

2.6 鳥取県西部地震による液状化災害と一考察

2.6.1 はじめに

地震災害の要因の 1 つとして、1964 年に発生した新潟地震以後、地盤の液状化が建築物や橋梁、道路、港湾施設、上下水道などの土木構造物に重大な被害をもたらすことが広く認識され、地盤の液状化に関する被害事例や実験、解析による研究成果から液状化の予測方法や液状化対策工が提案・開発されてきた¹⁾。

平成 12 年 10 月 6 日 13 時 30 分頃、鳥取県西部に位置する北緯 35.3 度、東経 133.4 度を震央としたマグニチュード 7.3 の地震（震源の深さ約 10km）が発生し、気象庁により「平成 12 年鳥取県西部地震」と命名された。各地の震度は、境港市と日野町で震度 6 強、西伯町と溝口町で震度 6 弱を記録したほか、中国・四国、近畿地方の広い範囲で震度 5 強～4 の揺れを観測した。今回の内陸型大地震によっても地盤の液状化が発生し、震源からおおよそ 30km 以内に位置する境港市、米子市などにおいて、液状化に伴う噴砂・噴水、地盤の沈下・陥没、地盤の側方流動、などの地盤変状や建物の沈下、護岸構造物のはらみ出し、道路路面の波打ち、埋設構造物の浮き上がりなどの構造物への被害が数多く見られた。

本報告では、鳥取県における過去の地震による液状化履歴や液状化の発生が報告されている国内の主な地震、今回の鳥取県西部地震による液状化地点の分布と被害状況を整理し、液状化被害の特徴をとりまとめる。次に、鳥取県西部の地盤資料や各地で観測された地震動分布をもとに、設計基準に規定されている液状化簡易判定法を用いて、境港市や米子市における液状化の可能性の可否を検討した。

2.6.2 過去の地震による液状化履歴

鳥取県に液状化被害を及ぼした地震の一覧を表 2.6.1 に示す²⁾。今回と同様の内陸直下型地震としては、1943 年の鳥取地震が知られている。かつて潟であった軟弱地盤の鳥取市に被害が集中したそうである（死者 1083 人、全壊家屋 7485 戸、焼失家屋 251 戸）³⁾。今回の鳥取県西部地震においても米子平野から弓ヶ浜半島にいたる地域で、数多くの液状化の発生が確認されている。液状化の予測にあたっては、地形・地質的特性や液状化解析などとあわせて、その地域での過去の液状化履歴の有無を確認することが重要であることがわかる。

表 2.6.1 鳥取県に液状化被害を及ぼした地震

地震名	年月日	マグニチュード	液状化発生地点
美保湾地震	1925. 7. 4	5.8	鳥取県米子地方
鳥取沖地震	1943. 3. 4	6.2	鳥取県
鳥取沖地震	1943. 3. 5	6.2	鳥取県
鳥取地震	1943. 9.10	7.2	鳥取県
南海地震	1946.12.21	8.0	鳥取県米子地方

次に、液状化の発生が報告されている国内の主な地震について土質工学会⁴⁾が整理した結果に一部加筆したものを表 2.6.2 に示す。佐々木はおおむねマグニチュード 7.0 程度以上、震

源深さ 40km 以浅の地震によって被害に結びつく液状化が発生していること、新しく堆積した地盤・埋め立て地盤などで発生することが多いことがわかると述べている⁴⁾。当該地震においても液状化の発生が確認されたことから、地震直後における液状化発生の可能性を判断する一つの目安になると考えられる。

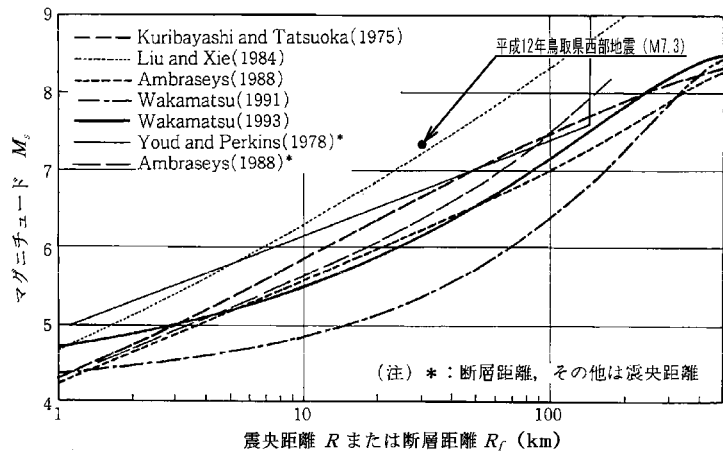
また、既往の地震における地盤の液状化に関する調査から、液状化の発生する地点の限界(最大)震央距離()は、地盤条件と地震のマグニチュード(M)によって異なるが、図 2.6.1 に示される栗林・龍岡⁵⁾によれば、おおよそ M=7.0 で =50km、M=7.3 で =80km であることが読みとれる。現時点の調査によれば今回の限界震央距離は 30km 程度であるので、過去の地震に比べて限界震央距離が小さいことがわかる。

表 2.6.2 液状化の発生が報告されている国内の主な地震(土質工学会⁴⁾の表に加筆)

地震名	年月日	マグニチュード M	震源深さ (km)	液状化による特徴的な被害
新潟地震	1964. 6.16	7.5	40	広範囲にわたる水平砂地盤の液状化(新潟市)
十勝沖地震	1968. 5.16	7.9	0	埋戻し砂の液状化(八戸市)、埋立て砂の液状化(七重浜)
根室半島沖地震	1973. 6.17	7.4	40	埋立て地盤の液状化
伊豆大島近海地震	1978. 1.14	7.0	0~10	鉱さいの液状化
宮城県沖地震	1978. 6.12	7.4	30	水平地盤の液状化
浦河沖地震	1982. 3.21	7.1	10	北海道浦河地方小河川、海岸沿いの沖積低地にて液状化
日本海中部地震	1983. 5.26	7.7	14	水平地盤の液状化と砂丘縁辺部の液状化
釧路沖地震	1993. 1.15	7.8	107	岸壁のはらみ出しや沈下、エプロンの陥没、沈下 液状化対策の効果を確認(釧路港、根室港ほか)
北海道南西沖地震	1993. 7.12	7.8	34	岸壁のはらみ出し、沈下、エプロンの陥没、沈下、亀裂 (函館港)、埋立地の被害(森港)、液状化しにくいと言われている細粒分を多く含んだ土砂が液状化した
北海道東方沖地震	1994.10. 4	8.1	30	北海道東部沿岸にて液状化
三陸はるか沖地震	1994.12.28	7.5	0	青森県東部にて液状化
兵庫県南部地震	1995. 1.17	7.2	14	液状化が広範囲に発生(大阪湾沿岸地域、特にポートアイランド、六甲アイランド)、礫からシルトまで広範囲の粒径をもったマサ土系の土砂が液状化した

2.6.3 液状化地点の分布と被害状況

寺見、三梨⁷⁾によって 1983 年に作成された米子市や境港市、松江市など中海沿岸部およびその周辺部における液状化危険度予測図を図 2.6.2 に示す。一方、今回の鳥取県西部地震によって噴砂・噴水を確認した液状化地点の分布図⁸⁾を図 2.6.3 に示す。



両者を比較すると、概略の傾向は一致していると言えるが、今回の地震では液状化危険度予測図の 図 2.6.1 液状化が生じる限界の震央距離とマグニチュード⁶⁾の方が液状化の可能性を少し高めに判断していることがわかる。特に、弓ヶ浜半島内陸部と日本海側との自然地盤において顕著に現れているようである。次に、森⁸⁾の調査結果に基づき、埋立地、干拓地、造成地などで見られた液状化による被害状況を整理し、とりまとめる。

液状化に伴う主な地盤変状、構造物の被害を表 2.6.3 に示す。今回の地震による液状化被害の特徴をとりまとめると、次のようになる。

- 1) 液状化の被害は、鳥取県境港市から米子市にいたる弓ヶ浜半島の臨海部に位置する埋立地、干拓地、造成地に集中した。特に境港市竹内団地に代表されるように、比較的新しい埋立地では数メートルに及ぶ噴砂が点在し、噴砂、噴水を伴った液状化現象が数多く見られた。
- 2) 一方、弓ヶ浜半島臨海部でも人工改変されていない沖積砂質土層においては、ごく一部を除いて液状化現象はほとんど地表面には現れていない。また、自然地盤である砂州においても同様に液状化現象は見られていないようである。
- 3) 栗林・龍岡によれば、マグニチュード 7.3 に対する限界（最大）震央距離は 80km 程度となる。おおよそ 80km 圏内に位置する鳥取平野や倉吉平野では、著者らが調査した限りにおいて液状化現象による被害事例は聞かれていない。
- 4) 液状化に伴う構造物の被害は、過去に受けた事例と同様に、波打った道路路面、道路橋・水管橋取付部の損傷、建物の沈下や傾き、地下埋設物の損傷や浮き上がり、港湾施設岸壁のはらみ出し、エプロンの沈下や亀裂・目開き、護岸堤防の目地部のずれ、干拓堤防の亀裂や沈下・すべり、などであった。
- 5) 港湾施設、道路盛土および河川堤防では各種の液状化対策工が施され、今回の地震においても有効であったと一部報告されている。その詳細については各関係機関における今後の調査報告を待ちたい。
- 6) 細粒分含有率 80% 以上のシルト質土の埋立地盤で液状化現象が見られた（境港市竹内団地）。

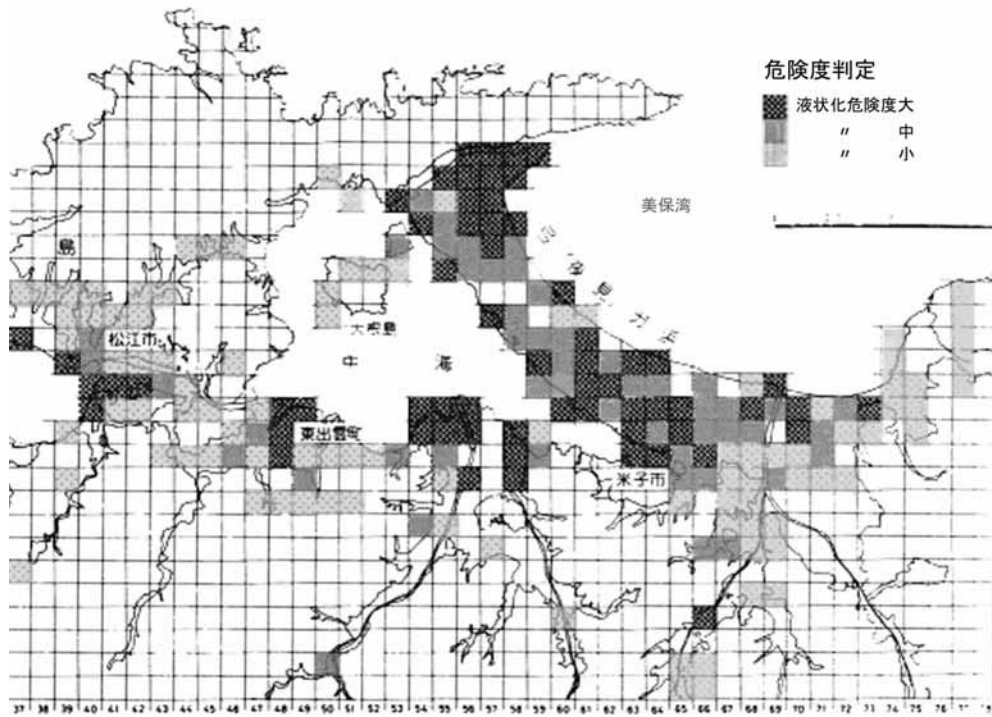


図 2.6.2 寺見、三梨⁷⁾によって作成された液状化危険度予測図

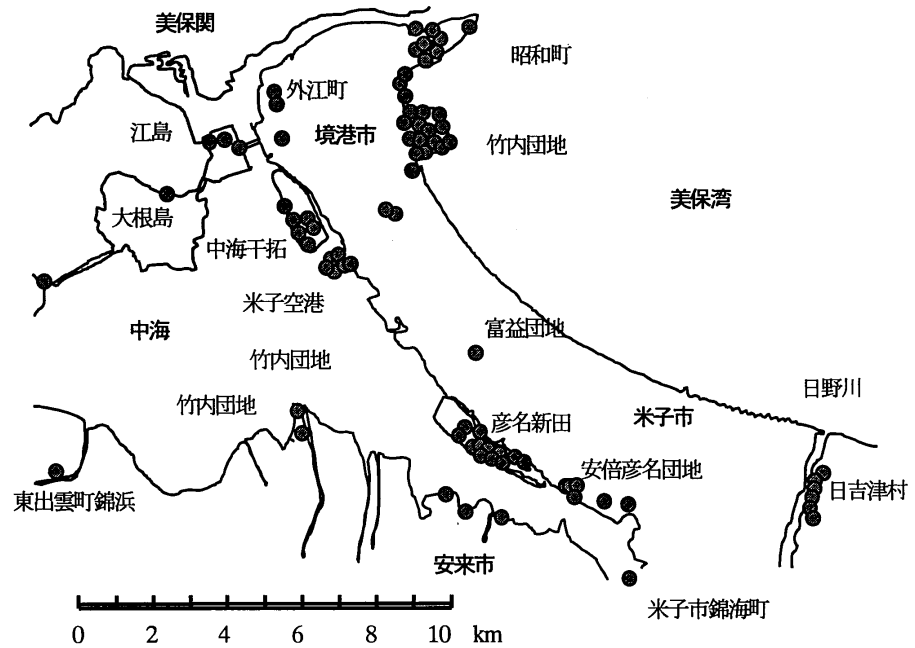


図 2.6.3 平成 12 年鳥取県西部地震における液状化地点⁸⁾

表 2.6.3 液状化に伴う主な地盤変状・構造物の被害

地名		地形・地質	主な地盤変状・構造物の被害	備考
米子市	安部彦名 団地	造成地	<ul style="list-style-type: none"> ・一帯で液状化、大量の噴砂 ・戸建て住宅の沈下、傾斜 ・共同団地周辺地盤の沈下 ・道路路面の変状 	(写真 2.6.1 参照)
米子市	富益団地	人工改変地	<ul style="list-style-type: none"> ・大量の噴砂 ・戸建て住宅の沈下、傾斜 ・道路路面の変状、埋設管の被害 	(写真 2.6.2 参照)
米子市	錦海町	埋立地	<ul style="list-style-type: none"> ・噴砂(マサ土) ・道路路面の変状 ・護岸のはらみ出し 	(写真 2.6.3 参照)
米子市	中海干拓地	干拓地	<ul style="list-style-type: none"> ・全域で液状化、噴砂、噴水(農地) ・干拓堤防の亀裂、沈下 ・道路路肩のすべり 	
米子市	彦名新田 (水鳥公園)	干拓地	<ul style="list-style-type: none"> ・噴砂、噴水 ・護岸堤防のはらみ出し ・堤体の亀裂、沈下 ・道路の亀裂、沈下 	(写真 2.6.4 参照) (同上)
境港市	昭和町 (カニ棧橋)	埋立地	<ul style="list-style-type: none"> ・岸壁のはらみ出し ・エプロンの沈下 ・水揚場床版の亀裂、沈下 	(写真 2.6.5 参照)
	昭和町 (南埠頭)	埋立地	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーソン岸壁と背後地盤との間に段差、亀裂 	
境港市	竹内団地	埋立地	<ul style="list-style-type: none"> ・全域にわたって液状化、噴砂が点在、噴水 ・埋立地と陸地との間を流れる水路の変状 ・水路をまたぐ道路、水管橋の損傷 ・道路路面の波打ち ・マンホールの浮き上がり ・建物の沈下 	(写真 2.6.6 参照) (写真 2.6.7 参照)
			<ul style="list-style-type: none"> ・公共マリーナ杭式棧橋の水没(杭の破壊) 	(写真 2.6.8 参照)
境港市	米子空港	埋立地	<ul style="list-style-type: none"> ・誘導路脇で噴砂 ・滑走路に亀裂 ・護岸の損傷 	



写真 2.6.1 共同団地周辺地盤の沈下
(米子市安部彦名団地)



写真 2.6.2 戸建て住宅の沈下、傾斜
(米子市富益団地)



写真 2.6.3 マサ土の噴砂
(米子市錦海町)



写真 2.6.4 護岸堤防のはらみ出し、堤体の亀裂、沈下
(米子市彦名新田)



写真 2.6.5 岸壁のはらみ出し
(境港市昭和町力二棧橋)



写真 2.6.6 噴砂孔
(境港市竹内団地)



写真 2.6.7 マンホールの浮き上がり
(境港市竹内団地)



写真 2.6.8 杭式棧橋の水没(杭の破壊)
(境港市公共マリナー)
境港管理組合のビデオテープより

2.6.4 米子市や境港市における液状化判定

(1) 液状化判定方法

液状化の判定には、 F_L 値を用いた簡易判定法や、地震応答解析を実施して液状化の発生を判定する方法などがある。ここでは、当該地震において F_L 値を用いた簡易判定の結果が実現象に比べてどのようになるのかについて検討を試みた。

まず、液状化現象が数多く見られた弓ヶ浜半島周辺臨海部の土質柱状図は、山陰臨海平野地盤図⁹⁾によった。記載されている柱状図から N 値が得られている液状化地点(18)、非液状化地点(3)の合計 21 地点を選び出し、 F_L 値の深度分布を計算した。ここで、液状化地点と非液状化地点は、地表面に噴砂、噴水が観察されたかどうかによって区別した。

$$F_L = R / L \quad \dots\dots\dots \text{式(2.6.1)}$$

ここに、R：地盤の動的せん断強さ比

L：地震時せん断応力比

簡易判定法としては、建築基礎構造設計指針に準拠した。この際、単位体積重量、細粒分含有率については土質分類に対応させた代表値を設定した。これら代表値を表 2.6.4 に示す。単位体積重量は文献¹⁰⁾を参考にした。細粒分含有率は定義に基づきその範囲の中央値に近い値とした。また、地表面の最大加速度の設定については、1)実測加速度を用いる方法、2)計測震度から推定する方法、3)マグニチュードと震央距離から推定する方法、4)アンケート震度から推定する方法などが考えられるが、今回は、計測震度やアンケート震度をもとにして、震度と最大加速度との関係式(河角の式) $\log(a) = 1/2 - 0.35(M)$ (a : 最大加速度、 M : 震度) より得られる最大加速度を丸めて設定した。その結果を表 2.6.5 に示す。

判定を行った 21 地点のうち、代表的な判定結果を図 2.6.4 ~ 図 2.6.6 に示す。

(2) 液状化地点

液状化判定結果を見ると、境港市昭和町や竹内団地では GL-30m 以深まで F_L 値は 1.0 を下回っている。全層にわたって液状化したと判断される。ただし、次の理由により液状化抵抗を小さく見積もっている可能性がある。すなわち、建築基礎構造設計指針では液状化抵抗が

表 2.6.4 土質分類と単位体積重量、細粒分含有率の代表値

土質分類		単位体積重量	細粒分含有率 F_c
砂および砂礫	密なもの $N = 30 \sim$	20 (kN/m ³)	3 %
	中位のもの $N = 10 \sim 30$	19 (kN/m ³)	
	ゆるいもの $N = 0 \sim 10$	18 (kN/m ³)	
砂質土	密なもの $N = 30 \sim$	19 (kN/m ³)	細粒分質 30 % 細粒分混り 10 %
	中位のもの $N = 10 \sim 30$	18 (kN/m ³)	
	ゆるいもの $N = 0 \sim 10$	17 (kN/m ³)	
粘性土	密なもの $N = 8 \sim$	18 (kN/m ³)	50 %
	中位のもの $N = 4 \sim 8$	16 (kN/m ³)	
	ゆるいもの $N = 0 \sim 4$	14 (kN/m ³)	

表 2.6.5 地表面の最大加速度の設定

震度階級	設定した最大加速度	液状化地点・非液状化地点	計測震度(参考)
震度 5 弱	100 gal		
震度 5 強	200 gal	米子市米子港、米子市皆生温泉、 米子市安部彦名団地、安来市	5.1 (米子測候所)
震度 6 弱	300 gal	境港市昭和町、境港市竹内団地	5.7 (港湾技術研究所)

拘束圧と細粒分含有率(F_c)の影響を考慮した補正 N 値に基づいて評価される。 F_c が増加すると、補正 N 値増分は大きくなるが、 F_c が 50%を上限としているため、今回の判定においては 50%以上の F_c に対しては $F_c=50%$ の増分しか考えていない。したがって、判定において評価されている液状化抵抗は小さく評価されている可能性がある。この点についてはさらに詳細な検討が必要であると思う。

境港市昭和町力二棧橋地点の判定では、地下水位(GL-1.3m)から GL-4.5mの埋立層と GL-7mから GL-35mまでの砂質土、シルト質土で F_L 値が 1.0 を下回っている。ところが、GL-2mから GL-4.5mでは F_L 値が 0.6 以下であるのに対して、GL-7m以深では F_L 値は 0.6 以上である。 F_L 値の大きさを比較して上部の液状化層の方が液状化の程度が重度であると考えられる。したがって、岸壁のはらみ出しなどの被害が生じた要因として GL-4.5m 以浅の埋立層の液状化が考えられる。液状化に伴う側方流動があった事実と整合する結果となっている。

(3) 非液状化地点

図 2.6.2 によれば米子市皆生温泉付近において液状化危険度判定結果は危険度大と予測されている。また、図 2.6.6 に示す液状化判定結果においても GL-5.0m 以浅で F_L 値が 1.0 を若干下回る結果となっている。しかし、森⁸⁾の調査結果によればこの付近での液状化現象は観察されていない。この理由については不明であるが、その要因の一つとして表層付近に非液状化層が堆積していることにより、液状化現象が地表面に現れなかった可能性も考えられる。

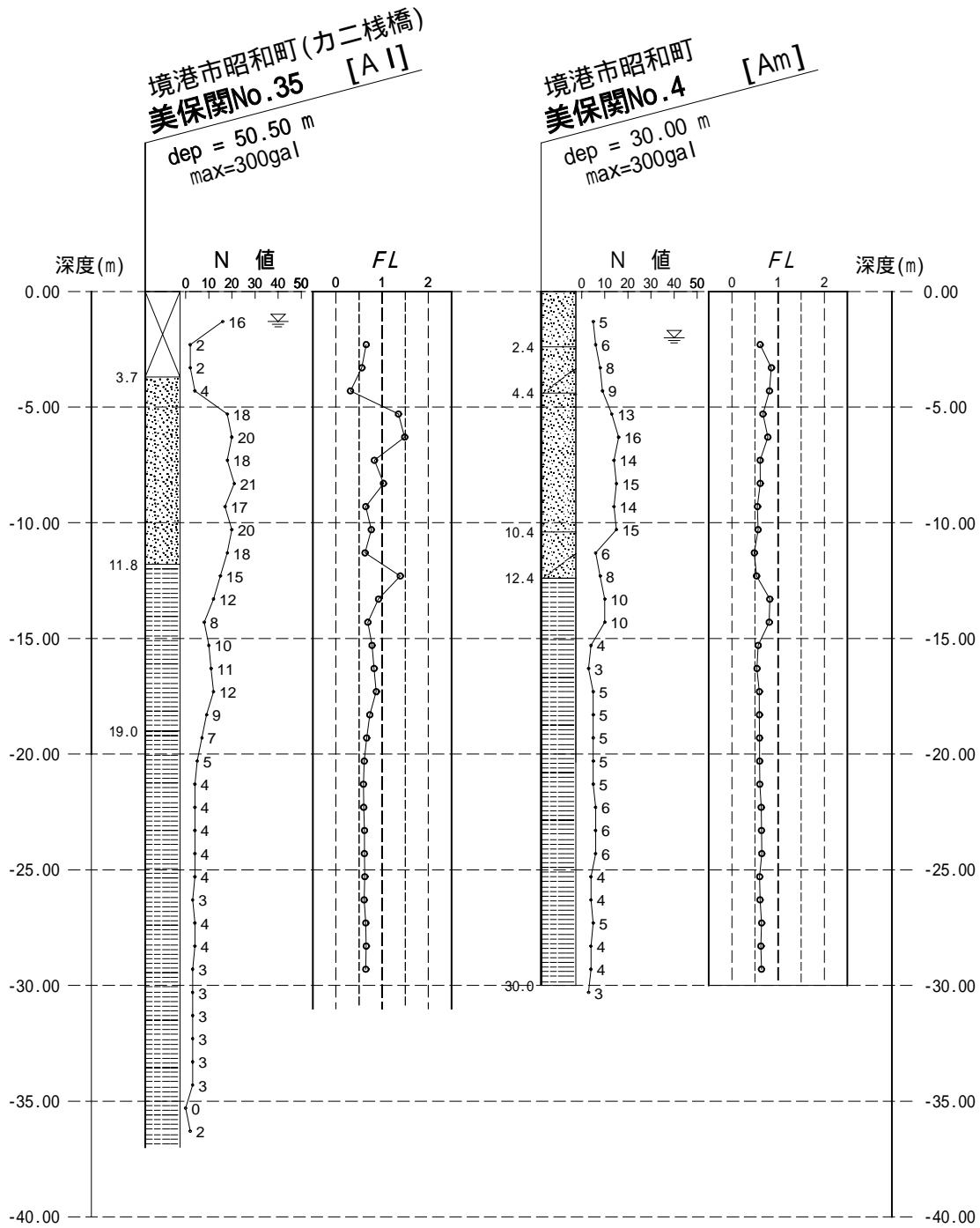


図 2.6.4 液状化簡易判定法による判定結果
(境港市昭和町)

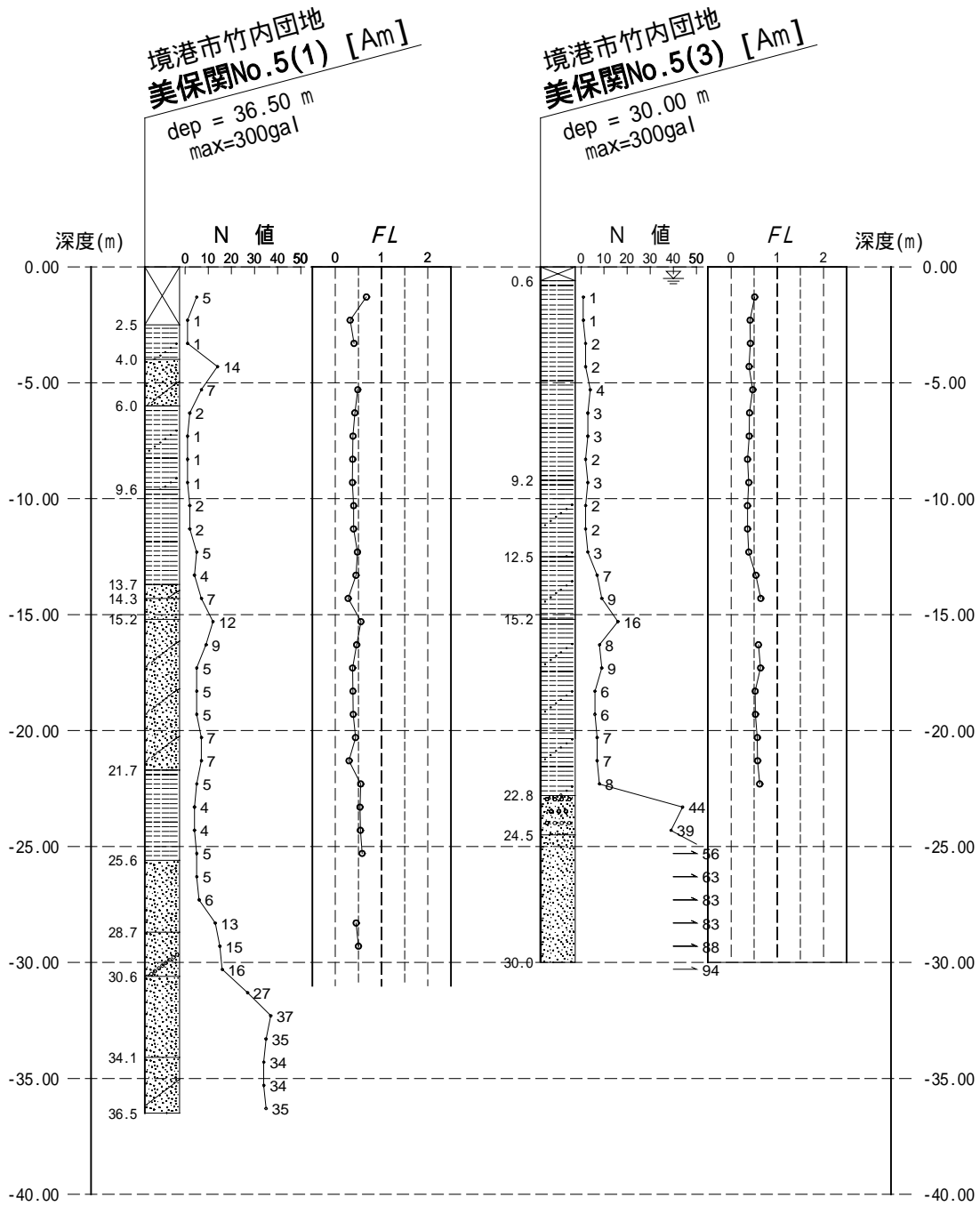


図 2.6.5 液状化簡易判定法による判定結果
(境港市竹内団地)

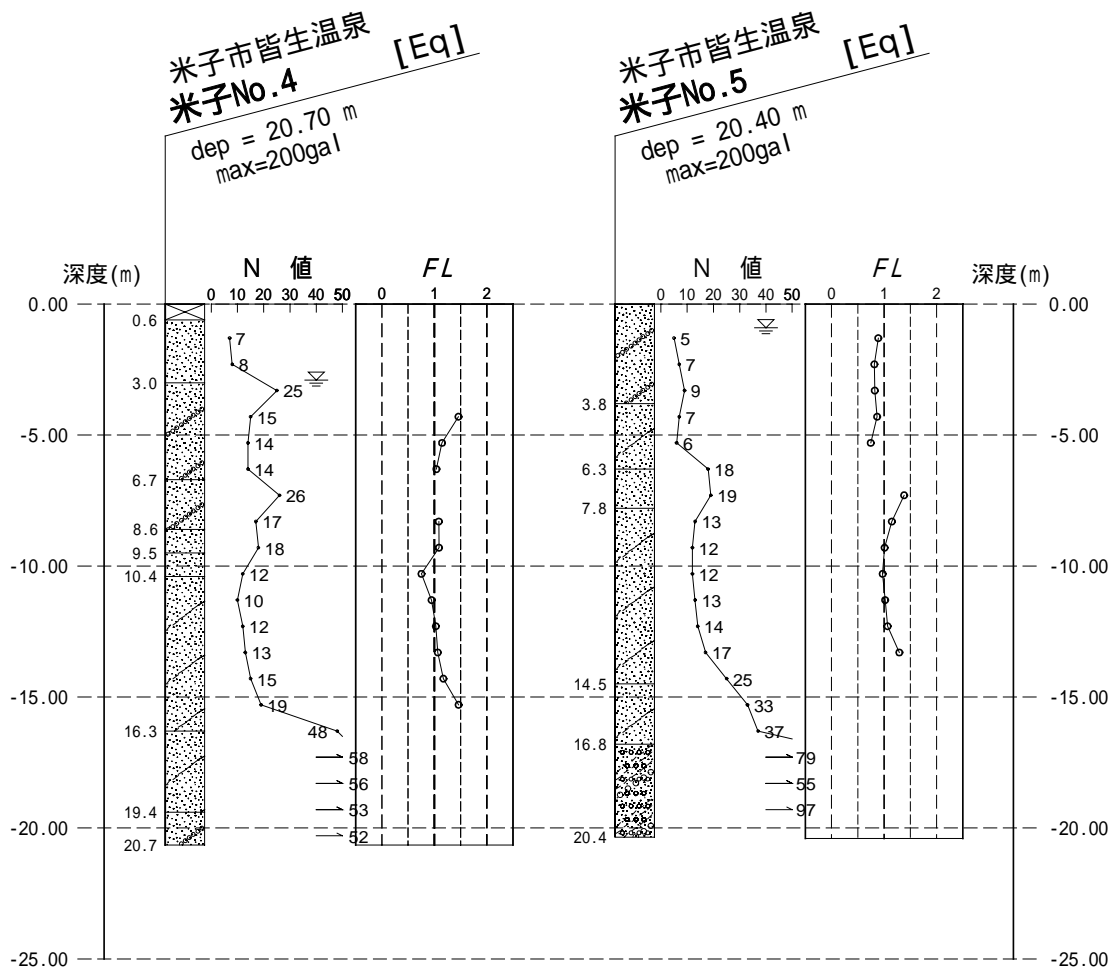


図 2.6.6 液状化簡易判定法による判定結果
 (米子市皆生温泉)

2.6.5 おわりに

平成12年鳥取県西部地震の液状化被害に関する調査・検討を行った結果、以下に示すことが明らかになった。

- 1) 鳥取県に液状化被害を及ぼした地震と液状化発生地点を確認した結果、今回の地震においても一部液状化の発生が確認できた。液状化の予測にあたっては、その地域での過去の液状化履歴の有無を確認することも重要であることがわかった。
- 2) 液状化被害は、鳥取県境港市から米子市にいたる弓ヶ浜半島の臨海部に位置する埋立地、干拓地、造成地に集中したことが確認できた。
- 3) 弓ヶ浜半島臨海部でも人工改変されていない沖積砂質土層においては、ごく一部を除いて液状化現象はほとんど地表には現れていないことがわかった。
- 4) 液状化に伴う構造物の被害は、過去に受けた事例と同様に、波打った道路路面、道路橋・水管橋取付部の損傷、建物の沈下や傾き、地下埋設物の損傷や浮き上がり、港湾施設岸壁のはらみ出し、エプロンの沈下や亀裂・目開き、護岸堤防の目地部のずれ、干拓堤防の亀裂や沈下・すべり、などであった。
- 5) 細粒分含有率80%以上のシルト質土の埋立地盤で液状化現象が見られた(境港市竹内団地)。

最後に、被害地震に学び、間近に見た構造物や地盤の損傷・破壊モードを今後の耐震設計に生かしていきたい。

謝辞：境港管理組合の岩本範男氏から貴重な資料を頂いたことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、地盤工学会：地盤工学ハンドブック，pp.1291～1323，1999.
- 2) 太田陽子・島崎邦彦編：古地震を探る，古今書院，pp.60～62，1995.
- 3) 守屋喜久夫：地震と地盤災害，鹿島出版会，pp.43～44，1984.
- 4) 土質工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで，pp.1～2，1993.
- 5) 栗林 栄一，龍岡 文夫，吉田 精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報第30号，181pp.，1974.12.
- 6) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック，p.1293，1999.
- 7) 寺見保正・三梨昂：宍道湖・中海低地帯周辺の地震動災害の予測に関する研究，島根大学地質学研究報告，2，pp.49～54，1983.
- 8) 森伸一郎：液状化被害(その3)，平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告，地盤工学会，pp.78～82，2000.12.
- 9) 中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図，1995.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 共通編，p.47，1996.