

2001年3月24日芸予地震被害調査報告

(社)土木学会芸予地震被害調査団

調査の概要

平成13年3月24日15時28分頃、広島県南部を震源とするマグニチュード6.4(M_J)の地震が発生し、広島県の熊野町、大野町、河内町、大崎町で震度6弱の揺れを記録したほか、震源深さが51kmと深かったために、中四国地方の広い範囲で震度5や4の大きな揺れを記録した。死者2名、負傷者183名の人的被害、全半壊57棟(3/26消防庁等)の建物被害を始め、電気・ガス・水道などのライフラインにも被害が生じた。土木学会・災害緊急対応部門は地震工学委員会(委員長:片山恒雄・独立行政法人防災科学技術研究所理事長)と連携の上、直ちに被害調査団派遣に関する検討に入り、平成13年芸予地震被害に関する調査団派遣を決定した。調査期間は地震直後から4月上旬まで、野田 茂(団長:香川大学工学部:総括)、麻生稔彦(山口大学工学部:港湾(山口)・土構造物被害)、磯山龍二(日本技術開発(株)環境防災事業部:橋梁被害)、清野純史(京都大学工学研究科:地盤震動)、末富岩雄(佐藤工業(株)中央技術研究所:地震動、地盤震動、地盤災害)、高橋良和(京都大学工学研究科:道路・橋梁被害)、瀧本浩一(山口大学工学部:災害対応)、野津 厚(独立行政法人港湾空港技術研究所:港湾(広島)被害)、橋本隆雄((株)千代田コンサルタント都市計画部:斜面災害・宅地地盤災害)、古川 智(中電技術コンサルタント(株)解析技術部:地震防災)、宮島昌克(金沢大学工学部:ライフライン被害)の11名を現地に派遣し、調査を行った。

地震および地震動

気象庁による震源情報は、震央位置は(34.1°N, 132.7°E)、深さ51kmである。図-1に震源周辺での震度分布を示す¹⁾。また、余震分布を示したものが図-2である²⁾。発震機構は、東西方向に張力軸をもつ正断層型である。余震発生域は、概ね南北に20kmであり、深さは40~50kmに分布している。余震域の大きさは概ねマグニチュードの大きさと整合している。今回の震源は南海トラフから沈み込むフィリピン海プレート内の地震活動が活発な地域の北端付近に当たる。西に向けて引っ張られ、かつ曲げられたフィリピン海プレート内部が破壊して起こったものと考えられている²⁾。

中国地方は活断層も少なく、これまでに陸域の浅い大地震の記録があまりないところである。また、日本列島の中では地殻変動が比較的小さい。しかしながら、今回発生した地震域では周期的に被害地震が発生しており、1649年のM7.0、1686年のM7~7.4や1857年のM7 1/4の地震などが知られている。明治以降では、1905年の芸予地震(M7 1/4)は、発生した深さは50km前後で、揺れは広島、愛媛両県の沿岸、特に広島市、呉市、江田島

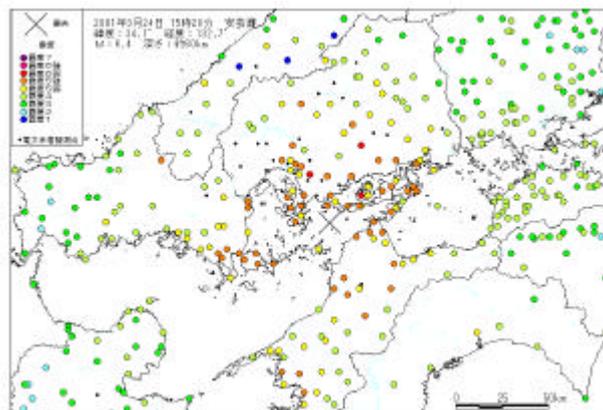


図-1 本震における震度分布¹⁾

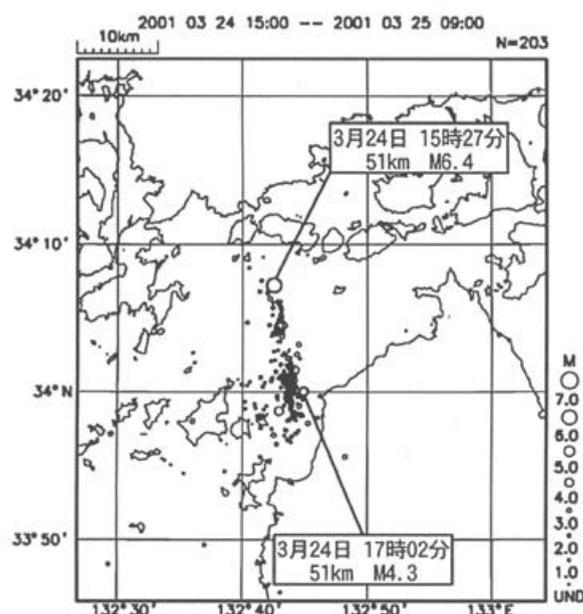


図-2 余震分布²⁾

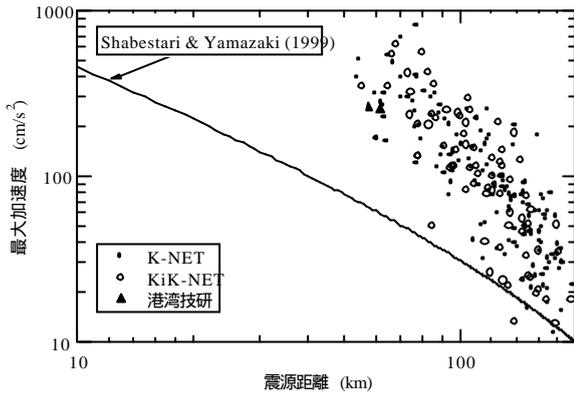


図-3 最大加速度の距離減衰特性

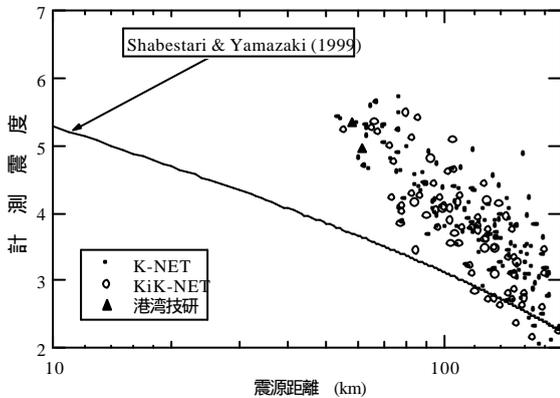


図-4 計測震度の距離減衰特性

町, 宇品 (広島市), 松山市, 三津浜 (松山市), 伊予市などで強く, その震度は5~6相当の揺れとなった。広島県で死者11名, 家屋全壊56, 愛媛県で家屋全壊8などの被害が生じた。広島県での代表的被害として, 埋立地にあった広島監獄での被害がある。ここでは死者2名, 負傷者22名を出した。愛媛県では三津浜で家屋の全壊などの被害が生じたほか, 伊予でも被害が生じた。県内の海岸沿い, 特に埋立地で大きな被害が生じた。さらに1949年にもM6.2の地震がやや深いところで発生しており, 呉で死者2名などの被害が生じた³⁾。

気象庁マグニチュードでは昨年の鳥取県西部地震より0.9も小さいが, 遠地の記録を用いたモーメントマグニチュードでは, $M_w = 6.7$ (東京大学地震研究所⁴⁾, USGS), 6.8 (独立法人・防災科学技術研究所), 近地の記録を使った関口・岩田⁵⁾で $M_w = 6.9$ となっており, それぞれの鳥取県西部地震での値に比べ同程度かやや大きめとなっている。

地震観測網は, 独立行政法人・防災科学技術研究所によるK-NET (強震ネット)⁶⁾, KiK-NET (基盤強震ネ

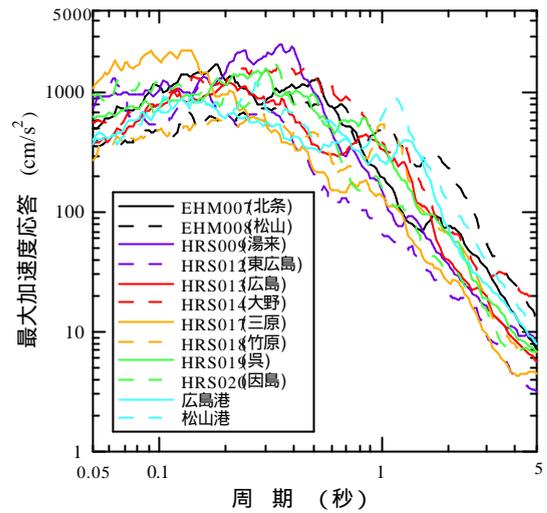


図-5 2001年芸予地震で観測された記録の加速度応答スペクトル (減衰5%)

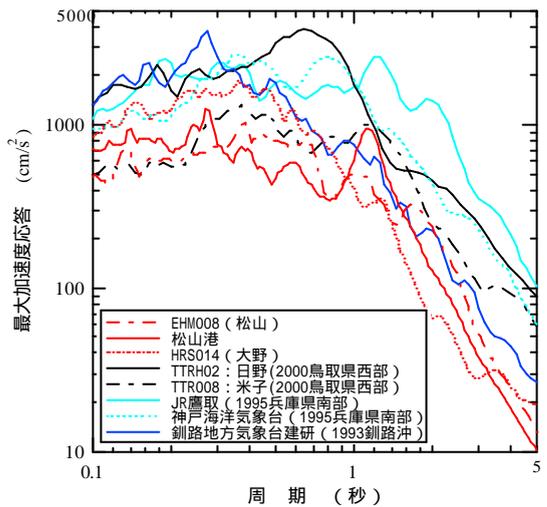


図-6 既往の観測記録の加速度応答スペクトル (減衰5%) との比較

ット)⁷⁾, 気象庁および自治体による震度計が展開されており, 多くの強震記録が得られている。さらに, 独立行政法人・港湾空港技術研究所による広島港, 松山港での記録がインターネットを通じて早期に公開されている⁸⁾。また, 広島市では平成12年より地震情報ネットワークシステムの運用を開始している⁹⁾ (「地震防災」参照)。

最大加速度の距離減衰特性を図-3に, 計測震度の距離減衰特性を図-4に示す。最大加速度は水平面内での最大値である。Shabestari & Yamazaki (1999)¹⁰⁾は, 全国のK-NETによる観測記録を用いて, 各種地震動指標値の距離減衰式を提案している。最大加速度PGAの関係を

式(1)に、計測震度 I_{JMA} の関係を式(2)に示す。この式では、平均的な地盤条件に対する値を表している（地点係数の平均値が 0 となるようにして、重回帰分析を行っている）。

$$\log_{10}(PGA) = 1.185 + 0.352M - 0.00192r - \log_{10} r + 0.00478h \quad (1)$$

$$I_{JMA} = 1.346 + 0.855M - 0.00313r - 1.89 \log_{10} r + 0.00774h \quad (2)$$

ここで、 M : マグニチュード、 r : 断層面からの最短距離 (km)、 h : 震源深さ (km) である。最大加速度、計測震度とも Shabestari & Yamazaki (1999) よりも明らかに大きい。従来の統計に基づいた $M=6.4$ という地震規模の割には、地震動が大きかったということがわかる。ただし、図-3,4 において横軸には震源距離をとっている。Shabestari & Yamazaki (1999) の距離指標は断層面からの最短距離であるが、震源が深いためここでは近似的に震源距離に対応させている。

震源周辺の観測点における加速度応答スペクトル（減衰 5%）の比較を図-5 に示す。崖下の堅いところに設置されている HRS017（三原）では、0.1 秒前後とかなり短い成分が卓越している。800cm/s² を越える加速度が観測された HRS009（湯来）では 0.2~0.4 秒の短周期成分が卓越している。広島港、松山港、EHM008（松山）、HRS018（竹原）など比較的地盤が軟らかいところでは、短周期成分は小さく、周期 1~2 秒のやや長い成分が卓越している。松山港、EHM008（松山）は破壊伝播の延長方向にありディレクティビティの影響を受けている可能性もある。全体的には、観測点の地盤特性による周波数特性の違いが顕著に見られた。2000 年鳥取県西部地震を比べると、地盤による違いは顕著ではないように思われる。地盤の非線形化の度合いが小さいことも一因と思われる。

2000 年鳥取県西部地震および 1995 年兵庫県南部地震など、既往の強震記録の加速度応答スペクトルとの比較を図-6 に示す。兵庫県南部地震の記録と比べると明らかに小さい。建物被害が少なかった米子の記録と比べても小さく、地震動の大きさ（特に周期 1~2 秒付近が多く、の構造物の破壊に大きく影響する）は鳥取県西部地震より小さいと考えられる。

港湾被害

(1) 広島県下

平成 13 年芸予地震による港湾被害の特徴は、被害が比較的広範囲に分布していることである。被害の程度については、三原市内の須波漁港のように大きな被害を受けたところもあるが、全体として被害は軽微であった。



写真-1 広島港草津地区南側岸壁 (-5.5m) の被災状況



写真-2 広島港草津地区草津漁港東側岸壁 (-7.0m) の被災状況



写真-3 倒壊した広島県三原市の須波波止

須波漁港の被害は歴史ある地方ならではの被害として特筆される。以下、代表的な被害について述べる。

広島港草津地区は太田川放水路の西側に位置する。広島市西部開発事業¹¹⁾により昭和46年～昭和56年にかけて造成された埋立地であり、流通センター、中央卸売市場がある。また南東側の隅角部に草津漁港がある。写真-1は草津地区南側岸壁(-5.5m)の被災状況である。この施設では背後に岸壁法線と平行な複数のクラックが生じた。それらの幅を合計すると最大で30cm程度であり、この施設の法線はらみだし量は少なくとも30cmにのぼるものと考えられる。また、背後地盤の沈下により25cm程度の段差が生じた。写真-2は草津地区草津漁港東側岸壁(-7.0m)の被災状況である。この施設では背後に岸壁法線と平行な複数のクラックが生じた。それらの幅を合計すると最大で15cm程度であり、この施設の法線はらみだし量は少なくとも15cmにのぼるものと考えられる。

以上の2施設はいずれも矢板式であり、建設時に軟弱地盤対策として床堀置換工法が採用されていた¹¹⁾。床堀置換工法については6年前の兵庫県南部地震で置換砂の過剰間隙水圧の上昇がケーソン式岸壁の被害を促進する要因となったことが知られている¹²⁾。周辺の他の施設では、軟弱地盤対策としてサンドドレーン工法が採用されていたためか被害は見られなかった。

一方、三原市内の須波漁港では江戸時代に築かれた石積みの防波堤(須波波止)が倒壊した(写真-3)。船だまりを取り囲むように北側防波堤と南側防波堤があるが、倒壊したのは北側防波堤である。須波波止は江戸時代、儒学者の山崎闇斎に学んだ榑崎正員(1620-1696)が、東風が強いのをみかね、私財を投じて築いたとされる。1942年に県の史跡に指定されている。高さは4m程度。防波堤表面は長方形の石を千鳥状に組み上げている。貴重な史跡であり、早期の復元が望まれる。

以上に述べた被害の他、広島県呉港、愛媛県今治港などで軽微な被害が発生した。なお、港湾地域強震観測の強震記録がホームページ(www.phri.go.jp/jishin/aki/index.html)で公開されている。広島港の観測地点では観測小屋に隣接する事務所の建物に液状化によるものと見られる傾斜が生じていたことから、得られた記録には液状化の影響が含まれるものと考えられる。

(2) 山口県下

山口県消防防災課による地震被害状況速報(第9報, 3月25日)によれば、重軽傷者11名、周防大島の東和町を中心に家屋の被害966棟、陥没や落石による道路の被害4箇所、港湾施設の被害24箇所、ため池など5箇所となっている。幸いにも山口県における地震被害は全



写真-4 岩国市室の木埠頭の被災状況



写真-5 沖浦港の被災状況



写真-6 ふれあいビーチの被災状況

体的には比較的軽微であり、土木施設に関して山口県で発生した被害の多くは港湾施設に関するものである。ここでは3月26、27の両日に山口県東部の岩国市、和木



写真-7 中国自動車道の亀裂（補修後）

町、東和町、大島町、橘町、大島町および美和町において実施した被害調査結果のうち代表的なものを示す。なお、これらの市町ではいずれも震度5強が観測されている。

岩国市の室の木埠頭では全区域に渡りエプロン後端と上部背後法線の2箇所に幅10～12cmの亀裂が発生した。特に、ピット付近の亀裂陥没が激しく沈下は20～30cm程度である（写真-4）。岩国市の新港埠頭においても水叩き部には護岸と平行に2列の幅が3～4cmの亀裂が発生している。また、亀裂は発生していないものの、和木町の新港海岸（興亜石油沖護岸）では護岸の水叩き部が長さ160m、幅3mに渡り沈下しており、最大沈下量は20cm程度である。また、室の木埠頭東端部50m程度の護岸が10cm程度前出ししている。同様の護岸の移動は和木町の新港海岸（興亜石油沖護岸）や装束埠頭、東和町の伊保田港でも発生しているが、その移動量はいずれも数cm～10cm程度である。その他にも衝突によると考えられる護岸パラベット端部の亀裂が数箇所で見られる。

周防大島にある大島町の沖浦港では船揚場護岸が長さ15m、高さ5mにわたり崩壊している（写真-5）。また、周防大島の対岸にある大島町のふれあいビーチ（写真-6）では突堤先端部（先端より約5m）に亀裂が生じ、長手方向に傾斜している。

道路・橋梁被害

今回の地震においては、広島県河内町、熊野町、大崎町で震度6弱が記録されたが、震源深さが51kmと深く、広範囲にわたって被害が報告されている。しかし全体としては崩壊を伴うような大きな被害は生じてはいない。道路被害の報告は各市町村とも数多く報告されているが、これらの多くはひび割れや法面等の崩壊による土砂流出によるものである。中国自動車道と山陽自動車道の一部では、道路に亀裂が発生した。深谷PA～六日市IC間の



写真-8 山陽新幹線高架橋全景
（JR 三原駅～新岩国駅間）



写真-9 二層ラーメン中梁損傷部



写真-10 二層ラーメン中梁損傷部補強

下り線では高さ5cm程度の段差が60mほど生じたが、既に復旧作業は終了していた（写真-7）。この段差は、道路横の斜面がずれたことにより生じたものである。ここまで大きくないものの、道路上には段差を補修した跡が何箇所も確認できた。

橋脚損傷を伴う橋梁被害に関しては、震度6弱を記録

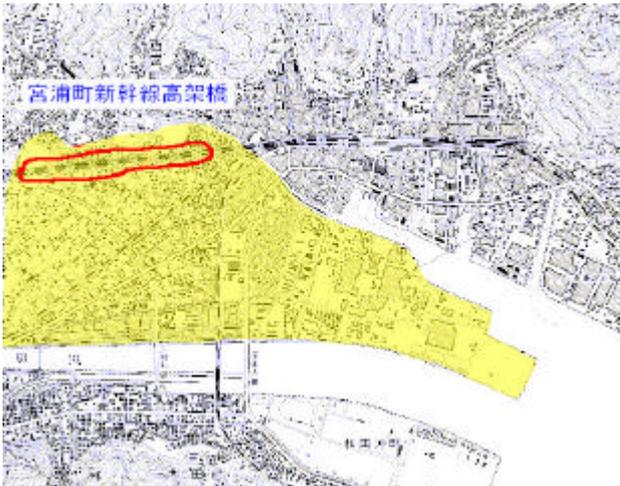


図-7 JR 高架橋の被害位置

した町でも報告されていない。ただしJR西日本山陽新幹線ではラーメン橋脚に被害が生じた。JR三原駅西の宮浦町付近で連続的に橋脚に被害が生じている(写真-8)。ただし他の場所では高架橋に被害を確認できなかった。復旧工事用のネットで覆われているため、詳細は定かではないが、二層ラーメンの中梁の損傷が主に発生している(写真-9)。また被害の大きい梁部には鋼材の梁が応急措置として設置されていた(写真-10)。2001年4月3日のJR西日本の発表によると、197本にひび割れなどの異状が見つかり、うち12本では鉄筋が露出するなどの被害が生じ、鋼材で補強された。この新幹線高架橋に並行して走る在来線高架橋(一層ラーメン構造)では、特に被害は見受けられなかった。また、被害を受けた新幹線高架橋の東側に西野川を跨ぐ橋があるが、これにも支承部を含み損傷は確認されなかった。

K-net 三原観測点の記録によると、NSが 652cm/s^2 であるのに対してEWが 378cm/s^2 と、南北成分の方が倍程度大きい。この地震記録自体は短周期成分が卓越しているものであるが、NS成分が大きいことと高架橋の被害方向(橋軸直角(南北)方向)とは一致している。また、被害があった高架橋のおおよその位置を示したものが図-7である。ここで黄色にハッチングしてあるのは、昭和初期の広島県三原町の古地図より抜き出した埋立地および水田の位置である。西野川以东は昭和初期では既に市街地となっていた。これよりこの黄色部分の地盤条件は他に比べて軟弱であると思われる。被害を生じたJR高架橋は、ちょうどこの黄色の中に位置している。入力された地震動が軟弱地盤により増幅され、そのため宮浦町付近の高架橋のみ被害が生じたと考えられる。

本州と四国を結ぶ西瀬戸自動車道のうち、来島海峡を



写真-10 センターステイロープのバンド側取付部
(両側の穴にセンターステイロープが取り付けられていた。中央はハンガーロープ)



写真-11 センターステイロッドの桁側取付部

渡る世界最初の3連吊橋である来島海峡大橋は1999年に完成した¹³⁾。これら吊橋の下部構造については、「来島大橋剛体基礎耐震設計法(案)」(本州四国連絡橋公団、1990年)により耐震設計を行っている。上部構造の耐震設計は、モデル化、減衰定数、長周期加速度応答スペクトルに関しては「明石海峡大橋上部構造耐震設計要領(案)」(本州四国連絡橋公団、1989)によっているが、全体系の解析における基礎と地盤の動的相互作用、入力地震動(加速度応答スペクトル)については上記「来島大橋剛体基礎耐震設計法(案)」によっている。

3連の来島海峡大橋のうち大島寄り(本州より)の来島海峡第一大橋では、メインケーブルと桁とをつなぐセンターステイのロッドが4本とも破断した。センターステイは大きな地震力を受けた場合、橋梁本体に被害が生じないようにロッド部で破断する設計となっており、今回破断したのは設計どおりであると考えられる。写真-10,11からもセンターステイの取り付けプレート、ケーブル、桁に被害が生じていないことがわかる。

地盤災害（斜面崩壊・液状化）

(1) 道路斜面崩壊

地震が発生した 24 日午後 5 時現在の斜面崩壊や道路陥没による中国 5 県の一般国道の通行止めは計 53 箇所である。その内、全面通行止めは、広島県河内町国道 432 号線、三原市幸崎久津の国道 185 号線など 33 箇所、片側通行規制は、東広島市高屋町杵原の国道 375 号や加計町津波の国道 191 号線など 20 箇所となっていた。特に、図-8 に示すように震度 6 弱の強い揺れを観測した河内町国道 432 号線では、中河内深山口付近及び猿岩トンネル付近で落石があり、トラックを直撃して大破させた（写真-12）。中河内三本松付近では、道路法面肩部が下の河川側に崩壊していた。上河内下郷付近でも本震により斜面崩壊が発生、その後さらに余震により崩壊範囲が拡大した（写真-13）。

写真-14 は、今治市南方の仙遊寺への取り付け道路の切り土斜面の崩落箇所である。風化した花崗岩の表層部分が震動により崩落したものである。

(2) 宅地斜面崩壊

河内町入野地区の新興団地北側で約 30m にわたり 50～60cm の亀裂が発生した。下側の民家 3 世帯 8 人に斜面崩壊の危険があるため、当面ビニールシートをかけて教育集会所に自主避難を勧告した。河内小学校の運動場も 200m にわたり亀裂が入り、一部は約 20m にわたり下の民家に向かって崩壊した。佐伯郡宮島町魚之棚町では、お寺の土羽法面が崩壊し、寺院一部が破損した。

広島市安佐南区相田町相田 5 丁目あさおか台団地では、高さ約 30m の宅地地盤の法面天端肩に、最大 50cm の幅で約 100m 程度の亀裂が生じるとともに、建物にも亀裂が入り、建物自体も法面側に傾いていた。今後、広島県



図-8 河内町の道路斜面崩壊・落石箇所位置



写真-12 国道 432 号線河内町猿岩トンネル付近の落石によるトラック大破箇所



写真-13 国道 432 号線河内町上河内下郷付近での斜面崩壊



写真-14 今治市仙遊寺取り付け道路の斜面崩壊



写真-15 広島市安佐南区相田町相田5丁目あさおか台団地の斜面天端の沈下・亀裂



写真-16 広島市西区JR西広島駅北西の己斐上3丁目での斜面天端の沈下・亀裂

に急傾斜地崩壊危険区域の指定を受け、緊急関連急傾斜地崩壊対策事業として対応する予定で、現在は応急措置としてビニールシート掛けを行っていた（写真-15）。また、広島市西区JR西広島駅北西の己斐上3丁目でも高さ約30mの宅地地盤及び道路の法面天端肩が亀裂を伴って約100mにわたって50cm程度沈下していた（写真-16）。

(3) ため池堤体の亀裂

東広島市では、農業用ため池33箇所の堤体に亀裂が入り、斜面崩壊の恐れが生じた。志和町小野池では、高さ16m、長さ240mの堤体に、最大で9cm幅の亀裂が長さ約100mにわたって発生したため、応急措置として防水シートで被覆後水位を下げた。西条町秀の池では、土手の補強用ブロックが20mにわたってずれ、土砂が露出した。高屋町向井東池では、取水口の間が折れて漏水し水を全部放流した。

一方、山口県の美和町や玖珂町において4箇所のため池の堤体に亀裂が生じたとの報告がある。写真-17,18は



写真-17 平原ため池堤体亀裂(その1)



写真-18 平原ため池堤体亀裂(その2)

このうちの美和町平原ため池の状況である。ここでは、地震直後の検査により堤体天端に幅7~8mm、長さ3m程度の亀裂が4箇所確認された。しかし、調査時は前日の降雨のため詳細の確認は困難であり、亀裂にはシートが被せられている。堤体法面には亀裂は認められないが、水位を低下させ経過観察中である。

(4) 液状化

液状化による噴砂は、広島市西区の三菱重工業グラウンド、廿日市市木材港、呉市阿賀南などで見られた。この他にも、呉港周辺、竹原市、安芸津町、松山市など広い範囲で発生しているが、道路の段差などの明瞭な変状は生じていないようである。以下に、現地状況を概説する。

(a) 廿日市市木材港

木材港南の臨港道路で液状化による噴砂が生じた（写真-19）。噴砂の粒度は中砂と思われる。道路沿いに延長

500m ほどにわたって亀裂が確認され、最大 10cm 程度の段差が生じており、片側通行止めとなった。この道路以外の木材港内の地点では、顕著な噴砂、道路の段差、護岸の移動等の変状は見られなかった。

(b)三菱重工業グラウンド

広島市西区観音新町にある三菱重工業グラウンド（図

-9) で大規模な噴砂が見られた（写真-20）。噴砂はグラウンドのほぼ全体にわたって発生した。砂の粒状は細砂と思われる。グラウンドの東でコンクリートブロックが崩れ、側溝沿いに設置してあった防護ネットフェンス及びその支柱も傾斜した。その隣の敷地では噴砂孔などが見られ、幅約 80cm の側溝は噴砂で埋まっていた。



写真-19 木材港南における噴砂

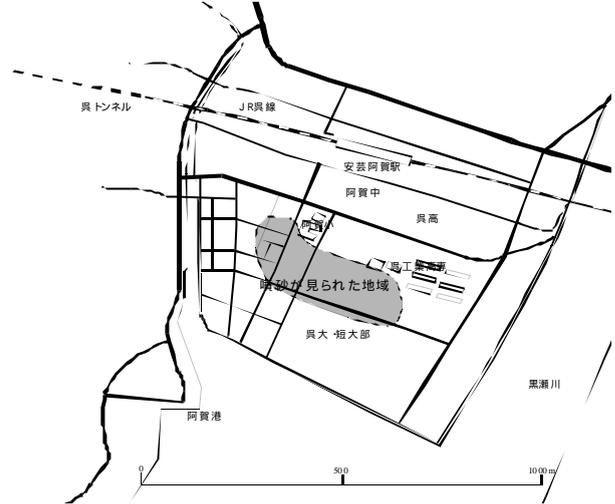


図-10 阿賀南周辺の位置図

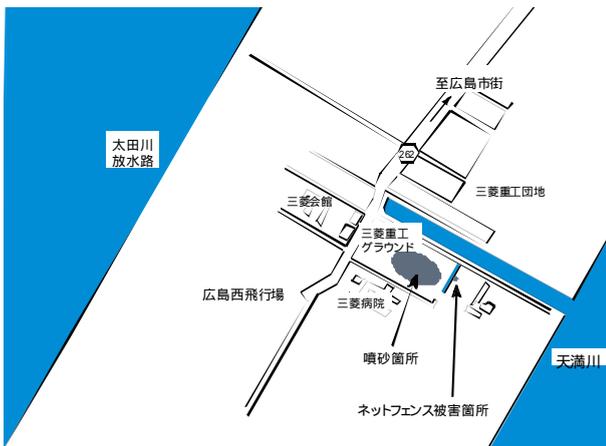


図-9 三菱重工業グラウンドの位置



写真-21 校庭での亀裂（阿賀小）



写真-20 三菱重工業グラウンドでの噴砂



写真-22 呉高专グラウンドでの噴砂

グラウンドの近くにある民家では被害は見られず、護岸にも変状はなかった。近くの広島西飛行場でも滑走路に異常はなく、点検後平常通り運行されている¹⁴⁾。三菱重工団地で、1 箇所建物周辺の地盤が沈下していたが、全体としては特に被害は見られなかった。

(c) 呉市阿賀南

呉市の東の阿賀は黒瀬川の河口に位置し、安芸阿賀駅付近を境に海側が埋立地と思われる¹⁵⁾。図-10 に示すように、比較的広い範囲で噴砂が見られた。

阿賀小学校の校庭では、液状化により広範囲で地盤が沈下し、校庭での亀裂・段差および建物周辺ブロックの破損が見られた(写真-21)。建物と地盤との差は最大約 20cm であった。噴砂も多数生じており、細粒分を含む青緑色系のシルトと思われる。阿賀小学校は開校して 1 年と新しい学校であり、校舎には特に被害は見られなかった。南のプールの裏では大量の噴砂が見られた。

阿賀小学校の東側に隣接する呉工業専門学校のグラウンドでも多数の噴砂が見られた(写真-22)。噴砂は青白くシルト質であり、細粒分を含んでいる。体育館の周囲では、周辺地盤の沈下により 10cm 程度の段差が生じ(最大 30cm 弱)、コンクリートの破損が見られた。また、小屋が地盤沈下により傾斜していた。隣のテニスコートの西側でも噴砂が見られた。

阿賀小の西隣の住宅地(阿賀南 3 丁目)でも多くの噴砂跡や地盤の沈下による階段や道路等の破損が見られた(写真-23)。家屋の壁などにも軽微ではあるが多くの破損が見られた。建物と地盤のところどころで約 8cm の沈下と推測され、この周辺では全体的に同程度の地盤沈下が生じたものと思われる。水道・ガスなど埋設管も被害をうけており、補修工事が行われていた。近隣の人の話によるとこの周辺は池を埋め立てた土地とのことで、多くの住宅は平成以後の建設とのことである。阿賀小の南の公園では、大量の噴砂が見られたということである。

(d) その他

広島市南区の出島の南端にある出島西公園で液状化による噴砂が見られた。噴砂の粒状は三菱重工グラウンドの砂と同程度の径の細砂であった。また公園周辺道路で数 cm の段差が見られた。出島の他の場所では特に被害は見られなかった。

呉市中心部は河川の扇状地であり、JR 呉線より南側はほとんどが埋立て開発された土地である。フェリー発着所の栈橋、護岸などの構造物の被害はほとんど見受けられなかった。しかし隣接する駐車場および空地では液状化による噴砂が見られた(写真-24)。また、南東にある小坪で液状化が発生したということであるが¹⁶⁾、特に地盤変状などの被害は見られなかった(噴砂はあったよ



写真-23 周辺地盤の沈下による階段の破損
(阿賀南 3 丁目)



写真-24 呉港近くの空地での噴砂



写真-25 護岸背面の状況

うである)。竹原市でも 4 箇所で液状化があったということである

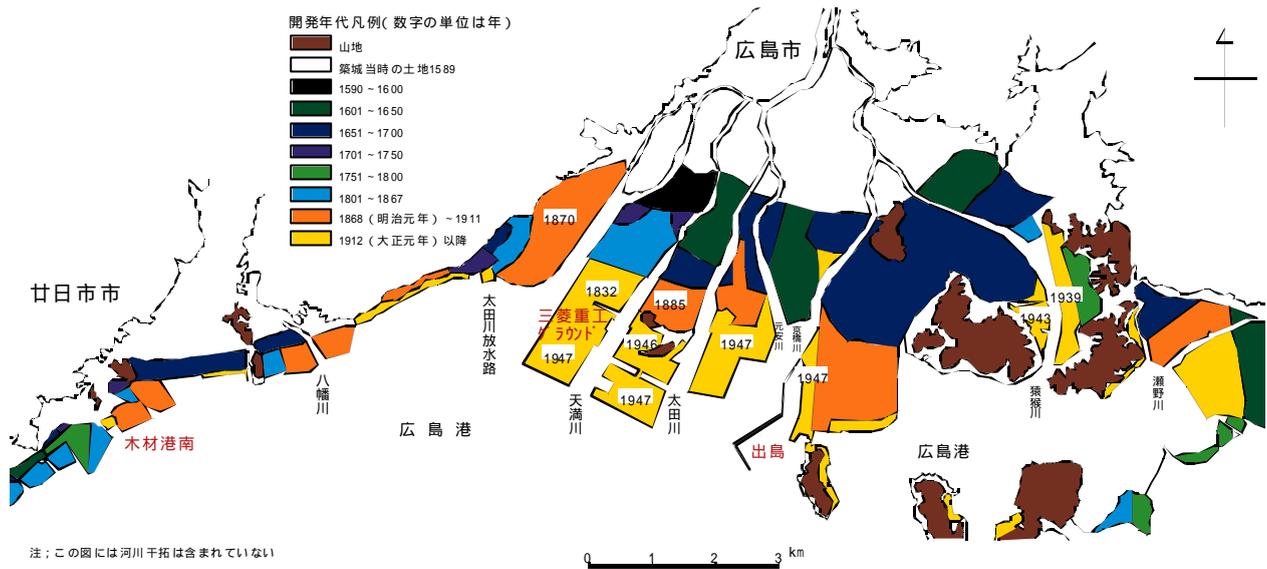


図-11 干拓地開発年代図¹⁷⁾

が¹⁶⁾、中央1丁目の駐車場付近の道路脇で噴砂跡と思われる箇所があった程度である。地震発生から5日を経過していたので、既に噴砂は清掃された可能性も高いが、道路の段差等の液状化の明瞭な痕跡はなく、大規模な液状化はなかったものと考えられる。

安芸津町風早で干拓堤防の背面土手の変状が確認された。堤防には縦断方向に延長約500mにわたって地割れが生じており(写真-25)、護岸との間に隙間が生じていた。また、安芸津町内では液状化も発生したということであるが¹⁷⁾、特に大規模なものはなかったと思われる。

広島市中心部が広がる広島低地は、微地形構成の差から、上流側の太田川氾濫原性低地、下流側の太田川三角州に分けられ、後者は自然陸化した広島三角州と人工的に陸化された臨海の広島干拓地・埋立地に区分される¹⁷⁾。図-11は廿日市市、広島市の干拓開発が行われた年代を示したものである¹⁷⁾。このような背景から、広島市は地震が発生した場合には液状化危険度が高いと思われていた都市の1つである。それにもかかわらず、液状化の発生は限定的なものであった。昨年の鳥取県西部地震における境港市竹内工業団地が新しい埋立地であるのに対し、瀬戸内沿岸では古くから干拓・埋立が行われており比較的古いということ、地盤の非線形化に影響する地震動のやや長周期成分が小さいことが主な理由と思われる。噴砂が見られた木材港、出島は図-11に記載されていないので1947年以降に開発された埋立地と思われる。観音新町は太田川の扇状地にあり、大部分は19世紀の開発で、南は1947年完成の埋め立て地である¹⁸⁾。今後、埋

立年代と液状化危険度の関係を明らかにしていく必要がある。

(5) 三原市における被害と地盤

道路・橋梁被害でも述べられているように、JR山陽新幹線2層ラーメン高架橋の橋軸直角(南北)方向中梁に被害が生じた。図-12は三原・広島・松山を含む地域の最大加速度分布を示したものである。この図からも三原市が南北方向に卓越した震動成分を有していたことがわかる。

三原市は、古くからの埋め立てと干拓によって市域を拡大していった町である。西口に城跡があることからわかるように、現在の三原駅は城の中に建設されたものである。高架橋被害の生じた新開一帯は、1600年代以降、順次埋め立てによって土地が拡張されていった場所である¹⁸⁾。沼田川や西野川に挟まれた低湿地を埋め立てたことから地盤の悪い所であり、これも被災原因の一つであろう。また、三原駅周辺は、縦横に走る三原城のお堀を埋め立てた場所も散在するため、駅周辺に生じていた局所的な地盤被害(ビル周辺の地盤沈下、段差)等との関連も今後の調査課題である。

宅地擁壁等被害

(1) 呉市の状況

(a) 呉市の被害状況

芸予地震で震度5強を記録した広島県呉市では、地震による住宅被害が深刻化していた。県全体で屋根の破損などを含めた損壊家屋約18,000棟のうち、4,000棟近く

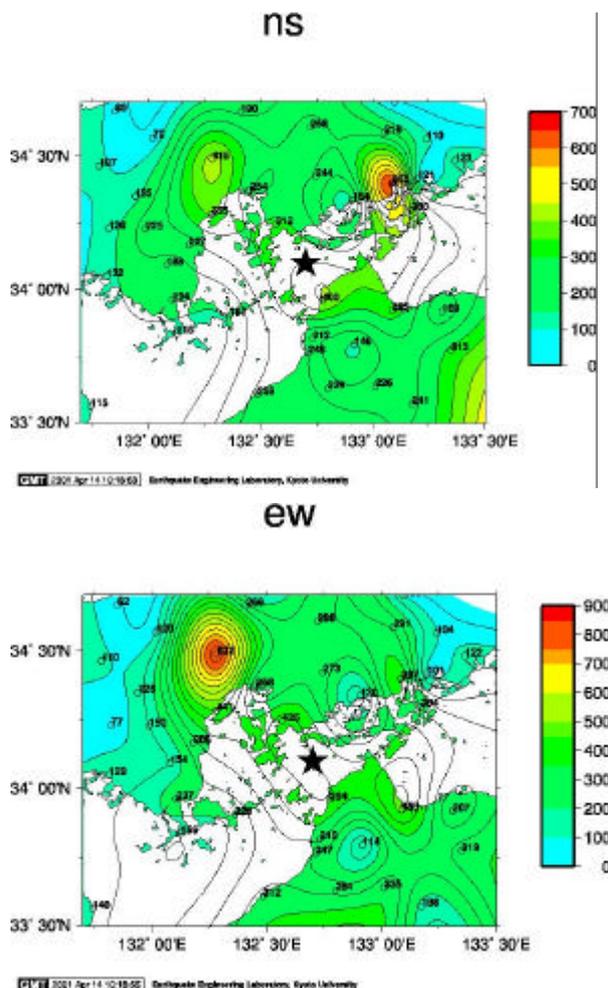


図-12 水平最大加速度の成分による違い(単位: cm/s^2)

が同市に集中している。この被害状況は、死者1名、重軽傷者55名の人的被害のほか、全半壊10棟を含む建物の損壊2,600棟、急傾斜地が多いことによる擁壁や斜面などのがけ崩れが218箇所もあり、すり鉢状の斜面に密集する木造住宅の被害が目立っていた。呉市の宅地擁壁・斜面崩壊により建物破損を生じた大被害箇所は14箇所にもおよび、3月30日現在、降雨による2次災害防止のため、217世帯507人に避難勧告が行なわれた。その後、4月5日現在の避難勧告戸数は180戸、200世帯、435人と少なくなっているが、まだ多くの人々が避難している状況にある。

(b) 法的規制状況

市内はすべて宅地造成等規制区域内であり、県の指定する急傾斜地崩壊危険区域は500箇所以上、指定を含めたがけ地危険区域は約900箇所に上り、区域内に約14,600世帯が暮らしており、これは市全体の約20%を占めている。

(c) 過去の歴史的背景

呉市は1903年に海軍工廠ができ、約2万人だった人

工が1907年に約9万人、第二次大戦中の1943年には40万人を超え、現在の約2倍規模の人口急増により山肌の宅地化が進んだ。1945年には台風で1,154人が死亡、1967年には集中豪雨で88人が死亡、さらに1999年6月の豪雨でも8人が死亡した。これまで港の背後に山が迫るすり鉢状の地形が、防衛上、軍事施設に適していた反面、急傾斜地に住宅が密集することとなり常に災害の危険にさらされてきた。現在でも市民の3割が「坂の町」の急傾斜地に住んでおり、特に高齢者が多く、戦前にできた傾斜地の擁壁・斜面は老朽化が激しい。また、呉市では救急車が入れない道が多くあり、火災時の消化体制上の問題があり防災上の歴史的弱点となっている。

(2) 宅地擁壁・斜面の被害分析

(a) 地形の概要¹⁹⁾

中央地区は三方を山に囲まれたすり鉢状になっており、平地が極めて狭小であるため、山麓の急傾斜地に建物が密集し山腹まで至っている。丘陵地形は小河川による侵食により小さな沢をいくつも形成することが多く、沢地形では沢底に崖錐層が堆積し、安定上好ましくない。



写真-26 呉市西中央5丁目お寺の空石積擁壁の崩壊



写真-27 呉市両城2丁目高さ約20mの宅地擁壁崩壊



図-13 呉市の宅地大被害位置

また、段丘の発達が悪く、低地は直接山地斜面に接している。宅地被害は地形の急峻なひな壇造成の急傾斜地に多い。

(b)宅地擁壁・斜面の種類

被災した宅地擁壁は、ほとんどが第二次大戦以前の老朽化した空石積擁壁であり、昭和36年宅地造成等規制法以前の擁壁である。空石積擁壁は、胴込めコンクリート及び裏込めコンクリートがなく宅地擁壁としての構造となっていない。さらに、急斜面の地形上、敷地をできるだけ確保するために建築ブロックを利用した増積擁壁、二段擁壁、斜面と擁壁の混合等、現在の基準に適さない既存不適格擁壁となっている。小高い丘の上にある西中央5丁目の養運寺(写真-26)は、大正時代に築かれた擁壁の2箇所が崩れ落ち、境内の墓石が横倒しになった。高さ4m近い日蓮聖人像が崖っ淵で落下を免れたため、クレーン車で吊り上げ、安全な場所に移していた。

また、斜面は厚さが薄いモルタル吹付け工法がほとんどで、風化等の老朽化現象が生じている。呉市両城地区では、急な石段上に高さ約20mの斜面崩壊を生じ、宅地地盤が崩れて床下がむき出しの建物の床面積約100㎡のうち3分の1程度が宙に浮いた状態でその下の2軒の家に土砂が流出していた(写真-27)。

表-1 呉市の宅地大被害状況一覧

宅地被害位置	宅地被害状況
呉市江原町7番16号	宅地石積崩壊 家屋一部崩壊5戸 避難中
呉市長迫町1-4	宅地石積崩壊 家屋一部破損1戸
呉市西中央5丁目8	お寺石積崩壊 墓石一部破損 地盤ひび割れ
呉市西片山町10-19	宅地石積崩壊 家屋半壊2戸 避難中
呉市江原町3番3号	宅地石積傾斜 家屋一部破損1戸
呉市東川原石町7-16	宅地擁壁崩壊 家屋一部破損1戸
呉市の場5丁目2-12	宅地石積崩壊 家屋一部破損1戸
呉市上内神町10-7	宅地石積崩壊 家屋一部破損1戸
呉市両城2丁目1-7	宅地モルタル吹付け落下 家屋一部破損1戸
呉市両城2丁目1-3	宅地石積崩壊 家屋一部破損1戸
呉市宮原9丁目3	宅地石積崩壊 家屋一部破損3戸
呉市両城2丁目18-7	宅地石積崩壊 家屋一部破損2戸
呉市自我至川原石町8-1	宅地レンガ積崩壊 家屋一部破損1戸
呉市海岸4丁目3-11	宅地石積崩壊 家屋一部破損1戸

(c)宅地地盤の種類

現地の地盤は、広島型花崗岩と呼ばれ強風化花崗岩(鬼マサ状)が主体で、垂直節理が多いため節理沿いに剥離して非常に切り立った山地を形成する反面、造岩鉱物の粗粒が多いため、風化耐性が低く僅かな弱線から水が浸入し、深層風化を引き起こすこともある。

特に、崩壊箇所での地盤は、風化残留岩塊である転石類はあまり見られず、マサ土化しており豪雨時や地震時の安定性を確保できない状況にある。大地震では、地表面の被害状況以上に地中にひび割れが生じている可能性があり、少ない雨量で崩壊の危険がある。

(d)水抜き孔の状況

空石積擁壁は、合端間に目地を詰め、水抜き孔を3㎡に1箇所75mmの塩ビ管を設けなければならないが、現地では復旧後においても設けていない。また、モルタル吹付けのり面でも設けていない。地下水の上昇及び花崗岩の風化の促進につながり危険なものとなっている。

(e)宅地の被害状況分析

宅地の被害状況調査による擁壁の大被害を整理すると表-1及び図-13のようになる。この分析の結果、呉市の宅地被害は、宅地造成等規制法以前のものがほとんどであった。今後、全国の宅地擁壁・斜面の老朽化対策の必要性があることがわかった。

(3) 今後の教訓

呉市は、1995年の兵庫県南部地震を機に地形に配慮した震災対策マニュアルを作成したが、急傾斜地独自の対策は私有地であるため、公共で対策工事を行うことができないのが実状である。今後、芸予地震から以下のことを教訓とした具体的な対策を行うことが重要である。

宅地擁壁・斜面の老朽化の点検要領を取りまとめ、危険箇所の勧告・改善命令を行う。

点検パトロールの徹底、強化を図る。

狭小な現場施工条件を考慮した補修・補強対策要領の整備、指導の実施を図る。

被災者及び勧告・改善命令を受けた人に対する国及び県の財政上の補償を確立する。

危険区域から安全な区域への移転を図る。

民有地間のトラブル処理の早期解決を図る。

ライフライン被害

ライフライン被害で市民生活に最も大きな影響を及ぼしたものは水道被害である。呉市および川尻町と下蒲刈町などの島嶼部 8 町で断水が生じ、最大で 32,910 世帯が断水した。しかし、地震翌日の 25 日午後 3 時には呉市の 21,000 世帯が、島嶼部においても 27 日までに全ての断水が解消した。

4 月 3 日までに明らかになった呉市の配水管被害箇所は 15 箇所である。配水管敷設延長距離は約 900km であるので、被害率は約 0.017 箇所/km となり、決して大きな値ではない。しかし、同市阿賀地区において太田川東部幹線の送水管で一箇所破損し、給水管でも多くの被害が発生したことから、地震直後の 24 日午後 3 時 30 分頃に呉市東部地区および川尻町と下蒲刈町など島嶼部 8 町に送水している休山隧道配水池の流量が平常時の 2 倍近い値を示した。このため、関係機関および影響区域内にある医療機関に連絡するとともに呉市災害対策本部に市民への周知を依頼した後、同日午後 6 時 45 分から手動のバルブ操作により呉市東部地区および島嶼部 8 町への送水を停止した。その結果、呉市 21,000 世帯、周辺町 11,910 世帯の合計 32,910 世帯が断水した。一方、十分な応急給水を行うため、午後 7 時 10 分に広島県環境生活部を通じて陸上自衛隊に給水応援の派遣要請を行い、自衛隊から 59 名と 20 台の給水車の派遣を受け、午後 10 時 50 分から 14 地点の給水拠点において給水が開始された。復旧の見込みが立った 25 日午後 3 時に自衛隊の給水応援が解除されるまで、海上自衛隊の給水船による島嶼部への応急給水も含めて精力的な給水応援が行われた。25 日の午後 3 時に島嶼部への通水が開始されたが、島内でも数箇所の破損が見つかったので、島嶼部において断水が全て解消したのは 27 日であった。

図-14 は、広島県企業局が供給している島嶼部における水道用水の送水ラインを示している。現在は西側の下蒲刈町からのルートしかなく、その上流で事故が起こるとその影響が島嶼部全体に及ぶことになる。東側の竹原市と大原町を結ぶルートが現在建設中であり、このルー



図-14 広島企業局が供給している送水ライン

トが完成すれば、送水ルートが多ルートになり、システムが耐震的になることが期待される。また、今回は自衛隊の応援により島嶼部への応急給水も比較的スムーズに行われたが、防災拠点などの重要施設ばかりでなく、島嶼部などの応急給水を行いにくい場所についても耐震化の優先順位を高くしておく必要のあることが示された。さらに、破損を受けた管路は敷設年代の古いものが多かったことから、引き続き老朽管の敷設替えを継続していくことの重要性が示された。

広島市においては配水管で 10 箇所、給水管で 749 箇所の被害が生じたが、断水は生じなかった。広島市の配水管敷設延長距離は約 4,000km であるので、被害率は約 0.003 箇所/km となる。また、広島県企業局が供給している工業用水では、呉市で口径 900mm のダクタイル鋳鉄管に漏水が生じた。

中国電力によると、広島、岡山、山口の各県で地震直後に合計 48,000 戸で停電したが、同日午後 7 時過ぎまでには復旧した。また、四国電力によると愛媛県内で約 6,800 戸、高知県で約 1,200 戸が一時停電し、午後 5 時過ぎに復旧した。なお、愛媛県の伊方原子力発電所と島根県の島根原子力発電所にはそれぞれ異常がなかった。

NTT 西日本によると、地震直後から安否確認の通話が集中し、広島県、愛媛県などで通話が輻輳したので、午後 10 時 20 分まで通話を規制するとともに、広島県、愛媛県、山口県の 3 県を対象に災害用伝言サービスを開始した。24 日午後 11 時まで約 7 万件の利用があった。平常時の通信サービス状態に戻るとともに利用者が少なくなり、29 日午後 5 時に同サービスは終了した。

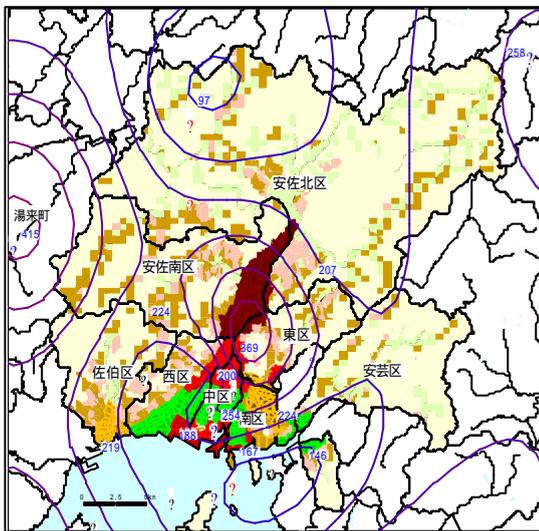
地震防災

今回の地震では、広島県熊野町、大野町、河内町、大崎町において6弱の大きな震度を観測したが、広島市においても震度5強を記録し、市内の被害状況²⁰⁾は負傷者27名、部分焼2件、住家半壊2件・一部損壊5,394件、道路・橋梁被害294件、斜面崩壊279件が発生している。

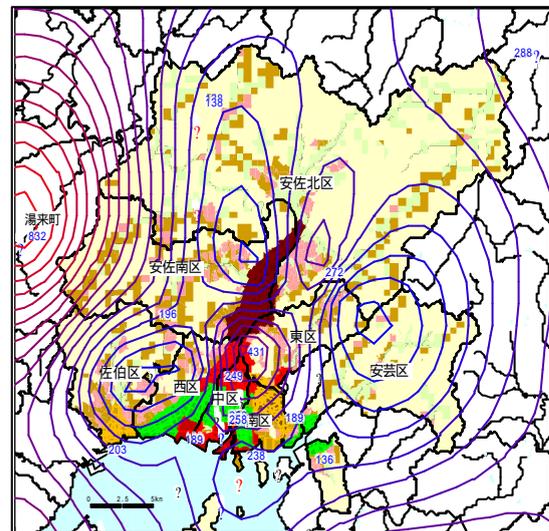
兵庫県南部地震以降、広島市では災害に強いまちにするためには各種施設の構造を補強するとともに、震後の救援、被害の拡大防止を円滑に行うための準備が必要であると考え、リアルタイムで被害状況を把握する地震情報ネットワークシステム²¹⁾が整備された。このシステムは、断片的に寄せられるであろう通報だけに頼らず、被害の全貌を客観的資料により把握・整理し、円滑な震後対応の判断材料を提供しようとするものである。

今回の地震によりこのシステムが実際に稼動し、観測情報と被害予測情報を提供したが、震度5強の地震により大きな被害を受けた都市においてリアルタイムシステムが実際に稼動したのは全国では初めての事例である。

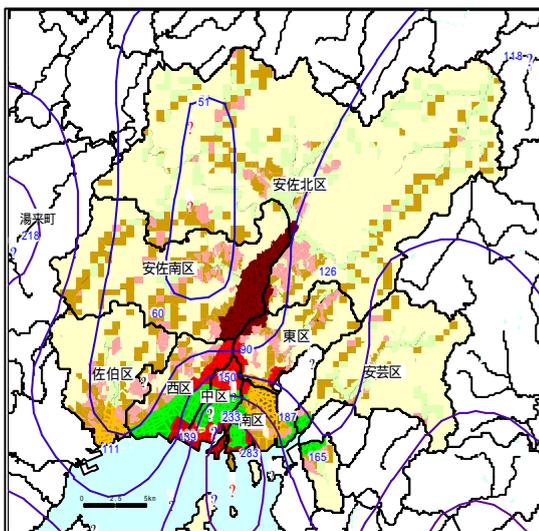
ここでは、ホームページ²²⁾で公開されたこのシステムの観測情報と他機関²³⁾の加速度記録のピーク値と計測震度を表-2に示す。また、広島市内の地形分類図²⁴⁾上に、ピーク値の3成分毎にコンターを表示したものを図-15に示した。震源は図の左下にあるが、震源からの距離に応じて減衰するコンター分布となっていない。広島市の西に位置する湯来町の記録が非常に大きいため3成分ともその影響を受けているが、水平2成分(NS,EW)については山地部、臨海部に比べ、三角州の要付近で大きな加速度が記録されている。一方、上下動成分(UD)は、



(a) NS方向



(b) EW方向



(c) UD方向

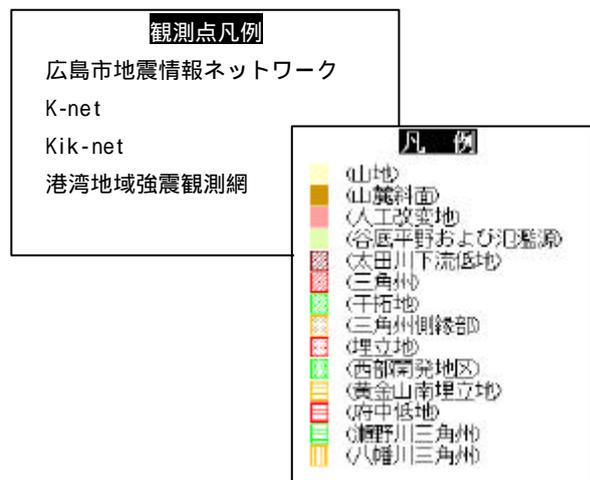


図-15 広島市の最大加速度分布

表-2 広島市内の観測点

観測点		最大加速度 (cm/s ²)			計測 震度	
		NS	EW	UD		
広島市 地震情報 ネット	中区	広瀬北公園	200	249	150	5.3
	東区	牛田浄水場	369	431	90	5.0
	南区	環境局南工場	224	189	187	4.8
	西区	消防航空隊基地 (GL)	188	189	139	5.2
		" (GL-8m)	127	119	126	-
		" (GL-21m)	172	159	107	-
		" (GL-36m)	117	113	103	-
	安佐 南区	広島広域公園	224	196	60	4.4
	安佐 北区	広島市防災センター	207	272	126	4.7
	安芸区	矢野新町公園	146	136	165	4.8
佐伯区	美の里公園	219	203	111	5.3	
K-net		広島	254	259	233	-
Kik-net		広島	97	138	51	-
港湾地域強 震観測網		広島港	167	238	283	-

臨海部で大きい傾向が認められる。この原因は、臨海部の地盤が軟弱であるため、水平成分については地盤の非線形性の影響により加速度の低下が起こったためであると考えられる。なお、臨海部の埋立地では一部液状化による噴砂が確認されている。

災害対応

(1) 人的被害

今回発生した芸予地震での人的被害では死者2名、負

傷者262名となった。最も被害が人的被害が大きかったのは広島県で、死者1名、負傷者194名を出している(写真-28)。地震発生が土曜日の午後であったため、家庭や屋外で被害にあったケースが多かった。

図-16に現在までに得られた広島県、山口県、愛媛県の負傷事例78件の負傷原因を示す。また、比較のため2000年鳥取県西部地震の負傷原因の結果も併せて示す。この図-16(a)より今回の地震でも室内散乱、転倒により多くの負傷者が出ており、店舗、工場での負傷、避難途中での事故、ブロックによる負傷が続いている。ここで、ブロックによる負傷の割合は少ないが、写真-29に示すように廃棄されたブロックの量をみると、今回の地震で多くのブロックに被害があったと思われる。室内では、テレビや物の落下による打撲、ガラスによる受傷が多く、今回の地震も鳥取県西部地震と同様に室内の家具などの転倒や散乱により負傷した人が多かったことがわかる。店舗では空調機やエアコンの一部、陳列棚の落下により受傷しており、工場では鉄板等の資材の落下により負傷している。さらに、飲食業関連の店舗で地震により油や熱湯によって火傷を負った人が多かったのも今回の負傷者の特徴といえる。避難途中の負傷については、瓦の落下や転倒がその原因として報告されている。特に避難中の転倒や打撲、階段の踏み外し等の多くは高齢者が占めていることもわかった。

(2) 地震時の行政対応～情報の収集と発信～

今回の地震時の行政対応について岩国市、呉市、安浦町、黒瀬町、熊野町、音戸町で地震発生時の対応やその後の情報入手、情報の発信について聞き取り調査を行った。

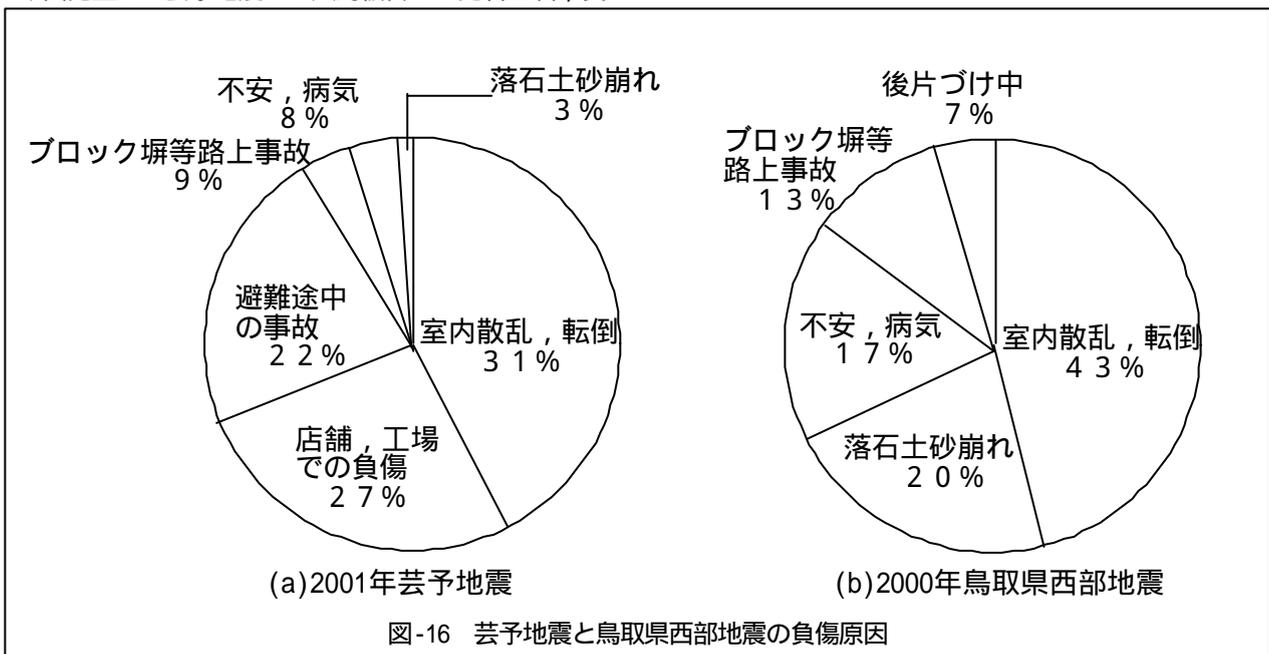


図-16 芸予地震と鳥取県西部地震の負傷原因

表-3 地震当日の対応状況

	参集状況	直後の被害の把握と情報収集	住民への対応
山口県 岩国市 震度5強	<ul style="list-style-type: none"> 地域防災計画に基づき震度5強で参集となっていた。 庁内放送で在庁職員集合(26名) 地震後、一般加入電話、携帯電話の輻輳により職員と連絡とれず。 職員全員登庁せず(1/3程度の職員が登庁) 	<ul style="list-style-type: none"> 地震直後に災害対策本部立ち上げ 徒歩、バイク、自転車により市内の被害を調査 岩国警察、地区消防へ被害状況を把握のため連絡員を派遣 県防災ヘリコプターより被害報告 高齢者等を対象とした緊急通報システムによる通報なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 住民から被害に関しての電話が多数あった。 住民への情報提供なし。
広島県 呉市 震度5強	<ul style="list-style-type: none"> 地域防災計画に基づき震度5強で参集となっていた。 地震後に自主的に参集 	<ul style="list-style-type: none"> 地震直後に災害対策本部立ち上げ 一般加入電話、携帯が輻輳で使えず。 各課で各々対応するが、入ってきた情報の所在が不明な状態 消防が被害調査 消防と警察から内線電話で情報を得る。 県の消防防災課との連絡は衛星電話を利用 高齢者等を対象とした緊急通報システムによる通報なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 市役所から自治会へ連絡し、町内放送で流した。(自治会によっては放送設備がないところもある) 避難勧告は発令せず。
広島県 安浦町 震度5強	<ul style="list-style-type: none"> 痴呆老人が行方不明になったため、総務課職員が出勤し、消防団も町内捜索に出ている。 地震後、防災行政無線(屋外スピーカー40箇所)で職員を招集。 	<ul style="list-style-type: none"> 災害対策本部立ち上げず。 消防東署の安浦出張所と役場職員により公共施設、学校、道路等の被害状況を調査 	<ul style="list-style-type: none"> 同報無線による余震等の注意喚起を行う。 高齢者等への対応なし
広島県 黒瀬町 震度5強	<ul style="list-style-type: none"> 地震後、自発的に職員が参集 	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生後の30分後に災害対策本部立ち上げ 公衆電話、携帯とも輻輳のため使えず。 防災行政無線(屋外スピーカー50箇所)により消防団、行政区長へ呼びかけ 消防団が被害調査を行い、役場への報告は口頭、無線機(地震後配布)により行う。 県との連絡はファックスを利用 	<ul style="list-style-type: none"> 苦情窓口を設け、各課で対応。
広島県 熊野町 震度6弱	<ul style="list-style-type: none"> 地震後、自主的に登庁した職員170名中20名 職員50名をさらに招集。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般加入電話、携帯は輻輳のため利用できず。 職員をグループに分け、被害の把握を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 混乱の恐れから防災行政無線(屋外スピーカー)による放送を控える。
広島県 音戸町 震度5強	<ul style="list-style-type: none"> 参集はほとんどなされなかった。 招集もなし。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般加入電話は利用でき、携帯は輻輳した。 消防署、消防団とは一般加入電話で連絡 被害状況は住民、行政区長からの連絡により把握 県との連絡は衛星電話を用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> 高齢者への安否確認等の対応は行わず。

(a)当日の情報の収集と対応

今回の地震は市役所、町役場が休みの土曜日に発生したため、職員参集、対応が必要であった。地震発生当日

の職員参集や対応について表-3にまとめた。

まず岩国市については、地震直後に在庁職員26名に集合をかけるのと同時に地域防災計画に記載されている



写真-28 死者が出た呉市本通り5丁目の民家



写真-30 防災行政無線（黒瀬町）



写真-29 投棄されたブロックの山（呉市西辰川）



写真-31 同報無線室（黒瀬町）

第3非常体制として災害対策本部を立ち上げた。岩国では同報無線の屋外スピーカー等は設置されておらず、地震直後の住民に対する情報提供は行っていない。

地震発生から10分後には当日映画が上映されていた市民会館に職員を派遣し、被害調査を開始した。さらに、地震から約30分後には自主的に登庁してきた職員を班分けし、市役所周辺へは徒歩および自転車で、遠方にはバイクにより調査を派遣している。電話については、携帯電話および一般加入電話が輻輳のため利用できず、職員との連絡や出張所との連絡がとれなかった。また、被害把握のため岩国警察および岩国地区消防へ連絡員を派遣した。

地震後約50分後には海上自衛隊哨戒ヘリコプターから、次いで地震後1時間後には山口県防災ヘリコプターより岩国周辺地域の異常はなしの報告が入っている。地震発生当日の23時まで職員が現地調査を行い、帰庁と報告を受けてから24時第3非常体制から第2警戒体制へシフトした。

呉市では地域防災計画に震度5強で参集することになっていたため、職員が自発的に登庁する中、地震発生直後の15時30分に災害対策本部を立ち上げている。被害調査に関しては直接市職員が調査に出向くことはなく、消防が出向いて確認を行った。消防から市役所への連絡は内線電話を利用していたため、輻輳による情報伝達の障害はなかった。なお、携帯電話、一般加入電話が輻輳のために市役所外部との連絡ができなかった。住民への連絡としては、自治会にある町内放送を利用して対応（放送設備のない自治会もある）している。

次に、呉市周辺の自治体の対応についてみると、同じ震度5強に見まわれた地域でも対応は様々であった。安浦町では、災害対策本部を立ち上げず、普段の業務の範囲で対応を行っている。これは家屋の被害があったものの人的被害が少なかったこと、同報無線（屋外スピーカー）による余震等の注意の喚起を行い、さらに地震当日の痴呆老人搜索のため町役場職員を動員していた等、普段から地域に密着した対応をしていたこと等が理由と考

えられる。

その一方、黒瀬町では地震発生から職員が自主的に参集し、30分後に災害対策本部を立ち上げている。消防団（自衛消防団6分団）が被害調査を行い、役場では写真-30に示す移動無線機を用いている。これは、地震後に消防団に配布され、活用された。住民に対しての情報提供は写真-31に示す同報無線室から屋外スピーカーおよび学校などの施設を含めた125箇所へ放送を行った。このように日常使用している伝達手段と同じ方法で対応を行っている。

以上より、聞き取りをした多くの自治体で地震直後に自発的な参集が行われていたことがわかった。しかしながら、災害対策本部を立ち上げた後も住民からの電話といった外からの情報を待つ状態が続いており、概ね受身的な対応が見られた。これは、通常、情報伝達に利用している一般加入電話や携帯電話が輻輳により、外部との情報伝達手段が断たれたためであると考えられる。また、先にも述べた町レベルにおいては、通常より利用されている同報無線や消防団などの活用により迅速に被害を把握、また災害情報を住民に伝達することができたといえる。

しなしながら、上記の対応も今回の地震では大規模な停電がなかったことが幸いしたといえる。聞き取りをした多くの自治体では停電時に備えた自家発電機を有していたが、現状では一部の電話、照明といったわずかな機器しかバックアップできないため、さらに大規模な停電が生じた場合には、情報の入手、発信はより困難をきたしたものと考えられる。

(b) インターネットによる災害情報の発信

芸予地震においては多くの行政がインターネットのホームページにより災害情報の発信を行っている。インターネットホームページで被害状況を発信したのは、山口県を除く広島県、愛媛県および被害が生じた市や町であ

る。ホームページに掲載された情報は以下の通りであった。

- 地震について（発生日時、震源、規模、震度など）
- 被害状況
 - 人的被害（数、性別、年齢、負傷原因、負傷度）、
 - 住家被害（数、被害程度）、土木構造物被害
 - 防災体制（災害対策本部立ち上げ日時など）
 - ライフライン（道路情報、断水地域、停電情報、ガス）
 - 災害ボランティア（ボランティアホームページアドレスおよび連絡先）
- 被害にかかわる県税相談窓口情報
- 便乗、悪徳商法への注意
- 防災資材、物資の提供情報
- 家屋の被災度判定について

今回、聞き取りを行った市町のうち呉市と広島県音戸町におけるインターネットホームページの掲載内容と掲載までのしくみ等について述べる。

まず、呉市役所では、ホームページ作成を情報企画課で行い、インターネットプロバイダにコンテンツを置いて公開する方法をとっていた。地震直後は一般加入電話の輻輳によりプロバイダへのデータのアップロードができなかったが、当日の20時に最初の地震情報を掲載、公開した。ホームページ掲載内容としては、災害直後に

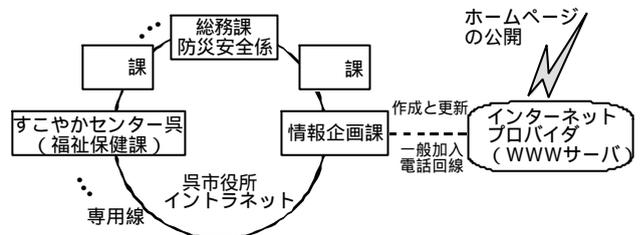


図-18 呉市役所のイントラネットとホームページ公開方法



図-17 地震前後での呉市のホームページのアクセス件数

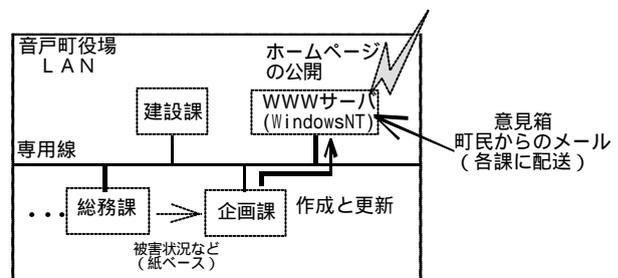


図-19 音戸町のネットワークとホームページ公開方法



写真-32 データをアップロードする企画課職員
(音戸町)

とりまとめられた被害状況を載せ、その後、避難所開設情報、交通情報、災害相談所開設案内、ブルーシート等の防災資材、悪質商法への注意などの 21 項目（4月2日の現在）を載せた。これら公開されたホームページに対し、アクセスした件数は図-17 に示すように通常1日あたり 300 件のアクセスが地震後には地震発生前の 3 ~ 4 倍に達した。このことから、インターネットを通じ災害情報を得ようとした人がいて、呉市の被災状況を多くの人に伝えることができたといえる。また、呉市は他の市町村に比べ多くの情報をホームページに掲載したが、これら多くの情報を迅速にホームページコンテンツへと集約できた理由として、呉市では図-18 に示すように庁舎内および出張所を網羅するイントラネットが整備されつつあったことがあげられる。これは、Web ブラウザにより閲覧、書き込みができる掲示板方式をとっており、プルダウンメニューにより各課の情報をみることが可能になっている。これらの情報および紙ベースでの情報が先の情報企画課に集められ、それらのデータがプロバイダへアップロードされた。

次に、音戸町では 26 日 14 時に町のホームページの中に災害情報を掲載した。内容としては、被害状況や罹災証明書の発行について、ビニールシート、土嚢の配布、地震災害ゴミ、便乗商法への注意といった 7 項目であった。音戸町は呉市とは異なり、2000 年 12 月に町ホームページ用にドメインを取得し、図-19 に示すように庁舎内に独自のサーバを置いてホームページを立ち上げている。ホームページの作成、更新は企画課が行い、隣接する総務課でまとめられた被害状況等を紙ベースで集め、写真-32 のように庁内 LAN でつながったパソコンより入力を行った。これにより、呉市のように一般加入電話輻輳によるホームページデータのアップロードができな

いという障害は回避されている。また、ホームページ上に意見箱を設定し、メールによる住民からの問い合わせ、要望に対応できるようになっていたが、今回の地震においては、問い合わせが 1 件（3月30日現在）あっただけであった。

以上のように 2000 年鳥取県西部地震に比べ、芸予地震ではインターネットによる情報の提供が多くなされたが、これは、地震後停電がなかったことや庁舎の被害が軽微であったこと、プロバイダのサーバが無被害であったことがあげられる。先にも述べた通り多くの市役所、町役場では自家発電機を備えていたが、現状では一部の電話、照明といったわずかな機器しかバックアップできないため、ホームページを作成、更新することは困難であったと考えられる。

まとめ

今回の地震被害調査で得られた知見、および今後の課題は以下のとおりである。

- (1) 震源がやや深かったため広域で震度 5 程度の強い揺れが観測され、被害も広域で発生した。また、従来の統計データに基づいた $M_f=6.4$ という地震規模の割には地震動は大きかったが、2000 年鳥取県西部地震よりも震源周辺域での揺れは小さかった。
- (2) 干拓地・埋立地が多いにもかかわらず、液状化の発生は限られたものであった。埋立年代との関係を今後評価する必要がある。
- (3) 港湾に関しては、今回の地震では床堀置換工法を採用している施設での被害が目目される。床堀置換工法は、兵庫県南部地震で被災の要因として取り上げられたことや、土捨場の確保の難しさもあり、近年ではあまり用いられない傾向にある。しかし、過去にこの工法を用いて建設された既存施設が多いので、それらの施設の耐震補強が今後の課題である。
- (4) 幸いにも今回の地震による港湾の被害は比較的軽微であった。しかし、安芸灘では今後も今回と同程度以上の規模の地震の発生も懸念されるため、十分注意が必要であろう。
- (5) この地震により、崩壊を伴う深刻な橋梁被害はなかったが、JR 高架橋被害から、地盤との動的相互作用を含めた検討が重要であることが再認識させられた。
- (6) 道路斜面被害は、風化した花崗岩の表層部分が地震動によって崩壊したものである。今後、風化を考慮した点検が課題である。宅地斜面被害は、盛土部の斜面天端が地震動により沈下・亀裂を生じたものである。今後、斜面天端の許容残留沈下量及び緑地帯等の土地利用のあり方が課題である。

- (7) 宅地擁壁等被害に関しては、急傾斜地上の宅地の老朽化した擁壁が崩壊した。今後、宅地擁壁の点検要領の整備及び補強対策が急務である。
- (8) 自衛隊の応援により島嶼部においても比較的スムーズな応急給水が行われたが、防災拠点などの重要施設ばかりではなく、島嶼部などの応急給水を行いにくい場所についても耐震化の優先順位を高くしておく必要のあることが示された。
- (9) 鳥取県西部地震に続き今回の地震においても、K-net、Kik-net によって広い範囲で強震記録が公開され、地中の地震動が同程度でも地形・地質の影響によって地表地震動の記録に大きな違いが確認された。したがって、今後の地域地震防災に役立てるためには、これらのデータを用いた被害分析を進めることが重要であるとともに、その分析に利用できる地方自治体によって設置された強震計、計測震度計による強震記録も公開されることが望まれる。

謝辞 本報告においては、港湾(広島)関連は大楨正紀氏(独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所)、災害対応関連は村上ひとみ氏(山口大学理工学研究科)にもご協力いただきました。また、山口県関連の被害調査では、山口県大島土木事務所、山口県岩国港管理事務所、大島町役場、美和町役場より資料を提供していただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 地震予知総合研究振興会ホームページ：
<http://www.adeq.or.jp/>
- 2) 総理府地震調査研究推進本部ホームページ：
<http://www.jishin.go.jp/>
- 3) 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会：日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別の特徴，(財)地震予知総合研究振興会地震予知研究センター，1997年
- 4) 東京大学地震研究所ホームページ：
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>
- 5) 京都大学防災研究所地震災害部門強震動地震学研究分野ホームページ：
<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/Welcome.html>
- 6) 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/>
- 7) 独立行政法人・防災科学技術研究所ホームページ：
<http://www.kik.bosai.go.jp/>
- 8) 独立行政法人・港湾空港技術研究所ホームページ：
<http://www.phri.go.jp/>
- 9) 佐々木康・小西宏之・古川智・久保田博章・渡辺修士：広島市地震情報ネットワークシステムについて，第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.59-66，2000.
- 10) Shabestari, K. and F.Yamazaki : Attenuation relation of strong ground motion indices using K-NET records，第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp.137-140，1999.
- 11) 広島市：広島市西部開発事業誌，1983.
- 12) 一井康二・井合進・森田年一：兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の挙動の有効応力解析，港湾技術研究所報告，Vol.36，No.2，pp.41-86，1997.
- 13) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋公団三十年史，平成12年.
- 14) NHK ホームページ：<http://www.nhk.or.jp/>
- 15) 中国地方土木地質図：中国地方土木地質編纂委員会，1984.
- 16) 広島県ホームページ：<http://www.pref.hiroshima.jp/>
- 17) 建設省計画局・広島県・広島市：広島地区の地盤，都市地盤調査報告書 第5巻，pp.5-13，1964.
- 18) あるくみるきく：特集・三原，近畿日本ツーリスト No.108，1976.
- 19) 日本建築学会中国支部：広島県西部地盤図，1987.
- 20) 広島市：平成13年(2001年)芸予地震に関する情報(平成13年4月12日現在)
(<http://www.city.hiroshima.jp/japanese/shobou/kinkyujyoho/saigaijyoho.html>)
- 21) Sasaki, Y., K. Fujiwara, F. Miura, H. Konishi, S. Furukawa : Development of the seismic disaster information system for HIROSHIMA CITY ,I2WCEE , 2000.
- 22) 広島市消防局：地震情報ネットワークシステム
(<http://www.shobou.city.hiroshima.jp/>)
- 23) 文部科学省防災科学技術研究所：K-net，Kik-net，国土交通省港湾技術研究所：港湾地域強震観測網.
- 24) 渡辺修士，佐々木康，小西宏之：広島市域における地震時被害予測のための地盤モデル，土木学会中国支部第51回研究発表会，平成13年6月