#### 4.2 液状化の予測

#### 4.2.1 液状化危険度予測手法

土木の分野で広く用いられている道路橋示方書(2002)による液状化判定方法である P<sub>L</sub>法(表 4.2-1 参照)により液状化危険度を求めた。

#### 1) 液状化判定対象地層

過去の液状化事例から、砂・礫を主とする盛土・埋立土(B)、沖積層・砂質土(As)、 沖積層・礫質土(Ag)の地層が地下水位以深、深度20m以浅に現れる各250mメッシュの 地盤モデルを対象とした。

基本的には、この 250m メッシュと1対1に対応する地盤モデルにより P<sub>L</sub>値を計算した が、微地形区分で明らかに液状化対象外と考えられる微地形区分(台地、段丘、丘陵地、 山地、その他の地形)の場合、液状化判定対象外地域とした。図 4.2-1 に液状化判定対象 メッシュ分布図を示した。

#### 2) 地震時最大せん断強度比(L)

地震時最大せん断強度比は各深さで作用する地震力の強さを表すものである。道路橋示 方書の F<sub>L</sub>法の定義に従って、等価線形法の地震動応答計算による各深度での最大せん断応 力を有効上載圧で除して算出した。

#### 3) 動的せん断強度比(R)

地盤の持っている液状化に対する抵抗力(動的せん断強度比)は、定義に従って、N値、 細粒分含有率(FC)、平均粒径(D<sub>50</sub>)、地下水位などから算出した。ここで、地震動特性によ る補正係数 Cw については、5つの想定地震を内陸直下型地震ととらえ、Cw=1.0~2.0(タ イプⅡの地震動で繰返し三軸強度比(R<sub>L</sub>)により変化する)とした。

細粒分含有率及び平均粒径については、前回調査による設定値を採用した。表 4.2-2 に 細粒分含有率及び平均粒径の設定値を示した。

#### 4) 地下水位

地下水位については、今回収集したボーリングデータに記載されている孔内水位をもと にして新たに設定した。低地において収集したボーリングデータの孔内水位の分布を図 4.2-2 に示す。

ただし、ボーリングデータによる孔内水位については、値のばらつきが大きいことから、 統計的手法などにより妥当性を検討した上で地下水位の値を設定した。すなわち、谷底低 地とそれ以外の低地に分け、標高と孔内水位の散布図を作成し、近似式を求めた。図 4.2-3 ~図 4.2-4 に検討結果を示した。

それぞれのボーリングで得られる孔内水位には、当然ばらつきがみられる。この孔内水 位のばらつきは、位置や測定状況による誤差を含むことはもとより、日変動、季節変動を 反映していると考えられる。このことから、近似式から得られた値や平均値を地下水位と して採用することは、平均的な季節の地下水位を用いるということである。

図 4.2-3 の谷底低地については、標高 100m 付近を境に地下水位の分布が変わるため、標高 100m 未満の地点と 100m 以上の地点で分けて検討した。標高 100m 未満の地点について は近似式を求め、近似式から得られた値を地下水位とした。標高 100m 以上の地点につい てはばらつきが大きいため、有効な近似式が得られない。そのため、平均値を用いること とした。

図 4.2-4 の谷底低地以外の低地については、近似式を求めた。標高 0m 地点における地下 水位が深いため、標準偏差(σ)を求め、近似式 - 0.5 σ から得られた値(地下水位は近似式 より浅くなる)を地下水位とした。

5) P<sub>L</sub> 値

道路橋示方書(2002)に示された手順に従い、各深度での F<sub>L</sub>値を算出し、その値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ、地点での液状化危険度を表す P<sub>L</sub>値を算出した。表 4.2-3 に、P<sub>L</sub>値による液状化危険度判定区分を示した。

表 4.2-1(a) 液状化判定手法(P<sub>L</sub>法)の概要(その1)

| 道路橋示方書                 | 小学校会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会会  |
|------------------------|--|
|                        | ・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  |
| 液状化判定                  | 内の深さに存在する飽和土層。   |
| の対象とす                  | ・細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、または FC が 35%を越えても塑   |
| べき土層                   | 性指数 Ip が 15 以下の土層。   |
|                        | <ul> <li>・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</li> </ul>            |
|                        |  |
| 液状化の判                  | 液状化に対する抵抗率 F <sub>L</sub> を次式により算出し、この値が 1.0 以下の   |
| 定方法                    | 土層については液状化するとみなすものとする。   |
|                        | $F_{L} = R/L$  |
| 44 近しせん                | $L = r_d \cdot k_{hc} \sigma_v / \sigma'_v$ (今回のLは、地震応答解釈から得られたせん財応力をので除したものを使用した)                 |
| 線 返 し ご ル<br>断 広 力 比 I | $r_{1} = 1.0 - 0.015 \gamma$   |
| の求め方                   | $\sigma_{\rm v} = \{ \gamma_{\rm t,1} h_{\rm w} + \gamma_{\rm t,2} \ (\gamma - h_{\rm w}) \} / 10$ |
|                        | $\sigma'_{v} = \{ \gamma_{t1} h_{w} + \gamma_{t2} (\chi - h_{w}) \} / 10$                          |
|                        | (タイプ I の地震動の場合)  |
|                        | $c_{w} = 1.0$  |
|                        | (タイプⅡの地震動の場合)  |
|                        | $(R_{L} \le 0.1)$  |
|                        | $c_w = 3.3R_L + 0.67  (0.1 < R_L \le 0.4)$   |
|                        | $(0.4 < R_L)$  |
|                        |  |
|                        | L:地震時せん断応力比  |
|                        | r <sub>d</sub> :地震時せん断応刀比の保さ万回の低減係数  |
|                        | K <sub>hc</sub> : 地震時保有水平腑力法に用いる設計水平震度で次式による   |
|                        | $\mathbf{K}_{hc} - \mathbf{C}_{Z} \cdot \mathbf{K}_{hco}$  |
|                        | $c_Z$ . 地域加福亚宗教<br>$\sigma$ · 全上載圧(kgf/cm <sup>2</sup> )   |
|                        | $\sigma'_{1}$ : 有効項載圧(kgf/cm <sup>2</sup> )  |
|                        | $\gamma$ :地表面からの深さ(m)  |
|                        | y <sub>11</sub> :地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量(tf/m <sup>3</sup> )   |
|                        | γ <sub>t2</sub> :地下水位面より深い位置での土の単位体積重量(tf/m <sup>3</sup> )   |
|                        | γ' <sub>t2</sub> :地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量(tf/m <sup>3</sup> )                                      |
|                        | h <sub>w</sub> :地下水位の深さ(m)   |
|                        | c <sub>w</sub> : 地震動特性による補正係数  |
|                        | R <sub>L</sub> :繰返し三軸強度比   |
|                        |  |

表 4.2-1(b) 液状化判定手法(P<sub>L</sub>法)の概要(その2)

| 液 状 化 抵 抗<br>比 <b>R</b> の求め<br>方 | R=c <sub>w</sub> R <sub>L</sub><br>R <sub>L</sub> = $\begin{cases} 0.0882 \sqrt{Na/1.7} & (Na < 14) \\ 0.0882 \sqrt{Na/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (Na - 14)^{-4.5} & (14 \le Na) \end{cases}$<br>ここで、<br><砂質土の場合><br>N=c_1 \cdot N_1 + c_2   |
|----------------------------------|---|
|                                  | $\begin{split} N_{a} = c_{1} - N_{1} + c_{2} \\ N_{1} = 1.7 \cdot N \swarrow (\sigma'_{v} + 0.7) \\ c_{1} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) /50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases} \\ c_{2} = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases} \\ c_{2} = \left\{ 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases} \\ c_{3} = \left\{ 1 - 0.36 \log_{10} (D_{50} / 2) \right\} N_{1} \\ c_{3} = c_{3} \\ c_{3} \\ c_{3} = c_{$ |
|                                  | <ul> <li>R:動的せん断強度比</li> <li>c<sub>w</sub>:地震動特性による補正係数</li> <li>R<sub>L</sub>:繰返し三軸強度比</li> <li>N:標準貫入試験から得られるN値</li> <li>N<sub>1</sub>:有効上載圧 1kg/cm<sup>2</sup>相当に換算したN値</li> <li>Na:粒度の影響を考慮した補正N値</li> <li>c<sub>1</sub>,c<sub>2</sub>:細粒分含有率によるN値の補正係数</li> <li>FC:細粒分含有率(%)(粒径 75µm以下の土粒子の通過質量百分率)</li> <li>D<sub>50</sub>:平均粒径(mm)</li> </ul>  |

< P<sub>L</sub>計算式 >

| 項目  | 内容  |
|-----|---|
|     | $P_{L} = \int_{0}^{20} F \cdot W(Z) dz \qquad F = \begin{cases} 1 - F_{L} & (F_{L} < 1.0) \\ 0 & (F_{L} \ge 1.0) \end{cases}$ |
| 定義式 | $(P_L = \sum_{i=1}^{n} F \cdot W(Z) \triangle z)$ $W(Z) = 10 - 0.5 Z$   |
|     | P <sub>L</sub> : 流動化指数, W(Z): 重み係数, Z:深度(m)   |



図 4.2-1 液状化判定対象メッシュ分布図



図 4.2-2 鳥取県内におけるボーリングデータの孔内水位の分布(低地:○印) (背景図は 250m メッシュ毎の微地形分類図)



図 4.2-3 ボーリング地点の地下水位の分布(谷底低地)



図 4.2-4 ボーリング地点の地下水位の分布(谷底低地を除く低地)

|                  | 土貨     | 質区分  | 東部      | 西部      | 中部         | 備考         |
|------------------|--------|--|---------|---------|------------|------------|
|                  | 沖積層砂質土 | As (0 <n≦4)< td=""><td>25(%)</td><td>10(%)</td><td>10(%)</td><td></td></n≦4)<>       | 25(%)   | 10(%)   | 10(%)      |            |
| 细粒公会             |        | As (4 <n≦10)< td=""><td>20(%)</td><td>5(</td><td>%)</td><td>山陰臨海地盤図の平均</td></n≦10)<> | 20(%)   | 5(      | %)         | 山陰臨海地盤図の平均 |
| 袖祉力 3<br>右 索(FC) |        | As (10 <n≦30)< td=""><td></td><td>5(%)</td><td></td><td>データによる</td></n≦30)<>         |         | 5(%)    |            | データによる     |
| (%)              |        | As (30 <n)< td=""><td></td><td>5(%)</td><td></td><td></td></n)<>                     |         | 5(%)    |            |            |
| (/0)             | 盛土     | B (0 <n≦4)< td=""><td></td><td>24(%)</td><td></td><td>主に中海等の埋立地の</td></n≦4)<>        |         | 24(%)   |            | 主に中海等の埋立地の |
|                  |        | B (4 <n≦10)< td=""><td></td><td>24(%)</td><td></td><td>平均データによる</td></n≦10)<>        |         | 24(%)   |            | 平均データによる   |
| 亚齿蜡汉             | 沖積層礫質土 | Ag (N≦20)  |         | 2.3(mm) |            |            |
| 〒均和1主<br>(D50)   |        | Ag (20 <n≦30)< td=""><td colspan="2">2.3(mm)</td><td>各種土質試験データの</td></n≦30)<>        | 2.3(mm) |         | 各種土質試験データの |            |
| (D30)            |        | Ag (30 < N≦50)   |         | 2.3(mm) |            | 平均值        |
| (1111)           |        | Ag (50 < N)  |         | 2.3(mm) |            |            |

表 4.2-2 細粒分含有率(FC)、平均粒径(D50)の設定値

表 4.2-3 PL 値による液状化危険度判定区分

|                    | P <sub>L</sub> =0                    | 0 <pl≦5< th=""><th>5<p<sub>L≦15</p<sub></th><th>P<sub>L</sub>&gt;15</th></pl≦5<> | 5 <p<sub>L≦15</p<sub>  | P <sub>L</sub> >15                              |
|--------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| P∟値による<br>液状化危険度判定 | 液状化危険度はかな<br>り低い。液状化に関す<br>る詳細な調査は不要 | 液状化危険度は低い。<br>特に重要な構造物に<br>対して、より詳細な調<br>査が必要                                    | 液状化危険度が高い。<br>重要な構造物に対して<br>はより詳細な調査が必<br>要。液状化対策が一<br>般には必要 | 液状化危険度が極め<br>て高い。液状化に関す<br>る詳細な調査と液状化<br>対策は不可避 |

### 4.2.2 液状化危険度予測結果

前節で述べた手法を用いて、液状化危険度の予測を行った。予測結果を図4.2-5~図4.2-11 に示した。

陸域の地震については、各断層周辺地域に液状化危険度の高い範囲が分布しているが、 F55 断層については、断層に最も近い鳥取県西部地域だけでなく、中部、東部の地域でも 液状化危険度の高い地域が分布している。



図 4.2-5 倉吉南方の推定断層の液状化危険度分布



図 4.2-6 鳥取県西部地震断層の液状化危険度分布



図 4.2-7 雨滝-釜戸断層の液状化危険度分布



図 4.2-8 鹿野・吉岡断層の液状化危険度分布



図 4.2-9 宍道(鹿島)断層(22km)の液状化危険度分布



図 4.2-10 宍道(鹿島)断層(39km)の液状化危険度分布



図 4.2-11 F55 断層の液状化危険度分布

## 4.2.3 前回調査(平成17年)の液状化危険度予測結果

図 4.2-12~図 4.2-17 に鳥取県による前回調査(平成 17 年 3 月)<sup>1</sup>の液状化危険度予測結 果を示した。前回の調査と想定地震が若干異なるが、前回の調査は、500m メッシュで検 討しており、今回の 250m メッシュの評価に比べて、河川沿いの細かな液状化危険度を評 価しきれていない傾向がある。



図 4.2-12 液状化判定対象メッシュの分布【前回 H17 結果】



図 4.2-13 P<sub>L</sub>値による液状化危険度の分布【前回 H17 結果】 (鹿野・吉岡断層)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> 鳥取県(2005):鳥取県地震防災調査研究報告書 平成 17 年 3 月, pp.2-9~2-23.



図 4.2-14 P<sub>L</sub>値による液状化危険度の分布【前回 H17 結果】 (大立断層・田代峠-布江断層)



図 4.2-15 P<sub>L</sub>値による液状化危険度の分布【前回 H17 結果】 (倉吉南方の推定断層)



図 4.2-16 P<sub>L</sub>値による液状化危険度の分布【前回 H17 結果】 (鳥取県西部地震断層)



図 4.2-17 P<sub>L</sub>値による液状化危険度の分布【前回 H17 結果】 (山崎断層)

## 4.2.4 鳥取県の液状化履歴

鳥取県の液状化履歴地点の分布図を参考として図 4.2-18~図 4.2-23 に示した。液状化履歴図の液状化しやすい地点は、今回の液状化危険度の予測でも液状化危険度が高くなっている。



# 鳥取・島根地域の液状化履歴地点の分布

Distribution of liquefied sites in Tottori and Shimane areas



図 4.2-18 鳥取県の液状化履歴図 その1 (若松(2011)日本の液状化履歴マップ 745-2008 年より)



図 4.2-19 鳥取県の液状化履歴図 その 2 < 鳥取北部>(若松(2011)日本の液状化履歴マップ 745-2008 年より)



図 4.2-20 鳥取県の液状化履歴図 その3 < 鳥取南部>(若松(2011)日本の液状化履歴マップ 745-2008 年より)







|             | 凡例        |                         |  |
|-------------|-----------|-------------------------|--|
|             | 地震番号      | 89                      |  |
|             | 地震名(気象庁)  |                         |  |
|             | 被害地域·震央地名 | 美保湾                     |  |
|             | 発震年月日     | 1925.7.4                |  |
|             | 地震音号      | 103                     |  |
| $\triangle$ | 地震名(気象庁)  | 鳥取地震                    |  |
|             | 被害地域·震央地名 | 鳥取付近                    |  |
|             | 免震年月日     | 1943.9.10               |  |
|             | 地震番号      | 106                     |  |
| $\nabla$    | 地震名(気象庁)  | 南海地震                    |  |
| $\vee$      | 被害地域·震央地名 | 南海道沖                    |  |
|             | 免震年月日     | 1946.12.21              |  |
| 0           | 地震番号      | 139                     |  |
| $\bigcirc$  | 地震名(気象庁)  | 平成12年(2000年)<br>鳥取県西部地震 |  |
| •           | 被害地域·震央地名 | 鳥取県西部                   |  |
| •           | 発震年月日     | 2000.10.05              |  |

A kn



図 4.2-21 鳥取県の液状化履歴図 その4 <米子>(若松(2011)日本の液状化履歴マップ 745-2008 年より)



**境港** SAKAIMINATO

;境港。 美保関 \*子 松江

|            | 凡例        |                         |
|------------|-----------|-------------------------|
| 0          | 地震番号      | 139                     |
| $\bigcirc$ | 地震名(気象庁)  | 平成12年(2000年)<br>鳥取県西部地震 |
| •          | 被害地域·震央地名 | 鳥取果西部                   |
|            | 発震年月日     | 2000.10.05              |

4 km

4-86





図 4.2-23 鳥取県の液状化履歴図 その 6 <美保関>(若松(2011)日本の液状化履歴マップ 745-2008 年より)