

地震時液状化予測のための地盤データベースについて ～ 倉吉市の場合 ～

Database of Ground for Predicting Liquefaction during Earthquakes
- In case of Kurayoshi-shi -

岩本志信	Shinobu IWAMOTO	(西谷技術コンサルタント(株))
新任修	Tugunobu ATARASHI	(西谷技術コンサルタント(株))
山根健治	Kenji YAMANE	(西谷技術コンサルタント(株))
藤村尚	Hisashi FUJIMURA	(鳥取大学工学部)

平成9年度の鳥取県米子市周辺に引き続き、倉吉市周辺の液状化マップを作成した。解析方法は当地域平野部の代表的な7断面について、主としてFL法とPL法による断面図を使った手法によったが、液状化砂層のN値やD50等の工学的性質が地形面によって特徴的であるので、液状化危険度の平面的なゾーニングも行なった。併せて、地表面下5m以浅の浅層土質パターンによる液状化マップの作成を試み、液状化危険度の概略的な予測が可能であることが分かった。

キーワード：地盤図，地盤データベース，液状化 (IGC：B-0,B-9,B-11)

1. はじめに

(社)地盤工学会中国支部鳥取地域では、'96鳥取地盤図¹⁾を基に、平成9年度に鳥取県西部の米子市周辺の液状化マップを作成し、地盤と建設²⁾で公表した。本論文は同様の手法を用いて県中部の倉吉市周辺の液状化マップを作成したものである。

当地域は市街地が河川沿いの狭隘な氾濫原に形成されているので、ボーリングデータの平面的な散らばりに乏しい。そこで、本地域では県道・国道・河川沿い等の現在盛んに開発が行われている区域や、今後開発されると考えられる区域について、代表的な線上で地質断面図を使った解析を試みた。そして、液状化砂層の地盤工学的な性質を地形面に検討することによって、平面的なゾーニングまで発展させた。

2. 液状化マップの概要

対象範囲：2万5千分の1図葉「倉吉」の全平野部と「松崎」の東郷池周辺

解析断面：国道・県道・河川沿いならびに東郷池湖岸の合計7断面

地質試料：ボーリング・土質試験データ約300箇所

判定方法：①FL, PL法による液状化解析

②浅層土質パターンによる判定

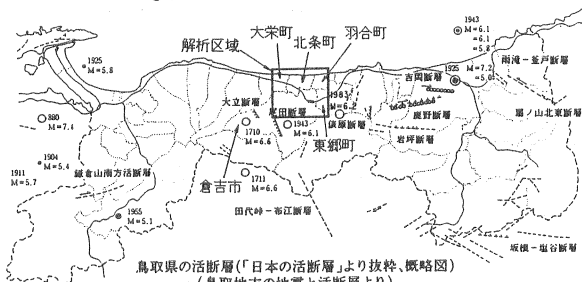


図-1 鳥取県の活断層と解析位置³⁾

3. 地形・地質概要

3.1 地形

図-2に解析区域の地形分類図を示す。

倉吉市周辺の平野(倉吉平野)は主に一級河川天神川ならびにその支川によって形成され、海岸には幅1.5kmの北条砂丘が形成されている。この平野部を成因から分類すると、①天神川の氾濫原、②中小河川の埋積谷低地、③砂丘に大別され、さらに次のように細分化される。

- ① 天神川氾濫原：西倉吉低地、倉吉低地、河北低地、羽合低地、北条低地、大栄低地
- ② 埋積谷低地：和田低地、東郷低地、古川低地、米里低地、大灘低地
- ③ 砂丘：北条砂丘

解析はできるだけ多くの地形面をカバーすることを原則としたが、和田低地は極めて狭小であり、東郷低地については十分な土質試験データが存在しないので、両低地の解析は割愛した。

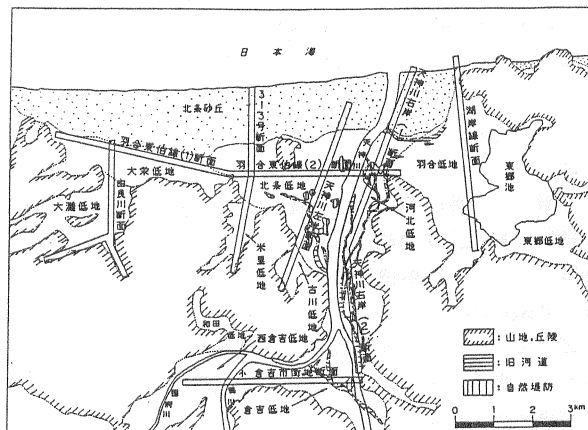


図-2 地形分類図⁴⁾

天神川氾濫原のうち、西倉吉低地、倉吉低地ならびに河北低地の南部は幅1 km程度の谷底平野で、扇状地的な性格を有し、堆積物としては礫や砂が卓越する。一方、河北低地北部と羽合・北条・大栄等の低地は三角州的な性格を有し、天神川の旧河道や自然堤防が放射状に発達する。

従来の天神川は砂丘を東へ迂回して砂丘東端から日本海に注いでいたが、江戸時代初期(1657年)に直流工事が始められて現在の流路にいたっている⁵⁾。また、大栄低地に向っている旧河道があるので、以前に大栄低地を流れていた可能性もある。

3. 2 地 質

倉吉平野の地層層序は表-1に示すとおりである。

表-1 倉吉平野の地層層序

地質年代	記号	地層名	土質
完新世	Um	最上部層	砂質土(Ums) 粘性土(Umc)
	Us	上部砂礫層	礫及び砂
	Uc	上部粘性土層	粘性土
更新世	Ls	下部砂礫層	礫及び砂
	Lc	下部粘性土層	粘性土
	L	大山ローム層	ローム、軽石
	Lm	最下部層	砂礫(Lmg) 粘性土(Lmc)
第三紀以前	B	基盤	安山岩・流紋岩・ 花崗岩

1) 西倉吉低地

図-3に示すように、小鴨川沿いに更新世の埋没丘が存在し、Lmgの上にLが堆積している。沖積層はUmおよびUsからなり、礫が卓越する。

2) 倉吉低地

幅約1 km、延長約3 kmで東西に長い帯状の平野である。東側の1/3程度は扇状に視界が開け(開放部)、西側(狭窄部)とは地質が異なる。図-3に示すように、狭窄部はUm、Usとも礫や砂が卓越するのに対し、開放部ではUmは粘性土が卓越し、Usは砂質土が卓越する。

3) 河北低地

図-4、5に示すように、南部は沖積層の厚さが10~15 mであるのに対し、北部は約20 mである。そのうち、上部2~3 mはUmで、粘性土が卓越する。Umの下はUsとUcの複雑な互層で、層相の変化が顕著である。

4) 羽合低地

図-6に示すように、沖積層の厚さは20 m以上である。この層は、天神川本流とは丘陵によって遮られているため、堆積物は粘性土が卓越するが、GL-2~10 mには緩い砂質土(Us)が堆積する。

5) 北条低地

図-7~10に示すように、沖積層が約30 m堆積している。上部3~5 mはUmで、天神川周辺を除けば粘性土が卓越する。以下、厚さ5~10 mのUsと10~20 mのUcが堆積している。

6) 大栄低地

図-7、11に示すように、東側半分にはGL-10 m以下に更新世の埋没丘が存在し、その上にUm sおよびUs等の砂質土が堆積している。西側は北条低地と類似した地層構成である。

7) 古川低地

図-9に示すように、約20 mの沖積層が堆積するが、砂質土はほとんど分布しない。

8) 米里低地

図-10に示すように、北条低地との境界部に第三紀の埋没丘が迫り出しているため、排水不良の溺れ谷を形成している。沖積層の厚さは約25 mで、大部分をUmcおよびUc等の粘性土が占める。砂質土は北側に厚さ5 m程度のUsが見られる程度である。

9) 大灘低地

図-11に示すように、大栄低地との境界部に大山凝灰角礫岩からなる埋没丘が迫り出し、その上にUm s、Us等の砂質土が堆積して上流部に排水不良の溺れ谷を形成している。上流2 km付近までは厚さ10 m程度のUm sおよびUsが分布する。

10) 北条砂丘

最高所で海拔40 m程度を有する。図-4、10に示すように、上部15~20 mはUm s、Us等の砂質土で、その下位にUcや大山ローム層(L)を載せた更新世の古砂丘が分布する。

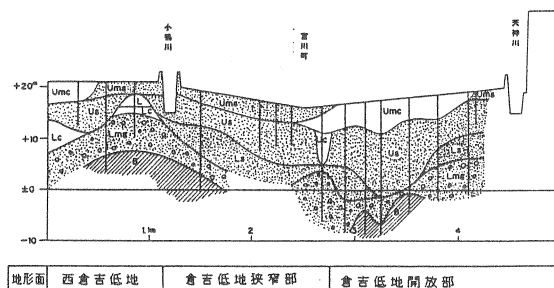


図-3 倉吉市街地想定地質断面図

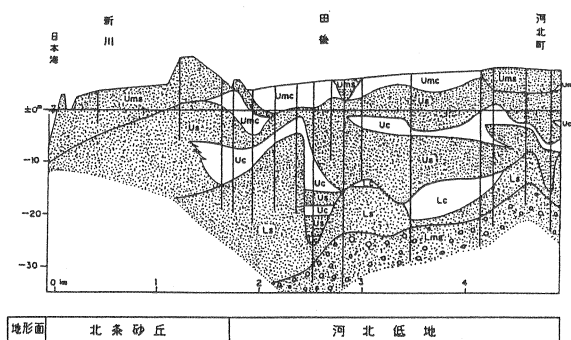


図-4 天神川右岸(1) 想定地質断面図

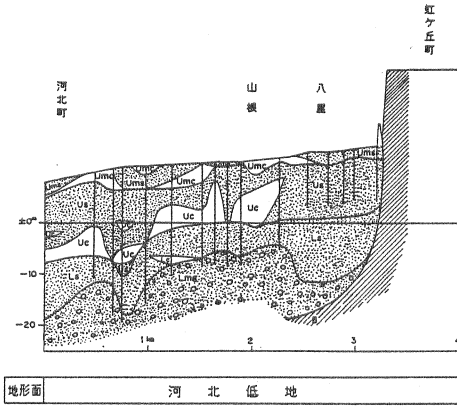


図-5 天神川右岸(2) 想定地質断面図

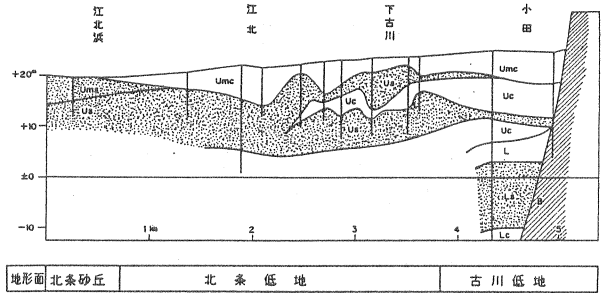


図-9 天神川左岸想定地質断面図

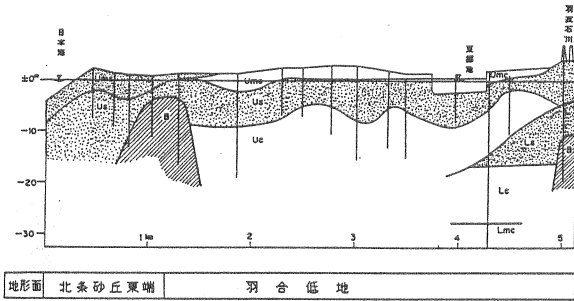


図-6 湖岸線想定地質断面図

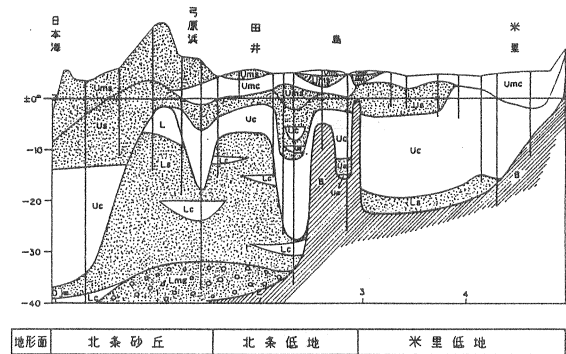


図-10 313号想定地質断面図

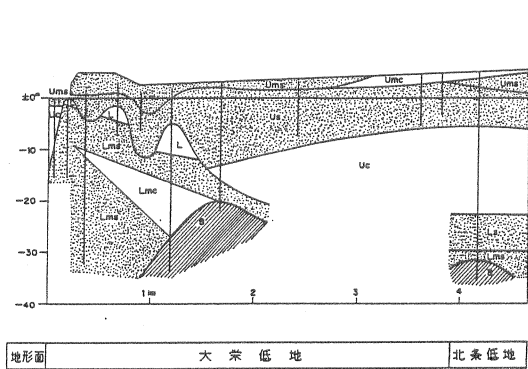


図-7 羽合東伯線(1) 想定地質断面図

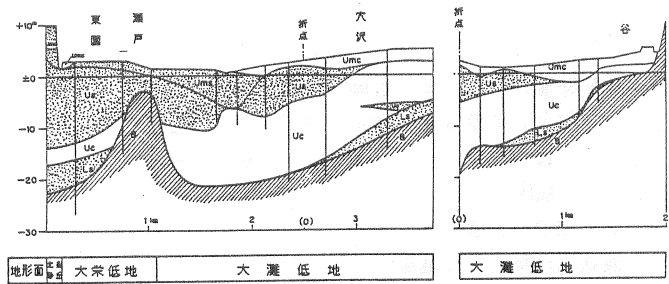


図-11 由良川想定地質断面図

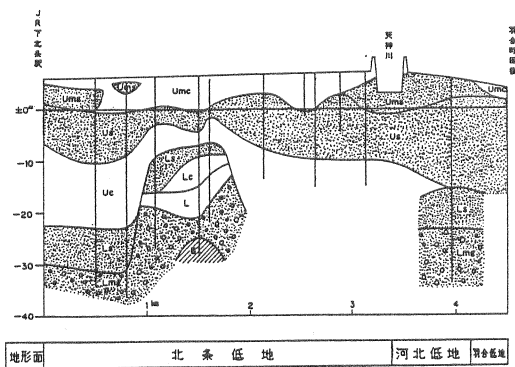


図-8 羽合東伯線(2) 想定地質断面図

4. 解析方法

4.1 FL法による液状化解析

液状化抵抗率 (F_L) は、以下に示す道路橋示方書⁶⁾の方法で求める。

(1) 液状化抵抗率

$$F_L = R/L$$

$F_L \leq 1.0$ の地層は液状化するとみなす

(2) 地震時せん断応力比 (L)

$$L = \gamma_d k_h \sigma_v / \sigma_v'$$

ここに、 $\gamma_d = 1.0 - 0.015x$

k_h : 設計水平震度

σ_v : 全上載圧 ($t f/m^2$)

σ_v' : 有効上載圧 ($t f/m^2$)

x : 地表面からの深さ (m)

(3) 動的せん断強度比 (R)

$$R = C_w R_L$$

ここに、 C_w : 補正係数 (地震動タイプII)

$$(R_L \leq 0.1) \Rightarrow C_w = 1.0$$

$$(0.1 < R_L \leq 0.4)$$

$$\Rightarrow C_w = 3.3 R_L + 0.67$$

$$(0.4 < R_L) \Rightarrow C_w = 2.0$$

R_L : 繰り返し三軸強度比

$$N_a < 1.4 \Rightarrow R_L = 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7}$$

$$N_a \geq 1.4 \Rightarrow R_L = 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 * 10^{-6} (N_a - 1.4)^{4.5}$$

ここで、砂質土 ($D_{50} < 2.0 \text{ mm}$) の場合

$$N_a = C_1 N_1 + C_2$$

$$N_1 = 1.7 N / (\sigma_v' + 0.7)$$

ただし、 $0\% \leq F_c < 10\%$ のとき

$$C_1 = 1, C_2 = 0$$

$10\% \leq F_c < 60\%$ のとき

$$C_1 = (F_c + 40) / 50$$

$$C_2 = (F_c - 10) / 18$$

$60\% \leq F_c$ のとき

$$C_1 = F_c / 20 - 1$$

$$C_2 = (F_c - 10) / 18$$

ここに、 F_c : 細粒分含有率 (%)

礫質土 ($D_{50} \geq 2.0 \text{ mm}$) の場合

$$N_a = \{1 - 0.361 \log(D_{50} / 2)\} N_1$$

(4) 設計水平震度 (k_h)

$$k_h = \alpha_h / g$$

ここに、 g : 重力加速度 (= 980 gal)

図-1に示したように、鳥取県には尾田断層や1943年の鳥取地震 (M7.2) の震源となった吉岡・鹿野断層等の活断層があるので、地震のタイプとしては内陸直下型 (タイプII) を想定し、その水平加速度 (α_h) が 200 gal (震度5強), 400 gal (震度6強), 600 gal (震度7) の3ケースについて計算する。

(5) 液状化計算を行う地層

液状化計算を行う地層は、①GL-20m以浅で、かつ地下水面以下の地層、② F_c が35%以下の地層、③細粒分含有率 F_c が35%を超えても、塑性指数 I_p が15以下の地層、④平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ D_{10} が1mm以下の地層とする。

(6) 液状化の危険度

道路橋示方書では F_L の値に応じて耐震設計上の土質定数を低減している。そこで、ここでは液状化危険度を表-2に示すような4階級に分類する。

表-2 FL法による液状化危険度

F_L 値	危険度	記号
$F_L \leq 1/3$	A	
$1/3 < F_L \leq 2/3$	B	
$2/3 < F_L \leq 1$	C	
$1 < F_L$	D	

4.2 液状化指数 (P_L) の計算方法

P_L 値の計算方法は以下のとおりで、その特徴は浅い所で液状化した方が地表の構造物に与える影響が大きいので、深さ方向の重み関数を考慮している点にある。

$$P_L = \int_0^{20} F w(z) dz$$

$$F_L < 1.0 \Rightarrow F = 1 - F_L$$

$$F_L \geq 1.0 \Rightarrow F = 0$$

ここに、 $w(z)$: 重み関数

$$(= 10 - 0.5z)$$

z : 地表面からの深さ (m)

P_L 値による液状化危険度は、岩崎・他⁷⁾によって表-3のように評価されているので、本論文でもこれに準じた。

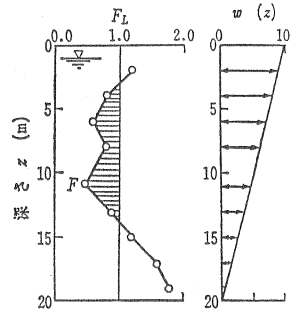


図-12 P_L 値の求め方

表-3 PL法による液状化危険度⁷⁾

P_L 値	評価	危険度	記号
$15 < P_L$	液状化危険度が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避	A	
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が高い。重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。	B	
$0 < P_L \leq 5$	液状化危険度は低い。特に重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。	C	
$P_L = 0$	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般に不要。	D	

5. 液状化計算に使用する土質定数

F_L 計算の際に必要な土質定数は、単位重量 (γ)、 N 値、 D_{10} 、 D_{50} 、 F_c 、 I_p で、この他に地下水位が計算結果に大きく影響する。

γ は砂質土の試験値が少ないので、各地層の一般的な値 (表-4参照) とした。

表-4 各地層の単位重量

地層	飽和重量 γ_{sat} (tf/m ³)	湿潤重量 γ_t (tf/m ³)
Ums	1.9	1.8
Umc	1.6	1.6
Us	1.9	1.8
Uc	1.6	1.6
L	1.5	1.4
Ls	2.1	2.0
Lc	1.8	1.8
Lmg	2.1	2.0

N 値は、各ボーリング地点における1m毎の測定値をそのまま用いた。その他の土質定数は各地形面毎に地層の平均値を求めて使用した。

各地層の土質定数の平均値を表-5, 6に示す。これらの表に示したように、いずれの粘性土層とも $I_p > 15$ で、液状化に対して安全である。したがって、粘性土層は液状化計算の対象から除外した。

Lmgの全地形面平均N値を図-13に示す。ここに示したように、Lmgは平均N値44と締まっているので液状化計算の対象から除外し、Ums, Us, Lsを計算の対象とした。

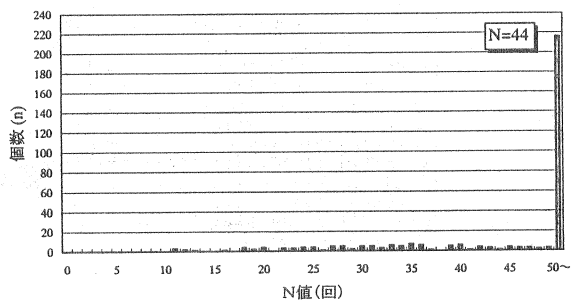


図-13 Lmgの平均N値

表-5 土質定数の平均値 (天神川氾濫原)

地形	地層	N値	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	F _c (%)	I _p	
天神川氾濫原	西倉吉低地	Ums	9	-	0.95	8.4	-
		Umc	2	-	0.013	96.8	17.0
		Us	35	0.17	5.2	8.3	-
		Uc	-	-	-	-	-
		Ls	36	0.06	3.7	10.5	-
	倉吉低地	Ums	7	-	0.62	17.7	-
		Umc	3	-	0.031	79.5	19.8
		Us	17	0.3	2.2	11.4	-
		Uc	3	-	0.041	63.3	16.0
		Ls	21	0.26	2.7	10.2	-
	河北低地	Ums	6	-	0.58	26.0	-
		Umc	2	-	0.11	76.0	56.4
		Us	14	-	0.77	16.7	5.9
		Uc	4	-	0.078	70.9	-
		Ls	23	-	0.41	17.4	-
	羽合低地	Ums	4	-	0.39	31.0	-
		Umc	1	-	0.11	61.4	21.7
		Us	10	-	0.51	16.2	-
		Uc	3	-	0.016	88.5	38.6
		Ls	21	-	0.11	39.8	13.3
北条低地	Ums	8	-	0.34	29.3	-	
	Umc	2	-	0.021	85.2	31.1	
	Us	11	-	0.7	16.6	-	
	Uc	4	-	0.009	87.6	30.1	
	Ls	21	-	0.24	19.2	-	
大栄低地	Ums	4	-	0.19	32.1	-	
	Umc	3	-	0.03	65.3	-	
	Us	21	-	0.34	16.5	-	
	Uc	3	-	0.0057	95.7	80.5	
	Ls	22	-	0.24	19.2	-	

表-6 土質定数の平均値 (埋積谷低地・砂丘)

地形	地層	N値	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	F _c (%)	I _p	
埋積谷低地	古川低地	Ums	-	-	0.4	30.0	-
		Umc	1	-	0.0072	99.8	30.6
		Us	9	-	0.083	49.5	-
		Uc	3	-	-	63.1	-
	米里低地	Ums	-	-	0.4	30.0	-
		Umc	1	-	0.016	85.6	10.2
		Us	6	-	0.42	17.5	-
		Uc	2	-	0.013	96.3	62.7
	大灘低地	Ums	-	-	0.4	30.0	12.9
		Umc	0	-	0.0098	96.4	11.2
		Us	15	-	0.4	4.9	-
		Uc	3	-	0.0018	77.7	-
砂丘	Ums	12	-	0.52	6.8	-	
	Umc	6	-	0.037	-	27.5	
	Us	31	-	0.3	9.5	-	
	Uc	12	-	0.012	91.9	39.5	
	Ls	19	-	0.3	7.5	-	

地下水位は、原則としてボーリング地点各々の孔内水位を用いるものとし、これが不明な場合は地表面に水位を設定した。ただし、孔内水位は様々な季節に測定したものであるため、必ずしも年間をとおした最高水位を示しているとは限らない。そこで、倉吉市街地の断面については水位を①地表面と②GL-2mに設定したケースについても液状化計算を実施し、水位の影響を検証した。

各地形面における孔内水位の平均値を表-7に示す。ここに示したように、孔内水位はGL-1~2mを示すことが多いが、埋積谷低地ではGL-1m未満と相対的に水位が高い。一方、北条砂丘ではGL-2.5mと低い。

表-7 ボーリング孔内水位平均値

地形面		孔内水位 (m)	
天神川氾濫原	西倉吉低地	1.41	
	倉吉低地	狭窄部	1.53
		開放部	2.11
	河北低地	1.91	
	羽合低地	0.91	
	北条低地	1.17	
大栄低地	1.42		
埋積谷低地	古川低地	0.33	
	米里低地	0.73	
	大灘低地	0.75	
砂丘	北条砂丘	2.56	

6. 液状化判定結果

6.1 孔内水位を用いて計算した場合

図-14~16に液状化断面図の一例を示す。この図は断面部分にFL法による液状化危険度を示し、下にPL法による危険度と地形分類を示している。図-17~19には液状化平面図を示す。この図は各断面線沿いの幅100mにPL法による液状化危険度を表している。

これらの図より次のことが分かる。

- 1) 液状化はLsの一部と、Ums, Usで発生する。
ただし、Umsは地表面付近に分布するので、地下水位が低い場合は液状化しない。
- 2) 液状化層が薄くても、地表面付近3~5mが液状化すればA, Bランクの P_L 値となる。逆にAランクの F_L 値を示しても、その深度が大きくなると低位の P_L 値となる。
- 3) 各断面とも200gal程度の地震ではCランク以下の F_L 値を示すことが多い。 P_L 値も北条・米里低地を除けば局部的にA, Bの危険度を示すことが

あるものの、Cランク以下を示すことが多く、液状化の危険度は低い。

- 4) 北条低地と米里低地は、200galでもBランクの P_L 値が50%程度を占め、液状化の危険度が高い。
- 5) 西倉吉低地・倉吉低地狭窄部・古川低地・北条砂丘は400galでもCランクの P_L 値を示すことが多く、液状化危険度は比較的低い。その他の地形面はBランク以上の P_L 値を示すことが多く、液状化危険度が高い。
- 6) 自然堤防ならびに旧河道では、液状化危険度が高い。

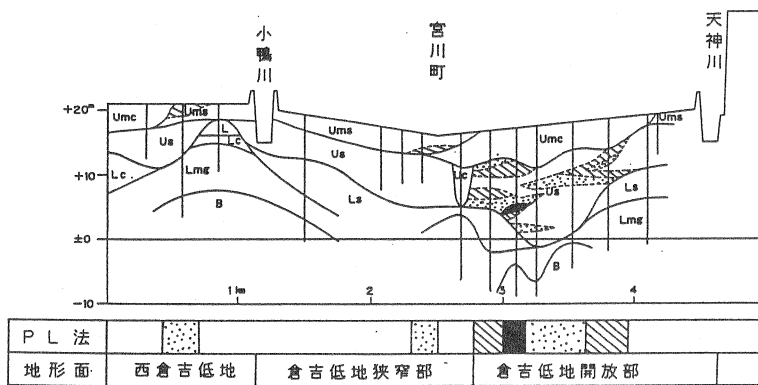


図-14 液状化断面図(倉吉市街地・200gal)

FL法による液状化危険度

F_L 値	危険度	記号
$F_L \leq 1/3$	A	□
$1/3 < F_L \leq 2/3$	B	■
$2/3 < F_L \leq 1$	C	●
$1 < F_L$	D	○

PL法による液状化危険度

P_L 値	危険度	記号
$1.5 < P_L$	A	□
$5 < P_L \leq 15$	B	■
$0 < P_L \leq 5$	C	●
$P_L = 0$	D	○

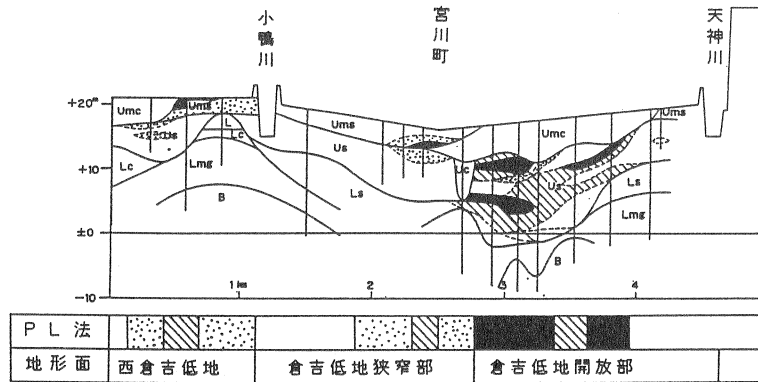


図-15 液状化断面図(倉吉市街地・400gal)

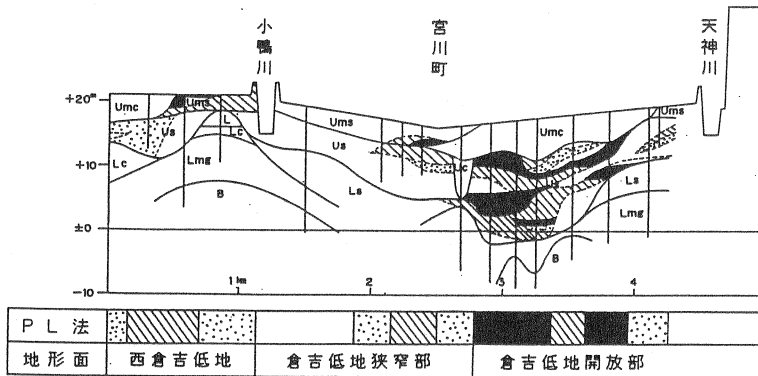


図-16 液状化断面図(倉吉市街地・600gal)

地震時液状化予測のための地盤データベースについて

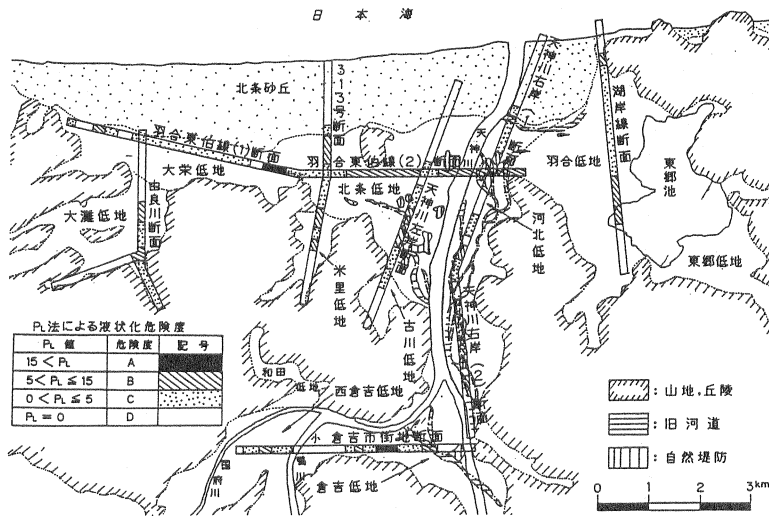


図-17 液状化平面図 (PL法・200 gal)

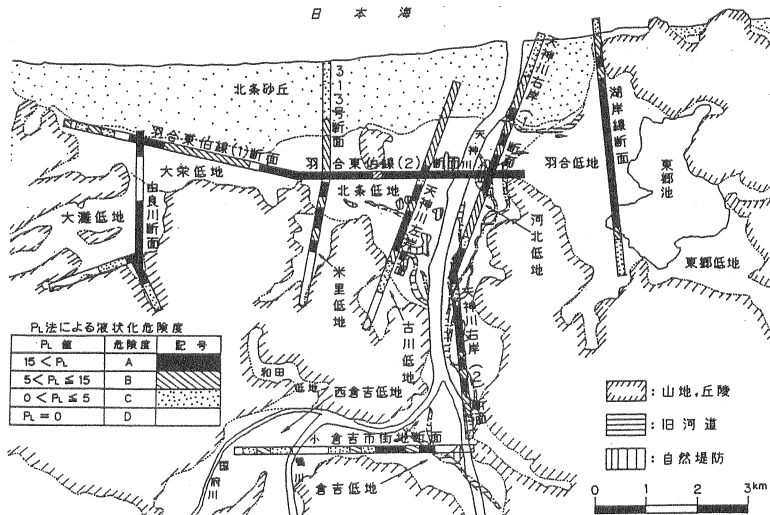


図-18 液状化平面図 (PL法・400 gal)

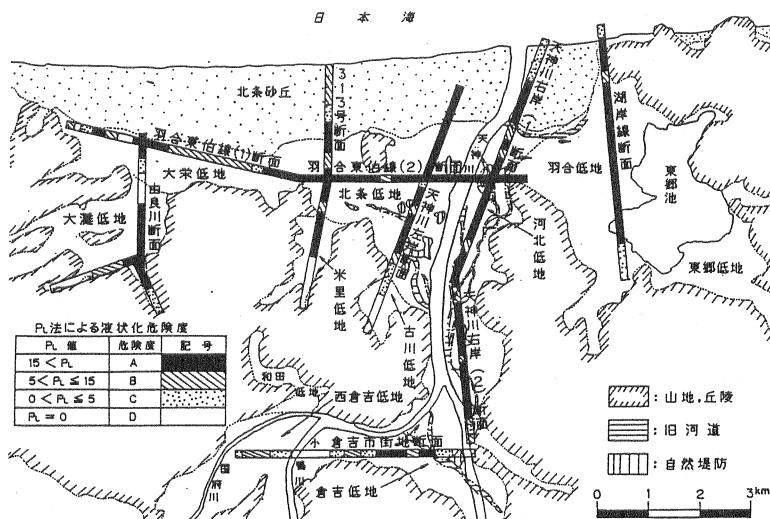


図-19 液状化平面図 (PL法・600 gal)

6. 2 水位をGL±0, -2mに設定した場合

代表的なボーリング地点での計算結果を図-20に示す。これによると、水位がGL±0mの F_L 値は-2mの場合に比べて小さい。その差はN値が高いほど、また深度が浅いほど顕著である。また、 P_L 値もGL-2mの場合に比べて高い値となり、液状化の危険度が増す。

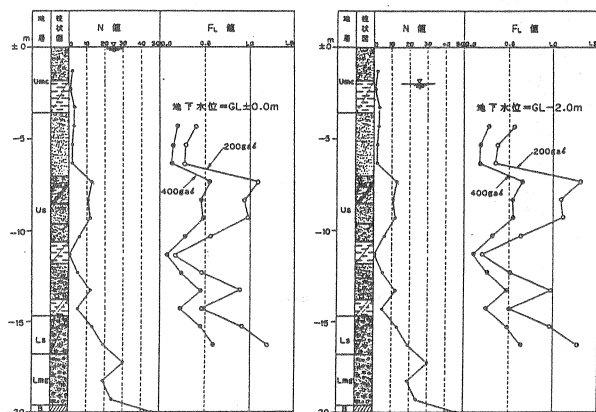


図-20 液状化柱状図

7. 計算結果の考察

前節で天神川上流部と砂丘では相対的に液状化危険度が低く、自然堤防や旧河道では危険度が高いとの知見を得た。以下、ここでは各地形面の主たる液状化層Usの物性に着目し、液状化危険度との因果関係について検討する。

(1) 各地形面の物性と液状化危険度

表-5, 6に示した各地形面の土質定数平均値のうち、N値, D_{50} , F_c を図-21に示す(倉吉低地については狭窄部と開放部について別途平均値を求めた)。これより、次のことが分かる。

- 1) 天神川の上流ほど土の粒径が粗い。また、下流でも天神川に近いほど粒径が粗く、遠方になるほど細粒となる(河北低地⇒北条低地⇒羽合低地⇒大栄低地)。羽合低地は天神川に対して北条低地と同等の位置にあるが、地形的に丘陵の背後地に相当するため流勢が減殺され、相対的に細粒となったと考えられる。
- 2) 低地の F_c は天神川上流部で10%、下流部で15%程度の一定値を示す。
- 3) 倉吉低地開放部や河北・北条・羽合・米里・大灘低地のような液状化危険度が高い地形面は、Usの平均N値が15以下である。
- 4) 上流部の西倉吉低地と倉吉低地狭窄部は、 D_{50} が2mmを超え、礫が卓越している。平均N値も23~35と高い。礫層で液状化計算を行う場合、そのN値は低めに補正されるが、補正後もN値は22~30である。このN値の高さが両地形面の液状化危険度を低くしているものと考えられる。
- 5) 北条砂丘のUsが最も細粒である。ただし、 F_c は10%程度と少なく、 $N=30$ と締っている。平均水位もGL-2.5mと低いので、このことが砂

丘の液状化危険度を低くしているものと考えられる。

- 6) 大栄低地は、同様な砂丘後背湿地(北条・羽合低地)と比べて液状化危険度が低い。大栄低地のUsは北条砂丘に次いで細粒である。 F_c は他の低地と同様に15%程度であるが、平均N値が北条・羽合低地の $N=10$ に比べて $N=21$ と高く、地盤は締っている。このことが、相対的に液状化危険度を低くしているものと考えられる。

- 7) 大灘低地の下流部には地表面からUs, Ue等の砂質土が分布するが、液状化危険度は低い。これは、低地全体の平均N値15に対し、下流部では $N=20$ と比較的締っていることに起因する。

米里低地と大灘低地は、ともに中小河川によって形成された埋積谷低地であるが、大灘低地下流部のUsには貝化石が含まれるのに対し、米里低地では含まれない。大灘低地の粒径は大栄低地に次いで細粒である。米里低地のUsも D_{50} は大灘低地とほぼ同様であるが、米里低地の F_c が15%以上であるのに対し、大灘低地は5%程度と少ない。

縄文海進以前は両地形面とも海面下で、日本海に直接面している。大栄・北条・羽合低地は縄文海進期に砂丘が形成されるに従い潟湖となり、徐々に土砂が堆積して陸地化していくが、その過程で大灘低地の下流部には砂丘と同様な沿岸砂洲が侵入してきたものと考えられる。一方、米里低地のUsは旧河道の方向から、天神川の緩やかな流れによって形成されたと考えられる。この堆積環境の違いが物性に現れていると考えられる。

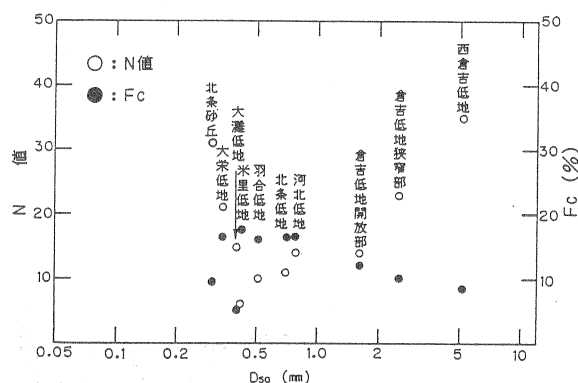


図-21 Usの D_{50} とN値・ F_c 平均値

(2) 自然堤防・旧河道の物性と液状化危険度

河北低地の自然堤防・旧河道におけるUsの平均N値, D_{50} , F_c を表-8に示す。ここに示したように、自然堤防のUsが最も細粒である。自然堤防は、粒径の粗い掃流物質が河床に残り、比較的細粒な浮遊物質が河道外に越流することによって形成されるので、この表は粒径に関して自然堤防の特徴をよく表していると言える。旧河道とその他の氾濫原の粒径はよく似ているが、大規模な洪水では決壊部分から礫・砂・泥が分級せずに溢れ出るためであろう。いずれにせよ、自然堤防・旧河道はその他の氾濫原に比べ

てN値が低い。このことが自然堤防・旧河道の液状化危険度を高めているものと考えられる。

表-8 河北低地Usの物性(平均値)

	自然堤防	旧河道	その他
N 値	13	11	15
D ₅₀ (mm)	0.50	0.73	0.88
F _c (%)	17.9	17.2	16.7

8. 浅層土質パターンと液状化危険度

96鳥取地盤図¹⁾に準じてGL-5m以浅の土質パターンを表-9のように定めた。液状化危険度のランクについては、PL法による液状化平面図と浅層土質パターンを見比べて、液状化危険度の整合性が最も良くなるような順位とした。これは、PL法では①砂が地表面から分布する天神川上流部・北条砂丘・大栄低地ならびに大灘低地下流部では液状化危険度が低い、②液状化危険度の高い羽合・北条低地や米里・大灘低地の高危険度区間では、粘土から砂に移行するケースが多い、③砂から粘土に移行する場合、地下水位の関係で危険度が比較的低いという解析結果による。

図-22に浅層土質パターン平面図を示す。同図は図-18のPL法による液状化平面図(400gal)に良く似ている。ただし、倉吉低地開放部のようにGL-5m以深のUsが液状化するところでは整合しない。200gal

の液状化平面図(図-17)に対しては、西倉吉低地・倉吉低地狭窄部・北条砂丘では整合しないが、他の平野部では浅層土質パターン平面図の液状化危険度を1ランク下げれば、整合性が比較的良くなる。

以上から、当地域では震度6強程度の大規模な地震に対する液状化危険度の予測に浅層土質パターンが有効と言える。震度5強程度の中規模の地震に対しても、特異な地盤(河川上流部の砂礫地盤や砂丘)を除けば、危険度を1ランク下げて液状化の判定が可能である。ただし、砂層がGL-5m以深から分布する場合は液状化の判定が困難である。

表-9 浅層土質パターンと液状化危険度

土質パターン	粘土のみ	砂⇒粘土	砂のみ	粘土⇒砂
柱状図				
液状化危険度	D (低)	C (中)	B (高)	A (極高)
記号				
備考	粘土⇒砂または砂⇒粘土の場合、上部土質が2m未満の場合は、砂または粘土のみの単層とする			

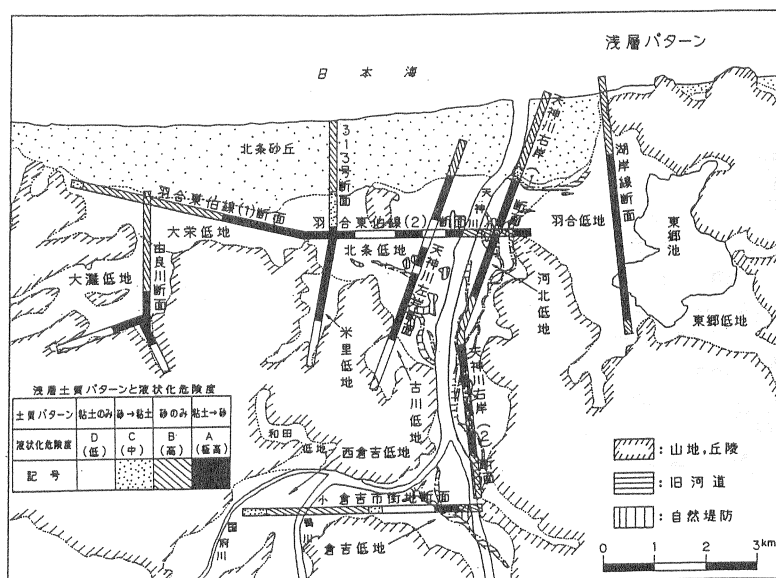


図-22 浅層土質パターン平面図

9. まとめ

本論文は、倉吉市周辺の地震発生時における液状化予測マップの作成に取り組んだものである。液状化予測マップは平面的にゾーニングしたものが多く見られるが、当地域はボーリングデータの平面的な散らばりに乏しいので、平野の代表的な7測線において地質断面図を使った解析を試みた。その結果、以下のような成果を得た。

- 1) 液状化は主に完新世の砂質土 (Ums および Us) で発生する。大規模な地震では更新世の砂質土 (Ls) でも液状化することがあるが、その程度は低く、範囲も部分的である。
- 2) 地質断面図を使った解析でも、断面をいくつかクロスさせ、各地形面の地盤工学的特徴を検討することによって、平面的にも大まかな傾向を把握することが可能である。震度6強程度の大規模な地震に対する当地域の液状化危険度を地形面ごとに検討して、表-10の結果を得た。震度5強程度の中規模な地震に対しては、同表の危険度を1ランク下げたものが、ほぼその液状化危険度に相当する。

- 3) 浅層土質パターンでも、液状化危険度の予想は一応可能で、大規模な地震に対してはPL法による危険度と概ね一致する。中規模の地震に対しては、浅層土質パターンの液状化危険度を1ランク下げることによってPL法との整合性が良くなる。ただし、地表面から厚い粘性土が分布し、その下位に砂が分布する場合は、浅層土質パターンでは液状化危険度を過小に見込む可能性がある
- 4) 液状化に対しては地下水位の影響が大きいので、今後は広域的な地下水位の把握が重要である。
- 5) 1983年に解析区域近傍を震源とするM6.2(倉吉市での震度階4)の地震(鳥取県中部地震、図-1参照)が発生したが、液状化の事実は確認されていないことを付記しておく。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会中国支部：'96鳥取地盤図，1996
- 2) 谷口洋二・荻田潤一・富山博峰・藤村 尚：地震発生時の地盤変状予測マップについて，地盤と建設(地盤工学会中国支部論文報告集)，Vol.15, No.1, 1997
- 3) 西田良平・岡田昭明・渋谷拓郎：鳥取地方の地震と活断層，鳥取大学教育学部，1991
- 4) 建設省中国地方建設局：治水地形分類図「倉吉」，1979
- 5) 鳥取県教育研修センター：鳥取県野外学習指導テキスト第2集「天神川流域とその周辺」，1983
- 6) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1996
- 7) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田 進：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28, No.4, 1980

表-10 各地形面の液状化危険度(震度6強)

地形面	地質的特徴と地震時の評価	危険度
西倉吉低地	Usは礫が卓越し、N値も高い。液状化危険度は比較的低い。	C
倉吉低地狭窄部	Usは礫が卓越し、N値も高い。液状化危険度は比較的低い。	C
倉吉低地開放部	Usには多量の礫を混入しているが、N値は低い。液状化危険度が極めて高い。	A
河北低地	自然堤防や旧河道が発達している。地下水位がGL-2mと低いが、UsのN値は低い。液状化危険度が極めて高い。	A
羽合低地	地下水位がGL-1m以浅と高く、UsのN値も低い。液状化危険度が極めて高い。	A
北条低地	地下水位がGL-1m程度と高く、UsのN値も低い。液状化危険度が極めて高い。	A
大栄低地	Usは比較的締っているが、砂層が厚いので液状化危険度が高い。	B
古川低地	砂層が薄いので、液状化危険度は低い。	D
米里低地	中・下流部はルーズな砂が堆積し、水位も高いので液状化危険度が極めて高い。上流部は砂が分布しないので、危険度は低い。	A ~ D
大蔵低地	中・下流部はルーズな砂が堆積し、水位も高いので液状化危険度が極めて高い。上流部は砂が分布しないので、危険度は低い。	A ~ D
北条砂丘	地下水位が平均GL-2.5mと低く、砂のN値も高い。液状化危険度は比較的低い。	C