

2001年芸予地震における液状化被害

田地 陽一¹・浅香 美治²・社本 康広³

¹正会員 工博 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 江東区越中島三丁目4-17)

²工修 同上

³工博 同上

2001年3月24日、広島県沖の芸予灘を震源とする地震が発生した。気象庁マグニチュードは6.7 (6.4から修正)、震源深さは51kmのプレート内部で発生した地震であった。広島県および愛媛県を中心に中国、四国、九州地方にわたる広域で強い揺れが生じ、広島県の一部では震度6弱が観測された。

液状化現象は、震源から概ね50km以内の地点で生じており、広島県側では大野町、廿日市市、広島市、呉市、三原市など、愛媛県側では、今治市、松山市などで見られた。液状化の発生した地点は埋立て年代の若い埋立地や河川、港湾の護岸に限定されており、特に液状化に起因する重大な構造物被害は認められなかった。

Key Words : liquefaction, reclaimed ground, earthquake, site investigation

1. はじめに

2001年3月24日午後3時28分頃、広島県沖の芸予灘を震源とする大きな地震が発生した。気象庁マグニチュード(M_j)6.7、震源深さ51kmのプレート内部で発生した地震で、広島県および愛媛県を中心に中国、四国、九州地方にわたる広範囲で強い揺れが生じ、特に広島県の一部(熊野町、大野町、河内町、大崎町)では震度6弱が観測された。死者2名、負傷者259名の人的被害、全半壊207棟(4/4消防庁)の建物被害をはじめとして、道路、港湾、鉄道やライフラインに被害が発生した。

液状化現象は、広島県側では大野町、廿日市市、広島市、

呉市、三原市など、愛媛県側では、今治市、松山市などで発生した。本報では、芸予地震において生じた液状化による被害状況を概説する。

2. 観測された地表の最大加速度

防災科学技術研究所のKyoshin-net(K-net)¹⁾において観測された最大の水平加速度は広島県湯来町における830cm/s²(EW方向)であった。三原市でも651cm/s²(NS方向)が記録されている。四国では東予市で459cm/s²(EW方向)が記録されており、震源距離が最も近い北

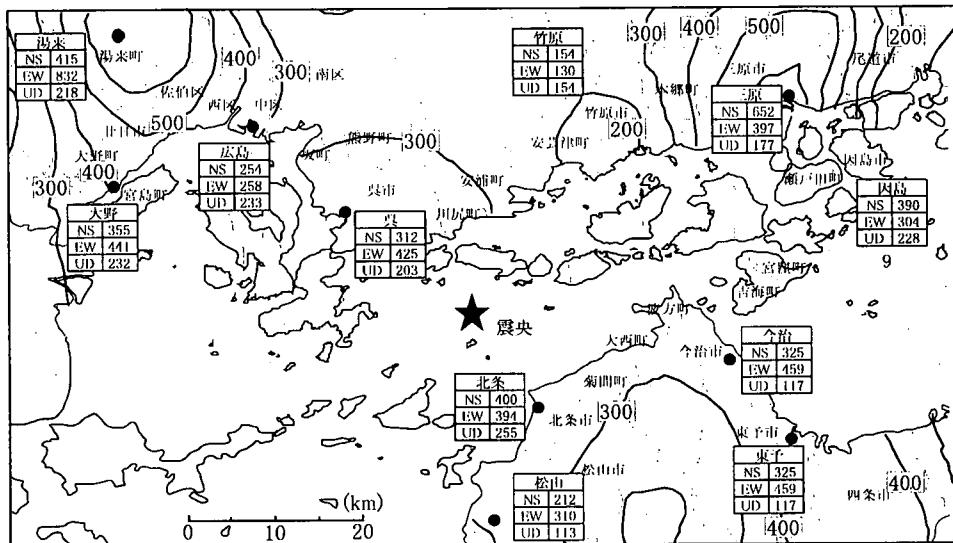


図-1 k-netにより観測された加速度応答値¹⁾

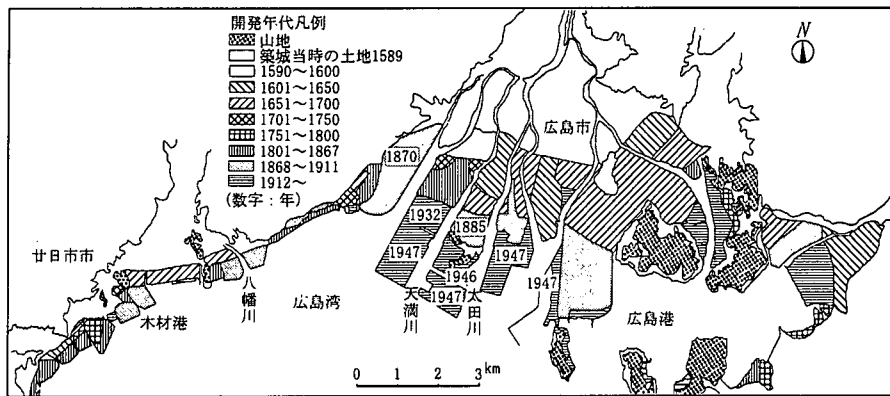


図-2 広島市における埋立て履歴²⁾

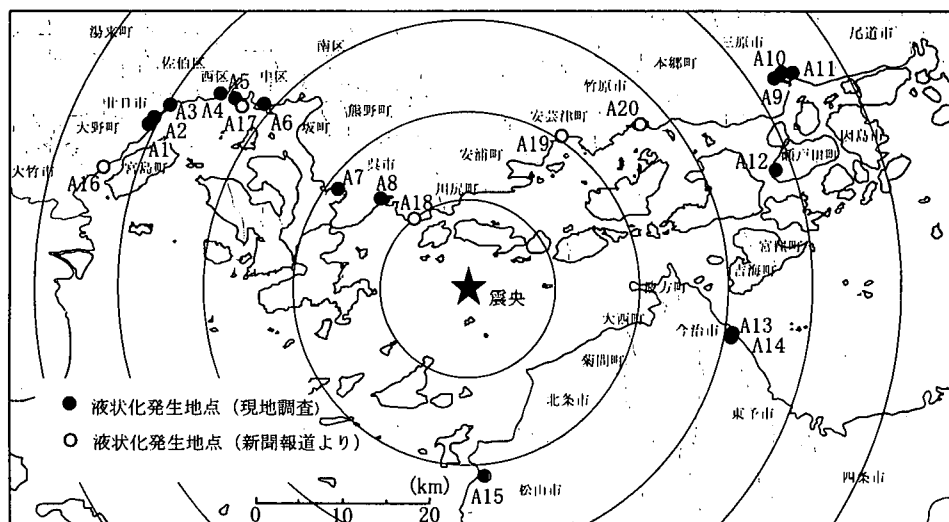


図-3 芸予地震における液状化発生地点

糸市で 400cm/s^2 であった。都市部では、呉市で 425cm/s^2 (EW 方向), 広島市で 258cm/s^2 (EW 方向), 松山市で 310cm/s^2 (EW 方向) であった。

図-1 は、観測された記録の地表面での水平最大加速度分布の等高線を示したものである。今回の地震はプレート内部での地震であったため震源位置が約 50km と深く、広範囲にわたって比較的大きな加速度記録が観測されている。加速度は、震央からの距離に応じて減衰するのではなく、広島市付近、三原市付近および西条市、松山市と震源に近い呉市で大きくなっている。

3. 地盤概要

文献^{2), 3)}によると、液状化が問題となる第四紀完新世の堆積層(沖積層)は、広島県側では、大竹市、広島市、三原市などの海岸平野に見られる。広島市に発達する海岸平野である広島低地は、太田川の堆積による三角州を基盤としているが、図-2に示すように1500年代から瀬戸内海に向かって干拓されている。この地域は、おおよそG.L.-10m以浅の表層部が砂層で、G.L.-10~30m

に粘土層が堆積している地層構成をしている。

愛媛県側の沖積低地は、松山市および東予市から新居浜市に至る東予地区、今治市に発達している。今治市は、市街地から南方へ縦 7km 、横 5km の平野が展開し、蒼社川、頓田川が貫流している。昭和42年以降に蒼社川の南地区が埋立てられ、今治港が形成されている。松山市は、重信川、久万川による海岸平野であり、昭和3年以降、久万川の西部や三津港などが埋立てられている。松山空港は、吉田浜の砂丘を整地して作った予科練用の空港を改修したもので、その際に滑走路を延長するために、海側へ埋立てが行われている。

4. 液状化被害の概要

図-3は、噴砂や地割れなどの確認によって液状化現象を伴う地盤被害が生じたことを確認した地点に、新聞報道などによる液状化発生地点を加えたものである。液状化の発生した地点は、概ね震源から $40\sim 50\text{km}$ の範囲に集中しており、広島県側では大野町、廿日市市、広島市、呉市、安芸津町、竹原市、三原市、瀬戸田町など、

表-1 液状化発生地点の概要

記号	地点名	被害を受けた構造物	被害状況
A1	廿日市市阿品三丁目	太鼓ヶ浜団地	団地内に噴砂 ただし、家屋の傾斜なし
A2	廿日市市阿品三丁目	高層マンション、室内プールなど	建物周囲の沈下20cm、護岸背後にクラック、室内プールの不同沈下
A3	廿日市市木材港南	木材港臨港道路	道路や緑地帯100mにわたり噴砂
A4	広島市西区草津港	草津港-7m岸壁	護岸背後に幅40cmの亀裂、30cmの段差
A5	広島市西区観音新町四丁目	グラウンド	グラウンド中央部に噴砂、コンクリートブロックの損壊
A6	広島市南区出島二丁目	集会場付近	建物周辺に噴砂 建物被害はなし
A7	呉市築地町	臨港団地護岸	護岸隅角部が海側へ移動し亀裂発生
A8	呉市阿賀南	道路、グラウンド、テニスコート	道路、グラウンド、テニスコートに噴砂
A9	三原市宗郷町	河川堤防	堤防に20cmの段差、石積み壁のほらみだし
A10	三原市港町三丁目	市役所そばの緑地	電話box周辺に噴砂
A11	三原市城町三原港	三原港護岸	護岸背後地盤約10cm沈下
A12	瀬戸田町	多目的グラウンド	グラウンド内に噴砂
A13	今治市天保山今治港	今治港岸壁	護岸背後地盤幅15cmの亀裂、段差20cm
A14	今治市片原町	フェリーターミナル	護岸背後地盤に幅10cmの亀裂、
A15	松山市松山空港	滑走路そば	滑走路脇に噴砂
A16	大野町	グラウンド、室内練習場	グラウンド内に噴砂、五、六ヶ所で10～15cm陥没
A17	中区江波沖町	グラウンド	グラウンド内に噴砂
A18	呉市広小坪	小坪団地	被害状況不明
A19	安芸津町		町内4カ所で液状化
A20	竹原市		駅前商店街4カ所で噴砂

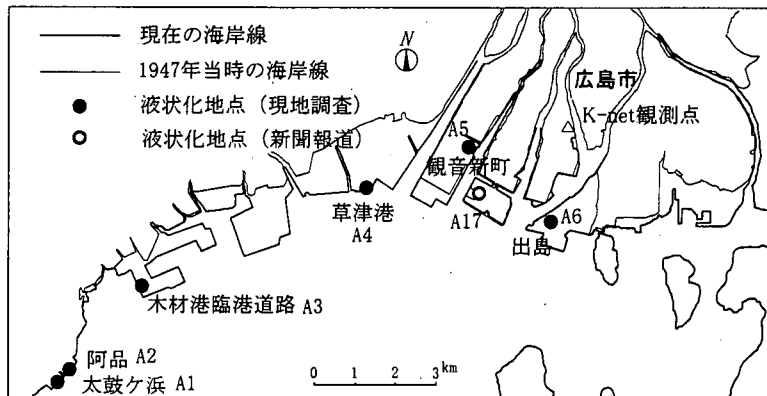


図-4 広島市近郊における液状化発生地点と1947年および現在の海岸線の分布

愛媛県側では今治市、松山市などで広範囲に見られた。なお、参考文献4)によると、東予市においても液状化が確認されている。

栗林・龍岡ら⁵⁾が示した液状化の生じる限界震央距離 R ($\log R = 0.77M - 3.6$) は、気象庁マグニチュード6.7で計算すると、36kmであり ($M_j = 6.4$ で計算すると $R = 21\text{km}$)、今回の地震で発生した液状化の限界震央距離は、この値を越えている。これは、震源位置が深く広範囲で揺れが観測されたためと推定できる。液状化の発生した地点は、図-1に示した大きな加速度が記録された地点とほぼ対応している。

表-1は、現地踏査の結果と新聞報道から収集した液状化による被害状況を一覧にしたものである。

図-4は広島市近郊における液状化発生地点と1947年当時の海岸線と現在の海岸線を示したものである。液状化が発生した地点は、主に1947年以降に埋立てられた地域である。写真-1は、広島市中区にあるグラウンド(A5)の噴砂の様子を示したものである。こうした縦方向の亀裂を伴って生じる噴砂は、既往の地震でもよく見られる現象である。このグラウンドの側面は、無筋のコン

クリートブロックで支えられているが、液状化の影響を受けて崩壊し、側溝が噴砂で埋められていた。グラウンド周辺では、構造物の沈下が見られず、液状化の発生はグラウンドの局所的な地点に限られている。こうした液状化現象は、廿日市市の木材港臨港道路(A3、写真-2)や呉市阿賀南地区(A8)でも見られた。廿日市市の木材港臨港道路では、アスファルト舗装道に、約500mにわたって最大5cmの亀裂が数十カ所で発生し、一部区間は片側通行となった。呉市阿賀南地区では道路やテニスコートにおいて噴砂が認められた。

写真-4は、三原市にある河川堤防(A9)の被害状況を示したものである。基礎地盤の液状化に伴って盛土が崩壊し、この結果道路面に亀裂が生じ、約20cmの段差が生じ、側溝の石垣が崩壊した。

地震に伴う液状化被害として護岸の被害はよく見られる。写真-5は広島市西区草津港(A4)の護岸の被害を示したものである。-7m岸壁におけるエプロン部で幅40cm、段差30cmの亀裂が生じていた。隣接した-5m岸壁でもエプロン部で護岸と平行に複数の亀裂が発生した。両岸壁はいずれも矢板式であり、建設時に床堀置換



写真-1 グラウンドに生じた噴砂（広島市中区）



写真-2 道路脇の噴砂（廿日市市木材港臨港道路）



写真-3 河川堤防の被害（三原市宗郷町）



写真-4 エプロン部の亀裂（草津港）

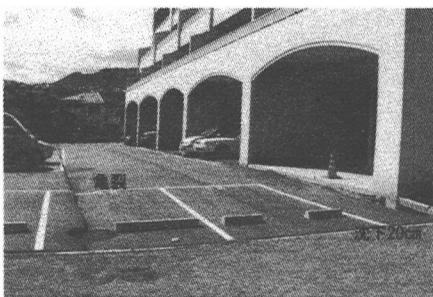


写真-5 駐車場の亀裂（廿日市市）

工法が採用されており、同地区のその他の護岸では、軟弱地盤対策として海底地盤にサンドドレーンが施されていた^{6),7)}。被害を受けた護岸では、矢板が置換砂に根入れされており、置換砂の液状化により岸壁が損傷した可能性がある。

こうした液状化に伴う護岸の被害は、今治港(A13, A14)、三原港(A11)、呉港(A7)でも見られたが、いずれも軽微な被害であり、港湾業務に大きな支障をきたす被害は生じていない。

写真-5は、廿日市市阿品(A1, A2)にある護岸に近接した14F建てマンション背後の駐車場の状況を示したものである。護岸と建物の間に複数の亀裂（亀裂幅の合計30cm程度）が生じており、建物の隅部では約20cmの沈下が生じていた。また、付近のスイミングプールでは、付属建物との通路部分の腰壁と入り口部分の壁に亀裂が生じていた。この建物の周辺には噴砂や地盤の沈下が見られ、舗装の隆起や付帯する階段に被害が生じていた。この地区は、護岸工事が昭和57～61年度に完成していることから、新しい埋立て造成地であると推測される。

以上に示したように、芸予地震において液状化の発生

した地点は比較的埋立て年代の若い埋立地や河川、港湾の岸壁・護岸に限定されており、調査した範囲では液状化に起因する重大な構造物被害は認められなかった。

5. まとめ

2001年芸予地震では、震央から約40～50km以内の地点で液状化が発生した。既往の液状化限界距離よりも広範囲で液状化が発生した。これは、震源が深く、広範囲に揺れたことと対応する。

液状化が発生した地点は、広島市、三原市、呉市、廿日市市など、愛媛県側では、松山市、今治市などであった。いずれも埋立て年代の若い埋立て地で液状化が発生した。広範囲に液状化が発生したが、液状化に起因する重大な構造物被害は認められなかった。

参考文献

- 1) 独立行政法人防災科学技術研究所ホームページ：<http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 2) 建設省計画局・広島県：広島地区の地盤、年地盤調査報告書第5巻、大蔵省印刷局、1964
- 3) 建設省計画局、愛媛県：愛媛県東予地区の地盤-年地盤調査報告書第5巻、大蔵省印刷局、1964
- 4) 飛鳥建設(株)技術研究所：3月24日芸予地震被害調査報告書、2001.5
- 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、1974.12
- 6) 広島市：広島市西部開発事業誌、1983.3
- 7) (社)土木学会芸予地震被害調査団：2001年3月24日芸予地震被害調査報告、2001.4.