

1. 地震の概要

1.1 地震の諸元

平成 13 年(2001 年)3 月 24 日午後 15 時 28 分頃、広島県蒲刈町沖の安芸灘を震央とする地震があり、広島県内の 3 個所で最大震度 6 弱を観測するなど、西日本の広い範囲で強い揺れを生じた。気象庁の速報震源は以下の通りである。

発生日年月日： 03/24 15:28(JT)

マグニチュード： M6.4 (後日マグニチュード検討委員会により 6.7 に修正)

震源位置： 北緯 34.1°、東経 132.7°E、震源の深さ 60km

報道によると、26 日午後 7 時 30 分現在の中国、四国、九州各県の被害は、死者 2 人、負傷者は 163 人、家屋損壊は 7533 棟で、平成 12 年に発生した鳥取県西部地震の被害を大きく上回った。

1.2 各地の震度

各地の震度を図-1.1 に示す。広島県河内、大崎、熊野町で震度 6 弱、広島県河内、大崎、熊野町で震度 6 弱、呉市や三原市、岩国市、柳井市などで震度 5 強、広島市や徳山市、山口市、松山市などで震度 5 弱を観測した。

内陸の直下型地震である鳥取県西部地震では、今回の地震よりも強い、最大震度 6 強を観測しているが、震度 5 を観測した範囲は今回の地震の方が広いようである。これは、地震のエネルギーを示すモーメントマグニチュード(Mw)が 6.7 と鳥取県西部地震よりやや大きかったことや、震源が深かったことが原因であると考えられる。



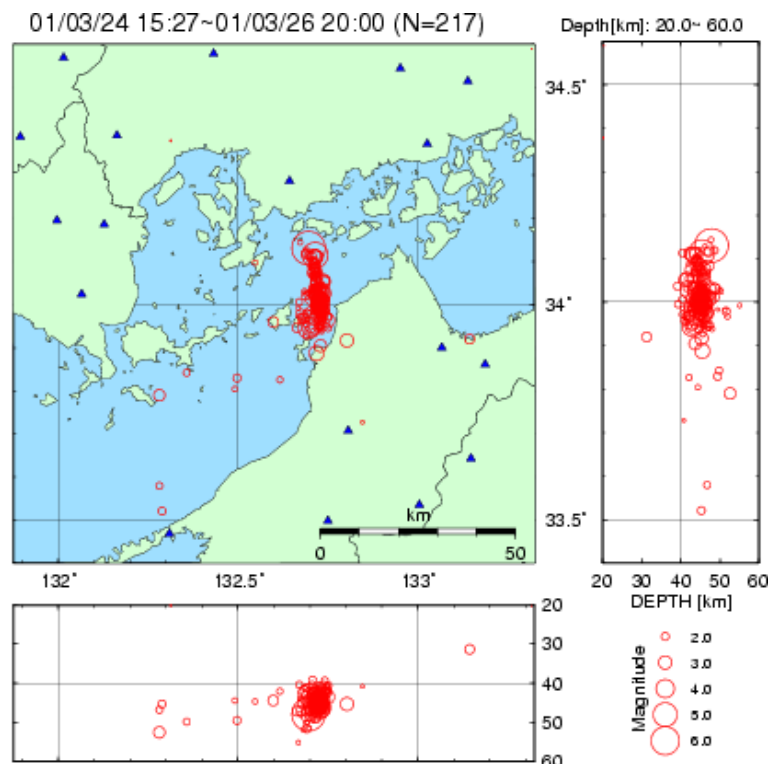
図-1.1 各地の震度
(3 月 25 日中国新聞朝刊)

1.3 余震分布と過去の地震活動

余震分布を図-1.2 に示す。今回の地震は南海トラフから沈み込んだフィリピン海プレート内部での地震活動である。震源位置は余震域の最北端であり、広島県蒲刈島付近から南側の松山市沖にかけて長さ 20km から 30km ほぼ南北に延びている。余震域の幅は 10km 程度となっている。

また、発生から 3 日目の 26 日、午前 5 時 41 分ごろ、これまでに最大の揺れ（←平成 13 年 4 月 9 日時点での最大余震）を観測、最大震度 5 強を記録した。広島地方気象台によると、この余震の震源は安芸灘で本震震源の近傍、深さは約 50km、マグニチュードは 5.2 である。各地の震度は広島県河内町では震度 5 強（あとで震度計の土台が地面に密着していないことが判明）、三原市や広島県海田町などで震度 4、広島市安佐南区や徳山市で震度 3 だった。この余震による大きな被害の報告はなかったが、河内町内の国道で斜面崩壊の被害が拡大したり、JR 山陽線の本郷～白市間で線路に新たなゆがみを生じた（3 月 27 日中国新聞朝刊）。

今回の震源付近では、過去 100 年以内に 1903 年に M7.3(芸予地震)、1949 年に M6.2 の被害地震が発生しており、さらに M7 クラスの被害地震は 1649 年、1686 年、1857 年に生じており、比較的地震活動が活発な地域である。



Hi-net | NIED

図-1.2 2001 年 3 月 24 日から 3 月 26 日 20:00 までに発生した地震の震源分布

上図には、深さ 20km から 60km の地震の震源位置がプロットされている

(防災科学技術研究所ホームページより)

1.4 震源断層に関する詳細

図 1.3 に遠地の広帯域観測記録及び近地の強震記録による得られた震源のインバージョン結果を示す(Yagi and Kikuchi, 2001)。図のように破壊領域(断層)は南北方向で、北側(広島県側←震央)から南側(愛媛県側)に向けて 20km ほど主となる破壊が進んだ。またこの地震は 2 つのアスペリティ(大きなすべりを生じた箇所)をもち、最大の変位量は、1.1m と見積もられた。

地震モーメント: $M_0 = 1.2 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (モーメントマグニチュード M_w 6.7);

破壊の継続時間: $T = 8 \text{ s}$;

断層走向、傾斜角、すべり方向: (Strike, Dip, Slip)=(179, 55, -81);

震源: (lat.= 34.125N, lon.= 132.713E, depth= 50 km).

(The epicenter of the main-shock was determined by Earthquake Observation Center of ERI.)

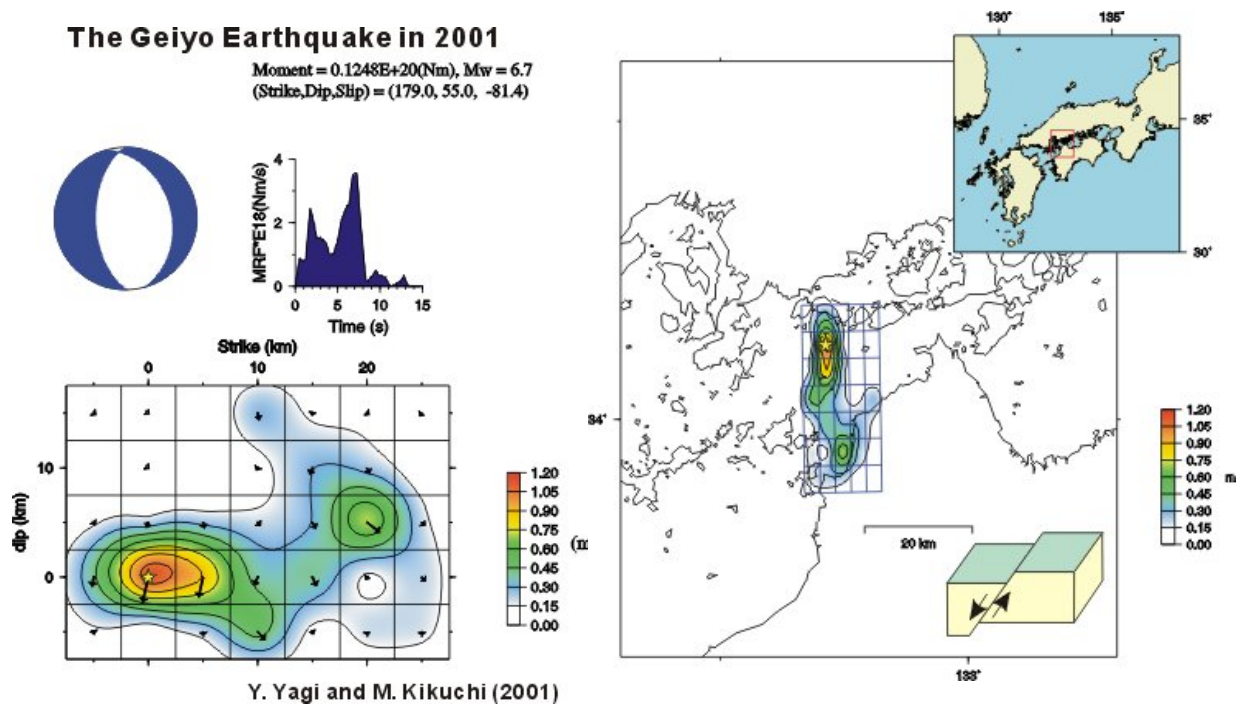


図-1.3 K-NET 及び IRIS データによる波形インバージョン結果

Yagi and Kikuchi, 2001

(東京大学地震研究所地震予知情報センターホームページより)

1.5 観測された地震動

今回の地震で、全国展開されている防災科学技術研究所の強震動観測網 K-NET により、本震および余震の波形データが得られた。図-1.4 に中国四国地方における観測点の水平最大加速度（NS,EW2 成分のうち大きい方）の分布を示す。表-1.1 は主な震央周辺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、湯来町の 832gal で、続いて三原市の 652gal となっている。この 2 地点が飛びぬけて大きい値を示している。震央である安芸灘周辺の最大加速度は概ね 200～400gal 代の大きさとなっている。

図-1.5 に呉、大野、湯来、広島 の 4 地点の加速度波形(水平方向 2 成分)と加速度応答スペクトルを示す。

表-1.1 震央周辺で観測された最大加速度

観測点名	最大加速度(gal)		
	NS	EW	UD
① 湯来	415	832	218
② 広島	254	258	233
③ 大野	355	441	232
④ 呉	312	425	203
⑤ 三原	652	397	177
⑥ 東予	325	459	117
⑦ 北条	400	394	255
⑧ 松山	212	310	113

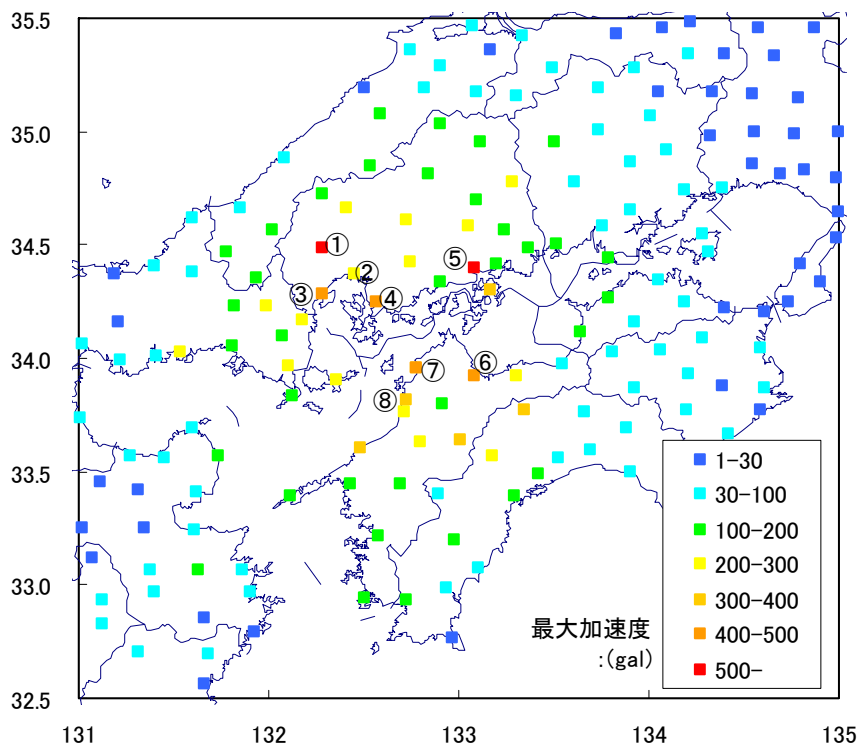
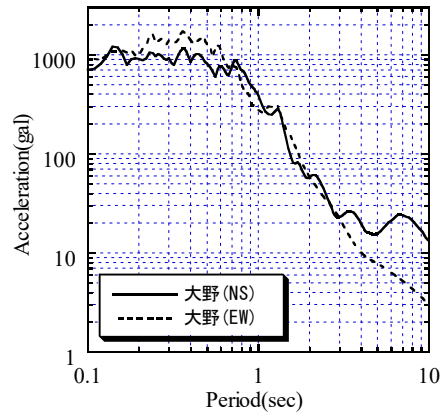
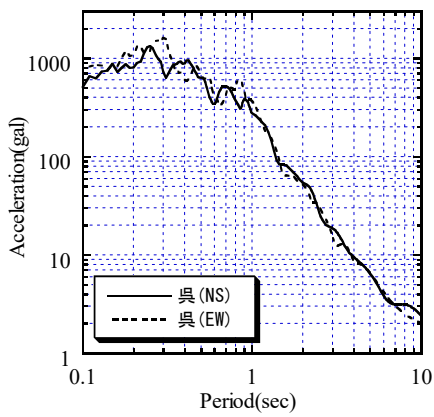
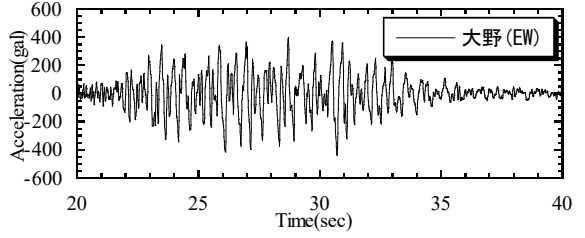
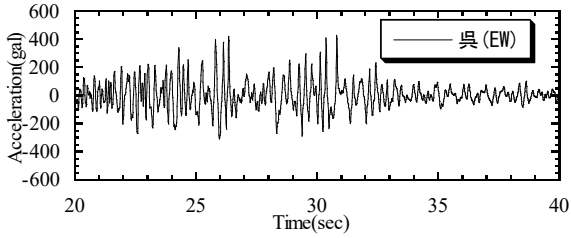
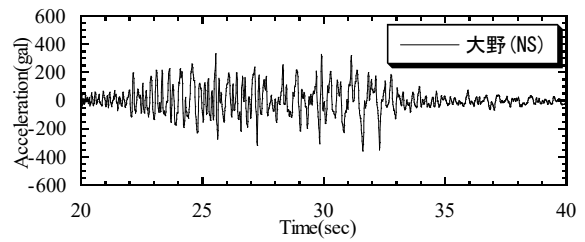
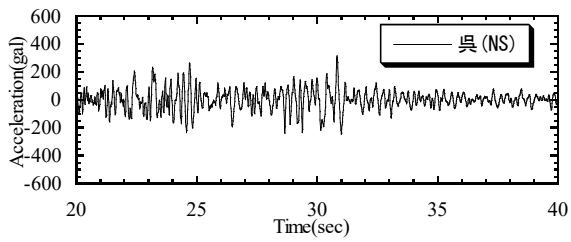


図-1.4 最大加速度の分布

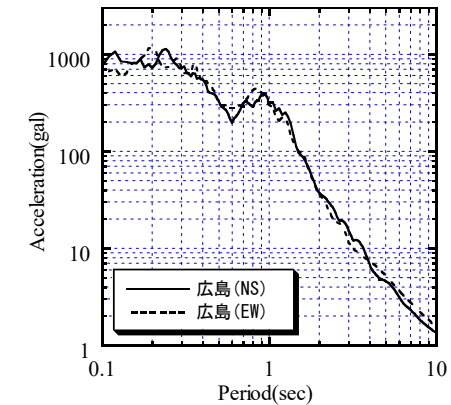
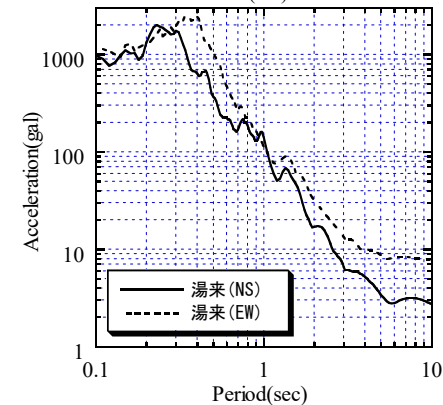
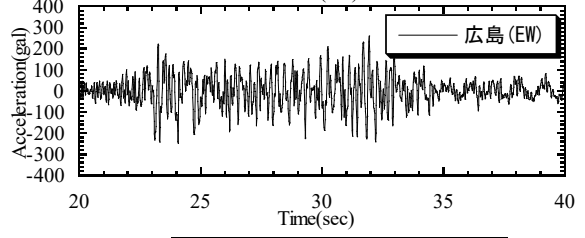
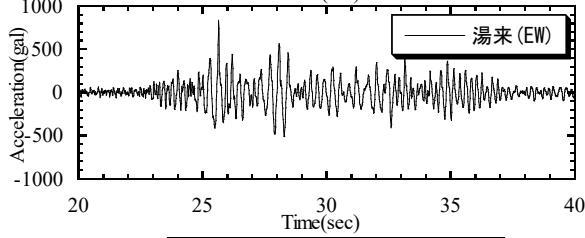
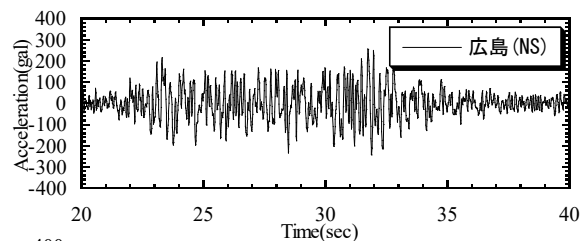
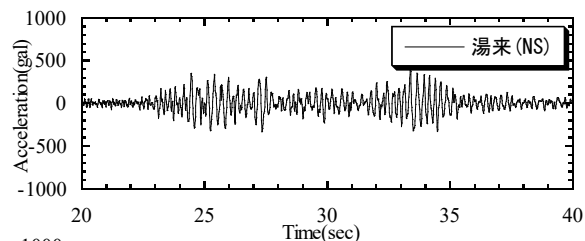
—NS,EW 水平 2 成分のうち最大のものを利用—

(防災科学技術研究所 K-NET データ利用)



(a) 呉観測点

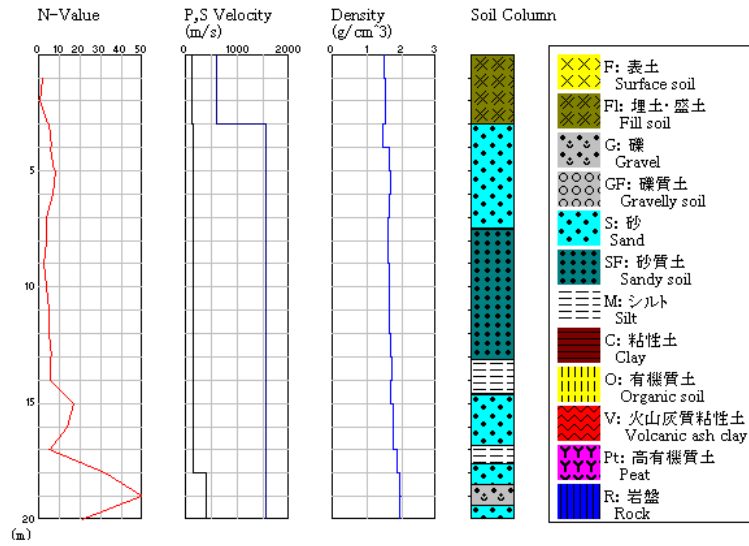
(b) 大野観測点



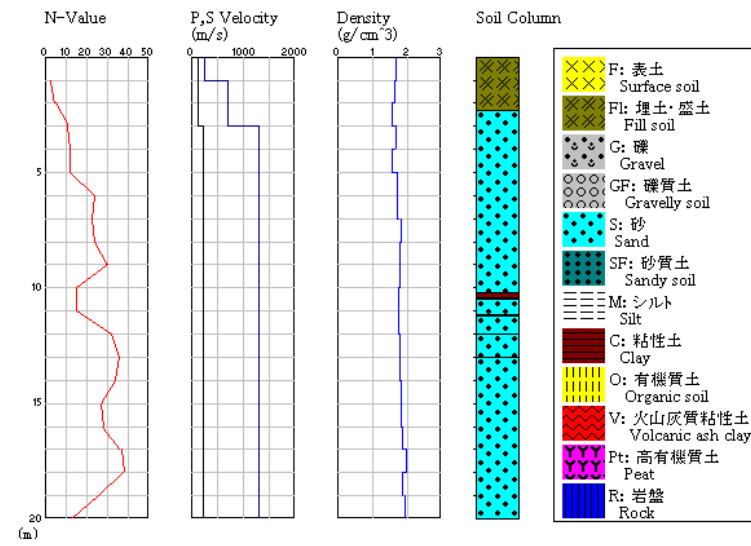
(c) 湯来観測点

(d) 広島観測点

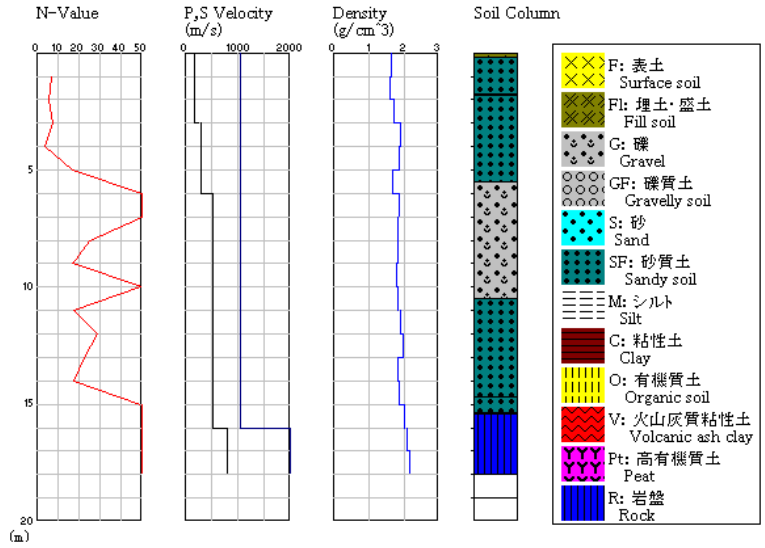
図-1.5 観測された波形と加速度応答スペクトル (5%減衰)



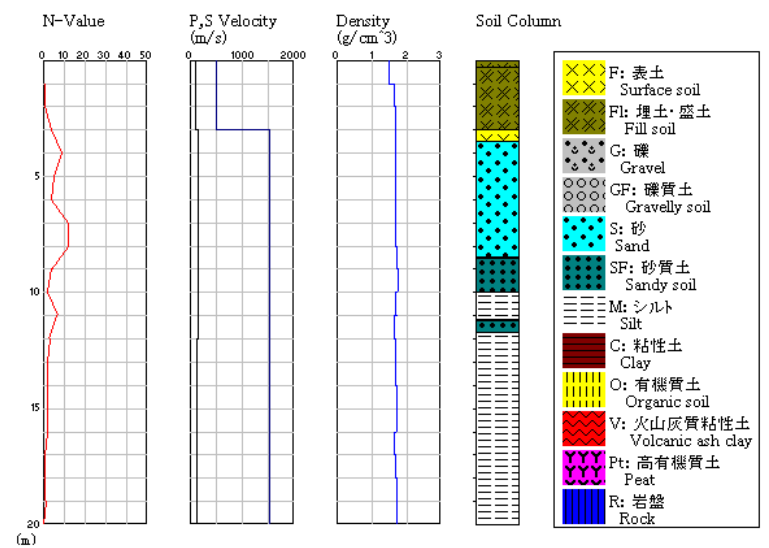
(a) 呉



(b) 大野



(c) 湯来



(d) 広島

図-1.6 K-NET 観測点の地盤

2. 地形・地質の概要

広島周辺の地質を図-2.1 に示す。

広島市の中心部には、太田川三角州による東西約 10km、南北約 8km の沖積平野が広がり、三角州平野は広島城下が創められた 1650 年頃から人工的な干拓によりデルタの成長が促進され、現在見られるように陸繁された。

広島市内付近の地質は、中生代白亜紀の広島花崗岩類の粗粒花崗岩が付近の基盤を成し、平野の中には江波山、比治山、黄金山、元宇品、白神社など花崗岩が小丘状に見られる。これら基盤の上位を第四紀洪積～沖積層の砂礫や粘性土、砂質土が被覆して平野部を構成する。

呉市内は、太田川三角州と似た小規模な三角州低地や扇状地性低地が分布し、南側は瀬戸内海、北側は灰ヶ峰をはじめとする起伏量 200～600m の中～小起伏山地が分布する。山麓には土石流扇状地が形成され、集中豪雨による土石流災害危険地となっている。

呉市周辺の地質は、中生代白亜紀の広島花崗岩類の細粒～粗粒花崗岩や花崗斑岩・石英斑岩、流紋岩質～石英安山岩火砕岩が基盤をなす。また南側の芸予諸島部ではこれら基岩のほかに、古生代後期～中生代中期の粘板岩や砂岩、石灰岩が島部に見られる。

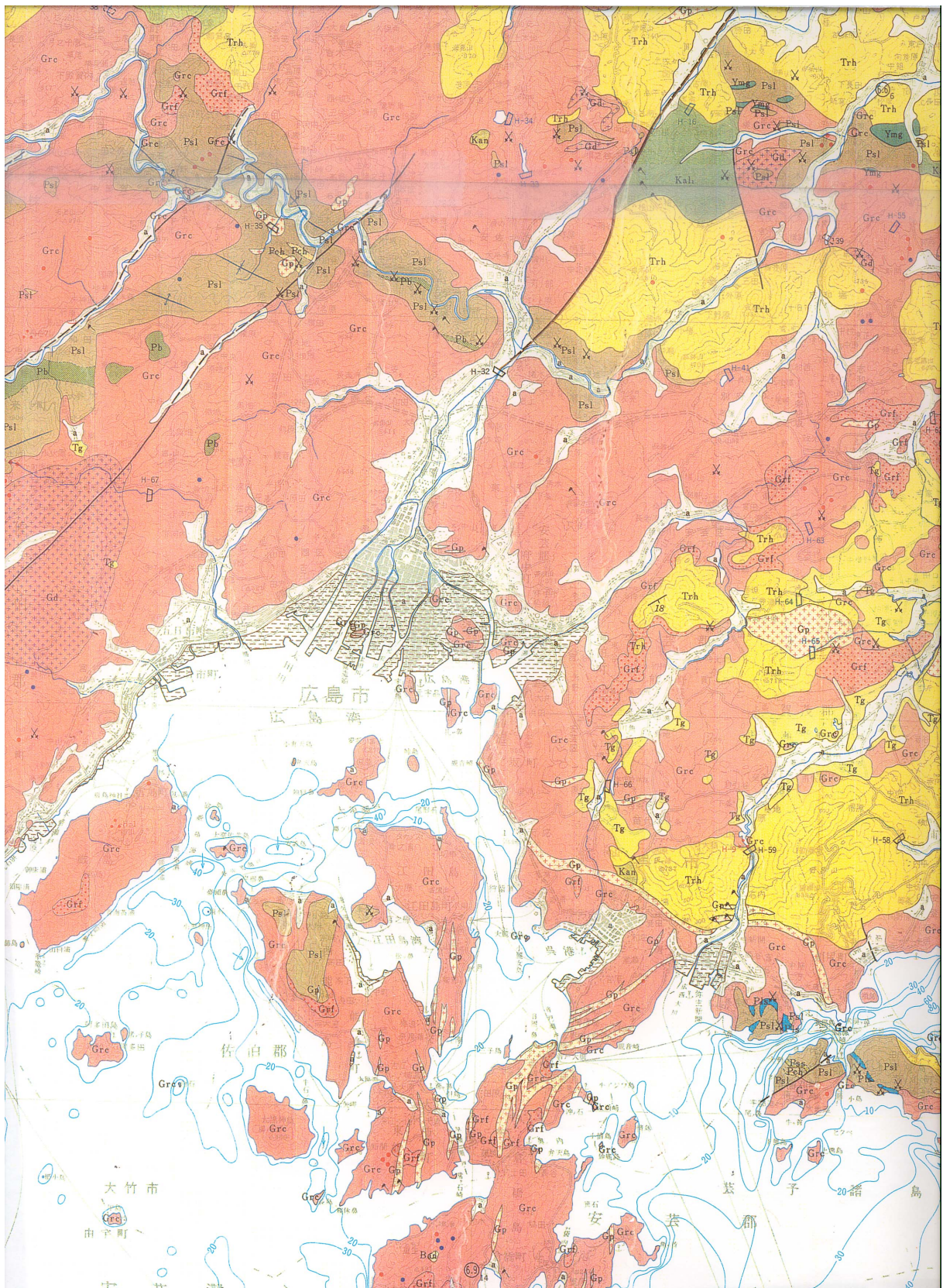


図-2.1 広島・呉市周辺の地質

3. 地震被害

3.1 地震被害の概要

芸予地震では、震源に近い広島県や愛媛県を中心として、山口県や岡山県など近隣の県にも被害を及ぼした。その被害は、JR、ガス、水道、通信、道路、港湾などのライフラインや、住宅等建物の被害も発生した。総務省消防庁のまとめでは、3月30日現在、西日本9県で、死者2人、重軽傷者254人、家屋損壊は19,764棟に及び、これら項目については鳥取県西部地震の被害を上回っている。

広島県災害対策本部のまとめでは、4月4日現在、広島県内の公的施設の被害額は123億9360万円に達しており、教育文化関係が47億円あまりと最も大きく、公的施設では学校が最大の被害を受けていることが分かった。この他では、公共土木関係が36億6600万円、農業関係が11億9949万円、福祉・衛生施設が11億9949万円、水産関係が6億8155万円、林業関係が6億706万円、商工業関係が4億5400万円となっている。

表-3.1.1 被害のまとめ（消防庁データ－5月2日現在－）

	兵庫県南部地震	鳥取県西部地震	芸予地震
発生年	1995年	2000年	2001年
マグニチュード*	7.2(7.3)	7.3	6.4(6.7)
モーメントマグニチュード [†]	6.9	6.6	6.7
人的被害	死者	6,432名	0名
	行方不明	3名	0名
	負傷者	43,792名	182名
住宅被害	全壊	104,906棟	430棟
	半壊	144,274棟	3,065棟
	一部損壊	263,702棟	17,155棟
電気（停電）	260万戸	12,393戸	43,514戸
水道（断水）	130万戸	7,283戸	48,284戸
ガス	86万戸	71戸	443戸

* カッコ内の値はマグニチュード検討委員会による修正値

① 水道

ゆれが大きかった呉市や安芸灘島しょ部、広島市の各所で水道管が破裂、断水や漏水の被害があった。山口県では小郡町の72世帯で断水した。

断水があった大崎町や蒲刈町などの芸予諸島は、広島県に送水を頼っており、呉市が管理する支管の一部が折損し、島への送水ができなくなった。再送水は最も遅いところで地震発生3日後の27日未明にずれこんだ。報道によれば、傷んだのは戦前から使用されている古い水道管であったということである。

② JR在来線

在来線は地震直後全線で運転を見合わせた。翌日には一部徐行運転区間はあるも

の復旧した。JR 西日本広島支社によれば、軌道変形の被害が 12 カ所、落石が呉線などで 10 カ所あり、復旧費用は全体で 30～40 億に上る見通しである。

③ JR 新幹線

山陽新幹線の高架橋の梁（はり）に百九十七本の亀裂が走るなどの被害が生じた。亀裂は高さ 12m 以上の高架橋の中間部分を水平に支える長さ 4.3m のコンクリート製の梁に発生した。激しい揺れを観測した三原市内で 155 本、広島市内で 42 本に亀裂やはく落が見つかった。このうち、被害の大きな三原市内の 12 カ所には、応急措置として梁の機能を補強する H 形鋼材を取り付け、本格復旧に向けた工法を検討している。このほか軌道の変形も見受けられた。

④ ガス

都市ガスを供給する広島ガスによると、呉市に加え、広島、廿日市市などで、ガス漏れの通報が多くあった。また、阪神大震災以降、マイコンメーターの普及で、都市ガス、プロパンガスとも一時的に使えなくなる家庭が相次いだ。

⑤ 通信

地震発生直後から電話が集中したため、広島、山口、愛媛 3 県で固定、携帯とも電話が繋がりにくくなった。

⑥ 電気

中国電力によると、広島、山口、岡山の 3 県で計 4 万 8 千世帯が停電したが、午後 7 時過ぎまでに復旧した。発電、送電施設に大きな被害はなく、島根原発 2 号機も通常運転が続けられた。

⑦ 道路

中国運輸局災害対策本部が午後 5 時現在でまとめた、土砂崩れや道路陥没などによる中国五県の一般道の通行止めは計 53 カ所となっている。全面通行止めは広島県河内町の国道 432 号、三原市幸崎久津の国道 185 号など 33 カ所。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 号など 20 カ所となっている。

3.2 調査地点の概要

地震直後から被害調査を行った。調査地点は

- ① 廿日市市木材港周辺
- ② 広島市南部（中区、南区、西区、安佐南区）
- ③ 広島市北部（安佐北区、山県郡加計町）
- ④ 広島県大崎町
- ⑤ 愛媛県今治市

である。図-3.1 に調査地点概略図を示す。

このうち廿日市市、広島市の埋立地では、大規模ではないものの、液状化による被害がいくつか発生した。廿日市市および広島市南部の地形図と調査地点を記したものを図-3.2 に示す。



図-3.1 調査地点概略図

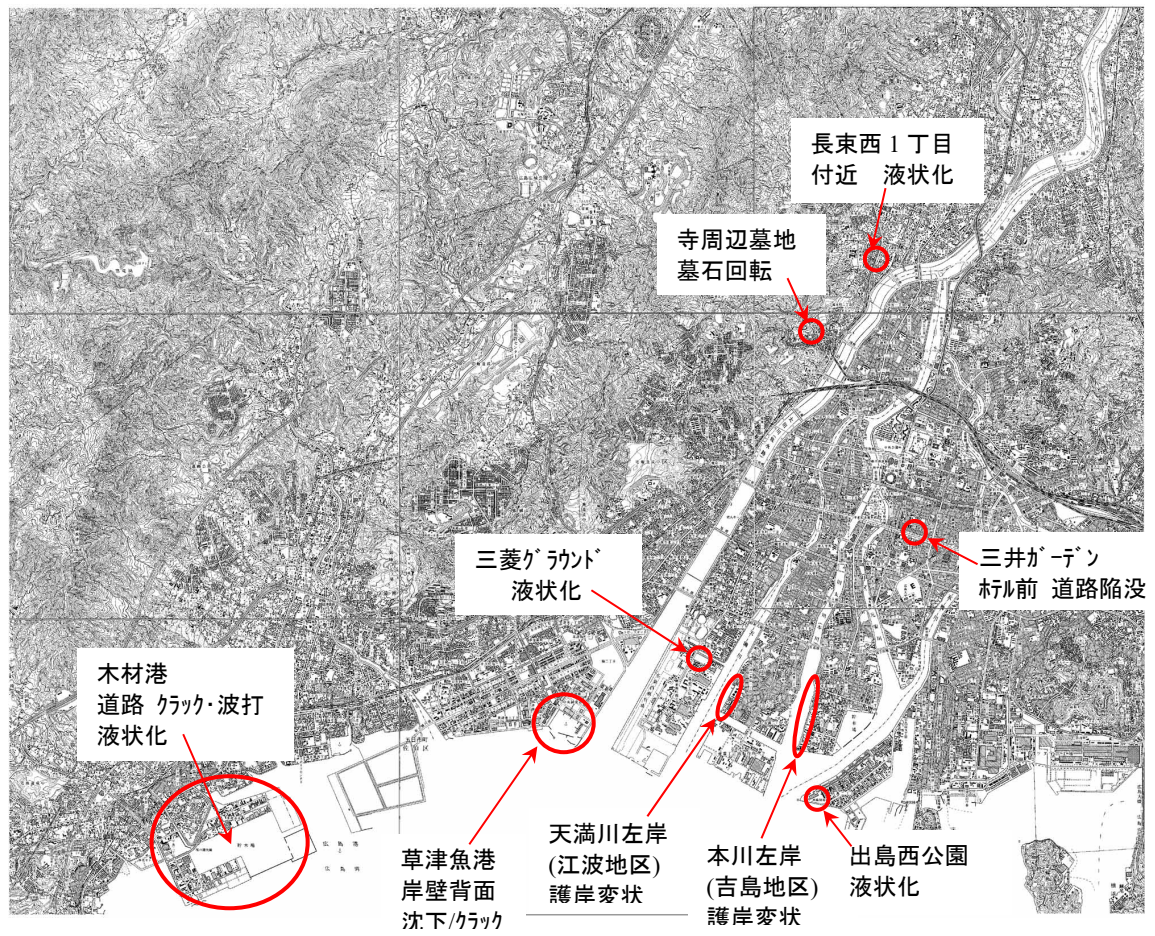


図-3.2 廿日市市、広島市南部の地形と調査地点

3.3 廿日市市木材港の被害

木材港は、広島市の西隣の廿日市市に位置している。埋立により造成された木材工業団地では、臨港道路が約 500m にわたって幅数 cm 程度の亀裂が護岸に平行に生じていた。また道路が陥没するなどして、片側 1 車線が規制されていた（写真-3.1,2）。

また道路すぐわきの緑地帯では、噴砂が見受けられた。噴砂を持ち帰り粒度試験を行った結果、細粒分が 1.2%のきれいな砂であった。また噴砂の中には、かなり粗粒のサンドマットらしき土も見受けられた。参考として図-3.4 に護岸の断面図を示す。

但し、団地の内部では護岸に垂直に走る道路で一部陥没が見られたが、道路に隣接する木材工場などに大きな被害は見られなかった。護岸の前面や背面を調査したものの、吸出しや護岸の変状も見られなかった。

以下、液状化の目撃談（3月25日中国新聞記事から引用）

縦横に走る亀裂で、無残な姿をさらけ出した。目撃した会社員佐々木良信さん(63)によると、地震発生から7分後、液状化は発生した。「道路と歩道の間でできた亀裂3カ所から、泥水がいきなり噴き出してきた。わずか2分の間に、団地一帯は泥に埋め尽された」と恐怖を語った。

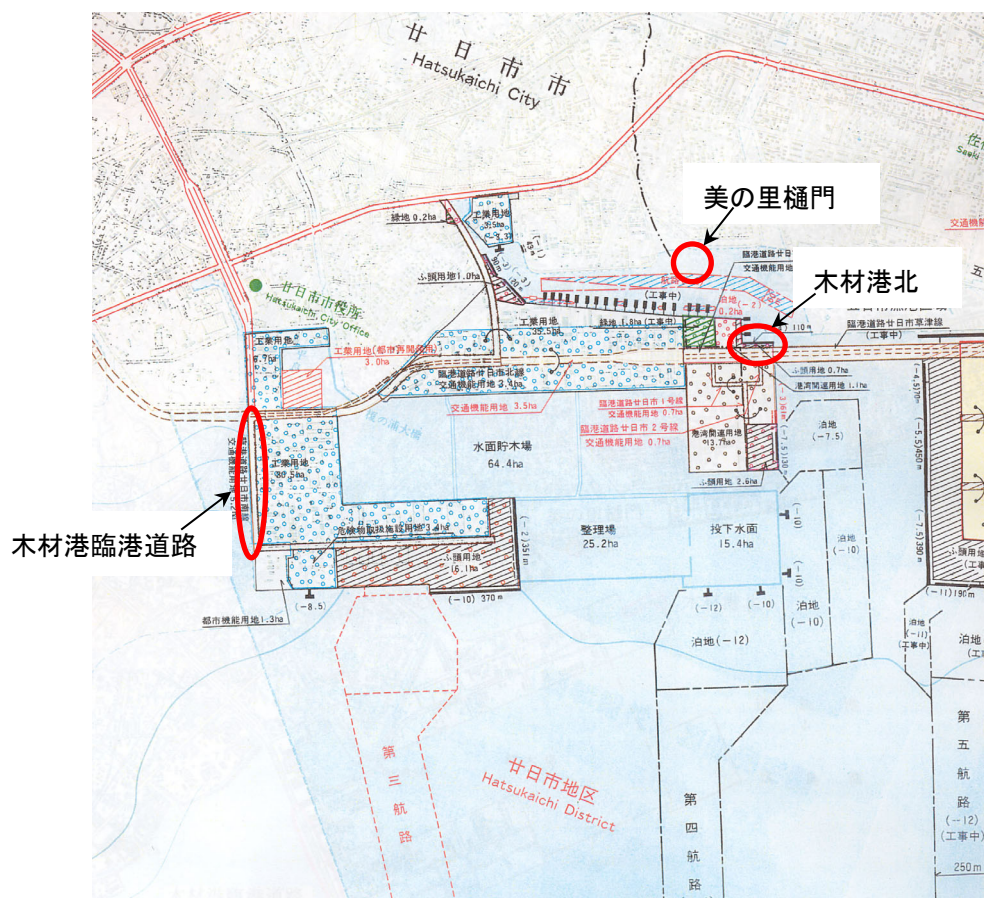


図-3.3 木材港地図



写真-3.1 護岸に平行に発生したクラック
発生したクラック
(写真右手が護岸)



写真-3.2 道路陥没箇所の
応急復旧箇所



写真-3.3 緑地帯の噴砂
の状況

< 臨港道路の被害 >

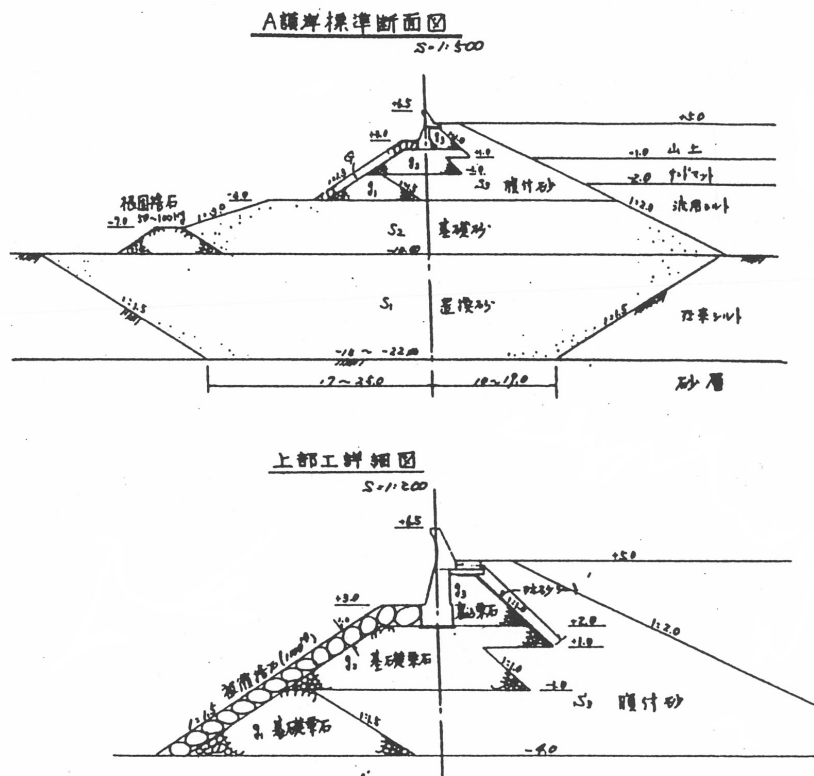


図-3.4 護岸断面図



写真-3.4 吸出しによる
背面地盤の陥没

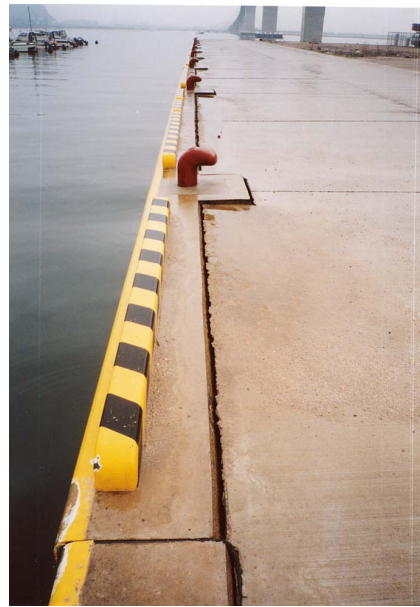


写真-3.5 岸壁の開口

< 木材港北の被害 >



写真-3.6 樋門西側の潮廻し
右側矢板根元に噴砂



写真-3.7 樋門門柱部に生じた
クラック

< 美の里の被害 >

3.4 広島市南部の被害

(1) 草津漁港

広島市西区の草津漁港では、岸壁背面の地盤が沈下し、大きいところで幅、高さとも 20~30cm 程度のクラックが生じていた。図-3.5 に草津漁港の地図を、写真-3.8~11 に岸壁や背後地盤の変状を示す。

写真-3.9 の水溜まりは地震後に降った雨のためと思われる。

周辺に噴砂は見られず、岸壁にも変状は見られなかった。



図-3.5 草津漁港周辺地図

Copyright(C)1997 CyberMap Japan Corp.



写真-3.8 草津漁港の岸壁



写真-3.9 沈下箇所の全景



写真-3.10 背面に生じた 10cm 程度の段差



写真-3.11 背面に生じたクラック

< 草津漁港の被害 >

(2) 河川堤防の被害



図-3.6 河川堤防の被害調査箇所



写真-3.13 護岸接合部の開口



写真-3.14 堤内側のり肩空洞

< 天満川左岸 吉島地区 >



写真-3.14 パラペット波打ち



写真-3.15 堤内側のり肩空洞化陥没

< 太田川左岸 江波地区 >

(3) 観音新町三菱重工グラウンドの液状化被害

西区観音新町四丁目の三菱重工業広島製作所観音工場北側にある多目的グラウンドは、深い所で約 50 センチも陥没。約 1.6 ヘクタールのほぼ半分で液状化し、水浸しになった所もあった。

しかし調査時（4月4日）は、グラウンドが整地され、わずかばかりの噴砂がところどころに残っているだけで、液状化の痕跡はほとんど残されていなかった。

付近に残っていた噴砂を2地点で採取し、粒度試験を行ったところ、細粒分含有率 FC は 12.8、13.0%、平均粒径 D_{50} は 0.1564、0.2284 と細粒な土質であった。

また報道によれば、天満川を挟んだ中区江波沖町の同製作所江波工場グラウンドでも約 30 平方メートルが液状化が発生した模様である。



写真-3.16 地震直後の状況
3月25日（火）中国新聞朝刊
～ 報道写真 ～



写真-3.17 調査時の写真(4月4日)
液状化した痕跡はほとんど
見られなかった

(4) 出島西公園

液状化が生じた出島西公園も調査したが、液状化の痕跡はほとんど無く、三菱グラウンドの噴砂と似たような土がいくらか残っていた。

(5) 道路陥没被害

広島市中心部の中区中町、三井ガーデンホテル前の道路が地震により陥没した。路面が長さ約7m、幅約4mに渡って40cmほど沈み込んだ。調査時には完全に復旧していた。



写真-3.18 地震直後の状況
3月25日(火)朝日新聞朝刊
～ 報道写真 ～



写真-3.19 調査時の写真(4月4日)
復旧後

(6) 長東西一丁目付近で発生した液状化

写真は中国支社と山本川を挟んだ対岸の住宅地で発生した噴砂状況である。写真は地震から約 1 時間後の撮影であるが、地震後 15～20 分頃同地点を遠望したときは、大量の水が噴出しており、水道管の破裂と見間違えたほどの湧水量であった。

噴砂は約 100×100m の範囲で確認され、駐車場付近では U 字側溝が 3cm 程度沈下した。昭和 24 年頃の旧地形図では、山本川は現在のような直線的な流路ではなく、やや蛇行していたことから、噴砂の発生した地域は旧河道であった可能性もある。



写真-3.20 液状化発生直後の写真



写真-3.21 路面と U 字側溝に生じた段差

(7) 報道によるその他の液状化地点

南区出島二丁目の出島集会所近くでも、道路に亀裂が入り、そこから泥水が噴き出した。

廿日市中グラウンドでも約四百平方メートルに及ぶ液状化現状が発生。地下からわき出た泥水が地表を覆い、地面には亀裂も走った。

竹原市では、駅前商店街の4カ所で液状化現象が発生。店舗の下から水が噴き出し、商品が汚れるなど被害が出た。

広島湾に面した広島東洋カープの大野屋内総合練習場（広島県大野町）は、ランニングなどで使う屋外グラウンドの九カ所で液状化現象が起き、泥水が噴出していたことが25日、判明した。さらに5,6カ所が10～15センチ陥没。芝生の部分は波打ち、歩くと数センチ沈み込む状態で練習には使用できなくなっている。

呉市でも液状化が発生した。特に阿賀周辺がひどかったようである。マンホールが浮き上がり、車の通行に支障を来した。液状化によるガス漏れも生じた。呉工専のグラウンドでは噴砂を生じた。老朽化した水道管の被害も多数発生したようであるが、液状化との関係は現在のところ分からない。

3.5 広島市北部の被害

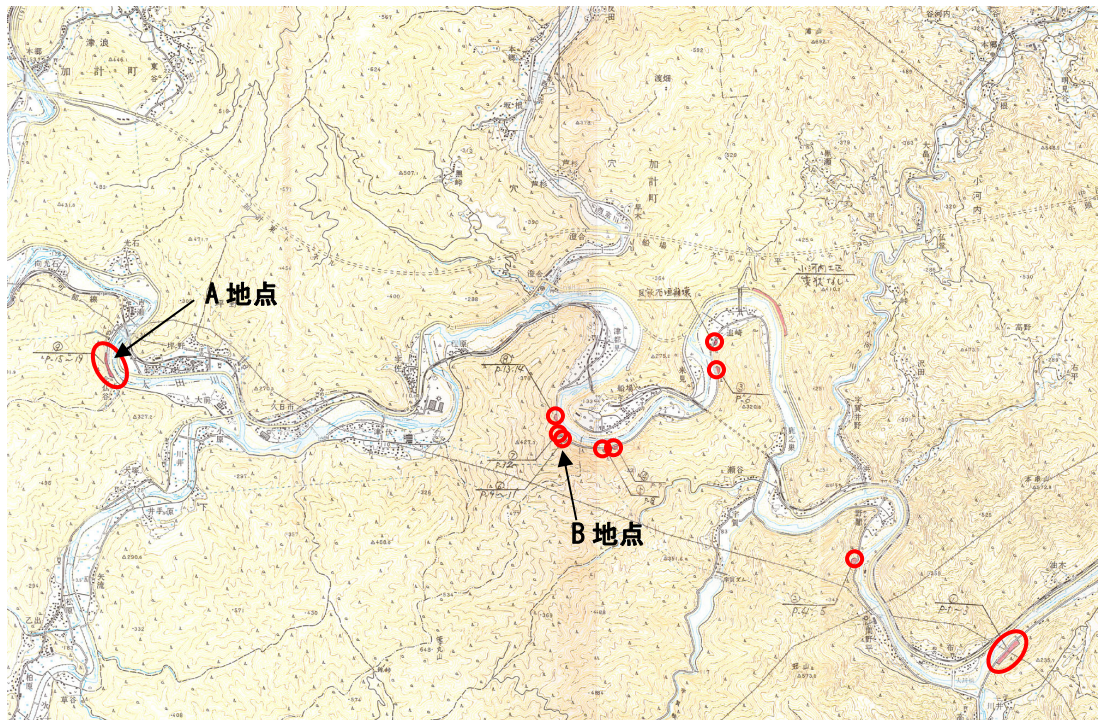


図-3.7 落石及び斜面崩壊地点



写真-3.23 A地点全景
(加計町中筒賀線下線)



写真-3.23 斜面崩壊 (A地点)
未対策区間よりφ10~40mmの落石が
多数生じている



写真-3.24 道路沿い岩塊の
開口亀裂 (B地点)

3.6 広島県大崎町の被害



図-3.8 大崎町の被害箇所



写真-3.25 干拓堤防に発生したクラック
堤防天端路面に、ほぼ全線に渡って
縦方向の亀裂が発生。
(もともと小規模なクラックは存在していた)



写真-3.26 干拓堤防内地盤の亀裂
と噴砂



写真-3.27 悪水溜堤防に生じたクラック
堤防天端路面の亀裂



写真-3.28 防波堤の前面移動と沈下
接触面でコンクリートが剥離
(防波堤天端高はもともと10cm低い設計である)

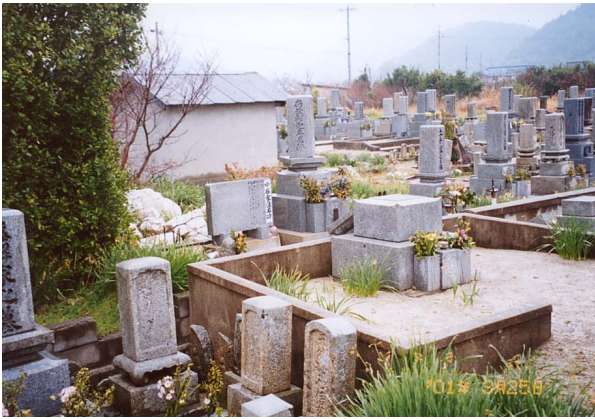


写真-3.29 墓石の転倒

3.6 愛媛県今治市の被害



図-3.9 今治港周辺の被害地点



写真-3.30 フェリー乗場集水溝沿いに生じた段差。護岸背後地盤が沈下している。

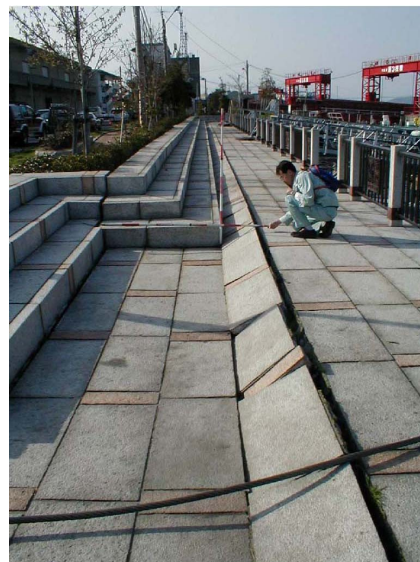


写真-3.31 護岸背後の変状 (憩いの場所)



写真-3.32 天保山2丁目埠頭
護岸背後が陥没した。



写真-3.33 天保山2丁目埠頭
埠頭のほぼ中央にクラック発生

