

平成13年芸予地震災害緊急調査速報

地盤工学会・芸予地震災害緊急調査団

1. ま え が き

平成13年3月24日午後3時28分ころ、瀬戸内海の安芸灘を震央とする芸予地震 ($M_{JMA}=6.4$) が発生した。有感域は中部地方から九州全域に及び、計測震度は最高で6弱を記録した。今回地震の発生した海域では過去M6~M7クラスの地震が繰り返し起こっており、この海域で発生する地震は広島県、広島市、山口県等の防災計画の中で地震被害の想定地震となっている。

地盤工学会ではこのような背景と被害状況に鑑み、同日直ちに緊急調査団を編成し、現地調査を開始した。調査団の構成を表一に示す。調査団は4月10日現在も調査を継続しており、このニュースは現段階での速報としてまとめたものである。〈文責：三浦〉

表一 芸予地震災害緊急調査団・団員構成

	氏 名	所 属
団 長	三 浦 房 紀	山口大学工学部
副団長	佐々木 康	広島大学大学院
団 員	森 脇 武 夫	広島大学大学院
〃	加 納 誠 二	広島大学大学院
〃	海 堀 正 博	広島大学総合科学部
〃	山 本 哲 朗	山口大学工学部
〃	兵 動 正 幸	山口大学工学部
〃	松 田 博	山口大学工学部
〃	金 折 祐 司	山口大学理学部
〃	竹 宮 宏 和	岡山大学工学部
〃	矢田部 龍 一	愛媛大学工学部
〃	森 伸一郎	愛媛大学工学部
〃	榎 明 潔	鳥取大学工学部
〃	藤 村 尚	鳥取大学工学部
調査協力	地盤工学会中国支部土質セミナー広島地域構成員	

2. 地震概要

2.1 震源メカニズム

気象庁発表によると芸予地震の震源は東経132.7°、北緯34.1°、深さ51 kmである。本震の発生から12時間以内に発生した余震分布を口絵写真一に示す。これより余震はほぼ南北方向に約20 km、深度40~50 kmに集中していることから、本震は長さ約20 km、幅約10 kmの断層が動いて発生したものと推定される。断層の平均食違い量は1.2 mで、地震のモーメントマグニチュード M_w は6.7と見積られている¹⁾。微小地震から求められたフィリピン海プレートの上面の等深線²⁾に基づくと、芸予地震の震源付近ではプレートの上面は深さ40~45 kmに位置している。このことと正断層型の発震機構が

ら、芸予地震は中国~四国地方の下へ沈み込んでいるフィリピン海プレートの内部で発生したものと考えられる。

〈文責：金折〉

2.2 地震動の特徴

広島県、愛媛県の震央に比較的近い6地点の加速度記録、そのフーリエスペクトル、および応答スペクトルを口絵写真一に示す。湯来(震央距離83 km)では最大加速度828 Gal、三原(同45 km)では651 Gal、砥部(同45 km)では506 Galの水平最大値を記録した。鉛直加速度は西条で492 Galにも達した。

加速度波形のフーリエスペクトルをみると、湯来では2.5 Hz付近の成分が卓越している。広島、呉では1 Hzおよび1.25 Hz付近にピークが存在する。三原、砥部では6~8 Hz付近にピークが分布している。西条の鉛直成分は7 Hz以上にピークを示す。観測地点の地盤条件から、広島は第3種地盤、呉は第2種地盤、湯来、三原、砥部、西条は第1種地盤に属するものと思われる。

応答スペクトルをみると、湯来、呉の波形は0.3~0.4秒の短周期構造物に影響を及ぼす特性を示すことがわかる。図中の道路橋のスペクトル(タイプI)と比較して、湯来、呉の記録は0.5秒以下の周期帯域では第1種地盤のスペクトルを上回っており、0.5秒以上の長い周期帯域では逆に小さくなっている。全般に、応答スペクトルは長周期帯域で示方書のものより大幅に低い値を示している。〈文責：竹宮〉

3. 被害の概要

平成13年4月4日現在の消防庁資料を元に整理した被害を表二に示す。人的被害は死者2名、負傷者259名であった。死者2名は、崩れ落ちてきたブロック塀および落下してきたベランダの下敷きになったものである。

住居被害は全壊家屋33棟、半壊174棟、一部損壊家屋は26 504棟であった。一部損壊の内容は壁のひび割れ、屋根瓦の落下等であり、広島市西部ならびに北部の比較的固い地盤や他の地域でも台地での発生が多い。

愛媛県の全壊の1棟は、今治の3階建てRC共同住宅で、ピロティ一部の柱がせん断破壊して座屈により上部が傾斜したものである。周囲は同様の形式の建物があったが、問題はなかった。

これらに対して、学校などの被害が多く、愛媛大学においても、多くの棟で二次部材の壁などにせん断亀裂が入るなどほとんどすべての棟で何らかの被害が生じている。家屋や建物の被害は、満遍なくあるというより、被

表一 2 被害統計

平成13年4月4日現在消防庁資料

県名		広島県	愛媛県	山口県	岡山県	鳥根県	高知県	福岡県	香川県	大分県	計
人的被害	死者	1	1								2
	負傷者	192	46	12	1	3	4	1			259
住宅被害	全壊	25	1	7							33
	半壊	146	2	26							174
	一部破損	22 677	2 470	1 312	17	10	12		6		26 504
	非住居その他	14	8	1	2		7		8		40
	文教施設	706	272	125	9	8					1 120
	病院	60	23			2					85
	道路	407	44	15	1	2				1	470
土木施設	橋梁	8									8
	河川	47	3	5							55
	港湾	118	11	18							147
	砂防施設	16									16
	崖崩れ(ブロック塀を含む)	77			6						83
	鉄道			3							3
	水道(断水)	47 767	425	92							48 284
ライフライン	電気(停電)	35 108	6 836	422	1 148						43 514
	ガス	442							1		443
	油漏れ			1							1
火事	2									2	

災密度の高い地域が幾つかあり、地下構造を反映したものと考えられる。いずれにせよ、亀裂の入った家屋や建物ブロック塀が多く、被害がはじめる程度の揺れであったと考えられる。

また火災は広島市で発生した2件のみで、そのうち1件は台所のガスコンロの点火装置に倒れてきた家具が当たって自然着火したものであった。

公共土木施設に生じた被害は、道路470箇所、河川55箇所、港湾147箇所、崖崩れ83箇所と報告されているが、このほか新幹線高架橋が三原駅周辺で損傷している。

愛媛県においては、港湾は今治港や広島草津漁港で液状化による岸壁の変状や移動が見られたが、数cmから20cm以内で規模としては小さい。

現地調査により判明している広島県の地盤に関連する被害発生箇所を口絵写真一4に示す。噴砂・沈下・亀裂や斜面崩壊・落石等の地盤変状が確認できた箇所は加速度の大きな地域に分布している。

これらは、①震源から西北方に位置する広島市佐伯区、廿日市市、佐伯郡大野町にかけての地域、②呉市・安芸郡熊野町ならびに江田島・上下蒲刈島などの島嶼部、③賀茂郡河内町周辺に集約できる。これらの地域の被害の特色は次の4.、5.で述べる。〈文責：佐々木，加納，森，三浦〉

4. 斜面災害

4.1 広島県の斜面崩壊

斜面崩壊による被害状況を、震源地に近い呉市、竹原市、三原市、東広島市、豊田郡、安芸郡、佐伯郡、賀茂郡を中心に調査した。

斜面崩壊が多発した広島県西部地域は、花崗岩類(広島花崗岩類)や流紋岩(高田流紋岩類)などの火成岩や古生層が分布するが、前者が大部分を占めている。

擁壁の崩壊を含む斜面災害は、117箇所を確認された。被災箇所を口絵写真一5～7に示す。斜面災害の内訳は、表層崩壊が44箇所38%、岩盤崩壊が35箇所30%、落石

4箇所3%、吹付けコンクリート等の崩壊が4箇所3%、石積み擁壁等の崩壊が30箇所26%であった。ここで、岩盤崩壊とは表層崩壊のうち、土砂の混入率が特に少ないものを指し、落石とは数個の巨石が斜面から抜け出して落下したものをいう。平成12年10月6日の鳥取県西部地震における斜面災害(表層崩壊75%、岩盤崩壊13%、落石6%、石積み擁壁等6%)と比べると、今回の地震による斜面災害は岩盤崩壊と石積み擁壁等の崩壊が多いのが特徴である。

図一1は、地域ごと崩壊形式を表したものであり、地域によって特色が見られる。すなわち、呉市では石積み擁壁の崩壊が多く、賀茂郡では岩盤崩壊が、また、東広島市や豊田郡では表層崩壊がそれぞれ多い。

呉市など傾斜地に住宅が密集している地域では、急傾斜地にさまざまなタイプの擁壁によって平地を造って住宅地を確保している。この擁壁のうち石積み擁壁で崩壊が多数発生している。口絵写真一8は、呉市宮原8丁目2段積みされた石積み擁壁が隣接して2箇所(幅約6m×高さ約5mと幅約3m×高さ約3m)崩壊した例であり、擁壁裏側のまさ土は風化がかなり進んでいた。

一方、賀茂郡において多数見られる岩盤崩壊は、主として国道432号線沿いで発生している。口絵写真一9に示した事例は、椋梨川右岸の切り立った花崗岩斜面において柱状・板状節理に沿って崩壊が起こったものである。崩壊岩塊が1mを越えるようなものは落石防止ネットを突き破り道路面をふさいだ。これによって国道432号は数箇所まで全面通行止となった。

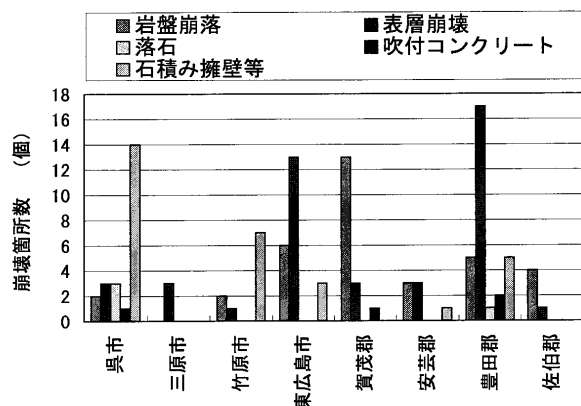
東広島市や豊田郡などで、表層風化が進んだ地点ではまさ土を中心とする表層崩壊が卓越していた。また、盛土法面が崩壊した箇所も多数あり、東広島市内の広島大学キャンパス南グラウンド南端の盛土法面(最大盛土高さ7～8m、法面勾配1:2)で幅90m、高さ8mにわたる地すべり状の崩壊が起こった(口絵写真一10、11)。

落石による被害も発生している。口絵写真一12～14は、呉市警固屋9丁目できった落石の様態を撮ったものである。5m×2m×1.5mの巨石が高さ約50m上方斜面から落下し、道路を横断して工場の門柱およびフェンスを大破した。

吹付けコンクリートの崩壊は、主として震度6弱が観測された島嶼部と賀茂郡河内町で見られたが、鳥取県西部地震ほど多くはなかった。

今回の地震で崩壊した斜面の中で自然斜面の大規模な崩壊は少なく、大部分は切土、盛土、擁壁などの人工斜面であった。特に、石積み擁壁等は地震時に不安定にな

りやすいことが今回の地震においても顕著であり、今後の防災対策において検討すべき項目である。また、今回の地震では崩壊しなかったものの、大小さまざまなクラックが入った斜面や擁壁が多数あり、梅雨期の降雨によって崩壊が起りやすくなっている。これらの斜面の危険度評価と崩壊防止対策が急務である。〈文責：森脇、海堀〉



図一 斜面災害の地域分布

4.2 山口県の斜面崩壊

岩国市および屋代島（大島郡）に限ると、すべてが切取り斜面の被害であった。口絵写真—15はその総数112件の被害発生地点を示す。斜面災害が発生した最西端は震央から68 km の位置である。表—3に斜面被害別に地点ごとの発生件数を示す。風化土からなる斜面崩壊は13件、岩盤崩壊は47件、両者の組み合わせた斜面・岩盤崩壊は4件、落石は47件となっている。この表からわかるように岩国市では14件中、斜面崩壊が13件であるのに対して、屋代島ではほとんどが岩盤崩壊、落石であり、その総数は94件に達している。いずれの被害においても人的な被害は発生していない。

表—3 崩壊形態ごとの件数

斜面崩壊	14 (岩国市13, 東和町1)
岩盤崩壊	47 (東和町47)
斜面・岩盤崩壊	4 (岩国市1, 東和町3)
落石	47 (東和町47)
計	112

岩国市で発生した斜面崩壊は、発達した柱状節理に沿って生じていた。そのほとんどの斜面が松の根によって節理の間隔が広げられており、これにより地震の際に岩盤崩壊が容易に発生したものと考えられる。その代表例を口絵写真—16, 17に示す。

ほとんどの場合、崩壊した岩塊は落石防止金網によって道路上に転出することは防がれたが、2箇所の大規模岩盤崩壊現場ではその効果がなく、道路が通行止めになった。その一つの現場を口絵写真—18に示す。〈文責：山本〉

4.3 愛媛県の斜面崩壊

愛媛県内における斜面崩壊と落石による被害は、民家への被害が15箇所、道路の規制箇所数が8箇所と比較的少なく、人的被害は発生していない。なお、12世帯36人が一時的に避難勧告により、または自主的に避難していた。道路沿いには1 m を越えるような落石が多く見受けられたが、落石防止工により人的災害が防がれているのが印象的である。〈文責：矢田部〉

5. 液状化被害

5.1 広島県の液状化被害

瀬戸内海に面する震源地近傍のこの地域は、山地・台地が海岸まで迫っていて平地が少なく、埋立てによって造成した土地が多い。また200~300 Gal の最大加速度を記録した広島市域は太田川デルタの上に形成された土地でその大部分は埋立て・干拓によって造成されたものである。このため地震直後には地盤の液状化が懸念されたものの、液状化が原因と考えられる大きな構造物被害は報告されていない。

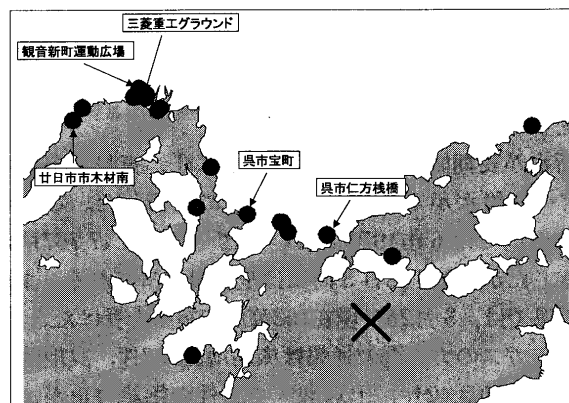
広島大学調査班が現地調査によって確認した噴砂確認地点を図—2に、また採取した噴砂の粒度試験結果を図—3に示す。

噴砂確認地点のほとんどすべては、1940年代以降に造成された新しい地盤である。口絵写真—19~22に示した三菱重工グラウンドのある広島デルタの大まかな地形分類と太田川流路沿いのデルタ地盤の土層構成を口絵写真—23に示す³⁾。

広島デルタに堆積したUs層、Um層を構成する砂は比較的均等係数の小さい砂であるが、D₅₀やFcは堆積過程を反映してか、標高によって微妙に異なる。現在までに入手している資料をもとに整理したD₅₀とFcの攪乱試料採取深さの標高との関係は口絵写真—24に示すような傾向を持っている。

Um層、Us層上部の平均的N値は7~12程度と比較的緩い。また口絵写真—25に草津港で観測した潮位を示す。地震発生時はちょうど干潮の時に当たり、水際の地下水位は満潮時に比べて2.5 m程度低かったと考えられる。

廿日市市木材港、広島市草津港、江田島（口絵写真—



図—2 噴砂確認地点

ニュース

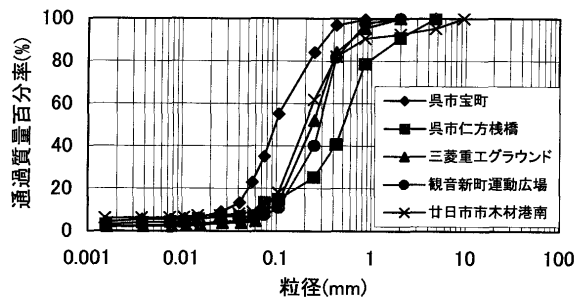


図-3 液状化地点の砂の累加通過曲線

26), 三原市糸崎港(口絵写真-27)などでは, 港湾や漁港の埠頭施設に変状を生じている。護岸等の水平方向の目地開き量(亀裂幅を含む)と鉛直方向の段差量を観察した結果を口絵写真-28に示す。〈文責: 佐々木, 加納〉

5.2 山口県の液状化被害

山口県内では, 液状化による顕著な被害は見られなかったが, 震度5強を記録した岩国港など県東部の港湾施設で岸壁エプロン部分に数cm程度の開きや陥没が見られるなどの被害が数箇所で見られた。いずれも, 使用に大きな支障が生じる程のものではなかったが, 埋立て地に被害が集中している。液状化による噴砂は, 岩国港の荷揚場で1箇所, 和木町の民家の庭先, あるいは畑など数箇所を確認された。山口県内は, 近年大きな地震に見舞われたことがなく, このような液状化が確認されたのは, 県内ではおそらく初めてのことと思われる。〈文責: 兵動〉

5.3 愛媛県の液状化被害

愛媛県では, 3. の被害の概要で述べたとおり港湾に液状化による被害がみられた。また松山市, 今治市, 東予市, 伊予市などに液状化の痕跡が広がっている。しかし液状化の発見は, やや困難であり, 液状化が発生するかどうかのぎりぎりの地震動強さであったものと考えられる。噴砂は大別して3種の土質に分けられる。浚渫埋立てによると思われるシルト質細砂, または細~中砂, 客土埋立てによると思われるまさ土である。今治市の一部, 東予市の噴砂はシルト分が多い。〈文責: 森〉

6. ライフライン

呉市水道局は宮原浄水場, 本庄浄水場, 平原浄水場から呉市内および川尻および島嶼部の32,900世帯に給水している。地震により口絵写真-29に示したように15箇所において配水管が破損したが, 3月26日にすべて復旧が完了している。

断水が長期間続いた広島県豊, 木江, 東野, 豊浜の5町への給水が4日目の3月27日に復旧した。これら広島県内では6市19町においてピーク時に47,767戸が断水したが, 3月28日8時には全面復旧済である。また愛媛県では, 3月26日現在162箇所被害を受けた。

都市ガスのガス漏れ通報は広島地区233件, 呉地区83件, 尾道地区42件, 因島地区で24件の供給停止があった。

電気関係の被害としては, 岡山市1,148戸, 倉敷市9,750戸, 呉市390戸, 広島市南区116戸, 安佐南区10,541戸, 三原市8,060戸, 加茂郡河内町, 豊栄町10,025戸, 山口県熊毛郡平生町422戸, 大島郡久賀町1,572戸等, 中国電力では合計48,000戸で停電したが, 3月24日19時8分には復旧した。また愛媛県では今治市で6,836戸, 新居浜市で251戸で停電したが26日16時現在においてすべて復旧している。

呉市の公共下水道は, 新宮浄化センター, 広浄化センター, 天応浄化センターで処理を行っているが被害はほとんどみられなかった。

一方, 呉市阿賀小学校グラウンドには雨水貯留池(長さ64.5m, 幅25.6m, 高さ2.5m)が地表面下1mに設けられている。口絵写真-30に示したように, グラウンドには噴砂跡が見られ, また, 雨水貯留池の北側境界部には約18cmの段差が生じ, 西側境界部には10cm程度の亀裂が生じた。〈文責: 松田〉

7. おわりに

昨年10月に発生した鳥取県西部地震に引き続き, 今回の地震でも800Galを越える極めて大きな加速度が記録された。また広島県内では計測震度6弱を記録した地点が3点あった。これら地震動の大きさに比べ, 被害の程度は想像したものより少なかったという声がある。液状化の発生およびそれによる被害もそれほど大きくなかった。これには地震発生時が干潮時で地下水位が低かったということもその理由の一つとして考えられるかもしれない。また最大加速度だけによる液状化発生の判定も見直す必要があるのかもしれない。いずれにしても今後十分検討していく必要がある。また, 斜面崩壊のために大変な迂回をしなければ山間部にある地域に到達できないということが起こった。このような山間部へのアクセス道路の斜面安定と地域の生活に関する研究も今後の大切な研究テーマであると考えられる。〈文責: 三浦〉

謝辞: 国土交通省中国地方整備局, 広島県土木建築部, 広島市消防局, 呉市災害対策本部, NHK広島放送局, 復建調査設計(株), (株)ダイヤコンサルタント, 中電技術コンサルタント(株), 応用地質(株), 基礎地盤コンサルタンツ(株), 五洋建設(株), 不動建設(株), (株)荒谷建設コンサルタントほかから資料ならびに情報の提供を受けた。また調査遂行にあたりk-netの強震観測記録を使用させていただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 菊池正幸・山中佳子: http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/010324.html, 2000.
- 2) 三浦勝美・佃 為成・三浦礼子・井上義弘・浅野周三: 瀬戸内海西部とその周辺地域の深発地震面, 地震研究所報告, No. 66, pp. 566~569, 1991.
- 3) 白石芳樹・佐々木康: 広島デルタ砂層の細粒分含有率の推定, 平成13年地盤工学研究発表会講演概要集, 2001(投稿中).

(原稿受理 2001.4.13)