

鳥取県西部地震における液状化被害

藤村 尚¹・坂口 雅範²

¹正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101番地)

²日本舗道株式会社 鳥取合材工場 (〒680-0921 鳥取市古海字釜ヶ谷10082)

2000年10月6日午後1時30分頃、鳥取県西部鎌倉山北西の地下約10kmでM7.3の地震が発生し、日野町、境港市で震度6強、鳥取市、震度4、倉吉市震度3を観測した(気象庁発表)。

本報告では、この地震による被害のうち液状化被害について述べる。そこで、以前に行った地盤のデータベースと液状化のゾーニング結果を示し、これらの地盤情報と今回の平成12年鳥取県西部地震による西部地区での液状化地点の比較を行う。

Key Word : Liquefaction, GIS, Microzoning, Database

1. '96地盤図の概要

'96鳥取地盤図では、鳥取県内の東部・中部・西部の3地区における地盤断面図を主体として構成している。このため、断面位置平面図は断面方向が概略理解されればよいとの考えから1/100,000ないしは1/200,000の縮尺とした。したがって、特に市街地での詳細な断面位置を知る必要がある場合には、3次メッシュを1/25,000地形図に復元し、地盤断面図を利用する。

1.2 西部地区の米子市街地における地盤断面図の特徴

鳥取県西部地域においては地盤断面図を約1100本のボーリング柱状図を用いて実施したものである。断面図は3次コードメッシュ沿いに58断面、河川沿い4断面、道路沿い2断面、計64断面を作図してその延長距離は550kmである。

図-1は、米子市の地形分類図を示している。日野川以東は扇状地、西側の市街地は厚い沖積層、堤間低地である。図-2は、米子地区の地盤断面の例示である。r4東西方向断面では中海から旧市街を通過して東山ランド付近まで海成層が分布して軟弱である。

グランドから日野川左岸までの間のUmsの下位に分布するUmcは外縁低平地時代の軟弱層と推定される。日野川以東では扇状地堆積物の砂~礫が水平に分布する。Lmgの出現深度は-10m付近であり良好な支持地盤となる。

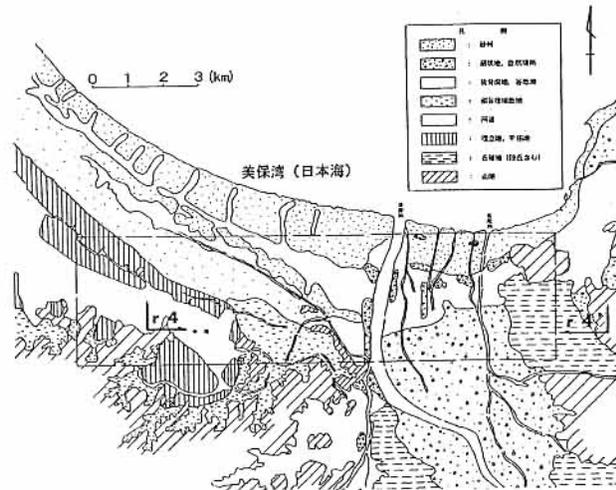


図-1 米子市の地形分類図

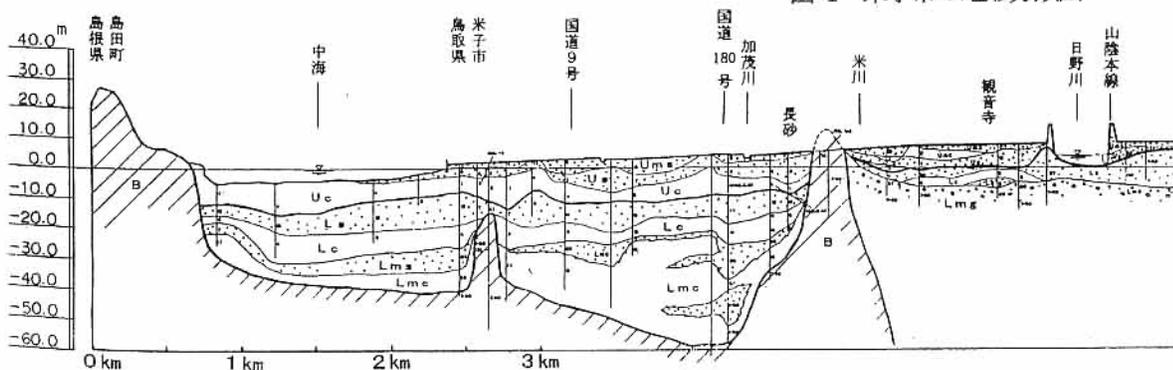


図-2 米子市街地の地盤断面図の例示

2. 地震発生時の液状化マップ

2.1 液状化マップの作成

蓄積した地盤データをより活用することで、近年注目されている地震災害時等の地盤変状に着目し、マイクロゾーニング、簡易な地理情報システム(GIS)を用いて、地震時の液状化予測へのアプローチを試みる。

2.2 液状化指数 PL

FL 計算に必要な土質定数は「96 鳥取地盤図」で区分した地質(土質)区分に基づいて、既往文献と現地技術者の意見を参考にして表-3 に示す土質定数を代表値として採用する。

表-1 土質定数の代表値

記号	地質名	地下水位以下の 単位体積重量 (tf/m ³)	地下水位以上の 単位体積重量 (tf/m ³)	平均粒径 D ₅₀ (mm)	10%粒径 D ₁₀ (mm)	細粒分含有率 F _c (%)	塑性指数 I _p
U _{ns}	最上部砂質土層	1.90	1.70	1.10	0.400	5	-
U _{nc}	最上部粘性土層	1.70	1.60	0.01	0.001	60	>15
U _{ng}	最上部礫質土層	2.00	1.80	2.00	0.250	25	-
U _s	上部砂質土層	1.80	1.60	0.60	0.250	5	-
U _c	上部粘性土層	1.60	1.55	0.01	0.001	90	>15
L _s	下部砂質土層	2.00	1.80	0.20	0.080	8	-
L _g	下部礫質土層	2.10	1.90	2.75	0.250	5	-
L _c	下部粘性土層	1.70	1.65	0.03	0.001	90	>15
L	ローム層	1.60	1.55	0.04	0.008	90	>15
L _{nc}	最下部粘性土層	1.60	1.55	0.03	0.001	55	>15
L _{ns}	最下部砂質土層	2.00	1.80	0.15	0.008	8	-
L _{ng}	最下部礫質土層	2.10	1.90	2.00	0.250	3	-

液状化危険度の判定は「液状化指数 PL」を用いて行う。

PL 値の結果は、表-2 の様に、種々の地震の被災調査から提案されているランク付けを行い、危険度の高いほうから、4, 3, 2, 1 の4段階として示す。図-3 は、今回用いた簡易な GIS システムを示す。

表-2 PL 値による液状化危険度の評価

P _L 値	評価	ランク
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。	4
5 < P _L ≤ 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。	3
0 < P _L ≤ 5	液状化危険度は低い。特に重要な構造物の設計に関しては、より詳細な調査が必要。	2
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。	1

2.3 GIS の利用

地域選定は、各種の地形的特長が見られる横 13.5 km、横 3.7 km の帯状地帯とし、この地域を 3 次メッシュの 4 分割(約 500m×500m)にゾーニングした。データベースでは、各ボーリングの位置、地下水位、N 値、土層等を入力し、データの追加、更新が可能なものとした。結果の評価は各ボーリング毎に種々の計算・検討を行い、ゾーニングしたブロック内での最も危険なランクをブロッ

クの代表評価とした。結果の表現は、地形図とオーバーラップさせ、視覚で容易に判別できるようにした。

図-3 の⑤の図は、想定加速度が 200gal での危険度分布を示している。埋立地、溺谷埋積低地において危険度が高い。

ここでは、図を省略するが、PL 法の評価を地形的に見ると、想定加速度が 100~200Gal 以上では溺谷埋設低平地域の危険度が高く、300Gal 以上になると砂州も危険度が高くなる傾向にある。なお、地表面加速度は、地形や地質条件によって異なってくることも考慮する必要があるだろう。

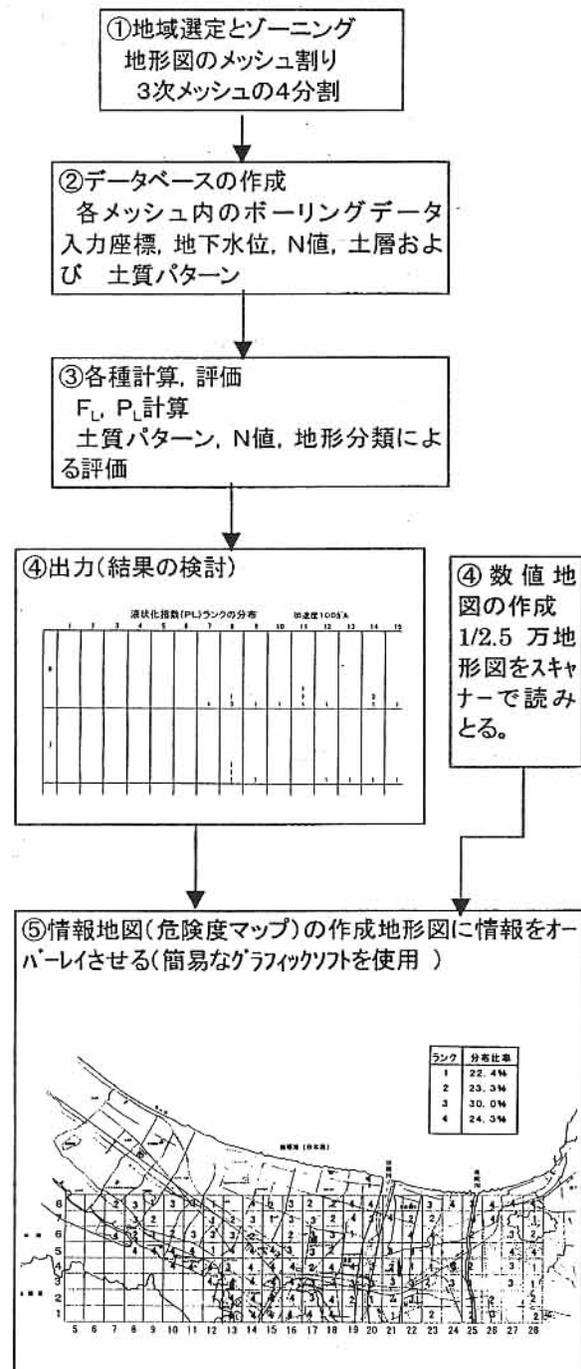


図-3 簡易 GIS システムの構築フロー

3. 液状化被害

3.1 概略

鳥取県西部地震による液状化の被害は、震源から約35km以内に位置する米子市、日吉津村、境港市、八束町、松江市、安来市の中海臨海地に集中している。

図-4は、地表踏査で得られた噴砂、地割れや液状化の発生日点の分布を示している。東は日野川の右岸から、西の中海の堤防まで広く分布している。

図-5は、大正6年、昭和22年、平成11年に国土地理院から発行された2万5千分の1の地形図を示している。これらの図から、陸地部分の増減を調べると、弓ヶ浜半島的美保湾と中海側に農業用地や工業用地のために干拓や埋め立てが行なわれ、埋め立てや干拓の変遷として整理することができる。

図-4と図-5から、戦後に埋め立てられた土地、とりわけ昭和50年以降に干拓された弓ヶ浜干拓地や彦名干拓地、埋め立てられた竹内工業団地に集中して、液状化が極めて著しい。液状化が発生した地点は、境港市の昭和町や米子市の米子港の埋立地にも多く見られる。

竹内工業団地や昭和町では、液状化による被災が全区域に及び建物周辺部の地盤沈下、岸壁のはらみだしやエプロンの沈下や亀裂、道路などの浮き上がりや波打ち、側方流動、水道管の破損が見られる。

米子港とその周辺地でも液状化によって、建物周辺部の地盤沈下、岸壁のはらみだしや背後地での亀裂などがみられる。

弓ヶ浜半島より西に位置する飯梨川の河口や安来市の安来港、昭和43年～55年に建設された中海干拓堤防の馬渡堤防、大海崎堤防や森山堤防に液状化を確認した。液状化被害を受けた中海側は造成地が多く、一方、三保湾側は自然海浜であり竹内工業団地から日野川河口までの沿岸部には液状化による被災は見られなかった。

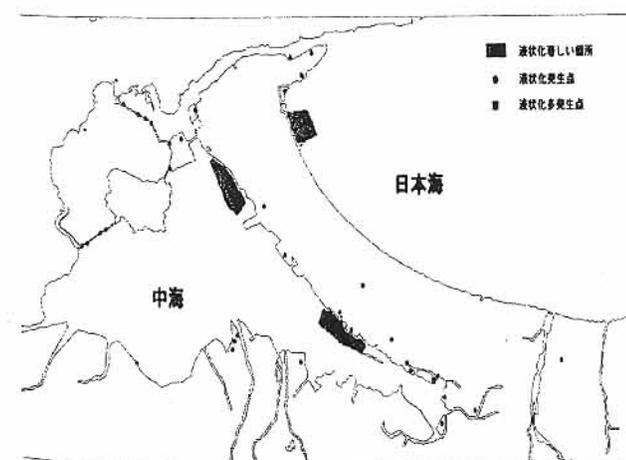


図-4 液状化の発生日点

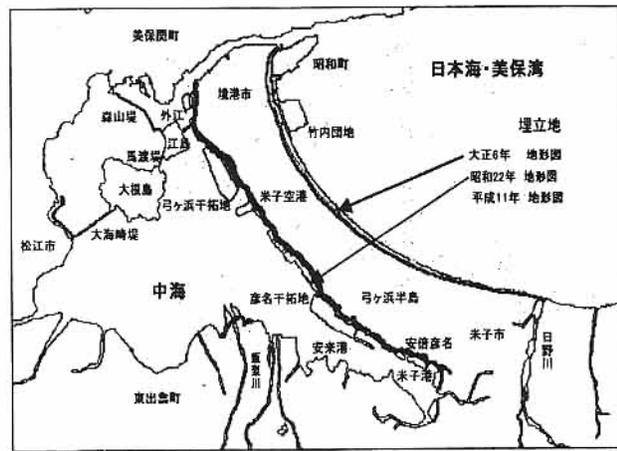


図-5 埋立地

3.2 竹内工業団地

竹内工業団地は1978年に埋め立て造成が行なわれ、1986年に完成した四角形の埋立地である。今回の地震でもっとも液状化が激しかった地点である。図-6は、いくつかの航空写真から判読した竹内工業団地内の噴砂の状況である。クラックは主に外周部に生じている。道路などの凹凸は西側の承水路沿いや東西幹線道路の西側に見られる。建物の抜け上がりは、ほぼ全域に生じており、建物の周りは噴砂が見られる。埋立地の全域で、地盤が20~30cmほど沈下したと思われる。東側では、ケーソン式護岸が前面に約400mm移動し、護岸背後に亀裂が生じている。この原因としては液状化によるところが大きい。走査型電子顕微鏡写真を写真-1に示す。海成粘土に含まれる珪藻が見られる。土の粒度は粒径0.02mm程度とさらに小さい粒子からなり、約90%以上がシルト、粘土であった。

写真-2は竹内工業団地の西側の承水路で大量の噴砂が起き、底が膨れ上がっている様子を示している。承水路周辺では激しい液状化が発生しており、護岸が最大水平変位1mを超える地盤流動、緑地側も法線が川側に大きく移動している。通常2~2.5mあった河床深さが噴砂によって、1m~1.5mに埋まってしまった。河床の構造は石張りで、間隙も大きく、その間隙から砂が吹き出たようである。承水路に沿って緑地側が沈下しており、コンクリートブロック積み護岸が緑地側に倒れこんでいる。道路側は矢板構造で、背面土の液状化による側方流動が生じて矢板が移動したたものと思われる。高橋川に架かる夢みなと橋の橋台はこれらの地盤変位の影響を受け川側へ変位した。

竹内工業団地

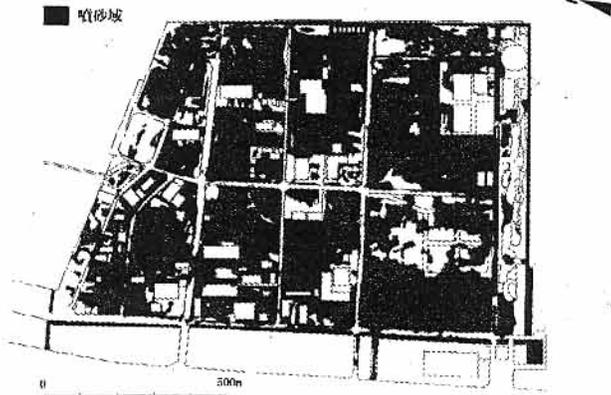


図-6 竹内団地の噴砂領域

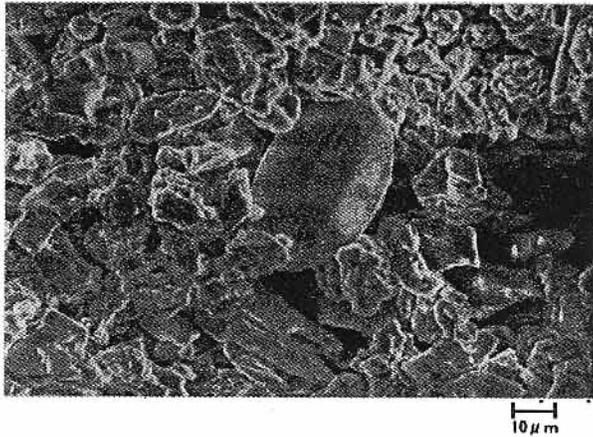


写真-1 噴砂の走査型電子顕微鏡写真



写真-2 承水路での噴砂

3.3 米子市街地

米子市安倍彦名町の既存団地にて地震による液状化が発生し、一部の住宅および造成基面に変状が表れた。安倍彦名団地は、昭和60年代頃に航路や泊地の浚渫土砂および埋立地前面の海底から採取した土砂をポンプ船で吹き込んで造成している。約170戸の住宅で構成されており、産業道路(県道米子・境港線)と中海にはさまれた地域に位置する。地震による団地内の被害は、広範囲に渡りランダム的な広がりをもった影響が出ており、一箇所に集中している状況ではない。噴砂の激しいとこりで

は住宅の不等沈下が見られた。中央幹線路には雨水ボックスカルバートが埋設されており、液状化によるアップリフトによってアスファルト路面が約50cm程度浮上している。なお、ペーパードレインとサーチャージャー盛土を施工した南側の一部は被災が見られなかった。また、写真-2では東側を南北に走る水路は大きな被害を受けた、右岸の団地側は随所に液状化により大走りコンクリートが浮き上がっているのがわかる。対岸に位置する、東側の内浜下水処理場の護岸石積みや水路壁面は完全に崩落している。また、隣接している県営・安倍彦名団地や市営・安倍彦名団地では、抜け上がりが生じており、周辺地盤に約30cmの沈下やライフラインの損傷が激しい。当該地も若齢地盤の液状化しやすさを示している。図-7は、今回の地震により米子市街地を中心に、液状化の有無を描いたものであり、先の図-⑤の液状化危険度が極めて高いランクの分布とよく一致していることが分かる。

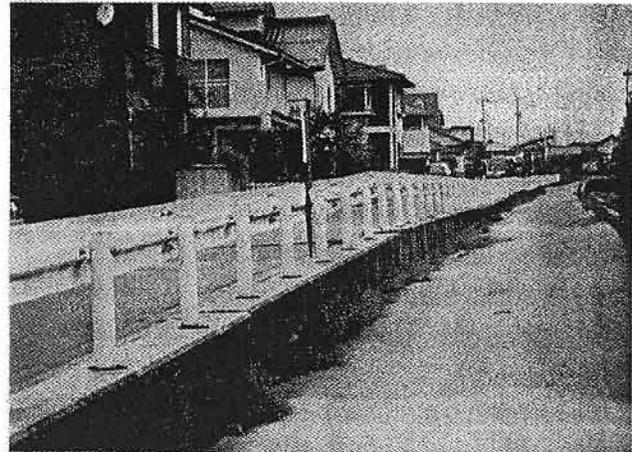


写真-3 安倍彦名団地

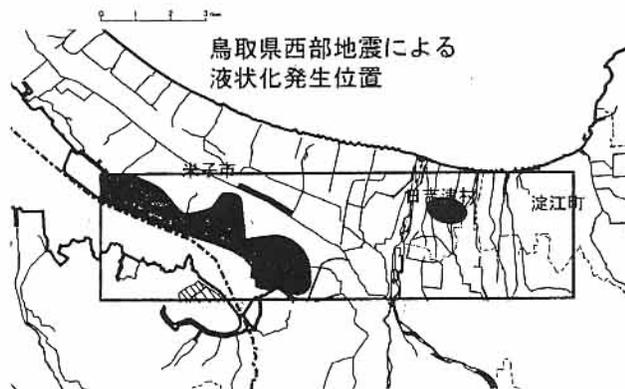


図-7 鳥取県西部地震による液状化発生位置

参考文献

- 1) 地盤工学会中国支部(編者・藤村): '96鳥取地盤図, 1996
- 2) 藤村 尚, 他: 地震発生時の地盤変形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, pp31~39, 1997

山陰地域の地震活動

○西田良平¹・松山和也²・西山浩志³・野口竜也⁴

1 正会員 理博 鳥取大学教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南四丁目 101)

2 鳥取市立高草中学校教諭 (〒680-0455 鳥取市徳雄 108)

3 正会員 工修 国土防災技術 KK (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3 丁目 18-5)

4 学生会員 工修 鳥取大学工学研究科博士後期課程 (〒680-8552 鳥取市湖山町南四丁目 101)

山陰地方において、日本海沿岸に沿って第四紀火山(大山・三瓶山)が分布し、地震活動帯も活動域と空白域が交互に形成されている。主な活動域としては鳥取地震(1943, M7.2)が発生した鳥取県東部中部、鳥取-島根県境付近、三瓶山・広島県北部付近、島根県中部西部の活動域があり、また空白域として大山付近、島根県東部が見られる。この形状は地震活動が地殻上部の構造によって規制されていることが推定される。特に、2000年鳥取県西部地震の震源域は島根県東部地域の地震活動の空白域と、大山火山付近の空白域に挟まれた地域で、地震活動が活発な地域である。すなわち、山陰海岸に沿った第四紀に活動していた2つの火山の間であり、地震活動域と空白域の存在が、地下構造と溶融体、地震活動と溶融体を研究する上で重要な地域である。

Key Words : Seismic Activity, Tectonic Structure, Tottori earthquake, 2000 Tottori-ken Seibu earthquake

1. 山陰地域の地震

この地域の地震活動は、880年の出雲地震(M7.0)以来、1,100年以上大地震が発生していないこと、山陰海岸に沿った地震活動域で1874年の浜田地震(M7.0)、1943年の鳥取地震(M7.2)、1927年の北丹後地震(M7.3)が19・20世紀に発生し、島根県東部で発生していないこと、最近の地震はこの地域への地震活動の集中があり、鳥取県内では1983年より東から西へ活動域の移動があった。

山陰地方の過去の地震活動の特徴をしてみる。資料として、宇佐美龍夫がまとめた「日本被害地震総覧」を基にして、中国地方中東部から近畿地方北西部を含む、北緯34度40分から36度までと、東経133度から135度20分までの範囲の地震を抽出した。38個の地震が記載されているが、701年の丹波地震、868年の播磨地震、880年の出雲地震、三つの古い地震以外は江戸時代の地震である。この間約700年間、この地方には地震の記載がない。種々の事情によって古文書が消失してしまったか、地史などの編纂が行われなかったためと考えられる。1)2)

日本海沿岸の地震活動では、丹後半島から島根半島に至る日本海沿岸と島根半島より西方の日本海沿岸では地震の発生の様子が違う。前者には北丹後地震、鳥取地震などが発生している地震多発地域であるのに、後者は1872年の浜田地震が日本海海底に発生しているのみでそ

の相違は著しい。日本海海底に発生している地震は丹後半島の沖の北丹後地震の延長部に見られる。そして、兵庫県から鳥取県の沖にも少ないが発生している。これらの地震は今のところ小地震の大きさである。日本海海底に発生する地震についての詳細は判らない。

中国地方で一番高い大山付近は地震活動の少ない空白地域であるのに、同じ第四紀の火山である三瓶山から島根-広島県境は地震活動域である。三瓶山周辺が活発な理由には定説はないが、地下の状態を示す温泉分布では、大山の山体内には温泉はなく外れて米子市の皆生温泉そして東側の関金温泉、三朝温泉がある。それに対して、三瓶山には山頂付近に三瓶温泉(志学温泉)があり、周辺部にも池田温泉、千原温泉、出雲湯村温泉、湯抱温泉等がある。この地下の状態の相違が地震活動の差としてあるかも知れない。

次に、山陰地方を「地震活動域」に分割して地震活動の特徴について述べる。

京都府中部・北部、兵庫県北部では、1925年、1927年の大地震の発生があり、それ以前には大きな地震は記録されていない。701年の大宝の地震は「冠島伝説」が語り継がれているが定かではない。宮津では江戸時代何回かの有感地震が記録に残されている。現在も地震活動が続いている地震活動域である。

鳥取県東部・中部では、鳥取県東部・中部地域で、1943

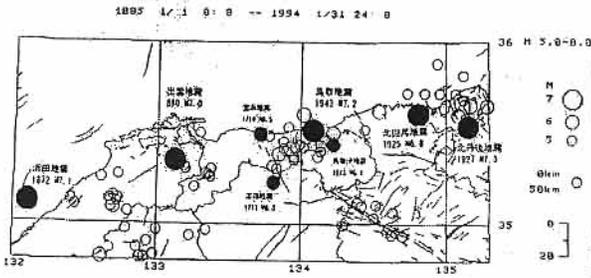
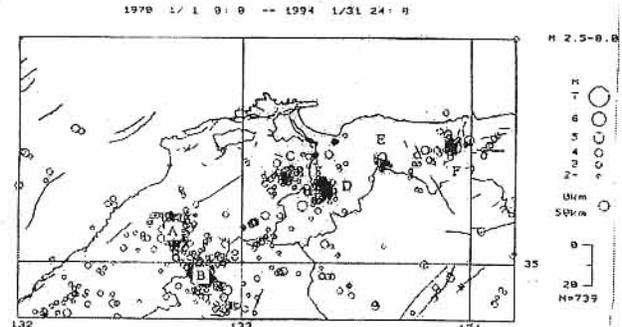


図1 山陰地域の被害地震・中地震と活断層分布

年の鳥取地震は忘れることはできない。1,000人以上の人が亡くなり、鳥取市に壊滅的な破壊を及ぼしている。この災害の再来を防ぐことは、後世の人々に対する今の我々の任務でもある。この地域では江戸時代に鳥取県中部地域に被害地震が発生していることでも”地震は再来する”との言葉通りの結果を示している。ここで注目すべき点は、地震活動が連続する発生パターンである。江戸時代の地震では1710年(宝永8年)10月3日にマグニチュード6.5の地震が起こり、約5カ月半後の翌年の3月19日に6.0の地震があった。1943年の地震は3月3日と4日にマグニチュード6以上の地震活動があり、約半年後にマグニチュード7.2の鳥取地震が発生している。江戸時代の時は活動が北から南へと移動しているのに対して、鳥取地震の時は3月の活動は鳥取市から東側に余震が集中的に発生し、9月の時は主な余震は鳥取市から西側の地域、特に鳥取県中部に多く発生している。又、鳥取地震から約40年後の1983年10月31日にマグニチュード6.2の鳥取県中部の地震が発生している。これはこの地域の地下に蓄積される地震エネルギーが6クラスの地震であれば、いつでも発生する可能性を秘めていることを我々に再認識させた。

鳥取-島根県境では、880年の出雲地震の震央は以前にはもっと西の出雲大社の付近だとも考えられていたが、ここでは出雲国府のあった東出雲地方と考えた。鳥取-島根県境付近で地震が多く発生している。古くは米子城に被害を及ぼした地震が記録に見られる。明治以後でも1904年、1914年の島根県東部の地震、1925年の美保湾の地震、1955年の根雨の地震と発生して、米子市、境港市、出雲市、松江市、安来市等に被害を与えている。美保湾の地震については、この時代の観測精度から考えて震源が少し北へずれて決定されているとの見方もあり、この活動域の地震と推定した。1989年、1990年、1991年、1997年の鳥取県西部の群発地震、1991年の島根県東部の地震と最近地震活動が活発化し、2000年鳥取県西部地震へと活動が継続した。

島根県・広島県北部では、三瓶山付近から広島県北部の活動である。大山と違い三瓶山の周辺は地震が常時発生している、しかしこの「活動域」から予想されるマグニチュードは5から6の地震である。大山付近の地震活動との相違の原因は明確ではないが、温泉地の分布など



最近の地震活動 (M2以上、1970-1994年)

- A: 三瓶山付近の地震 (M5.3(1977), M6.1(1978))
- B: 広島県北部の地震活動
- C: 島根県東部の地震 (M5.9(1991))
- D: 鳥取県西部の群発地震 (M5.2, M5.3(1989), M5.1, M5.2, M5.1(1990))
- E: 大山付近の地震 (M4.9(1985))
- F: 鳥取県中部の地震 (M6.2(1983))

図2 島根半島周辺の最近の地震活動

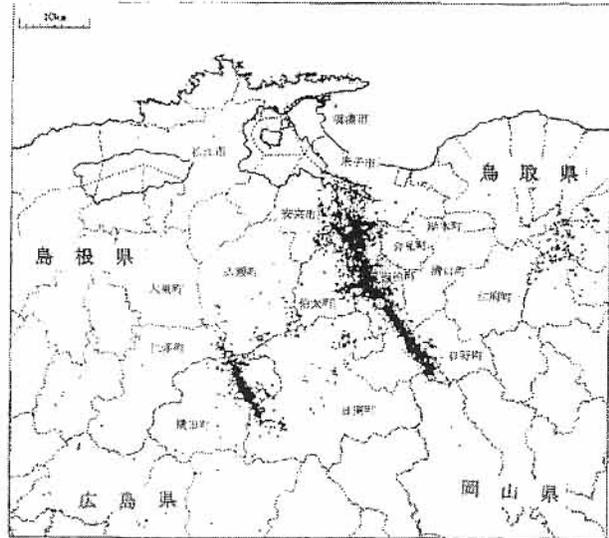


図3 2000年鳥取県西部地震の余震分布

Tottori-ken Seibu(SATARN)

10/06 13:30~23:59

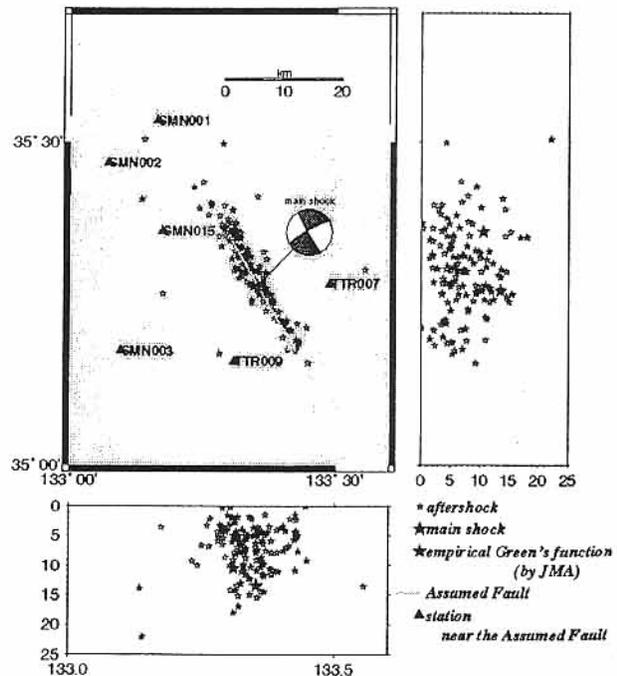


図4 2000年鳥取県西部地震の震源断層と発震機構

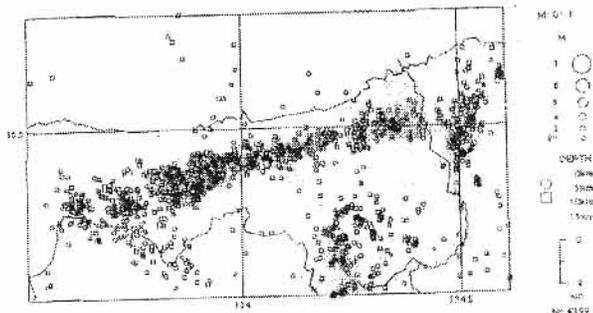


Fig. 5. Hypocenter distribution of earthquakes (M2.0), which was determined mainly by the Tottori Observatory during the period from Jan. 1977 to Nov. 1997.

図5 鳥取県の微小地震分布 (京都大学防災研)

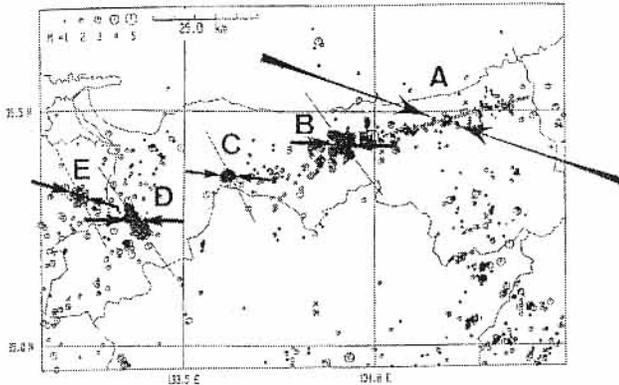


図6 最近の地震の主圧力分布と鳥取地震の主圧力から三瓶山の方が現在も活動的であろう。広島県の三次市付近では中国山脈下にも活動域が存在している。大地震では、1872年に浜田地震が発生し、景勝地として畳が浦が海底から隆起した。

2. 最近の地震活動

最近の地震活動では、1973年の鳥取県日南町の地震(M:5.1)があり、1977年(M5.3)と1978年(M6.1)に三瓶山周辺で中地震が発生し、小地域ながら被害を出し、周辺の温泉の増水・泉温の上昇など異変が記録されて、地震活動と温泉との関連が明瞭に観測された。その後、この地域は活発な地震活動が現在も継続している。1980年代に発生した鳥取県中部の地震(1983、M6.2)は1943年の鳥取地震以来最大の地震である。約3分半後に隣接してM5.7の誘発地震が発生している。以降、1985年には大山付近の地震(M4.9)が大山山頂から数km東に発生し、火山活動との関連に関心があつたが、震源の深さが約10kmと深く、直接的な関係は見つけられなかった。そして、1989年からは鳥取県西部地震の震源断層と同じ断層系での群発地震活動が始まった。1989年にM5.3、M5.4、1990年にM5.1、M5.2、M5.1、1991年にはM4.6、1997年には5.4と頻発している。その間、1991年にM5.9の島根県東部の地震が広瀬町に発生している。

鳥取県の地震活動の特徴を知るためには地震の深さが重要である。地震活動の東西断面図では、鳥取県東部では約8kmの深さが中心である。しかし、吉岡・鹿野断層を含む活動域では深さ10kmのあたりが中心である。1983年の鳥取県中部の地震を含む活動域では地震の深さ

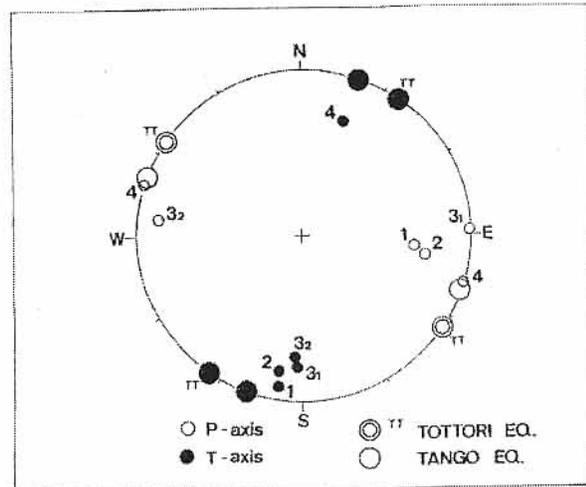


図7 山陰地域の地震の主応力分布

は10数kmまでであり、この地域では一番深い地震が発生する。大山付近の地震(1985年)は比較的地震の少ない地域である。深さは10kmを超える地震もあるが、中心は8kmのあたりで火山性の浅い地震ではない。大山は地震の空白域であり、鳥取県西部地震が発生する前の鳥取-島根県境付近の地震活動域では、深さは約10kmと推定される。全体として、中部地域の地震の震源が10数kmと深い、他の地域では10kmよりも浅い地震がほとんどである。

鳥取県中部の地震(1983年10月31日、M=6.2)は鳥取地震以来最大の地震で、その余震分布は珍しい%型をしているのは断層周辺部のストレス分布で説明される。本震とその直後に発生した地震(M5.7)の発震機構はほぼ東西主圧力の横ずれ断層型を示す。余震分布と発震機構の解析から、震源断層の走行は北西から南東で鳥取地震の断層と直交する左横ずれ断層である(西田, 1989)。また、震源断層に沿って、南東から北西方向に余震活動の移動があつた。

大山付近の地震(1985年7月4日、M=4.5)は地震の空白域である大山近傍で1985年6月から9月まで、関金町野添で鳴動が聞かれた地震活動があつた。しかし、鳴動のあつたときには目ぼしい地震活動が見られない。本震の発震機構からこの地震活動は鳥取県中部と同じ地殻応力で発生している。今後、大山山体内に地震が発生すれば注意することが必要である。6) 7) 8)

鳥取県西部の群発地震は1989年10月27日にM5.3、11月2日にM5.4の地震を含む群発地震が鳥取県西部地域に発生した。鎌倉山南方活断層に直交する地下断層の活動である。この活動は1年後に地下断層が北西へ延長する地域に1990年11月20日(M=5.1)、11月23日(M=5.1)、12月1日(M=5.0)が発生した。さらに、1991年8月27日にはM=4.7が発生し、約10時間後、西へ約8km離れた島根県東部の地震が発生した。1997年には今までの活動した地域全体で地震活動が活発化し、2000年の大地震へと発展した。主な地震の発震機構の解析から、この地震活動の地殻応力はほぼ東西主圧力である。鳥取県西部地震

の余震分布の並びが南東-北西走行であることから、この地震活動の地下断層は左横ずれ断層である3) 4) 5)。

島根県東部の地震(1991年8月28日、M=5.9)は鳥取県西部の地震域で約10時間前に発生したM=4.7の地震に誘発された形で発生した。しかし、断層系は別のものと推定される。この地震にもなう地震活動を示す。本震の発震機構は横ズレ断層型で、東西方向から約20度時計廻りに廻った主圧力方向を示す。これは南東-北西に細長く余震が分布していることから、本震の震源断層は左横ズレ断層である。9) 10) 11)

この地域の地震活動の履歴は最大地震である鳥取地震との関連で、その違いを表5-1に比較した。鳥取地震は東北東-西南西走向の右横ずれ断層を示すが、1983年以来的地震の震源断層はそれに直交する北西-南東の走向の左横ずれ断層である。また、余震活動においても短期間ながら震源断層に沿って南東から北西へと移動している。全体の地震活動も山陰海岸に沿って、東から西へと移動している。鳥取県西部地震も同様に左横ずれ断層型であり、東西主圧力を示している。

今まで、議論してきた地震活動で求められた主応力・主張力をウルフネット上に示す。山陰地方の代表的な地震として、北丹後地震(1927年)と鳥取地震(1943年)のP-軸、T-軸の方向を一緒に示す。最近の地震の地殻応力の方向は番号順に、(1)は1983年の鳥取県中部の地震(M=6.2)である。鳥取地震以来最大の地震で、震源断層の走行は北西から南東で鳥取地震の断層と直交する左横ずれ断層である。その余震分布は珍しい%型をしている。(2)は地震の空白域である大山近傍で1985年6月から9月まで、関金町野添で鳴動が開かれた地震活動で震源断層は北西-南東走行と推定される。(3)-1, (2)は1989年10月27日(M=5.3)と、11月2日(M=5.4)の地震の発震機構である。震源断層は余震分布からも明かのように北西-南東走行である。(4)は島根県東部の地震で1991年8月28日(M5.9)の地震で、他の地震と少し違い東西方向から約20度回転して、北丹後地震のそれと良い一致を示す。傾向としては、最近の地震の地殻応力はほぼ東西方向で、鳥取県西部地震とも良い一致を示している。鳥取地震(1943年)とは約30度の差がある。鳥取地震を発生させた時の地殻応力と異なっているが考えられる。鳥取地震が南海地震(1946年、M8.0)の直前であることから、東西方向の地殻応力よりも南北性が強くなっていたと推察ができる。しかし、他の地域の状態を調べる必要がある。

次に、山陰地域の地震活動の特徴をまとめると、

1) 日本海沿岸に沿う地域は西南日本内帯の地殻活動域

の1つで、地震活動域が帯状に分布している。地震活動は大体東から西へと移動している。最近の活動の移動速度は約10km/年である。

- 2) 鳥取県西部地震をはじめとして、最近の地震の震源断層は活動域の走行に直交するNW-SE走行の左横ずれ断層型である。鳥取地震だけがSWW-NEE走行の右横ずれ断層型の特徴を示す。
- 3) 山陰地方は地表面の活断層が少なく、大地震の地震断層と関連は活断層だけでは判らない。
- 6) 鳥取県西部地域では鎌倉山南方活断層に直交する地下断層系(今回の仁滅断層)の活動は11年前から始まって、2000年鳥取県西部地震の前駆的活動となった。

参考文献

- 1) 宇佐見龍夫著：新編日本地震被害総覧，東京大学出版会，1987
- 2) 宇津徳治著：地震学，共立全書，1984
- 3) 西田良平・岡田昭明・渋谷拓郎：鳥取地方の地震と活断層，1991
- 4) 活断層研究会編：日本の活断層-分布図と資料-，東京大学出版会，1980
- 5) 大阪管区气象台：1989年10月27日からの鳥取県西部の地震活動，地震予知連絡会会報，第43巻，1990年2月，pp441-447
- 6) 東京大学地震研究所白木微小地震観測所：中国地方とその周辺の地震活動(1988年5月~1989年10月)，地震予知連絡会会報，第43巻，1990年2月，pp419-425
- 7) 東京大学地震研究所白木微小地震観測所：中国地方とその周辺の地震活動(1989年11月~1990年4月)，地震予知連絡会会報，第44巻，1990年8月，pp286-293
- 8) 大阪管区气象台：鳥取県西部の地震活動(1990年11~12月)，地震予知連絡会会報，第46巻，1991年8月，pp330-336
- 9) 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター・鳥取大学教養部地学教室：鳥取-島根県境付近の地震(1991年8月28日・M=5.9)，地震予知連絡会会報，第47巻，1992年2月，pp379-386
- 10) 大阪管区气象台：島根県東部の地震(1991年8月28日・M=5.9)，地震予知連絡会会報，第47巻，1992年2月，pp387-393
- 11) 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター・鳥取大学教養部地学教室：米子南方(鳥取-島根県境)に発生した群発地震，地震予知連絡会会報，第43巻，1990年2月，pp448-461

平成12年鳥取県西部地震における電気・ 上水道・下水道の被害

松田 博¹

¹正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

平成12年鳥取県西部地震はライフラインに著しい被害を与えたが、とくに地盤工学的な見地から、配電柱の沈下、水道管の破損、下水処理場の地盤沈下について調査した。その結果、液状化によって多くの配電柱が沈下あるいは傾斜したことがわかった。また、竹内工業団地においては多数個所で配水管の破損が生じたが、破損形態は継手部分の抜けによるものであって、破損は主に東西方向の配水管において生じていることがわかった。一方、下水処理場では、地盤が30cm程度沈下したことがわかった。

Key Words : earthquake, lifeline, liquefaction, settlement, electric power supply, water and sewage

1. まえがき

鳥取県西部地震 (M7.3)は平成12年10月6日13時30分ころ発生したが、上水道、下水道、電気、ガス、電話等ライフラインも著しい被害を受けた。上水道は鳥取、島根、岡山の各県において7,254戸で断水し、電気については17,402戸で停電した。また、下水道は鳥取、島根県で36件の被害が報告されている¹⁾。これらライフラインの被害のうち、特に竹内工業団地での水道管の被害、米子市内での配電柱の被害、下水処理場での被害状況について、地震直後から現地調査を行うとともに、関係諸機関より多くの情報を得ることができたので報告する。

2. 配電設備の被害

中国電力(株)は愛媛県、香川県の諸島の一部を含めた中国5県の480万戸に配電している。地震によって電力の供給が停止したのは、鳥取県では日野郡日野町、日南町、溝口町、江府町および西伯郡岸本町の一部9,277戸、島根県では松江市内の一部5,109戸、岡山県では岡山市内、邑久郡牛窓町、御津郡御津町の一部3,016戸の計17,402戸である¹⁾。送電線の被害としては、6万6千ボルト送電線黒坂線の一部(鳥取県日野郡溝口町)では、写真-1に示したように鉄塔基礎の擁壁が崩壊するなどの被害が出た¹⁾。一方、多くの配電柱が沈下、傾斜した。沿岸部において配電柱の被害が著しかった地区は図-1に示した

ように境港西工業団地、彦名新田、竹内工業団地、安倍彦名、旗ヶ先等であるが、特に米子市旗ヶ先に



写真-1 黒坂線 (66 kV) No. 50 基礎部の被害 (写真: 中国電力提供)

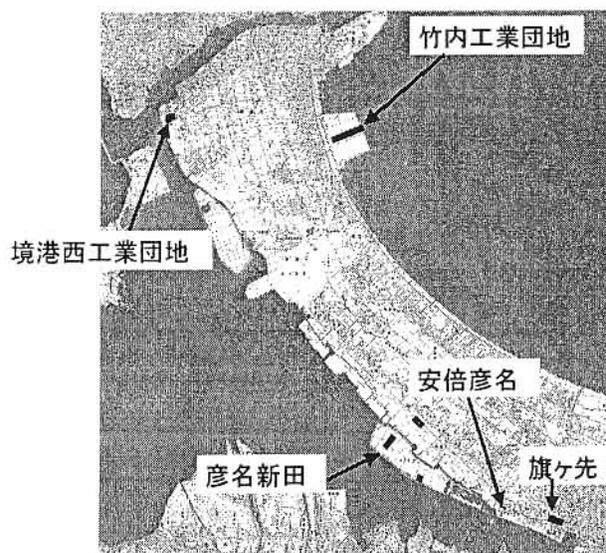


図-1 配電柱の被害が著しい箇所



写真-2 配電柱の沈下（米子市旗ヶ崎）

おいては多くの配電柱が沈下した。写真-2 は 2.5 m 根入れされた長さ 15m の配電柱が支持力を失い 1.2m 沈下した状況を示したものである。図-2 は幹線として使用されている配電柱（長さ 15m）の沈下の状況を示したものであるが、沈下は 1.5m に達する場合が有り、また各配電柱の沈下は一様ではないことがわかる。

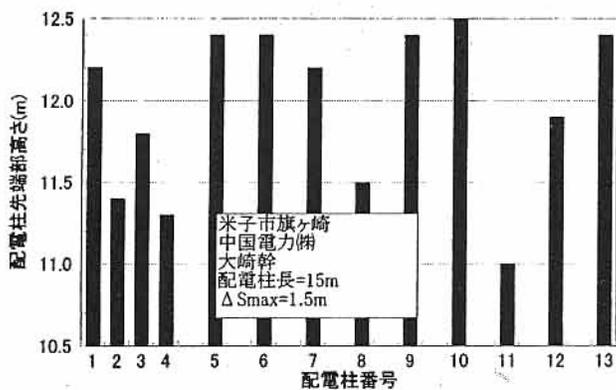


図-2 米子市旗ヶ先における配電柱の沈下

表-1 配電設備についての被害

	鳥取	島根	合計
電柱等の折損(本)	4	0	4
電柱等の傾斜(本)	250	26	276
断線・混線(箇所)	4	0	4
合計	258	26	284

配電設備についての被害をまとめたものが表-1 である。このような配電柱、送電線の被害にも関わらず、停電個所の復旧は早く、地震発生から 1 時間経過後の 10 月 6 日 14 時 30 分には島根県内が復旧し、鳥取県、岡山県ではいずれも地震発生から 2 時間経過した 10 月 6 日 15 時の時点において全面復旧した。

3. 水道管の被害

地震被害のなかで、給水の停止は住民の生活に及ぼす影響が大きく、今回の地震においても多くの人々が不自由な生活を余儀なくされた。

震央に近い米子市水道局では、米子市の 13 万 9 千人、境港市の 3 万 6 千人、日吉津村の 3 千人の計 18 万人、6 万 4 千世帯に給水している。地震による配水管の被害は、米子市 198 件、境港市 80 件、日吉津村 2 件の合計 280 件、宅内水道管破損はそれぞれ 501 件、108 件、4 件で合計 613 件、濁り水、出水不良、その他は合計 325 件が報告されている。(10 月 31 日現在)

また、震央近辺の西伯町、会見町、淀江町、日野町、溝口町においても水道水に異常を生じた。地震直後の状況をまとめたものが表-2 である。

表-2 米子市及び周辺市町村の水道の状況

地区名	状 況
米子市	配水管の破損 133 件、宅内水道管破損 312 件 富益団地では地震後 80 世帯が断水した。
境港市	配水管の破損 30 件、宅内水道管破損 65 件 竹内団地では 80%以上が断水状態（工業用）
西伯町	断水世帯 29 戸（東上簡易水道 9 戸、上田簡易水道 20 戸）
会見町	全世帯の 85%にあたる約 1000 世帯で濁り水
淀江町	水に濁りあり
日野町	全世帯の 90%にあたる約 1100 世帯で一時断水。12 日夜までに 90%以上復旧の見通し。
溝口町	大内簡易水道（30 戸）は給水開始したが、飲料水には適さないことから応急給水

※米子市、境港市は 10 月 8 日現在、他は 10 月 11 日現在

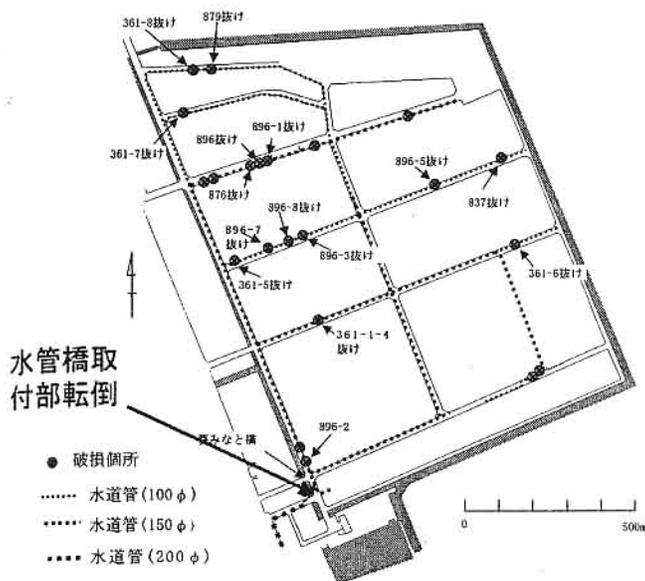


図-3 竹内工業団地の配水管網

今回の地震においては、境港市の東海岸に位置する竹内工業団地では広範囲において液状化現象が見られた。また水道管も団地内の多数箇所破損した。竹内工業団地内では昭和 62 年から平成 11 年の間に DIP 150φ、200φ、100φ の水道管が地表面下 1.2～1.4m の位置に敷設された。団地内の配管網および破損箇所（図中の⊗印）を示したものが図-3 である。写真-3 は図-3 の破損箇所番号 361-7 における管径 100mm の配水管破損状況を示したものである。同箇所の配水管はほぼ東西配置されている。地表面では舗装面に亀裂が生じており、配水管は継手部分の抜

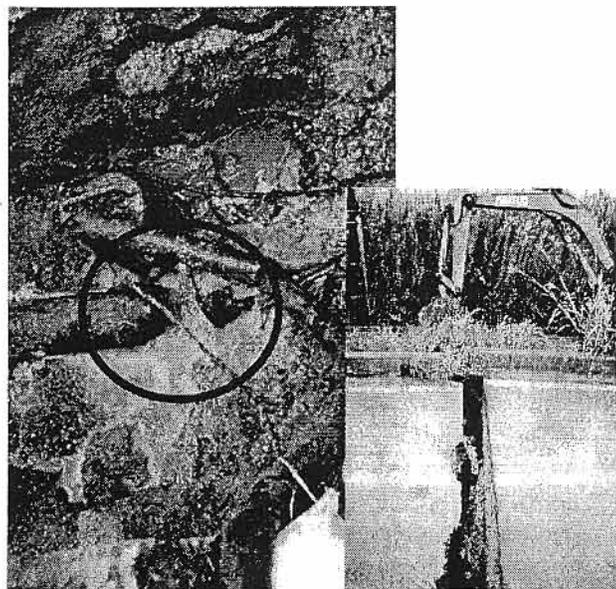


写真-3 管径 100mm の継手部分の抜けによる破損と地表面に現れた亀裂（写真提供：米子市水道局）



写真-4 水管橋取付部分の転倒によって生じた損壊（写真提供：米子市水道局）

けによって破損している。同様な形式の破損は図-3 に示したように竹内工業団地内の多数箇所確認されている。特に、破損箇所 896-2 以外は、いずれの破損も東西方向に設置された配水管において生じている。この原因については、現時点では明確ではないが、団地内の埋立て層が東方向に流動したとも考えられる。

一方、竹内工業団地の南西端には管径 300mm の水管橋があり、そのコンクリート取付部が転倒し、継手部分が破損した。取付部破損状況と修復された状態を示したものが写真-4 である。地震前には図中の点線のように設置されていた水道管がコンクリート取付部分の転倒によって実線のように継手部分で折れ曲がった。

4. 下水道の被害

下水道本管の被害状況の把握は容易ではないが、鳥取県では 35 件、島根県では 1 件の被害が報告されている¹⁾。その中で、米子市においては下水道本管破損箇所 19 ヶ所（安倍幹線、安倍彦名団地污水管、灘町地区污水管、富士見町地区污水管等）マンホール周囲段差 50 ヶ所、マンホール漏水 132 ヶ所が確認されている。（10 月 22 日現在）

特に、米子市安倍、内浜下水処理場では、最初沈澱池、生物反応槽、最終沈澱池内の配管からの漏水によって浸水する被害を生じた。また、沈澱槽側壁下部には写真-5 に示したように、地表面と平行な痕跡がみられる。同沈澱槽は図-4 に示したように杭基礎で支持されており、また、躯体部分の重量からも周辺地盤が相対的に約 30cm 沈下したと考えられる。

写真-6は消化槽周辺地盤の状況である。消化槽本体は図-5に示したように鋼管杭で支持されており被災を免れた。しかし、消化槽周辺では液状化による噴砂がみられ、また側方流動のために生じたと思われる亀裂が地表面に現れている。処理場施設は地盤の沈下等によって大きい被害を被ったが、下水処理

機能は維持された。

5. まとめ

平成12年鳥取県西部地震はライフラインにも著しい被害を与えたが、ここではとくに地盤工学的な見地から、配電柱の沈下、水道管の破損、下水処理場の地盤沈下の状況について調査した。その結果、液状化によって多くの配電柱が沈下あるいは傾斜したことがわかった。また、竹内工業団地においては多数個所で配水管の破損が生じたが、破損形態は継手部分の抜けによるものであって、破損は主に東西方向の配水管において生じていることがわかった。一方、下水処理場では、地盤が30cm程度沈下したことがわかった。

なお、調査にあたっては地盤工学会平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団の協力を得るとともに、米子市水道局、同下水道部、中国電力から多くの資料の提供を受けた。末筆ながら感謝します。

参考文献

- 1) 地盤工学会・調査部：平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告，2000。

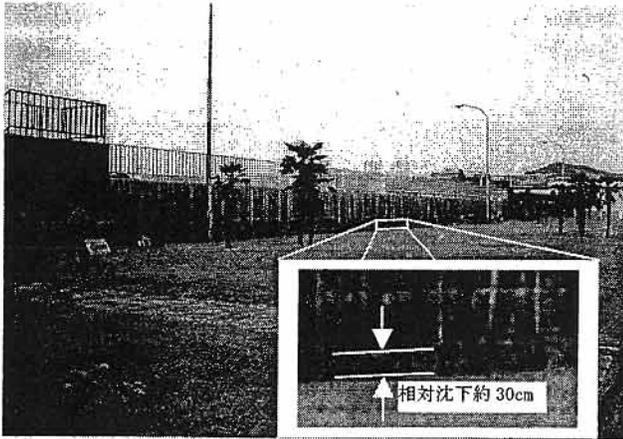


写真-5 米子市安倍、内浜下水処理場での沈澱地周辺地盤の沈下による被害

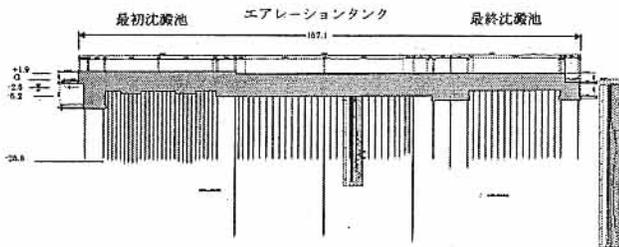


図-4 最初沈澱池，生物反応槽，最終沈澱池の基礎（米子市安倍、内浜下水処理場）

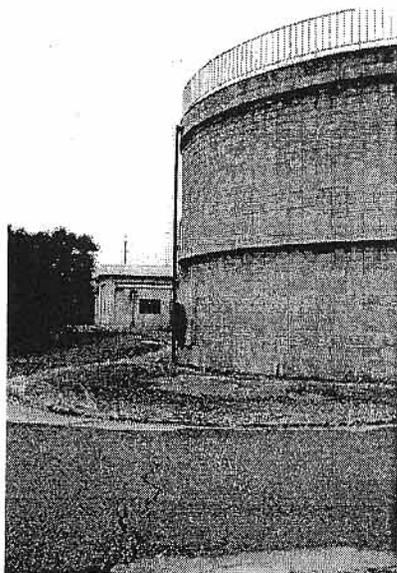


写真-6 汚泥消化タンク周辺地盤にみられる噴砂と地表面に生じた亀裂

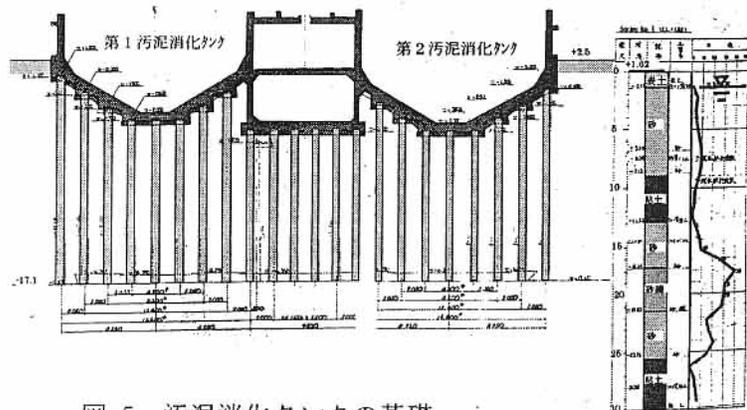


図-5 汚泥消化タンクの基礎