

～“災害に強いまち・西条”を実現するために！～

西条市の防災・減災対策への提言 【液状化評価編】

平成26年4月23日(水)

西条市防災対策研究協議会

目次

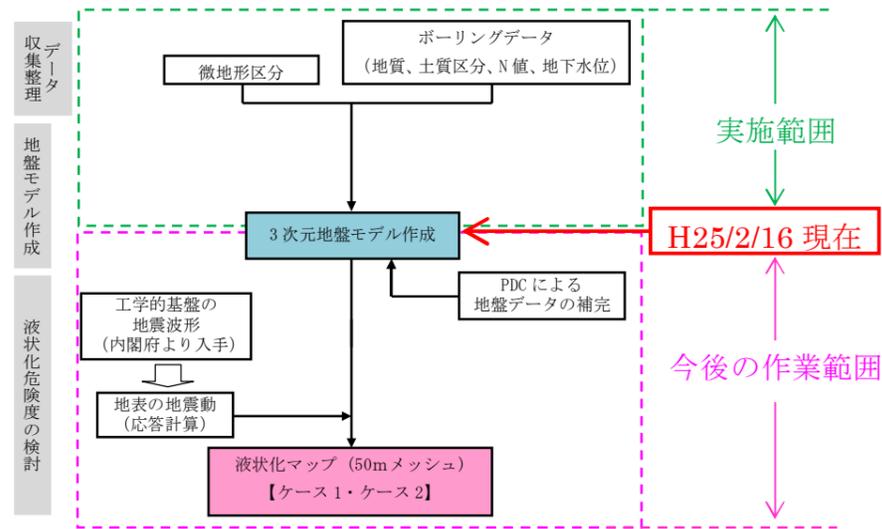
【液状化評価編】

西条市の防災・減災対策への提言

- | | | |
|----|------------|-------------------|
| 第1 | 平成25年2月13日 | 第2回西条市防災対策研究協議会資料 |
| 第2 | 平成25年9月27日 | 第3回西条市防災対策研究協議会資料 |
| 第3 | 平成26年3月16日 | 第4回西条市防災対策研究協議会資料 |

第1 平成25年2月13日 第2回西条市防災対策研究協議会資料

《液状化発生予測の検討作業フロー》



(1)想定地震

本検討で用いる想定地震を以下に示す。

○ケース1:中央防災会議(2003)・・・東海・東南海・南海地震の強震断層モデル(Mw8.7)

○ケース2:内閣府(2012)・・・南海トラフの巨大地震の強震断層モデル(Mw9.0)

ケース1

| 震度 | 地表面加速度 (gal) | ケース2内閣府(2012) | | | | | 中央防災会議(2003) |
|-------|---|---------------|----|----|----|-------|--------------|
| | | 基本 | 陸側 | 東側 | 西側 | 経験的手法 | 東海・南海・東南海地震 |
| 震度 5弱 | 170 ~ 299 | | | | | | |
| 震度 5強 | 300 ~ 529 | × | | × | × | | × |
| 震度 6弱 | 530 ~ 959 | ◎ | × | ◎ | ◎☆ | × | ◎ |
| 震度 6強 | 960 ~ 1229 | ☆ | ◎ | ☆ | | ◎ | ☆ |
| 震度 7 | 1230 ~ | | ☆ | | | | |
| 備考 | ◎:西条市内の平均的な震度 ☆:西条市内の最大震度 ×:最小震度 (各ケースの震度は公表されている図から読み取り、詳細な加速度データは別途各機関から入手予定) | | | | | | |

《実施方針》

※□は、本検討で想定する地震動を示す。

- 震源を特定した地震による液状化の発生予測を検討をする。
- 内閣府(2012)の南海トラフの巨大地震については、西条市で最も震度が大きくなる「陸側ケース」とする。

震源を特定して検討するメリット、デメリットは以下の通りである。

【メリット】

- ・内閣府の地震動、被害想定を検討ケースに応じた、西条市に大きな影響を及ぼす巨大地震による液状化の発生予測結果が得られる。
- ・内閣府で計算された工学的基盤の地震データを用いることにより、詳細な検討結果が得られる。

【デメリット】

- ・内閣府の見直し時点での対応が求められる。

(2)地盤モデルと想定メッシュ単位

■地盤モデル

⇒ 3次元地盤モデルにより、精度の高い地盤モデルを作成
ボーリングデータ(1,410本*)に含まれる地質、地盤情報を読み取り、地層の連続性を考慮して作成。 ※2013年2月16日時点

■想定メッシュ単位

⇒ 50mメッシュ
50mメッシュで検討した結果のイメージを下図に示す。
50mメッシュで検討するメリット、デメリットは以下の通りである。

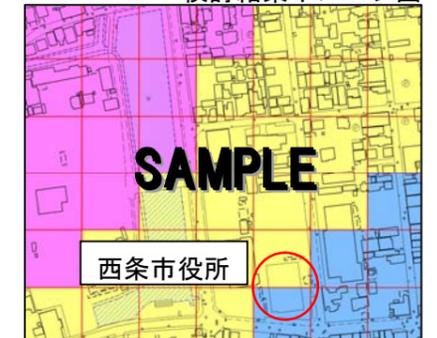
【メリット】

- ・国機関と比べ、西条市域の詳細な液状化の評価が可能となる。
- ・地盤、地表の変化に対応した詳細な評価が可能となる。

【デメリット】

- ・詳細な地盤データ(ボーリング等)が必要となる。

検討結果イメージ図



《想定メッシュ単位の比較》

想定メッシュ単位は、250mメッシュ、125mメッシュ、50mメッシュで比較した。

| メッシュ単位 | イメージ図 | 各項目の評価 | | | 総評 |
|----------|-------|--------------------------|------------------------------|----|-----|
| | | 検討項目 | 検討結果 | 評価 | |
| 250mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 国機関と同等 | × | 不採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 確保できる | ○ | |
| 125mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 詳細に評価できる(国機関の1/4) | △ | 不採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 地質構造の推定を加味した三次元地盤モデルにより精度を確保 | ○ | |
| 50mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 詳細に評価できる(国機関の1/25) | ○ | 採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 地質構造の推定を加味した三次元地盤モデルにより精度を確保 | ○ | |

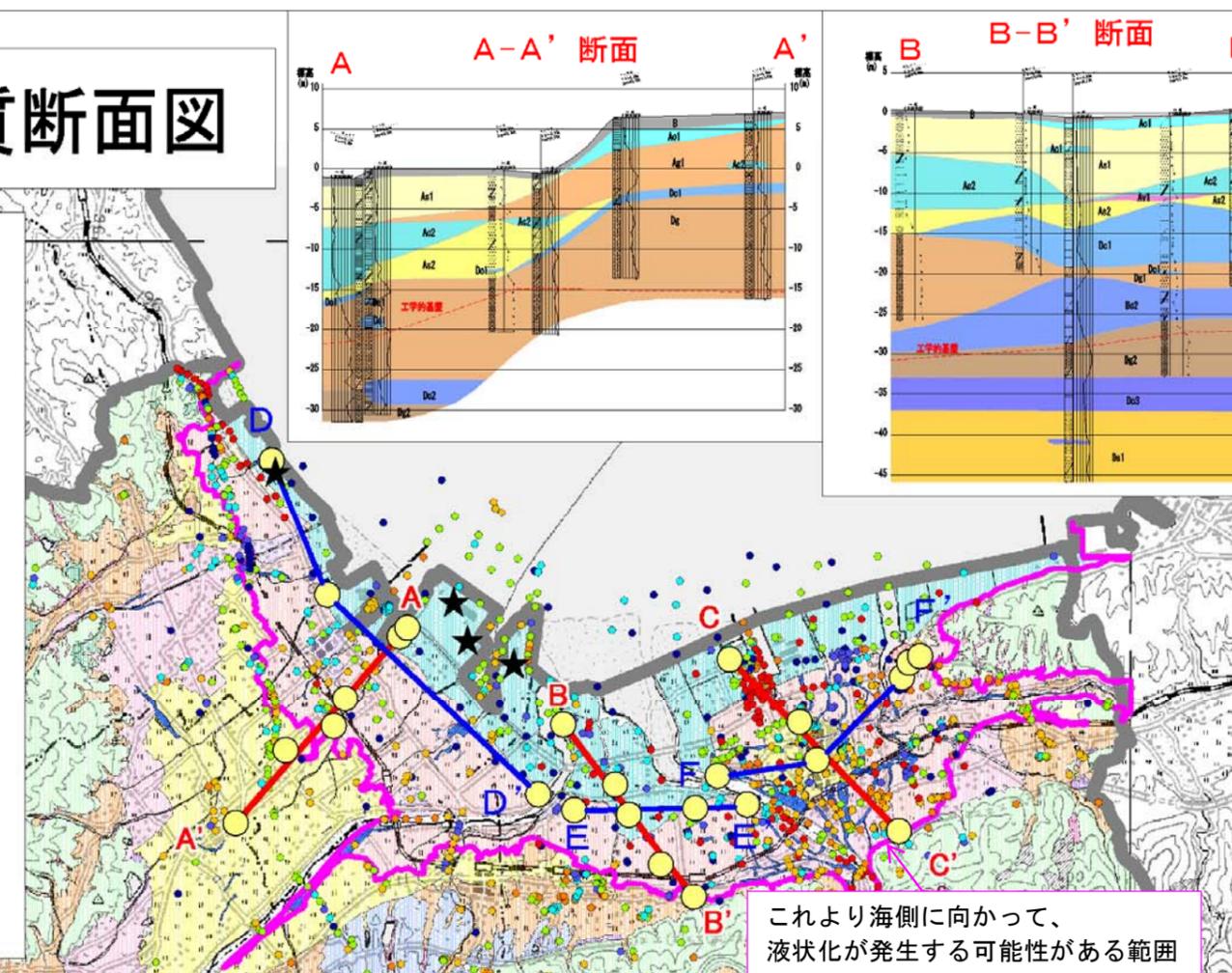
※上述した想定メッシュ単位のうち、最良のものから○、△、×の順で表記した。

※□は、本検討で用いる想定メッシュ単位を示す。

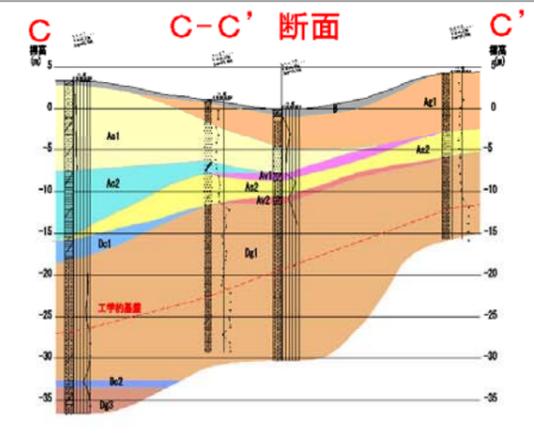
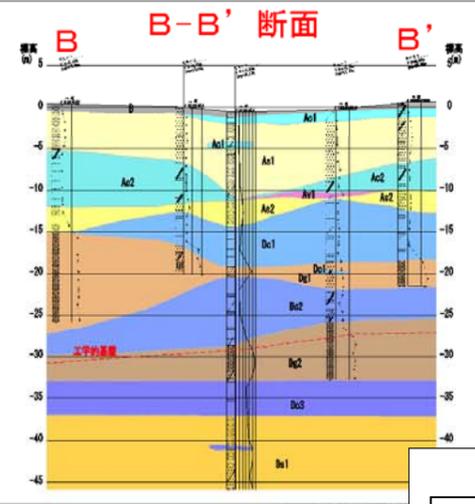
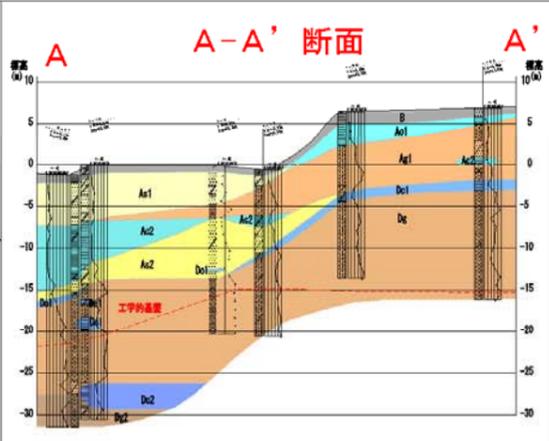
(3)西条市の地質構成

推定地質断面図

- 断面線作成ボーリング地点
- 液状化が発生する可能性がある範囲
- 断面線
 横断方向
 縦断方向
- 微地形区分
 沖積低地
 干拓地
 丘陵
 旧河道
 砂州・砂礫州
 砂礫質台地
 山地
 山麓地
 自然堤防
 盛土
 切土
 扇状地(勾配小)
 扇状地(勾配大)
 谷底低地
 地すべり
 埋立地
- ★ 芸予地震により液状化の確認できた箇所



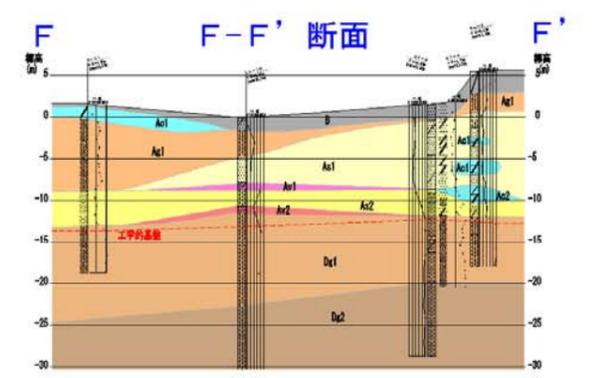
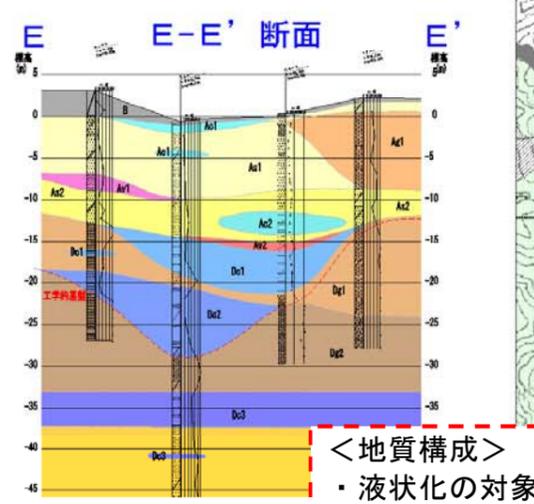
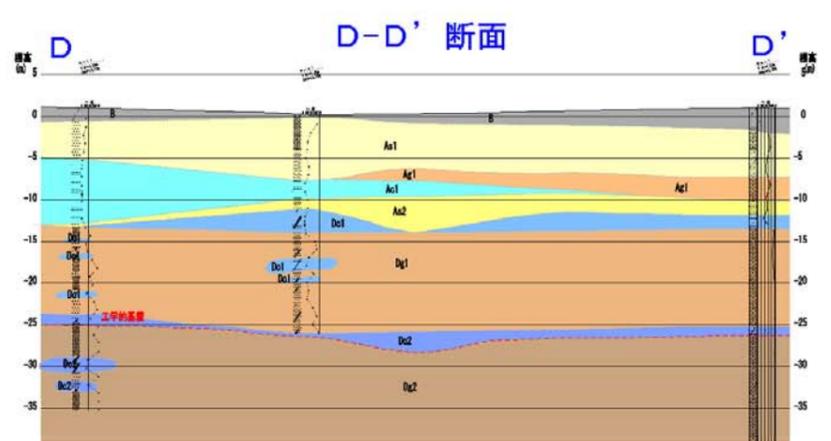
これより海側に向かって、液状化が発生する可能性がある範囲



地質層序表

| 時代 | 地層名 | 記号 | 層厚 (m) | 平均 N値 | 層相 | |
|-----------|------|--------|--------|-------|-----------|---------------|
| 現代 | 盛土 | B | 1.2 | 14 | 砂質粘土～粘土質砂 | |
| 第 新 生 紀 代 | 沖積層 | 第一粘性土層 | Ac1 | 2.9 | 4 | 砂質シルト～砂混りシルト |
| | | 第一砂質土層 | As1 | 5.7 | 11 | シルト質砂～シルト混り細砂 |
| | | 礫質土層 | Ag | 4.6 | 24 | 粘土混り砂礫～砂礫 |
| | | 第二粘性土層 | Ac2 | 3.8 | 6 | 砂質シルト～礫混り粘土 |
| | | 第一火山灰層 | Av1 | 1.2 | 22 | 火山灰 |
| | | 第二砂質土層 | As2 | 2.6 | 20 | シルト混り中砂～礫混り粗砂 |
| | 洪積層 | 第二火山灰層 | Av2 | 1.3 | 20 | 火山灰 |
| | | 第一粘性土層 | Dc1 | 2.8 | 11 | 砂質シルト～礫混り粘土 |
| | | 第一礫質土層 | Dg1 | 8.6 | 41 | 粘土混り砂礫～砂礫 |
| | | 第二粘性土層 | Dc2 | 3.9 | 17 | 砂質シルト～粘土 |
| | | 第二礫質土層 | Dg2 | 5.9 | 49 | シルト混り砂礫～砂礫 |
| | | 第三粘性土層 | Dc3 | 4.0 | 24 | 砂質シルト～粘土混りシルト |
| | 砂質土層 | Ds | 8.3 | 44 | 細砂～礫混り粗砂 | |

□は、液状化の可能性が懸念される地層
 ★は、特に液状化の可能性が懸念される地層



<地質構成>
 ・液状化の対象層となる沖積層は、地表より10～15mに分布する。
 ・液状化発生の可能性が特に高い地層は、As1層である。
 ・芸予地震時に液状化の発生が確認できた箇所は、いずれも「埋立地」である。

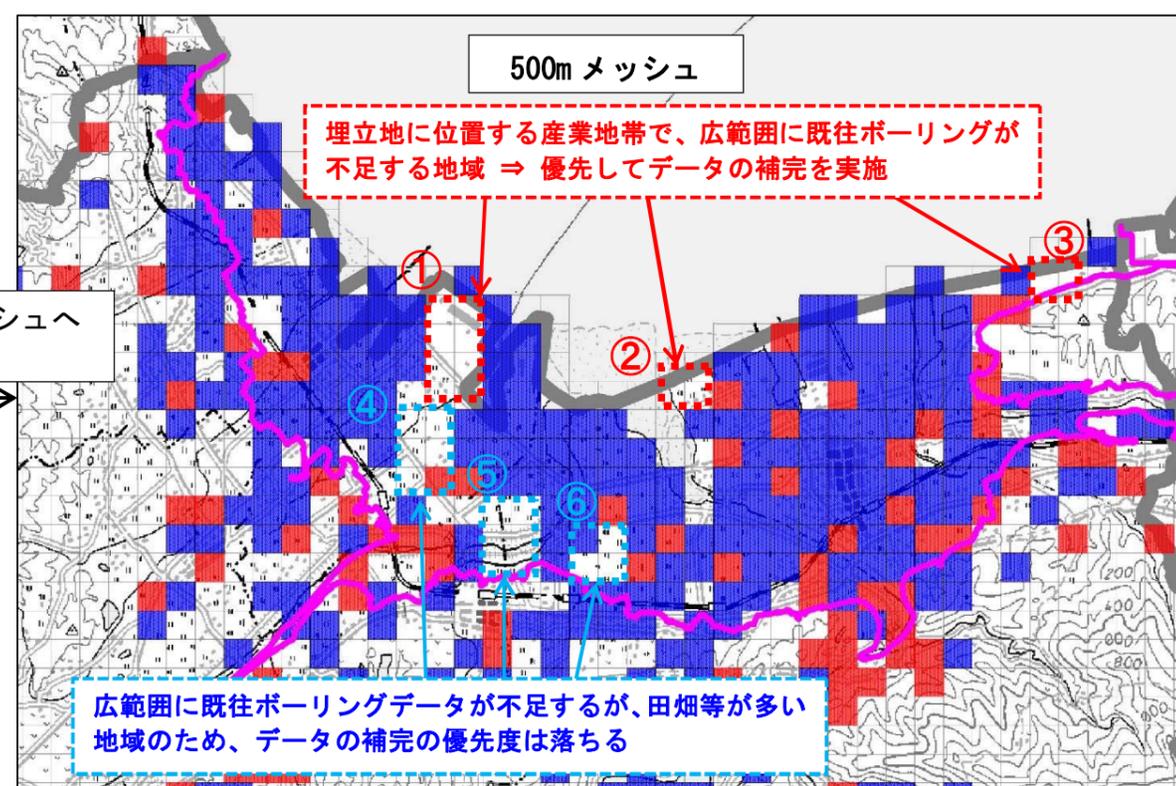
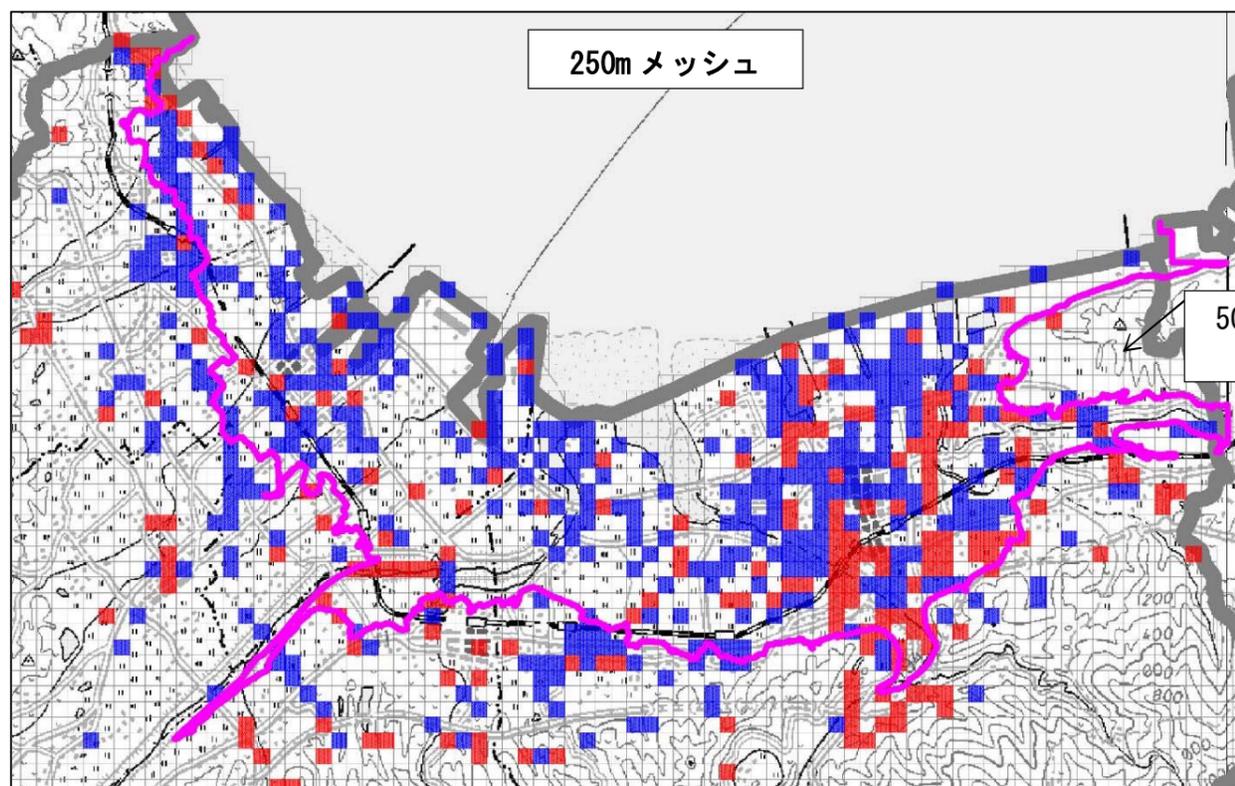
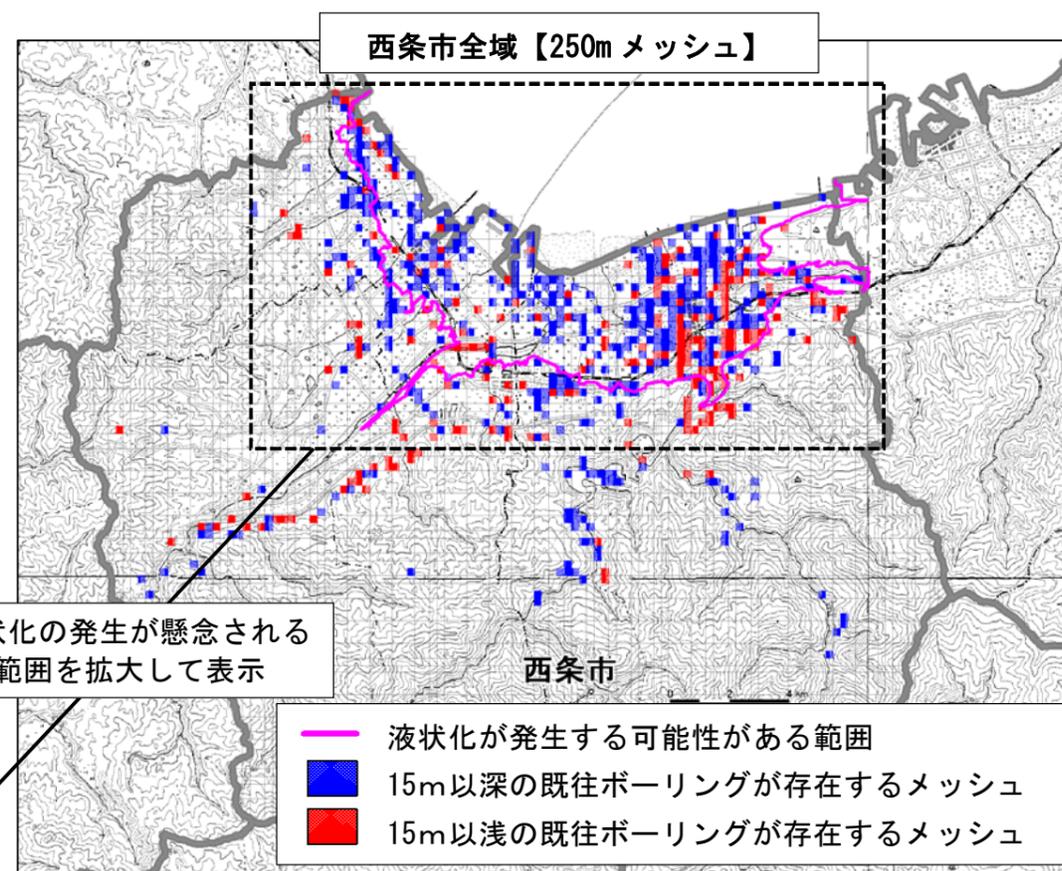
(4) 既往ボーリングデータの分布

既往ボーリングデータの存在するメッシュを下図に示す。

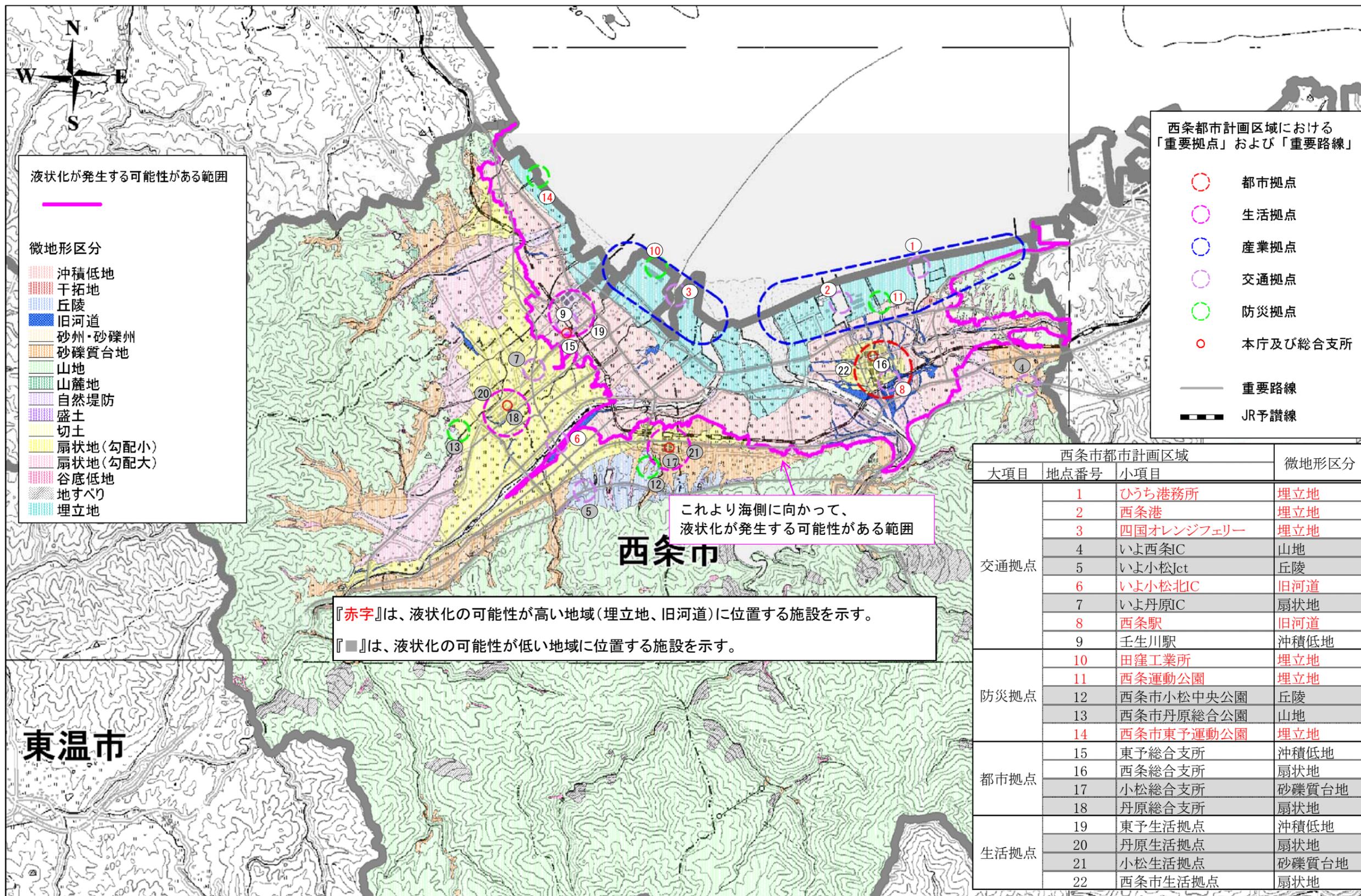
250mメッシュと500mメッシュのボーリングの補完率を下表に示す。

| | | メッシュ単位 | | | |
|-----|-------------------------|--------|-----|------|-----|
| | | 250m | | 500m | |
| | | 数 | % | 数 | % |
| I | 液状化の発生が懸念される地域のメッシュ数 | 1,119 | 100 | 280 | 100 |
| II | 既往ボーリングが存在するメッシュ数 | 478 | 43 | 216 | 77 |
| III | 15m以深の既往ボーリングが存在するメッシュ数 | 350 | 31 | 191 | 68 |

- ・250mメッシュでは、57%のメッシュで既往ボーリングが不足する。
- ・500mメッシュでは、23%のメッシュで既往ボーリングが不足する。
- ・「①」、「②」、「③」で示す地域は埋立地に位置する産業地帯で、広範囲にボーリングデータが不足するため、優先して地盤データの補完を実施する。
- ・「④」、「⑤」、「⑥」で示す地域も、広範囲にボーリングデータが不足するが、田畑等が多い地域であるため、データの補完の優先度は落ちる。

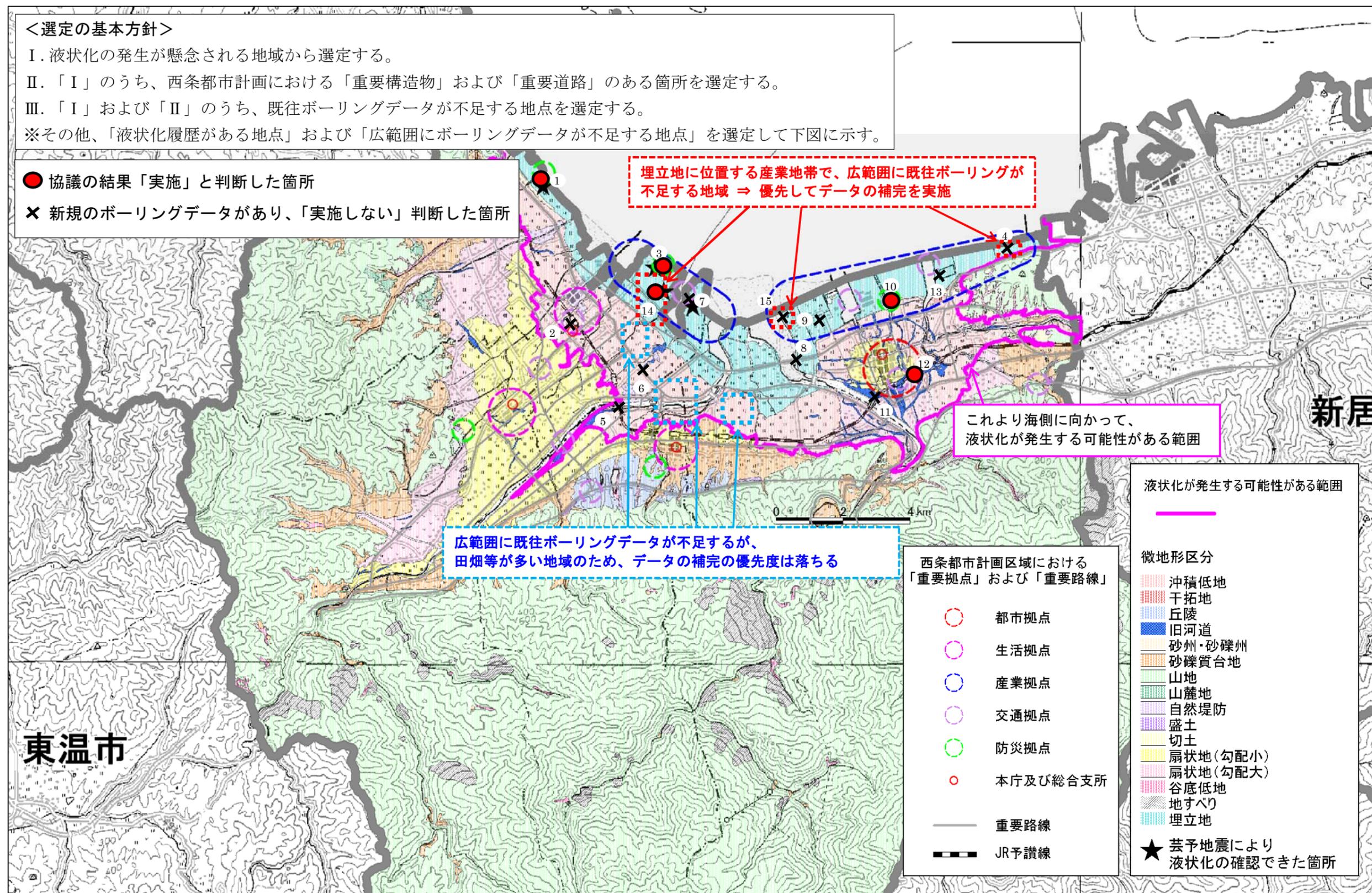


(5)重要構造物の位置



出典：西条都市計画区域マスタープラン 平成21年3月 西条市

(6)選定方針および選定箇所



PDC 選定箇所一覧表

| 地点番号 | 地点名 | 微地形区分 | 既往調査数 (H17年収集データ) | | 調査地点所在地 | | 選定項目 | | | | 協議 結果※4 |
|------|------------|-------|----------------------|------------|----------------|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---|------------|
| | | | 既往Bor 本数(本) | 掘進長 (m) | 所在地 | 調査地点 | 既往 調査 ※1 | 拠点 の有無 ※2 | 液状化 履歴 ※3 | コメント | |
| 1 | 防災拠点 | 埋立地 | 8 | 40.3 | 西条市 河原津新田 | 東予運動公園内 | - | 防災 拠点 | 有り | ・西条都市計画区域における防災拠点 ・液状化履歴有り | ○ |
| 2 | 交通拠点 | 沖積低地 | 2 | 15.2 | 西条市三津屋 | 壬生川駅 | - | 交通 拠点 | - | ・西条都市計画区域における交通拠点 ・新規の調査結果有り | × |
| 3 | 防災拠点 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市北條 | 田窪工業所敷地内 敷地管理(日新製鋼敷地内) | 不足 | 防災 拠点 | 有り | ・西条都市計画区域における防災拠点 ・液状化履歴有り ・既往調査結果無し | ○ |
| 4 | 産業拠点 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市舟屋乙 | 住友金属鋁山 東予工場 | - | 産業 拠点 | - | ・西条都市計画区域における産業拠点 ・新規の調査結果有り | × |
| 5 | JR予讃線 | 旧河道 | 2 | 9.9 | 西条市 小松町新浦屋敷 | JR予讃線 中山川右岸堤防 | - | JR 予讃線 | - | ・JR予讃線(伊予小松-玉之江) ・新規の調査結果有り | × |
| 6 | 重要路線 | 旧河道 | 1 | 10.2 | 西条市石田 | 国道196号線 | - | 重要 路線 | - | ・西条都市計画区域における重要路線 ・新規の調査結果有り | × |
| 7 | 交通拠点 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市今在家 | 東予港 大型貨物乗入場 | - | 交通 拠点 | 有り | ・西条都市計画区域における交通拠点 ・液状化履歴有り ・新規の調査結果有り | × |
| 8 | 重要路線 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市古川甲 | 県道13号線 新加茂川橋 | - | 重要 路線 | - | ・西条都市計画区域における重要路線 ・新規の調査結果有り | × |
| 9 | 交通拠点への接続道路 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市港 | 四国電力西条発電所内 接続道路 | - | 交通 拠点 | - | ・西条都市計画区域における交通拠点に続く接続道路 ・新規の調査結果有り | × |
| 10 | 防災拠点への接続道路 | 埋立地 | 1 | 15.1 | 西条市ひうち | 西条市運動公園 ひうち道路 | 不足 | 防災 拠点 | - | ・西条都市計画区域における防災拠点に続く接続道路 ・既往調査結果不足 | ○ |
| 11 | JR予讃線 | 旧河道 | 4 | 10.3 | 西条市喜多川 | JR予讃線 加茂川 水都橋下駐車場 | - | JR 予讃線 | - | ・JR予讃線(伊予西条-石鎚山) | × |
| 12 | 交通拠点 | 旧河道 | 2 | 10.0 | 西条市大町 | 西条駅 小川踏切付近 | 不足 | 交通 拠点 | - | ・西条都市計画区域における交通拠点 ・既往調査結果不足 | ○ |
| 13 | 交通拠点 | 埋立地 | 1 | 20.3 | 西条市ひうち | ひうち港務所 | - | 交通 拠点 | - | ・西条都市計画区域における交通拠点 ・新規の調査結果有り | × |
| 14 | 交通拠点 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市北條 | 住友共同電力壬生川発電所 | 不足 | 交通 拠点 | 有り | ・西条都市計画区域における交通拠点 ・液状化履歴有り ・既往調査結果無し | ○ |
| 15 | 交通拠点 | 埋立地 | 0 | 0.0 | 西条市港 | 浄化センター | - | 産業 拠点 | - | ・西条都市計画区域における産業拠点 ・新規の調査結果有り | × |

PDC実施箇所/PDC実施提案箇所：5/15箇所

※1：既往ボーリング調査について、調査不足であれば「不足」、既往調査より地層構成の把握が可能であれば「-」を示す。

※2：西条都市計画区域における「重要拠点」、「重要路線」、「JR予讃線」を示す。

※3：芸予地震時(2001.3.24)に液状化が確認された履歴があれば「有り」、無ければ「-」を示す。

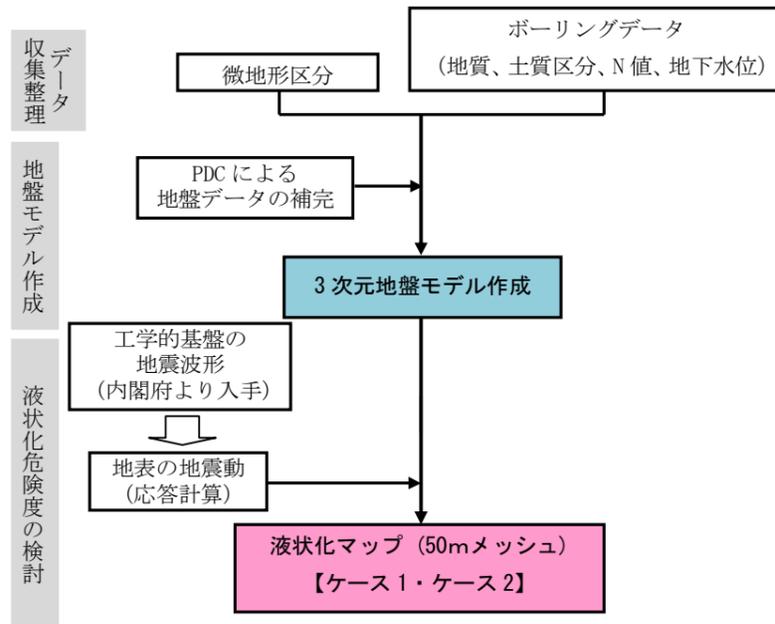
※4：協議の結果、実施する地点は「○」、実施しない地点は「×」を示す。

※：■は、協議の結果「実施しない」と判断した地点を示す。

第2 平成25年9月27日 第3回西条市防災対策研究協議会資料

1. 検討概要

(1) 液状化発生予測の検討作業フロー



(2) 想定地震

本検討で用いる想定地震を以下に示す。

- ケース 1: 中央防災会議(2003)・・・東海・東南海・南海地震の強震断層モデル(Mw8.7)
- ケース 2: 内閣府(2012)・・・南海トラフの巨大地震の強震断層モデル(Mw9.0)

| 震度 | ケース 2 内閣府(2012) | | | | | ケース 1 中央防災会議(2003) |
|-------|--|----|----|--------|--------|--------------------|
| | 基本 | 陸側 | 東側 | 西側 | 経験的手法 | 東海・南海・東南海地震 |
| 震度 5弱 | | | | | | |
| 震度 5強 | × | | × | × | | × |
| 震度 6弱 | ◎ | × | ◎ | ◎ ☆ | × | ◎ |
| 震度 6強 | ☆ | ◎ | ☆ | | ◎ ☆ | ☆ |
| 震度 7 | | ☆ | | | | |
| 備考 | ◎: 西条市内の平均的な震度 ☆: 西条市内の最大震度 ×: 最小震度 (各ケースの震度は公表されている図から読み取り、詳細な加速度データは別途各機関から入手予定) | | | | | |

《実施方針》

- 震源を特定した地震による液状化の発生予測を検討した。
- 内閣府(2012)の南海トラフの巨大地震については、西条市で最も震度が大きくなる「陸側ケース」とした。

(3) 地盤モデルと想定メッシュ単位

① 地盤モデル

⇒ 3次元地盤モデルにより、精度の高い地盤モデルを作成

ボーリングデータに含まれる地質、地盤情報を読み取り、地層の連続性を考慮して作成した。

② 想定メッシュ単位

⇒ 50mメッシュ

50mメッシュで検討した結果のイメージを下図に示す。

《想定メッシュ単位の比較》

想定メッシュ単位は、250mメッシュ、125mメッシュ、50mメッシュで比較した。

| メッシュ単位 | イメージ図 | 各項目の評価 | | | 総評 |
|----------|-------|--------------------------|------------------------------|----|-----|
| | | 検討項目 | 検討結果 | 評価 | |
| 250mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 国機関と同等 | × | 不採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | 粗い評価となる | × | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 確保できる | ○ | |
| 125mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 詳細に評価できる(国機関の1/4) | △ | 不採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | やや粗い評価となる | △ | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 地質構造の推定を加味した三次元地盤モデルにより精度を確保 | ○ | |
| 50mメッシュ | | ①国機関等と比べて、詳細な液状化の評価はできるか | 詳細に評価できる(国機関の1/25) | ○ | 採用 |
| | | ②地盤が変化している地域を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ③地表が変化している地域を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ④構造物や主要施設直下の地質を詳細に評価できるか | 詳細に評価できる | ○ | |
| | | ⑤メッシュごとの地盤データの精度は確保されるか | 地質構造の推定を加味した三次元地盤モデルにより精度を確保 | ○ | |

※ 上述した想定メッシュ単位のうち、最良のものから○、△、×の順で表記した。

※ □は、本検討で用いる想定メッシュ単位を示す。

上記の条件にすることで、内閣府の地震動、被害想定を検討ケースに応じた、西条市に大きな影響を及ぼす巨大地震による液状化の発生予測結果が得られる。また、三次元地盤モデルを作成し、50mメッシュ毎の応答計算を実施することで、地盤、地表の変化に対応した詳細な液状化の評価が可能となる。

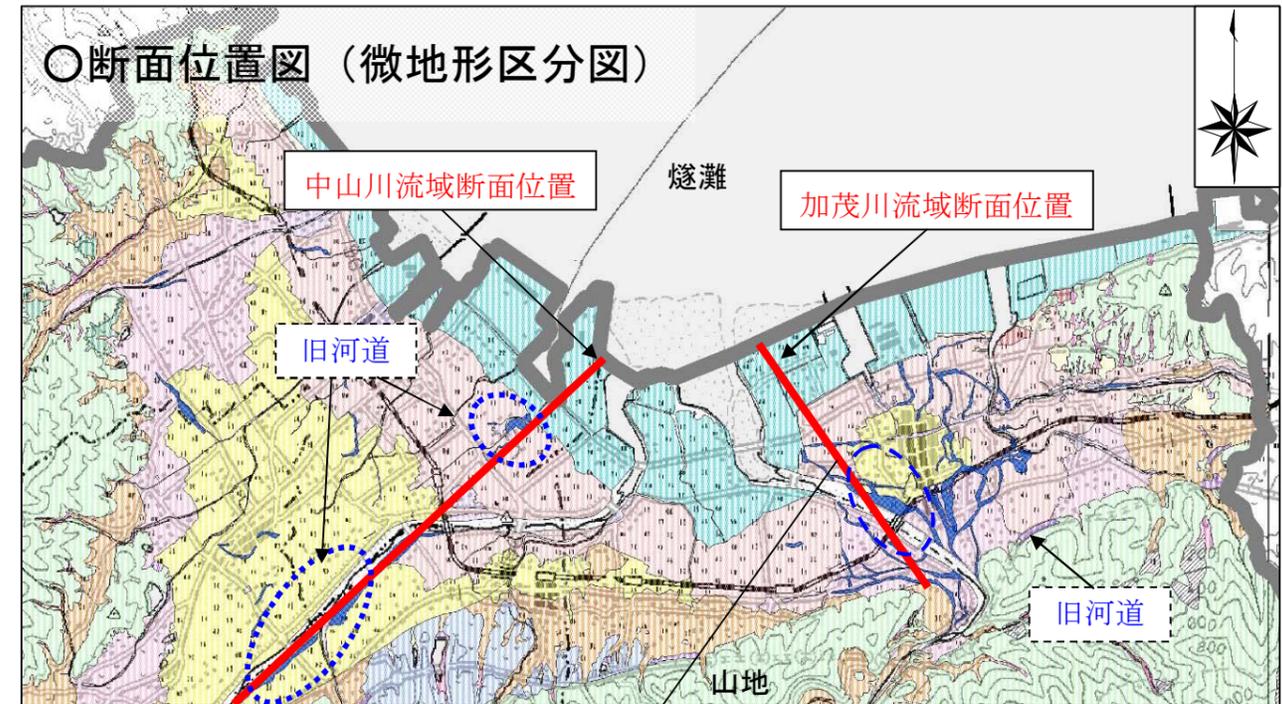
2. 三次元地盤モデル

下記の資料をもとに「三次元地盤モデル」を作成した。

- ①西条市で調査された既往ボーリング(合計 2,043 本を収集・整理して使用)
- ②国土地理院数値地図 5m メッシュ標高
- ③西条市域の微地形区分図
- ④Pezo Drive Corn による現地調査結果
- ⑤西条市の地形・地質等の文献

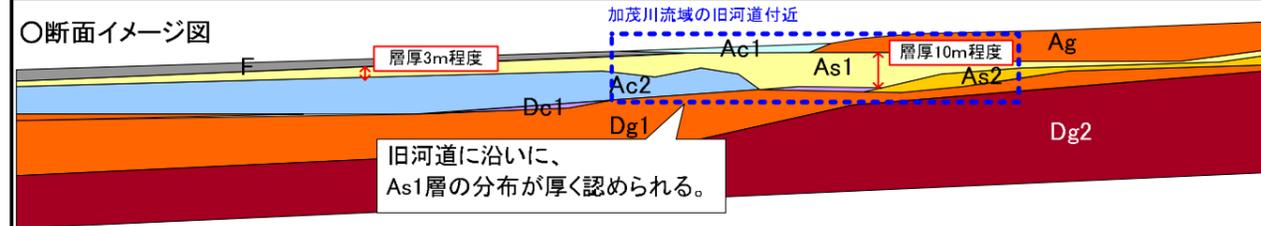
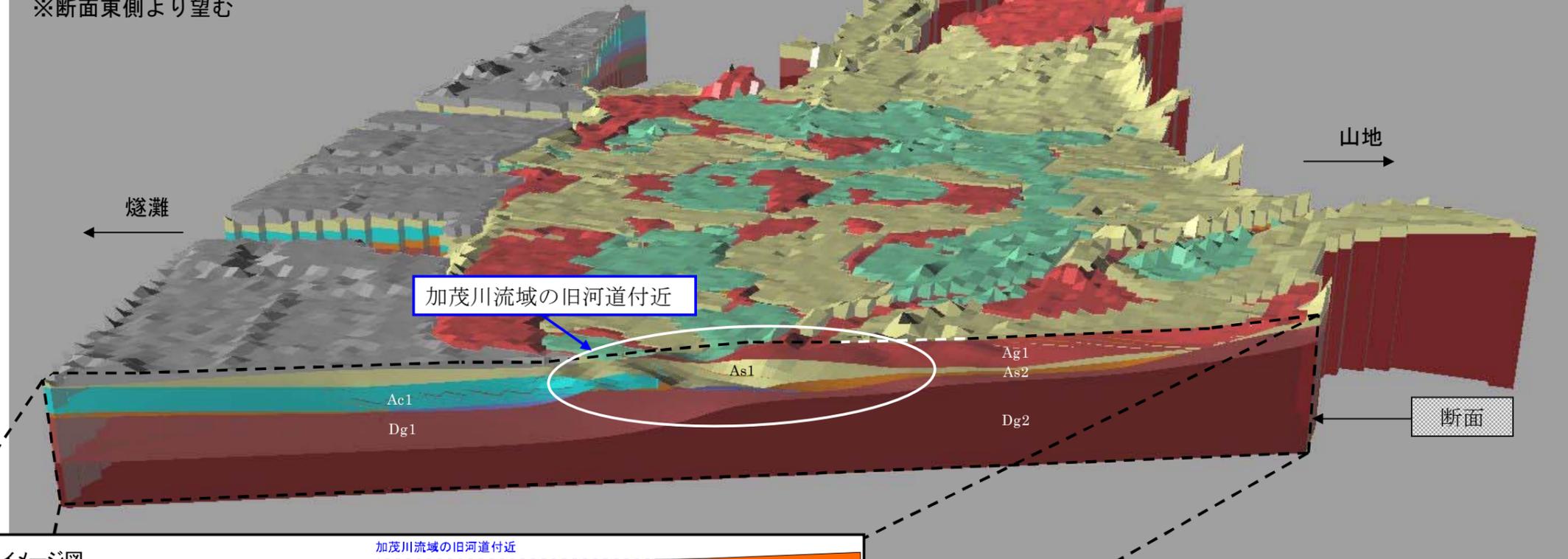
地質層序表

| 地質時代 | 地層名 | 記号 | 構成 | 平均 N値 | |
|------------|-----|--------|-------------|-------------------|------|
| 現 生 | 埋土層 | F | 粘土質粗砂～粘土質砂礫 | 4.2 | |
| 新生代 第四紀 | 沖積層 | 第一粘性土層 | Ac1 | 砂質シルト～砂混りシルト | 7.1 |
| | | 第一砂質土層 | As1 | 粘土混りシルト質細砂～シルト質細砂 | 8.0 |
| | | 礫質土層 | Ag | 粘土混り砂礫～砂礫 | 20.0 |
| | | 第二粘性土層 | Ac2 | 粘土混りシルト～砂混りシルト | 5.5 |
| | | 第二砂質土層 | As2 | シルト混り中砂～礫混り粗砂 | 12.0 |
| | 洪積層 | 第一粘性土層 | Dc1 | 砂質シルト～礫混り粘土 | 15.0 |
| | | 第一礫質土層 | Dg1 | 粘土混り砂礫～砂礫 | 34.1 |
| | | 第二粘性土層 | Dc2 | 砂質シルト～粘土 | 16.3 |
| | | 第二礫質土層 | Dg2 | シルト混り砂礫～砂礫 | 38.0 |



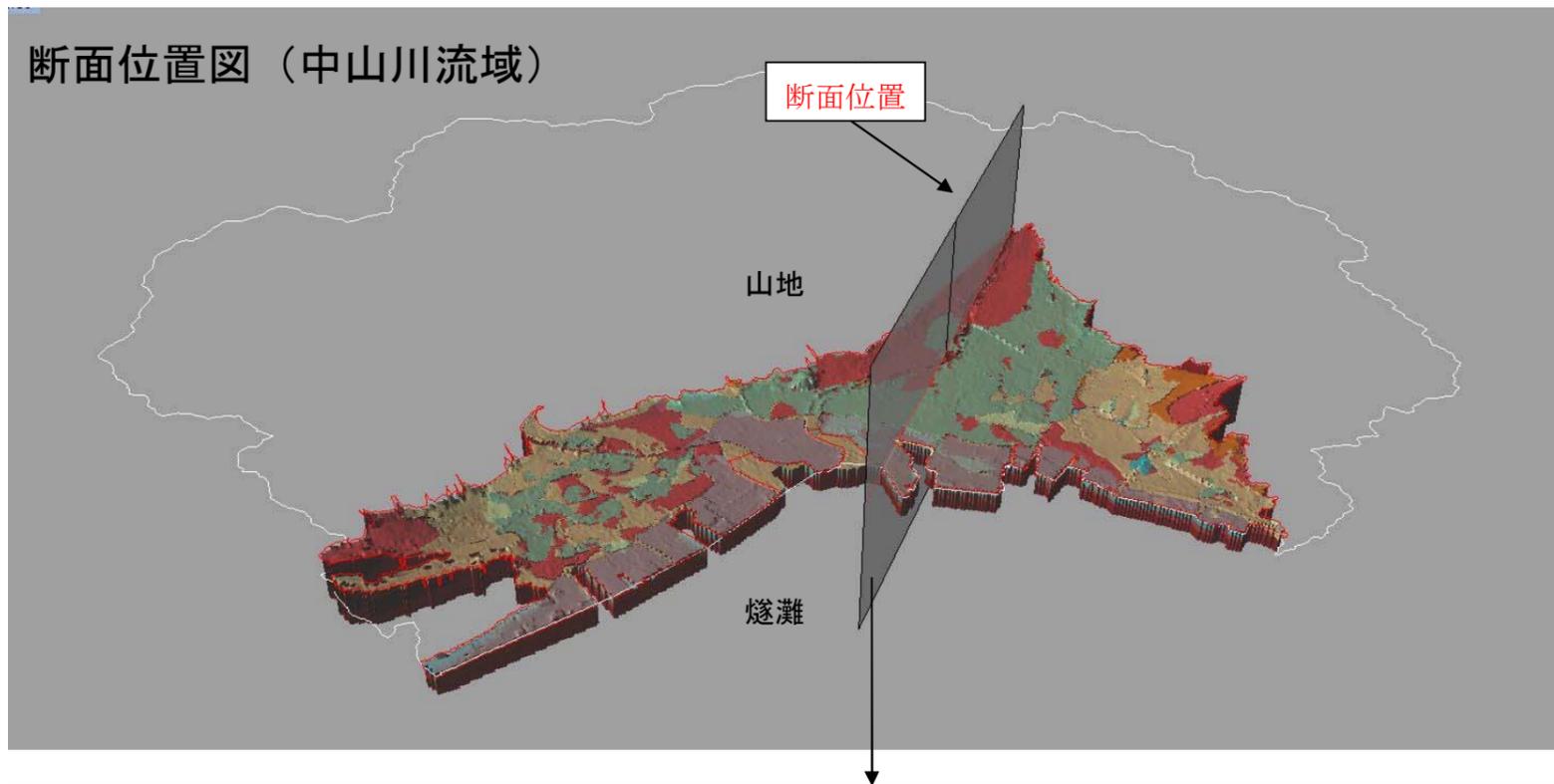
○三次元地盤モデルにおける加茂川流域の断面図

※断面東側より望む



- ・旧河道沿いにおける地層構成は、沖積最上位層の As1 層、Ac1 層の分布が認められる。
- ・加茂川流域の旧河道付近では、As1 層の層厚が 10m 程度まで厚くなっている。
- ・埋立地付近では、As1 層の層厚が 3m 程度まで薄くなっている。

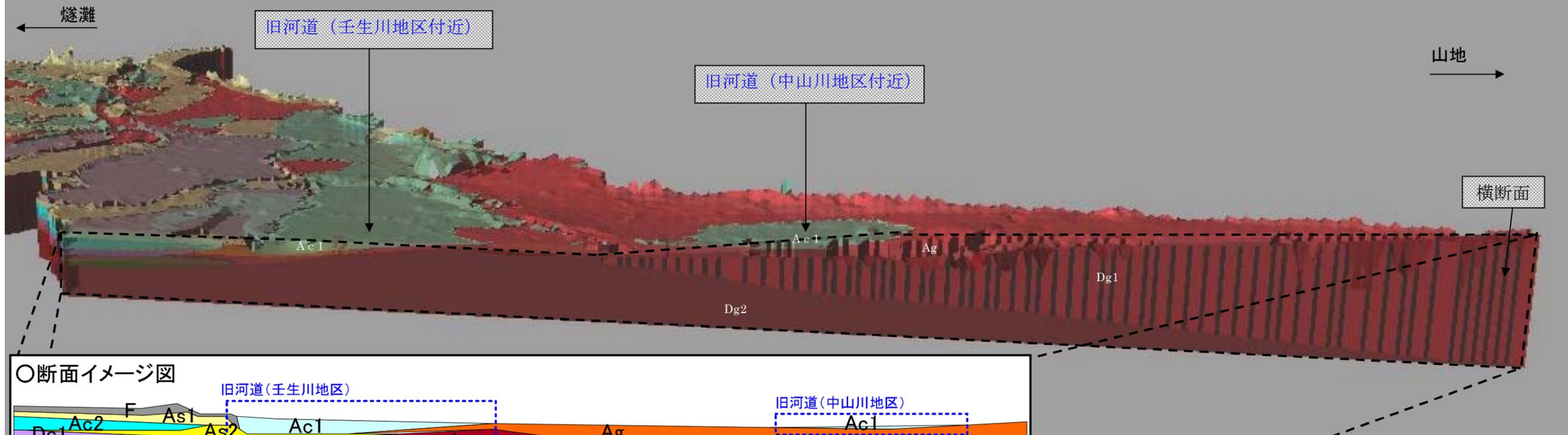
断面位置図（中山川流域）



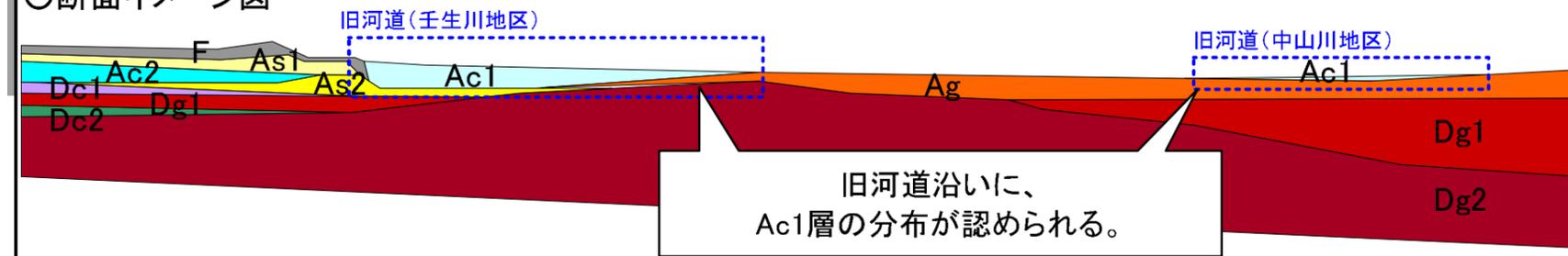
・壬生川地区や中山川沿いの旧河道沿いに Ac1 層の分布が認められる。

○三次元地盤モデルにおける中山川流域の断面図

※断面東側より望む。



○断面イメージ図

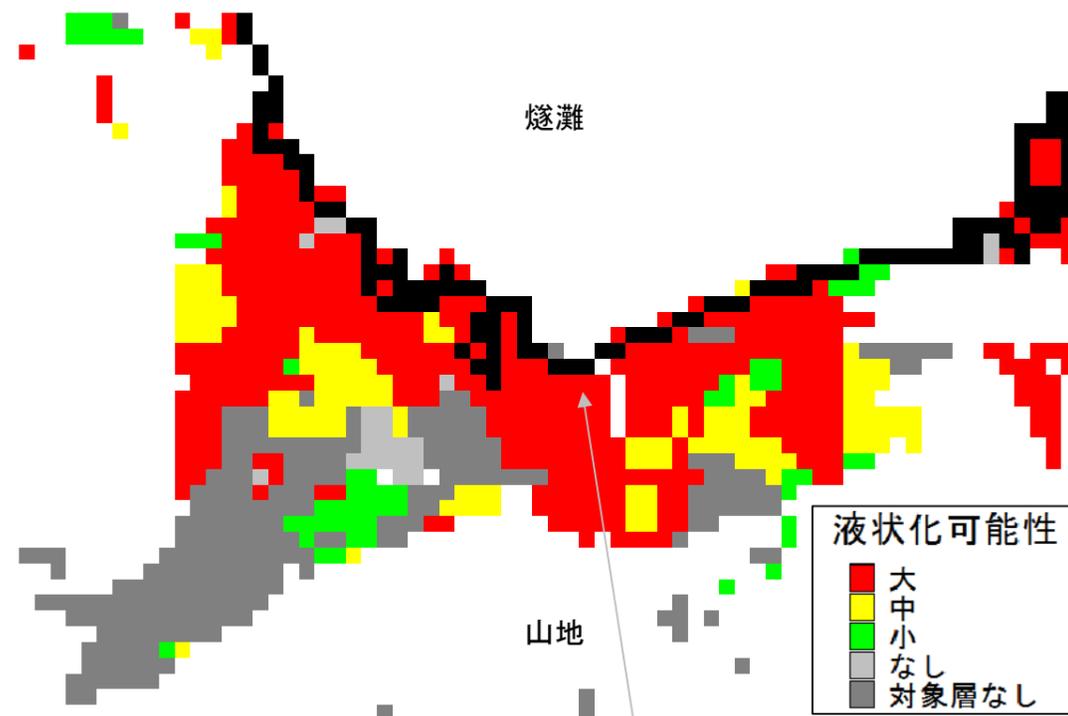


取り扱い注意

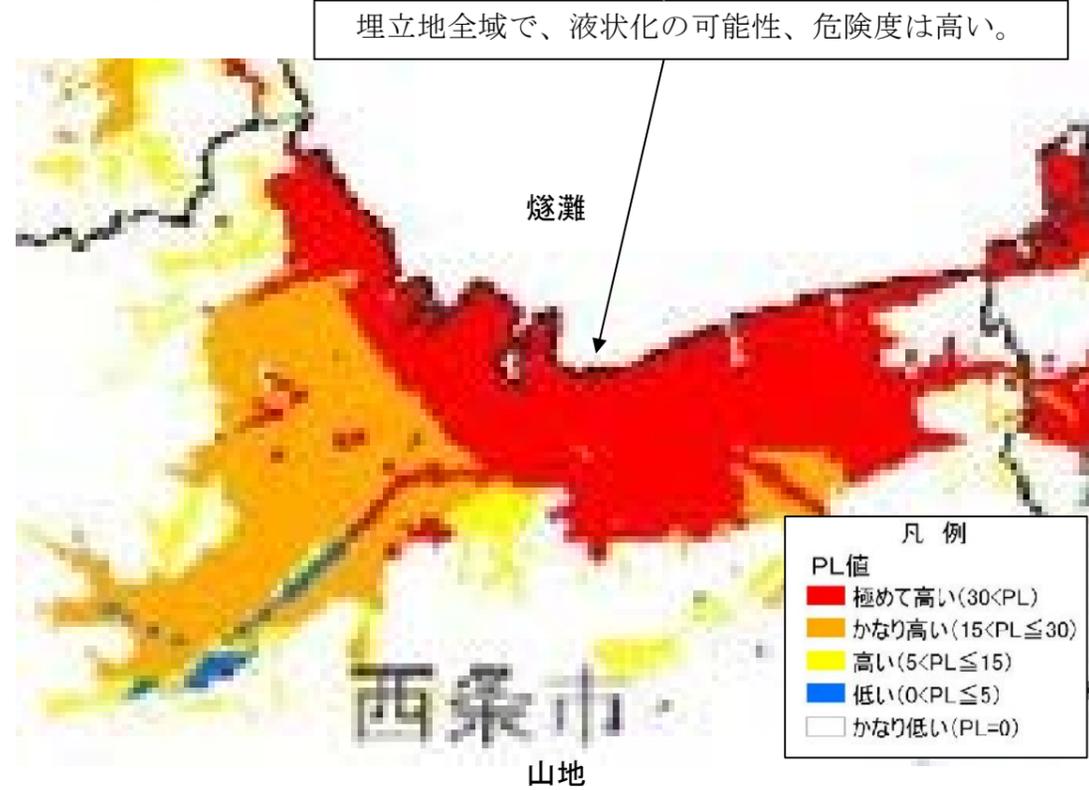
3. 検討結果

「西条市(本検討)」、「内閣府」、「愛媛県」の液状化検討結果を以下に示す。

(1)内閣府検討結果

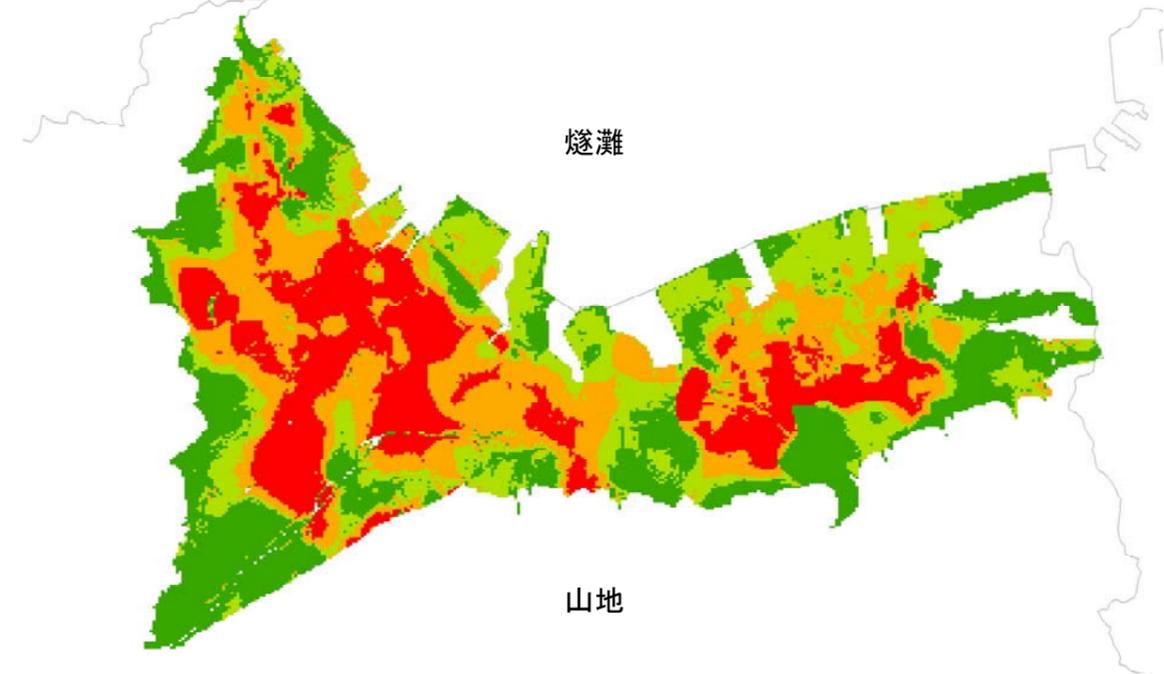


(2)愛媛県検討結果



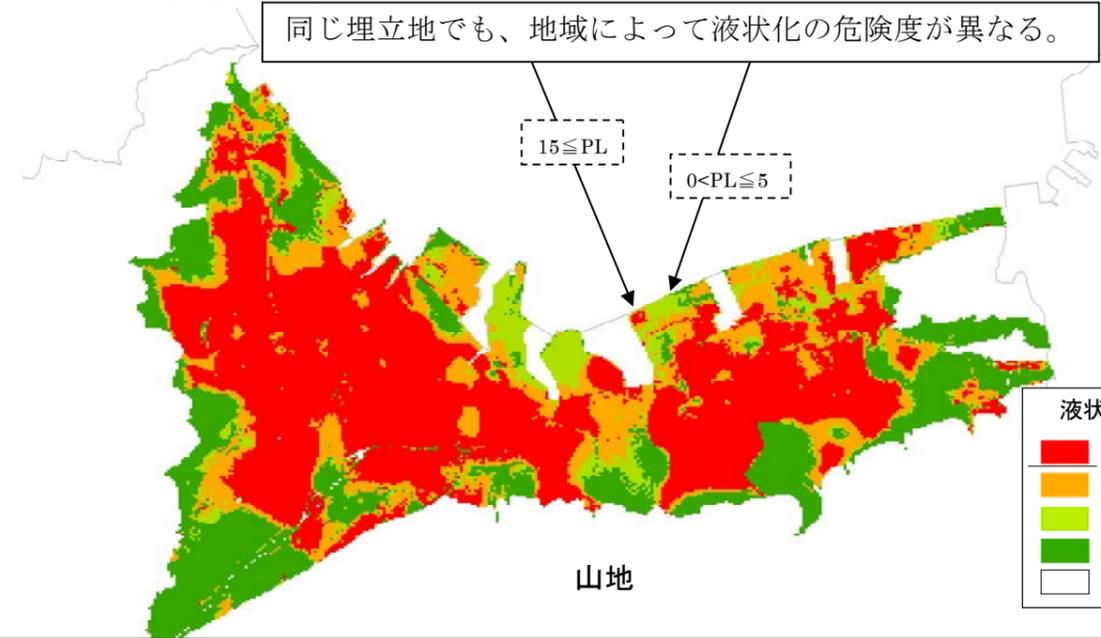
(3)西条市検討結果(等価線形解析)

ケース 1:中央防災会議(2003)



(4)西条市検討結果(等価線形解析)

ケース 2 内閣府(2012)



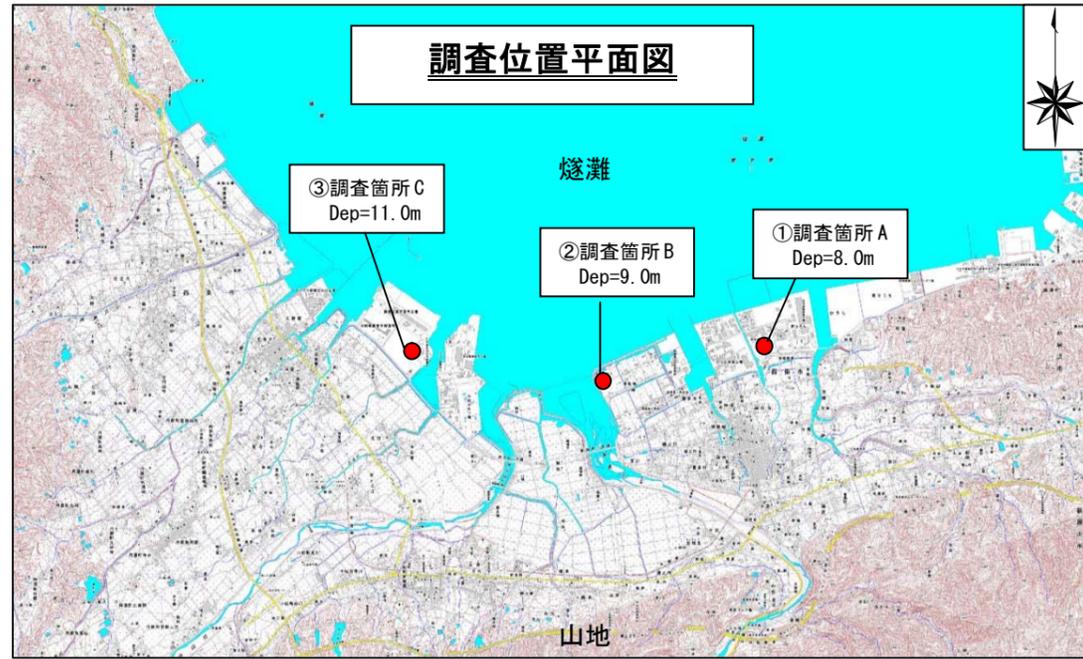
※次回の西条市防災対策研究協議会において了承を得るまで本検討結果は未公表とする。

・等価線形解析と非線形解析に大きな違いは認められなかった。
 ・他機関と比べて、同じ埋立地でも、地域によって液状化危険度の低い地域が存在することが確認された。

4. 西条市の埋立地地質調査結果について

埋立地において、液状化危険度が地域によって異なったことを受け、解析結果の妥当性を確認する目的で、ボーリング調査を実施した。

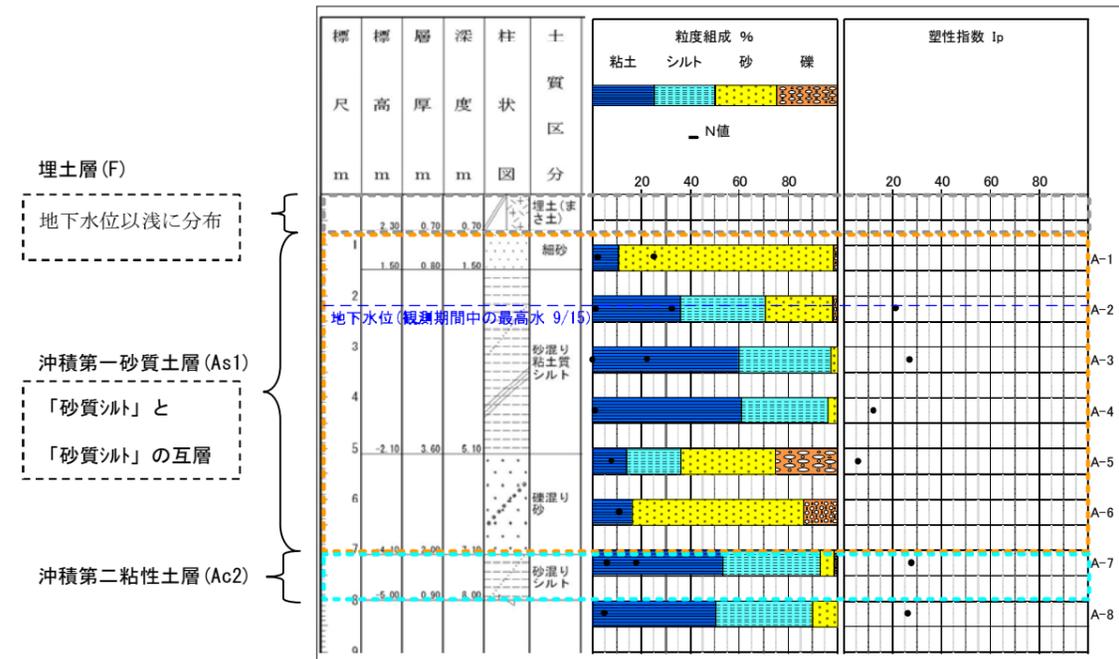
(1)調査位置



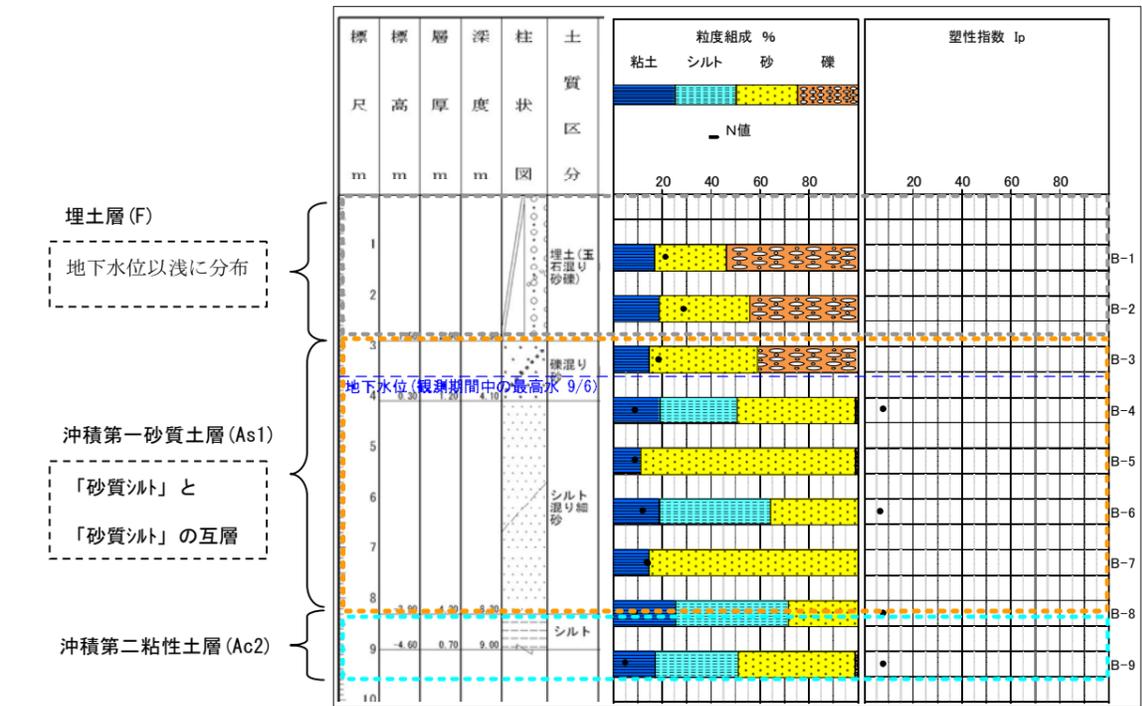
調査地点位置図

(3)調査結果

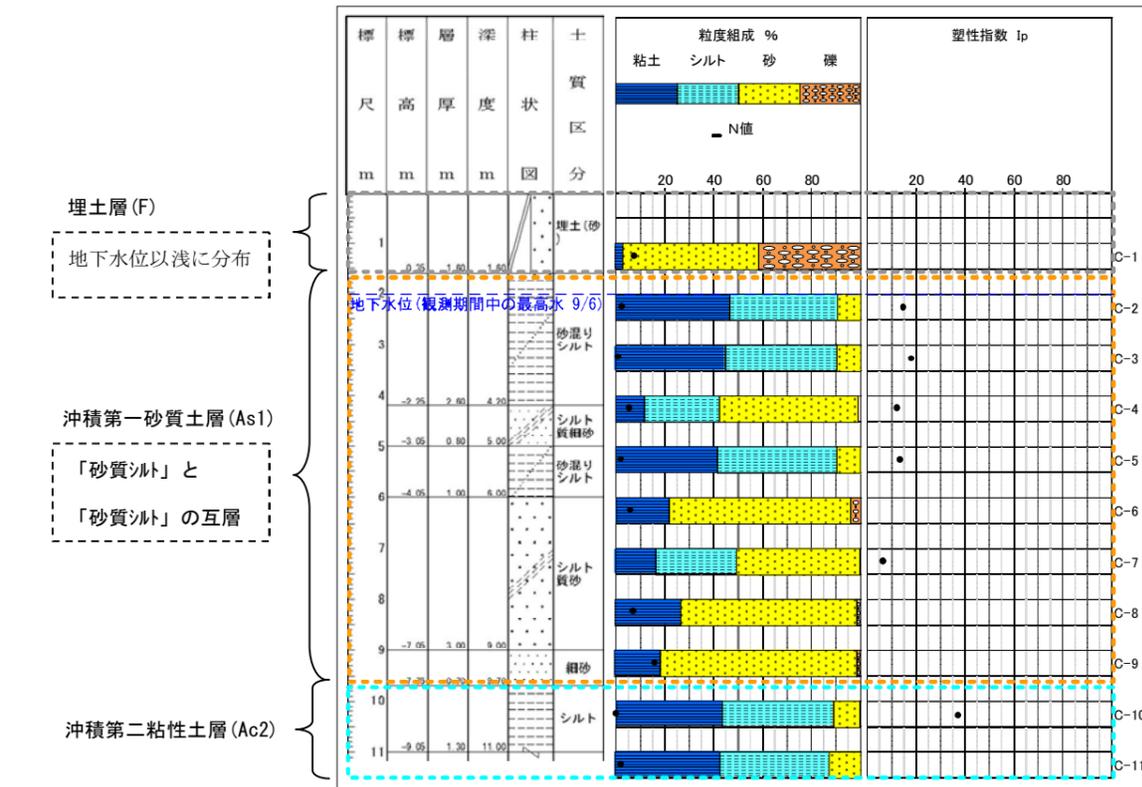
①調査箇所 A (Dep=8.0m)



②調査箇所 B (Dep=9.0m)



③調査箇所 C (Dep=11.0m)



本調査により、西条市における埋立地は、非液状化層となる粘性土が多く挟在している。よって、同じ埋立地であっても、地域により液状化危険度の評価に違いが生じたのは、局所的な地盤状況を反映したためであると考えられる。

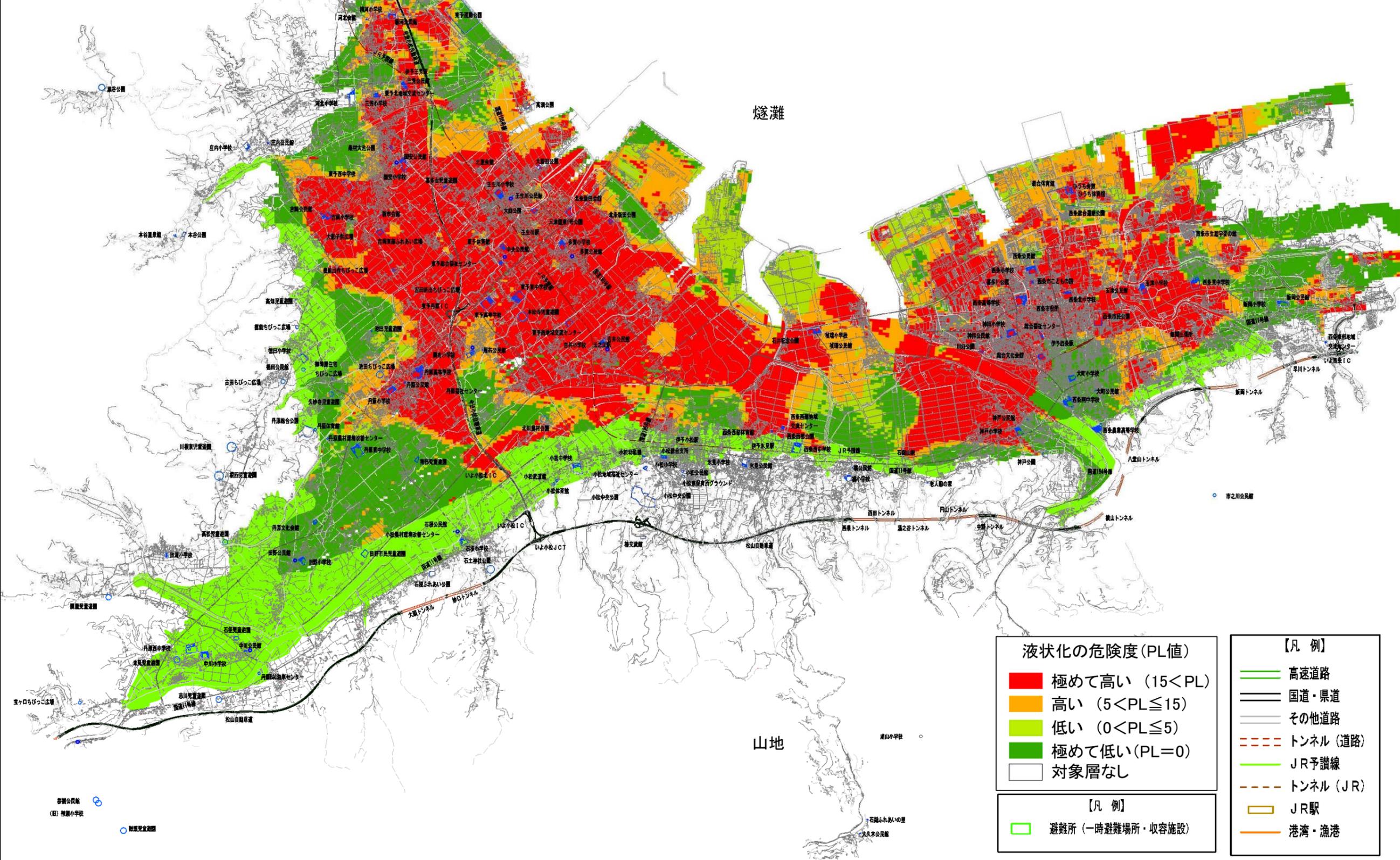
取り扱い注意

5. 西条市液状化マップ

西条市液状化マップ(案)

想定地震：内閣府(2012)南海トラフ巨大地震

※次回の西条市防災対策研究協議会
において、了承を得るまで未公表



液状化の危険度(PL値)

- 極めて高い (15 < PL)
- 高い (5 < PL ≤ 15)
- 低い (0 < PL ≤ 5)
- 極めて低い(PL=0)
- 対象層なし

【凡例】

- 避難所(一時避難場所・収容施設)

【凡例】

- 高速道路
- 国道・県道
- その他道路
- トンネル(道路)
- J R予讃線
- トンネル(J R)
- J R駅
- 港湾・漁港

第3 平成26年3月16日 第4回西条市防災対策研究協議会資料

西条市防災対策研究協議会 第4回会議

液状化発生予測の検討結果【最終報告】

平成26年3月16日（日）



建設部建設道路課

目次

① 第3回会議における指摘事項について

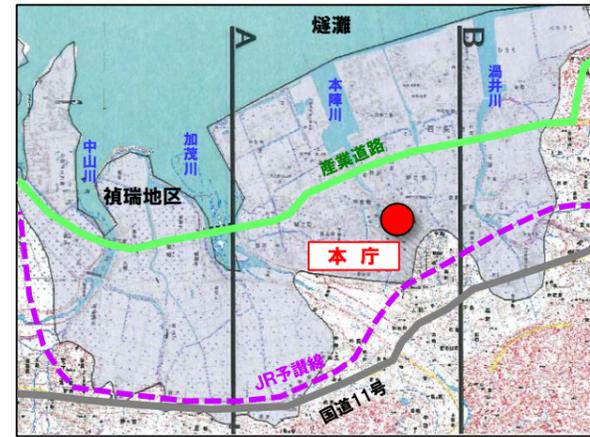
- ・地下水解析断面と3次元地盤モデル断面の比較 1ページ
- ・追加地質調査結果の報告および現地調査結果と3次元地盤モデルの比較
. 2ページ
- ・文献等に基づく埋立地の歴史 2ページ
- ・潮位と埋土層の関係 3～4ページ

② 今後のスケジュールについて

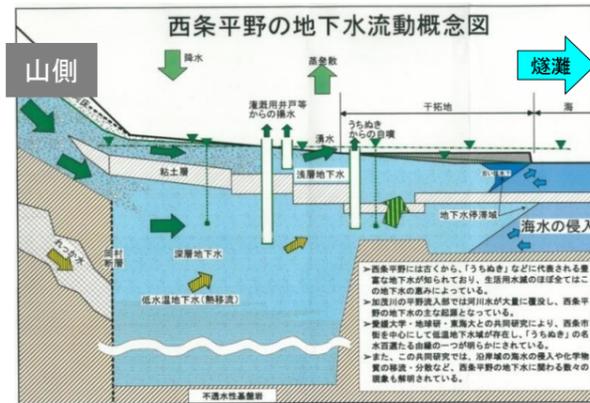
- ・各機関の結果と西条市の液状化評価結果について 5ページ
- ・今後の予定 5ページ

①第3回会議における指摘事項について
・地下水解析断面と3次元地盤モデル断面図の比較

西条市では、これまでも地下水の解析検討業務を複数年業務として実施し、地下の断面図を作成している(以下、既往断面という)。本検討で作成した3次元地盤モデルは、これらの過年度業務資料に加え、西条市域内で新たに実施されているボーリングデータを官民間わず収集、整理し、構築している。こうして作成された断面図について比較を行い、地下構造に差異があるかどうか確認を行った。なお、比較はA断面【禎瑞地区】とB断面【加茂川扇状地域(加茂川旧河道)】の2断面で行い、縦横の縮尺比は同じとしている。



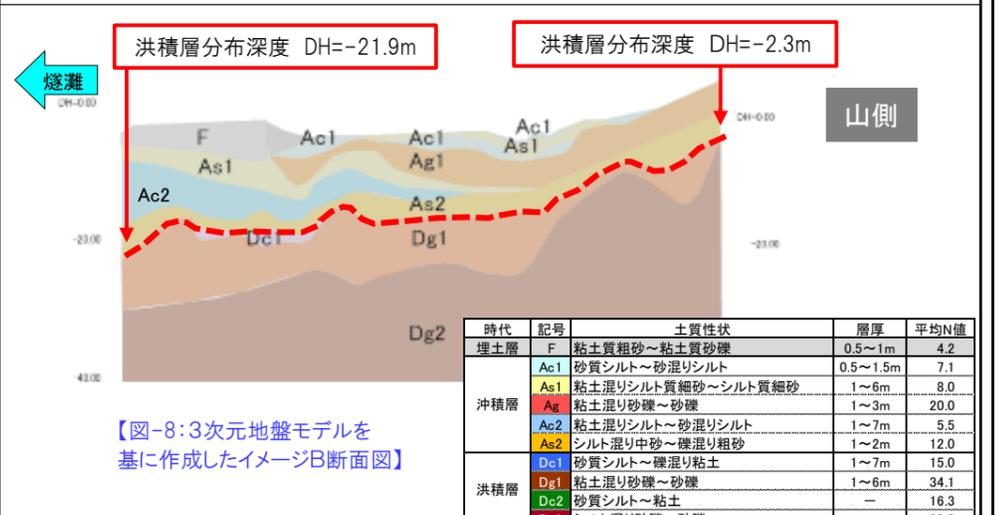
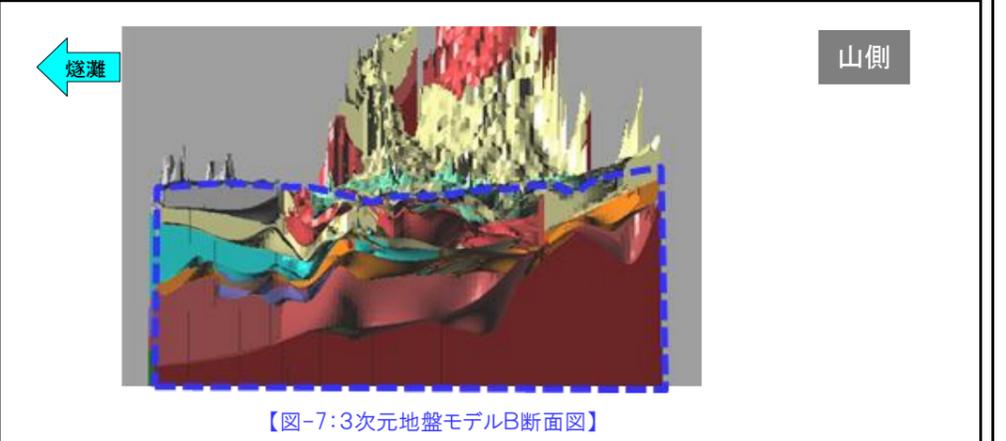
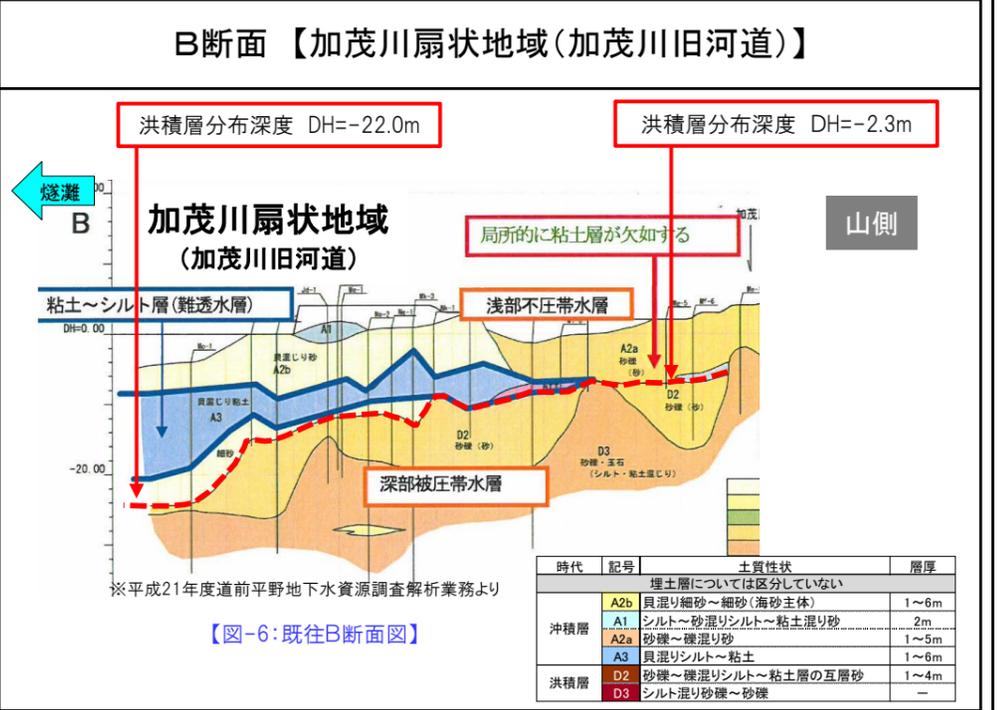
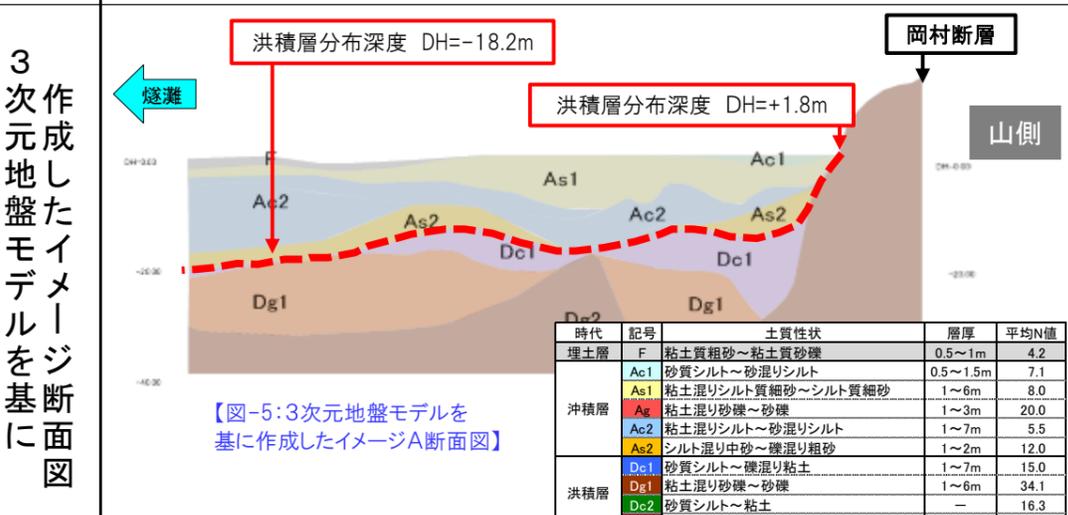
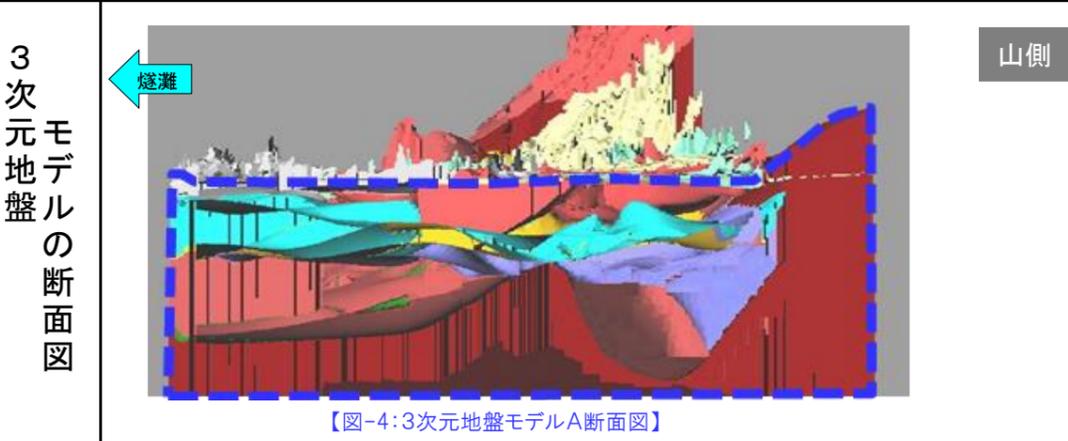
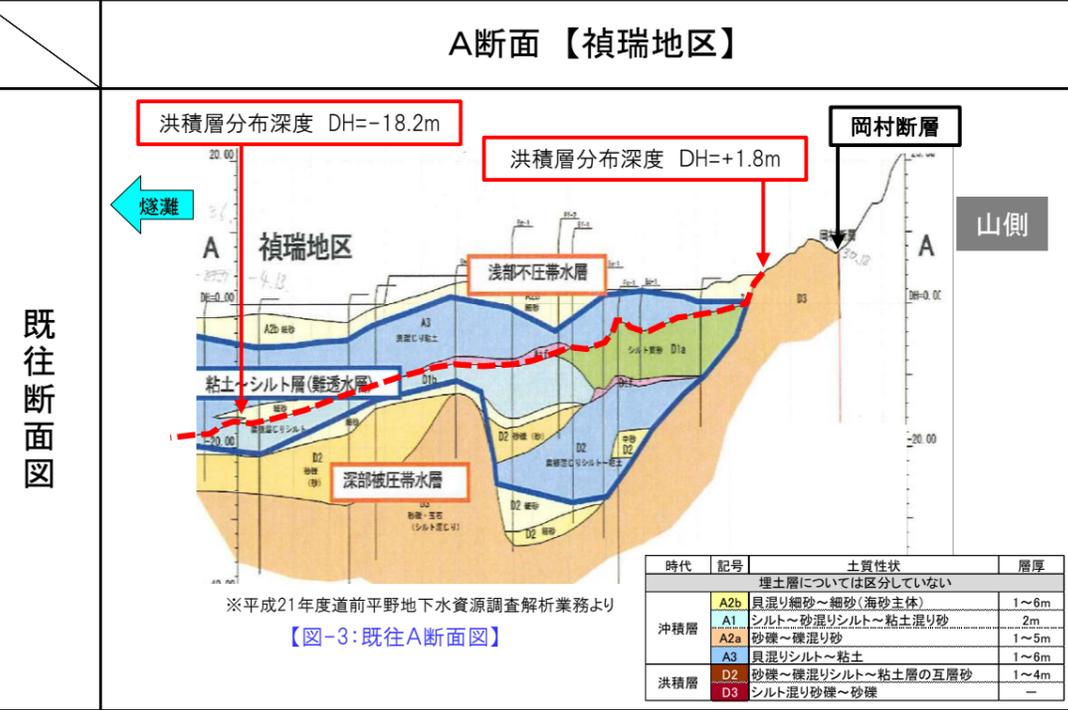
※平成21年度道前平野地下水資源調査解析業務より
【図-1:断面位置図】



※平成21年度道前平野地下水資源調査解析業務より
【図-2:西条平野の地下水流動概念図】

【比較結果】

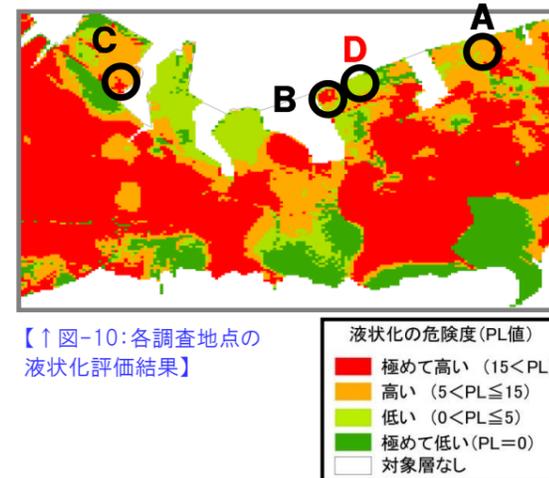
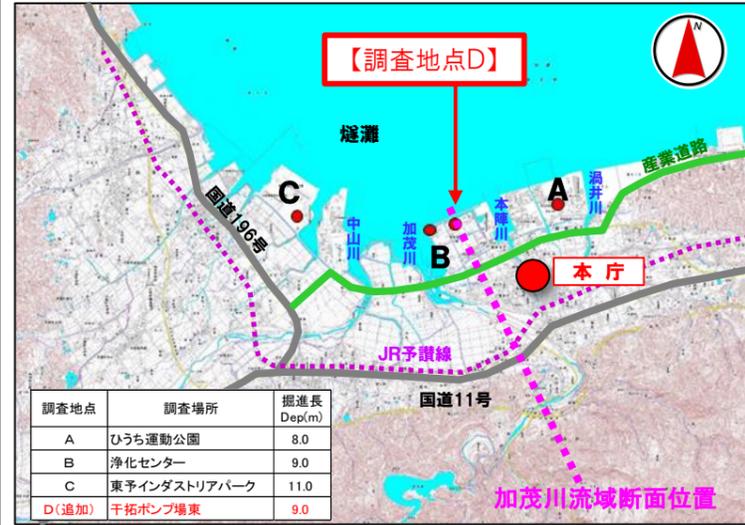
- ・図-3の既往A断面図には、中央部に粘土～シルト層からなる難透水層が厚く分布しており、図-5の3次元地盤モデルイメージ図においても、シルトおよび粘土層の分布が確認された。
- ・また、加茂川扇状地域(加茂川旧河道)のB断面図においても、同様の状況が確認できる。
- ・図-3の既往A断面図と図-5の3次元地盤モデルイメージ図における洪積層の分布深度は、燧灘側および山側ともに同じである。
- ・加茂川扇状地域(加茂川旧河道)のB断面図においては、10cm程度の差が確認できる。
- ・比較結果としては、既往断面図と3次元地盤モデルの断面図は、大きく違いない同じ傾向が見て取れる断面である。



①第3回会議における指摘事項について

・追加地質調査結果の報告および現地調査結果と3次元地盤モデルの比較、 ・文献等に基づく埋立地の歴史

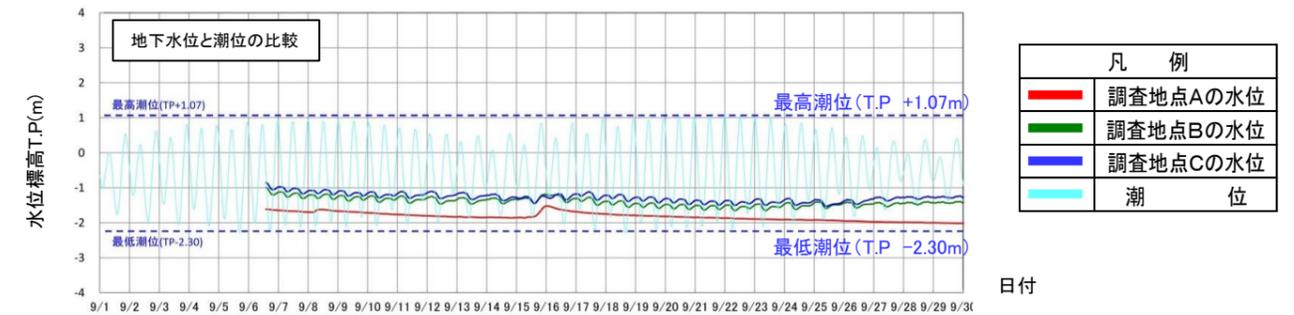
加茂川流域での断面位置における3次元地盤モデルと、現地で調査したB地点での土質試験結果を比較したところ、液状化評価の結果に若干の齟齬が確認されたため、新たに地点Dで追加ボーリングを実施した。



【↑図-10:各調査地点の液状化評価結果】

【←図-9:各調査地点位置図】

次に、調査地点で観測した地下水位と東予港の潮位データを以下の図-11に整理を行った。その結果、調査地点B(浄化センター)とC(東予インダストリアパーク)は、潮位変化にわずかに影響を受けるものの、調査地点A(ひうち運動公園)は潮位の影響は認められなかった。



【図-11:地下水位と潮位の比較および降雨量の関係】

【地下水の設定】

- ・今回の液状化解析に用いた地下水位の設定は、過年度業務の成果から豊水期のものを採用している。
- ・解析水位の値は、3地点の観測水位よりも高い数値を採用していることから、液状化危険度評価は安全側での検討結果となっている。

【追加地質調査結果】

加茂川流域断面位置と調査地点Bは、直線距離で約600m程度の差が生じていたため、3次元地盤モデルでは「液状化の可能性は低い」と評価されていたが、現地の土質試験結果は「極めて液状化しやすい」という、相反する結果となっていた。そのため、調査地点Dにおいて再調査を実施したところ、埋土層のF層は細粒分含有率Fcが76%と水を通しにくい土層であり塑性指数Ipも21%、加えてAs1層の層厚が薄く、D地点の土層は液状化しにくいことが確認され、3次元地盤モデルを用いて評価した結果と同傾向の結果を得た。以下の表-1に、各調査地点の試験結果と3次元地盤モデルの液状化危険度評価結果を示す。

| 調査地点 | 掘進長 Dep(m) | 記号 | 現地の調査結果 | | | | 3次元地盤モデルの検討結果 | |
|------|------------|-----|---------|----|---------------|-------------|---------------|-----------------|
| | | | 層厚(m) | N値 | 細粒分含有率 Fc (%) | 塑性指数 Ip (%) | 層厚(m) | 液状化危険度評価 PL |
| A | 8.0 | F | 5.1 | 1 | 69 | 17 | 5.0 | 高い(5 < PL ≤ 15) |
| | | As1 | 2.0 | 9 | 27 | 3 | | |
| B | 9.0 | F | 5.0 | 20 | 26 | 2 | 4.9 | 極めて高い(15 < PL) |
| | | As1 | 3.3 | 12 | 30 | 3 | | |
| C | 11.0 | F | 6.0 | 4 | 64 | 12 | 5.9 | 極めて高い(15 < PL) |
| | | As1 | 3.7 | 9 | 27 | 3 | | |
| D | 9.0 | F | 4.0 | 5 | 76 | 21 | 6.8 | 低い(0 < PL ≤ 5) |
| | | As1 | 1.0 | 15 | 10 | 0 | | |

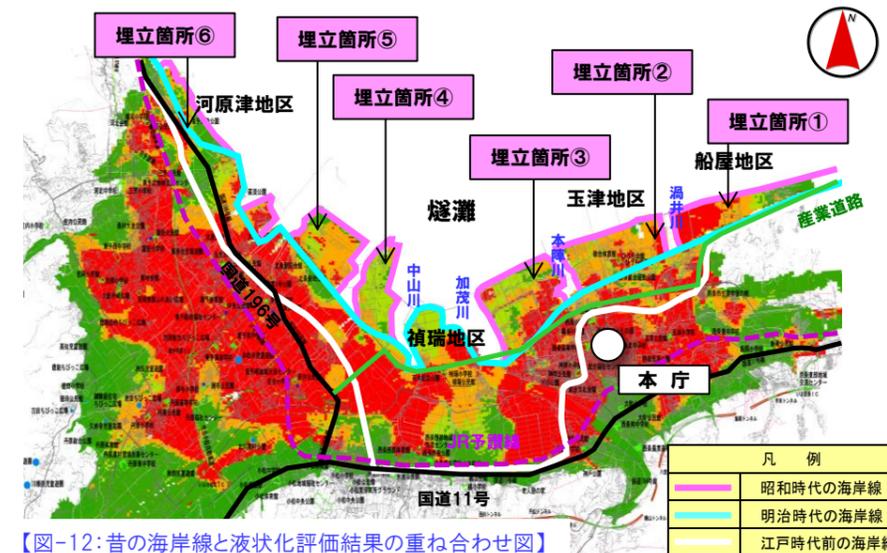
※液状化危険度評価は、ケース2の南海トラフ巨大地震を想定し算出している
 ※細粒分含有率Fcが35%以下の土層は、液状化しやすい
 ※細粒分含有率Fcが35%以上でも、塑性指数Ipが15以下の土層は液状化しやすい

【表-1:現地の調査結果と3次元地盤モデルの検討結果比較表】

【現地の調査結果と3次元地盤モデルの検討結果を比較】

- ・各層厚は、現地での調査結果と3次元地盤モデルの想定した層厚と全地点でほぼ同程度であった。
- ・現地の調査結果を見ると、調査地点B(浄化センター)以外の埋土層は、細粒分含有率Fcは50%を超え、塑性指数Ipも12%以上の値であるなど、比較的液状化しにくい土層であることが確認された。
- ・現地の調査結果を見ると、全地点で第一砂質土層であるAs1層は、細粒分含有率Fcは30%以下で、塑性指数Ipも3%以下であり、比較的液状化しやすい土層であると言える。特に、層厚の厚いB、C地点での液状化危険度評価は「極めて高い(15 < PL)」結果となっている。
- ・以上のことから、3次元地盤モデルを用いて検討した液状化危険度評価は、現地調査の結果と概ね合致しているものと判断できる。

次に、地名(字)や史実をもとに想定される昔の海岸線(第1回協議会にて提示)のラインと、今回の液状化評価結果を重ね合わせ、文献等から埋立箇所の歴史を確認した(写真は西条市生活文化史等からの抜粋)。



【図-12:昔の海岸線と液状化評価結果の重ね合わせ図】

| 埋立箇所 | 地区名 | 埋立時期 | 埋立材料 | 備考 |
|------|--------------|-----------|---------------|-------|
| ① | 船屋 | S55(1980) | ポーキサイト(通称:赤泥) | 工業用埋立 |
| ② | 玉津 | S53(1978) | 海底土砂+造成土 | 工業用埋立 |
| ③ | 港新地 | S21(1946) | 海底土砂+造成土 | 農地干拓 |
| ④ | フェリー乗り場 | S13(1938) | 海底土砂+造成土 | 工業用埋立 |
| ⑤ | 東予インダストリアパーク | S45(1970) | 海底土砂+造成土 | 工業用埋立 |
| ⑥ | 河原津 | S35(1960) | 海底土砂+造成土 | 農地干拓 |

【表-2:各地区の埋立時期および埋立材料表】

【遠浅を利用した干拓について】

- ・川の自然の力により運ばれてきた土砂は、海に運ばれ、潮流の関係で沖合遠くには流れず、海岸寄りに沈んだ土砂は次第に遠浅の海辺を作り、更に干潮時には干潟となって陸地を形成してきた(西条市生活文化史より)。
- ・そのため、西条市の海岸部は埋立し易い地形であったと言える。



【写真-1:埋立前の船屋での潮干狩り(S20年代後半)】



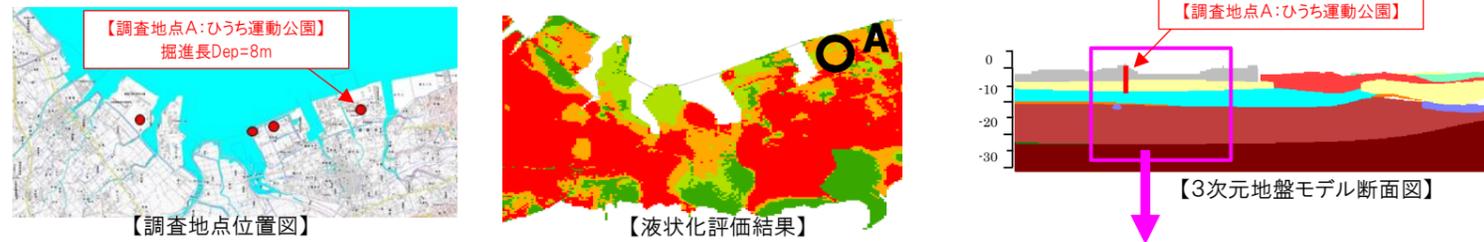
【写真-2:潮がひいた玉津地区の海苔作業】



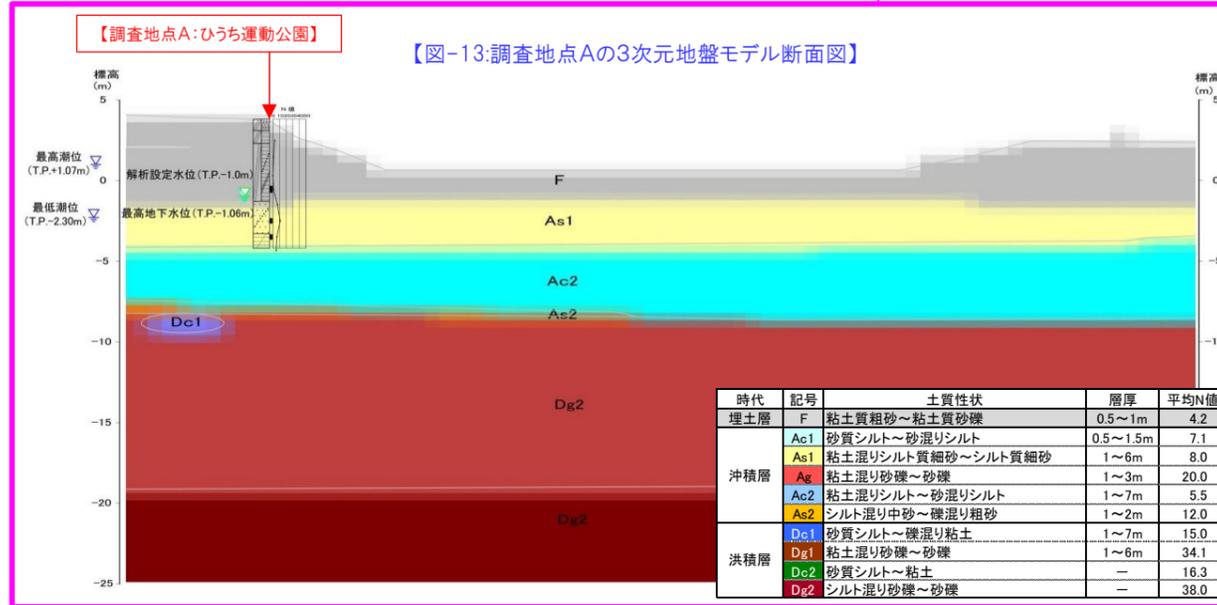
【写真-3:西条港(本陣川河口)での人力車による乗船(大正中期)】

①第3回会議における指摘事項について

・潮位と埋土層の関係／三次元地盤モデル断面図と現地ボーリング調査結果(調査地点A:ひうち運動公園【T.P +3.89m】)



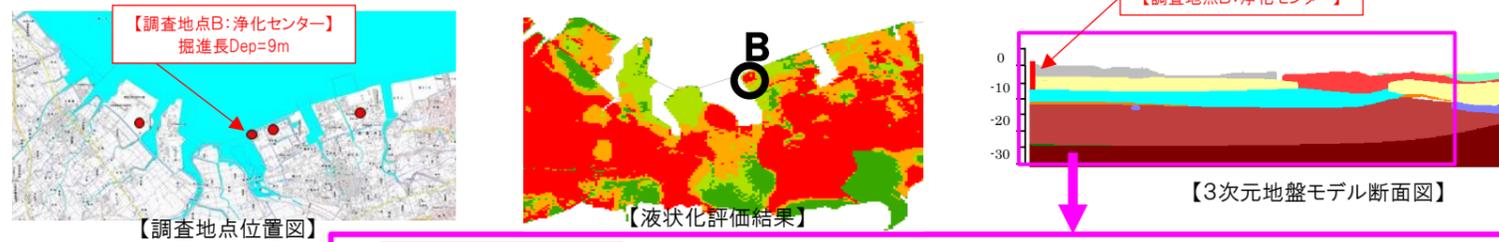
▽ 最高潮位
▽ 最低潮位
▽ 解析設定地下水位
▽ 観測期間中の最高地下水位



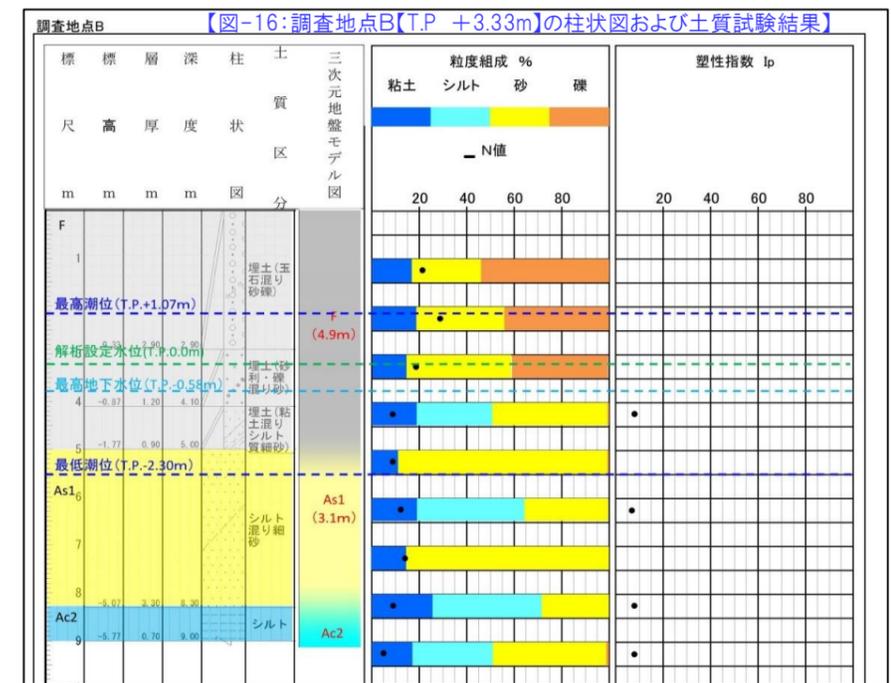
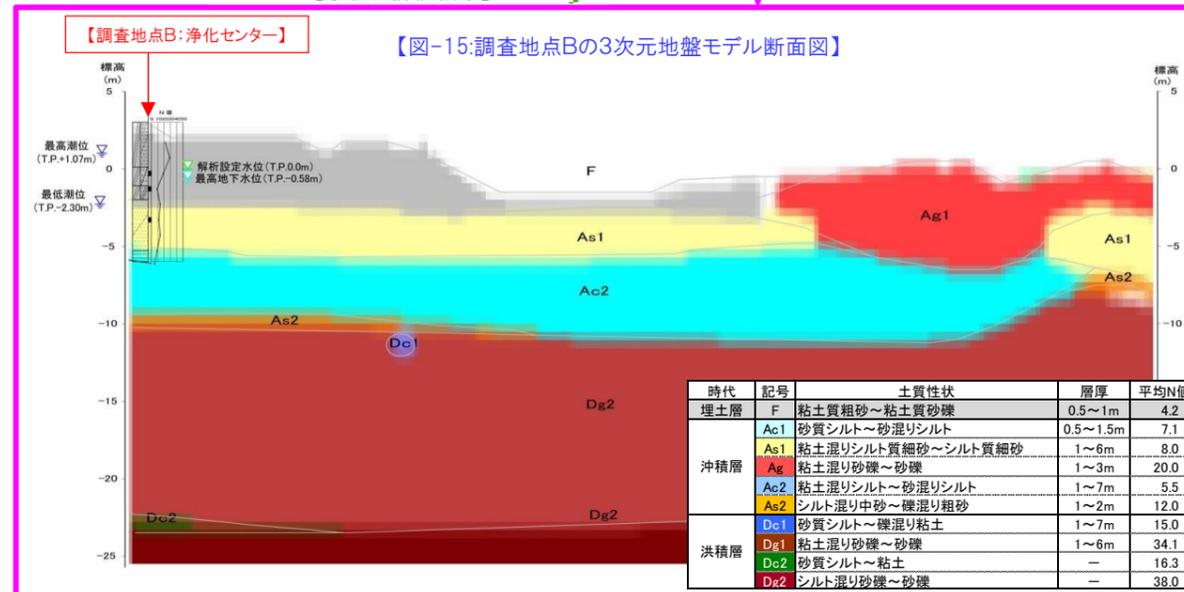
【調査地点Aの比較結果】

- ・3次元地盤モデルと現地ボーリング調査より得られた土質区分を比べると、概ね同様の傾向が見て取れる。
- ・最低潮位 (T.P.-2.30m) とAs1層の位置関係から、調査地点A付近では、干潮時に陸地が表れる「遠浅の地形」であったことが推測される(資料2ページの写真-1参照)。

・潮位と埋土層の関係／三次元地盤モデル断面図と現地ボーリング調査結果(調査地点B:浄化センター【T.P +3.33m】)



▽ 最高潮位
▽ 最低潮位
▽ 解析設定地下水位
▽ 観測期間中の最高地下水位

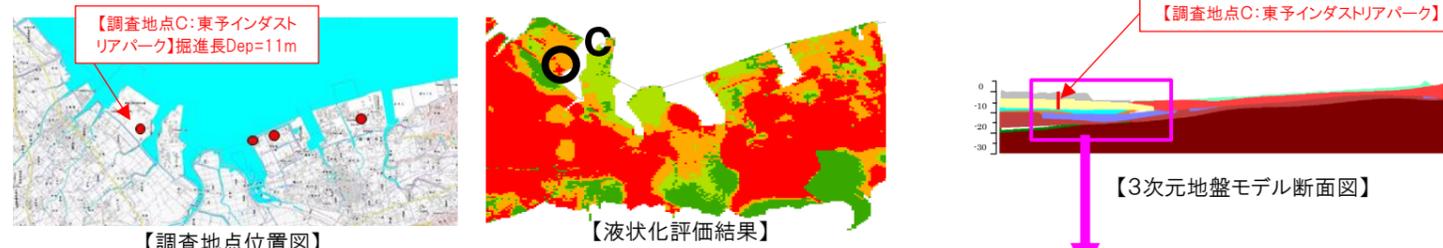


【調査地点Bの比較結果】

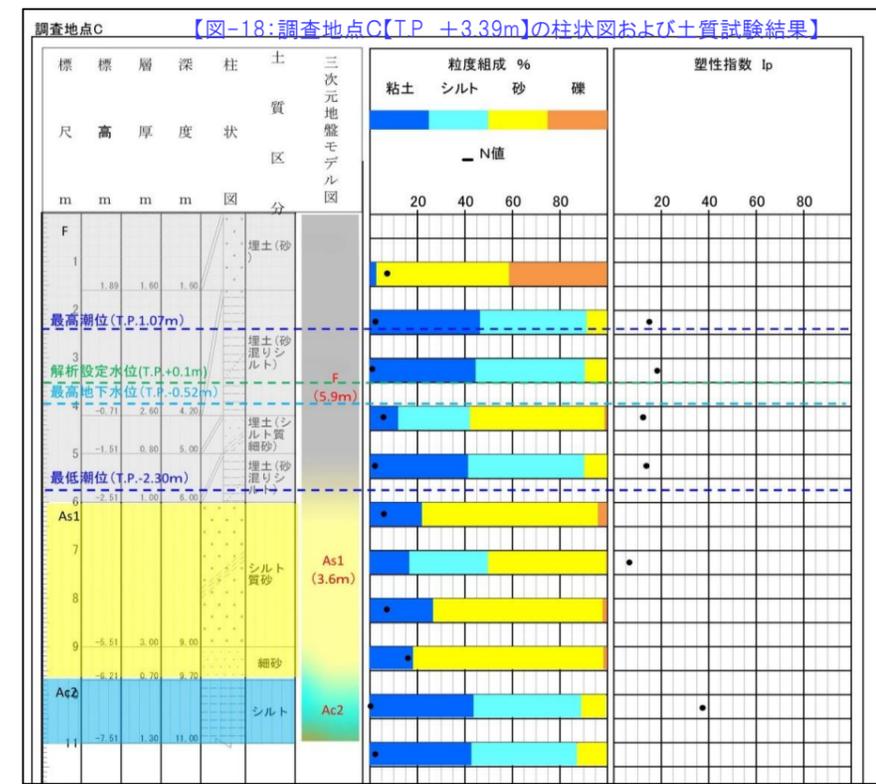
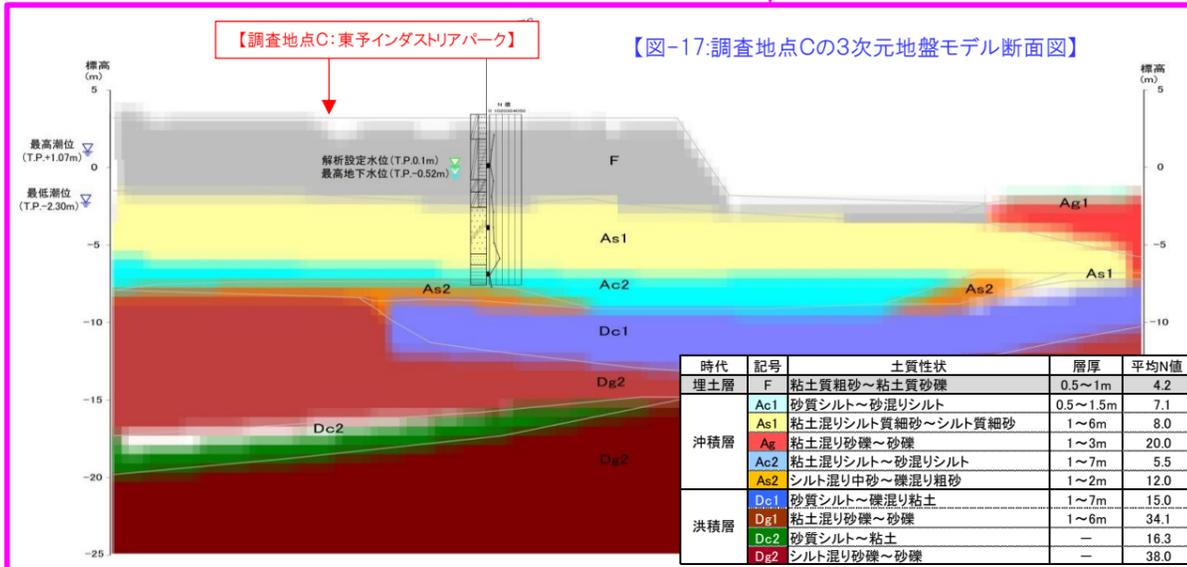
- ・3次元地盤モデルと現地ボーリング調査より得られた土質区分を比べると、概ね同様の傾向が見て取れる。
- ・調査地点Aと同様の遠浅の地形であったものと思われる。

①第3回会議における指摘事項について

・潮位と埋土層の関係／三次元地盤モデル断面図と現地ボーリング調査結果(調査地点C:東予インダストリアパーク【T.P. +3.39m】)



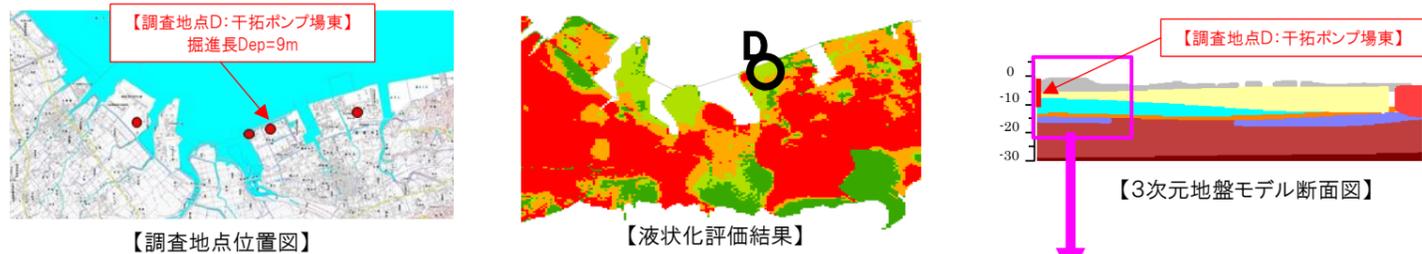
▽ 最高潮位
▽ 最低潮位
▽ 解析設定地下水
▽ 観測期間中の最高地下水



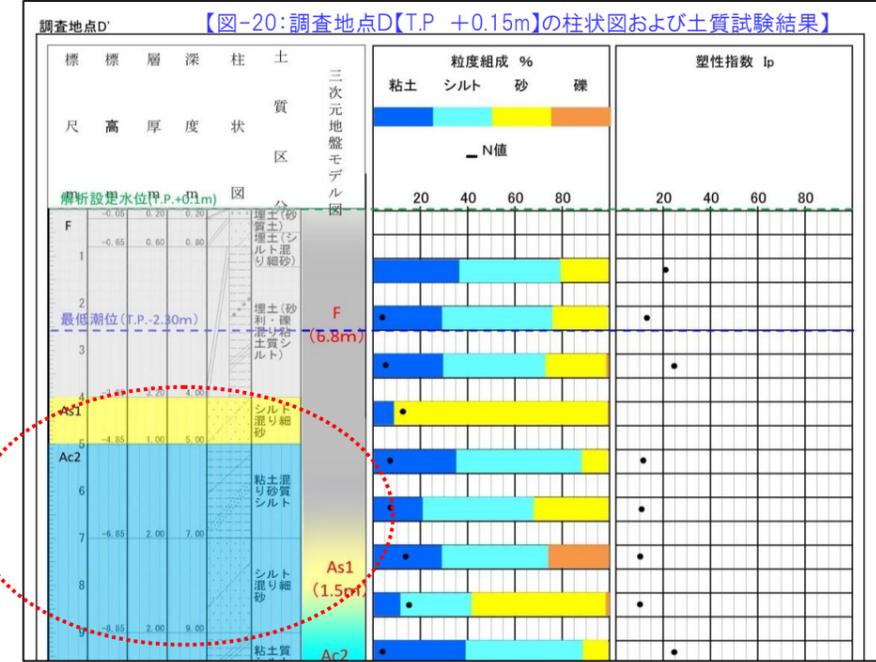
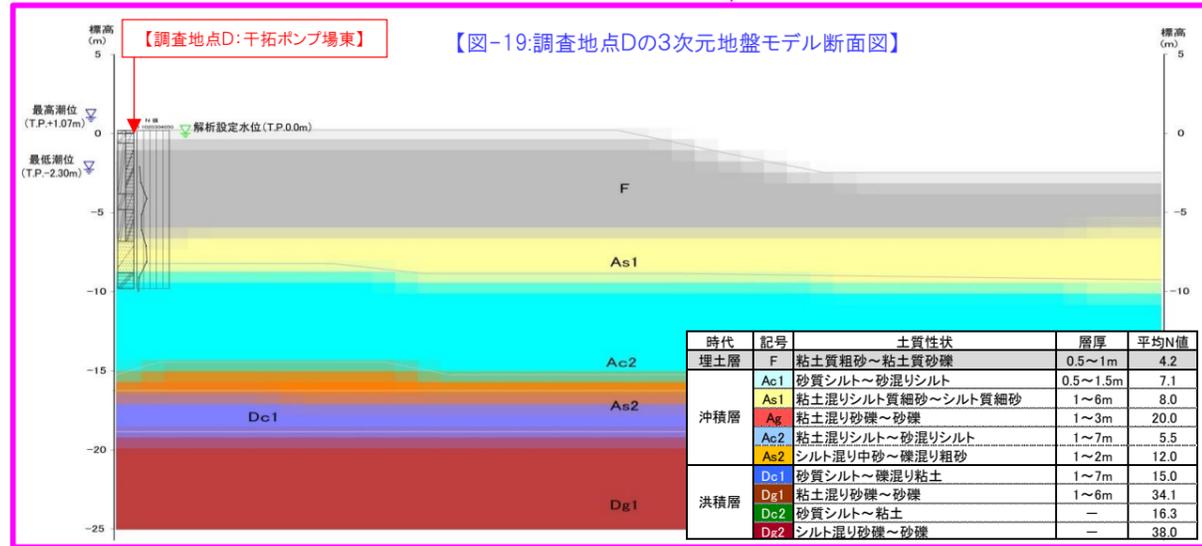
【調査地点Cの比較結果】

- ・3次元地盤モデルと現地ボーリング調査より得られた土質区分を比べると、概ね同様の傾向が見て取れる。

・潮位と埋土層の関係／三次元地盤モデル断面図と現地ボーリング調査結果(調査地点D:干拓ポンプ場東【T.P. +0.15m】)



▽ 最高潮位
▽ 最低潮位
▽ 解析設定地下水
▽ 観測期間中の最高地下水

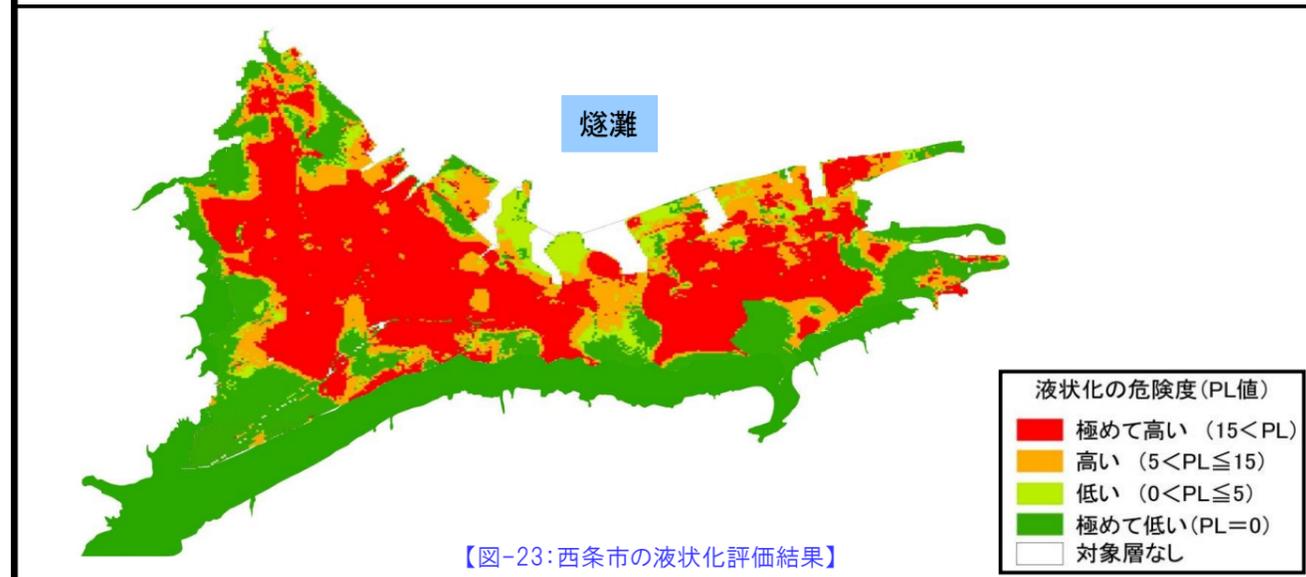
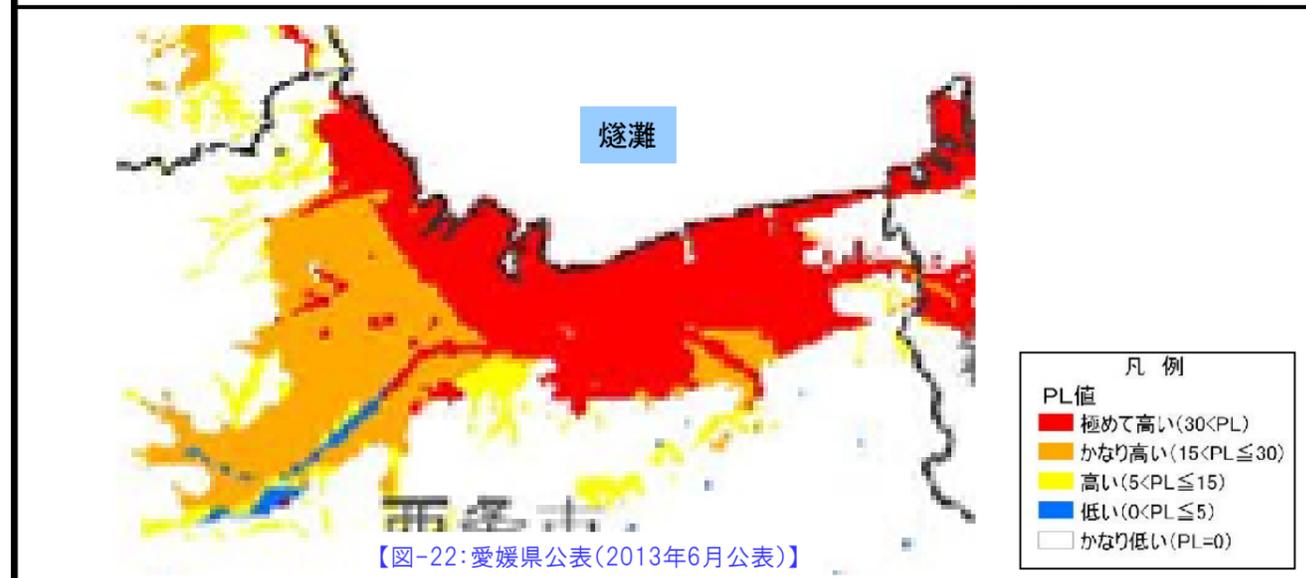
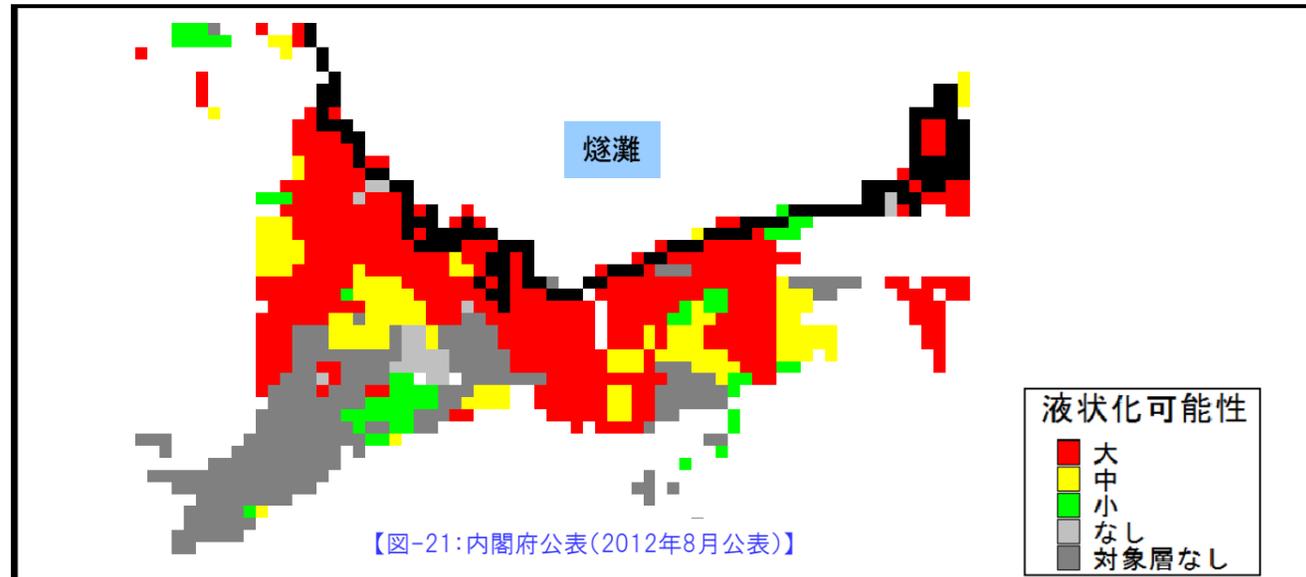


【調査地点Dの比較結果】

- ・3次元地盤モデルと現地ボーリング調査より得られた土質区分が合致していない状況が確認できる。これはモデル構築時には、本箇所におけるピンポイントのデータが無かったためであり、このことから分かる通り、メッシュ単位ごとにボーリングデータがあるほど液状化評価の精度は高くなる。
- ・将来に渡りデータを収集し解析を進めるなど、継続的な取り組みを行い、精度の向上を図りたいと考えている。

②今後のスケジュールについて

・各機関の結果と西条市の液状化評価結果について、
・今後の予定

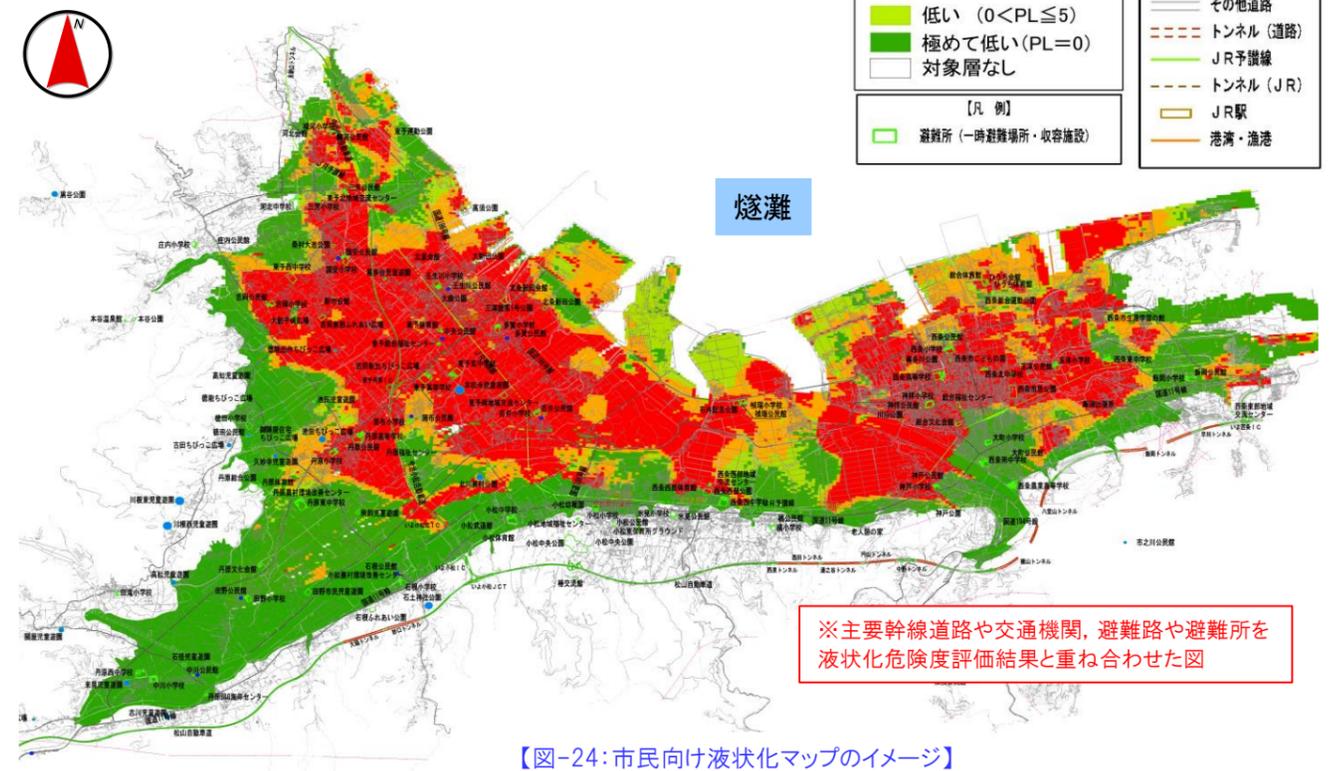


※いずれも南海トラフ巨大地震(陸域ケース)を想定し検討した結果を示す。

【各機関の結果と西条市の液状化評価結果を比較】

- ・西条市の液状化評価結果は、各機関のものと比較して、埋立地域における液状化の危険度が若干低く評価される結果となった。
- ・また、中山川上流域においては図-22にある通り、愛媛県の液状化危険度が「かなり高い(15<PL≤30)」と評価されているのに比べ、今回の西条市の結果では、液状化対象土層は確認されるが、まず液状化しない評価である「極めて低い(PL=0)」との結果であった。
- ・これは、内閣府や愛媛県よりも、市内のボーリングデータを数多く収集、整理し、3次元地盤モデルに取り込むことで、より詳細な土層での液状化判定が可能となったためと考えている。
- ・具体的には、燧灘側で同じ埋立地として取り扱われる地区においても、液状化しやすい砂層と液状化しにくい粘性土層が交互に挟まった状況があり、また各層厚によっても、液状化評価の結果が変わってくる。加えて、50mメッシュという小さな単位で評価を行ったことが、各機関と比較した場合の差異となって、表現されているものと考えている。

次に、今後の予定について以下に示す。



【今後の予定】

- ・平成25年12月26日に愛媛県より公表された「愛媛県地震被害想定調査結果」を受け、今後、西条市地域防災計画の見直し作業を行う予定としており、今回の液状化評価結果も考慮しながら作業して参りたい。
- ・一方、市民に対しては今回の結果を分かり易く伝え、過度の不安感や安心感を与えない配慮が必要と考えている。
- ・現在、東日本大震災での道路啓開(けいかい)の効果を踏まえ、国土交通省四国地方整備局のガイドラインに沿って、「愛媛県道路啓開計画」の策定が予定されている。西条市においても、今回の液状化評価の結果を踏まえ、地震時における最優先啓開路線を抽出するなどして、順次液状化対策工事の検討を図って参りたい。