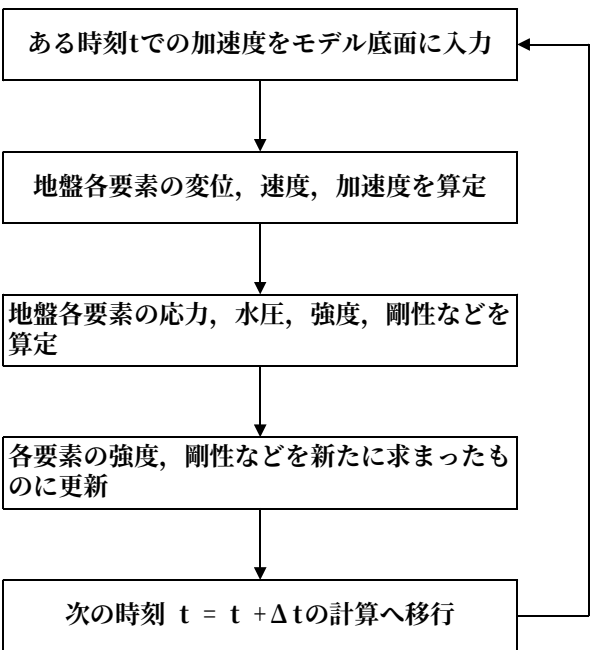
- 地震前の物性値を用いて、初期応力状態(現在の応力状態)を算定

(F.2.2)動的解析

- 静的自重解析で得られた初期応力を引き継ぎ、時刻歴波形を入力して解析を実施
- 時刻歴応答値を算出

(A.2.2)地震後の物性値を用いた静的自重解析

- 地表面最大加速度を用いた液状化判定により、地盤内の液状化抵抗率( $F_L$ )の分布を求め、液状化すると判定された土層については、液状化抵抗率( $F_L$ )と繰返し三軸強度比( $R_L$ )の関係から、液状化後の低下した剛性( $G_1$ )を求める。
- 液状化後の低下した剛性( $G_1$ )を用いて、地盤剛性が低下した応力状態(地震後の応力状態)を算定



【液状化後の低下した剛性( $G_1$ )の算出方法】

- ①液状化抵抗率( $F_L$ )を求める
- ②繰返し三軸強度比( $R_L$ )を求める  
↓(グラフより)
- ③液状化後の低下した剛性率( $G_1$ )と有効土かぶり圧( $\sigma'_c$ )の比を求める  
↓
- ④湿潤密度, 層厚, 地下水位より有効土かぶり圧( $\sigma'_c$ )を求める  
↓
- ⑤液状化後の低下した剛性( $G_1$ )を求める

- ①液状化抵抗率( $F_L$ )=0.8
- ②繰返し三軸強度比( $R_L$ )=0.2  
↓(グラフより)
- ③液状化後の低下した剛性率( $G_1$ )／有効土かぶり圧( $\sigma'_c$ )=0.2  
↓
- ④有効土かぶり圧( $\sigma'_c$ )=150kN/m<sup>2</sup>  
↓
- ⑤液状化後の低下した剛性( $G_1$ )=30kN/m<sup>2</sup>

(F.2.3)最終変位量の算定

- 地震動終了後の変位量を最終変位量とする。

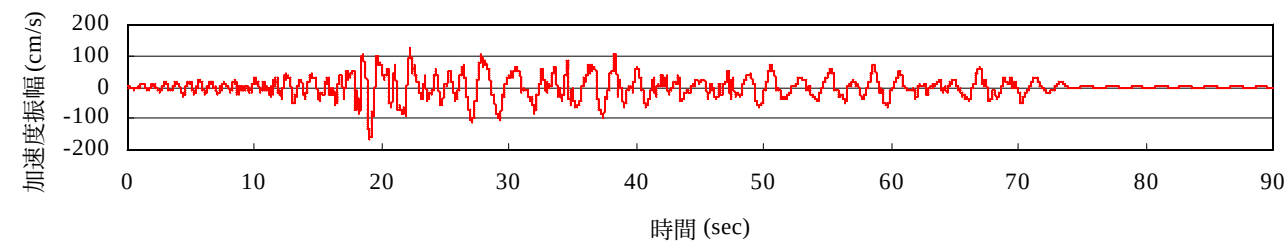
(A.2.3)最終変位量の算定

- 地震後の変位量から地震前の変位量の差をとり、最終変位量を算出する。

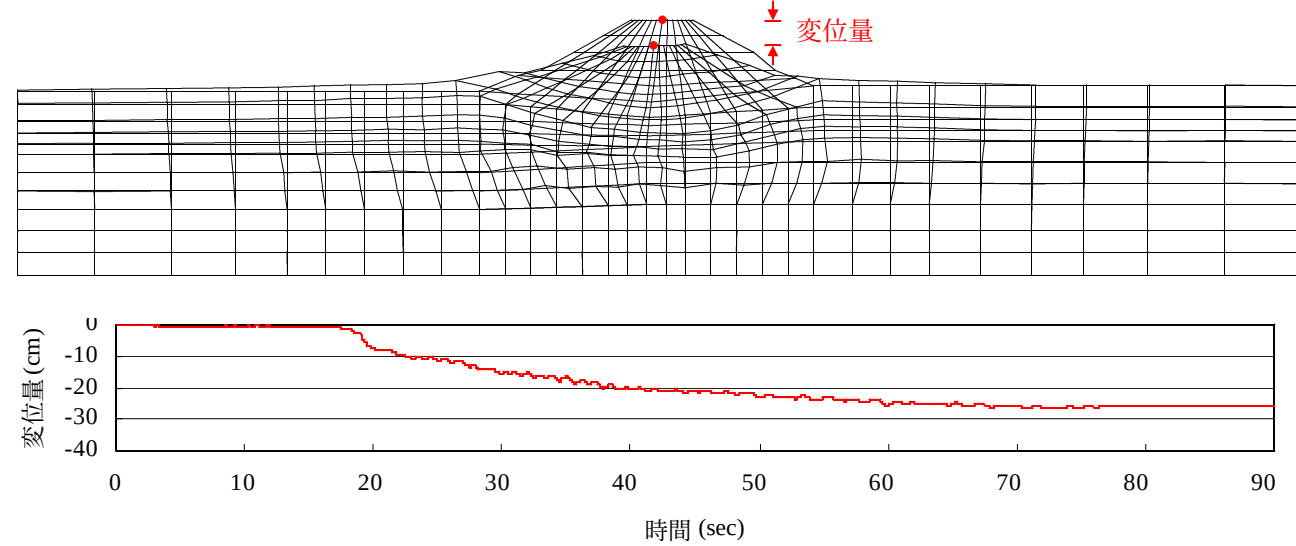
(3)結果の整理

【動的変形解析(FLIP)】

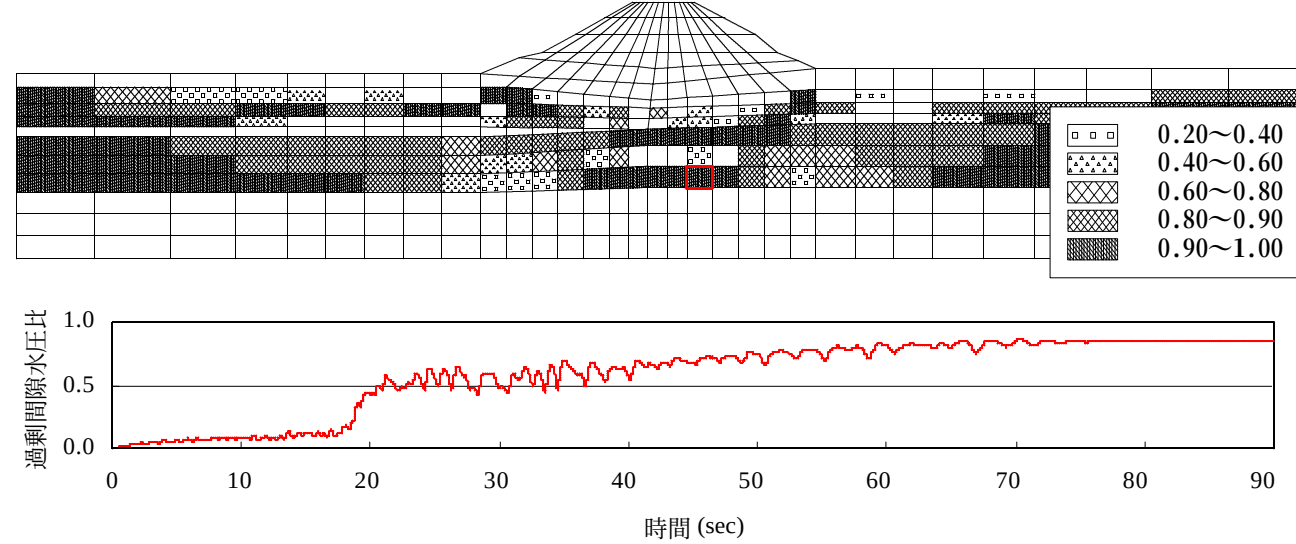
●加速度振幅



●残留変形図

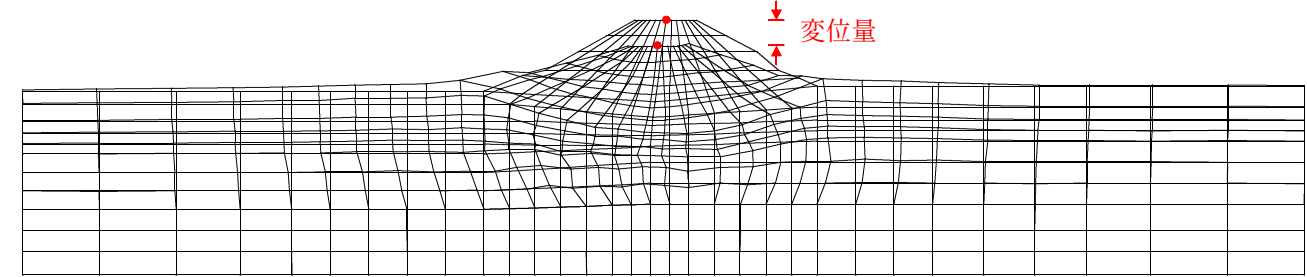


●過剰間隙水圧比分布図

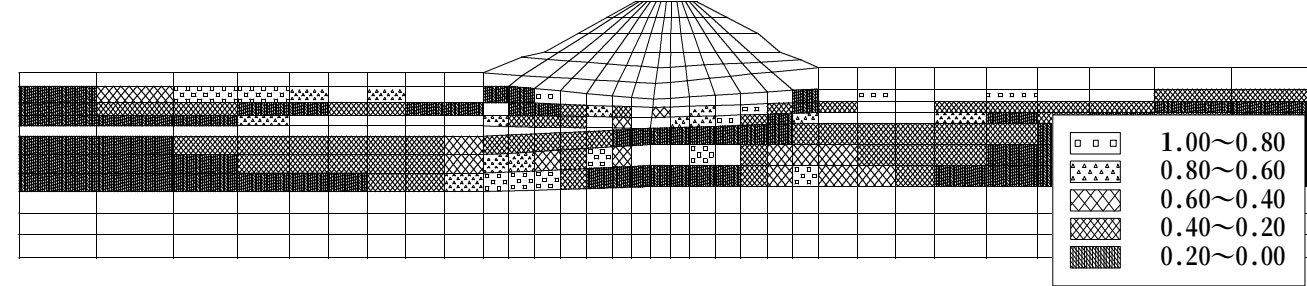


【静的変形解析(ALID)】

●残留変形図



●液状化抵抗率( $F_L$ )分布図





3.2 吉野川下流域の地盤特性

■吉野川下流域の地層構成

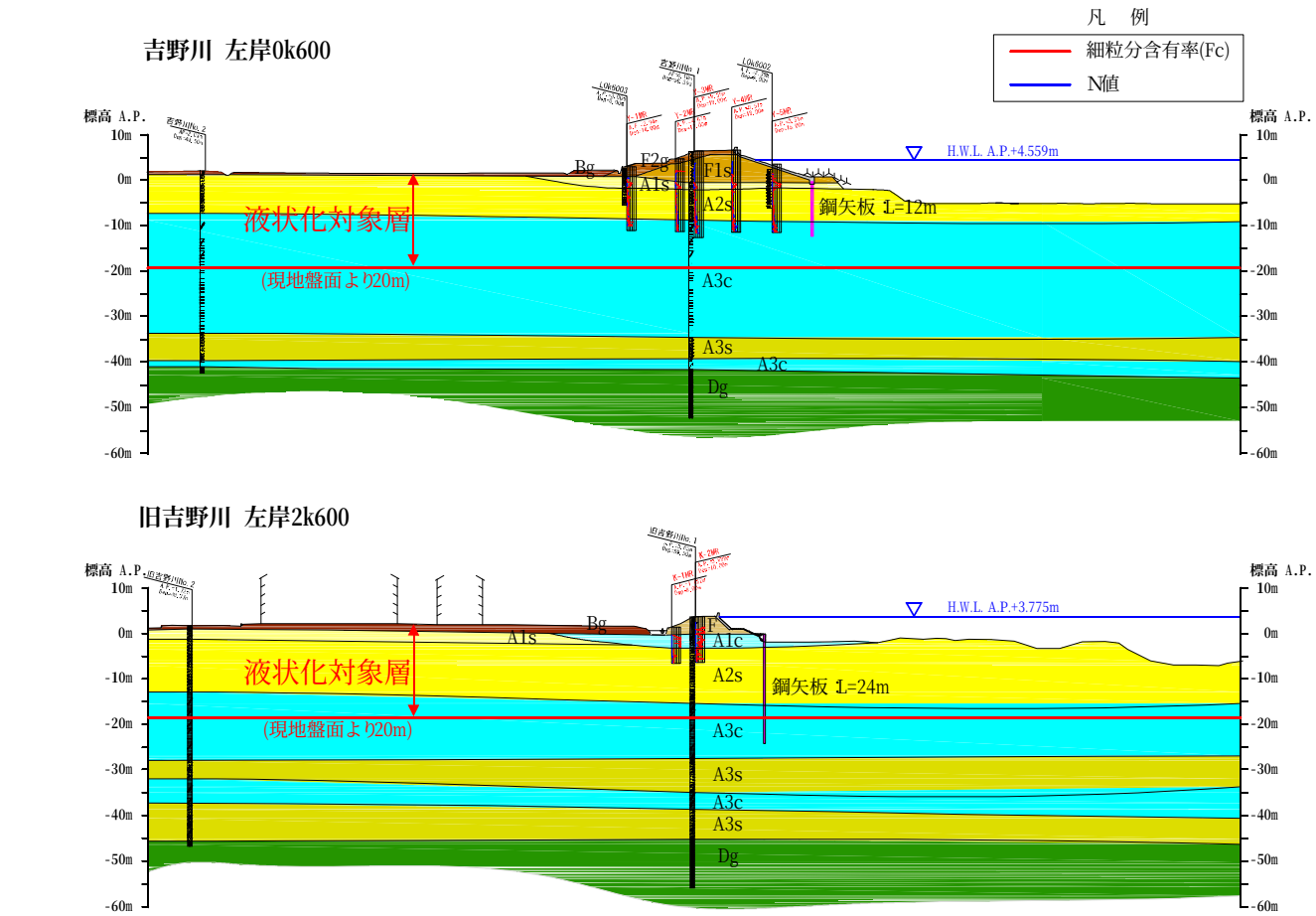
吉野川下流域の地層構成は下表に示すとおりであり、洪積層礫質土(Dg)を工学的な基盤とし、その上位には軟弱な沖積層粘性土(Ac)および砂質土(As)が互層状に厚く堆積する。

| 地質時代           |     | 地 層 名             | 地質記号             | 土 質 |
|----------------|-----|-------------------|------------------|-----|
| 現 世            |     | 堤内地盛土             | Bg               | 礫質土 |
|                |     | 二期堤体盛土 吉野川：昭和2年以降 | F <sub>2</sub> g | 礫質土 |
|                |     | 一期堤体盛土 吉野川：昭和2年以前 | F <sub>1</sub> s | 砂質土 |
|                |     | 堤体盛土 旧吉野川         | F                | 粘性土 |
| 新 生 代<br>第 四 紀 | 完新統 | 沖積層第一砂質土          | A <sub>1</sub> s | 砂質土 |
|                |     | 沖積層第一粘性土          | A <sub>1</sub> c | 粘性土 |
|                |     | 沖積層第二砂質土          | A <sub>2</sub> s | 砂質土 |
|                |     | 沖積層第三粘性土          | A <sub>3</sub> c | 粘性土 |
|                |     | 沖積層第三砂質土          | A <sub>3</sub> s | 砂質土 |
|                | 更新統 | 洪積層礫質土            | Dg               | 礫質土 |
|                |     |                   |                  |     |

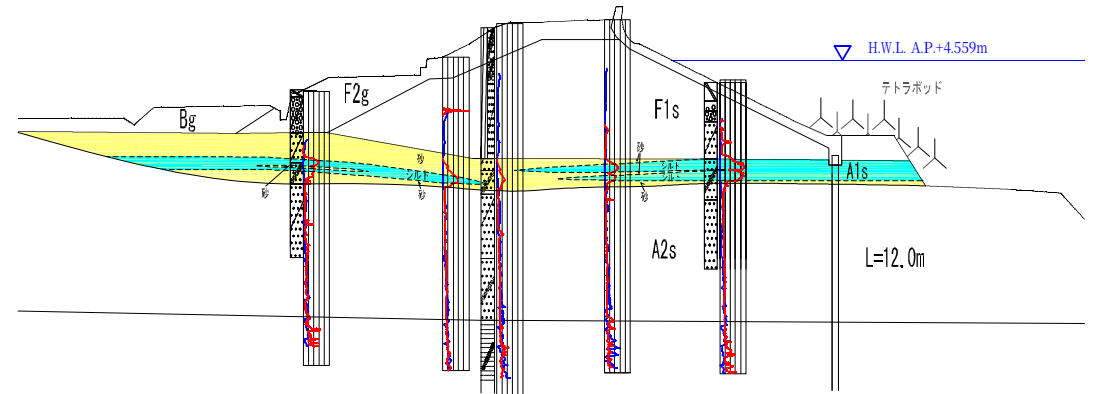
■軟弱な沖積層の分布状況

かつての吉野川は、現在の旧吉野川(今切川)を本流としており、現在の第十堰の下流には吉野川の原型となる別宮川が流れていた。このため、吉野川は比較的静穏な堆積環境にあったと考えられ、縄文海進時に堆積した粘性土(A3c)が、層厚25m程度で厚く堆積する。

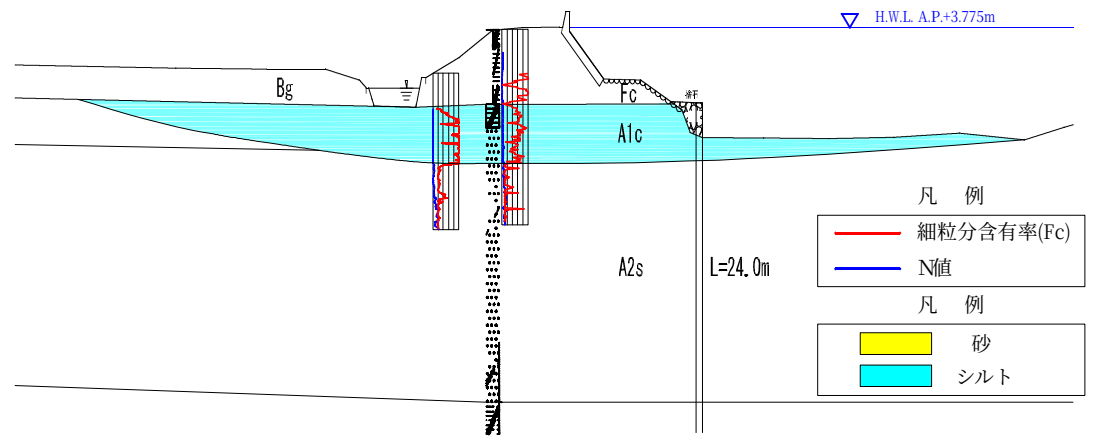
一方、旧吉野川は砂質土と粘性土が互層状に分布しており、洪水の度に一度堆積した粘性土(A3c)が洗掘され、そこに砂質土(A3s,A2s)が堆積したと考えられる。



堤防直下に分布する現河道の氾濫堆積物は、吉野川が本流となった現在の堆積環境が反映されており、吉野川では粘性土～砂質土が互層状を成す非常に不均質な地層となっている。一方、旧吉野川は比較的均質な粘性土が分布している。



堤体部分の拡大図(吉野川左岸0k600)



堤体部分の拡大図(旧吉野川左岸2k600)

■液状化対象層の設定

一般に、液状化対象層とするのは緩い飽和砂質土層であり、「道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)：社団法人 日本道路協会(平成14年3月)」によれば、以下の条件全てに該当する場合を液状化の判定を行う必要がある砂質土層として定義している。

- ①地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ②細粒分含有率(Fc)が35%以下の土層、または、Fが35%を超えても塑性指数(I<sub>p</sub>)が15以下の土層
- ③平均粒径(D<sub>50</sub>)が10mm以下で、かつ、10%粒径(D<sub>10</sub>)が1mm以下である土層

吉野川下流域に分布するA3cは粘性土であるものの、その上部はシルトを主体とする塑性指数(I<sub>p</sub>)が15以下の地層である。したがって、現地盤面から20m以内の深さまでが液状化対象層となる。

塑性指数(I<sub>p</sub>)：土を工学的に分類するための指標で、主に粘性土の塑性の大小を示すのに用いられる。粘土粒子が多いほど大きく、シルト粒子や砂粒子を多く含む土は小さい。  
平均粒径(D<sub>50</sub>)、10%粒径(D<sub>10</sub>)：粒度試験において、土の全重量に対する質量50%の土がふるいを通過したときの粒径を平均粒径という。10%粒径は質量10%の土がふるいを通過したときの粒径である。

■液状化強度特性

地震に対する液状化対象層の動的せん断強度を得る目的で、液状化対象層から採取した試料について液状化試験を行い、繰返し三軸強度比( $R_L$ )を求めた。結果を下表に示す。

| 試料採取位置 |          |      | 繰返し三軸強度比( $R_L$ ) |
|--------|----------|------|-------------------|
| 河川名    | 地層名      | 地質記号 |                   |
| 吉野川    | 堤体盛土     | F1s  | 0.168             |
|        | 沖積層第一砂質土 | A1s  | 0.129             |
|        |          |      | 0.220             |
|        | 沖積層第二砂質土 | A2s  | 0.180             |
|        |          |      | 0.178             |
| 旧吉野川   | 沖積層第二砂質土 | A2s  | 0.185             |
|        |          |      | 0.167             |
|        |          |      | 0.195             |

※数値の色は下表の区分と対応

繰返し三軸強度比( $R_L$ )は、土の種類や密度などによって異なってくる。また、液状化の発生は加わる地震力にも関係するため、繰返し三軸強度比( $R_L$ )だけでは液状化するか否かの判断はできない。しかし、これまでの経験から、一般的な目安として「液状化のしやすさ」は下表のようにまとめられている。

吉野川下流域に分布する液状化対象層の繰返し三軸強度比( $R_L$ )は概ね0.2以下を示し、下表に従えば、液状化しやすい土に区分されている。

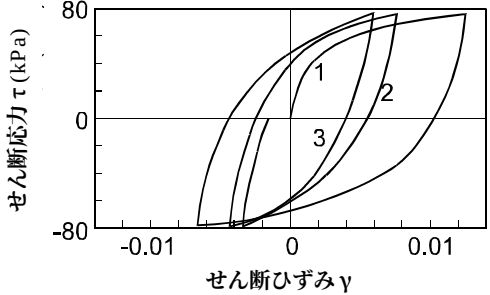
| 液状化の発生 | 繰返し三軸強度比( $R_L$ ) |     |     |     |
|--------|-------------------|-----|-----|-----|
|        | 0.2               | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| しやすい   | <div></div>       |     |     |     |
| 中 位    | <div></div>       |     |     |     |
| しにくい   | <div></div>       |     |     |     |

参考資料：「液状化の調査から対策工まで(安田)：鹿島出版会」に修正加筆

■動的変形特性

地震により土に繰返し荷重(地震による力)が作用すると、右図に示すような挙動(非線形性)を示す。

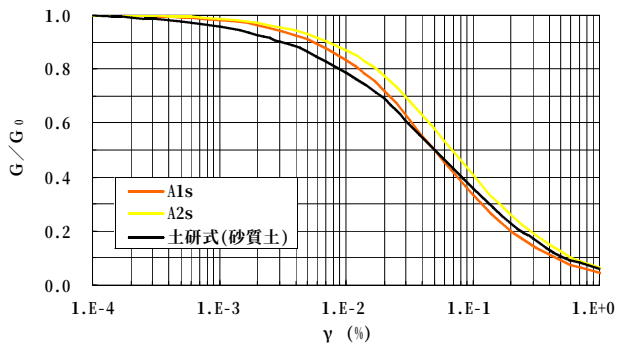
地盤材料の非線形性は動的変形特性とも呼ばれ、この変形特性は三軸試験機や中空ねじり試験機を用いた動的変形特性試験より求められる。



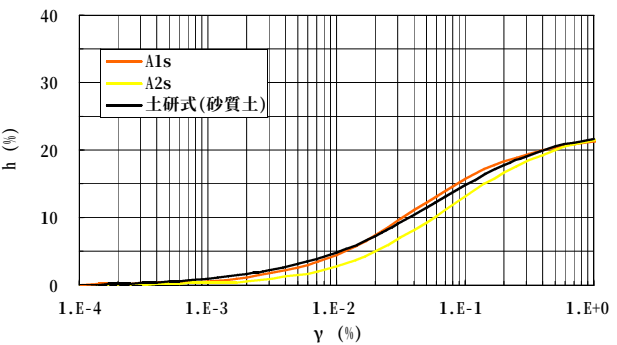
繰返しせん断を受ける土の挙動の例

地震に対する液状化対象層(A1s,A2s,A3c)の動的変形特性を得る目的で、液状化対象層から採取した試料について動的変形特性試験を行い、応力－ひずみ関係の形状より、ひずみレベルに応じたせん断定数( $G$ )と減衰定数( $h$ )を求めた。

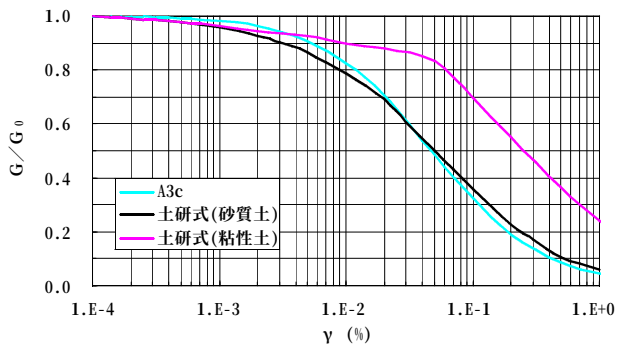
結果を下図に示す。なお、同図には「独立行政法人 土木研究所」が提案する一般的な砂質土および粘性土の動的変形特性を併記した。



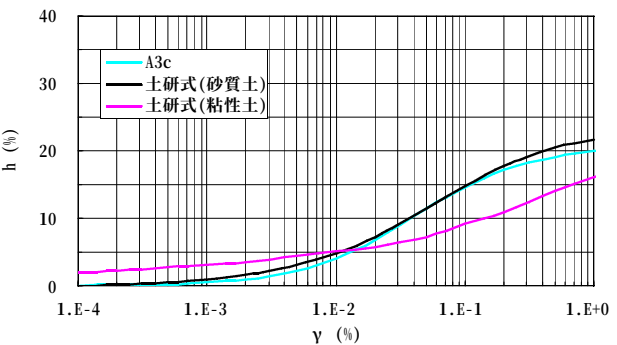
A1s, A2s層  $G/G_0 \sim \gamma$  関係



A1s, A2s層  $h \sim \gamma$  関係



A3c層  $G/G_0 \sim \gamma$  関係

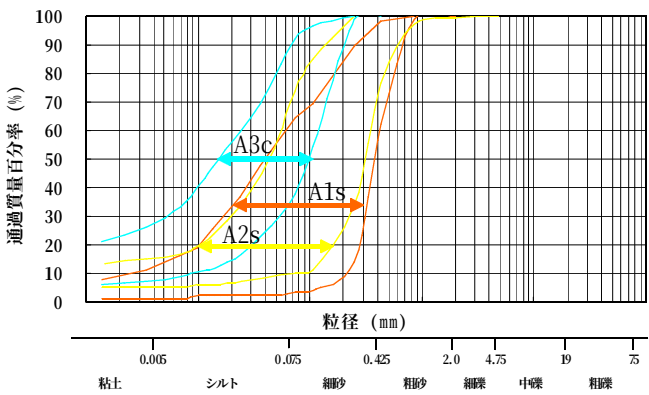


A3c層  $h \sim \gamma$  関係

A1sおよびA2sの動的変形特性は、「独立行政法人 土木研究所」が示す動的変形特性と近似しており、一般的な砂質土の変形特性といえる。

一方、A3cはシルトを主体とする粘性土であるものの、塑性指数( $I_p$ )が15%未満と低塑性であるため、砂質土に近い物理特性を示す。

したがって、A3cの動的変形特性は、A1sおよびA2sと同様に砂質土に近似した変形特性を示す。



各地層の粒度分布

※ 地震時における地盤の液状化に対する抵抗力(強度)は、動的せん断強度比( $R$ )で表される。この動的せん断強度比( $R$ )は、液状化試験によって求められる繰返し三軸強度比( $R_L$ )と以下の関係にある。

動的せん断強度比( $R$ )＝地震動特性による補正係数( $C_n$ )×繰返し三軸強度比( $R_L$ )

ここで、地震動特性による補正係数( $C_n$ )：タイプ I (プレート境界での海洋型)＝1.0

繰返し三軸強度比( $R_L$ )：N値もしくは液状化試験( $R_{L0}$ )により設定

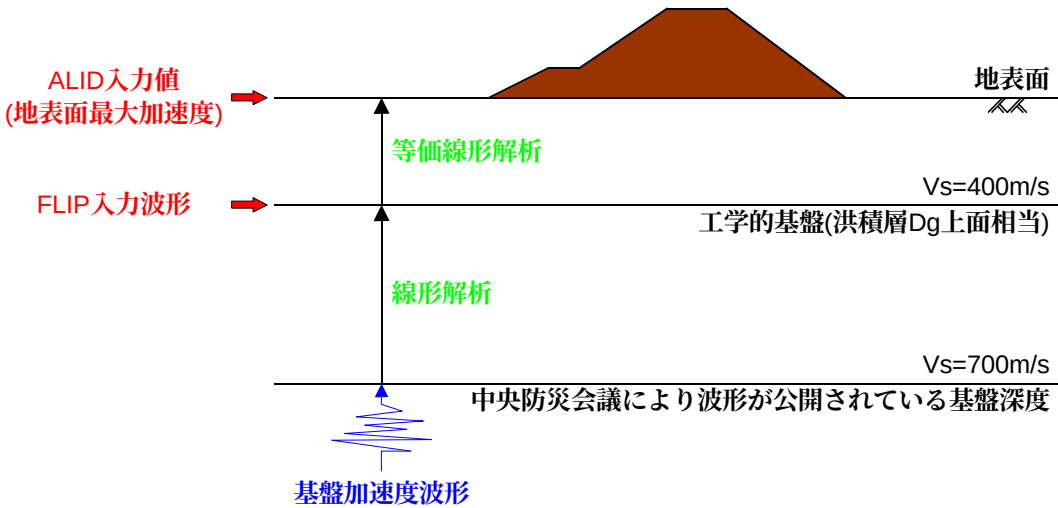
※ 剛性率 $G$ ：せん断弾性定数ともいい、力が加わった時のズレに対抗する度合いを示すもので、応力とひずみの比で求められる。剛性率は不変のものではなく、地盤内のひずみの大きさに依存して変化し、地震により地盤が揺らされた時には剛性は低下する。

減衰定数 $h$ ：地震を受けたことによって地盤内に発生し貯えられたエネルギーに対する、損失したエネルギーの割合を示す。減衰定数も剛性率と同じく、地盤内のひずみの大きさに依存して変化し、地震により地盤が揺らされた時には減衰定数は増大する。

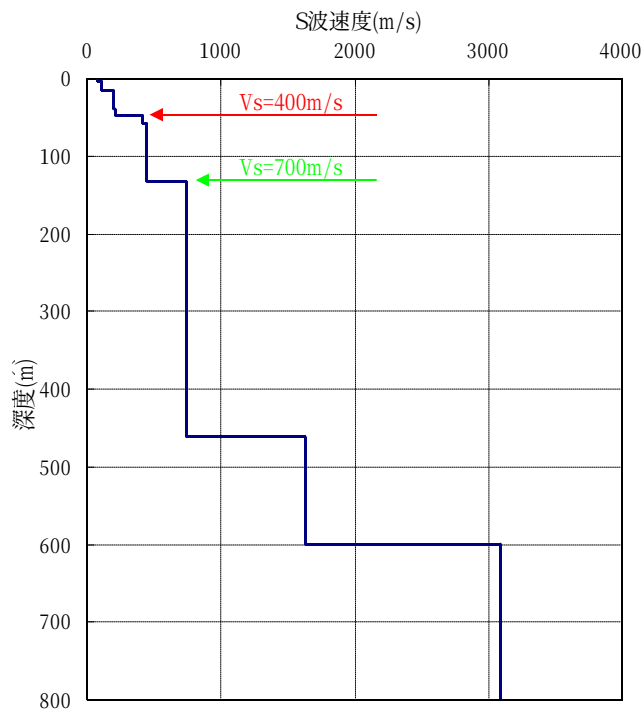


■地盤の速度構造

中央防災会議より公開されている東南海・南海地震連動モデルの地震波形は、せん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 相当層上面での基盤加速度波形である。変形解析(FLIP, ALID)に際しては、地表からこのせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 相当層までの地盤のS波速度構造をモデル化する必要がある。



P S 検層および微動アレイ探査から得られた吉野川下流域のS波速度構造を下表に示す。  
基盤加速度波形の入射する $V_s=700\text{m/s}$ 相当層は深度133mに、工学的基盤( $V_s=400\text{m/s}$ 以上)は深度47mに分布する。この工学的基盤( $V_s=400\text{m/s}$ 以上)は、洪積層礫質土(Dg)上面深度に該当する。

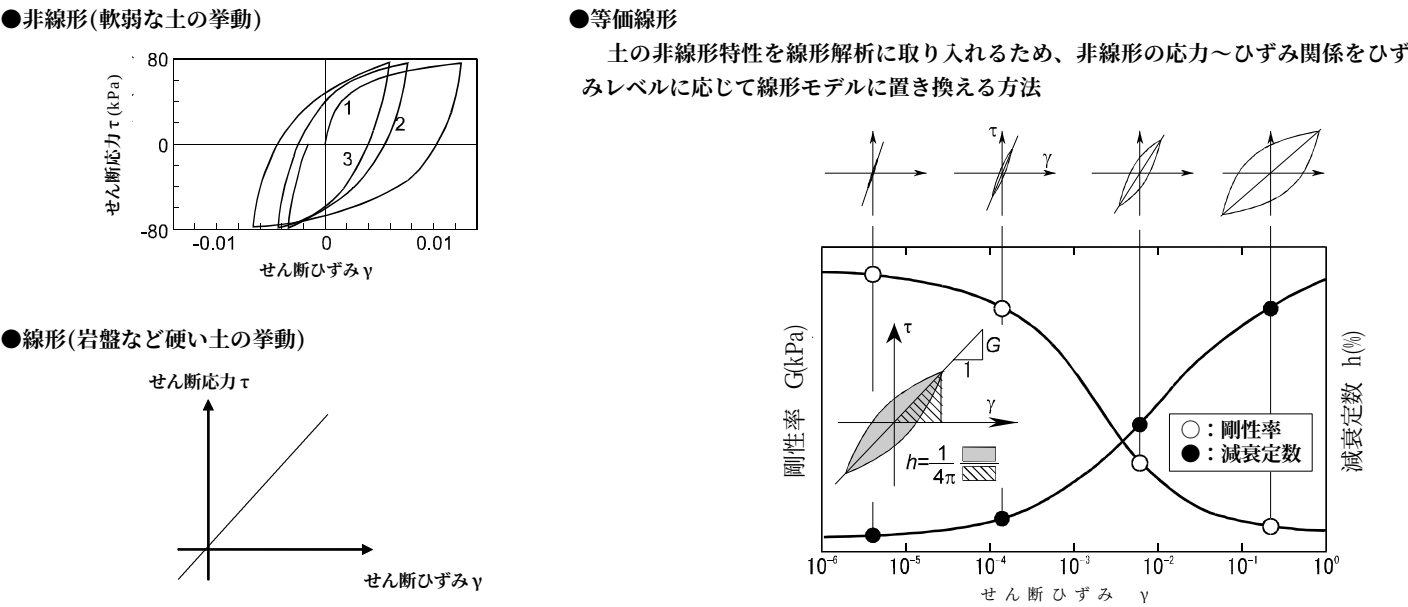
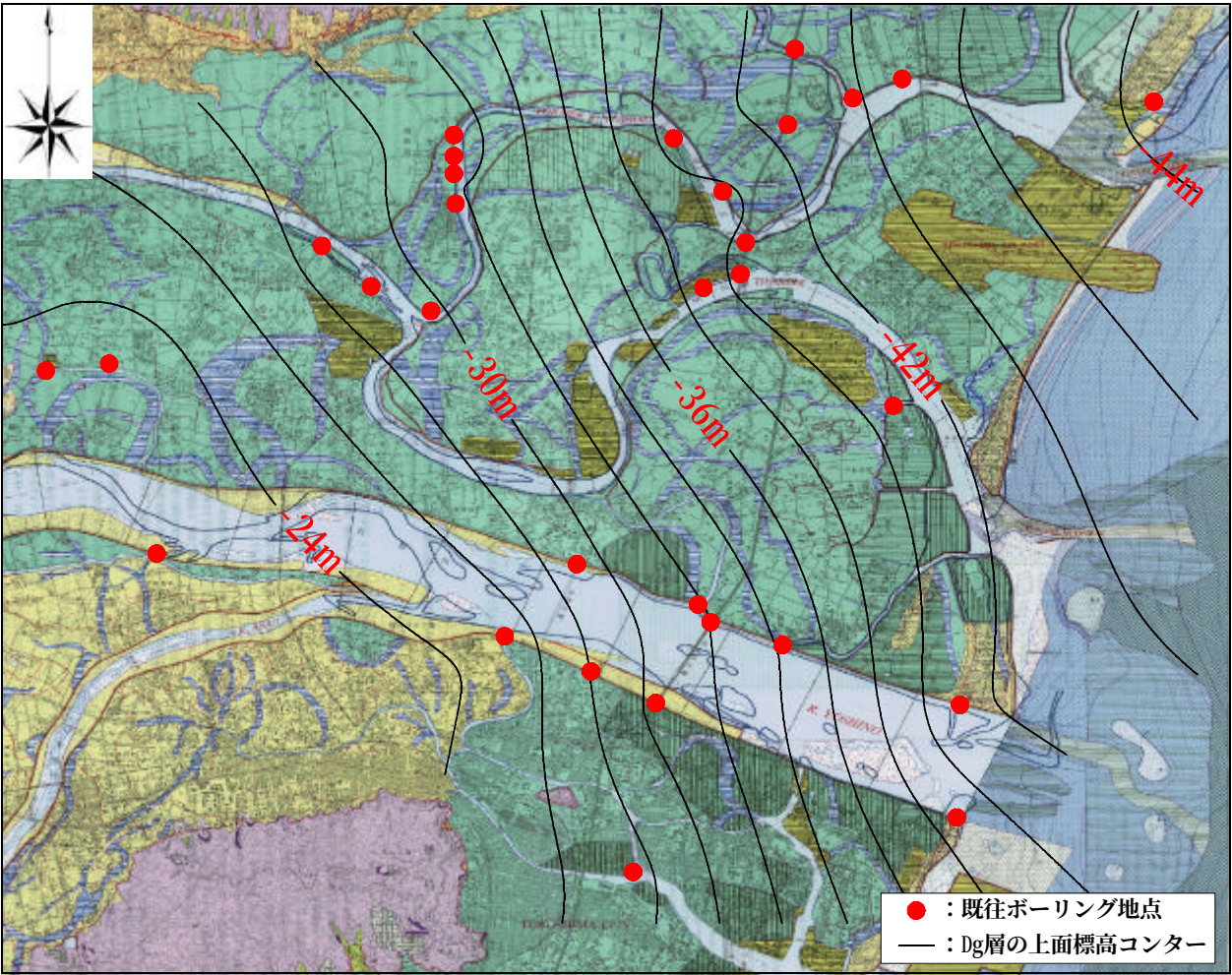


| 深度 (m) |         | S波速度 (m/s) |
|--------|---------|------------|
| 0.0    | - 3.9   | 75         |
| 3.9    | - 15.0  | 110        |
| 15.0   | - 38.9  | 200        |
| 38.9   | - 47.1  | 210        |
| 47.1   | - 58.4  | 410        |
| 58.4   | - 132.7 | 442        |
| 132.7  | - 460.5 | 737        |
| 460.5  | - 599.6 | 1630       |
| 599.6  | -       | 3094       |

線形解析：地震により土に繰り返し荷重が作用した場合の「応力～ひずみの関係」を一定として解析する方法。  
等価線形解析：地震により土に繰り返し荷重が作用した場合、土の「応力～ひずみの関係」は非線形性を示す。しかし、線形解析ではこの非線形性を考慮できないため、地盤特性(非線形性)を取り入れる工夫として、非線形の応力～ひずみ関係を、発生するひずみレベルに応じた線形モデルに置き換える手法をとっている(右図参照)。「SHAKE」は等価線形解析手法の1つであり、従来、最も一般的に利用されてきた等価線形解析のプログラムであり、これまでに適用された事例も数多い。

■工学的基盤(洪積層礫質土：Dg)の分布状況

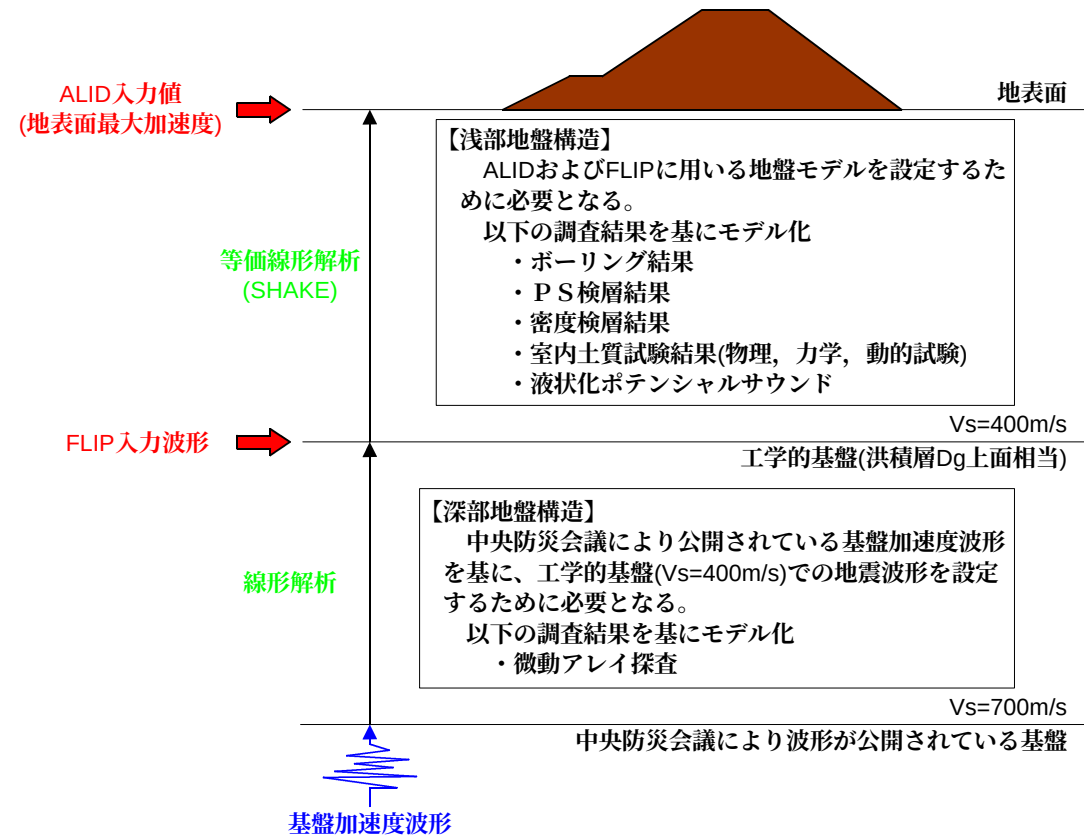
吉野川下流域における工学的基盤面( $V_s\geq 400\text{m/sec}$ 以上)は、洪積層礫質土(Dg)の上面深度に該当する。このDg上面深度は、既往ボーリング結果によれば、南西から北東方向に向かって緩やかに傾斜している。





3.3 地震外力の設定

FLIPおよびALIDに必要な地震外力の入力位置、および算定方法の概念図を下図に示す。



FLIPでは、工学的基盤(Vs=400m/s)における時刻歴波形が必要となる。ここで、中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」により公開された地震波形は、Vs=700m/s相当の基盤面における加速度波形である。このため、Vs=700m/sから400m/sまでの深部地盤を対象に線形解析を行い、工学的基盤における時刻歴波形を作成した。(右図参照)

一方、ALIDでは、地表面における最大加速度が必要となる。このことから、Vs=700m/sから400m/sまでの深部地盤は線形解析で、Vs=400m/sより上部の浅部地盤は、これまでに最も一般的に利用されてきた等価線形解析手法の1つである「SHAKE」により地表面最大加速度を算出した。

中央防災会議により公開されている地震波形の入射最大加速度、線形解析により算出した工学的基盤最大加速度、等価線形解析(SHAKE)により算出した地表面最大加速度(参考値)を下表に示す。

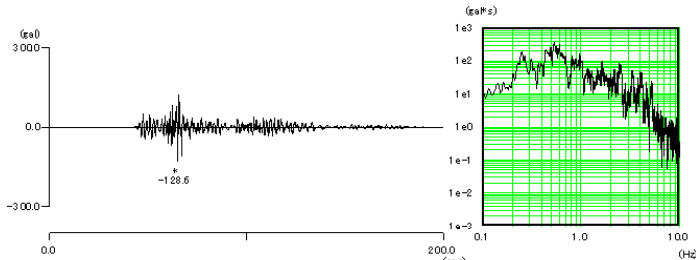
| 解析地点 |     |       | 入射最大加速度 <sup>1)</sup><br>(Gal) | 工学的基盤最大加速度 <sup>2)</sup><br>(Gal) | 地表面最大加速度 <sup>3)</sup><br>(Gal) |
|------|-----|-------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 河川名  | 左右岸 | 距離標   |                                |                                   |                                 |
| 吉野川  | 左岸  | 0k600 | 194                            | 252                               | 129                             |
| 旧吉野川 | 左岸  | 2k600 | 134                            | 141                               | 144                             |

1) 中央防災会議により波形が公開されている基盤深度(Vs=700m/s)  
2) 工学的基盤(洪積層Dg上面相当：Vs=400m/s)  
3) 等価線形解析(SHAKE)により算出した参考値

■変形解析に用いた地震波形

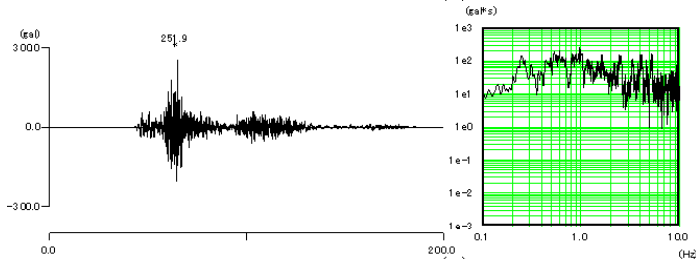
【吉野川左岸0k600】

①地表面



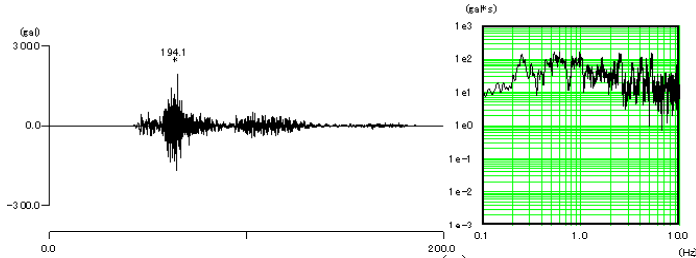
②工学的基盤

(Vs=400m/s)



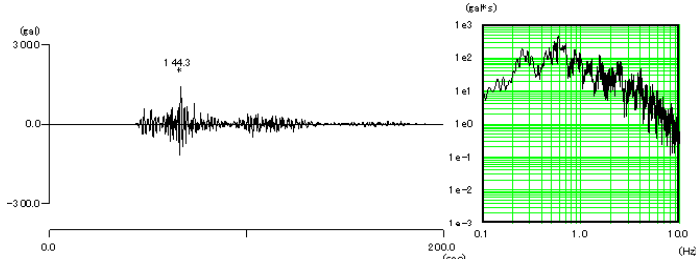
③基盤

(Vs=700m/s)



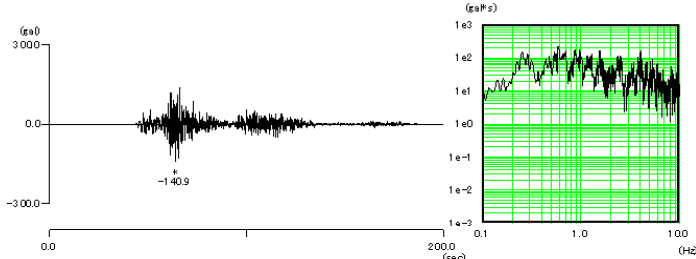
【旧吉野川左岸2k600】

①地表面



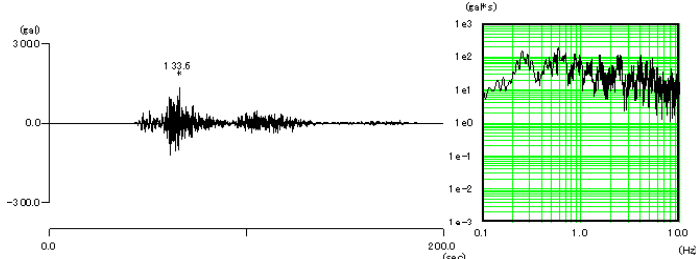
②工学的基盤

(Vs=400m/s)



③基盤

(Vs=700m/s)

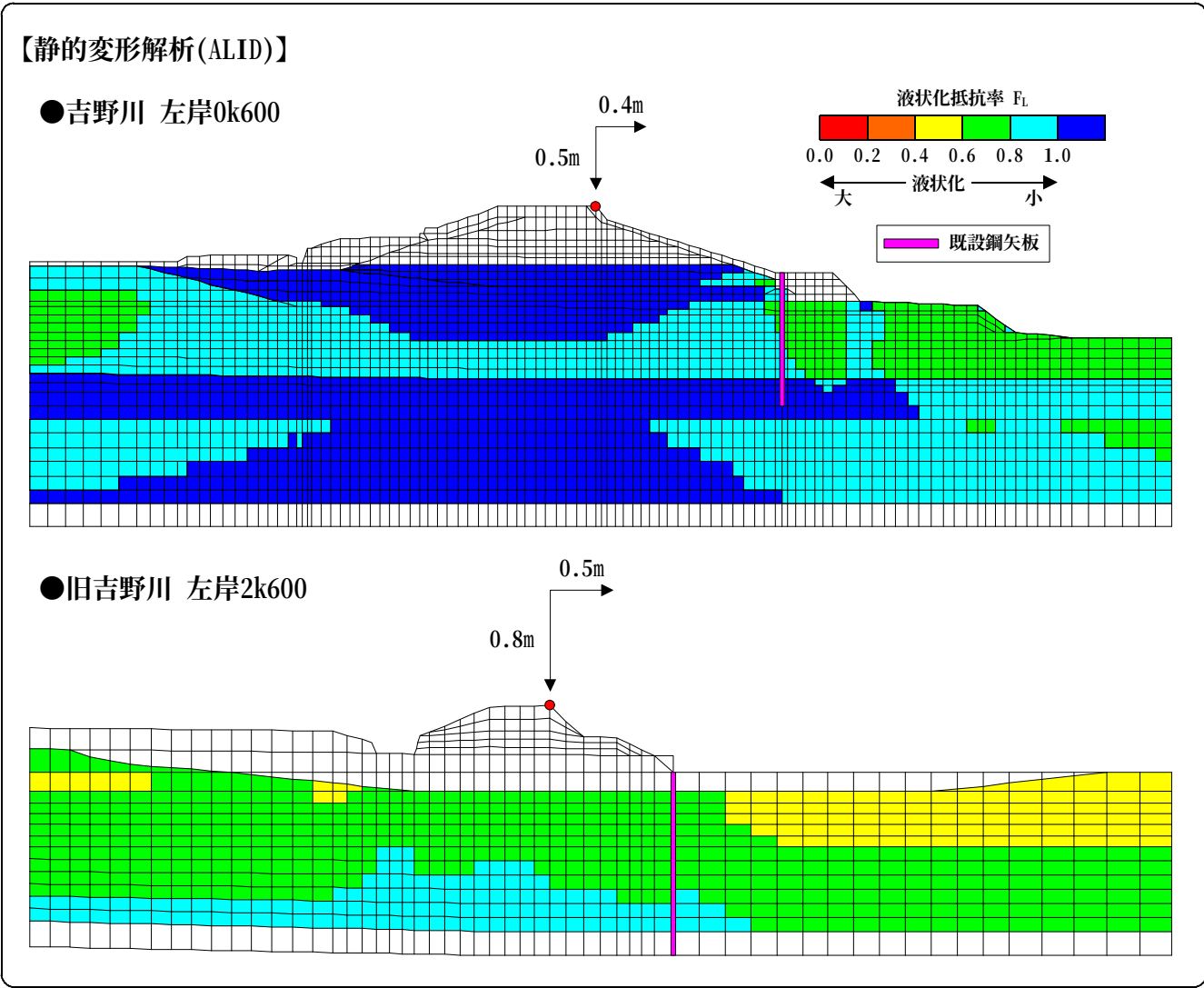
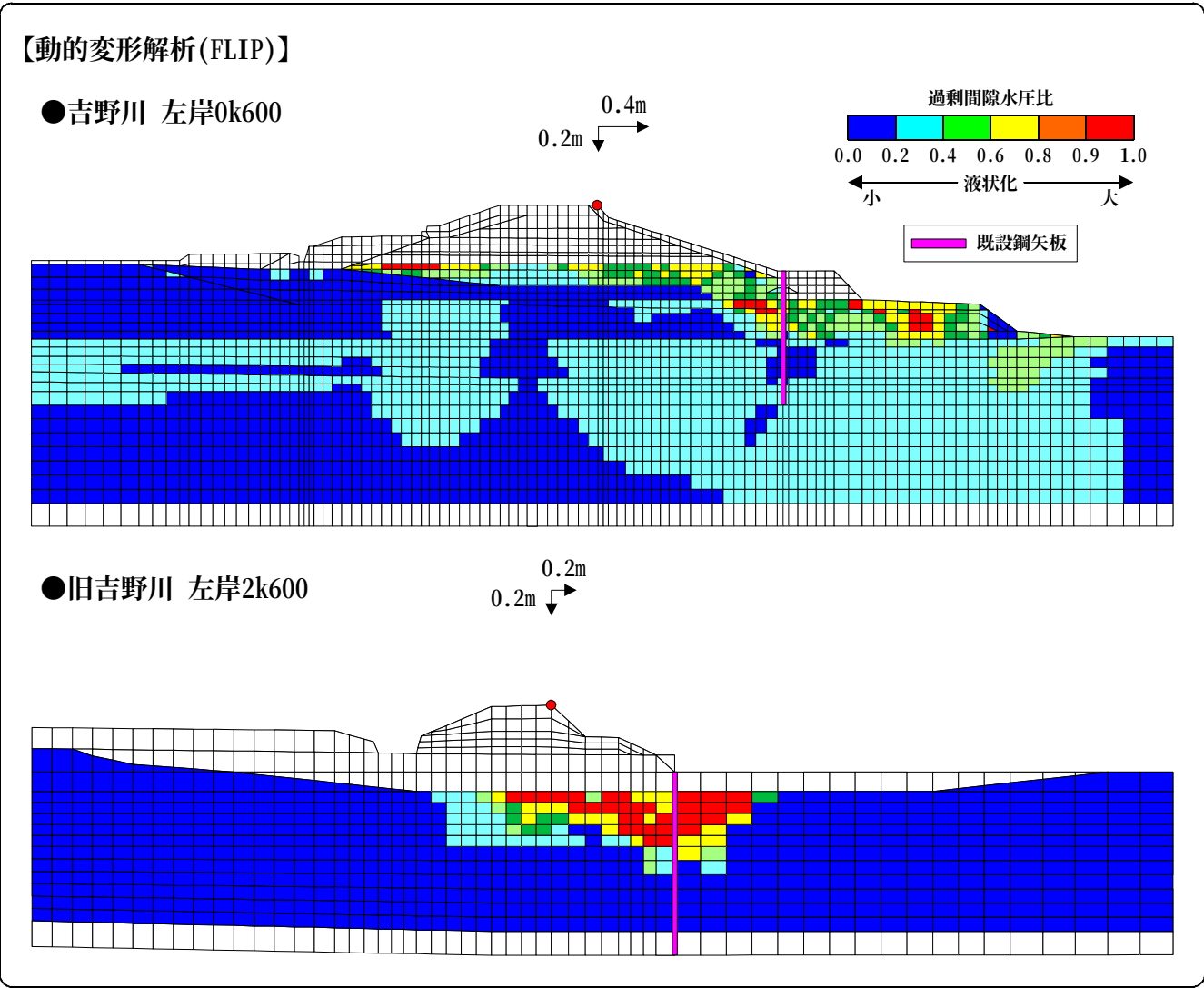


※上図「gal\*s~Hz」は、地震の周波数特性を示したものである。  
詳細は巻末資料「地震に関する用語」pp4参照

3.4 FLIPとALIDによる解析事例の紹介

■解析結果

吉野川左岸0k600および旧吉野川左岸2k600における、現況堤防(堤外側に鋼矢板施工済み：レベル1対策)の解析結果を下図に示す。



■FLIPの結果

- ・盛土下部の基礎地盤において過剰間隙水圧比が上昇(液状化が発生)する結果となった。その主な要因は、地震時に堤体に作用する慣性力の増大によるものである。
- ・盛土下部のみ過剰間隙水圧比が上昇(液状化が発生)することにより、変形が生じた。

■ALIDの結果

- ・液状化判定は、「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編：社団法人 日本道路協会(平成14年3月)」に準拠しており、計算では地表面最大加速度を地盤全体に一樣に与えている。このため、基礎地盤全体で液状化抵抗率( $F_L$ )が1未満を示す(液状化が発生する)結果となった。
- ・基礎地盤全体が液状化することにより、変形が生じた。



4. 東南海・南海地震に対する強化工法の紹介

4.1 強化工法の選定

■液状化対策工法の種類

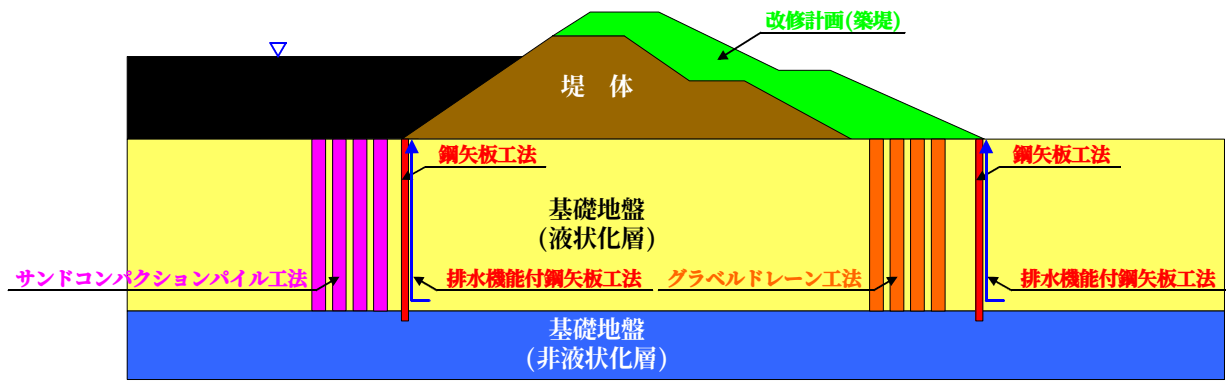
液状化対策工法には多種多様の工法があるが、設計上以下のように大別される。

- ①地盤系対策工法：基本的に対策域(改良体)を地盤として取り扱う。堤防の安定は、円弧すべり法により求めた安全率により照査する。
- ②構造系対策工法：基本的に対策域(改良体)を構造物として取り扱う。堤防の安定は、円弧すべり法により求めた安全率による照査に加えて、構造物(改良体)の外的安定および内的安定により照査する。

| 工 法     |          | 安定性の評価                                  | 改良仕様の設定                                 | 取り扱う工法                                            |
|---------|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 地盤系対策工法 | 振動締め固め工法 | 過剰間隙水圧を用いた円弧すべり計算で安定性を評価                | 所用の液状化抵抗率を満足するように設定                     | サンドコンパクション工法<br>振動棒工法<br>ハイプロローション工法<br>低振動締め固め工法 |
|         | 静的締め固め工法 |                                         |                                         | 静的締め固め砂杭工法<br>コンパクショングラウディング工法<br>特殊石灰パイル工法       |
|         | ドレーン工法   |                                         | 所用の過剰間隙水圧比を満足するように設定                    | グラベルドレーン工法<br>プラスチックドレーン工法                        |
|         | 押え盛土工法   |                                         | 過剰間隙水圧を用いた円弧すべり計算で安定性を評価                |                                                   |
| 構造系対策工法 | 固結工法     | 円弧すべり安全率による照査に加えて、構造体の外的安定及び内的安定により照査する | 円弧すべり安全率による照査に加えて、構造体の外的安定及び内的安定により照査する | 深層混合処理工法<br>高圧噴射攪拌工法<br>注入固化工法                    |
|         | 鋼材を用いた工法 |                                         |                                         | 鋼(鋼管)矢板工法<br>鋼(鋼管)矢板工法(排水機能付)                     |

これまで、吉野川下流域では上記した対策工法のうち、以下に示す工法を除外している。

- ①振動締め固め工法：振動、騒音が大きいとされる工法であり、周辺環境(近接する住家)への影響があるため、堤内側には採用しない。
- ②固結工法：吉野川下流域では地下水利用が多く、施工時に地下水汚濁などの可能性があるため採用しない。



吉野川下流域における液状化対策工法の概要図

■対策工法選定の基本方針

対策工法選定の基本方針は、これまでの検討経過を踏まえ、以下のとおりとする。

- ①堤内地への影響を極力避けるために、堤外側でできる対策を優先する。
- ②地下水利用があることから、そのような地域では地下水に影響を与えない工法とする。なお、施工時の地下水汚濁が懸念されるため、原則として固結工法は採用しない。
- ③中規模地震対策として実施された対策工を東南海・南海地震対策に組み込む。

4.2 強化工法の効果検討例

吉野川左岸0k600および旧吉野川左岸2k600では、レベル1地震動(中規模地震)に対する対策として、既に堤外側に鋼矢板が施工されている。以下では、既設の鋼矢板工法に新たな対策を追加した場合の堤防沈下量低減効果を検討した。

追加工法は、以下の理由により堤内外側の鋼矢板工法および堤外側の振動締固め工法(サンドコンパクションパイル工法)とした。

- 理由①：堤内側は家屋が近接していることから、わずかなスペースで施工できる鋼矢板工法以外は採用しない。
- 理由②：吉野川下流域では地下水利用が多く、施工時に地下水汚濁などの可能性があるため、固結工法は採用しない。

【検討ケース】

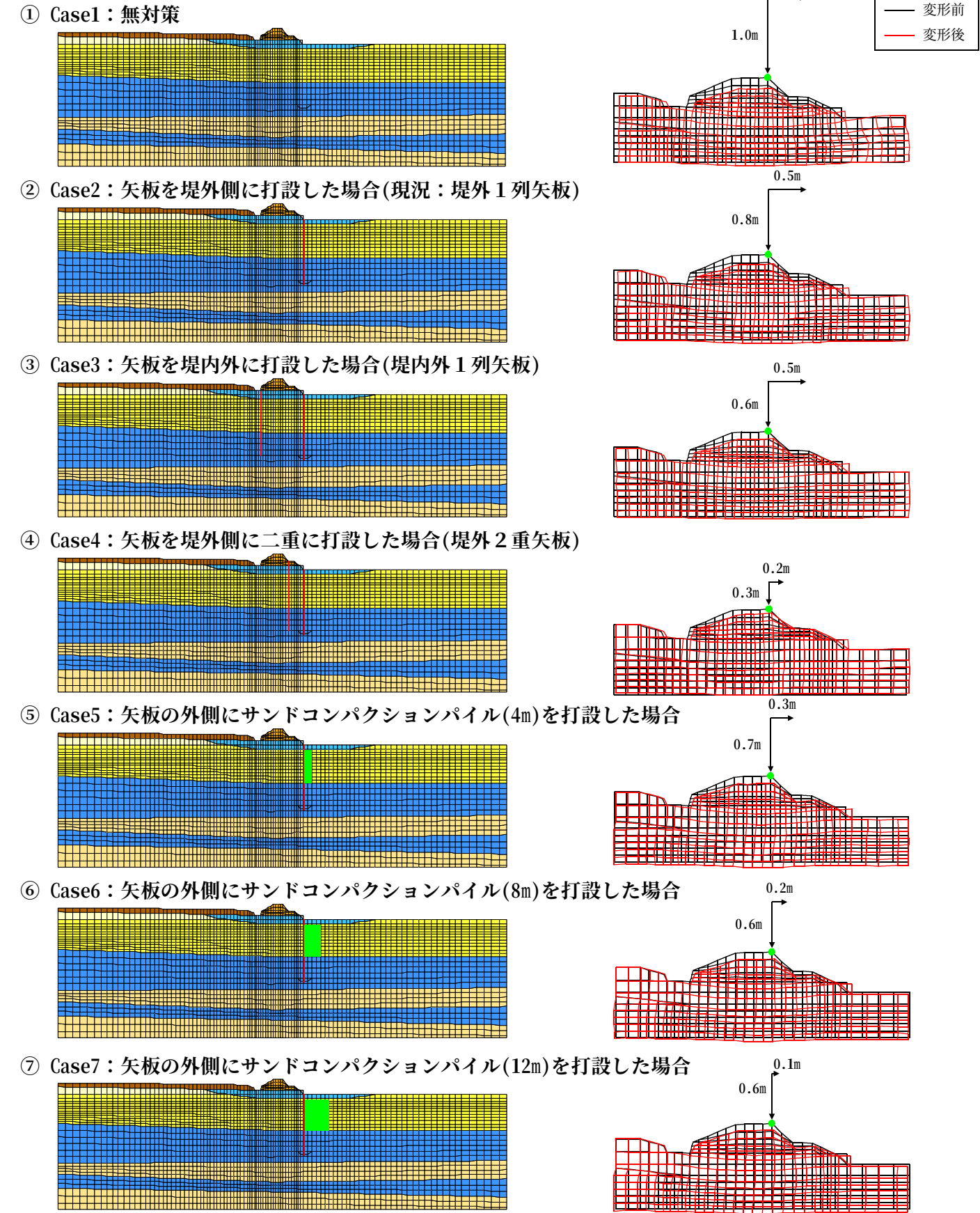
- ① Case1：無対策
- ② Case2：矢板を堤外側に1列打設した場合(現況：堤外1列矢板)
- ③ Case3：矢板を堤内外に1列打設した場合(堤内外1列矢板)
- ④ Case4：矢板を堤外側に2重に打設した場合(堤外2重矢板)
- ⑤ Case5：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(4m)を打設した場合
- ⑥ Case6：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(8m)を打設した場合
- ⑦ Case7：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(12m)を打設した場合

検討Caseごとの沈下低減効果を下表に示す。  
検討の結果、堤防断面が大きく、のり勾配の緩い吉野川堤防は沈下低減効果が小さく、堤防断面が小さく、のり勾配の急な旧吉野川堤防は沈下低減効果が大きいことを確認した。また、旧吉野川における対策工法のうち、堤外2重矢板(既設矢板の内側に矢板を追加打設する)の場合が、最も大きな沈下低減効果を得られることがわかった。

| 解析地点            | 検討Case |                    | 解析結果(沈下量) <sup>1)</sup><br>(m) | 沈下低減効果 <sup>2)</sup><br>(%) |
|-----------------|--------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 吉野川<br>左岸0k600  | Case1  | 無対策                | 0.53                           | —                           |
|                 | Case2  | 堤外1列矢板(現況)         | 0.53                           | 0.0                         |
|                 | Case3  | 堤内外1列矢板            | 0.52                           | 1.9                         |
|                 | Case4  | 堤外2重矢板             | 0.52                           | 1.9                         |
|                 | Case5  | サントコンパクションパイル(4m)  | 0.52                           | 1.9                         |
|                 | Case6  | サントコンパクションパイル(8m)  | 0.52                           | 1.9                         |
|                 | Case7  | サントコンパクションパイル(12m) | 0.52                           | 1.9                         |
| 旧吉野川<br>左岸2k600 | Case1  | 無対策                | 1.00                           | —                           |
|                 | Case2  | 堤外1列矢板(現況)         | 0.80                           | 20.0                        |
|                 | Case3  | 堤内外1列矢板            | 0.62                           | 38.0                        |
|                 | Case4  | 堤外2重矢板             | 0.34                           | 66.0                        |
|                 | Case5  | サントコンパクションパイル(4m)  | 0.68                           | 32.0                        |
|                 | Case6  | サントコンパクションパイル(8m)  | 0.60                           | 40.0                        |
|                 | Case7  | サントコンパクションパイル(12m) | 0.57                           | 43.0                        |

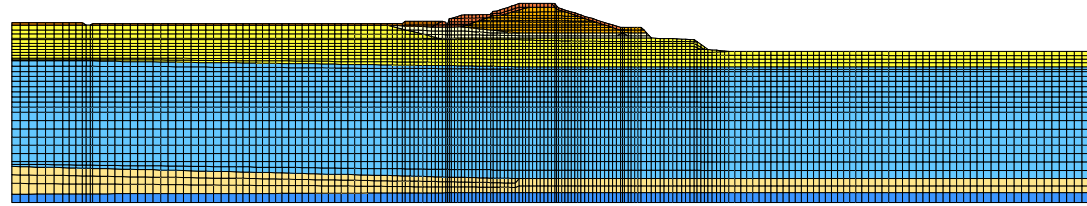
1) 堤防沈下量は、天端堤外のり肩部での沈下量を示す。  
2) 沈下低減効果は無対策に対する効果を示す。沈下低減効果=(無対策－対策有り)/無対策

■旧吉野川左岸2k600の検討結果(ALIDによる解析)

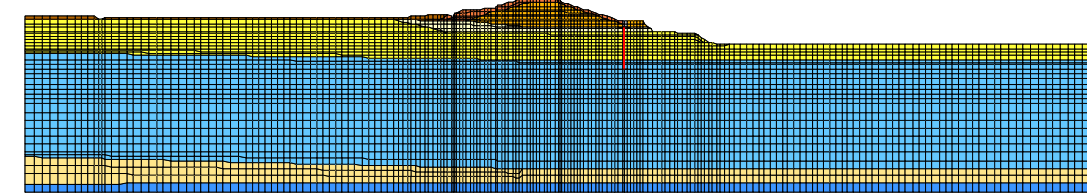


■吉野川左岸0k600の検討結果(ALIDによる解析)

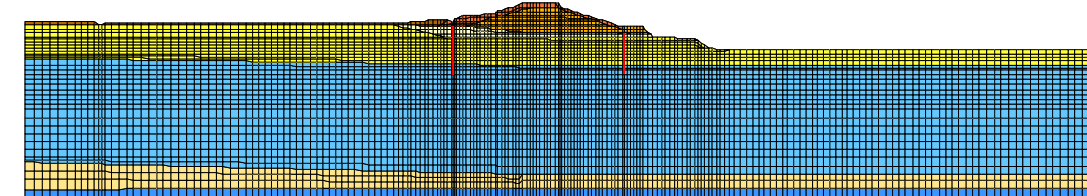
① Case1：無対策



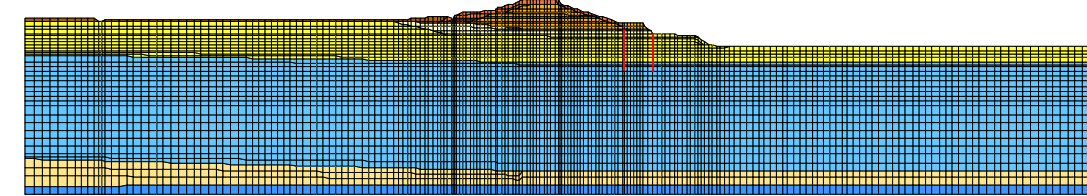
② Case2：矢板を堤外側に打設した場合(現況：堤外1列矢板)



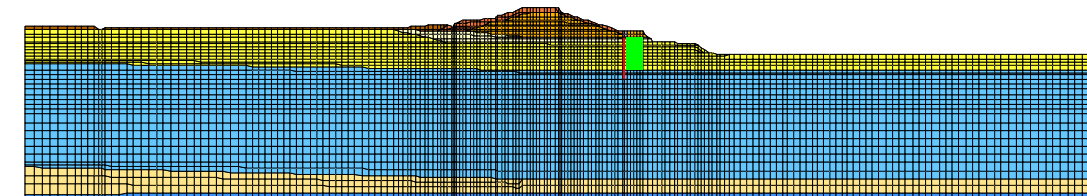
③ Case3：矢板を堤内外に打設した場合(堤内外1列矢板)



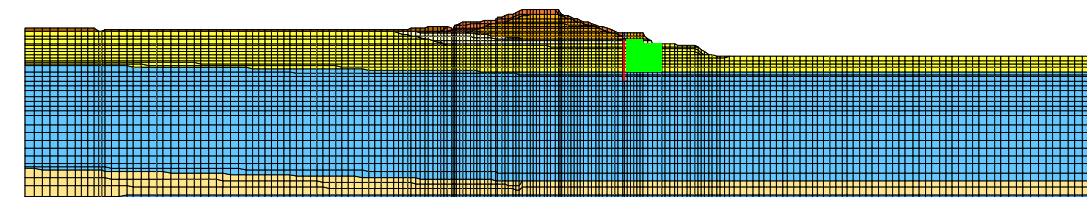
④ Case4：矢板を堤外側に二重に打設した場合(堤外2重矢板)



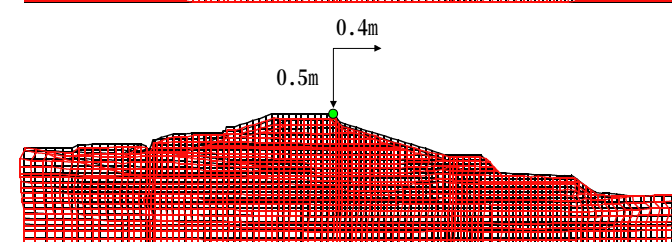
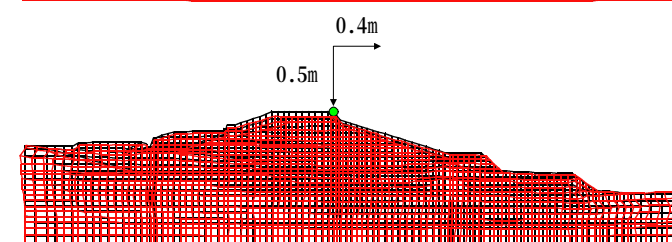
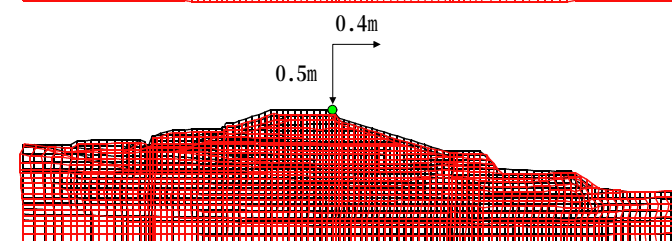
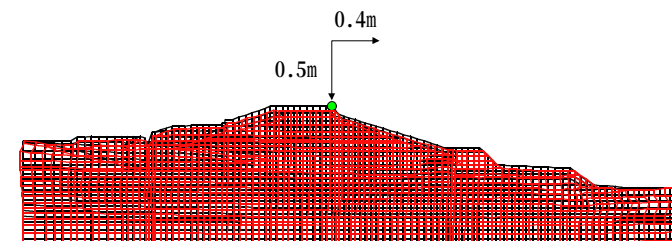
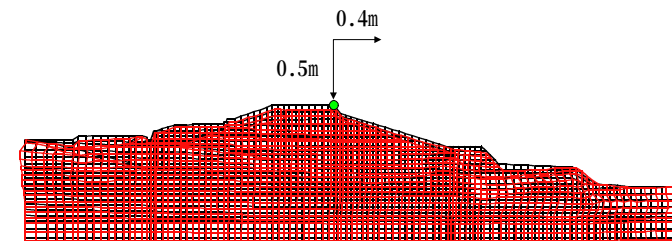
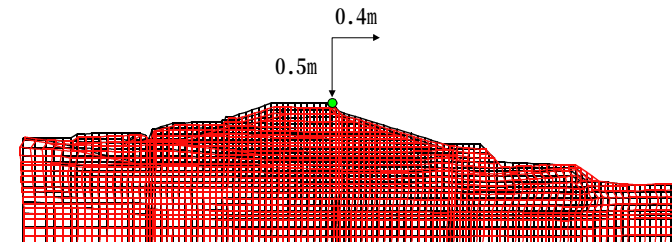
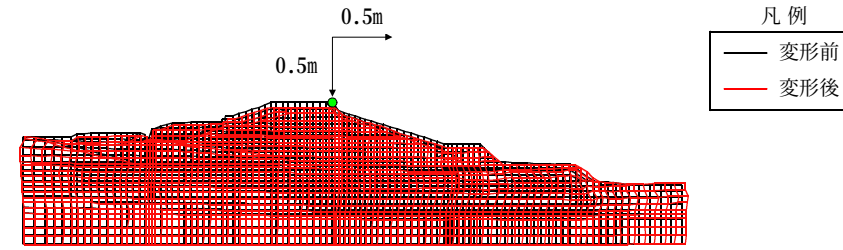
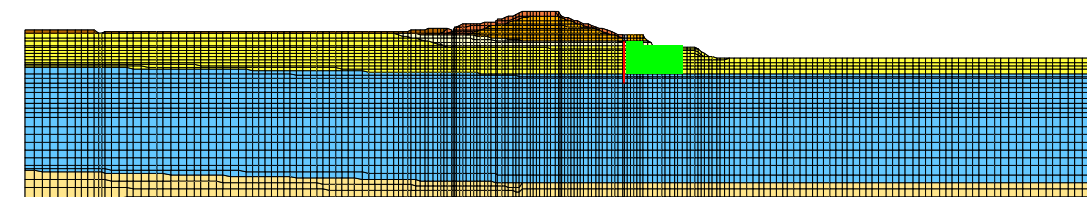
⑤ Case5：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(4m)を打設した場合



⑥ Case6：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(8m)を打設した場合



⑦ Case7：矢板の外側にサンドコンパクションパイル(12m)を打設した場合





■吉野川左岸0k600の施工例(案)

【現地状況】



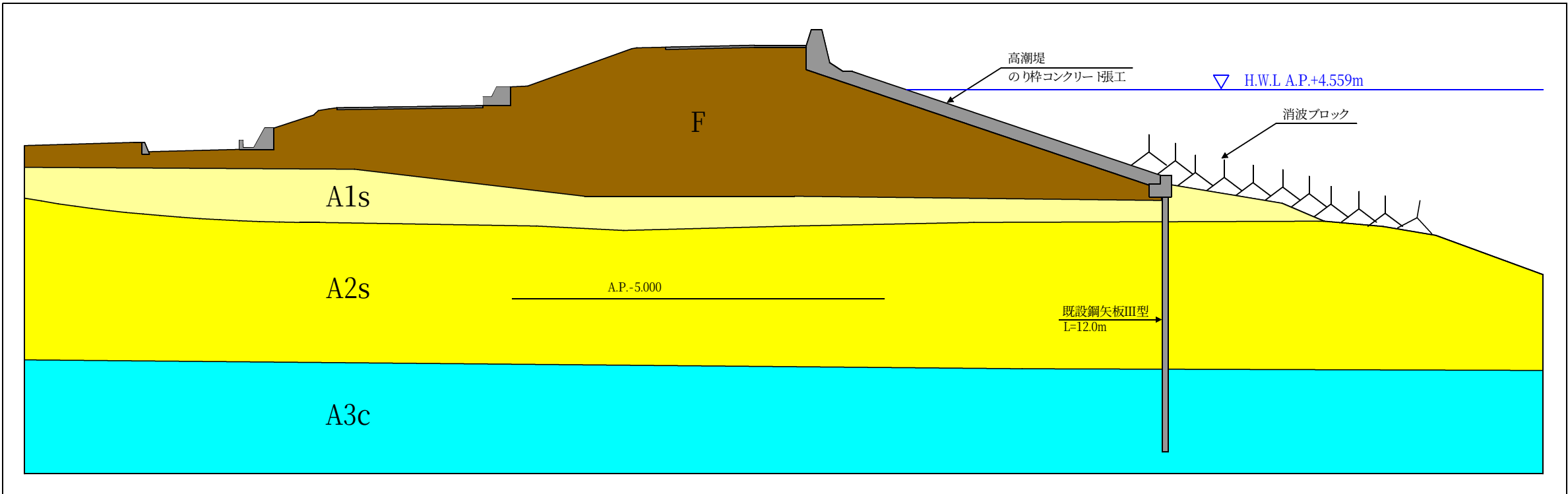
【既設対策工】

- 堤外側：鋼矢板Ⅲ型(L=12.0m)を施工済み(地震対策)。

【地震対策(追加)の検討】

- 堤防の解析結果：地震による堤防の変形(沈下)はほとんどなく、また、地震後の河川水位(A.P.+3.679m)に対して、沈下後堤防高は既設対策工にて、十分な高さを確保できる。
- 対策工の効果：堤防断面が大きく、のり勾配の緩い吉野川堤防は、対策工による沈下低減効果が少ない。
- 現況のままで対策完了とする。

【標準断面図】



【堤内側】



【堤外側】



- 堤外側
  - ・護岸は、のり砕コンクリート張工(パラペットあり)で、前面には消波ブロックが設置されている。
  - ・釣り人の利用が多い。
- 堤内側
  - ・堤防小段は県道として利用(通行量は比較的多い)。
  - ・堤防のり尻に堤脚水路が設置されている。
  - ・畑地など耕作地として利用。民家が点在している。
  - ・地下水利用はない。



■旧吉野川左岸2k600の施工例(案)

【現地状況】



【堤内側】



【堤外側】



- 堤外側
  - ・コンクリート護岸(パラペットあり)で、アシが繁茂している。
- 堤内側
  - ・堤防のり尻に水路が設置されている。
  - ・畑地など耕作地として利用。民家が点在している。
  - ・地下水利用はない。

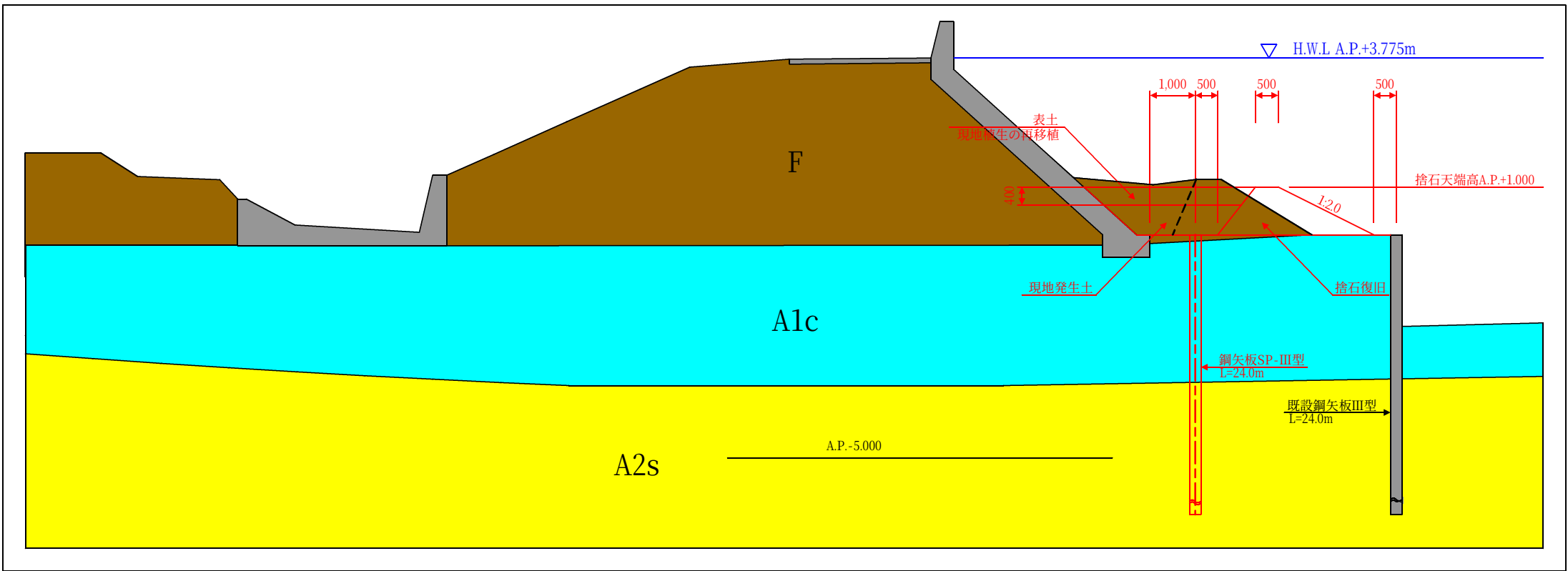
【既設対策工】

- 堤外側：鋼矢板Ⅲ型(L=24.0m)を施工済み(地震対策)。

【地震対策(追加)の選定】

- 堤防の解析結果：地震により堤外側(川側)の基礎地盤が液状化し、堤防が川側に側方流動(沈下)するため、追加対策工を必要とする。
- 対策工の効果：追加対策工として堤外側に鋼矢板を1列追加し、2重矢板とすることにより最も大きな沈下低減効果を得られる(pp4-2参照)。
- 最終的な対策工は、詳細検討による定量的な評価を行った上で決定する。

【標準断面図】





4.3 耐震検討区間の再設定

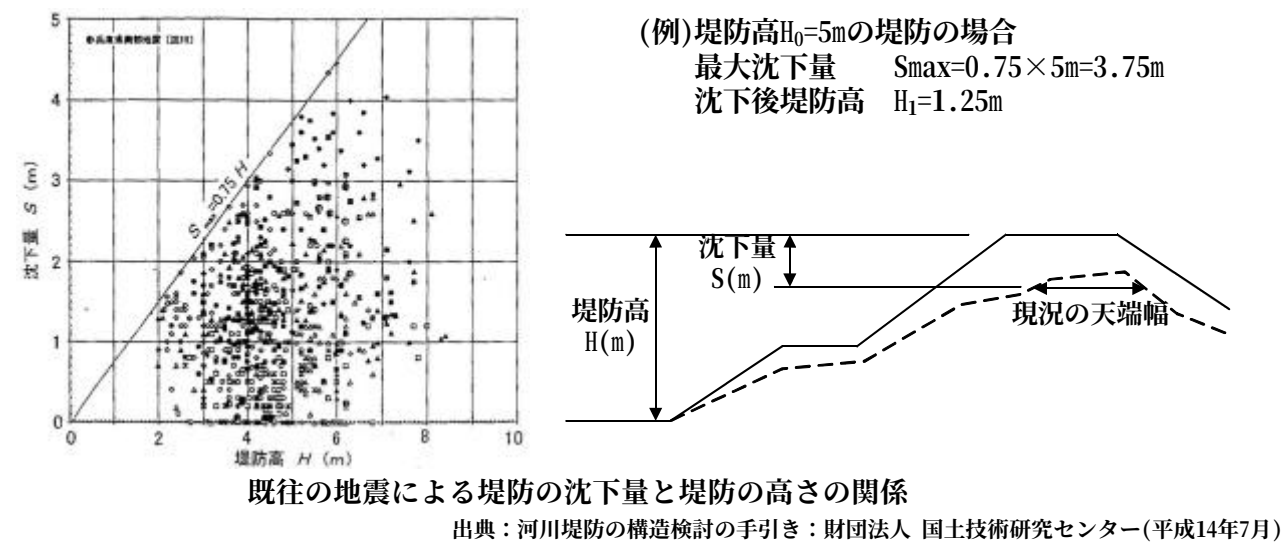
■耐震検討区間の再設定

第5回委員会においては、想定される地震後の堤防高と河川水位を比較し、堤防高が河川水位よりも低い区間を耐震検討区間として設定した。

しかし、徳島県では、過去の津波被害の記録と津波シミュレーションの結果を基に浸水被害予測図を作成していることから、この情報を基に最大津波遡上範囲を設定し、地震後の堤防高が河川水位よりも低い区間もしくは最大津波遡上範囲のいずれか長い区間を耐震検討区間として再設定することとした。

①地震後の堤防高の設定

過去の多くの被災検証事例から示される「堤防の沈下量と堤防高との関係」は、下図に示すとおりであり、この関係より地震後の堤防高は「75%沈下後堤防高」に設定する。



②地震後の河川水位の設定

「河川堤防の構造検討の手引き：財団法人 国土技術研究センター(平成14年7月)」によれば、地震後の河川水位の設定例として下記の方法を示している。

- ・朔望平均満潮位(湖沼や堰上流の湛水区間にあっては平常時の湛水位) + α (m)
- ・確率規模別高水位(1/1相当水位) + α (m)
- ・計画津波高

ここで、αは潮位偏差および波高などを考慮して設定するものであり、1～2mを目安とする。

吉野川水系においては、計画津波高は設定されておらず、現在、徳島河川国道事務所において東南海・南海地震による最大津波高の検討を行っている。このため、地震後の河川水位は、概略点検(平成7年9月)による詳細点検必要区間の設定方法に準じて、「朔望平均満潮位(A.P.+1.679m)+2.0m」を設定する。

なお、旧吉野川・今切川の河口堰から上流区間については、朔望平均満潮位(A.P.+1.679m)に代えて、平常時の湛水位(T.P.+0.667m=A.P.+1.5m)を採用する。

吉野川・旧吉野川および今切川(堰下流)：地震後の河川水位=A.P.+3.679m

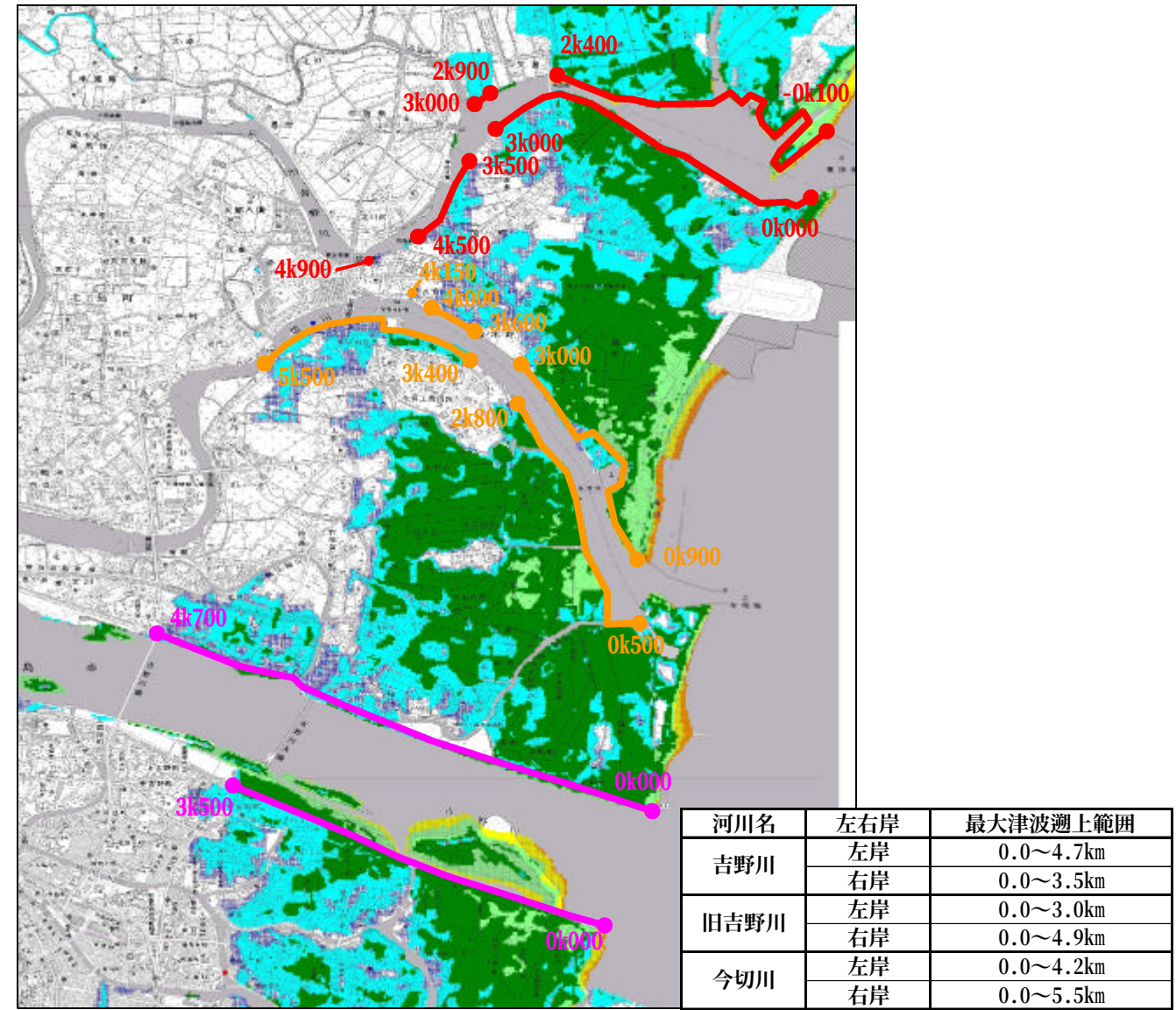
旧吉野川および今切川(堰上流)：地震後の河川水位=A.P.+3.5m

③最大津波遡上範囲の設定

徳島県が公開した津波浸水予測図は、以下に示すシミュレーション条件の下に試算した結果であり、最大津波遡上範囲は、同図を基に設定した。

なお、徳島河川国道事務所では、基本的には中央防災会議や徳島県と同じ条件により、津波シミュレーションを実施するが、河道内における津波遡上計算の精度を上げるため、メッシュの細分化、横断工作物の考慮、地形・河川横断の最新データ(レーザプロファイラ)などを用いて、さらに、最終的には液状化による堤防の沈下も考慮した津波シミュレーション結果を示すため、検討しているところである。

| 項目    | 検討条件                                                             |
|-------|------------------------------------------------------------------|
| 想定地震  | (1)中央防災会議 東南海・南海地震同時発生(マグニチュード8.6)<br>(2)1854年安政南海地震(マグニチュード8.4) |
| 初期水位  | 満潮位                                                              |
| 格子間隔  | 最小20m格子                                                          |
| 沿岸構造物 | 基本的に、防潮堤や河川堤防などが、地震の揺れや液状化による被害を受け、全て機能しない場合を想定している。             |
| 河川の遡上 | 考慮している。                                                          |



想定される地震後の堤防高(75%沈下後堤防高)が河川水位よりも低い区間と、最大津波遡上範囲を比較し、いずれか長い方の区間を耐震検討区間として再設定した。

再設定した耐震検討区間

| 河川名  | 左右岸 | 耐震検討区間     |            |
|------|-----|------------|------------|
|      |     | 第5回委員会※1)  | 第6回委員会※2)  |
| 吉野川  | 左岸  | 0.0～ 5.0km | 0.0～ 5.0km |
|      | 右岸  | 0.0～ 4.4km | 0.0～ 4.4km |
| 旧吉野川 | 左岸  | 0.0～11.8km | 0.0～11.8km |
|      | 右岸  | 0.0～12.8km | 0.0～12.8km |
| 今切川  | 左岸  | 1.0～10.0km | 1.0～10.0km |
|      | 右岸  | 1.0～11.4km | 1.0～11.4km |

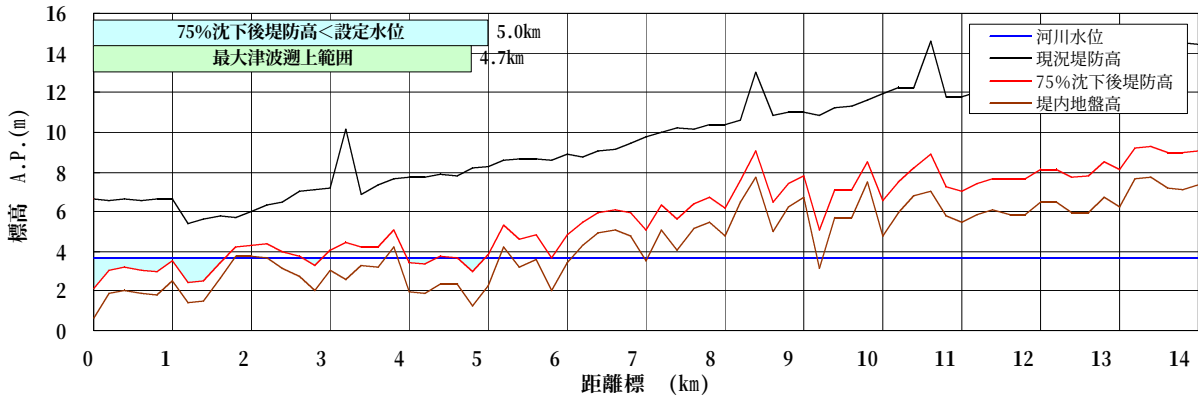
※耐震検討区間の設定方法

※1)第5回委員会：75%沈下後堤防高<朔望平均満潮位(A.P.+1.679m)+2.0m」

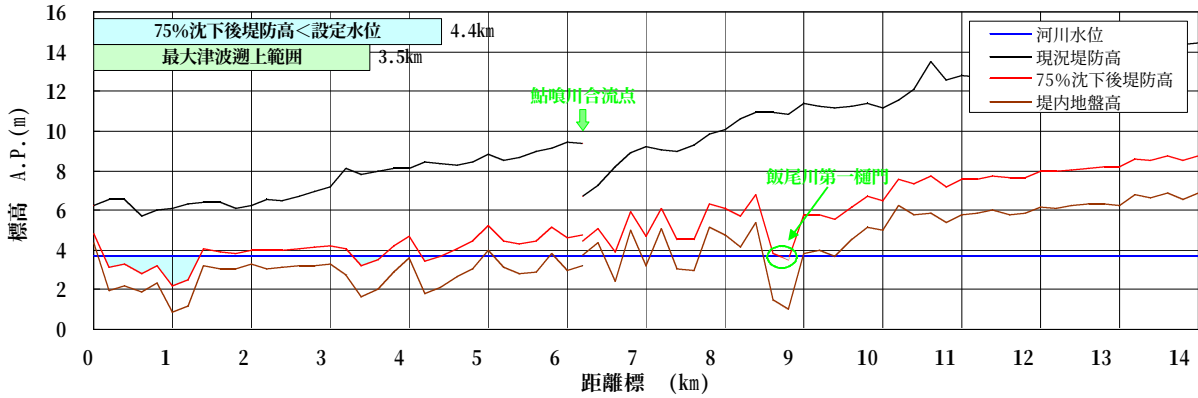
※2)第6回委員会：75%沈下後堤防高<朔望平均満潮位(A.P.+1.679m)+2.0m、または最大津波遡上範囲(徳島県)」

※現況堤防高の設定：パラベットは耐震性を有していないため、地震による転倒を考慮してパラベット高を除外した。  
旧吉野川・今切川の旧堤がある区間については、旧堤高も評価に加味した。

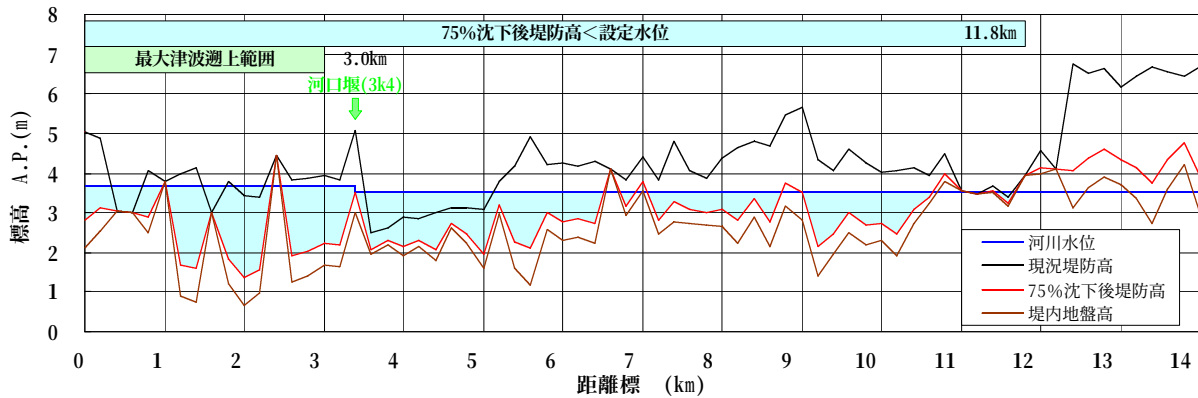
吉野川左岸



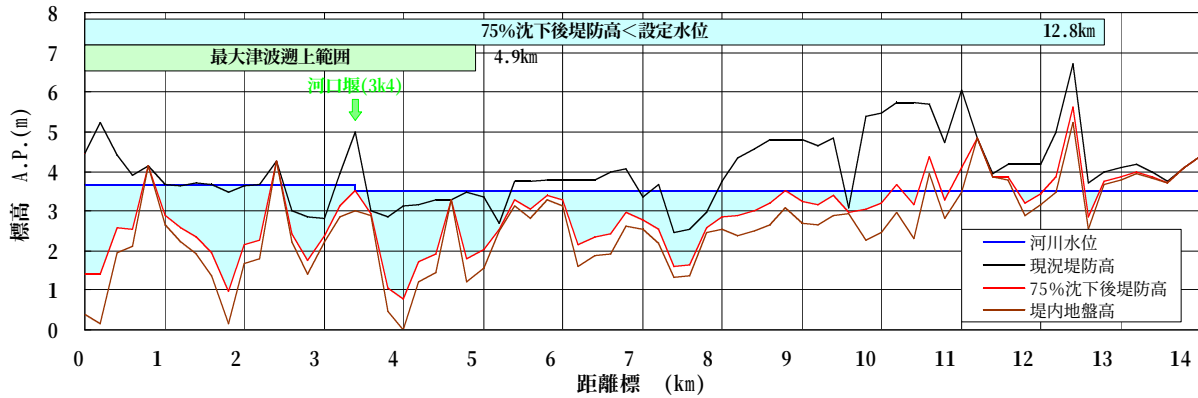
吉野川右岸



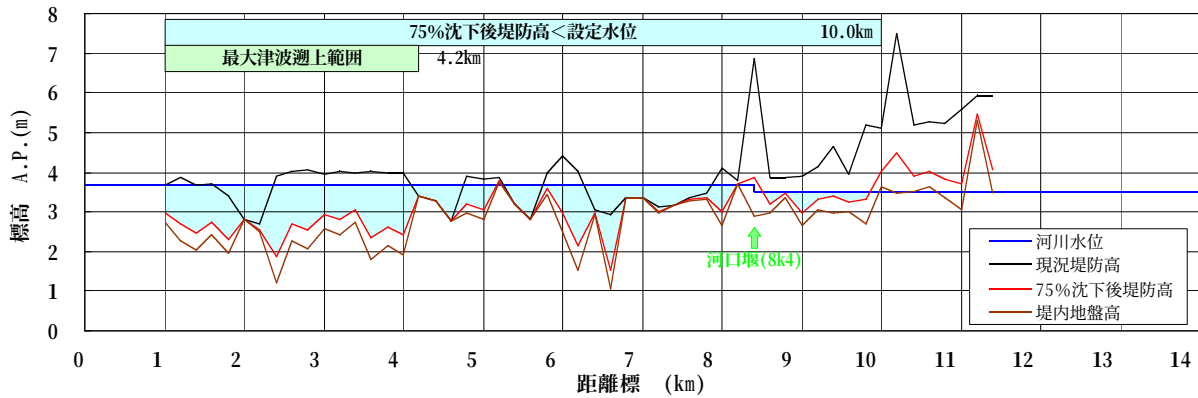
旧吉野川左岸



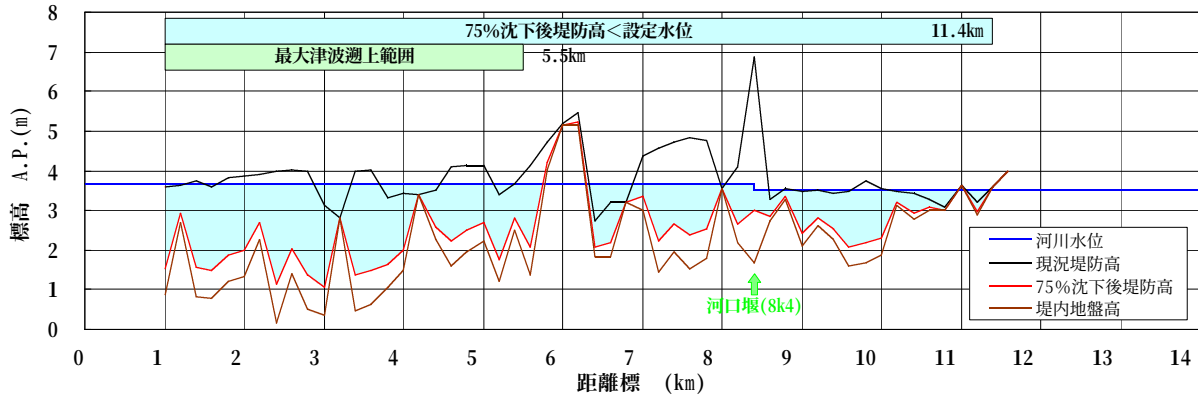
旧吉野川右岸



今切川左岸



今切川右岸





5. 強化工法の組み合わせ例(浸透・侵食・地震)

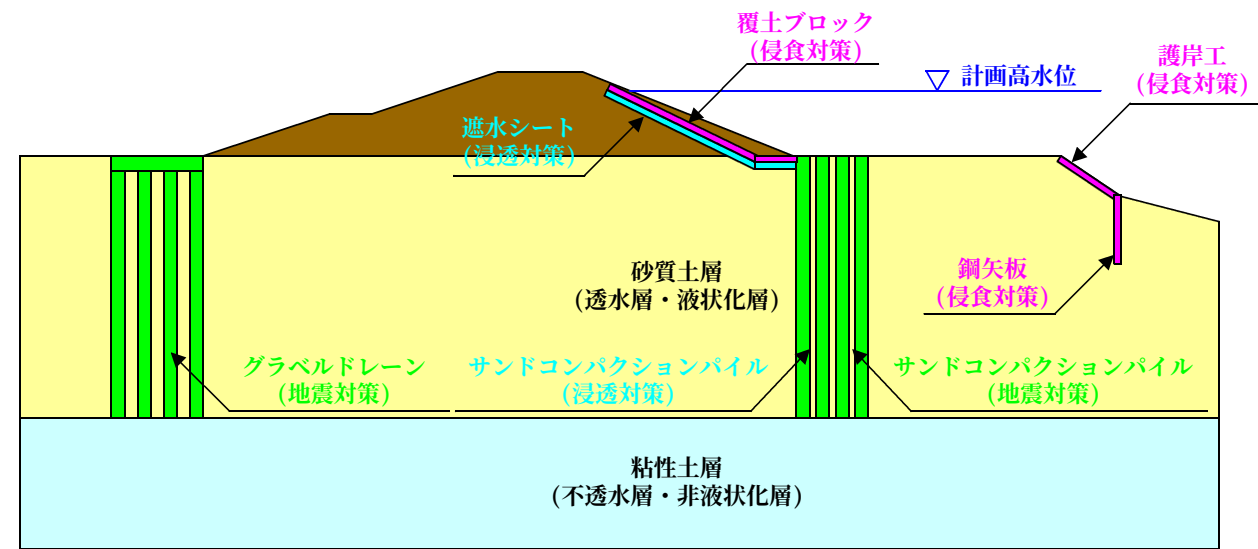
吉野川本川については、浸透および侵食に対する安全性照査はほぼ終了しており、第5回委員会において浸透対策と侵食対策に対する総合検討を行った。しかし、旧吉野川および今切川は、未だ無堤箇所が数多くあることから、安全性照査は終了していない状況にある。

一方、「東南海・南海地震」のような大規模地震に対する堤防の安全性照査は、全国的な照査手法が示された段階で、吉野川下流域(旧吉野川・今切川を含む)全体で実施し、津波遡上解析の結果と併せて現況堤防の安全度を示す予定である。

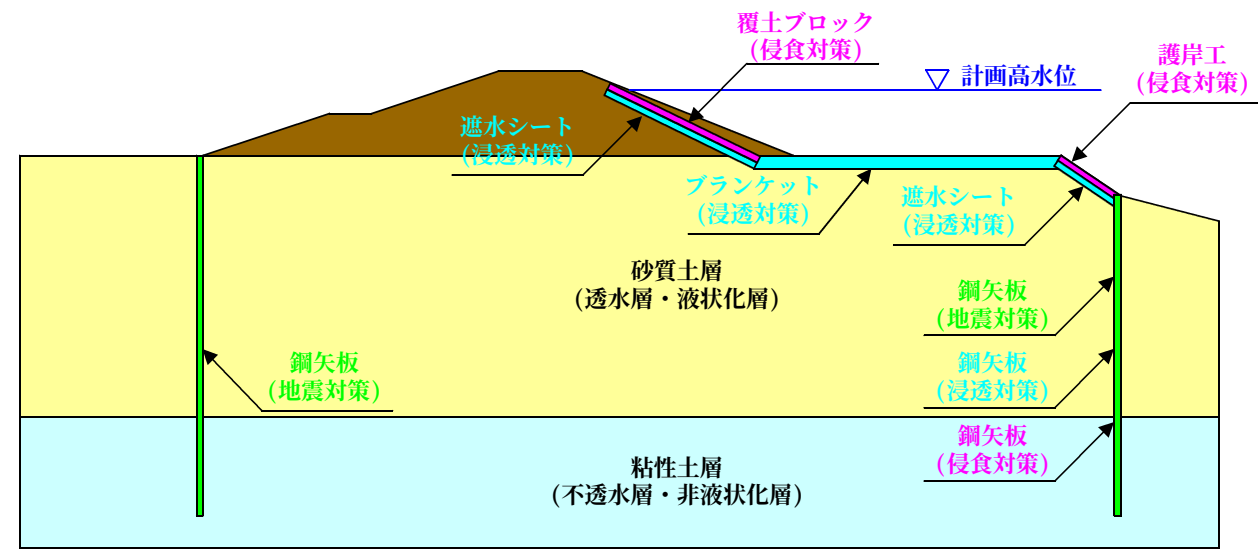
したがって、現状では、浸透、侵食、地震に対する強化工法の具体的な検討はできないため、本委員会では「地震対策選定の基本方針」と想定される強化工法の組み合わせ例を以下に示す。

■吉野川

【地下水利用がある場合】



【地下水利用がない場合】

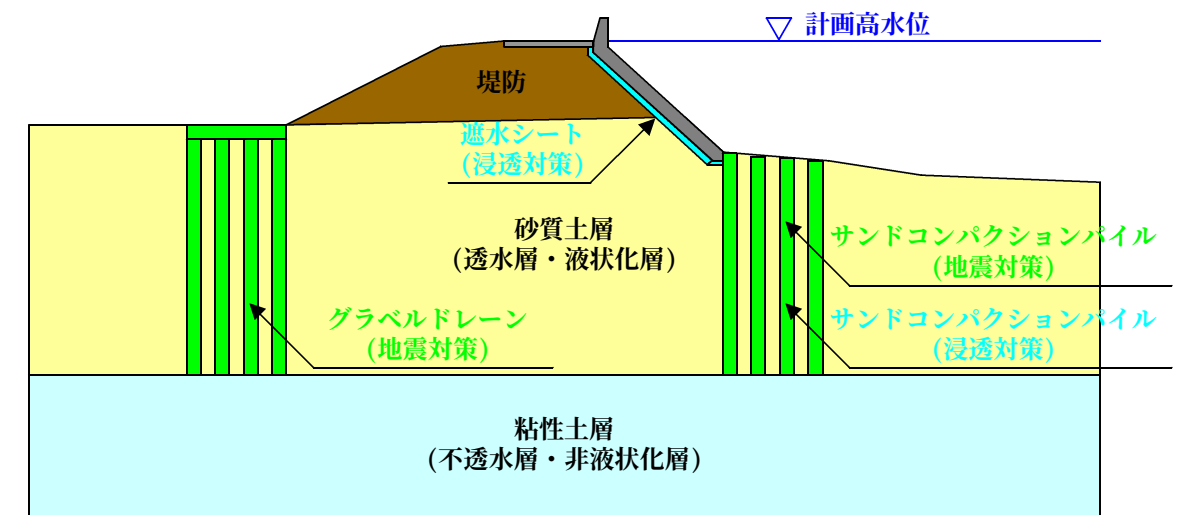


■地震対策選定の基本方針

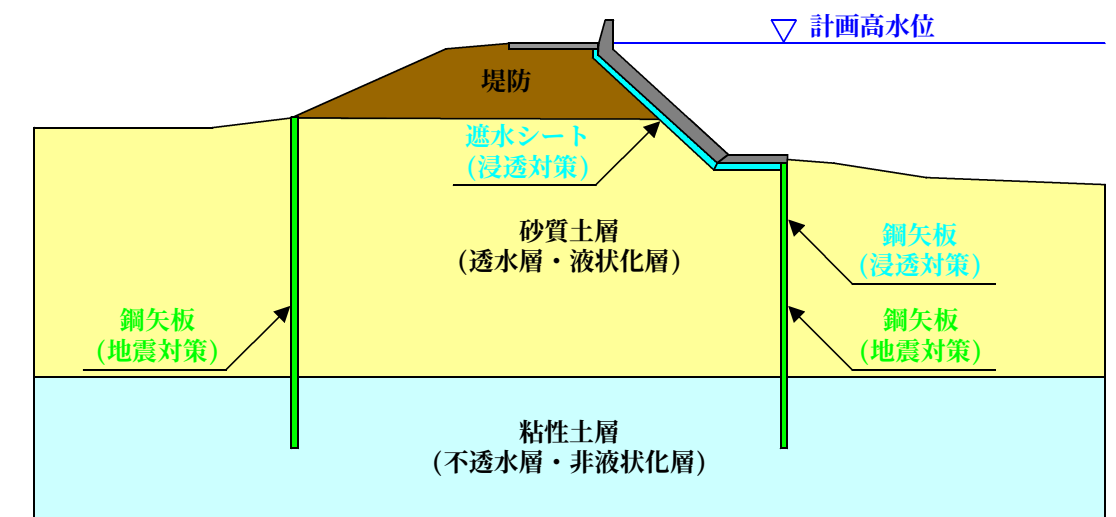
- ・複数の対策工法に対して、①自然環境への影響、②河川利用への影響、③維持管理上の問題点、④施工性、⑤経済性などを考慮する。
- ・浸透対策工や侵食対策工と併せてそれぞれが相乗効果を発揮できるように配慮する。
- ・設計施工に際しては、詳細点検により定量的な評価を行う。

■旧吉野川および今切川

【地下水利用がある場合】



【地下水利用がない場合】

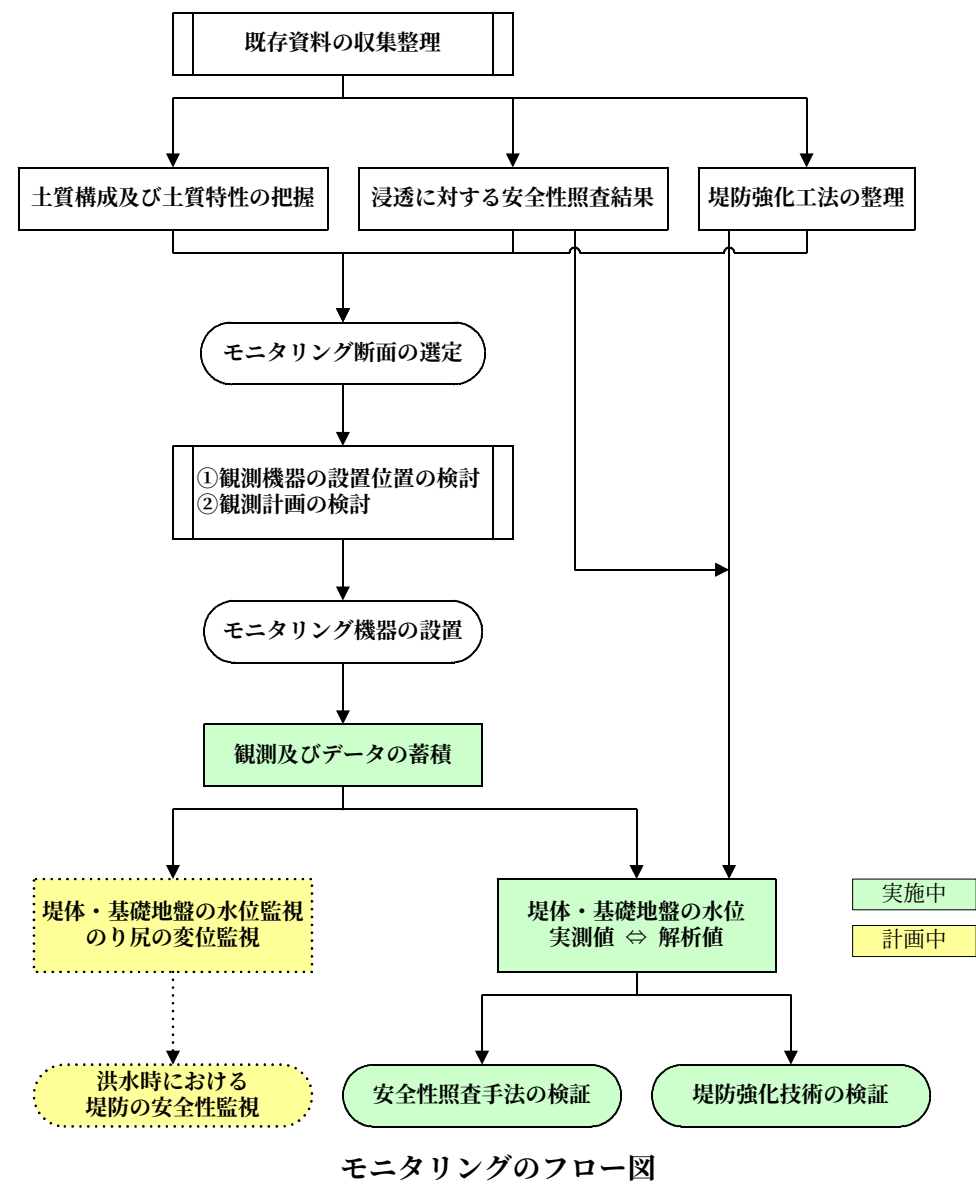


6. 吉野川堤防の維持管理方法

6.1 モニタリング機器による堤防の管理

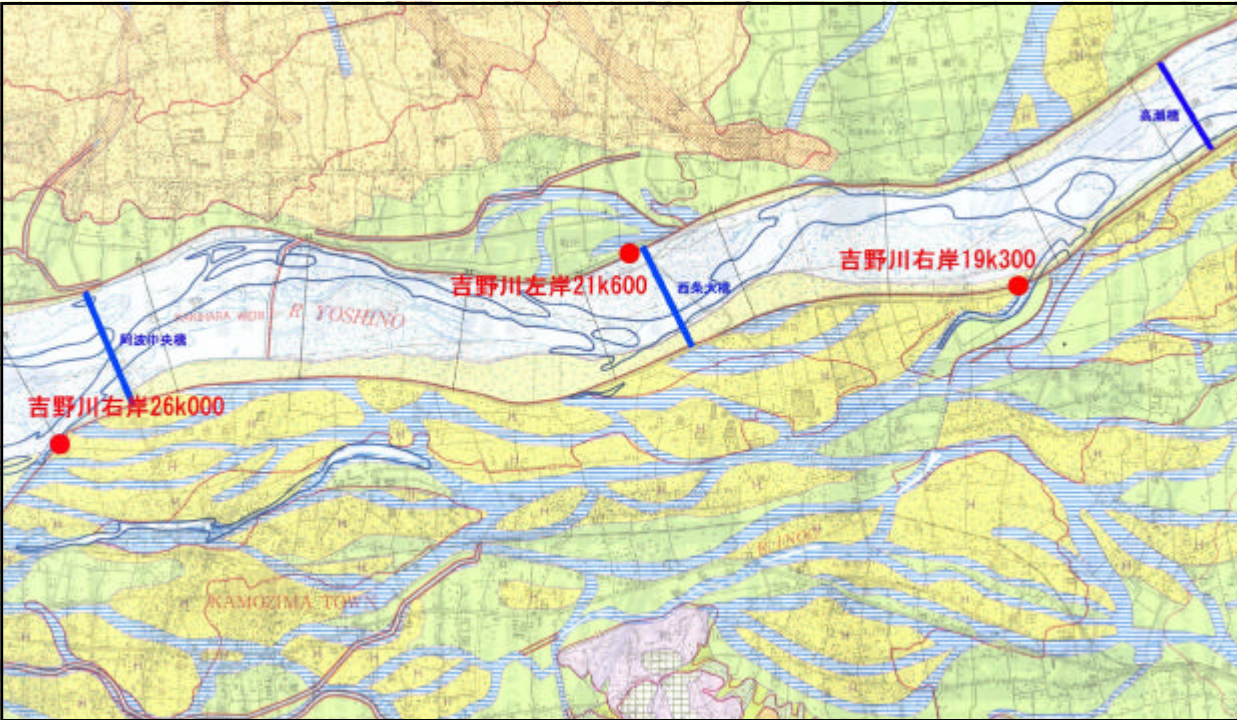
■モニタリングとは、  
河川堤防は、長い歴史の中で過去の被災に応じて、順次拡築や補修が行われてきた長大な土構造物であり時代によって築堤材料や施工方法が異なるため、堤体の強度が不均一であり、しかもその構成が不明であること、複雑な地盤上に築造される構造物であることなど、様々な不確実性を内包している。このため、計画高水位以下の洪水に対する堤防の安全性・信頼性を維持し高めていくうえで、水防活動とあいまって、洪水時における堤防の状態を把握(モニタリング)しておくことが重要である。  
吉野川におけるモニタリングは、「堤防の安全性評価に関する照査手法」および「堤防強化技術」を検証把握する目的で実施している。

■吉野川におけるモニタリング

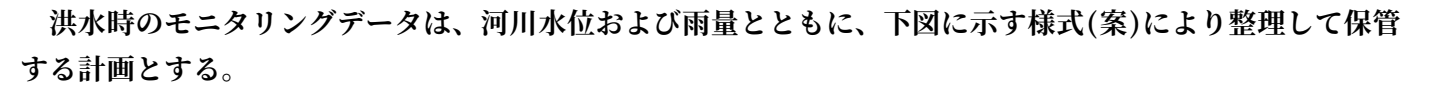
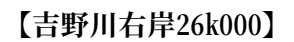
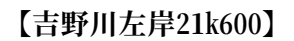


■モニタリング断面の選定  
吉野川におけるモニタリング断面は、重要水防箇所、被災履歴などの既往情報の整理を行った上で、以下に示す3箇所を選定した。

| モニタリング位置    | 選定理由                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 吉野川右岸19k300 | <ul style="list-style-type: none"><li>過去に漏水実績のある重要水防箇所(漏水A)に指定</li><li>概略点検結果では「Dランク(危険度が高い)」に区分</li><li>吉野川の代表的な浸透対策工である「遮水護岸+ブランクット」が施工</li></ul> ↓<br>詳細調査により土質構成及び土質特性が明らかであり、また、堤防の安全性照査手法に基づいた対策工が施工されている断面であるため、堤防強化技術を検証することが重要な断面として選定 |
| 吉野川左岸21k600 | <ul style="list-style-type: none"><li>過去に漏水実績のある重要水防箇所(漏水A)に指定</li><li>概略点検結果では「Dランク(危険度が高い)」に区分</li><li>未対策断面</li></ul> ↓<br>詳細調査により土質構成及び土質特性が明らかであり、また、未対策断面であるため、堤防の安全性照査手法を検証することが重要な断面として選定                                               |
| 吉野川右岸26k000 | <ul style="list-style-type: none"><li>過去に漏水実績のある重要水防箇所(漏水A)に指定</li><li>概略点検結果では「Dランク(危険度が高い)」に区分</li><li>吉野川の代表的な浸透対策工である「遮水護岸」が施工</li></ul> ↓<br>詳細調査により土質構成及び土質特性が明らかであり、また、堤防の安全性照査手法に基づいた対策工が施工されている断面であるため、堤防強化技術を検証することが重要な断面として選定        |



【吉野川右岸19K300】





6.2 目視点検によるモニタリング(案)

■実施計画(案)

目視点検によるモニタリングは、下表に示すモニタリング項目について、出水期前、出水期後に実施し、必要に応じて、洪水中・洪水直後にも実施する計画とする。吉野川の出水期は6月～10月である。

出水期前には、平常時の項目について全川を対象に調査するものとし、出水期後には、平常時の項目について重点的にモニタリングを実施する区間（以下「重点区間」という。）を中心に調査する。

洪水中・洪水直後は「重点区間」を中心に調査を行い、これらの結果は堤防の形状、土質等の情報（以下「基本情報」という。）と併せてとりまとめる。

|                 | 平常時                                                                                                            | 洪水中                                                     | 洪水直後                                                                                         |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 河道内             | ・湾曲部、横断工作物下流等における深掘れ<br>・樹木の繁茂状況<br>・土砂等の堆積状況                                                                  |                                                         | ・水制、ベーン工等の変状<br>・樹木の繁茂状況の変状<br>・土砂等の堆積状況の変状                                                  |
| 高水敷、低水護岸        | ・低水護岸の基礎部の変状                                                                                                   | ・高水敷の侵食<br>・水面の段差や渦、泡                                   | ・高水敷の侵食<br>・低水護岸の変状<br>・高水敷樹木の倒伏                                                             |
| 表のり面<br>高水・堤防護岸 | ・張芝の状況や人畜による踏み荒らし、車両のわだち状況<br>・のり面の亀裂<br>・護岸や侵食防止シート、耐侵食構造物の変状<br>・護岸の基礎部の変状<br>・坂路・階段取付部の洗掘、侵食<br>・モグラ等の小動物の穴 | ・のり面の侵食・亀裂<br>・護岸や侵食防止シート、耐侵食構造物の変状                     | ・のり面の侵食・亀裂<br>・のり面のはらみだし<br>・護岸および護岸基礎の変状<br>・侵食防止シート等、耐侵食構造物の変状<br>・護岸と堤防境界における侵食等の変状・覆土の流失 |
| 天端              | ・亀裂<br>・局所的に低い個所の有無<br>・天端舗装端部の状況                                                                              | ・亀裂<br>・水溜り<br>・天端舗装端部侵食                                | ・亀裂<br>・水溜り<br>・天端舗装端部侵食                                                                     |
| 裏のり面            | ・張芝の状況や人畜による踏み荒らし、車両のわだち状況<br>・のり面の亀裂<br>・小段の逆勾配箇所や局所的に低い個所の有無<br>・坂路・階段取付部の洗掘、侵食<br>・モグラ等の小動物の穴               | ・のり面の変状・亀裂<br>・小段付近の漏水<br>・のり面及び小段の泥濘化<br>・小段の水溜り       | ・のり面の変状・亀裂<br>・小段付近の漏水<br>・のり面及び小段の泥濘化<br>・小段の水溜り                                            |
| 裏のり尻            | ・表層付近の湿潤状態<br>・局所的に低い個所の有無<br>・しぼり水の有無<br>・モグラ等の小動物の穴<br>・堤脚保護工の変形                                             | ・のり尻の変状<br>・のり尻付近漏水、噴砂<br>・のり尻の泥濘化<br>・堤脚保護工（腰積み）の変形、沈下 | ・のり尻の変状<br>・のり尻付近漏水、噴砂<br>・のり尻の泥濘化<br>・しぼり水の有無<br>・堤脚保護工（腰積み）の変形、沈下                          |
| 堤脚水路            | ・水路の変形、沈下                                                                                                      | ・堤脚水路の継目からの漏水、噴砂                                        | ・堤脚水路の継目からの漏水、噴砂                                                                             |
| 堤内地             | ・表層付近の湿潤状態                                                                                                     | ・のり尻付近の噴砂<br>・地盤の隆起・陥没                                  | ・のり尻付近の噴砂<br>・地盤の隆起・陥没<br>・稲刈り後の田の噴砂                                                         |
| 樋門等構造物周辺        | ・取付け護岸の変形・クラック<br>・施設周辺の堤防との段差（抜けあがり）<br>・胸壁・翼壁等の部材接合部の開口                                                      | ・胸壁・翼壁の接合部付近からの漏水、噴砂<br>・堤防との接合部からの漏水、噴砂<br>・堤内地水路の水の色  | ・胸壁・翼壁の接合部付近からの漏水、噴砂<br>・堤防との接合部からの漏水、噴砂<br>・堤内地水路の水の色                                       |

■情報整理計画(案)

効率的な目視点検によるモニタリングの実施のため、モニタリング情報図を作成し、目視点検箇所・項目の重点化を図る。

直轄河川堤防目視点検モニタリング情報図 出水期前後点検）＜作成例＞

| 水系名              |           | 〇〇水系        |        | 河川名                                                                      |  | 〇〇川                               |  | 区間                            |  | 〇岸                               |  | 〇〇km～〇〇km |  | 管理事務所  |  | 〇〇河川事務所   |  | 整理番号     |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----------|-------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------|--|-------------------------------|--|----------------------------------|--|-----------|--|--------|--|-----------|--|----------|--|----|--|----|--------------|--------|----------------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 基本情報             | 堤防        | 距離 (km)     |        | 46                                                                       |  | 47                                |  | 48                            |  | 49                               |  | 50        |  | 51     |  | 52        |  | 53       |  | 54 |  | 55 |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 流入出河川、主要構造物 |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 基本断面形状      |        | 未確保                                                                      |  | 確保                                |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 土質          |        | c                                                                        |  | s                                 |  | c                             |  |                                  |  | c         |  |        |  | c         |  |          |  | c  |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 堤体基礎地盤      |        | c                                                                        |  | c                                 |  | c                             |  |                                  |  | s         |  |        |  | c         |  |          |  | c  |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 要注意地形       |        | 旧河道                                                                      |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 築堤年代        |        | 昭和30年以降                                                                  |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 平均動水勾配      |        | 0.10未満                                                                   |  | 0.20～0.25                         |  | 0.10～0.15                     |  | 0.20～0.25                        |  | 0.10未満    |  | 48時間以上 |  | 0.10～0.15 |  | 昭和 30年以前 |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 高水位継続時間     |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 被災履歴、時期     |        | 堤体漏水 (E44、8)                                                             |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 対策工実施区間、時期  |        | ドレーン (E44)                                                               |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 概略評価        |        | A                                                                        |  | C                                 |  | B                             |  | D3                               |  | C         |  | A      |  | B         |  | A        |  | C  |  | C  |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 詳細点検実施      |        | ★                                                                        |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 護岸          | 詳細点検結果 | 川表 F s> 1.0                                                              |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                | 堤防点検凡例 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 川裏 F s> 〇        |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              | 実施箇所   |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 局所動水勾配           |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              | 要対策箇所  |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| G>W              |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              | 評価対象断面 |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 護岸の有無            | 高水護岸      |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    | 実施箇所         |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 低水護岸      |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    | 実施箇所         |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 根固め工             |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    | 実施箇所         |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 河道の線形            |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    | 湾曲部          |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 護岸被災及び河岸侵食履歴、時期  |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    | 河内侵食 (E58、7) |        | 低水護岸侵食 (E55、9) |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| セグメント区間          |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 流速2m/s以上         |           |             | 高水護岸   |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           |             | 低水護岸   |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 出水による侵食の恐れのある河岸  |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 河床低下傾向区間         |           |             |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 目視点検情報<br>平成〇年〇月 | 重点区間      | 堤防          |        | 要注意項目に変状あり                                                               |  | 被災履歴あり<br>詳細調査結果OUT<br>要注意項目に変状あり |  | 堤防横断構造物                       |  | 要注意地形<br>詳細調査結果OUT<br>要注意項目に変状あり |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 護岸          |        | セグメント<br>流速2m/s以上<br>河床低下傾向区間                                            |  | 河川横断構造物                           |  | 堤防横断構造物<br>被災履歴あり<br>流速2m/s以上 |  | 要注意項目に変状あり                       |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 堤防<br>平常時 | 表のり面        |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 天端          |        | 川表側、局所的に低い箇所 長さ10m、深さ20 cm程度 中央付近、局所的に低い箇所 長さ5m、深さ20 cm程度                |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 裏のり面        |        | 第2小段上側、のり面の亀裂 長さ5m、幅2 cm/第1小段上側、のり面の亀裂 長さ2m、幅1 cm/第1小段下側、モグラ等の小動物の穴 (多数) |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 裏のり尻        |        | 表層付近の湿潤                                                                  |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 堤脚          |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 護岸<br>平常時 | 構造物         |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 高水敷         |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 低水護岸        |        | 低水護岸の基礎部の変状                                                              |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 基礎部 根固      |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 高水護岸        |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 河道<br>平常時 | 基礎部 根固      |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 樹木の繁茂状況     |        | 河道内にヤナギ類繁茂 (密度低)                                                         |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |           | 土砂等の堆積洗掘状況  |        | 左岸側に土砂堆積                                                                 |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 備考欄              |           | 水防団等のコメント   |        |                                                                          |  |                                   |  |                               |  |                                  |  |           |  |        |  |           |  |          |  |    |  |    |              |        |                |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

※目視点検情報項目は対象河川の特性に応じて適宜追加すること。  
毎年、情報を更新する

直轄河川目視点検モニタリング情報図 洪水中点検、洪水後点検）＜作成例＞

| 水系名                |      | 〇〇水系       |  | 河川名                           |  | 〇〇川          |  | 区間                                |  | 〇岸                       |  | 〇〇km～〇〇km                     |  | 管理事務所 |  | 〇〇河川事務所                          |  | 整理番号              |  |         |  |         |  |
|--------------------|------|------------|--|-------------------------------|--|--------------|--|-----------------------------------|--|--------------------------|--|-------------------------------|--|-------|--|----------------------------------|--|-------------------|--|---------|--|---------|--|
| 距離標                |      |            |  | 46                            |  | 47           |  | 48                                |  | 49                       |  | 50                            |  | 51    |  | 52                               |  | 53                |  | 54      |  | 55      |  |
| 目視点検情報<br>平成〇年〇月洪水 | 重点区間 | 堤防         |  | 要注意項目に変状あり                    |  |              |  | 被災履歴あり<br>詳細調査結果OUT<br>要注意項目に変状あり |  |                          |  | 堤防横断構造物                       |  |       |  | 要注意地形<br>詳細調査結果OUT<br>要注意項目に変状あり |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 護岸         |  | セグメント<br>流速2m/s以上<br>河床低下傾向区間 |  |              |  | 河川横断構造物                           |  |                          |  | 堤防横断構造物<br>被災履歴あり<br>流速2m/s以上 |  |       |  | 要注意項目に変状あり                       |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    | 堤防   | 表のり面       |  |                               |  |              |  |                                   |  | 水溜り 長さ10m、幅60 cm、深さ10 cm |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 天端         |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 裏のり面       |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 裏のり尻       |  |                               |  |              |  |                                   |  | のり尻の泥濘化                  |  |                               |  |       |  |                                  |  | のり尻付近の噴砂          |  |         |  |         |  |
|                    |      | 堤脚         |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 構造物        |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    | 護岸   | 高水敷        |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  | 要注意項目に変状が見られた区間   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 低水護岸       |  |                               |  | 低水護岸天端沈下     |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  | 要注意項目以外に変状が見られた区間 |  |         |  | 低水護岸の変状 |  |
|                    |      | 基礎部 根固     |  |                               |  | 根固の劣化・泥流失    |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 高水護岸       |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    | 河道   | 基礎部 根固     |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 樹木の残存状況    |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |
|                    |      | 土砂等の堆積洗掘状況 |  |                               |  | 出水により河道内土砂堆積 |  |                                   |  | 支川合流部土砂堆積                |  |                               |  |       |  | 樋門水路部のヤナギ倒木                      |  |                   |  | 河道内立木流失 |  |         |  |
|                    |      |            |  |                               |  |              |  |                                   |  |                          |  |                               |  |       |  |                                  |  |                   |  |         |  |         |  |

7. 吉野川堤防強化対策の総括

(1)背 景

吉野川流域の堤防は、大正・昭和初期に造られたものが多く、その材質や施工方法がよくわかっていないことが多い。また、平成16年の台風23号に代表されるように、これまで度重なる洪水により繰り返し被災を受けてきており、その都度災害復旧対策ならびに堤防強化対策を進めてきた。

しかしながら、吉野川堤防は計画高水位に達するような洪水は経験しておらず、また、近年は大規模地震の発生がないため、現況堤防の安全性や対策工の効果については確認できていない状況にある。特に、今後30年以内の発生確率が50～60%程度と緊急性のある東南海・南海地震対策については、社会的な関心も強く、堤防の安全性を確認することが今後の緊急課題としてあげられている。

このため、浸透・侵食・地震に対する現況堤防の安全性を評価し、さらに必要な箇所においては、堤防強化対策工の提案を行うことを目的として、吉野川堤防強化検討委員会を平成16年8月に設立した。

(2)検討内容

- 本委員会では、吉野川の堤防を対象に、浸透・侵食・地震に対する必要対策区間および対策工について次の事項の検討を行った。
- 検討区間の設定
  - 現況堤防の検討条件整理
  - 現況堤防の安全性評価
  - 必要対策区間の抽出
  - 対策工の検討

(3)浸透対策に対する検討結果

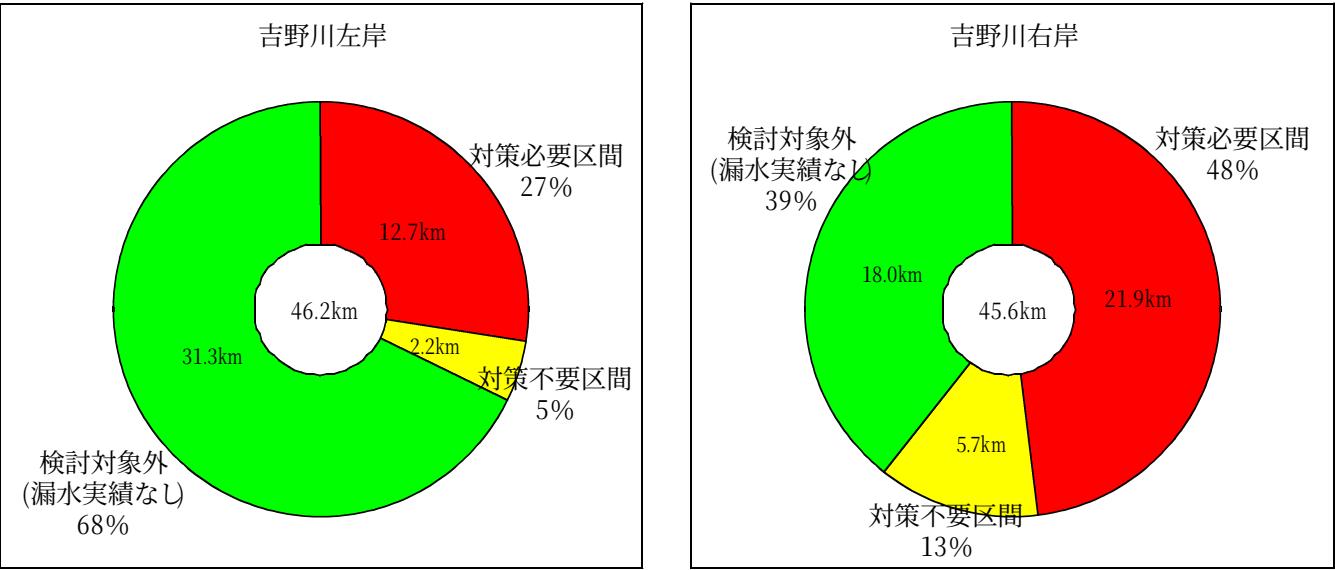
浸透に対する吉野川堤防の安全性検討は、平成16年の洪水被害などを踏まえて、昭和20年から平成16年までに漏水のあった箇所を対象として、「河川堤防の構造検討の手引き」に準じて照査を行った。

照査の結果、吉野川においては、漏水実績のある検討対象区間延長(左岸14.9km、右岸27.6km)に対し、対策が必要な区間延長は左岸12.7km、右岸21.9kmとなった。

これまでも堤防の質的強化に取り組んできたところであるが、新たに漏水により堤防が危険になることが照査結果により明らかになった区間については、被災履歴、被災規模、現在の堤防が有している安全度、背後地の社会条件などを総合的に判断し、計画的に浸透対策を実施する。

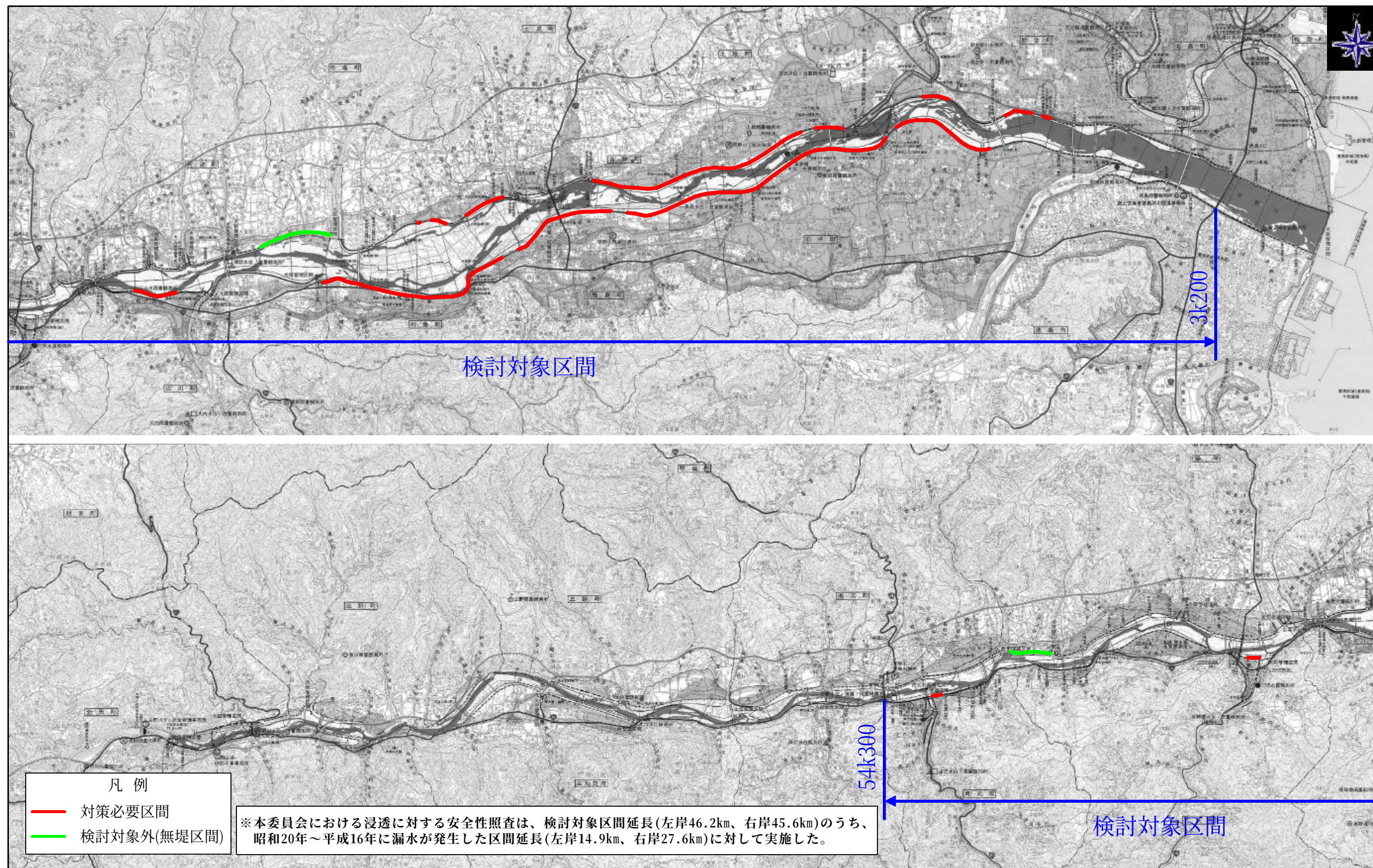
浸透に対する安全性照査結果の内訳(吉野川)

| (単位：km)         |         | 吉野川左岸 | 吉野川右岸 | 合 計  |
|-----------------|---------|-------|-------|------|
| 検討対象区間延長        |         | 46.2  | 45.6  | 91.8 |
| 検討対象外区間(漏水実績なし) |         | 31.3  | 18.0  | 49.3 |
| 検討対象区間 (漏水実績あり) |         | 14.9  | 27.6  | 42.5 |
| 対策不要区間          |         | 2.2   | 5.7   | 7.9  |
| 対策必要区間          |         | 12.7  | 21.9  | 34.6 |
| 照査基準を下回る区間      | すべり破壊   | 11.8  | 18.2  | 30.0 |
|                 | パイピング破壊 | 12.0  | 21.3  | 33.3 |



安全性照査結果の総括(吉野川)





浸透に対する安全性照査結果



(4)侵食対策に対する検討結果

侵食に対する吉野川堤防の安全性検討は、岩津(40km)より下流の有堤区間(高潮区間：0～3.2kmを除く)を対象として、「河川堤防の構造検討の手引き」に準じて照査を行った。

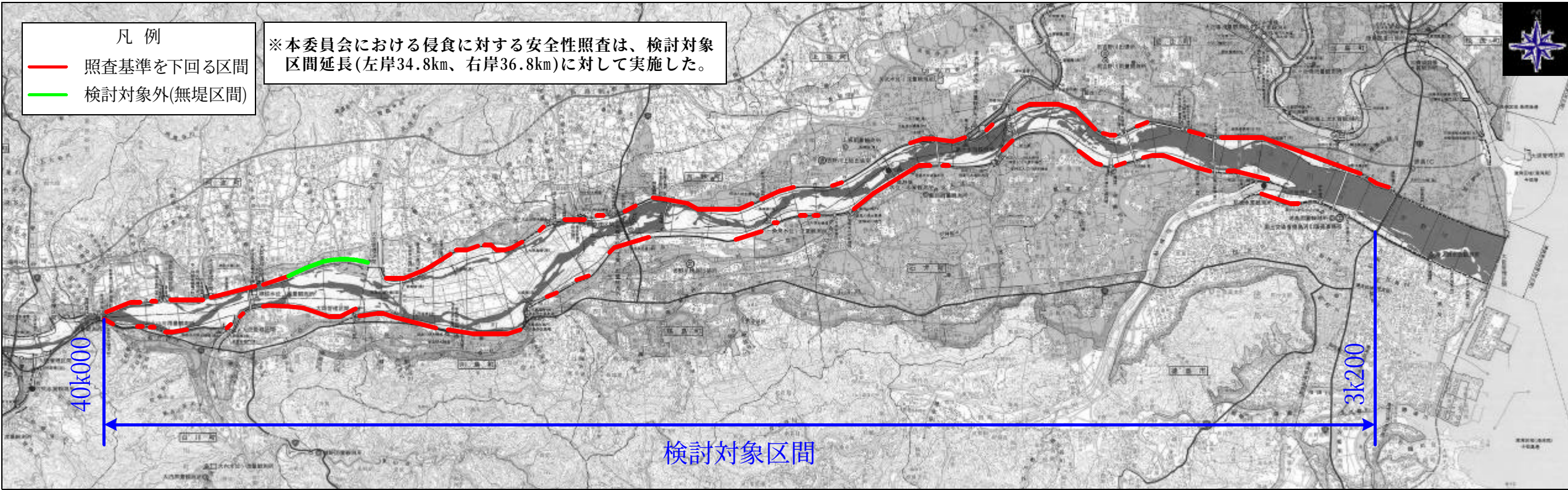
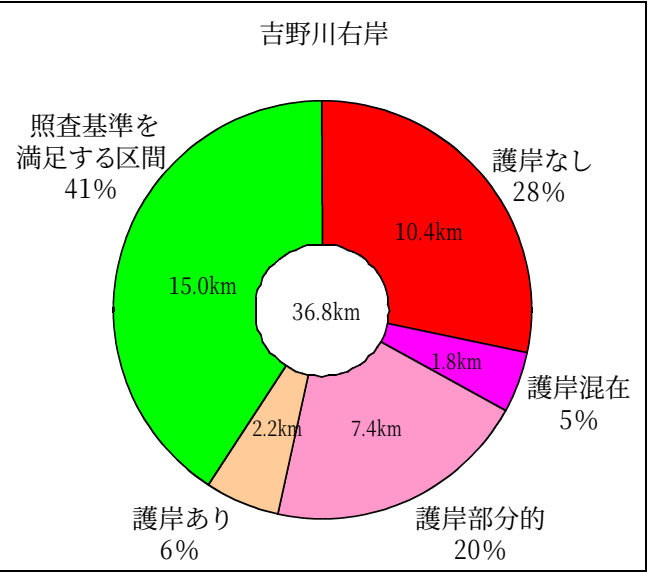
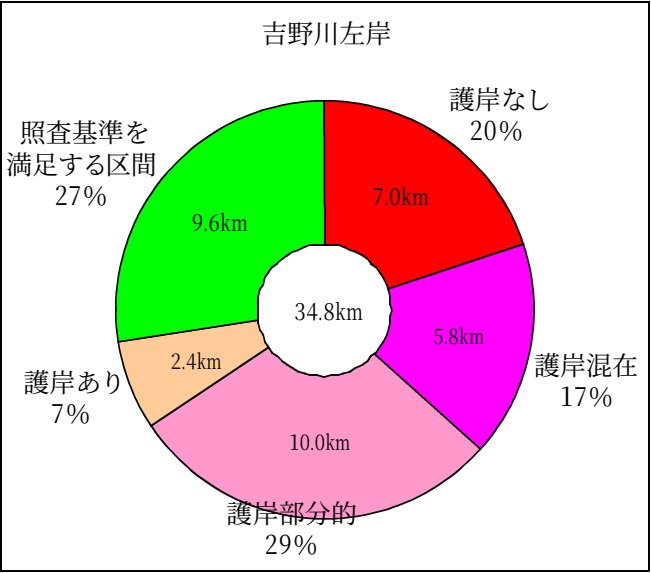
照査の結果、吉野川においては、検討対象区間(左岸34.8km、右岸36.8km)に対し、左岸25.2km、右岸21.8kmの区間について安全性が十分とはいえないという結果となった。

現在、平成16年以降の度重なる洪水により被災した護岸に対する災害復旧を行っている。この災害復旧事業は再度災害の防止を目的として実施されるものであるため、既往最大洪水である平成16年台風23号までの洪水規模に対しては一定の安全性が確保できると考えられる。

今後の対応方針としては、今回の照査結果および被災履歴、被災規模、現在の護岸の有している安全度、背後地の社会条件などを総合的に判断し、必要な箇所については対策を実施する。その際、浸透および地震対策工が侵食対策にも効果がある場合が想定されるため、それぞれの対策工が相乗効果を持つよう配慮する。

侵食に対する安全性照査結果の内訳(吉野川)

|             | (単位：km) | 吉野川左岸 | 吉野川右岸 | 合 計  |
|-------------|---------|-------|-------|------|
| 検討対象区間延長    |         | 34.8  | 36.8  | 71.6 |
| 照査基準を満足する区間 |         | 9.6   | 15.0  | 24.6 |
| 照査基準を下回る区間  |         | 25.2  | 21.8  | 47.0 |
| 護岸なし        |         | 7.0   | 10.4  | 17.4 |
| 護岸あり・なしが混在  |         | 5.8   | 1.8   | 7.6  |
| 護岸部分的にあり    |         | 10.0  | 7.4   | 17.4 |
| 護岸あり        |         | 2.4   | 2.2   | 4.6  |



侵食に対する安全性照査結果

## (5)地震対策に対する検討結果

地震については、地震後の堤防高(75%沈下)が河川水位よりも低い区間を耐震検討が必要な区間に設定し、その中で、二次(浸水)被害の可能性が高い断面を代表断面(計34断面)として選定した。

本委員会では、耐震対策工の評価も可能であるといわれている、有限要素法による動的解析手法(FLIP)と静的解析手法(ALID)にて、「東南海・南海地震」を対象とした解析を実施し、堤防がある程度沈下することを確認した。また、東南海・南海地震に対する堤防の耐震対策工の検討において、有効な対策工が存在することを確認した。

## (6)今後のとりくみ

吉野川本川については、浸透および侵食に対する検討がほぼ終了しており、浸透・侵食対策工の概要が決定した。しかしながら、旧吉野川・今切川は、未だ無堤箇所が数多くあることから検討が終了していないため、築堤事業実施時に浸透・侵食に対して本委員会の提言に基づき検討を実施し、必要であれば対策を実施する。

一方、「東南海・南海地震」のような大規模地震に対する堤防の安全性照査は、全国的な照査手法が示された段階で、吉野川下流域(旧吉野川・今切川含む)全体で実施するとともに、津波遡上解析については徳島県が津波シミュレーション結果を公表しているが、当事務所においても津波遡上解析の精度の向上を図り、現況堤防の安全度および氾濫状況を示すものとする。

なお、安全性照査の結果、対策工法が必要と判断された箇所については、浸透・侵食・地震の対策工法の相乗効果を考慮した上で、堤防の質的強化を計画的に実施し、併せて人的被害の防止に向けたソフト対策を行うものとする。



＜浸透および侵食に関する用語集＞

（ア行）

- 浅い地震（あさいじしん）  
震源の深さ10～100km程度の範囲での地震。震源の深さが浅い場合ほど危険が大きい。

- 液状化（えきじょうか）  
飽和したゆるい砂などが、地震力の作用などによって、急激に抵抗力が落ち、液体状になる現象をいう。  
地盤は土と土とのすき間に水を含みながら、土粒子同士が接触していることによって成り立っている。こうした地盤に、地震が発生して地盤が強い振動を受けると、今まで互いに接触していた土粒子の骨格は崩れる。この場合、土粒子間に含まれている水には、周りの土から力が加えられ、水圧が上昇する。すると、土粒子は浮き上がり、液体と同じように自由に動く。このように、液状化が発生すると地盤は一時的に弱くなり、堤防が沈下したり、水が土とともに地表に噴き出す噴砂現象が見られる。

- N値（えぬち）  
N値とは、地盤の固さを知る為の数値で、地盤調査（JIS規格：標準貫入試験）を行うことにより、知ることができる。  
N値は質量63.5kgのおもりを75cmの高さから自由落下させ、30cm貫入したときに得られる打撃回数をいう。硬い地盤ほど打撃回数が多く、逆に軟らかい地盤ほどそれは少ない。

- 落堀（おちぼり、おっぼり）  
堤防が越流破堤して洪水が氾濫する際に、流水によって洗掘されて生じる池状の凹地。堤防際に残されている場合が多く、この「おっぼり」の存在によって過去の破堤箇所がわかる。

（カ行）

- 過剰間隙水圧（かじょうかんげきすいあつ）  
地中の中の水は、常時深さに比例した水圧（静水圧）を受けている。これが地震の揺れなどにより周りの土から力が加えられ、静水圧よりも大きい水圧が発生する。この静水圧よりも大きい水圧を過剰間隙水圧という。

- 活断層（かつだんそう）  
最近200万年以内に地震を起こしたことがある断層のことで、プレートが互いに力を及ぼしあって生じるエネルギーで活動している。

- ガル gal（がる）  
地震動の加速度を表す単位で一秒間にどれだけの速さで地面が動いたかを示す。1ガルは、1(gal)=1 (cm/sec<sup>2</sup>) である。

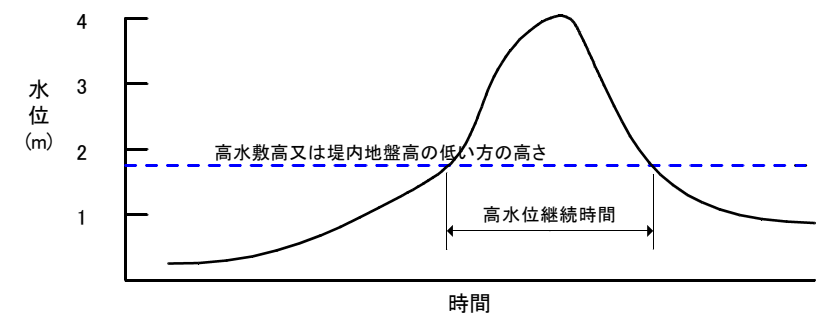
- 旧河道（きゅうかどう）  
扇状地よりも下流の平野部では、河川は自由蛇行しやすい。旧河道は蛇行があまりにも進んで流路が短絡

した場合や洪水時に自然堤防が破られて新しい河道が作られた場合にできる（地形学概論より）。自然堤防は河川の上流から運搬されてきた砂などが河道の岸に沿って堆積して形成された微高地をいう（地形学辞典より）。旧河道は、洪水時に氾濫流の通り道となりやすい。また、堤防が旧河道を横切る箇所では漏水が発生しやすい。また、比較的軟弱な土砂が堆積している場合が多く、地盤沈下もしくは地震時には液状化する可能性もある。

- 既往最大洪水流量（きおうさいだいこうずいりゅうりょう）  
ある河川において水位や流量が観測されはじめて以来最大の洪水流量をいう。現在でも計画高水流量を決めるときに、既往最大洪水流量は重要である。

- 計画高水位（H.W.L）（けいかくこうすい）  
計画高水流量を計画断面で流下させるときの水位をいう。

- 高水位継続時間（こうすいけいぞくじかん）  
最寄りの観測所の既往の主要洪水における水位のうち、高水敷高もしくは堤内地盤高のどちらか低い方の高さを超える水位の継続時間



- 護岸（ごがん）  
堤防や河岸を流水による決壊や侵食から守るため、そののり面や基礎の表面を覆う工作物を護岸といい、コンクリートや石積で作られている。低水路の河岸を守るものを低水護岸、高水敷の堤防法面を保護するものを高水護岸、低水路と堤防法面が一枚でつながったのり面を保護するものは堤防護岸と呼んでいる。

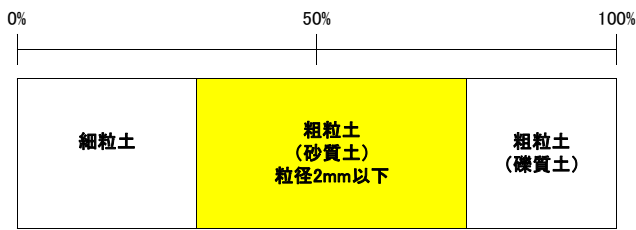
（サ行）

- 朔望平均満潮位（さくぼうへいきんまんちょうい）  
朔（新月）および望（満月）の日から5日以内に観測された、各月の最高満潮面を1年以上にわたって平均したものである。

- 砂質土（さしつど）  
地盤工学基準「地盤材料の工学的分類方法」（JGS0051-2000）において、土質材料は観察による区分と粒径による区分から大分類される。このうち、粒径(粒の大きさ)から粗粒土(砂や礫分が構成比で50%より多く含



まれる)と細粒土(粒径0. 075mm未満の粘土分やシルト分が構成比で50%より多く含まれる)に分けられる。  
粗粒土に属する土のうち、細粒分が50%未満で、粒径2mm以下の土を砂質土という。



●三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$ ）（さんじくあっしゅくしけん しーゆーばー）

$\overline{CU}$ 試験とは、圧密後非排水状態で間隙水压を測定しながらせん断すること。試験の目的は、間隙水压を測定することによって試験中の有効応力の変化を把握し、有効応力解析に必要な強度定数( $c'$ 、 $\phi'$ )を得るための情報を得ることを目的とする。条件としては、載荷重によって圧密され強度が増加した後、排水が生じないように急速載荷される場合を再現する場合に用いられ、適用土質は、飽和した粘性土である。

●三軸圧縮試験（CD）（さんじくあっしゅくしけん しーでいー）

CD試験とは、圧密後排水条件でせん断すること。試験の目的は、地盤が載荷重によって圧密されて強度を増した後に、地盤内に過剰間隙水压が生じない条件で、せん断される場合の、地盤の圧縮強さおよび変形特性を求めることである。適用土質は、飽和した砂質土である。

●残留水位（ざんりゅうすい）

河川水位が洪水等により急激に上昇した時、川の水は徐々に堤体内に浸入・浸透してくる。その後、水が引いた場合、河川の水位は急激に低下するものの、堤体などの土中に浸入・浸透した水は、河川水位の低下より遅れて浸出する。その際、堤体などに残った水位のことをいう。

●自然含水比（しぜんがんすいひ）

含水比というのは土の重量に対する含まれている水の量の重量比を％で表わす。含まれている水の量は、土を炉に入れて乾燥させ、減った重量で求める。自然含水比は自然のままの土の含水比のことをいう。

●重要水防箇所（じゅうようすいぼうかしょ）

洪水時に特に注意が必要な箇所を重要水防箇所といい、水防上最も重要な箇所を「A」、水防上重要な箇所を「B」とランクづけている。洪水時に特に注意が必要な箇所とは、以下の箇所をさす。

- ・堤防の高さが低い箇所
- ・堤防の幅が細い箇所
- ・過去に堤防が崩れた箇所
- ・川の水あたりの強い箇所
- ・過去に堤防から水がにじみだしたことがある箇所
- ・橋の桁下が低い箇所
- ・堤防工事から3年以内の箇所
- ・昔、川が流れていた箇所

洪水時には、地元の水防団の方々が中心となって見廻るが、上記のような箇所は特に重点的に見廻り、異常が発見された時は堤防が壊れないように迅速に水防工法が施される。

●震央（しんおう）

震源の真上の地面。

●震源（しんげん）

岩盤の破壊が最初に起こり、地震が生じるきっかけとなった場所。

●侵食（しんしょく）

流水などの作用で、地盤の表面が削り取られること。

●浸透（しんとう）

河川水および降雨などが次第に堤防の内部に行きわたっていく現象をいう。

●震度（しんど）

ある場所での地震による揺れの程度を表す指標である。震度は0から7までの階級があり、そのうち、震度5と震度6はそれぞれ強、弱に分割され、全体で10階級に区分される。かつては体感で観測していたが、現在では計測震度計で観測されている。ある地震について、マグニチュードは一つの値しかないが、震度は場所ごとで異なる値である。

●地震調査研究推進本部（じしんちょうさけんきゅうすいしんほんぶ）

平成7年に発生した兵庫県南部地震以降、地震防災対策特別措置法に基づき総理府に設置（現・文部科学省に設置）された政府の特別の機関。

●洗堀（せんくつ）

土砂が水流により洗い流され掘られること。

●セグメント区分（せぐめんとくぶん）

セグメント区分とは、河道特性を評価する一つの方法である。河川の縦断形は、ほぼ同一の河床勾配を持つ区間がいくつか集まりできていると考えられ、この同一の河床勾配を持つ区間をセグメントと呼ぶ。

同一勾配を持つそれぞれの河道区間は、ほぼ同じ大きさの河床材料を持っており、さらに洪水時に河床に働く掃流力や低水路幅・深さも同じような値を持っていることが多い。この特徴を持つ区間ごとに河道を区分する方法がセグメント区分である。

セグメントは、河床勾配、支川合流、代表粒径の縦断分布などを考慮し、小セグメントに分割する場合がある。

|                 | セグメントM             |  | セグメント1                            |  | セグメント2                            | セグメント3    |                       |
|-----------------|--------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------|-----------------------|
|                 | 山間地                |  | 扇状地                               |  | 2-1                               | 2-2       | デルタ                   |
| 地形区分            | 山間地                |  | 扇状地                               |  | 谷底平野                              | 自然堤防帯     | デルタ                   |
| 河床材料の代表粒径 $d_s$ | さまざま               |  | 2cm以上                             |  | 1～3cm                             | 0.3mm～1cm | 0.3mm以下               |
| 河岸構成物質          | 河床河岸に岩が露出していることが多い |  | 表層に砂、シルトが乗ることがあるが薄く、河床材料と同じ物質が占める |  | 下層は河床材料と同一、細砂、シルト、粘土の混合物          |           | シルト、粘土                |
| 勾配の目安           | さまざま               |  | 1/60～1/400                        |  | 1/400～1/5,000                     |           | 1/5,000～水平            |
| 蛇行程度            | さまざま               |  | 曲がりが少ない                           |  | 蛇行が激しいが、川幅水深比が大きい所では八字蛇行または島が発生する |           | 蛇行が大きいものもあるが、小さいものもある |
| 河岸侵食程度          | 非常に激しい             |  | 非常に激しい                            |  | 中くらい                              |           | 弱い                    |
| 低水路の平均深さ        | さまざま               |  | 0.5～3m                            |  | 2～8m                              |           | 3～8m                  |

(タ行)

●代表流速（だいひょうりゅうそく）

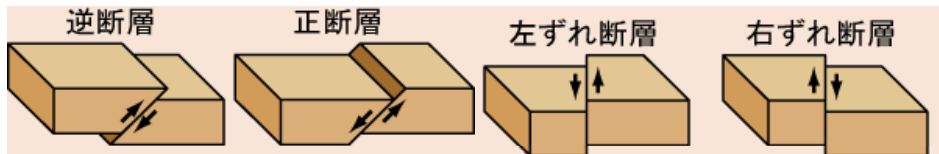
侵食に対する堤防の安全性を検討するために必要な外力の1つであり、平均流速に湾曲や洗掘などの補正係数を乗じて求めます。

●単位体積重量（たんゐたいせきじゅうりょう）

土の単位体積当たり(1立方メートル)の重量をいう。

●断層（だんそう）

地震によってできる岩盤のずれ。断層は、岩盤のずれ方によって下図のように分類することができる。



●地殻変動（ちかくへんどう）

プレート運動に伴う地表の変形や、地震や火山活動により生じる変動をいう。

●治水地形分類図（ちすいちけいぶんるいず）

治水地形分類図は、自然堤防、扇状地、谷底平野、旧河道等の氾濫と地形の成り立ちとを結びつけた地形情報であり、水害の危険性を判断する一つの判断材料となる。

●中央防災会議（ちゅうおうぼうさいかいぎ）

内閣総理大臣を会長とし、防災担当大臣や防災担当大臣以外の全閣僚、指定公共機関の長、学識経験者からなる会議で、以下に示す役割を持つ会議である。

- ・「防災基本計画」、「地域防災計画」の作成及びその実施の推進
- ・非常災害の際の緊急措置に関する計画の作成及びその実施の推進
- ・内閣総理大臣・防災担当大臣の諮問に応じての防災に関する重要事項の審議（防災の基本方針、防災に関する施策の総合調整、災害緊急事態の布告等）等
- ・防災に関する重要事項に関し、内閣総理大臣及び防災担当大臣への意見の具申

●堤防と河道（ていぼうとかどう）

- ・高水敷〔こうすいじき〕

高水敷は、複断面の形をした河川で、常に水が流れる低水路より一段高い敷地の部分。平常時にはグラウンドや公園など様々な形で利用されているが、大きな洪水の時には水に浸かる部分。

- ・天端〔てんぱ〕

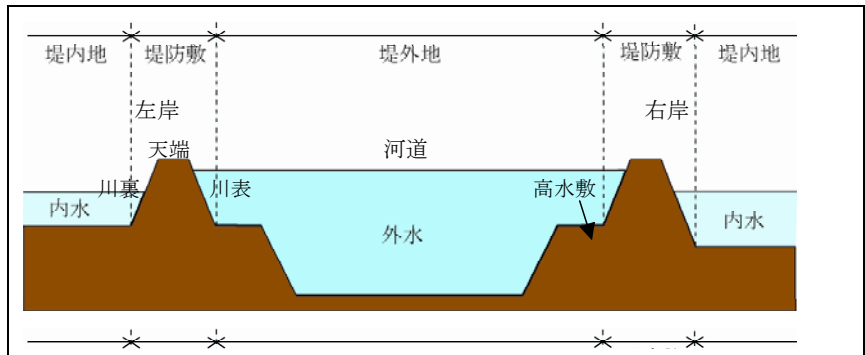
堤防や道路盛土などの土構造物の上面をいう。

- ・堤内地〔ていないち〕、堤外地〔ていがいち〕

堤内地とは堤防によって洪水の氾濫から守られる地域という。一方、堤外地とは堤防の川側をいう。

- ・右岸〔うがん〕、左岸〔さがん〕

右岸とは川の上流から下流に向かって右側のことをいう。一方、上流から下流に向かって左側のことを左岸とをいう。



堤防と河道を上流から見た模式図

●透水係数（とうすいけいすう）

堤防や基礎地盤の水の流速（ながれのはやさ）の大きさを示す指標で、飽和時の透水係数を飽和透水係数、不飽和時は不飽和透水係数という。その係数の値が大きいほど、透水性は良い。

●等流計算（とうりゅうけいさん）

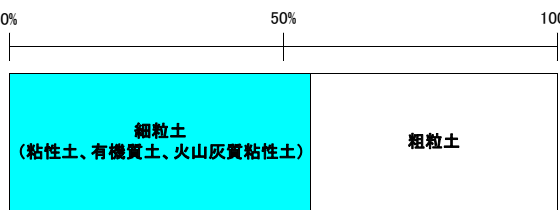
断面形および勾配が縦断的に不変と考えられる水路に、時間的に一定と考えられる流量が流れる場合に、適切な平均流速公式を用いて計算する方法である。

(ナ行)

●粘性土（ねんせいど）

地盤工学基準「地盤材料の工学的分類方法」（JGS0051-2000）において、土質材料は観察による区分と粒径による区分から大分類される。このうち、粒径(粒の大きさ)から粗粒土(砂や礫分が構成比で50%より多く含まれる)と細粒土(粒径0.075mm未満の粘土分やシルト分が構成比で50%より多く含まれる)に分けられる。

細粒土に属する土のうち、土質区分上、粘りけのある土を粘性土という。経験的には、粘性土を指先に付けた時、水で洗い流すと指先に土が残る。なお、粘性土は中分類上、さらに粘土とシルトに区分される。



●粘着力と内部摩擦角（ネンチャクリョク ト ナイブマサツカク）

それぞれ土の強さを表す値をいう。粘性土を主体とする土は、粘着力が主体である。一方、砂質土や礫質土は内部摩擦角を主体である。いずれの値も大きい方が地盤としては強い。

(ハ行)

●被災水位（D. H. W. L.）（ひさいすいゐ）

護岸等の施設が被害を受けた最高水位をいう。

●深い地震（ふかいじしん）

震源の深さ100～700kmまでの地震。深い地震では、めったに被害が生じることはない。

●不等流計算（ふとうりゅうけいさん）

断面形および勾配が縦断的におだやかに変化する水路に、時間的に一定と考えられる流量が流れる場合に、適切な平均流速公式を用いて、水位や流速の縦断変化を計算する方法である。

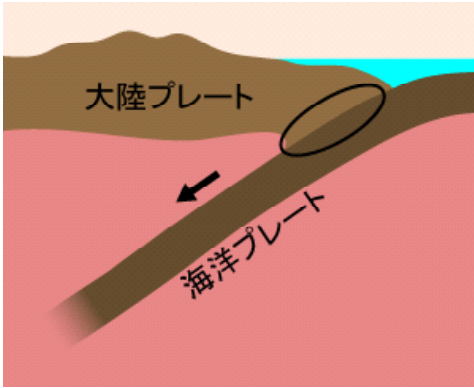
●プレート（ぷれーと）

地球の表面を覆っている厚さ100kmほどの岩盤をプレートというプレートには、大陸をのせている大陸プレート（ユーラシアプレート等）と、海底にある海洋プレート（フィリピン海プレート等）とがあり、大陸プレートの方が海洋プレートよりも軽くできている。それぞれのプレートは、年に数cmの速さで移動しており、このプレートの動きは、山脈を造ったり火山の噴火や地震などを起こす原因となる。



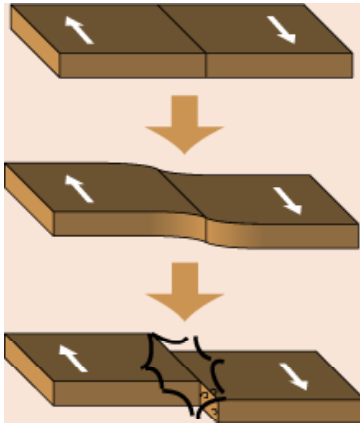
●プレート間地震（ぷれーとかんじしん）

プレート間地震は、海洋プレートと大陸プレートが接するところで生じる地震である。プレートの間では、海洋プレートが大陸プレートの下に年数cmずつ潜り込むような形で動いており、プレートが接する点で摩擦が生じる。この摩擦により、大陸プレートは海洋プレートによって引きずられて水平方向に押し縮められながら、地球内部の方へ引き込まれていくことになる。このとき、大陸プレートにはひずみが生じ、大きなエネルギーが蓄えられ、プレートがひずみに耐えられなくなると、プレートとプレートの境界の部分が壊れる。すると、摩擦は一気に小さくなり、大陸プレートは跳ね上がるようにして元に戻り、このときに、プレートに蓄えられていたひずみのエネルギーが、一瞬のうちに地震として放出される。



●プレート内地震（ぷれーとないじしん）

プレートの内部で発生する地震は、活断層によって引き起こされる。活断層の両側は、年数mm以下の非常にゆっくりとした速さでずれているので、両側の岩盤は長い年月を経てくっついてしまう。しかし、くっついて活断層のある場所の動きは止まっても、周り一帯の岩盤は動き続けているので、活断層の付近の岩盤にはひずみがたまる。そして、それが限界に達すると、両側の岩盤は急激にずれ、地震を引き起こす。地震を起こした後、活断層は再び静まりかえり、次の地震のためのエネルギー（ひずみ）を蓄え始め、長い年月を経て再び地震を起こす。

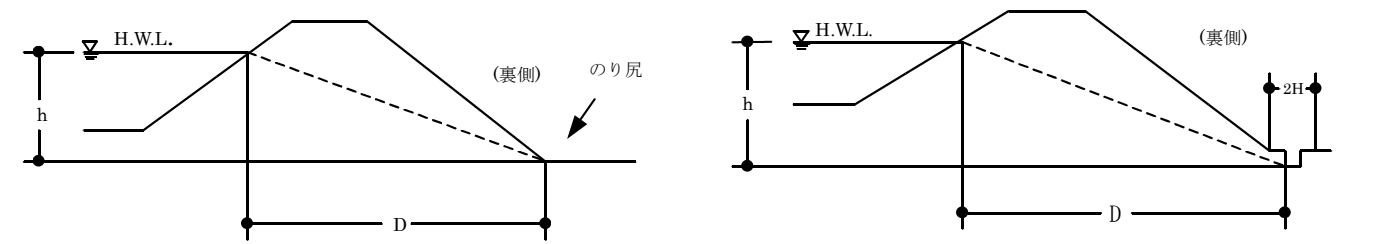


●平均根毛量（へいきんこんもうりょう）

地表面から深さ3cmまでの土中に含まれる、根および地下茎の総重量をいう。

●平均動水勾配（へいきんどうすいこうばい）

洪水等により、河川水位が計画高水位に達し、堤体内に水が浸透して、堤防の裏のり尻に達したときに形成される水面の勾配（かたむき）をいう。裏のり尻に水路がある場合と無い場合では、その勾配の取り方が異なる。



●平均流速（へいきんりゅうそく）

平均流速とは、計画高水位以下の水位時において最も早い流速のことをいう。一般に、計画高水位相当の水深が生じた場合に流速が最も大きくなるため、このときの条件を用いて準二次元不等流計算もしくは等流計算によって求められる。

（マ行）

●マグニチュード（まぐにちゅーど）

マグニチュードは地震の規模を示す値である。マグニチュードが1増えると、地震のエネルギーは約32倍になる。

（ヤ行）

●有効応力法（ゆうこうおうりょくほう）

有効応力法は、盛土後長期間経過後の堤防に雨水や河川水が流入する場合の浸透により発生する間隙水圧を考慮する解析方法として用いられる。すべり速度がゆっくりとした場合には、すべりによって発生する間隙水圧をゼロと仮定して用いられる。反対に全応力法は、その他の場合で、すべり速度が非常に速い場合に用いられる方法である。

（ウ行）

●流域（りゅういき）

集水区域と呼ばれることもあり、降雨や降雪がその河川に流入する全地域のことをいう。その面積の単位は平方キロメートル(k㎡)が使われる。

●粒度（りゅうど）

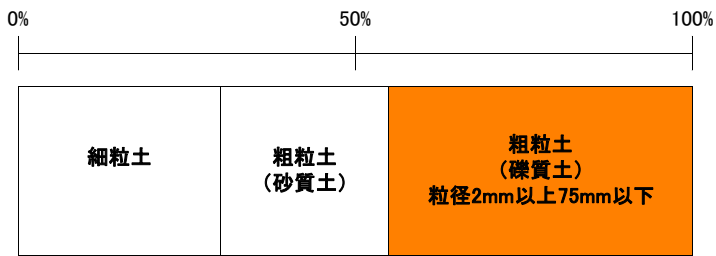
堤防や地盤を構成する土粒子の大きさ(径)の分布状態を、全質量に対する百分率で表したものをいう。なお、堤防や地盤は、粒径が0.075mm未満の細粒分(粘性土)、0.0075mmから75mm未満までの粗粒分(砂質土、礫質土)及び75mm以上の石分からなる。



●礫質土（れきしつど）

地盤工学基準「地盤材料の工学的分類方法」（JGS0051-2000）において、土質材料は観察による区分と粒径による区分から大分類される。このうち、粒径(粒の大きさ)から粗粒土(砂や礫分が構成比で50%より多く含まれる)と細粒土(粒径0. 075mm未満の粘土分やシルト分が構成比で50%より多く含まれる)に分けられる。

粗粒土に属する土のうち、細粒分が50%未満で、粒径2mm以上75mm以下の土を礫質土という。



## <地震に関する用語集>

### 1. 地震・断層に関するもの

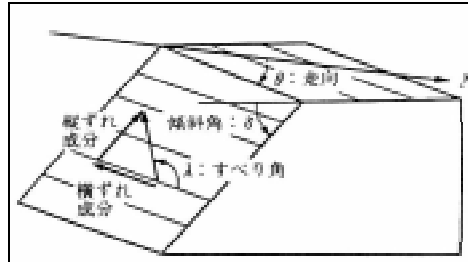
#### ●震源／震源域／震央

地震は断層の破壊によって発生します。この破壊は断層全体で同時に起こるのではなく、ある1地点から始まった破壊が周辺に広がって行きます。この破壊が始まった地点を震源と言い、震源直上の地表の点を震央と言います。また破壊の起こった領域全体を震源域と言います。震源の深さ10～100km程度の範囲での地震。震源の深さが浅い場合ほど危険が大きい。



#### ●断層パラメータ

断層の状況を表す指標を断層パラメータと言います。主なものとしては、断層の長さ、断層の幅、傾斜、ずれの大きさ、ずれの方向、断層の向き(走向)などがあります。



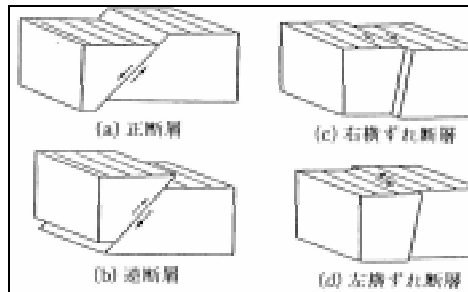
#### ●正断層／逆断層／横ずれ断層

断層は、ずれを起こす方向によっていくつか大きく分類することができます。

このうち水平方向にずれを起こすものを横ずれ断層と言います。この横ずれ断層は、さらにずれる方向によって右ずれ断層、左ずれ断層に分けられます。

水平方向にずれを起こす断層に対して、垂直方向にずれを起こす断層もあります。このような断層のうち、上盤(断層面をはさんで上側の部分)が下にずれる断層を正断層、逆に上盤が上にずれる断層を逆断層と言います。

日本の近くでは、横ずれ断層による地震は内陸で起こることが多く、海溝付近では逆断層による地震が起こることが多くなっています。



#### ●マグニチュード

マグニチュードは地震の規模を表す数値で、数字が大きいほど地震の規模も大きくなります。このマグニチュードについては、**表面波\***を用いて求めるもの、**実体波\***を用いて求めるものなど、様々な定義が存在します。日本付近で起こる地震については、気象庁がマグニチュードを決定して発表しています。マグニチュードの数字が0.2大きくなると エネルギーは2 倍に、1.0大きくなるとエネルギーは30倍になります。

#### ●震度

**マグニチュード\***が地震の規模を表す数値であるのに対して、**震度**は地表での揺れの激しさを表す数値です。そのためマグニチュードは一つの地震に対して一つしかありませんが、震度は場所が異なると違った数値になります。震度は体感や被害の状況によって決められます。日本では気象庁がその基準を定め、震度を発表しています。以前は人間が体感で震度を決定していましたが、現在では**計測震度計\***を使って決められています。



#### ●本震／前震／余震

ある**震源域\***で地震活動が起こるとき、その地震の中でもっとも大きい地震を本震と言います。また、この本震の後に起こる地震を余震、本震の前に起こる地震を前震と言います。このうち余震は時間とともに発生回数が減少して行くことが知られています。余震の規模は、地震によって異なりますが、本震に匹敵する規模の余震が起こることもあります。しかし、本震より大きい余震が起こることはありません。一般に、本震の規模が大きいほど余震は長く続きます。前震は、本震の前に起こることから、これを使って地震を予知しようという試みも行われています。

#### ●群発地震

地震活動の中には、同じ**震源域\***で同じような大きさの地震が続けて起こり、はっきりと**本震\***が決められないような活動もあります。このような地震活動を群発地震と言います。昭和40年頃活発だった松代群発地震が有名です。

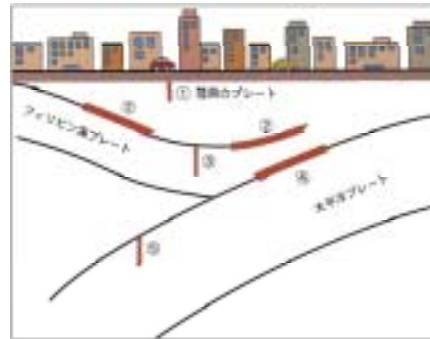
## ●プレートテクトニクス

地球の表面は十数枚の硬い岩盤に覆われています。この岩盤をプレートと呼びます。プレートは一年間に数ミリの速度で動いているため、異なるプレートとの境界付近では歪みが蓄積されます。この歪みのエネルギーによって地震活動、火山活動、造山活動などが起こるとする学説があります。この学説をプレートテクトニクスと言います。日本の近くにはプレート境界がいくつもあるため、地震活動、火山活動が活発に起こっています。

## ●プレート境界地震／プレート内地震

異なるプレートの接する境界付近では、プレートが互いに押し合い、変形を起こします。しかし、ある程度まで変形が進むと、プレートが変形に耐えられなくなり破壊を起こしてしまいます。こうして起こる地震をプレート境界地震と呼んでいます。

このようなプレートの境界で起こる地震に対して、プレートの内部で破壊が起こることもあります。プレート境界地震に対して、プレートの内部で起こる地震をプレート内地震と呼んでいます。



## ●海溝地震／内陸地震

日本付近で発生する地震を分類する場合、一つの方法として海溝付近で発生する海溝地震と内陸部で発生する内陸地震に分けることがあります。

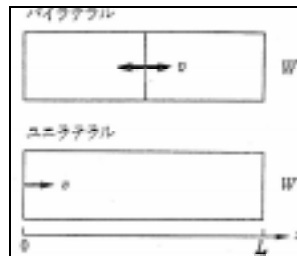
このうち海溝地震は、日本列島に沿う海溝付近で発生する地震(プレート境界地震\*)で、地震の規模が大きく、数十から数百年の周期で発生しています。これに対して内陸地震はそのほとんどが、活断層の運動によって発生します。地震の規模は、海溝地震より小さい傾向にあります。震源\*が浅いことが多く、大きな被害をもたらすことがあります。

## ●直下(型)地震

都市の直下で地震が起こると、地震の規模と比較して大きな被害がでることがあります。防災上、このような地震を直下地震と呼んで注目してきました。この呼び方は、地震学上のものではないため、活断層\*による地震でも、プレート境界で起こる地震でも都市直下で発生した地震はすべて含まれます。直下型地震という言い方は、マスコミの言葉で正しい呼び方ではありません。

## ●バイラテラル／ユニラテラル

地震は断層で破壊が起こることによって発生します。断層で破壊が起る時、断層全体が同時に破壊するわけではなく、ある点で始まった破壊が周囲に広がっていきます。この破壊の広がり方について二つのモデルが考えられています。このうち、断層の一方の端から他方に破壊が進んでいくものをユニラテラルと言います。それに対して断層の中央から破壊が始まり、両端に向かって破壊が進んでいくものをバイラテラルと言います。



## ●活断層

200万年前頃から現在までに活動した形跡の残っている断層を活断層と言います。活火山の「活」と違い、現在活動している断層という意味ではありません。活断層の活動周期は、数百年から数千年にわたるため、活動の記録が残っていないものがほとんどです。

## ●歴史地震

まだ地震の観測が行われていなかった、明治時代初期以前の地震のうち、古文書などに記録が残っている地震を歴史地震と言います。このような記録を調べることで、地震の再来する周期などを知ることができます。

## ●津波

海域で地震が発生すると、震源\*が浅い場合海底の隆起や沈降が起こることがあります。この海底の変動によって海面に凹凸が生じ、波となって四方八方へ広がっていきます。これを津波と言います。日本の周辺では海溝付近を震源として巨大地震が起こることが多く、津波で大きな被害が起こっています。このため、'tsunami'は学術用語として海外でも使われるようになってきました。

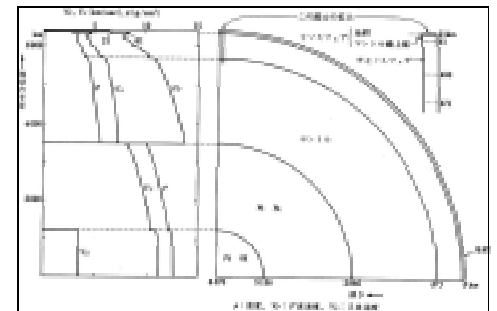
## ●地震予知

地震は大きな災害をもたらすため、その発生を予知することが社会的に求められています。この地震予知については、長期的な予知と短期的な予知があります。長期的な予知としては、地震の統計から地震の再来する周期を調べたり、長い間地震の起こっていない空白域を探す方法があります。しかし、この方法ではいつ地震が起こるか特定することはできません。これに対して短期的な予知は、いつ地震が起こるか正確に知ろうとするものです。このための手段としては、地殻\*の歪み、地電流、地下水の変化から予知する方法、前震活動からとらえる方法など様々な方法が試されていますが、まだ確立した方法はありません。現在、日本で地震予知のための観測が行われているのは東海地方だけです。

## ●地殻／マントル

地球内部の構造は、構成する物質や温度、圧力の状態などから大きく三つに分けられます。この三つは外側から、地殻、マントル、核と呼ばれています。

このうち地殻は、厚さが十数kmから数十kmの薄い構造です。これに対してマントルは2900kmもの厚さを持っています。地球の内部で地震が起こるのは地殻とマントルの上部だけで、構成する岩石と圧力の関係からほかの部分では地震は起きません。

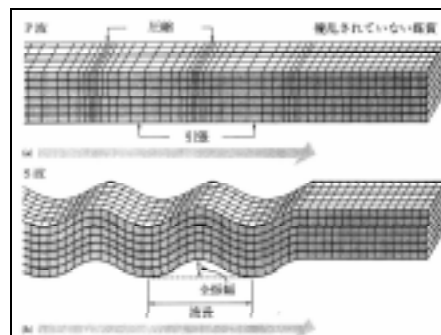




## 2. 地震波に関するもの

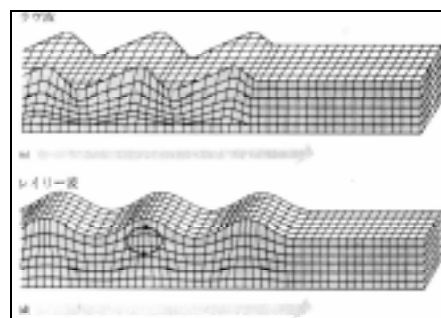
### ●実体波(P波,S波)

地震波にはいくつかの種類があります。その中で地盤の中を実際に伝わる波を実体波といいます。実体波には、二種類の波があります。このうち振幅が小さく、先に伝わっていく波をP波といいます。このP波は、液体の中でも伝わっていく縦波です。もう一つの波は、P波より遅れて伝わり、振幅の大きいS波です。この波は横波で、液体中では伝わりませんが振幅が大きいため、建物の耐震設計などを考えるときには重要になります。



### ●表面波

地盤の中を実際に伝わる**実体波\***に対して、表面の部分で伝わっているように見える波があります。この波を表面波といいます。表面波も発生する原因や揺れの方向によってレイリー波、ラブ波に分けることができます。この表面波の振幅は地下の構造によって大きく変わり、関東平野のように堆積層が厚いところでは大きくなることが知られています。



### ●入力地震波

地上で観測される地震波形は、地表部の地盤の影響を受けています。このような観測波形に対して、地盤に入射してくる際の波形を入力地震波と言います。**液状化\***の判定や地盤の**増幅特性\***を調べる際には、この入力地震波が必要になります。

### ●模擬地震波

地震波が建物や地盤に与える影響などを解析するときに、コンピュータで人工的に解析に適した波形を作り出し、その波形を用いて解析を行うことがあります。このように人工的に作り出された波形を模擬地震波といいます。

### ●常時微動

地表は地震以外にも様々な要因で、常に揺れています。しかし、ごくわずかな揺れなので、人間にはほとんど感じられません。このような揺れを常時微動(雑微動)といいます。この常時微動は、地盤の**卓越周期\***に似た卓越周期となることから、常時微動から地盤の特性を調べる方法もあります。

## 3. 地震のゆれや強さに関するもの

### ●震度階

震度は、ある場所の地震動の強さをいくつかの階級に分けて表現したもので、日本では気象庁が定めた0から7までの10段階(震度5、震度6は強・弱の二段階に分かれる)の震度階が使われています。各震度の説明文は、震度4まではおもに人体感覚、震度5以上は被害状況によって表現されています。このように地震動の強さを階級で表現することは万国共通に行われていますが用いられる震度階は国によって異なり、アメリカなどでは、12段階からなるMM震度階が用いられています。

震度は地震動の**加速度\***だけではなく、**周期\***や揺れの継続時間などとも関連した、総合的に地震動の強さを表現できる指標です。震度と加速度を直接換算することはできません。

### ●震度7

気象庁では、戦前の中央气象台の時代から、一貫して震度0～4までは体感や家具などの揺れの様子から、震度5以上については被害の様子から判断してきました。1948年(昭和23年)の福井地震が発生するまで震度階級は0～6まででしたが、福井地震での被害が、一部の村落で家屋の**全壊\***率が98～100%にも達したことから、さらに大きな震度階級を定義することになってできたものです。したがって、1949年に震度階級表ができて以来、震度7が記録されたのは1995年兵庫県南部地震が初めてです。

### ●加速度／速度／変位

地震動の強さは震度以外に、加速度、速度、変位などの、測定器で直接測定できる量で表現される場合があります。地震の際にある1点に着目して、非常に遠い(地震時に揺れない)別の地点から見た場合、実際に動く幅を変位と言い、cmあるいはmmで表されます。この点が動く速さが速度で、自動車の速度と同じ意味です。ただし、単位はkine(カイと読む)=cm/secが使われます。また、速度が時間を追って大きくなる(または小さくなる)度合いが加速度で、gal(ガルと読む)=cm/sec<sup>2</sup>を単位として使います。人間が感じるができるのは加速度で、例としてはアクセルを踏んだ自動車で感じる感覚があげられます。被害の大きさは加速度だけではなく、速度や地震動が続く長さなどとも関係します。

### ●地震計

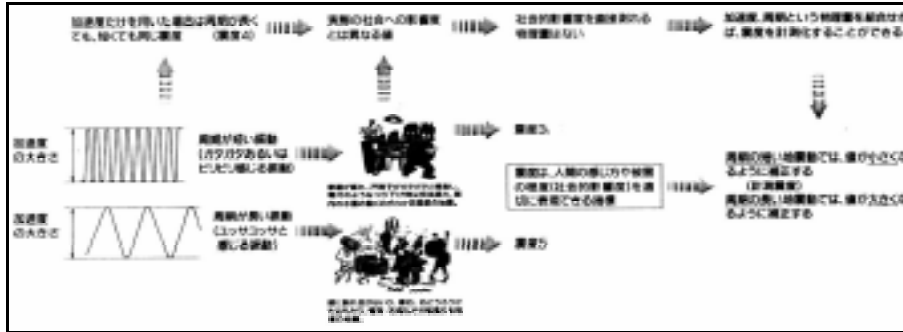
地震動の強さを、**加速度\***、速度あるいは変位として測定するための装置です。それぞれ、加速度計、速度計、変位計という呼び方をする場合もあります。昔はススをつけた記録紙などに直接書いていましたが、今は電子的な処理が可能になり、フロッピーディスクなどにデジタル記録する方式が普通です。

### ●強震計

**地震計\***はその用途によって、人間に感じない微小地震を観測するための地震計や、被害を生じる地震のような大きな揺れを測定するための地震計があります。微少な地震を観測するための地震計では、大きな揺れは振り切れてしまって観測できません。大きな揺れを観測するための地震計のことを強震計と呼びます。強震計では小さな地震は観測できませんが、兵庫県南部地震の際の神戸での揺れのような1,000galもの大きな加速度でも振り切れずに観測できます。また、地震計自体も大きな揺れに耐えられるように頑丈に作られています。

## ●計測震度(計)

震度\*は、約100年前に観測が始まって以来、人体感覚や被害の状況などに基づいて決定されてきました。この震度は地震動の強さの尺度として優れたものですが、感覚で判断するものであるため、個人差がどうしても残り、また観測点の増加の障害となっていました。しかし最近では震度の機械観測も可能になり、1993年頃から計測震度計の配備が始まり、現在ではすべての気象官署に配備されています。その原理は、基本的には加速度計で記録した地震波形に処理を施し、処理後の最大加速度から計算しています。処理の方法は、過去の記録をもとに、これまでの方法による震度との間にギャップが生じないように配慮されています。当初は震度7\*が観測された例がなかったため、震度7\*だけは被害の状況から決定されていましたが、現在では震度はすべて計測震度計で測定されています。

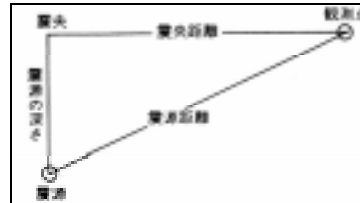


## ●距離減衰式

地表での地震動の強さには地盤の良し悪しも影響しますが、地盤の種類が同じならば、通常、地震動の強さは震源\*に近いほど大きく、遠ざかるほど小さくなります。この距離に応じて地震動が小さくなる様子を、式で表したものを距離減衰式と呼びます。距離としては、震央距離\*または震源距離\*が使われます。多くの研究者によって作られた多くの種類の式が存在します。

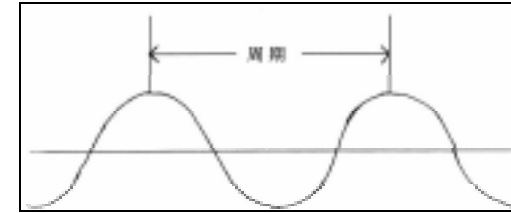
## ●震央距離／震源距離

ある地点から震央\*までの距離(水平距離)が震央距離、震源\*までの距離が震源距離です。つまり地震の発生地点の深さを考慮した場合の距離が震源距離で、震源の深さが0kmでない場合は常に震源距離>震央距離となります。この差は、ある地点が震央(震源)に近いほど大きくなります。



## ●周期／周波数

波の山から山まで、あるいは谷から谷までの時間を周期といいます。単位は秒です。地震の場合を考えると、水平動の場合、右へ揺れて左へ揺れてまた右へ揺れるまでの時間にあたります。周波数は周期の逆数(1/周期)のことで、単位はHz(ヘルツ)です。つまり、1秒間に何回揺れるかを示します。周期は数字が大きいほどゆったりとした揺れになり、逆に周波数の場合は数字が大きいほど小刻みな揺れになります。通常、地震による被害を想定する場合の地震動としては周期0.1秒～1秒程度を考えます。

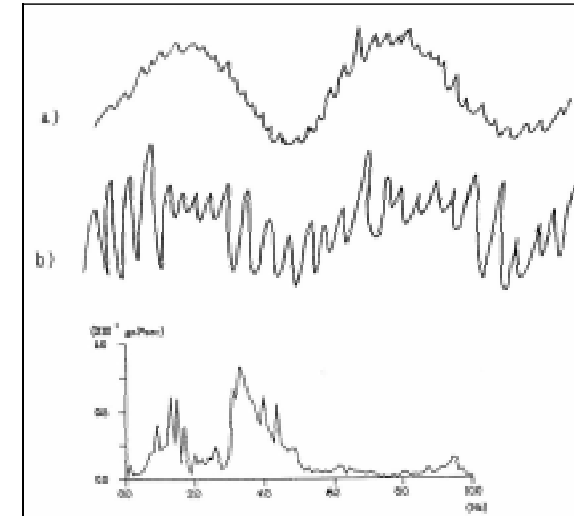


## ●(やや)長周期

地震動は、いろいろな周期\*の波が重なり合っています。工学的に地震動を扱う場合には、このうち0.1秒から1秒くらいの周期の波を取り扱います。これは、一般の建築物の固有周期\*がこのくらいの周期だからです。最近では、高層建築物や免震構造の建物の固有周期が数秒になるため、1秒から10秒くらいまでの範囲の地震動も取り扱うようになってきました。この周期帯域のことをやや長周期といいます。これに対して0.1秒から1秒までの範囲を短周期ということもあります。

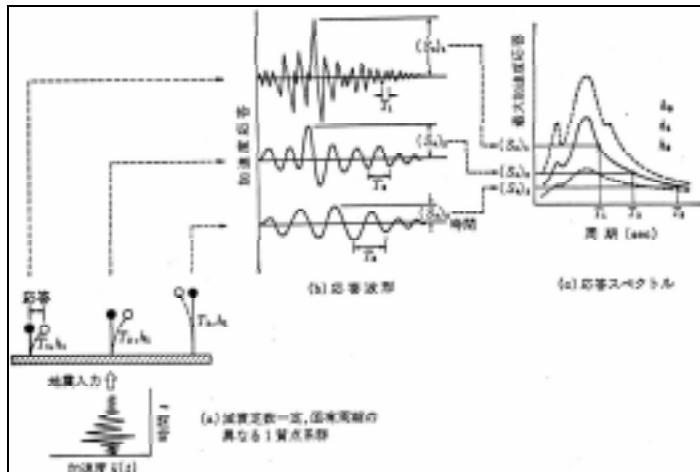
## ●(フーリエ)スペクトル

地震動はいろいろな周期\*の波が重なり合っています。その重なり方によって様々な形の波になります。たとえば図の波はa)b)どちらも同じ周期の長い波と短い波が重なり合っていますが、a)の波よりb)の波の方がより小刻みに揺れる波になっています。これはb)の方の短周期の波がa)より大きい(強い)からです。このように、周期の違う波の強さの組み合わせによって、様々な波形が形作られているのです。この性質を表しているものがスペクトルと呼ばれるものです。図の例では、この地震波では3.5Hz(周期0.3秒)の波が優勢で、5Hzより短周期の成分はほとんど含まれていないことがわかります。フーリエというのはこのような考え方を初めて行った数学者の名前です。



## ●応答スペクトル

地震の際の建物の揺れ方は様々です。高い建物はゆっくり揺れ、低い建物は小刻みに揺れます。地震動の周期と建物の固有周期\*が近いと、共振を起こして建物は大きく揺れます。このような性質を表したものが応答スペクトルです。応答というのは、地震波が建物に伝わった際に建物がどう反応するかということです。つまり応答スペクトルとは、建物の複雑な構造を簡単なおもり1個とバネ1本に置き換えて、建物の固有周期毎に最大どれだけ揺れるかを示したものです。建物には摩擦などによって揺れを止めようとする性質もあるので(減衰率と呼びます)これも考慮して計算されます。



## ●基盤地震動(基盤加速度)

地震動は震源\*から四方八方に伝わりますが、遠くまで伝わるのは地中深くにある硬い岩盤を伝わってくる波です。ある地点で感じる地震動は、その地点の地下深くまで岩盤を伝ってきってから、表層と呼ばれる軟らかい地層を通してやってきた波です。岩盤を伝わる様子は、計算で比較的容易に計算できるため、地震動を計算で求める場合には、まず岩盤での地震動を求めることがよく行われます。この地震動のことを基盤地震動(基盤加速度)といいます。

## ●地表地震動(地表加速度)

基盤地震動\*に対して、地表で感じる地震動のことを地表地震動といいます。これは基盤地震動に表層での増幅率をかけることによって計算されます。表層が軟らかいところでは、地震の波が硬い岩盤から入ってくると、地表と岩盤との間で捕まったような状態になって、何度も行ったり来たりして表層の外へ抜け出せなくなるため、地表では大きな地震動を感じるようになるのです。

## ●期待値分析

期待値というのは数学用語で、ある一定の条件の場合に、平均するとある現象がどのくらいの割合で発生するかということを意味します。地震は不規則な現象のように見えますが、長い期間をとってみると周期性があることがわかります。したがって、ある程度長い期間、たとえば50年とか100年とかを考えると、地震動の大きさを決めれば、平均何回くらい地震を感じるようになるかを統計的に計算することができます。逆にある期間を考えて、その期間の間に感じる最大の地震動の大きさが平均どのくらいであるかを求めることもできます。この場合の平均というのは、非常に長い期間をいくつかの50年とか100年の区間に切って、それらを平均することを意味します。したがって、今から50年、100年の間に必ず その回数、規模の地震があるということではありませんが、おおよその地震の発生危険度を知ることができます。このような分析のことを期待値分析といいます。もちろんこの分析のためには十分長い期間の地震の発生記録が必要になります。

## ●地震動

ある地点で感じる地震の揺れの大小には、いろいろな条件が影響します。まず、地震そのものの大きさ(これをマグニチュードといいます)が大きいほど揺れは大きくなります。また、地震の起こった場所からの距離、実際は地震はある1点でおきるのではなく、地震断層面(地面の中でずれがおきた場所、たとえば野島断層などもその1例です。)全体から地震波が出てくるので、地震断層面からの距離に近い程良くゆれます。地表付近の地盤の堅さは大きな影響があります。一般的には軟らかい地盤程良くゆれます。また、地下数km位の地盤の構造も影響する場合があります(震災の帯の原因の一つといわれています)。



#### 4. 地質・地盤に関するもの

### ●地震基盤(面)

地震動を考える時には、地震動が震源\*からの距離だけで表すことができるような、一様でかつ広域の地域に設定できる、ある境界面を想定します。この境界面のことを、地震基盤あるいは地震基盤面と呼んでいます。S波\*速度3,000m/s以上の堅固な岩盤を想定しており、通常は新第三紀層以前(200万年前)の堆積岩の岩盤や花崗岩の上面等を対象としています。

### ●沖積層

第四紀沖積世(完新世とも言う。約1万年前～現在)になってから形成された地層、および現在形成されつつある地層のことを沖積層と言い、海水面の変動や河川的作用などで形成されます。現在の海岸平野、河川に沿った地域に見られる扇状地・氾濫原・湿原・自然堤防などや海岸部の砂州や砂丘等が沖積層にあたります。沖積層は、礫・砂・泥・泥炭などの未固結な(まだ固まっていない)地層を主体としており、特に軟らかい地盤は軟弱地盤とも呼ばれています。

沖積層が分布する地域は、一般に地震時における振動の増幅が大きくなりやすく、また日常においても地盤沈下などの問題があります。現在の東京周辺などのように、沖積層に広く覆われている沖積平野は、人口・都市機能が集中しており、防災上も問題が多い地域となっています。

### ●洪積層

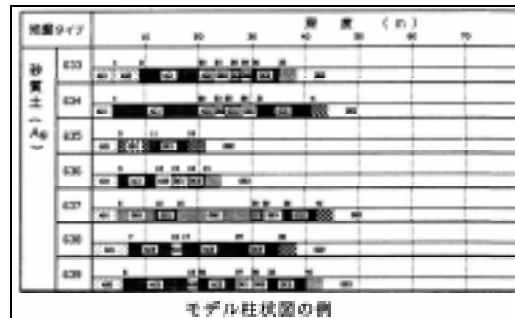
第四紀洪積世(更新世とも言う。約200万年前～約1万年前)の時代に堆積した地層のことを洪積層と言い、段丘堆積物などによって特徴づけられます。この堆積物は、氷河の拡大・縮小の繰り返しに伴って、海水面が数10～100m以上の幅で昇降を繰り返す過程で形成されたもので、海成段丘(海岸段丘)や河成段丘(河岸段丘)がこの洪積層にあたります。一般に、沖積層\*より締まった地層で、やや固結しています。

日本の洪積層としては、関東地方の上総層群中・上部と下総層群、近畿地方の大阪層群(最下部を除く)と呼ばれている地層、および各地域に分布する段丘堆積物などが代表的なものです。

### ●(代表)柱状図

ボーリング調査により採取されたコア試料の観察や各種試験結果に基づき、地質の構成、地層の厚さ、各地層の性状等を深度にしたがって記載したものを柱状図と呼んでいます。

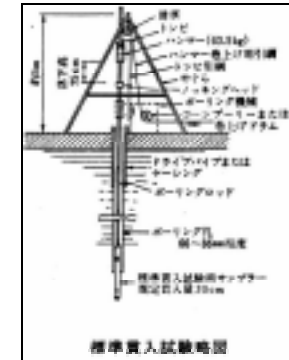
ある地域・メッシュごとに、その地区の地盤状況を代表すると考えられる柱状図を代表柱状図と呼んでいます。この代表柱状図は、表層地質図・地質断面図等の資料に参考にして決めており、最終的にはこれら代表柱状図を統合してモデル柱状図を設定します。また、モデル柱状図により分類された地盤のモデルを、地盤タイプと呼んでいます。県単位の地域を想定すると、設定される地盤タイプは、通常数百種類程度に分類されます。



### ●N値

ボーリング調査時に実施される標準貫入試験により得られるもので、重量63.5kgのハンマーを75cm自由落下させ、標準貫入試験用サンプラーを30cm打ち込むのに要する打撃回数をN値と呼んでいます。

N値は軟らかい地盤ほど小さく、硬い地盤ほど大きくなります。標準貫入試験は、地盤調査の中で最も広く行われているもので、地盤特性の量的判断はほとんどN値を基礎にしており、N値から地盤物性を表わす諸定数（例えば **S波**\*速度等）を推定することもできます。また、N値は**液状化**\*判定にも用いられています。

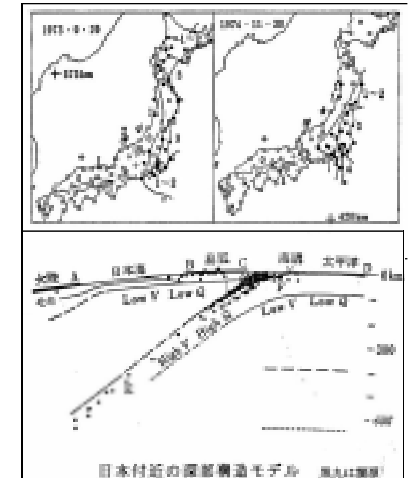


### ●Q值

振動が伝わる途中で弱まる程度(減衰の程度)を示す量をのことをQ値と言います。硬い岩盤ほど振動の弱まる度合いが小さく、Q値は大きな値で表されます。

日本海溝から日本列島の下に斜めにもぐりこむ**プレート境界\***付近に沿って、地震波の伝わる速度とQ値がその周囲より大きな部分がありますが、このゾーン  
の存在は、地震波の伝わり方に複雑な効果を及ぼして  
います。

震源\*より距離が遠いにもかかわらず、地震動が大きく観測されるという、いわゆる"異常震域"現象などもその現れです。



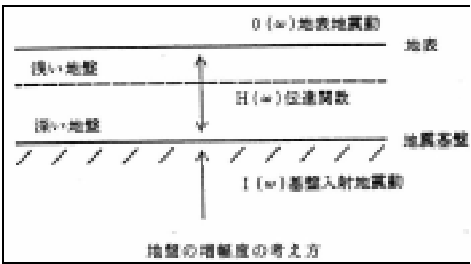
●PS検層

地盤の物性値の一つである、**P波\***速度および**S波\***速度を知るために、ボーリング孔を利用して現地で測定を行う調査をP S検層と呼びます。ボーリング孔内に受振器を降ろし、地表部で起振した時に発生する波を記録する方法が一般的ですが、最近は震源と受振器が一体となったサスペンション型ゾンデを用いる方法も行われています。

通常の方法は、受振器をボーリング孔壁にガス圧等で圧着させ、地表においてP波については"かけや叩き"あるいは"重錘落下"により起振し、S波については厚板を側方より強打する"板叩き法"により起振し、受振器で伝わってきた振動を受振するものというものです。得られた波形記録を解析することによって、地盤のP波速度およびS波速度を得ることができます。

●伝達関数／増幅特性

ある地震動が地盤を伝わる際には、その地盤の物性値の違いによって周期ごとに増幅される(大きくなる)度合いが違ってきます。この増幅の仕方の違いを、周期と増幅度の関係で表したものを伝達関数あるいは増幅特性と呼んでいます。地震基盤\* から入射する地震動の特性に、基盤から地表までの間の表層部の増幅特性を掛け合わせることで、地表での地震動の様子がどのようなものであるかを想定することができます。



●重複反射理論

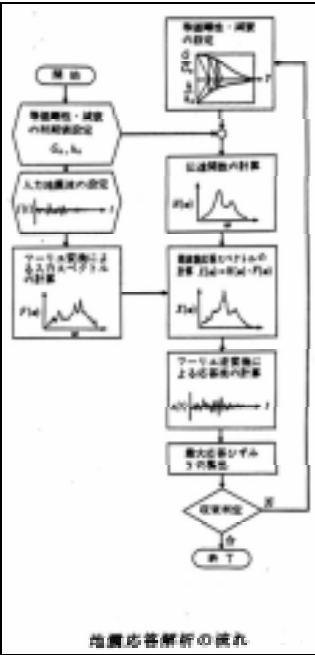
震害を及ぼす地震波としては、S波\*(よこ波)が最も重要であり、表層部への入射はほとんど鉛直です。この場合、物性値の違う地層の境界面では、波は通過する波と反射する波が現れます。下方から入射した波は、上部の境界面を通過する際、一部は反射され下方へ進みます。下方へ戻った波は、下部の境界面をさらに通過しますが、ここでも一部は反射され上方へ進むものもあります。このように一つの波が入射した際には、境界面を上下に通過・反射を繰り返しながら、波が弱まるまで伝わっていきます。つまり表層部の地盤内で波が閉じこめられたように重複反射を繰り返します。この理論を重複反射理論と呼んでいます。この重複反射理論を用いることで表層部の増幅特性を計算することができます。

●卓越周期

地盤を仮にいろいろな周期\*で揺らしたとすると、非常に揺れやすい周期というものが存在します。一般に軟弱な地盤ほど卓越周期は長く、また同じ軟弱層でも層厚が厚くなるほど卓越周期は長くなります。地震波にはさまざまな周期の成分が含まれていますが、地盤を伝わる場合、伝わって行く地盤の卓越周期と同じ成分は、特に大きく増幅されます。

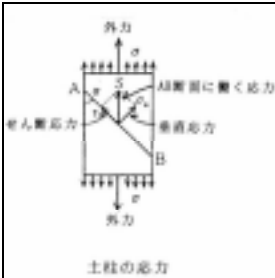
●地震応答解析

ある地震波が基盤に入射した時、例えば地表での挙動がどのようなものであるかを解析することを地震応答解析と言います。地盤をモデル化し、そのモデルの物性値(S波\*速度、剛性率\*など)を設定し、地震波を入射させ、重複反射理論\*に基づいて波の伝わり方を計算し、地表での地震動の大きさなどを求めるものです。軟弱な地盤は、地震動を受けると、受ける前に比べて物性値が変化しますが、解析時にはそのような影響も考慮して計算を行います。



●応力

静止している物体が外から力を受けている時、その中のある断面の両側には、大きさが等しく向きの反対な抵抗力が働きます。これを応力と言います。応力の大きさは、単位面積当たりの抵抗力で表されます。任意の面に働く抵抗力は、その面に垂直な成分の力(鉛直応力)と、その面に平行な成分の力(せん断応力)に分けられます。



●ひずみ

ある形をした物体に対して、外から力を加えると、その物体は形が変わります(伸びたり、縮んだり、体積が変わったりする)。これをひずみまたは変形と言います。ひずみはもとの大きさに対する、変化量の比で表されます。例えばP S検層\*時の地盤のひずみレベルは10<sup>-6</sup>程度(1kmの長さのものが1mm伸び縮みする)であり、10<sup>-2</sup>~10<sup>-1</sup>程度(1mの長さのものが1~10cm伸び縮みする)を超えると破壊に至ります。

●剛性率

せん断弾性定数とも言い、力が加わった時のずれに対抗する度合いを示すもので、応力\*とひずみ\*の比で求められます。剛性率は地盤で不変のものではなく、地盤内のひずみの大きさに依存して変化します。この依存の度合いは、粘土より砂の方が大きく、また地盤の中の圧力が小さい程、つまり地表に近い土ほど依存性が大きくなります。地震動が作用して地盤が揺らされた時には、剛性は低下します。

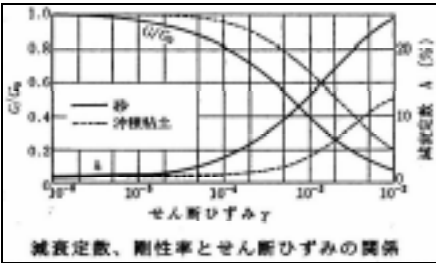
●減衰定数

地震動を受けたことによって、地盤内に発生し貯えられたエネルギー(ひずみ\*エネルギー)に対する、損失したエネルギーの割合を減衰定数と言います。減衰定数も剛性率と同じく、地盤内のひずみの大きさに依存しており変化します。地震動が作用した時には減衰する度合いは増大します。一般には、記号としてhが用いられ、比または%で表されます。

Q値\*とは、 $Q = \frac{1}{2h}$  の関係があります。

●動変形特性

土が持っている特性の一つに、剛性率\*と減衰定数\*がひずみ\*の大きさの違いによって変化することがあります。そして、土が地震動を受けた時、その力を受けて変形した状態での(ひずみを生じた時の)物性値の変化が、どのようなものかを示したのが動変形特性です。この特性は地盤の地震応答解析\*に用いられる重要なデータです。この特性を求めるには、ボーリング孔内から、乱さないで試料を採取し、その試料を用い、特殊な試験機により試験を行って求めるのが普通です。



## ●地盤種別

地震時における地盤の振動特性によって、工学的に地盤を分類したものを地盤種別と言います。土木の分野では、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種の３分類が用いられ、概略の目安として、Ⅰ種地盤は岩盤、Ⅲ種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、Ⅱ種地盤はⅠ種地盤およびⅢ種地盤のいずれにも属さない洪積地盤および沖積地盤とされています。地震被害想定では、もっと詳細に地盤の種類を分けるのが普通で、数十～数百種類程度に分類します。

## ●表層地質

地表に分布している地質のこと。例えば、地質区分では同一時期の地層とされる沖積層を、粘性土を主とする地域、砂質土を主とする地域などのように、より詳細に区分して表します。表層地質は、地表における地震動を考える上で重要な要素の一つとなります。

## ●浅い地盤／深い地盤

浅い地盤とは、地表から深度50～100m程度までを指し、深い地盤とは[地震基盤\\*](#)としている堅固な岩盤(S波速度3,000m/s層)の上面から、浅い地盤(深度50～100m程度)の下までを指します。浅い地盤は、主に第四紀の新しい地層によって構成されています。

これまでの地震動解析では、浅い地盤を主として対象としていました。一方近年建設が進められている超高層ビル、長大橋では、これまでよりも少し周期が長い、"やや[長周期\\*](#)"と呼ばれる震動特性が重要となってきました。そのため、これまでより深い地盤も考慮することが必要で、その際考慮の対象となるのがこの深い地盤の部分です。

## ●人工地震探査

人工的に地盤内(例えばボーリング孔中)で、ダイナマイトなどを使って大きな振動を発生させ、各地に設定した観測点で伝わって来た波を観測します。そして観測記録を解析し、振動の伝わり方から地盤の構造を推定します。このような調査を人工地震探査と呼んでいます。近年では、特に建造物の長大化に伴って、より深い構造を知ることが重要となっており、人工地震探査はこの深い構造を探ることを目的として実施されています。南関東地域では、1975年の夢の島発破実験以来多くの実験が行われています。

## ●なぎさ現象

固い地盤の上に軟らかい地盤がのった地盤構造の端部付近でみられることがある、周囲に比べて大きな地震動(神戸はその一例です。)は、しばしば「なぎさ現象」と呼ばれる場合があります。これは海岸に波が近づくにつれて波高が高くなる現象から類推したものと考えられますが、水の場合と違って、地震波の場合は堅い岩盤が浅くなってくると、岩盤が震動を押さえつける効果が強くなるため、振幅は一般に小さくなります。「なぎさ現象」は直接観測された例もなく、まだ確認された現象とは言えないようです。

## ●焦点効果(フォーカシング)

地震の波は、固い地盤から軟らかい地盤(その逆の場合も)にはいるとき、進路が曲がります。地震の波は硬い岩盤の中で発生し、次第に浅い地盤に伝わって、地表に達しますが、その途中の地盤の堅さによって、進路が変えられます。地盤構造によっては、凸レンズで光が焦点を結ぶように、地表のある地点に集中的に波が伝わって大きな地震動を生じるとの考え方です。「[震災の帯\\*](#)」を説明する、一つの考え方です。

## ●エッジ効果

段差がある岩盤があって、その段差の低い部分を埋めるように軟らかい地盤が分布しているような地盤構造を考えます。神戸の場合、岩盤の段差の高いほうが六甲山地で、低い部分で軟らかい地盤が分布しているのが市街地です。岩盤の下の方から地震波が伝わってきた場合、一部は直接軟らかい地盤に入って、大きく増幅されます。一部は岩盤の段差の高いほうを伝わって地表まで達しますが、段差の縁(エッジ)付近からは新しい地震波が発生し、軟らかい地盤を水平に進みます。軟らかい地盤の縁から少し離れた場所では、下から来る波と縁から水平に伝わってくる波が同時に到着するため大きな地震動が生じるという考え方です。「[震災の帯\\*](#)」を説明する、一つの考え方です。

## ●(深い地盤構造を考慮した)3次元解析

最近の研究によると、震災の帯が出現した理由の一つだけではなく、震源断層での破壊の物理的様子と、地盤構造(深さ数km程度での岩盤の3次元的構造)の複合作用によって生じたものであるとの考え方が有力になっています。これには、軟弱地盤での増幅やエッジ効果も関係しています。このような3次元地盤構造を考慮した解析は、最近の計算機の進歩によって急速な進歩を見せています。もちろんこのような解析を行うためには3次元的な地盤構造を知ることが不可欠です。



## 5. 液状化に関するもの

### ●液状化現象

**地下水位\***の高く、緩い砂の地盤が大地震で大きくゆすられた場合、地中の水圧が上がり、ついには砂が水の中を浮いた状態になり、地盤が液体状になります。その時、高い水圧のために泥状と化した土が地表に吹き出し(噴砂現象)、地盤が沈下することがあります。

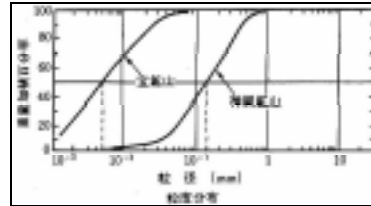
この一連の現象を液状化現象と呼んでいます。液状化現象が起こると地盤が建物を支えきれなくなり、建物は傾いて沈下し、ライフラインにも変形が生じて大きな被害を与えることになります。

### ●地下水位

ある基準面から測った地下水面の高さのことで、一般には地表面から測った深さや標高で表しています。地下水位は井戸やボーリング孔において、孔内の水面の位置から測定することができます。地下水位が高いと、砂を多く含んだ地盤では**液状化現象\***が起きやすく、斜面では地すべりが発生しやすくなります。

### ●平均粒径

土はいろいろな大きさの粒子から成っています。その粒子の大きさの分布を粒度分布といって、粒度試験と呼ばれる土をふるいなどにかける試験で分布が調べられます。その結果は、右図のように粒径を横軸に、各々の粒径より細かいものが通過した重量の割合(重量加積百分率)を縦軸にしたグラフで図示されます。平均粒径とは、重量加積百分率が50%に相当する土の粒の大きさのことをいい、 $D_{50}$ とも呼ばれています。



### ●全上載圧／有効上載圧

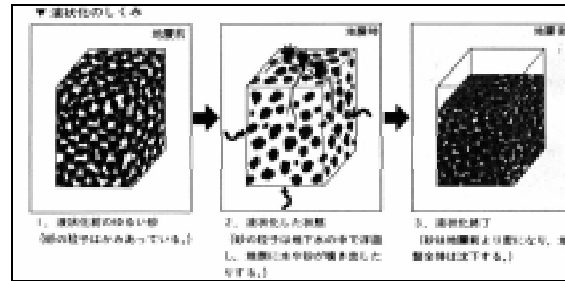
地中ではそれ以浅の地盤の重量による圧力が常にかかっています。ある深度の全上載圧とは、それ以浅にある土や地下水を含めたすべての質量による圧力を言い、有効上載圧とは全上載圧から**地下水位\***以下の浮力分を差し引いた圧力のことを言います。一般に上載圧が高い所では**液状化現象\***は起きにくくなります。

### ●液状化強度

ある地盤が**液状化現象\***を起こすか起こさないかの境目となる時の**せん断力\***の大きさのことを言います。この値は土質試験によって算定されます。ただし、同じ土でも**有効上載圧\***が異なれば、液状化強度は変化します。そこで、液状化強度を有効上載圧で除して液状化強度比として表すことにより、液状化判定をする上で比較可能な値となります。

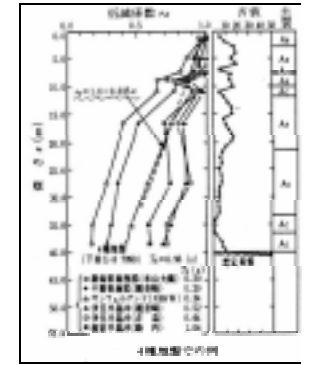
### ●地震時せん断強度

地震が起こった際、生じる**せん断力\***の強さのことを言います。地震時せん断強度が土のもつ**液状化強度\***を上回ればその土は液状化を起こします。地震時せん断強度は通常地表近くでは、深度方向に減少します。



### ●低減係数

**地震時せん断強度\***は、通常地表近くでは深度方向に減少しますが、その減少を表わす指標として低減係数が使われています。この低減係数は液状化の予測に良く用いますが、実際の減少の仕方は地震や地盤によってかなり変化します。そこで、液状化の予測にはその変化を平均化して決めた低減係数を一般的に用いています。



### ●細粒分含有率

土を構成する土の粒子は、その粒子の大きさによって、粒径範囲が0.005mm以下を粘土分、0.005mm～0.074mmをシルト分、0.074mm～2.0mmを砂分、2.0mm～75mmを礫分と区分しています。このうち、粘土分、シルト分を合わせたものを細粒分とよび、土に含まれる細粒分の割合(重量百分率)を細粒分含有率といいます。

### ● $F_L$ 法／ $P_L$ 法

どちらも地盤の液状化の予測を行う際によく使われる手法です。このうち、 $F_L$ 法は、地盤内の深さごとに液状化の可能性を判定するものです。この方法は各深さにおいて、その深度の**液状化強度\***( $R$ )と**地震時せん断強度\***( $L$ )との比( $R/L$ )をとって、液状化に対する安全率( $F_L$ )を求めるもので、 $F_L \leq 1$ なら液状化の可能性があり、 $F_L > 1$ なら可能性が少ないと判断します。

一方、 $P_L$ 法は、ある地点での液状化の可能性を総合的に評価しようとするものです。この方法は上記の $F_L$ 値を深さ方向に重みをつけて足し合わせた値(液状化指数： $P_L$ 値)によって評価するものです。

### ●液状化危険度

ある地震動に対し、地盤が液状化する可能性が高いかどうかを示したものです。通常、 **$P_L$ 値\***により判定されます。

(判定方法の例)

| 判定基準              | 内容              |
|-------------------|-----------------|
| $15 < P_L$        | 液状化の発生の可能性が高い   |
| $5 < P_L \leq 15$ | 液状化の発生の可能性がやや高い |
| $0 < P_L \leq 5$  | 液状化の発生の可能性が低い   |
| $P_L = 0$         | 液状化の発生の可能性がない   |

### ●過剰間隙水圧

土が**地下水位\***以下で水に満たされている場合、土の粒子の間には水が存在し、その水圧はその場所から地下水位までの高さに相当する水の質量と同じです。ところが、緩い砂の地盤が地震によって揺されると、砂の粒子が動いて浮遊状態になり、その地点より浅いところにある土のすべての重みが、圧力として加わってきます。この状態での水圧を過剰間隙水圧と言い、液状化が起る際には必ず発生するものです。

## 6. 対策工法に関するもの

### ●動的締固め式サンドコンパクションパイル工法(動的SCP工)

動的SCP工は、振動する振動機を上端に備えたケーシングパイプを地中に貫入し、下端より中詰め材を振動・圧入しながら砂ぐいを構築するとともに、砂ぐい構築時の側方圧力により周辺地盤の密度も増大させて液状化強度を増大させるものである。

### ●静的締固め式サンドコンパクションパイル工法(静的SCP工)

静的SCP工は、強制昇降装置と回転駆動装置などを用いて鋼管ケーシングを先端閉塞の状態 で改良する地盤中に貫入させ、所定の深さに達した後に材料を排出しながら、引き抜きと再貫入を細かく繰り返して地中に締った砂ぐいを構築するとともに、砂ぐい間の周辺地盤も側方圧力により締固めて、液状化強度を増大させるものである。補給材には、砂、碎石、再生碎石などを用いる。

本工法による施工では、動的SCP工と共通している事項のほかに以下のような特徴と施工中の留意事項が考えられる。

- ・施工中の振動・騒音が低減でき、既設構造物への近接施工が可能である
- ・近接施工の際には、地盤の変位に留意する必要がある

### ●深層混合処理工法

深層混合処理工は、スラリー状あるいは粉体状のセメント系や石灰系の安定材を改良しようとする地盤の軟弱土と強制混合し、原位置で強固な柱状あるいはブロック状の安定処理土を形成し、地震時の液状化を防止する工法である。

### ●高圧噴射攪拌工法

高圧噴射攪拌工は深層混合処理工の一種であり、固化材スラリーを高圧で噴射させながら、改良する地盤と固化材を強制的に攪拌混合させることにより、原位置で強固な柱状の安定処理土を形成する工法である。高圧噴射攪拌工は切削する方法により、グラウト噴射系、エア－グラウト噴射系、水・エア－グラウト噴射系の方法がある。

### ●グラベルドレーン工法

グラベルドレーン工は、地盤中に排水材(碎石杭)を設置し、地震時に基礎地盤中に発生する過剰間隙水圧を消散させることによって、堤体の変形を抑制しようとする工法である。本工法は、液状化対策工法としてどこにでも適用できるが、特に、施工に伴う振動・騒音、あるいは近接構造物への影響が問題となる都市部や既設構造物の近傍などで採用される工法である。

### ●鋼矢板工法

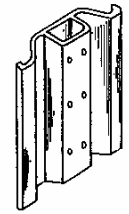
鋼矢板工は、鋼矢板を堤防盛土ののり尻などに打ち込み、地震時の盛土のすべり破壊防止、地盤の液状化に伴う側方流動の防止、および盛土の沈下変形量を抑制しようとするものである。

既設堤防の耐震対策工事に本工法が選定されている主な理由は、以下のとおりである。

- ・施工機械が一般的であり、工期も短い。
- ・施工条件に応じた施工機械・施工法を選択することにより、周辺環境に影響が少ない低振動・低騒音の施工、狭い場所や既設構造物に近接した場所あるいは橋梁桁下などでの施工が可能である。
- ・既設の堤防に対して、堤防を切削することなく対策を行うことができる。
- ・長期的な維持管理が不要である。
- ・施工範囲の縮小や水質汚濁対策などの施工条件に対する制約がある。

### ●排水機能付鋼矢板工法

鋼矢板工に排水機能を有する鋼矢板を用いることによって、鋼材としての鋼矢板の機能・効果に加え、地震時に鋼矢板周辺地盤の過剰間隙水圧の上昇を抑えることにより地盤の液状化強度の増大が期待できる場合がある。このような場合、鋼矢板に右図に示すような、孔部に土砂侵入防止フィルターが設けられた有孔溝形鋼やドレーンパイプが用いられている事例もある。



排水機能付鋼矢板の例