

平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震

調査報告書

平成 12 年 11 月

基礎地盤コンサルタンツ株式会社

営業所一覽

		TEL	FAX
本	5	03-3263-3611	03-3262-7737
地盤工学センター	5	03-3727-6158	03-3727-6247
岩盤工学センター	5	0745-32-6486	0745-32-5616
ジオ・エンジニアリングセンター	5	043-250-5228	043-250-4542
海外事業部	5	03-3239-4451	03-3239-4597
北海道支社	5	011-822-4171	011-822-4727
道東支店	5	0154-22-8356	0154-22-8357
苫小牧事務所	5	0144-57-5956	0144-57-5960
函館事務所	5	0138-24-3037	0138-24-3038
泊調査事務所	5	011-822-4171	011-822-4727
東北支社	5	022-291-4191	022-291-4195
山形支店	5	023-645-4411	023-645-4553
青森事務所	5	0177-22-5861	0177-22-5876
秋田事務所	5	018-864-4770	018-865-4259
福島事務所	5	024-545-1176	024-545-1322
盛岡事務所	5	019-636-0920	019-636-0930
関東支社	5	03-5632-6800	03-5632-6815
横浜支店	5	045-212-0422	045-212-0433
川崎事務所	5	044-865-9118	
相模原事務所	5	0427-40-2535	
埼玉支店	5	048-653-7291	048-653-7293
浦和事務所	5	048-874-5722	
川口事務所	5	0482-54-9121	
千葉支店	5	043-254-5571	043-254-5651
市川事務所	5	047-393-2103	047-300-8186
水戸支店	5	029-227-3423	029-227-3422
土浦事務所	5	0298-26-8661	
栃木事務所	5	028-651-4165	028-651-4164
群馬事務所	5	027-324-7681	027-324-7819
多摩事務所	5	042-548-7731	042-548-7732
大田事務所	5	03-3727-6731	03-3727-6731
新宿事務所	5	03-5360-4189	03-5360-4189
中部支社	5	052-589-1051	052-589-1275
静岡支店	5	054-284-2010	054-284-2091
三重事務所	5	059-235-5733	059-235-5735
岐阜事務所	5	058-276-7012	058-276-7015
関西支社	5	06-6536-1591	06-6536-1503
兵庫支店	5	078-811-7916	078-811-7919
滋賀事務所	5	077-526-0755	077-526-3507
京都事務所	5	075-361-7831	075-361-7832
奈良事務所	5	0742-35-5191	0742-35-5193
中国支社	5	082-238-7227	082-238-7949
四国支店	5	089-927-5808	089-927-5812
高知事務所	5	088-883-0088	088-883-0261
徳島事務所	5	088-657-0550	088-657-0505
岡山支店	5	086-244-8161	086-244-6165
山口支店	5	0839-25-2080	0839-25-2081
島根事務所	5	0852-28-7244	0852-28-7245
九州支社	5	092-831-2511	092-822-2393
長崎支店	5	095-821-7150	095-821-7180
熊本支店	5	096-386-1400	096-386-1403
大分事務所	5	097-538-9033	097-538-9035
宮崎事務所	5	0985-25-3267	0985-25-3024
鹿児島事務所	5	099-257-1522	099-257-1396
沖縄事務所	5	098-982-2240	098-982-2239
北陸支店	5	025-257-1888	025-257-1880
金沢事務所	5	076-249-4492	076-249-4495

はじめに

平成 12 年 10 月 6 日の昼下がり、中国地方を突然地震が襲った。この地震は、鳥取県米子市の南約 20km、深さ約 10km を震源とする M7.3 の規模で、気象庁により「平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震」と命名された。マグニチュードの大きさは兵庫県南部地震の M7.2 を超える規模であるが、地盤が比較的堅固であったことや人口稠密地域ではなかったことなどが幸いして、兵庫県南部地震のような大災害には至らなかった。しかしながら沿岸部での液状化災害や、内陸部での家屋倒壊や斜面災害など多くの被害が生じている。

今回の災害調査は、沿岸部における液状化被害を中心としたものである。そのため、今回の地震被害の全容を必ずしも示しておらず、特に、斜面災害に関しては今後各方面から出される調査報告を参照して頂きたい。また、報告は速報性をもたせることから、被害の実態を示すことに主眼を置き、原因の究明などの分析は極力省いている。一方、地震直後の状態を記録する意味で、変状の写真のみならず簡単な実測データも記載するように努めた。

この報告書が、地震災害のメカニズムに関する研究や今後の地震対策に少しでも役立てば幸いである。

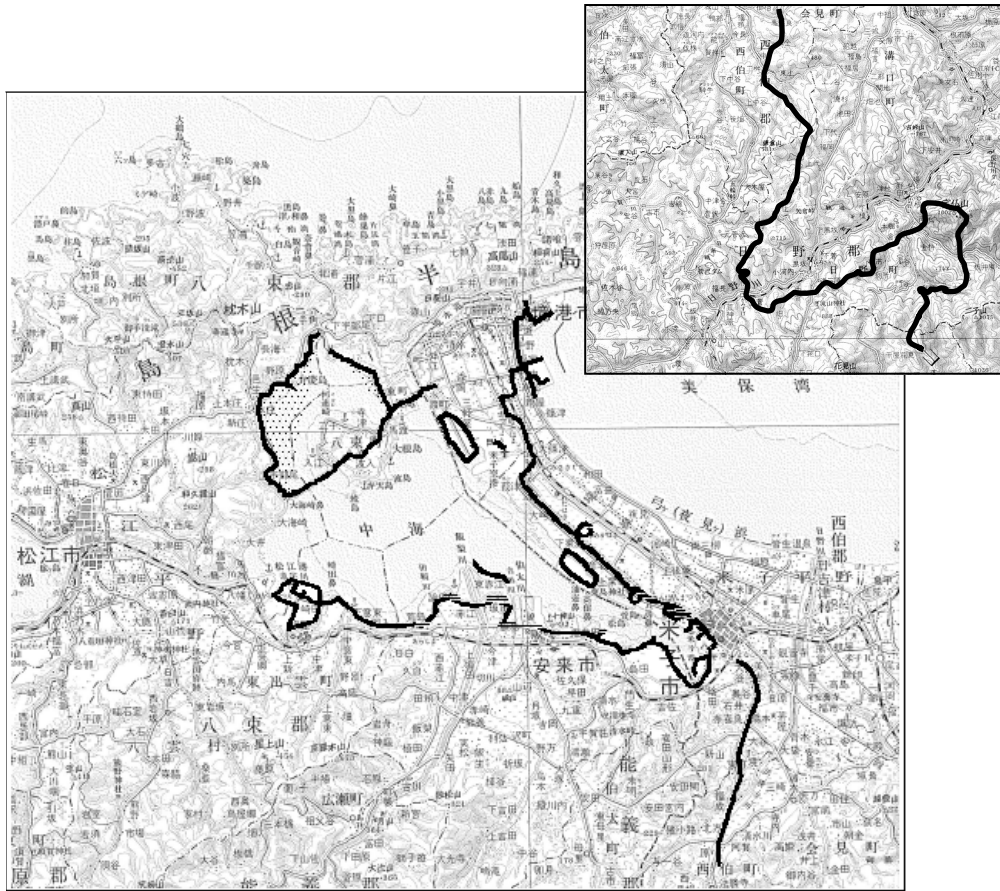
平成 12 年 11 月

竹内団地の噴砂の状況



航空写真撮影：(株)八州

概略調査ルート



調査日程

第一次調査	平成 12 年 10 月 7 日～8 日
第二次調査	平成 12 年 10 月 17 日～18 日
第三次調査	平成 12 年 10 月 20 日～21 日

被害調査団メンバー

本社技術開発部	森本 巖、ミシュコ・チュブリノフスキー
	山本裕司、亀井祐聡
中国支社	岩崎公俊、砂川伸雄、沖胡俊之
	茶屋義英、浅香寛之
岡山支店	佐藤弘行、山野賢三、須田貴裕
島根事務所	樋口昭雄

目 次

1. 地震の概要	
1.1 地震の諸元	1
1.2 各地の震度	3
1.3 最大加速度・波形	4
1.4 地震履歴	6
2. 地質・地盤状況	
2.1 地形・地質の概要	9
2.2 地盤の工学的特性	13
3. 地盤の液状化	
3.1 液状化地点の分布と特徴	16
3.2 噴砂の物理特性	17
3.3 液状化地盤の強度特性	18
4. 地震被害	
4.1 被害の概要	21
4.2 住宅地・建築物の被害	24
4.3 港湾・漁港施設の被害	32
4.4 埋立地の被害	40
4.5 堤防・護岸の被害	46
4.6 斜面崩壊	51
おわりに	53
巻末資料 ー各新聞の抜粋ー	

1.1 地震の諸元

平成 12 年(2000 年)10 月 6 日午後 1 時 30 分頃、島根県米子市の南方約 20km、深さ約 10km を震源とする M7.3 の地震が発生した。気象庁はこの地震を『平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震』と命名した(本報告では、略して「鳥取県西部地震」と呼ぶ)。境港市と日野町で震度 6 強、西伯町と溝口町で震度 6 弱を観測したほか、中国四国地方の広い範囲で震度 5 や 4 を記録した¹⁾。気象庁の速報震源は以下の通りである。

発生年月日： 2000 年 10 月 6 日 13 時 30 分
マグニチュード： 7.3 (7.1 から上方修正)
震源の位置： 北緯 35.2 度、東経 133.3 度 約 10km

余震は図-1.1.1 に示すように、中海の南部から鳥取県と岡山県の県境付近にかけて、北北西～南南東方向に長さ約 30km の範囲に分布する。余震の数は時間とともに減少しているが、翌日以降、震源の西南西方向及び東北東方向に 20km ほど離れた地域に地震活動が広がった。

地震発生から 1 ヶ月を経たこれまでのところ最大余震は、10 月 8 日の 20 時 51 分ごろ北北西～南南東に伸びる余震域の北側で起きた M5.2 の地震で、西伯町で震度 5 弱を記録している。また誘発された活動地域で、10 月 8 日の 13 時 17 分ごろ M5.4 の地震が発生し、最大震度 4 を観測した¹⁾。

図-1.1.2 に、インターネット上で公開されている遠地の広帯域観測記録及び近地の強震記録により得られた震源のインバージョン結果を示す (Yagi and Kikuchi(2000)²⁾)。結果を簡単にまとめると、次のようになる。

- 断層はほぼ鉛直で長さ約 20km 幅 10km、ほぼ純粋な左横ずれである。
- 破壊は断層中央部の下端から始まり、上方・両端に向けて約 9 秒間かけて広がる。
- 特に断層の南側(山地側)の深さ 3 から 9km で大きなすべりが生じ、最大 3.6m に達する。

地震の規模は、気象庁マグニチュード M_{JMA} では 7.3 と、1995 年兵庫県南部地震の 7.2 を上回るが、モーメントマグニチュード M_w は 6.6 で、兵庫県南部地震の 6.9 を下回り、エネルギーとしては小さかったようである。

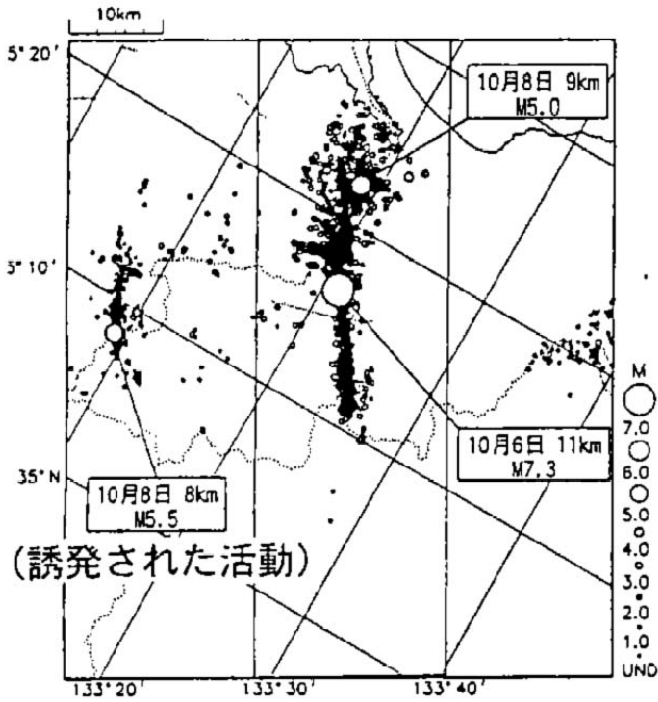


図-1.1.1 余震分布図 (10月16日気象庁発表)¹⁾

2000 Tottori Earthquake

Moment = $0.109E+20$ Nm, $M_w = 6.6$
 (Strike, Dip, Slip) = (150.0, 87.0, 0.9)
 Y. Yagi and M. Kikuchi (2000)

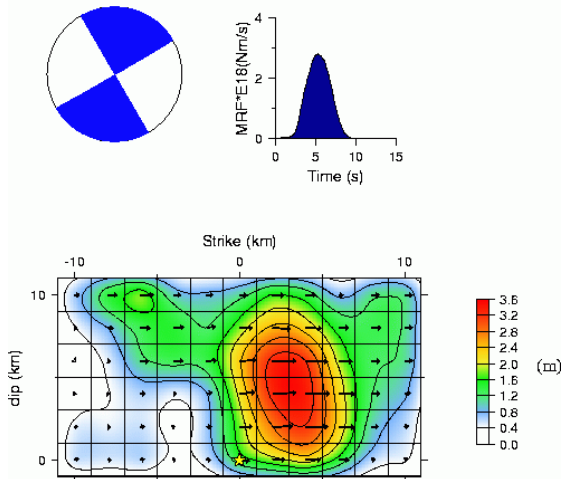


図-1.1.2 波形インバージョンの結果
 [Yagi and Kikuchi(2000)²⁾]

1.2 各地の震度

各地の震度は、図-1.2.1 に示す通りである。防災科学技術研究所の強震計ネットワーク（K-NET）のデータを使用して、東大地震研究所が震度を算出したもの³⁾を再構成した震度分布図である。この図では震央から半径 150 km 圏内で、震度 4 以上の地点を抽出している。

計測震度の大きい地点は、米子、江府、新見で震度 6 弱、松江、日南、富野で震度 5 強である。震度 4 となったのは中国 5 県と四国 4 県、さらに兵庫県、大阪府まで広がり、かなり広い範囲で大きな揺れがあったことを物語っている。

なお、震度 6 強は 1996 年 10 月に震度の強弱の区別を設け、震度を 10 段階に分けて以降、初めて観測された。

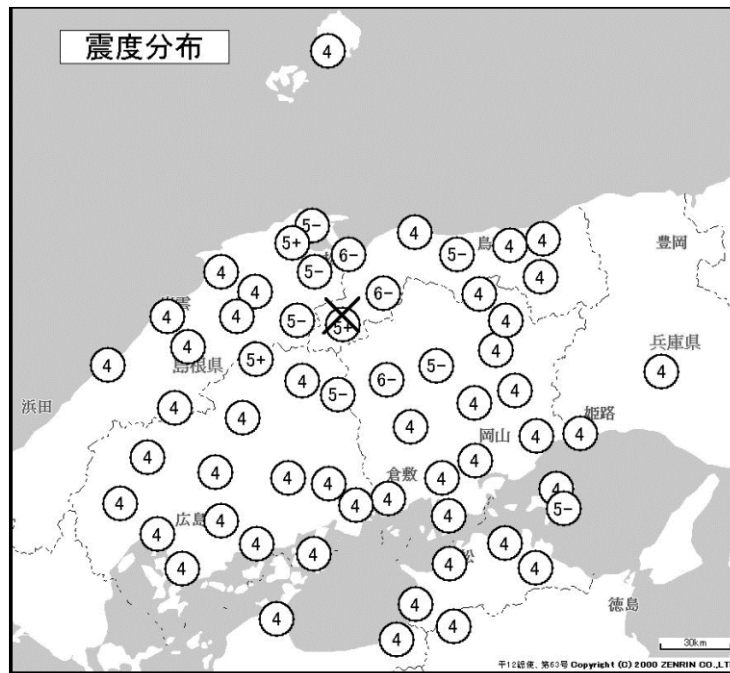


図-1.2.1 各地の震度分布³⁾

1.3 最大加速度・波形

今回の地震で、全国に展開されている K-NET により、本震および多くの余震の時刻歴波形が得られている⁴⁾。図-1.3.1 に震源周辺の観測点分布、表-1.3.1 に同観測点の最大加速度値を示す。最も大きな加速度を示したのは新見で 817gal(EW 方向)であった。また防災科学技術研究所は、基盤強震観測網(KIK-NET)も展開しており、ほぼ震源直上の日野町で最大加速度 926gal を観測している。

図-1.3.2 に軟弱な地盤上の観測点である米子と松江を、図-1.3.3 に硬質地盤上の観測点である日南と江府の時刻歴波形を示す。両者を比較すると、硬質地盤は振幅が大きく、短周期成分が目立つ波形であり、軟弱地盤の波形は振幅がそれほど小さくなく、周期も硬質地盤に比べ長めである。これは地盤条件や、前述の震源特性(震源の南側で大きな破壊が生じた)等が原因であると考えられる。

表-1.3.1 震源周辺で観測された最大加速度⁴⁾

観測点名	最大加速度(gal)		
	NS	EW	UD
美保関	230	247	83
松江	151	175	105
米子	314	384	308
広瀬	151	267	154
江府	725	573	404
横田	502	317	152
日南	629	595	289
新見	528	817	171

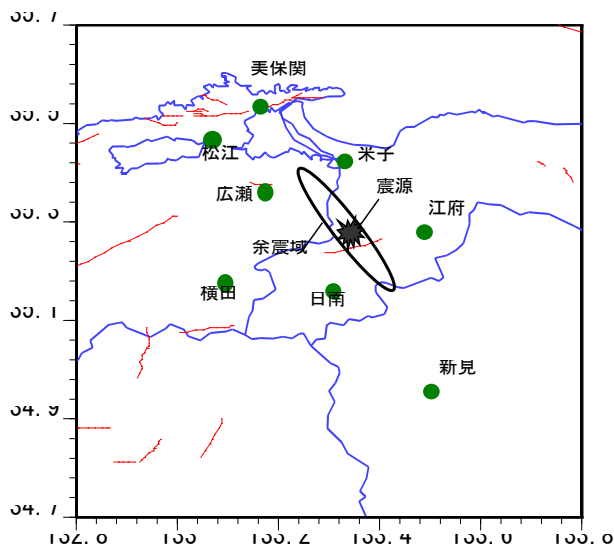
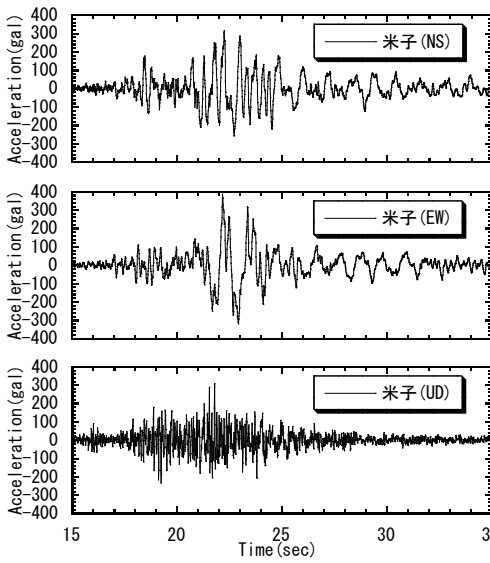
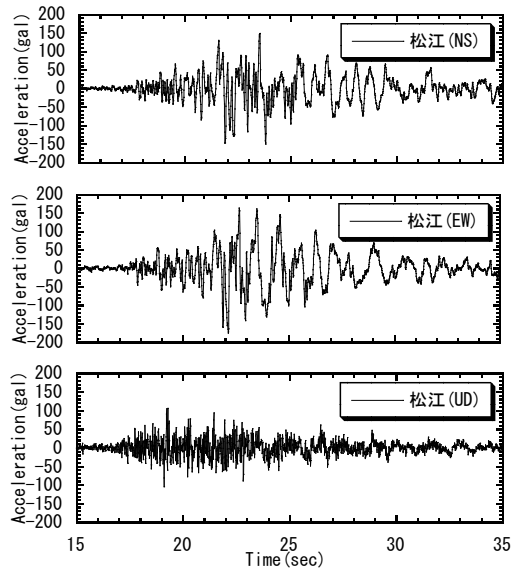


図-1.3.1 震源周辺の K-NET 観測点位置図⁴⁾

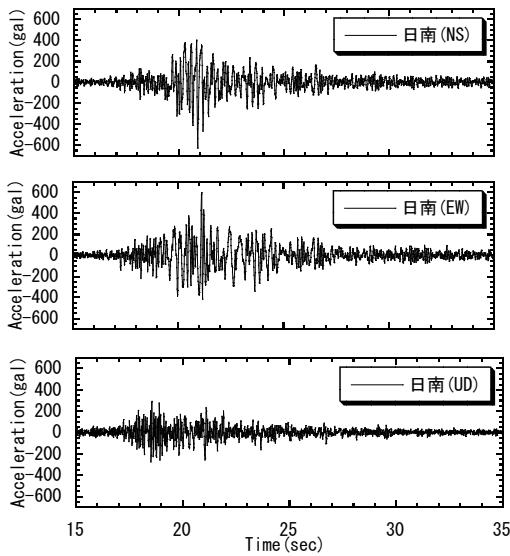


(a) 米子観測点

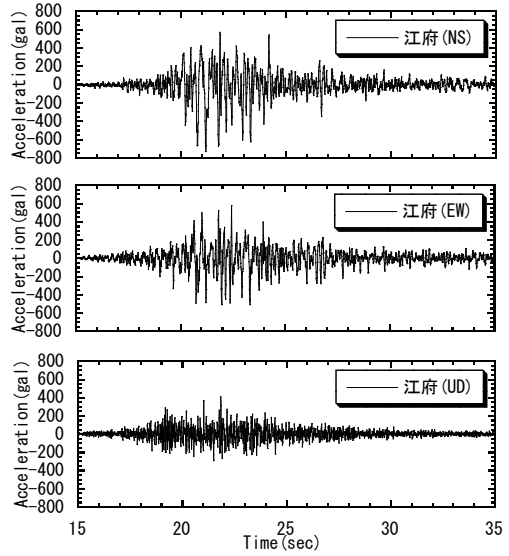


(b) 松江観測点

図-1.3.2 軟弱な地盤上の観測波形⁴⁾



(a) 日南観測点



(b) 江府観測点

図-1.3.3 硬質地盤上の観測波形⁴⁾

1.4 地震履歴

表-1.4.1 に鳥取県西部地震の震源付近（半径 150km 以内）で過去に被害があった地震の一覧を示す。また図-1.4.1 に分布図を示す。

表-1.4.1 島根、鳥取県周辺の地震被害一覧表⁵⁾

	発生年月日	震央位置	M	被害概要
1	1733年 9月18日	安芸	6.6	奥郡に被害あり。因幡でも地おおいに震う。京都・池田・讃岐・岩国・出雲で有感。
2	1748年 6月18日	松江		雲州地震、松江鶴部屋橋石壁崩れ橋落つという。『出雲私史抜萃』による。被害記事1点のみ。土佐・岩国有感。
3	1835年 3月12日	石見	5.5	島根県高畑村で石地藏・石塔・墓石など倒れ、蔵の壁破る。久保・長原で石垣崩る。福山・鞆・伊予小松・大阪で有感。
4	1855年 8月16日	米子		米子城内石垣ところどころ崩れ、あるいは孕み・地割れもあり、8月4日にも地震あり。京都有感。
5	1904年 6月6日	宍道湖 付近	5.8	同日の3時40分に緯度 λ 、経度 ϕ を同じくするM=5.4の地震があった。後のほうがやや強かった。前の地震で能義郡大塚村で家屋の壁破損1、同郡母里(母)村で堤防の亀裂2。本震で能義郡宇賀荘村で堤防の亀裂、大塚村・母里村で瓦の墜落などの被害があった(被害地はいずれも現安来市と伯太(ワタ)町の中間)。
6	1914年 5月23日	出雲 地方	5.8	島根県能義郡・八束郡・大原郡で壁の亀裂、土地の崩壊・亀裂などがあり、玉造温泉は湧出量が3倍となり昇温した。[参考：石田雅生、1915、出雲東部の強震について、気象集誌、34、61]
7	1919年 11月1日	広島県 三次 付近	5.8	三次・山内西・八次・和田(和知は和田村の一部)の各町村で煉瓦窓の破損・土蔵壁の亀裂・石垣の小破壊・石碑の転倒などの被害。井水の増減あり、地鳴りは本震後数日間、しばしばあった。10日までの毎日余震数は順次に17、10、6、10、6、8、8、9、2、4の計80回、そのうち2日08時27分と3日19時08分のはやや強かった。
8	1925年 7月4日	美保湾	5.8	境・米子付近で強く、壁の亀裂、屋根瓦の落下、道路・堤防の亀裂、石垣の破損も多く、地割れからの噴水や、細砂を噴出し埋没した井戸があった。墓石の転倒・回転もあった。同日04時34分、08時53分、5日23時53分、11日17時33分に日野川沿いに余震があった。
9	1930年 12月20日	三次 付近	6.1	有感余震回数は表462-1のとおり。このうち、21日21時14分($\lambda = 132.86^\circ$ E $\phi = 34.86^\circ$ N M=5.9 h=0km)のものが最大であった。三次の北方、君田・布野・作木・河内の村々、とくにその北半分で強く感じた。各所で石崖が崩れた。櫃田で住家破損1、茂田で土蔵壁破損。石崖崩れは西野で4、光守5、大島2、上郷で20あった。その他三次・八次・十日市・庄原・島根県赤名で微小被害。震央地方では本震以来絶えず地鳴りを聞いた。また、付近で井水、湧水が涸れたり、濁ったりした(増水したところはなかった)。発光現象の報告あり。
10	1938年 1月2日	岡山県 北部	5.5	伯備線備中神代駅で落石あり、貨車と付近の家屋に小被害。
11	1943年 3月4日	鳥取市 付近	6.2	ひきつづいて19時35分($\lambda = 134.17^\circ$ E $\phi = 35.47^\circ$ N M=5.7 h=10km)に地震があり、翌5日04時50分に $\lambda = 134.22^\circ$ E $\phi = 35.50^\circ$ NにM=6.2 h=0kmの地震があった。鳥取市、気高(ケタカ)・岩美・八頭(ヤズ)の各郡、とくに海岸に小被害。軽傷11、建物(含

11				非住家・塀など倒壊68, 同半壊515. だが, 住家の倒壊は10軒未満だったらしい. 賀露(加)港の護岸3カ所で崩れ, 湖山村で延長300mの崖崩れあり. 地鳴りも各地で聞こえ, 温泉や井水の異常もあった. 発光現象も見られた. 余震数(19時を境とする24時間ごと. たとえば5日は4日19時~5日19時を意味する)は図501-1のように減っている. とくに8日11時, 13日00時24分($\lambda = 134.08^\circ \text{ E}$ $\phi = 35.24^\circ \text{ N}$ $M = 5.8$ $h = 0\text{km}$)にやや大きい余震があった.
12	1943年 9月10日	鳥取 付近	7.2	被害は鳥取市の被害は全体の約80%に達する. とくに沖積地の被害が大. 市内で12カ所から出火, のちにさらに4カ所から出火した. 吉岡断層(長さ4.5km, 北側は最大50cm沈下し, 東方へ最大90cm動く. 断層面はほとんど垂直な逆断層)と鹿野断層(長さ約8km, 南西翼では北が南に対し最大75cm沈下し東方に最大150cmずれ, 北東翼では南側が最大50cm沈下し, 西方にわずかずれ, 断層面は60~70°で北に傾く) [以上は地質学的調査の結果] を生じた. 鹿野断層上の家は倒れなかった. 家の下部は裂けていたが, 棚のものは落ちなかったし, 外に出たら断層ができていたという. また, 測量の結果によると1935~43年9月の間に鳥取市の南方で約20cmの沈降が認められた. 図503-3は全壊家屋の全戸数に対する村別の比を示す. 余震が多く図503-2は鳥取市における臨時観測による余震回数の変化で, 図503-4は9月14日~10月10日の間のおもな余震の分布図である. このほかに, 道路損55カ所, 橋梁損19カ所, 堤防損42カ所, 工場の全壊70棟などの被害があった. 兵庫県北西部浜坂村にも小被害があった. また, 地割れや地変も多かった. 被害実数は文献により約1割の違いがある. また, 図503-5のように生野鉦山(震央距離60km)坑内の水平振子傾斜計は地震の6時間前から震央方向が隆起するような傾動を示した.
13	1950年 8月22日	三瓶山 付近	5.2	震央付近で崖崩れ・壁の亀裂・墓石の転倒・井水の白濁等の微小被害があった.
14	1955年 6月23日	鳥取県 西部	5.5	同日22時19分($\lambda = 133.33^\circ \text{ E}$ $\phi = 35.23^\circ \text{ N}$ $M = 4.6$ $h = 20\text{km}$), 23時13分($\lambda = 133.33^\circ \text{ E}$ $\phi = 35.22^\circ \text{ N}$ $M = 4.3$ $h = 10\text{km}$)にも日野郡根雨地方に地震があった. 根雨町付近で石垣の破損・落石・橋の脚台破損などの小被害. 地震は5月22日からあった. 毎日の有感地震回数と根雨における震度は表531-1のとおり. 一印は震度不明, 記載のない日には地震はなかった.
15	1970年 3月13日	広島県 北部	4.6	沓ヶ原付近に地震が頻発した(4月末ごろまで). 落石多く, それにより農家の納屋破損.
16	1970年 9月29日	広島県 東南部	4.9	御調郡久井町で用水路破損し, 水田が冠水した.
17	1977年 5月2日	三瓶山 付近	5.3	気象庁による震度分布は図のとおり. しかし震央付近の八神・角井・志津見ではIV~Vと見られる. 震央付近では有感余震が約1ヵ月後まで感じられた. 震央付近で壁の亀裂, 剥落, 崖崩れ, 地割れなど軽微な被害が見られた. 掛合町小原地区では墓石がすべて倒れた.
18	1978年 6月4日	島根県 中部	6.1	気象庁による震度分布は図628-1のとおり, このほかに熊谷と横浜で震度 I であった. 同日06時03分に $M = 5.2$ の余震($\lambda = 132^\circ 41' \text{ E}$ $\phi = 35^\circ 05' \text{ N}$ $h = 0\text{km}$)があった. 三瓶山の南東の大田市志学, 頓原町, 邑智(ウチ)町に被害. 壁の亀裂・剥落, 墓石の転倒, 石垣や道路の小被害, 崖崩れがあった. 住家被害の全くない町村でも道路・水道などのライフラインに被害が出た. 湧出量の増加した温泉(池田ラジウム鉦泉, 大和村ガンマ温泉)があった.

19	1983年 10月31日	鳥取県 沿岸	6.2	傷約10人。倉吉市東庁舎(鉄筋コンクリート3階建)の柱に剪断破壊が生ずるなどの被害があった。青谷町で約200戸断水。
20	1989年 10月27日	鳥取県 西部	5.4	震源は日野町付近で前の地震で道路への落石2ヵ所(日野町), 棚の商品落下(松江市・米子市)。あとの地震で棚の商品の落下(米子市)があり, 日野町に小亀裂1本(長5m)。前の地震で日野町の震度は IV と推定される。
21	1991年 8月28日	島根県 東部	5.9	最大震度は IV (松江・米子), 震央付近の能義郡・平田市などでは落石, 公共施設や住家の亀裂などの小被害があった。

注：表中に示す図は文献5)を参照。

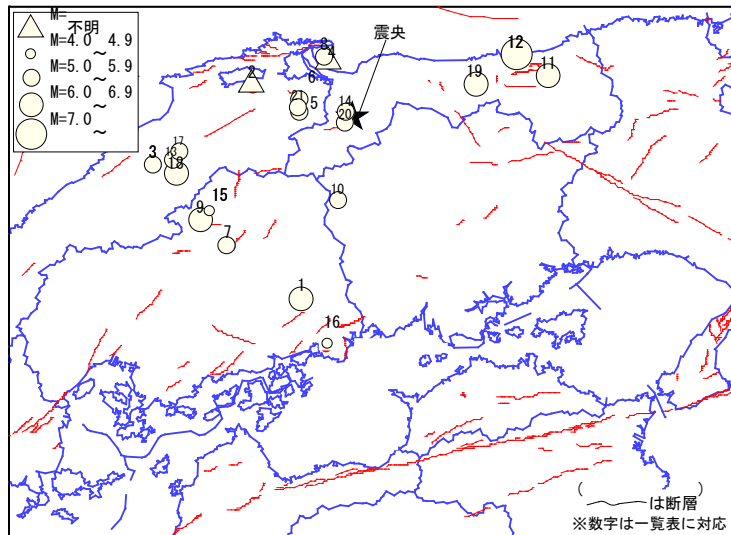


図-1.4.1 島根、鳥取県の被害地震分布図⁵⁾

【 参考文献 】

- 1) 気象庁報道発表資料, 平成 12 年 10 月 16 日 18 時.
- 2) Yagi and Kikuchi 2000, Source Rupture Process of the Tottori-ken Seibu earthquake of Oct. 6, 2000, <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/tottori/>
- 3) 東京大学地震研究所強震情報, 今月(2000年10月)の地震の震度分布より, <http://komoku.eri.u-tokyo.ac.jp/stmotion/html/2000/10/200010061330.html>
- 4) 防災科学技術研究所, 強震観測網 K-NET 公開データ, <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 5) 宇佐美龍夫, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 1996.

2 地質・地盤状況

2.1 地形・地質の概要

今回、液状化被害が多く見られた中海周辺は鳥取県と島根県の県境部に位置する。中海の南側は中国山地が広がり、北側の日本海に張り出した島根半島との間に、東より出雲平野、宍道湖、松江平野、中海、弓ヶ浜砂州へと連なる低地帯、いわゆる宍道低地帯が広く分布する。一方、今回の地震の震源付近の日野町地域には、中国山地の起伏量 200～600m の山地が広がる。

本章では中海周辺の島根県・鳥取県の両地域、および中国山地に位置する日野町地域を中心とした地形・地質概要を紹介する。

2.1.1 島根県側地域

中海の島根県側地域の地形は、図-2.1.1 に示すように東方より宍道湖と中海を結ぶ大橋川が流下し、大橋川の北側では僅かに三角州性低地が広がり、起伏量 200～400m の小起伏山地に分類される島根半島が広がる。南側では飯梨川の扇状地性低地や三角州性低地が中海の南縁を占め、その背後には起伏量 100～200m の大起伏丘陵地や起伏量 100m 以下の小起伏丘陵地、さらには起伏量 200～400m の小起伏山地が分布する。また中海の中ほどには、粘性の低い溶岩流によりできた比較的平坦な大根島や江島が見られる。

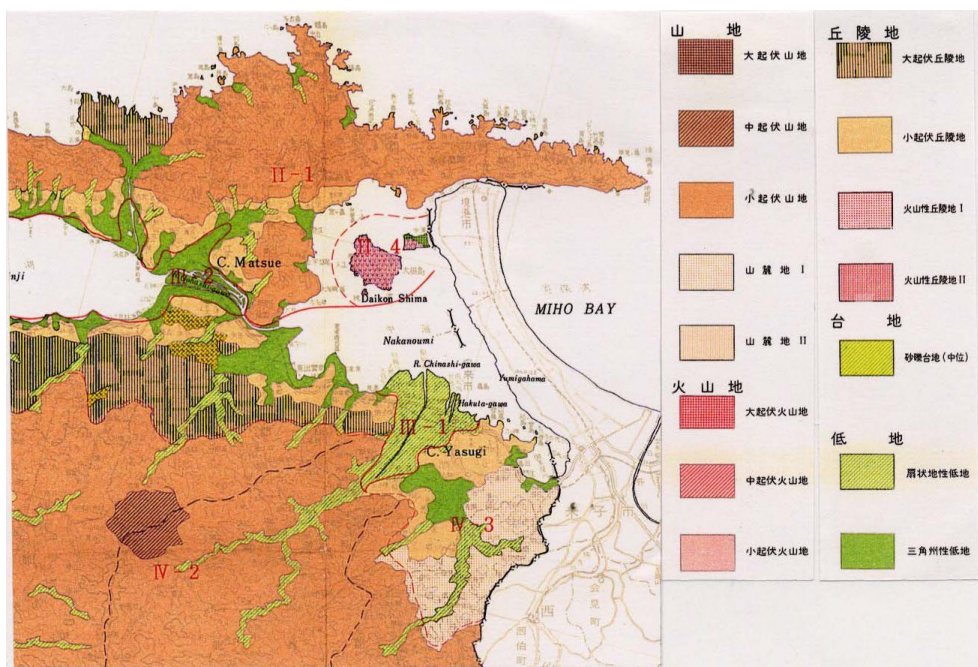


図-2.1.1 島根県側地域の地形分類図¹⁾

島根県側地域の地質は、図-2.1.4 に示すように島根半島では新第三紀の礫岩・砂岩・泥岩および凝灰岩や流紋岩類がの基盤を構成し、南側の飯梨川周辺では、新第三紀の流紋岩～石英安山岩・同質火砕岩や安山岩が基盤を成す。また飯梨川上流付近では古第三紀の花崗岩が広く中国山地まで分布する。

2.1.2 鳥取県側地域

中海の鳥取県側地域は、図-2.1.2 に示すように主に弓ヶ浜砂州からなる。弓ヶ浜砂州は、中国山地から米子市東部を北流する日野川の砂を主体とする運搬土砂が、美保湾流に流され米子市より北北西に延び、美保湾と中海を分かち全長18km、幅4km前後の規模を持つ湾口砂州である。一般に標高6m以下の極めて平坦な地形であるが、詳細に見れば、砂州・海岸砂丘・浜堤列などの微地形が複雑に発達し、それらの生成年代から中海側より、内浜・中浜・外浜砂州に分けられ、内浜付近では砂州の上に新砂丘が良く発達し、米子市彦名で海拔20mを越える。また内浜の西側や中海南縁には埋立・干拓地などの軟弱な地盤が広く分布する。

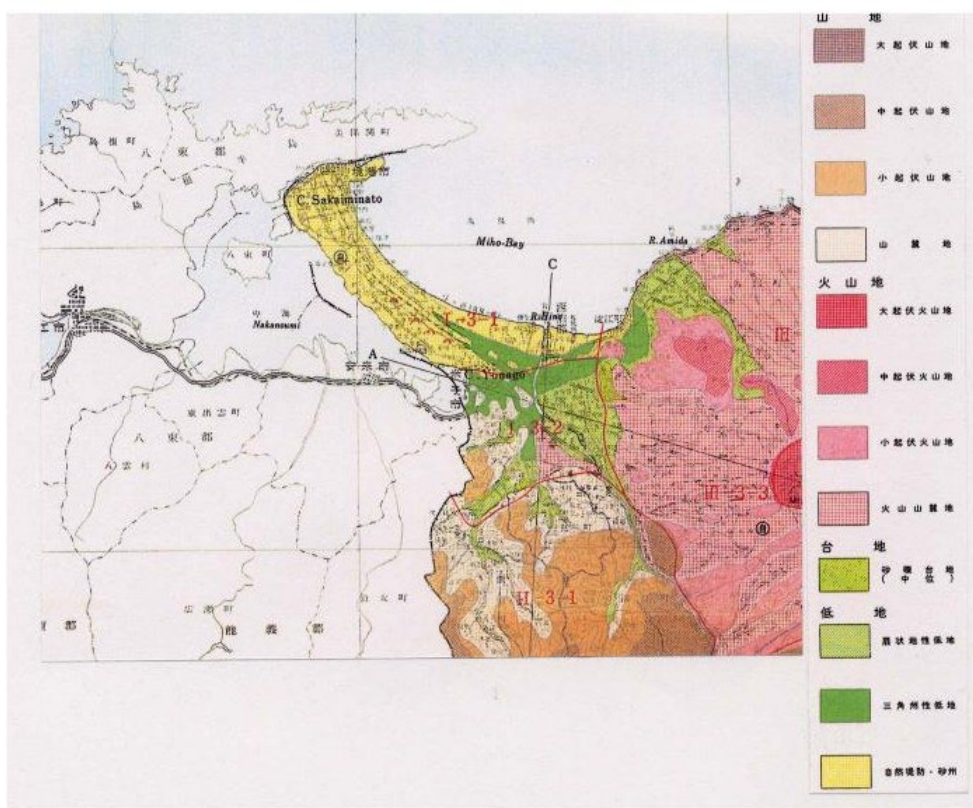


図-2.1.2 鳥取県側地域の地形分類図²⁾

また内浜の西側や中海南縁には、1963年に開設された国営中海土地改良事業による干拓地が分布し、揖屋、安来、弓ヶ浜の3工区は1988年に事業が完了した。干拓地の堤防材料は、中海の湖底の砂をサンドポンプで吹上げたところが多く、粒径の細かい細粒砂が主体である。築堤砂は層厚5～15mで分布し、貝殻片やシルト質砂が多く見られ、N値は0～10と緩い締まり状態を呈している。

2.1.3 日野町地域

日野町地域は、図-2.1.3に示すように大部分は小起伏面の地形で、付近には南方の道後山山地や北方の鎌倉山山地など標高700～1,100mの急峻な山々が広がる。また付近を日本海に流下する日野川沿いには、深い峡谷地形が分布し小起伏面を開析している。この日野町地域一帯では古来より砂鉄採取が盛行し、砂鉄採取跡が崩壊地地形として残っている。境港地域に分布する弓ヶ浜の外浜は、この砂鉄採取による「鉄穴(かんな)ながし」と呼ばれる多量の風化花崗岩の運搬土砂より形成されたとされている。

日野町地域周辺の地質は、変成岩類の泥質片岩や塩基性片岩のほか中生代白亜紀～新生代古第三紀の花崗閃緑岩や花崗岩類が周辺の基盤を構成する。

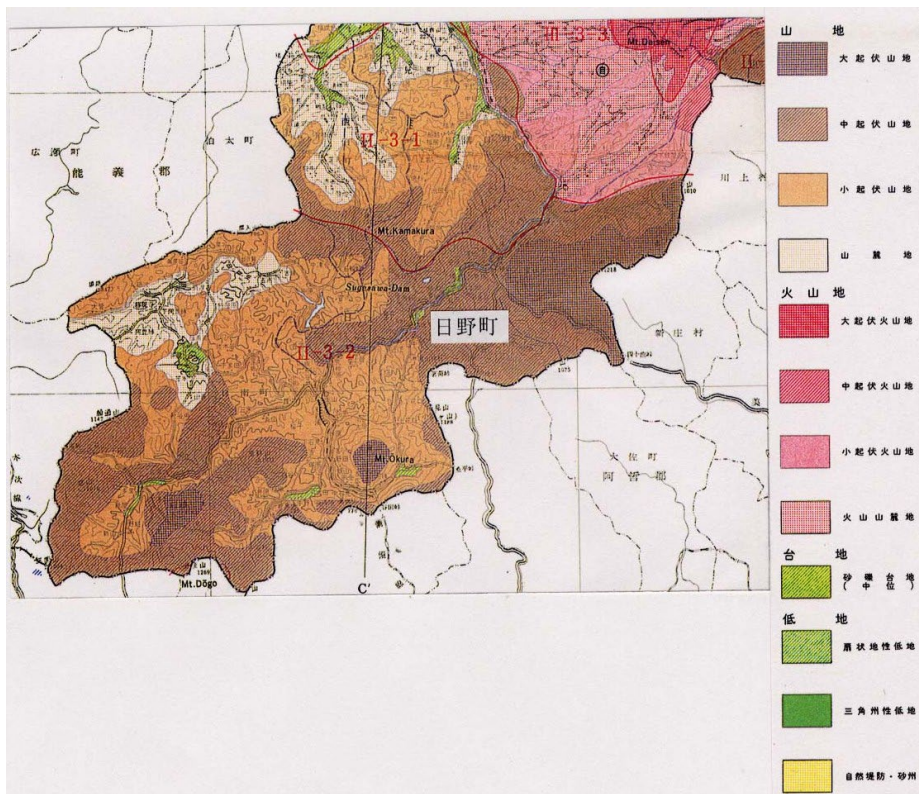


図-2.1.3 日野町付近の地形図²⁾



図-2.1.4 震源地周辺の地質³⁾

地質	地質記号	地質名	説明
第四紀	Q	沖積・砂及び泥	
	Q1	新砂丘堆積物	
	Q2	古砂丘堆積物	
	Q3	浸正堆積物	
	Q4	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
	Q5	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
	Q6	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
	Q7	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
	Q8	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
	Q9	浸正堆積物	了りたてた浸正・河川堆積物
第三紀	Ts	新第三紀	
	Ts1	新第三紀	
	Ts2	新第三紀	
	Ts3	新第三紀	
	Ts4	新第三紀	
	Ts5	新第三紀	
	Ts6	新第三紀	
	Ts7	新第三紀	
	Ts8	新第三紀	
	Ts9	新第三紀	
古第三紀	Tt	古第三紀	
	Tt1	古第三紀	
	Tt2	古第三紀	
	Tt3	古第三紀	
	Tt4	古第三紀	
	Tt5	古第三紀	
	Tt6	古第三紀	
	Tt7	古第三紀	
	Tt8	古第三紀	
	Tt9	古第三紀	
変成岩類	Gr	変成岩類	
	Gr1	変成岩類	
	Gr2	変成岩類	
	Gr3	変成岩類	
	Gr4	変成岩類	
	Gr5	変成岩類	
	Gr6	変成岩類	
	Gr7	変成岩類	
	Gr8	変成岩類	
	Gr9	変成岩類	

2.2 地盤の工学的特性

本節では、既往資料⁴⁾より図-2.2.1に示す境港～米子間の弓ヶ浜A-A'断面、および飯梨川、伯太川縦断方向B-B'断面を用いて、当該地域の主に沖積～洪積性堆積物の特性について述べる。

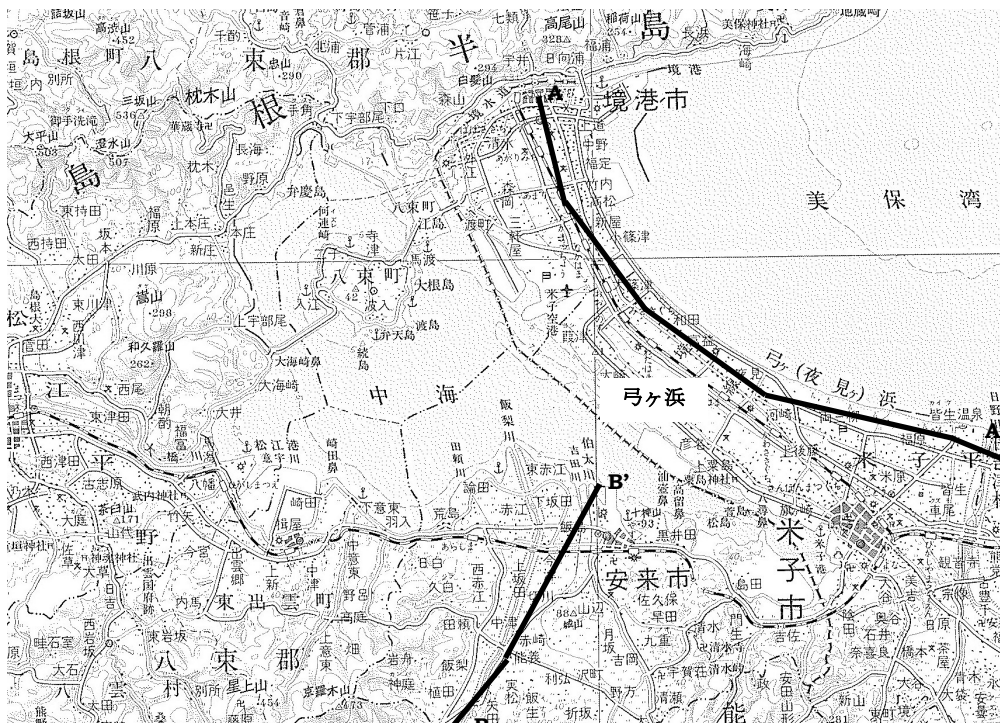


図-2.2.1 断面位置図

2.2.1 A-A' 断面(境港～米子間)

弓ヶ浜半島は、前節でも述べたように、日野川の河川運搬土砂が美保湾流により堆積してできた砂州からなる。A-A'断面はこのうちの外浜に位置し、地表より最上部砂層 Um 層、沖積砂層 US 層、洪積新期砂層 LS の順に堆積しており、上部粘性土層 UC の存在箇所はごく限られた範囲である。砂丘の下底は US 層の上面に相当し、境界には湿地性植物の腐植土を含むことが多い。外浜の Um、US 層は中～粗砂、LS 層は均一な細砂からなり、内浜、中浜では Um、US 層(砂丘砂も含む)、LS 層はほとんど粒度が同じで均一な細砂からなる。砂丘の上面、Um、US 層の上部には $N < 5$ の緩い砂層が多く、地下水位も高く液状化の危険度が高いとされている。しかしこれら地表付近の緩い砂部分を除くと、US 層で $N > 10 \sim 15$ 、LS 層で $N > 20$ と、かなりよく締まった砂層が出現する。

2.2.2 B-B' 断面(飯梨川、伯太川縦断方向)

安来市の北部では飯梨川、伯太川より形成された複合扇状地が幅 4km、長さ 4km に渡って分布する。飯梨川の運搬堆積力は伯太川より強いいため、扇状地の面積も広く、砂質土が優勢である。これに対し伯太川の堆積力は弱いため、扇状地の面積も狭く地盤は軟弱である。沖積堆積物は、飯梨川河口付近では厚さ 10～20m、伯太川河口では厚さ 20m を越えるところが多い。上部砂層 US の厚さは 5～10m で、N 値は飯梨川河口で N=5～10、伯太川ではこれよりやや低い。沖積粘土層 UC の厚さは飯梨川河口で 5～10m で、左岸側には UC 層が分布しないところもある。一方の伯太川の河口では UC 層の厚さは 20m に達する。

【 参考文献 】

- 1) 経済企画庁総合開発局：土地分類図(島根県)，1971.
- 2) 経済企画庁総合開発局：土地分類図(鳥取県)，1974.
- 3) 国土開発技術研究センター：中国地方土木地質図 3，1984.
- 4) 中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図，社団法人鳥取建築士会、1995.

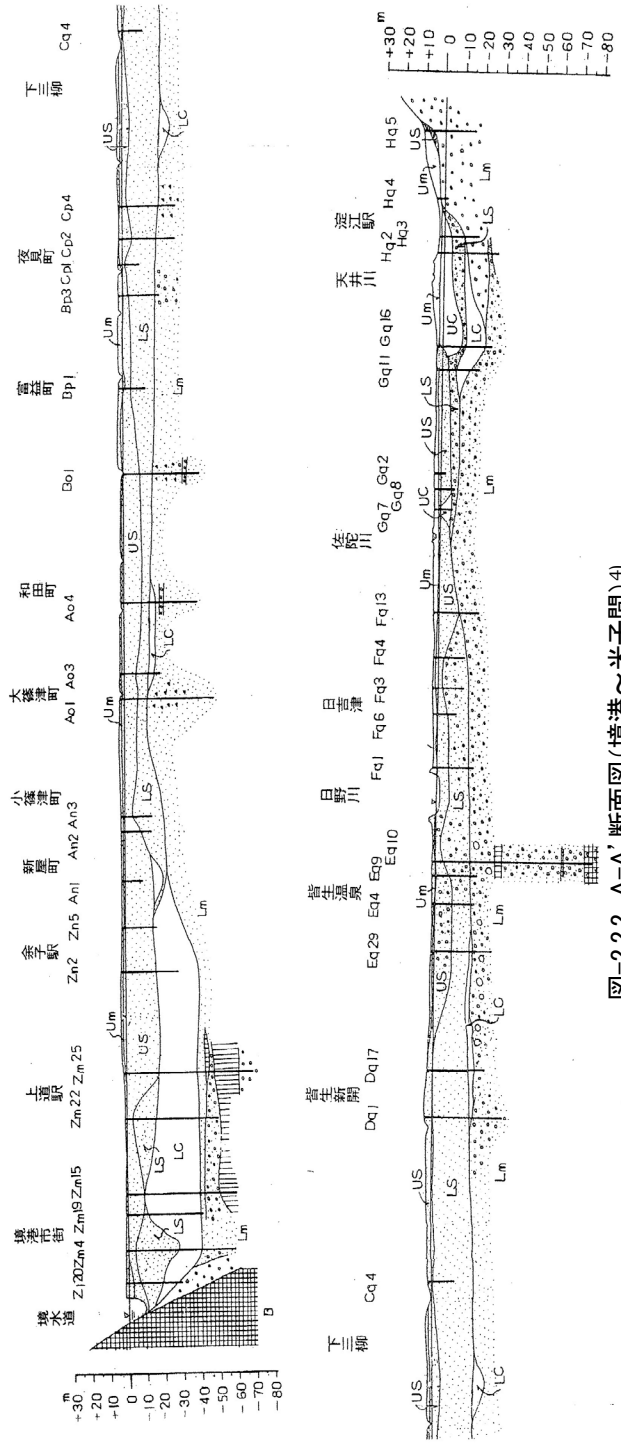


図-2.2.2 A-A'断面図(境港～米子間)⁴⁾

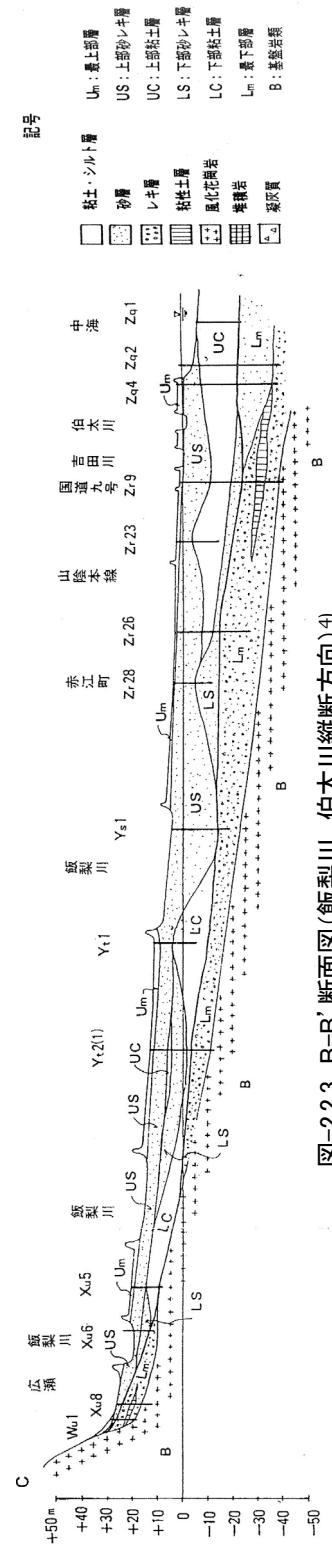
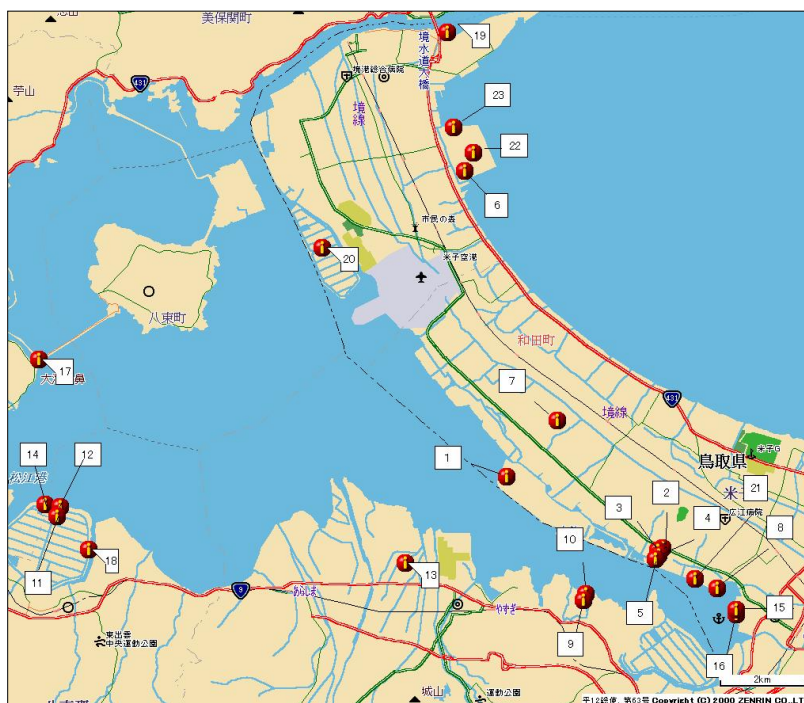


図-2.2.3 B-B'断面図(飯梨川、伯太川縦断方向)⁴⁾

3. 地盤の液状化

3.1 液状化地点の分布と特徴

鳥取県西部地震では、中海周辺地域で液状化が発生した。図-3.1は噴砂を採取した地点を示しているが、ほとんどが埋立地であり、自然堆積地盤と判断されるのはごくわずかしかない。前述したように、この地域は中海東側の弓ヶ浜砂州で代表されるように、砂質土が卓越した地域であり、臨海埋立地も海底の浚渫砂で造成されているところから、多くの地点で噴砂が見られた。



一番震央から遠い地点=境漁港

図番号	名 称	図番号	名 称
1	彦名西干拓	13	飯島町
2	阿倍彦名団地1	14	揖屋排水機場
3	阿倍彦名団地2	15	児童文化センター
4	阿倍彦名団地3	16	児童文化センター公園
5	阿倍彦名団地4	17	大海崎橋付近
6	竹内団地	18	崎田大橋西
7	富益団地	19	境漁港
8	米子港岸壁	20	弓浜干拓内
9	鉄工センター北岸壁1	21	米子ガス付近
10	鉄工センター北岸壁2	22	竹内団地中央付近
11	揖屋堤北1	23	竹内団地北側護岸付近
12	揖屋堤北2		

図-3.1 噴砂発生地点

これらの噴砂発生地点のうち、竹内団地（図-3.1の番号6,22,23）は、口絵写真でも示したように、敷地のかなりの部分で噴砂が生じており、噴砂の粒度組成も細粒分（75 μ 以下の土粒子成分）が90%程度という、従来のきれいな砂のイメージとは異なる特性をもつものであった。

図-3.2は地震のマグニチュードと液状化地点の最遠距離の関係を示したものである。図中の最遠液状化地点は境港漁港である。地震規模の割にはやや液状化最遠距離が従来の地震よりも小さいが、今回の調査が液状化地点を網羅しているわけではないという点を考慮すると、従来の地震とほぼ同じような液状化発生状況であったといえる。

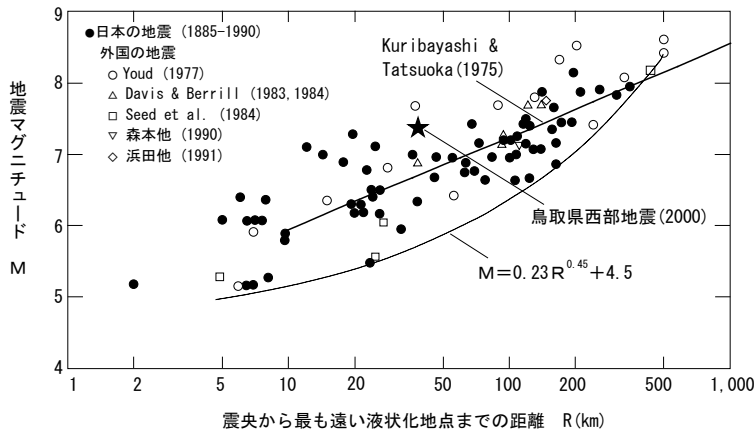


図-3.2 地震のマグニチュードと液状化最遠距離の関係(若松¹⁾の図に加筆)

3.2 噴砂の物理特性

図-3.3に噴砂の粒度分布を示す。大部分が平均粒径が0.2~0.3mmのきれいな砂であるが、幾つかの地点では、この一般的な傾向と異なる粒度分布の噴砂が見られた。特に弓ヶ浜東岸の埋立地の竹内団地の噴砂は、約90%がシルト・粘土という特徴ある粒度組成である。竹内団地の敷地では、かなりの部分で噴砂が見られたが、噴砂の粒度組成はほとんど類似したものであった。同所の埋立材料は、境水道の浚渫土砂であるとのことである（住民談）。

細粒分を多く含む噴砂は、1987年千葉県東方沖地震（M6.7）の際に東京湾の臨海埋立地で見られた。この地震では細粒分含有率が70~80%の噴砂が観察されている。

このようなシルトは一般的には液状化しにくいとされているが、埋め立てなどで一度土の骨格を壊してしまうと、強度がかなり低下するためではないかと考えられる。なお、竹内団地で採取された噴砂の液性限界・塑性限界試験を行った結果、非塑性という結果が得られた。すなわち、細粒土といっても、粘りがほとんどない材料であることが分かった。

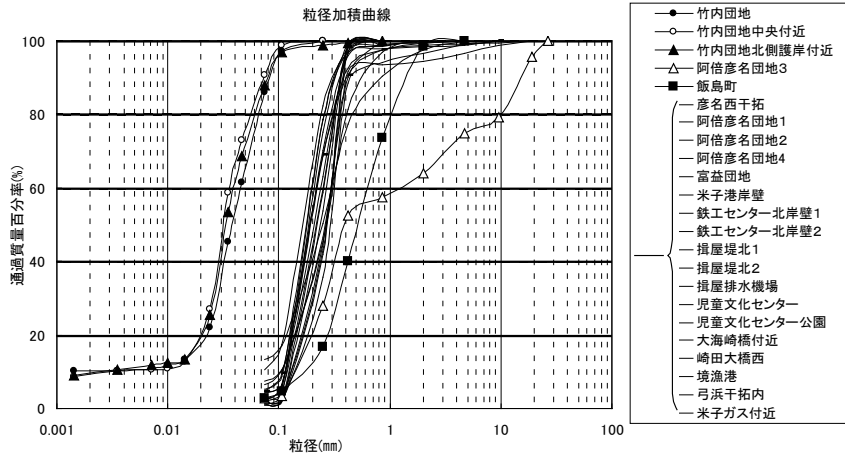


図-3.3 噴砂の粒度分布

3.3 液状化地盤の強度特性

噴砂地点の地盤のうち、シルトを大量に噴出した竹内団地の地盤状況を把握するためにスエーデン式サウンディングを行った。調査箇所は同団地のK印刷工場の敷地内である。K印刷工場では後述するように、液状化によって工場の床が陥没するなどの被害を被った。

図-3.4はK印刷工場の土質柱状図である。地表から3mはシルトで、その下部には8.5mまでシルト混じり微砂、さらにその下には11.75mまで砂質シルトという構成になっており、N値は0~3回程度で非常に軟弱である。いずれの土質も土質名、N値から判断して、細粒分が多い土が堆積しており、噴出したシルトも、砂質土が分級して細粒分だけが残ったものではなく、原地盤の土が水と共に噴き出したものと考えられる。また、K印刷工場では、砂・水の噴出が地震発生当日の夕方まで続いていたという目撃談もあり、かなり長い時間、過剰間隙水圧が残っていたことがうかがわれる。図-3.5は地震の翌日と12日後に行われたスエーデン式サウンディングの結果を比較したものである。両者には若干の違いは認められたが、有意な差とは言えない。この結果から指摘できることは、調査を行った地震の翌日にはすでに過剰間隙水圧は消散していたため、有効応力減少による貫入抵抗の減少は認められないこと、12日後との比較でもほとんど差が認められなかったことから、液状化後も同様な締めり具合になっている可能性が高いことの2点である。

図-3.6は、K印刷工場敷地内で採取した噴砂を相対密度50%に締固めて、繰返し三軸試験を行った結果である。DA=5%の液状化強度比 R_{L20} は0.14と非常に小さく、細粒分のない豊浦標準砂よりやや大きい程度の液状化強度であることが分かった。

標尺	層高	層厚	深	柱状	土質	色	相対	相対	記	孔内	標準貫入試験			原位置試験	試験名	試験	採取	室内	掘
											深	打	打						
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	図				事	(m)	10	20	30	(m)					
1					シルト	暗灰			柔らかい 上部に有機物及び貝殻片を混入 全体的にほぼ均一な 粒子構成 上部に若干粘性有り	1.15	1	1	3						
2					シルト 通しり 微砂	灰 暗灰			ごくゆるい 4m付近に多量の貝殻片を混入 全体的に粘性土と砂質土の互層状 砂質分は微粒砂を主体とする 全体的に均一な粒子	1.46	1	1	2						
3	0.30	3.00	3.00							1.15	1	1	3	2.46	1	1	0		
4					砂質シルト	暗灰			非常に柔らかい 上部に貝殻片を混入 全体的に均一な粒子より構成される 微粒砂を若干混入	5.46	1	2	3						
5										5.15	1	1	2	4.46	1	1	2		
6					細砂	灰			ゆるい 細砂を主体とする 若干のシルト分を混入 雲母片を混入	5.15	1	1	2						
7										5.46	1	1	2	7.15	1	1	2		
8					シルト 通しり 微砂	暗灰			締まった〜ゆるい 貝殻片を若干混入 全体的に均一な粒子構成	7.46	1	1	3						
9	5.20	5.50	3.50							5.15	1	1	3	5.46	1	1	0		
10										5.15	1	1	2						
11										5.46	1	1	2						
12	8.45	3.29	1.75							0.15	1	1	2						
13										0.46	1	1	2						
14										1.46	2	4	9						
15	2.15	1.99	5.45							2.46	3	3	9						
										3.15	3	3	9						
										3.46	3	6	17						
										4.15	3	6	17						
										4.46	2	4	9						
										5.15	2	4	9						
										5.46	2	4	9						

図-3.4 K印刷工場の土質柱状図²⁾

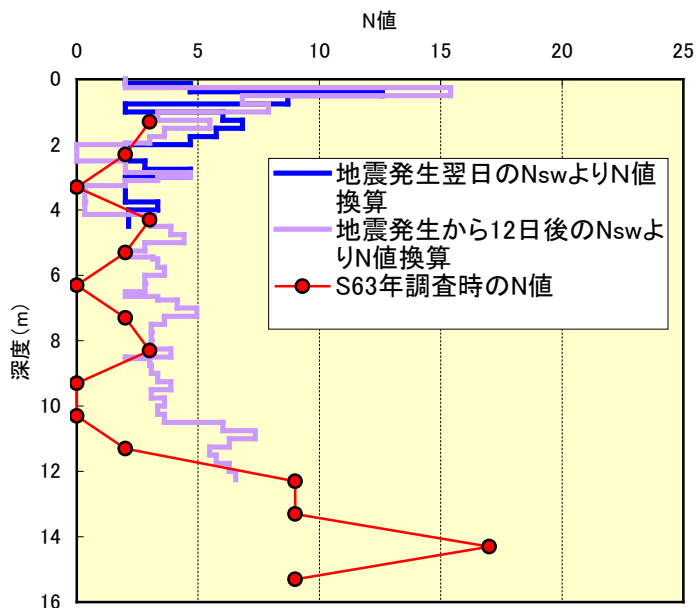


図-3.5 K印刷工場におけるスエーデンサウンディング結果の比較

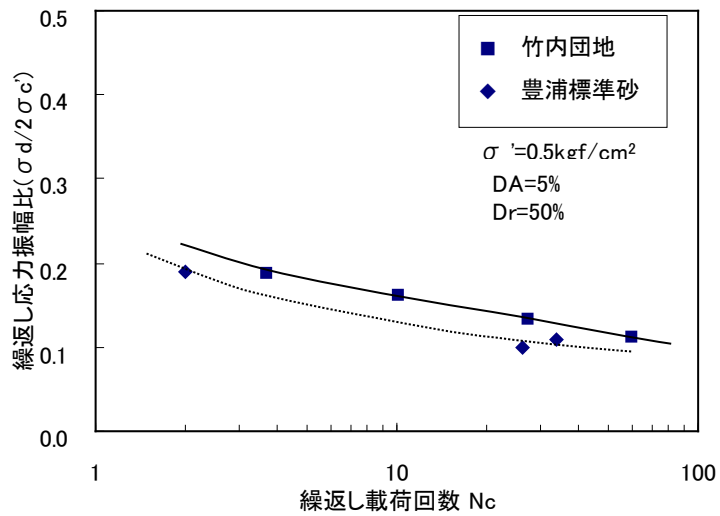


図-3.6 液状化試験結果

【参考文献】

- 1) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991.
- 2) シマダ技術コンサルタント：川端印刷工場新築工事に伴う地質調査 報告書，1988.

4 地震被害

4.1 被害の概要

「鳥取県西部地震」による被害は、中国地方を中心として関西や四国地方など1府9県の広範囲に及んだ。今回の地震の被害について、その被害額、人的被害、住宅・非住宅被害、土木被害を「平成6年(1994年)三陸はるか沖地震」および「1995(平成7年)兵庫県南部地震」と比較して示すと表-4.1.1となる。今回の地震はマグニチュードについて見れば兵庫県南部地震より大きいものの、その被害の差は歴然たるものであり、人口密集地でなかったことや地盤が比較的堅固であったことが理由として挙げられる。しかしながら電気・電話・ガス・水道といったライフラインやJR線・道路などの不通、家屋の全半壊や中海周辺地域の干拓地・埋立地を中心とした液状化被害や農作物被害など被害は多岐にわたっている。なお、表-4.1.2の結果は現在調査中で今後さらに増加するとみられる。以降に主な被害の概況を示す。

表-4.1.1 過去の地震との被害規模の比較

		三陸はるか沖地震	兵庫県南部地震	鳥取県西部地震
発生年		1994年12月	1995年1月	2000年10月
マグニチュード		7.5	7.2	7.3
被害額		約755億円	約9兆9,268億円	262.2億
人的被害	死者	3名	6,400名	0名
	行方不明	0名	3名	0名
	負傷者	784名	40,092名	138名
住宅被害	全半壊	426棟	全壊・全焼111,123棟	1,964棟
	一部損傷	5,803棟	半壊・半焼137,287棟	7,318棟
土木被害			4,255件	1,613件

三陸はるか沖地震；青森県消防防災課公表データ

兵庫県南部地震；兵庫県企画管理部防災局公表データ

鳥取県西部地震；鳥取県(10/18)、島根県(10/23)、岡山県(10/13)、消防庁(10/30)公表データ

(1) 死傷者

今回の地震による死者・行方不明はなく、鳥取県で97名、岡山県で18名、島根県で11名が負傷し、9府県で計138名の負傷者が発生した。

(2) 住宅

住宅被害は、全壊315棟、半壊1,649棟、一部破損7,318棟である。現地調査の際、震源に近い山間部では屋根瓦が落下してブルーシートによる応急処置を施す住宅が数多く見られた。また、平野部の住宅団地では敷地内より大量の噴砂が発生したり、局部的に家屋が傾斜するなどの被害が見られた。

(3) 河川

堤防や水門など河川施設では、75 箇所被害が報告されている。中海周辺は干拓地や埋立地が多く存在し、堤防天端や小段では噴砂跡やクラックの発生、空洞化による沈下、あるいは中浦水門の両側護岸のすべり破壊など堤防被害が数多く見られたが、大規模な崩壊といった大きな被害はなかった。

(4) 港湾・漁港等

港湾・漁港施設は 123 箇所被害が確認された。境港漁港では、地盤の液状化に伴い護岸の移動や上屋の半壊など漁港機能が停止した。また米子空港では滑走路に段差が生じ、空港が一時閉鎖された。

(5) 鉄道

山陽新幹線をはじめ JR 伯備線、山陰線などで一時運休止、JR 伯備線新郷～伯耆大山間が、のり面災害などにより不通となった。

(6) 道路

道路 1,166 箇所、橋梁 3 箇所被害が発生した。国道 180 号線を始め、島根・鳥取・岡山県内の各県道や市道、町道で落石や斜面崩壊が生じ、全面通行止めや片側通行等の規制が行われた。

(7) 電気

鳥取県をはじめ岡山県や島根県など計 17,402 戸で停電が生じたが、当日の午後 3 時半までには全面復旧した。

(8) ガス

震度 4 以上で自動停止するメーターの感震機構が作動し、鳥取県の米子市、境港市や日野、佐伯郡で約 7 万世帯、広島県内の 9 市 4 町で約 2 万世帯で自動停止が相次いだ。

(9) 水道

上水道は、10 府県の計 2,549 戸において断水や水道管破裂などの被害が生じたが、いずれも翌日から 10/18 までに復旧した。

(10) 通信

地震発生直後から電話が集中したため、携帯、固定電話ともにかかりにくくなった。鳥取県日野郡溝口、日野町では計 3 箇所の崖崩れにより電話線の切断や損傷が生じたほか、KDDI の光ファイバー回線が岡山県真庭郡と米子市間で切断したため、松江市、出雲市、米子市などで長距離・国際電話の発着信ができなくなった。

(11) 農林被害

島根県で収穫物の落下や農地・農業施設の被害など 198 件約 9.6 億円、岡山県では飼料タンクの倒壊や畦畔崩壊など約 2,400 万円の被害が報告されている。

表-4.1.2 地震被害集計一覧表

項目		県名									
		鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	兵庫県	大阪府	和歌山県	香川県	徳島県
人的被害	死者										
	行方不明										
	重軽傷	97	11	18	3	1	1	4	1	2	
	計	97	11	18	3	1	1	4	1	2	
住家被害	全壊	289	19	7							
	半壊	1,124	499	26							
	一部損傷	3,119	3,703	453	41			1			
	床上浸水										
	床上浸水										
計	4,532	4,221	486	41			1				
非住家被害	全壊										
	公共建物										
	その他	74		52	39						
	半壊	56		22	1						
	公共建物	74		52	39						
計	56		22	1							
土木被害	河川	48	20	7							
	海岸										
	砂防施設	30									
	道路	990	58	109	9						
	橋梁	23	2	1							
	港湾	95	26		2						
	漁港										
	空港	1	4								
	崖崩れ、落石	199	6	5						1	
	計	1,386	116	122	11					1	
水産被害	漁港施設			120m ²							
	共同利用施設										
	その他			1							
	漁船			1							
衛生被害	水道(断水)	1,010	335	1,167	8			7		30	
	病院	9	22	6							
	公立										
	個人										
一般廃棄物処理施設	1,019	357	1,173	8			7		30		
商工被害	商業			17							
	工業			1							
	その他			2							
	計			20							
公立文教被害	小学校										
	中学校	273	154	204	157						
	高校										
	計	273	154	204	157						
社会教育施設	公立		56								
	法人		46								
社会福祉施設	公立		46								
	法人		46								
その他	私立学校		12								
	林業被害		14								
	農作物		167	12							
	農地・農業用施設等	4	1								
	公共下水道										
自然公園施設											
その他		3	6								

鳥取県 (10/18)、島根県 (10/23)、岡山県 (10/13)、消防庁 (10/30) 公表資料を基に集計

4.2 住宅地・建築物の被害

米子市中心部の米子市児童文化センター、その北西に位置する阿部彦名団地、富益団地について、住宅等建築物の被害を中心に調査した。

4.2.1 米子市児童文化センター

米子市児童文化センターは図-4.2.1 に示す中海に面した埋立地盤に建設されている。写真-4.2.1 に示すような RC 造の低層建物であり、本館は杭基礎で支持されている。建物の周辺や、付近の公園一帯で噴砂が確認された。児童文化センターの職員の話では、地震後 15～20 分間ほど泥水が噴出し続けたとのことであり、液状化時の様子がカメラに収められている(後述の写真-4.2.4 など)。

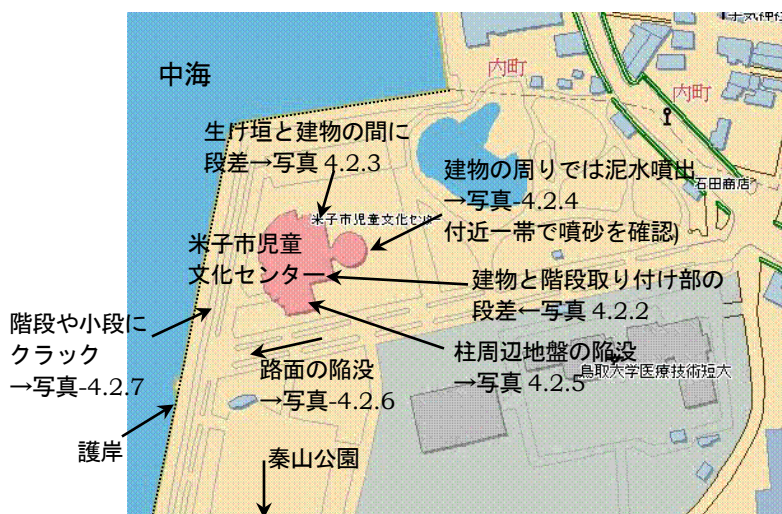


図-4.2.1 米子市児童文化センター周辺地図(ZENRIN 地図に加筆)



写真-4.2.1 建物の外観

建物自体に構造的な被害は無かったようであるが、杭基礎で支持された建物の周辺地盤が液状化に伴い沈下し、玄関や階段取付部が破損していた(写真-4.2.2)。また、本館の東側に隣接するプラネタリウム(写真-4.2.1の左の円形構造物)は本館建物との連絡通路が傾斜し不同沈下が生じていた。プラネタリウムは直接基礎であったと推定される。

建物の側に生け垣を取り囲むコンクリート製の塀があり、地震前は塀と建物は接触していたが、液状化による地盤沈下で塀も沈下し、隙間が空いていた(写真-4.2.3)。接触跡から地盤の沈下量を計測すると約15cmであった。

建物の柱のすぐ側に1.8×1.2m径の陥没穴があった(写真-4.2.5)。そこから地震後に泥水が噴出している様子を職員が確認している。

写真-4.2.6は児童文化センターに面した道路で護岸方向に向かって撮影したもので、陥没穴や噴砂があった。また道路の南側の秦山公園でもかなりの噴砂が見られた。

写真-4.2.7は護岸背後の変状である。海に降りる階段の破損や、護岸に平行にクラックが生じていたことから付近一体が液状化したことを物語っている。

付近の地盤状況を既存資料¹⁾により調査した。最も近い地盤資料は児童文化センターのすぐ南東側の島根大学医療技術短大敷地内におけるもので、図-4.2.2に示すような土質性状である。表層から6m深さまで砂層で、5m程度の粘土層をはさみ、再び約12m深さから砂層となっている。埋立層の厚さは分からないが、砂質土が卓越したゆるい沖積の地盤であるといえる。

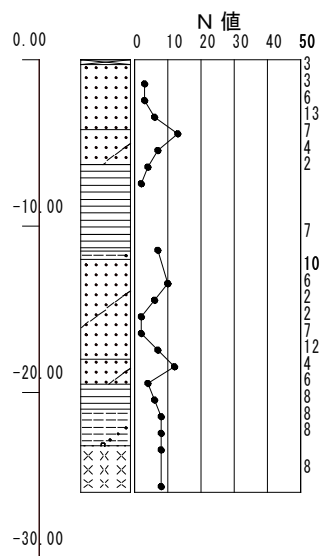


図-4.2.2 柱状図¹⁾
(島根大学医療技術短大敷地内)



写真-4.2.2 建物との取り付け部の被害



写真-4.2.3 塀と建物との間の隙間



写真-4.2.4 地震直後に建物周辺から噴出している泥水*



写真-4.2.5 柱の近くに生じた陥没穴



写真-4.2.6 陥没孔*
(写真奥が護岸側、手前が児童文化センター)



写真-4.2.7 護岸背後の変状*

* 印の写真は米子市児童文化センター提供

4.2.2 阿部彦名団地

米子市街の西方約4kmの中海に面した埋立地に立地している阿部彦名団地では、液状化による被害が発生した。写真-4.2.8に阿部彦名団地とその周辺の航空写真を示す。戸建て住宅や中層建物が密集しているところが当団地で、250m四方程度の広さである。団地内の道路にはクラックが発生し、周辺では噴砂が見受けられた。

写真-4.2.10は液状化による地盤変状で傾斜した住宅を撮影したものである。図-4.2.3に示すように、各々の住宅の傾斜は $0.5\sim 2.5^\circ$ で一様ではなく、特に写真中央の住宅は 2.5° と大きな傾斜を示した。

付近の地盤状況(団地北側)を図-4.2.4に示す。浅い部分のN値が欠落しており硬さの情報はないが、深さ8mまで砂質土層で、それ以深が軟弱なシルト層となっていることが分かる。上部の砂質土層が液状化したと推定される。



写真-4.2.8 阿部彦名団地付近の航空写真(株)八州撮影)

写真-4.2.11～13は同団地の北西側に位置する市営住宅（RC造4階建てアパート）のうちの一棟を撮影したものである。建物周辺の地盤が15～20cm程度沈下し、階段の取り付け部や建物脇の通路、扉が破損していた。建物周辺で噴砂も確認されている。詳細な調査は行っていないが、建物に顕著なクラックは発生しておらず、構造的な被害はないものと思われる。

団地の東側に隣接する内浜下水処理場との境界に沿った水路では、写真-4.2.14に示すように、水路の擁壁が倒壊する被害があった。下水処理場側の擁壁の構造は、上下2段構造となっており、下側は前面に倒壊し、上側は前面にすべりを生じていた。

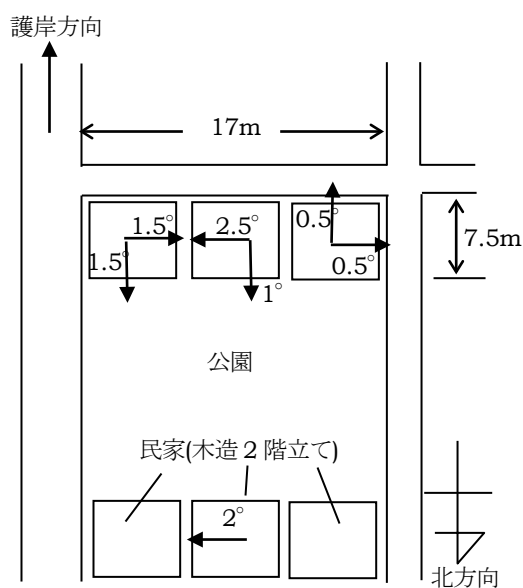


図-4.2.3 液状化による木造家屋の傾斜

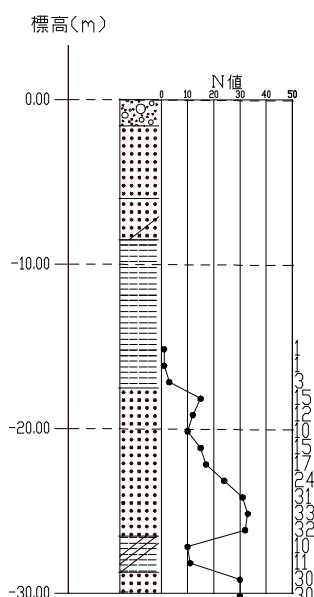


図-4.2.4 団地内でのボーリング柱状図¹⁾



写真-4.2.9 道路に発生したクラック



写真-4.2.10 傾いた住宅
(写真右の住宅は右方に、中央の住宅は左方に、左の住宅は右方に傾斜)



写真-4.2.11 建物脇通路の破損



写真-4.2.12 階段取付部の破損



写真-4.2.13 建物脇の扉の破損



写真-4.2.14 団地東側水路の破損

4.2.3 富益団地

富益団地は、米子市から境港市に伸びる幅 4km 程度の砂嘴のほぼ中央に位置する戸数 330 戸ほどの住宅団地である。この団地はすべて戸建住宅であるが、その一面が液状化によって、住宅の沈下・傾斜等の被害が発生した。

この団地は地形的には砂丘上に位置しており、近傍のボーリング柱状図は見当たらなかったが、周辺の同様の地形の柱状図を見る限り、締まった砂が堆積していると推定される。

写真-4.2.15 に、富益団地付近の航空写真を示す。付近の目視観察による調査の結果、液状化したと推定される領域を黄色の線で示した。写真からも道路にたまった噴砂で変色しているのが分かる。ガス管等のライフラインにも被害があったようである。

液状化したと推定される範囲が一部区域に限定されており、その境界が明確であることは非常に興味深い。住民の話によれば、液状化した地区は「砂を掘って埋めた」ということであった。詳細は分からないが、被害箇所は地山を掘削した箇所を砂で埋め戻して造成された一種の埋立地盤で、埋戻し土砂が緩く堆積していた可能性もある。

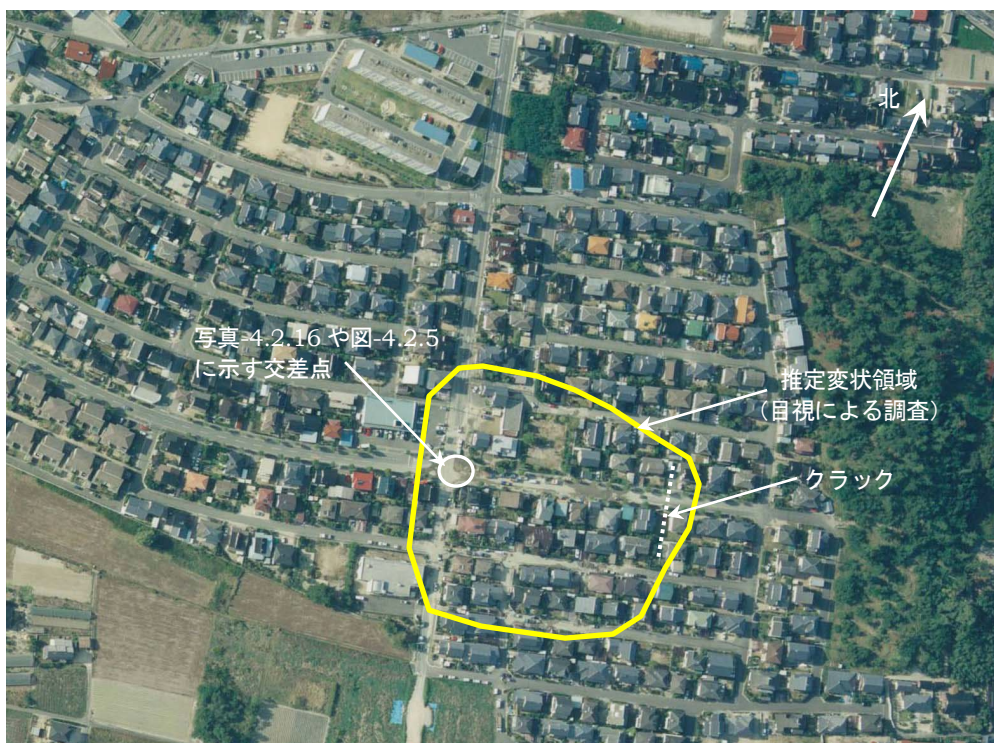


写真-4.2.15 富益団地付近の航空写真(株)八州撮影)

写真-4.2.16～17は液状化があった地域の住宅の被害である。具体的な位置は航空写真に図示してある。図-4.2.5にこの交差点を取り囲む住宅の被害の概念図を示す。写真-4.2.16の奥に見える住宅は簡単な計測をした結果 0.5° 傾いており、障子を締めても三角形の隙間が空いてしまっていた。図-4.2.17はその道路を挟んで北側の住宅で、約 1.5 度傾いていた。民家と玄関先のコンクリートの継ぎ目が破損していた。

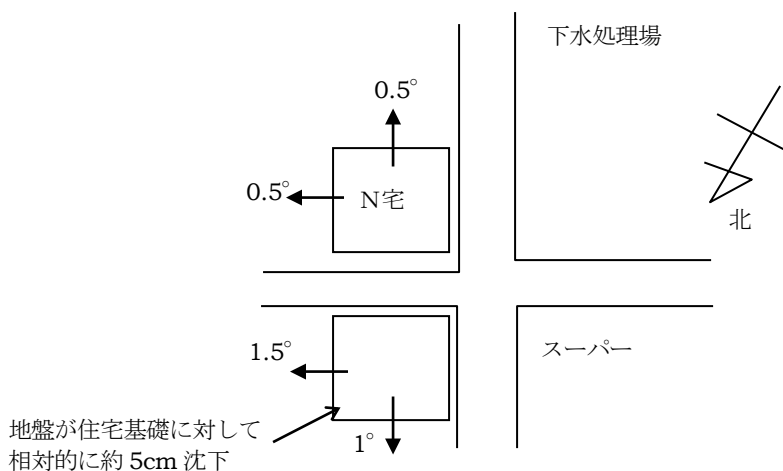


図-4.2.5 富益団地崎津7区付近における住宅の傾斜



写真-4.2.16 周辺の状況



写真-4.2.17 住宅の傾斜
(左に 1.5° 傾斜)

4.3 港湾・漁港施設の被害

今回の地震で、港湾および漁港施設においていくつかの被害があった。本節では中海の周辺に位置する、境港、米子、安来の各港の被害状況について示す。

4.3.1 米子港

弓ヶ浜半島の基部に位置する米子港は、中海の湾奥にあり気象の影響を受けることの少ない良港である。図-4.3.1に米子港の平面図³⁾を示す。このうち中央食品卸売団地のある旗ヶ崎地区の調査を行った。同地区の南西方向に面した岸壁は、水深-7.5~-5.0m、総延長470mで、昭和56年に完成した比較的新しい岸壁で、特に被害はみられなかったが、魚市場の南東側の隅角部で岸壁が被害を受けた。

写真-4.3.1に県土木部港湾課提供の航空写真を示す。写真右上の施設が魚市場である。この魚市場の左下に噴砂を確認できる。写真-4.3.2は岸壁の隅角部で、岸壁に幅40~50cmのクラックが生じ、そのすぐ背後は1.2m程度陥没し、海水が流れ込んでいた。また岸壁のはらみ出しも見られた。写真-4.3.3は噴砂の様子である。

図-4.3.2はこの地点で過去に行われたボーリング調査結果¹⁾である。米子港改

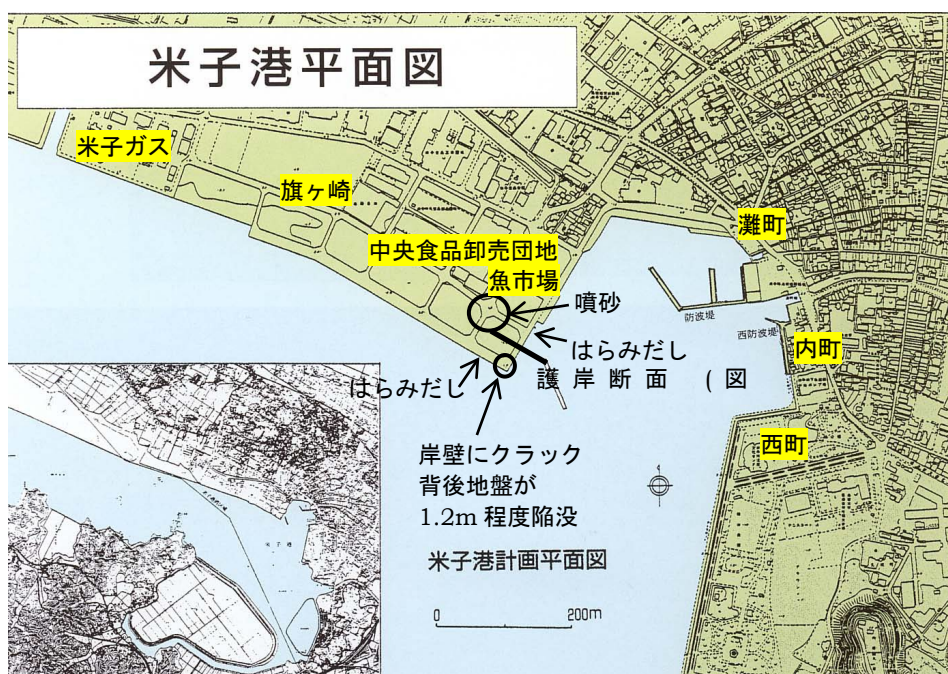


図-4.3.1 米子港平面図と被害の概要(参考文献3に加筆)

修時に行われた調査のようで、深度 0m は標高-5.4m で海底面を意味している。

図-4.3.3 は魚市場のすぐ南東側の水深-3.0m、延長 80m の物揚場断面図である。海底には 5m 程度のシルトの下に N 値 10~15 の砂質土が堆積している。このような地層構成から判断すると、この地点で見られた噴砂は岸壁背後の埋立土の可能性が高い。

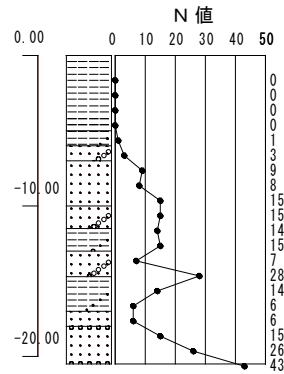


図-4.3.2 近傍のボーリング柱状図¹⁾

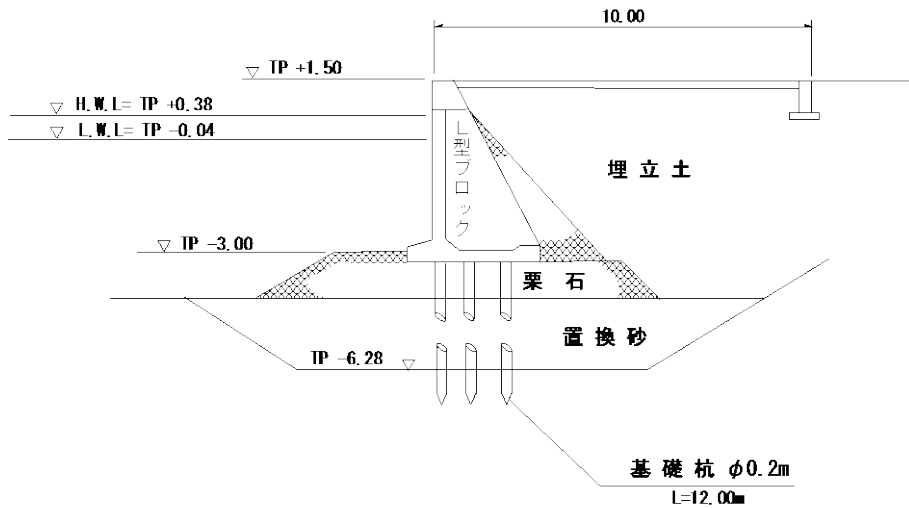


図-4.3.3 護岸断面図(県港湾課提供)



写真-4.3.1 地震後の航空写真(県港湾課提供)



写真-4.3.2 背後地盤の沈下と岸壁の破損



写真-4.3.3 護岸背後地盤の噴砂

4.3.2 境港

境港は弓ヶ浜半島の北端に位置し、美保湾に面した外港と、中海と通ずる境水道に面した内港等からなる。鳥取県において、重要港湾の指定を受けている港は県東部に位置する鳥取港と、本項で述べる境港の2港である。戦前は大陸貿易の拠点港として繁栄し、戦後は海外貿易の全てを失うが、平成元年には東南アジア航路が就航するなど、日本海屈指の港湾に躍進した。平成11年の取扱貨物量は437万トンである。図-4.3.4に境港の外港付近の概略図を示す²⁾。調査を行ったのは、境港漁港と、外港の昭和南地区、液状化被害が著しかった竹内団地がある竹内地区である。

本項では、境港漁港と昭和南地区の被害について述べ、竹内地区の被害は、「4.4 埋立地の被害」で述べる。

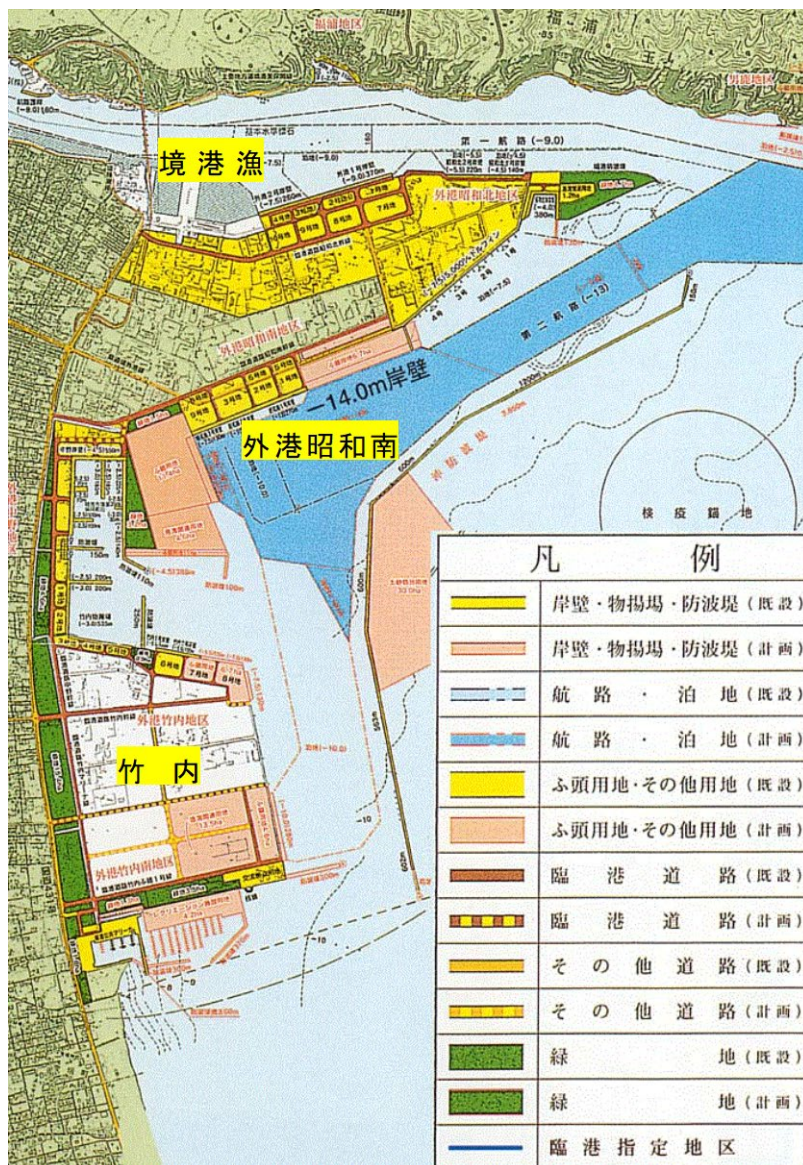


図-4.3.4 境港(外港)の概略図と調査地点位置²⁾

(1)境港漁港

境港漁港は全国有数の水揚げを誇る漁港であり、平成11年度は167,928トンで全国第6位であった。特に冬季はカニ漁が有名で、カニかご漁港とも呼ばれている。

図-4.3.5 に境港漁港（県営境港水産物卸売市場）の平面図を示す。調査を行っ

たのは、高さ7～8m程度の鉄骨平屋建ての上屋を有する長さ約190m×幅80mの水深-6.0mの埠頭である。写真-4.3.3は埠頭の南側から撮影したものである。岸壁の背後では多くの場所でコンクリートの継目が開き、噴砂が溜まっていた。写真-4.3.4は東側(写真-4.3.3右手)の岸壁である。液状化により岸壁が前面に大きくはらみだし、これに引きずられるように柱の基礎が前面に変位、柱が傾斜している。変状を調べるために、埠頭の短手方向に、東西の上屋の中央付近から岸壁に向かって簡単な計測を行った。図-4.3.5～7に計測結果を示す。

中心から水際線までの距離約48mに対し、開口部の幅の和は195cmに及んだ。また上屋の下側では、埠頭を中心部と比べて、舗装面が50～60cm沈下し、柱の傾斜角は最大で10°ほどであった。柱の前面移動に伴い、写真-4.3.5に示すように柱と上屋の連結部分が損傷していた。この写真では、塩ビ管が柱の箇所背面側に曲がっており、上屋のトラスを構成する部材も変形している様子が分かる。

過去に埠頭の中央部で実施されたボーリング柱状図を図-4.3.6に示す。表層は厚さ約4mの埋土層でその下に10m近い厚さの沖積のやや締まった砂層があり、下部にシルト層が続いている。噴砂が見受けられることから液状化は確かに起こったと考えられるが、どの地層で液状化が発生したかは今後の課題である。

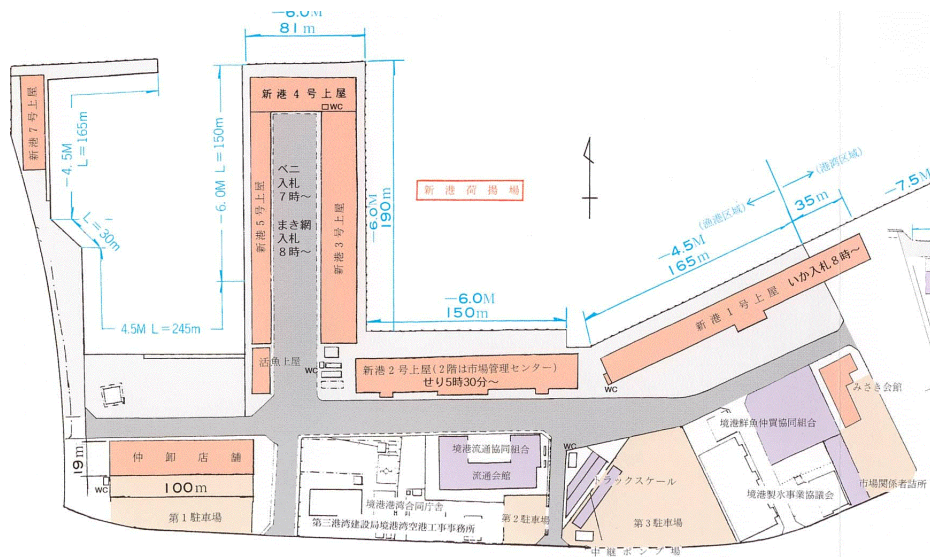


図-4.3.5 県営境港水産物地方卸売市場上屋配置図³⁾



写真-4.3.3 埠頭の全景



写真-4.3.4 前面にはらんだ岸壁



写真-4.3.5 上屋トラスの変形



写真-4.3.6 隣接する小屋の傾斜

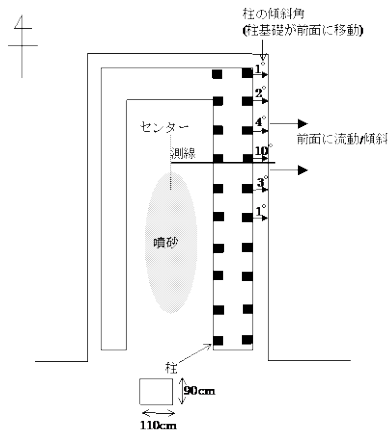


図-4.3.5 被害の概略図

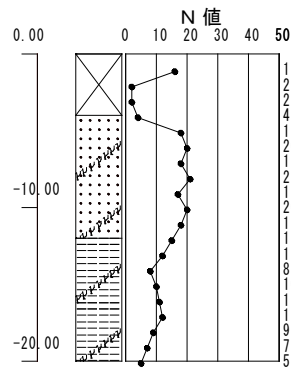


図-4.3.6 地盤柱状図¹⁾

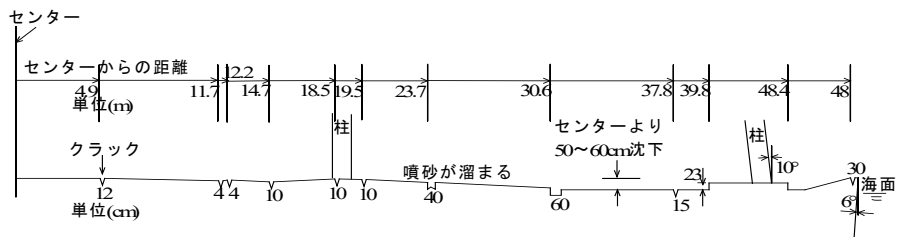


図-4.3.7 クラック等の発生状況

(2)外港

写真-4.3.7は、外港地区にある木材埠頭の概略である。この埠頭の全長は455mで、西側が水深 10m、延長 185m、東側が水深 13m、延長 270m のケーソン岸壁である。

岸壁自体に大きな変状は認められなかったが、図-4.3.8～9 に示すように、ケーソンと背後地盤のすりつけ部分でクラックや 50cm 程度の段差が見られた。

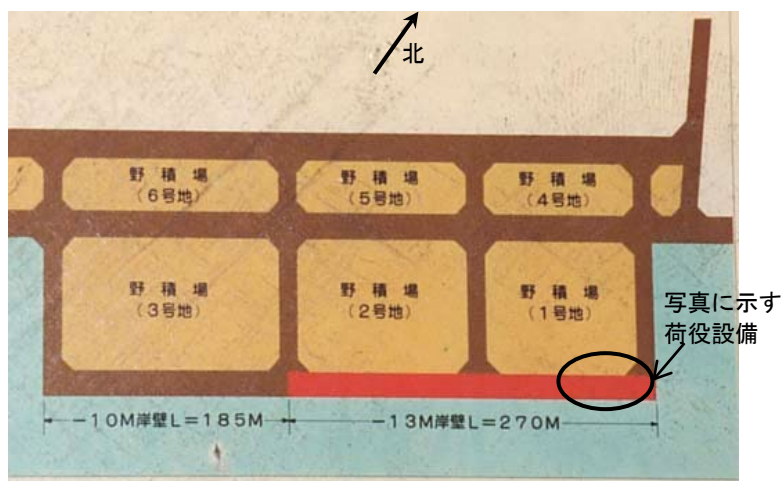


写真-4.3.7 木材埠頭の概略図



写真-4.3.8 背後地盤の沈下



写真-4.3.9 大きな段差

4.3.3 安来港

安来港では、規模はそれほど大きくないが、いくつかの被害があった。写真-4.3.10 はカルバート周辺の地盤が沈下し、その取付部で護岸にクラックが生じたものである。この背面は道路になっており、写真-4.3.11 に示すようにカルバートの奥手で道路が沈下しているのが分かる。擦りつけのためのアスファルト舗装も見える。また、隣接する建物のそばの植え込みに噴砂が認められた（写真-4.3.12）。



写真-4.3.10 カルバート取付け部の破損



写真-4.3.11 背面道路の沈下
(手前がカルバートで、前後の地盤が沈下)



写真-4.3.12 背後地盤での噴砂

4.4 埋立地の被害

本節では、境港の代表的な埋立地である竹内団地の被害状況を示す。

4.4.1 全体の状況

地震後の竹内団地の空中写真を口絵写真に示している。写真の中でやや灰色の部分が噴砂の生じた箇所であり、団地内の南側（写真右側）の空き地で明瞭である。図-4.4.1 は広島工業大学によるリモートセンシングデータによる解析結果で、赤色部分が液状化した箇所であるとしている。空中写真と比較的よく対応しているようである。

この噴砂箇所の典型的な状況を写真-4.4.1 に示す。噴砂は、シルト分が非常に多く、また水分を多く含んでいるため、足で踏むとずぶずぶの状態にあった。

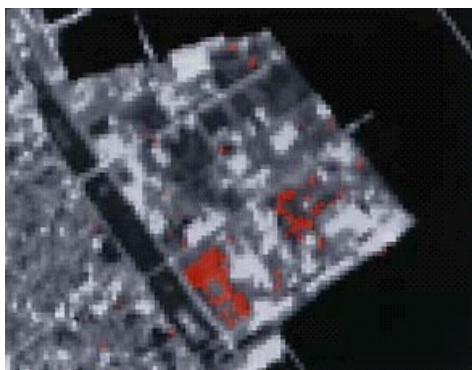


図-4.4.1 リモートセンシングデータによる液状化箇所
(中国新聞 10/13 朝刊、広島工業大学による)

a)遠景



b)近景



写真-4.4.1 竹内団地南部の空き地での大きな噴砂

4.4.2 道路

団地南側入口の取付け道路における被害状況を写真-4.4.2 および写真-4.4.3 に示す。

写真-4.4.2 は、周辺の地盤に押されたことによると考えられるマンホールの隆起で、地盤面との相対隆起量は約 50cm である。写真-4.4.3 は、地盤の沈下に伴う路面の段差（最大 20cm 程度）で、亀裂は 5～10cm 程度開口している。

一方、写真-4.4.4 および写真-4.4.5 は団地内の最西端に南北に走る道路の歩道の変状である。



写真-4.4.2 団地南側入口道路におけるマンホールの隆起



写真-4.4.3 団地南側入口道路における路面段差



写真-4.4.4 団地内道路における歩道陥没(1)



写真-4.4.5 団地内道路における歩道陥没(2)

4.4.3 水路

工業団地の陸地側との境界に位置する水路は、川底に噴砂が大量にたまっており護岸の変状も著しい(写真-4.4.6～写真-4.4.8)。一方、護岸変状に伴い、水路を横断する構造物にも被害が見られる(写真-4.4.9)。

現地での未確認情報によると、水路は地震前より幅が2m程度狭まっており、団地側の護岸は陸側に2m数10cm、また陸側の護岸は団地側に1m程度の最大水平変位が生じたと言われている。



写真-4.4.6 水路の変状



写真-4.4.7 水路と河川合流部の噴砂、護岸変状



写真-4.4.8 水路の護岸破壊



写真-4.4.9 水管橋橋台の破損

4.4.4 印刷工場

工業団地内にあるK印刷工場では、図-4.4.2 に示すような被害が生じた。敷地内に大規模な噴砂が数多く生じており（写真-4.4.10）、地盤が全体に数 10cm 沈下しているようである。そのため、杭で支持された建物は、杭やそれに連結された梁の部分以外が沈下し、床の陥没や不同沈下など建物の機能を損なう被害が生じている（写真-4.4.11～写真-4.4.13）。また、直接基礎と推定される小屋（機械室）は周辺に大規模な噴砂を発生して傾斜している（写真-4.4.14）。なお、工場の基礎は長さ 12m の節杭が用いられている。

噴砂の粒度特性は、第 3 章で示したように、他の地区に比べて全般に細粒であり土質分類上はシルトに区分される。このような細粒の土層が液状化した場合には、過剰水圧が消散するのにかなりの時間がかかる可能性もある。しかしながら、地震発生翌日と 13 日経過後のスウェーデン式貫入試験の結果を比較すると、それらに有意な差は認められなかった。そのため、地震発生翌日にはほぼ過剰水圧が消散していたものと判断される。

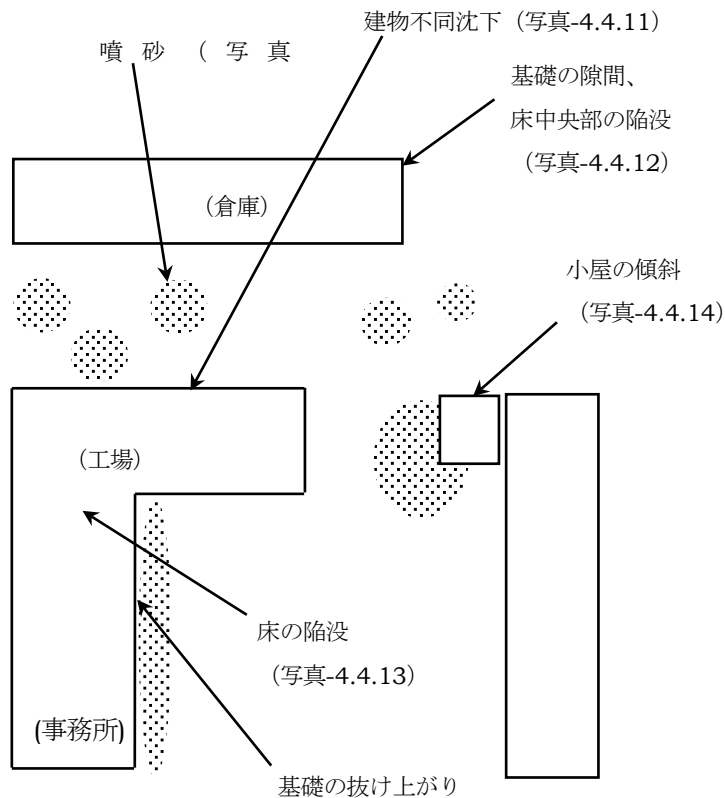


図-4.4.2 印刷工場における被害



写真-4.4.10 工場敷地内の噴砂



写真-4.4.11 工場建屋の不同沈下



写真-4.4.12 倉庫基礎の隙間



写真-4.4.13 工場内の床の陥没



写真-4.4.14 小屋の傾斜

4.4.5 境港マリーナ

竹内団地南の境港マリーナにおいて、ヨットの係留桟橋が地震により一部を残して水没した（写真-4.4.15～写真-4.4.16）。この桟橋は、岸壁から先端まで 51.5m のT字型のもので、 $\phi 300\text{mm}$ の PC 杭により支持されていた。この状況は、NHK のローカルニュースで放映されており、写真-4.4.17 はその時の画面から撮ったものである。この原因は、海底地盤の液状化に伴い水平支持力を失った杭が写真のように破断し、上部の床版が海中に落下したものと推定されている。



写真-4.4.15 マリーナ岸壁



写真-4.4.16 桟橋の消失部



写真-4.4.17 破断した PC 杭の断面

(NHK 中国地方ニュース 10/20 18:00 より)

4.5 堤防・護岸の被害

4.5.1 干拓堤防

(1) 大海崎堤防

松江市大海崎鼻から大根島へのびる堤防に若干の変状が見られた。写真-4.5.1は、大海崎橋を渡った道路脇の平地における亀裂の状況である。また、写真-4.5.2は、写真-4.5.1の近傍で堤防の南側の小段のり尻に生じた変状であり、のり尻に平行して空隙が生じている。この空隙は、水平方向に最大30～40cm開口している。

(a)全景



(b)近景



写真-4.5.1 大海崎堤防の中央部の亀裂

(a)全景



(b)近景



写真-4.5.2 大海崎堤防南側のり尻部の空洞

4.6 斜面崩壊

鳥取県日野町および西伯町を中心として多くの斜面災害が発生した。写真-4.6.1 および写真-4.6.2 は JR 伯備線の斜面崩壊箇所である。両者は互いに隣接しており、後者はトンネルの坑口付近である。

写真-4.6.3 および写真-4.6.4 は日野町内の斜面崩壊箇所で、表層崩壊が非常に多いようである。



写真-4.6.1 JR 伯備線斜面崩壊



写真-4.6.2 JR 伯備線トンネル坑付近の
斜面崩壊



写真-4.6.3 日野町の斜面崩落群



写真-4.6.4 日野町井ノ原の斜面崩落

写真-4.6.5 は、日野町黒坂における斜面崩壊のうち老朽化した吹付コンクリートの一部が剥落した例である。また、写真-4.6.6 は西伯町笹畑における落石の例である。



写真-4.6.5 日野町黒坂の吹付斜面の剥落



写真-4.6.6 西伯町笹畑の落石

【参考文献】

- 1) (社)鳥取建築士会—中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図，1995.
- 2) 鳥取県土木部港湾課，鳥取県の港湾要覧，2000.
- 3) 鳥取県境港水産事務所，境港，1999.

(2) 揖屋干拓堤防

写真-4.5.3 は、揖屋干拓地排水機場の背面の堤防に生じた亀裂を示している。この亀裂は、堤内側が約 15~20cm 程度落ち込んだ段差となっている。また、写真-4.5.5 は、排水機場の非常階段の基礎部分の変状である。杭に支持された建屋と周辺地盤の相対変位によるものである。この周辺地盤の水平変位は、のり尻の側溝のずれからみて最大 60cm 程度と推定される。



写真-4.5.3 揖屋干拓堤防排水機場の堤防亀裂(西側)



写真-4.5.4 揖屋干拓堤防排水機場の建屋非常階段基礎の変状

図-4.5.1 は、揖屋干拓地排水機場の東側に位置する干拓堤防の堤外側堤防概略図である。堤外側平坦部で噴砂が見られ、コンクリートの継目が 10cm 程度開口しているところがあった。堤内側では法肩付近から堤内側約 80m の間で変状がみられ、図に示すように法尻部や小段付近でクラックが何本も生じていた。また法肩から 80m ほど離れた平坦部に水路が設けられていたが、その周辺で、アスファルトが盛り上がり、捲れあがったりしていた (写真-4.5.5)。水路の中には噴砂がみられた (写真-4.5.6)。

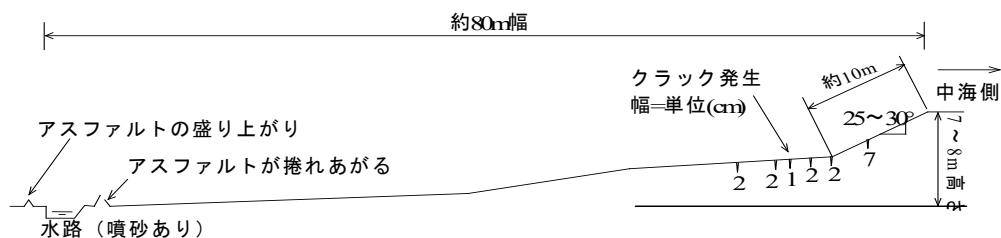


図-4.5.1 揖屋干拓堤防排水機場東の干拓堤防変状概略図



写真-4.5.5 アスファルトの捲れ上がり



写真-4.5.6 水路内の噴砂

(3) 安来市恵乃島町地先

写真-4.5.7～4.5.8 は、安来市の干拓地堤防の被害を示している。写真-4.5.7 はのパラペット（重機付近）が大きくずれている。写真-4.5.8 は堤防道路に生じた陥没跡で図-4.5.3 にその概略図を示す。陥没は 40cm に及び、堤内側のり尻付近では噴砂が確認された。



写真-4.5.7 堤防復旧中



写真-4.5.8 堤防道路の陥没

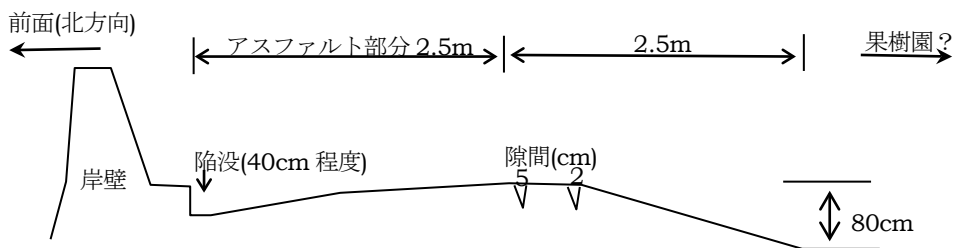


図-4.5.3 道路陥没位置概略図

4.5.2 中浦水門

写真-4.5.9～写真-4.5.11 は、境港と江島を結ぶ中浦水門で、境港、江島の両側の護岸がすべり崩壊を起こした状況を示している。いずれのすべり箇所も幅 20～30m で大きな痕跡が残っている。写真-4.5.12 は水門道路の沈下で生じた段差で、沈下量は 1.5m 程度である。また、水門本体は船舶の往来時には跳ね上げ式により船舶を通過させるものであるが、護岸に吸い出しと見られる沈下被害が見受けられた。



写真-4.5.9 境港側崩壊跡(北側)



写真-4.5.10 境港側崩壊跡(南側)



写真-4.5.11 江島側崩壊跡(南側)



写真-4.5.12 水門道路陥没箇所

4.5.3 さんとぴあ橋

写真-4.5.13～写真-4.5.14 は、米子空港ターミナル入口に建設されたさとぴあ橋（平成9年3月完成）の取付部の被害の状況である。写真-4.5.13 は、西側取付部の南側の親水護岸の被災状況である。写真-4.5.14 は、その部分を対岸から見た状況で、低水敷の約半分が水没している。また、写真-4.5.15 は、橋の北側歩道部を西側から見たもので、取付部に大きな段差が生じている様子がわかる。

付近に噴砂などの液状化の痕跡は見られなかったが、ゆるい埋土が地震で池の方に滑り出したことによる被害と考えられる。



写真-4.5.13 さんとぴあ橋親水護岸の崩壊



写真-4.5.14 さんとぴあ橋親水護岸の
低水敷の水没



写真-4.5.15 さんとぴあ橋取付部の段差

4.6 斜面崩壊

鳥取県日野町および西伯町を中心として多くの斜面災害が発生した。写真-4.6.1 および写真-4.6.2 は JR 伯備線の斜面崩壊箇所である。両者は互いに隣接しており、後者はトンネルの坑口付近である。

写真-4.6.3 および写真-4.6.4 は日野町内の斜面崩壊箇所で、表層崩壊が非常に多いようである。



写真-4.6.1 JR 伯備線斜面崩壊



写真-4.6.2 JR 伯備線トンネル坑付近の
斜面崩壊



写真-4.6.3 日野町の斜面崩落群



写真-4.6.4 日野町井ノ原の斜面崩落

写真-4.6.5 は、日野町黒坂における斜面崩壊のうち老朽化した吹付コンクリートの一部が剥落した例である。また、写真-4.6.6 は西伯町笹畑における落石の例である。



写真-4.6.5 日野町黒坂の吹付斜面の剥落



写真-4.6.6 西伯町笹畑の落石

【参考文献】

- 1) (社)鳥取建築士会—中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図，1995.
- 2) 鳥取県土木部港湾課，鳥取県の港湾要覧，2000.
- 3) 鳥取県境港水産事務所，境港，1999.

おわりに

地震に慣れていない中国地方の住民にとって、比較的身近で生じた大規模地震はその影響範囲の広さも含め衝撃的であった。今回の地震による被害が予想以上に少なかったとはいえ、被害に遭われた方々には、一刻も早い回復や施設の復旧をお祈りするとともに、快適な生活が取り戻せることを切に願っている。

ところで、過去の液状化被害において死亡事故が発生した例を聞いたことがない。しかしながら、それをもって液状化は大きな問題ではない、とは言えない。現に、埋立地の工場がその機能を失い、立て替えを余儀なくされていることも事実であり、このような経済活動に与える被害は甚大である。西日本地域が既に地震活動期に入ったとの指摘もなされており、また一部の自治体においては、積極的に地震防災システムの構築が進められている。今回の地震被害の教訓が今後の耐震対策に役立つことを願って止まない。

最後に、災害調査に同行して頂き、多くの知見や知識を与えて頂いた石原研而教授（東京理科大学）、安田進教授（東京電機大学）、東畑郁生教授（東京大学）および塚本良道講師（東京理科大学）、ならびに被害調査にご協力を頂いた川端印刷株式会社および米子児童文化センターの関係者に深甚の謝意を表する次第である。

また、科学技術庁防災科学技術研究所のK-NETより地震波形をダウンロードし、使わせていただいた。ここにお礼を申し上げる。