

2001年芸予地震の特徴と今後の課題

古川 智¹, 藤原健藏², 佐々木康³, 三浦房紀⁴Satoshi FURUKAWA¹, Kenzou FUJIWARA², Yasushi SASAKI³, and Fusanori MIURA⁴¹中電技術コンサルタント(株)解析技術部²広島経済大学³広島大学 大学院工学研究科 社会環境システム専攻⁴山口大学 大学院理工学研究科 環境共生工学専攻

2001年芸予地震の発生から1年が経過したが、筆者らは広島地域の地震防災に携わる研究者・技術者として、被害調査とその分析を進め、次のような知見を得たので報告する。i) スラブ内地震であることが地震動に短周期成分が多い原因となった可能性が考えられ、その地震動の特徴を反映して、ii) 被害はデルタを中心とする軟弱地盤上よりも周辺丘陵地の住家被害が目立った。iii) 液状化の発生が懸念されていた沖積低平地での噴砂現象が少なかった。iv) 想定していた地震動特性と異なる特徴が認められ、これが結果的に想定とは異なる被害の分布パターンとなった。v) 今後の行政・住民対応の課題が確認された。

1. はじめに

2001年芸予地震の発生から1年が経過し、これまでに国、地方自治体、学会、各研究機関およびライフライン事業者等から被害調査結果が報告されてきた。また、筆者の一人は土木学会の芸予地震被害調査団のメンバーとして活動したが、その後広島地域の地震防災に携わる研究者とともに被害調査とその分析を進め、次のような知見を得た。i) 広島地域周辺の地震活動のうち安芸灘・伊予灘海域において繰り返し発生しているフィリピン海プレート内部で発生したスラブ内地震であり、このことが地震動の周期特性に短周期成分が多いという特徴をもたらした原因となった可能性がある。しかし、このタイプの地震と地震動の研究は少なく、今後の解明が必要である。ii) 短周期成分が多い地震動の特徴を反映し、被害はデルタを中心とする軟弱地盤上よりも周辺丘陵地の住家被害が目立った。iii) 液状化の発生が懸念されていた沖積低平地での噴砂現象が少なかった理由として、短周期成分が多い地震動であった点と地震発生時が干潮であった点などが指摘されており、地震動の周期特性や継続時間などを勘案した更なる検討が必要である。iv) 筆者らは、この地震が起こる以前から広島地域を対象とした地震被害想定調査¹⁾およびリアルタイム地震被害推定システムの構築に参画し²⁾、芸予地震に対する事前被害想定と即時被害推定を実施していた。実際に発生した地震の規模は気象庁マグニチュード $M_j=6.7$ と、想定していた $M_j=7.1/4$ に対し、地震によって放出されるエネルギーに換算すると $1/7$ 程度の小さい規模であったが、震源位置、震源深さなどの断層の諸元は想定とほぼ一致していた。したがって、この地震による地震観測記録や実被害に対して事前想定や観測記録を用いた即時推定と比較するこ

とによってそれぞれの問題点を抽出し、今後の課題として別途取りまとめた³⁾。このような検討は、地域防災計画等で地震防災事前対策の基礎資料となる被害想定の方法および、事後の「情報空白」をなくすための即時被害推定の精度向上につながると考えられる。v) 地震発生後の行政および住民の災害対応についてアンケート等³⁾によって調査された結果をもとにその課題について検討した。

ここでは以上の点を中心に、この地震の特徴と今後の地震防災上の課題を取りまとめた。

2. 地震の特徴

(1) 広島地域の地震活動

広島地域に影響を及ぼすと考えられる地震は、表-1に示すように海溝型の地震と内陸活断層型の地震に大別でき、海溝型の地震はさらにプレート境界型の地震とプレート内部で発生するスラブ内地震に分けられる。

表-1 広島地域に影響を及ぼす地震

分類	震源域
海溝型	プレート境界型：南海トラフ
	スラブ内地震：安芸灘-伊予灘
内陸活断層型	己斐断層、五日市断層、小方-小瀬断層、中央構造線、岩国断層

プレート境界型の地震の代表的なものは南海トラフで起こる再来頻度が高く地震規模もM8クラスの巨大なものであるが、震央距離が長いこと広島地域への影響は大きくない。2001年芸予地震は、スラブ内地震に分類され、安

芸灘・伊予灘周辺で発生する M=7 クラスの地震である。この地震のマグニチュードは南海トラフで発生する地震ほど大きくないものの震央距離が短いために広島地域への影響は大きい。過去にも、表-2 に示すように 1649 年、1686 年、1857 年、1905 年に M=7 クラスの地震被害が発生したことが記録⁴⁾に残されており、再来頻度も比較的高い。

表-2 安芸灘・伊予灘周辺で起った過去の地震

発生日月	M	主な被害
1649.3.17	7.0	侍屋敷、町屋の破損
1686.1.4	7.2	広島県西部で被害大
1857.10.12	7 1/4	家屋の損傷や死者有
1905.6.2	7 1/4	全壊家屋 36, 半壊家屋 20, 死者 4, 負傷者 70

一方、広島市域に影響すると考えられる内陸活断層型の地震を引き起こす断層は、表-1 に示すものが挙げられる。このうち 1996 年に広島市が実施した活断層調査結果によれば⁵⁾、己斐断層は約 1000 年前頃に活動した痕跡が残されていることから、再来頻度は低いものの潜在的な危険性を持っているものと判断されている。

(2) スラブ内地震

安芸灘・伊予灘周辺の地震は、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う引張力によってプレート内部で発生するスラブ内地震であり、断層ずれタイプは正断層地震としてこれまで発生しており、今回の地震もこのタイプである。このことは、東京大学地震研究所広島地震観測所によって観測された過去の地震活動から、沈み込むフィリピン海プレートに起因する地震（深さ 25km 以深）の震源分布と今回の芸予地震の震源位置を示した図-1⁶⁾より確認できる。

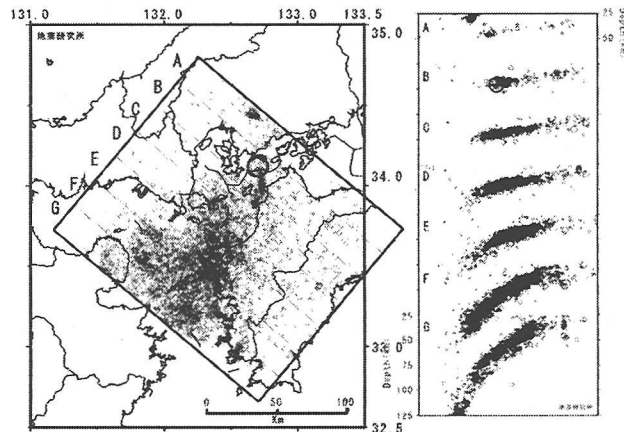


図-1 深さ 25km 以深の震源分布と今回の芸予地震の震源位置（図中の○印）⁶⁾

これまでに発生したスラブ内地震の代表例としては、1983 年釧路沖地震 ($M_j=7.8$)、1994 年北海道東方沖地震 ($M_j=8.2$) がある。これらのスラブ内地震は、震源の応力降下量（地震発生前後における断層面上のせん断応力の差）が高い傾向にあり、同規模のプレート境界地震等と比べ地震動の加速度振幅が増大することが芝ら⁷⁾により報告されている。表-3 には芝ら⁷⁾によりまとめられた既往の主な地震の推定応力降下量を示す。表-3 からスラブ

内地震の応力降下量がプレート間地震や内陸活断層地震よりも高く、今回の芸予地震も同様の傾向を示すことがわかる。なお、スラブ内地震の場合に、なぜ応力降下量が高くなるかは明確にはわかっていないようであり、更なる解明が望まれている。

表-3 主な地震の推定応力降下量⁷⁾

地震名	M_j	推定応力降下量	震源分類
1968 年十勝沖	7.9	3.2MPa	プレート間
1978 年宮城県沖	7.4	6.4MPa	プレート間
1984 年長野県西部	6.8	3.2MPa	内陸地震
1993 年釧路沖	7.8	42MPa	スラブ内
1994 年北海道東方沖	8.2	11MPa	スラブ内
1995 年兵庫県南部	7.3	8MPa	内陸地震
2000 年鳥取県西部	7.3	8.5MPa	内陸地震
2001 年芸予	6.7	13MPa	スラブ内

3. 地震動特性

(1) 広島県内の震度分布

広島県内には、気象庁直轄の 11 点、消防庁の協力により広島県の設置した 83 点⁸⁾および広島市の設置した 8 点⁹⁾の震度観測点がある。さらに、防災科学技術研究所の 32 点(K-net, Kik-net)の強震計記録から震度相当値が参照できる¹⁰⁾。図-2 に震度分布を示すが、防災科学技術研究所の観測記録を含めた震度 6 弱を記録した 6 町を囲むように震度 5 強のコンターが分布している。この震度 5 強の強い揺れの範囲は、震源に近い島嶼部から呉市をとおり太田川流域の広島市付近と沼田川流域の三原市付近を中心とした地域となった。

なお、広島県¹¹⁾と広島市¹⁾の地震被害想定調査では、図-2 に示す位置に想定芸予地震断層を設定していた。

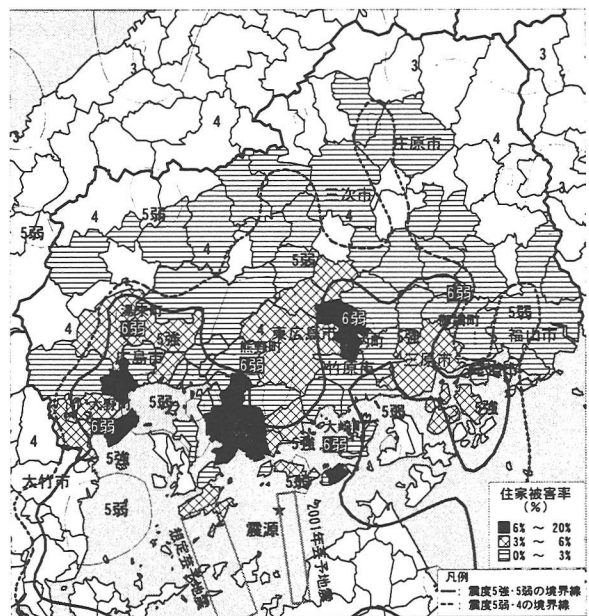


図-2 広島県内の震度分布と住家被害分布

(2) 加速度分布

防災科学技術研究所による強震観測網のうち Kik-net に

よる岩盤内の地中最大加速度のEW成分の分布を図-3に示す。これは地震断層より南東側の愛媛県寄りにコンターの中心を持つほぼ同心円状の分布を示す。一方、K-net, Kik-net と広島県震度情報ネットワークシステムの観測点における地表最大加速度のEW成分の分布を図-4に示す。地表最大加速度の分布は各観測点の表層地盤と地形の影響を強く受け、図-3に示した地中最大加速度分布のように単純な同心円状の分布とはならない。加速度コンターの中心は下蒲刈町、海田町（熊野町）、大崎町、河内町および湯来町の5箇所にあり、800~1000Galの大きな加速度となっている。

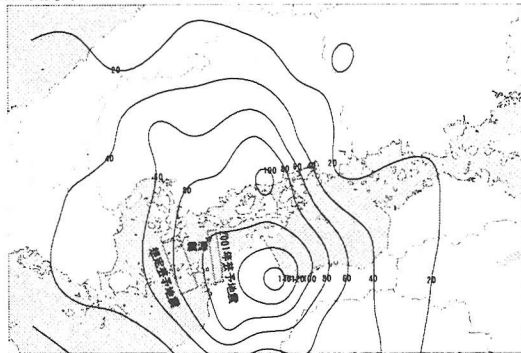


図-3 地中最大加速度分布(EW成分)



図-4 地表最大加速度分布(EW成分)

地表水平2成分の合成最大加速度の距離減衰特性を震源距離に対して整理し、これを福島・田中による気象庁マグニチュード M_j とモーメントマグニチュード M_w に対する距離減衰式¹²⁾とともに図-5に示す。震源距離100km付近より近距離で実測値は福島・田中の提案式より大きい。これは今回の地震がスラブ内地震であり短周期成分が卓越するため加速度振幅が増大し、プレート間地震や内陸地震のデータを主に用いて作成された提案式より大きくなったものと考えられる。

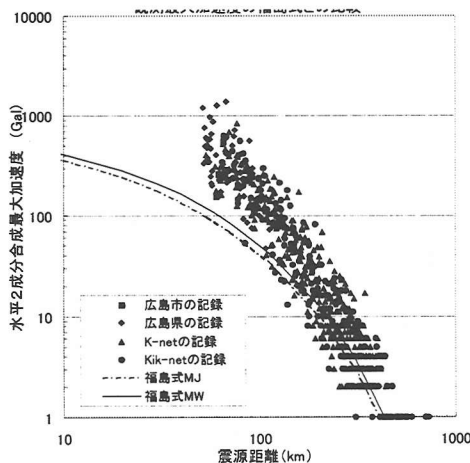


図-5 最大加速度の距離減衰特性

図-6に示すように、広島市内の観測点は広島市⁹⁾と広島県⁸⁾が市内各区に一つずつ計16地点に配置しており、さらに防災科学技術研究所が2地点¹⁰⁾、湾技術研究所1地点¹³⁾の計19地点に配置している。なお、中区の観測点No.9は鉛直アレー観測である。また、臨海部のNo.9, 16, 18の3観測点では間隙水圧計が埋設されている。

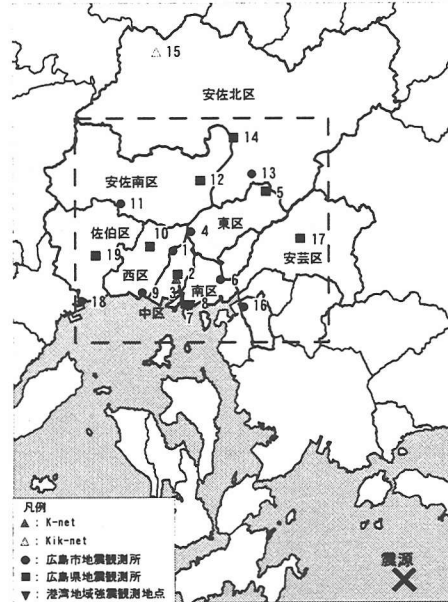


図-6 広島市内の観測点位置

広島市では地震時に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²⁾(以後、システムと呼ぶ)を運用している。本システムでは、8カ所の観測記録をもとに市内全域の地震動を推定し、図-7に示すような即時被害推定を行っている。地表観測記録から一次推定では応答倍率によって、二次推定では応答計算によって工学的基盤地震動を求め、これを市内全域に対して空間補間処理し、応答倍率を用いて地表の応答を求めている。

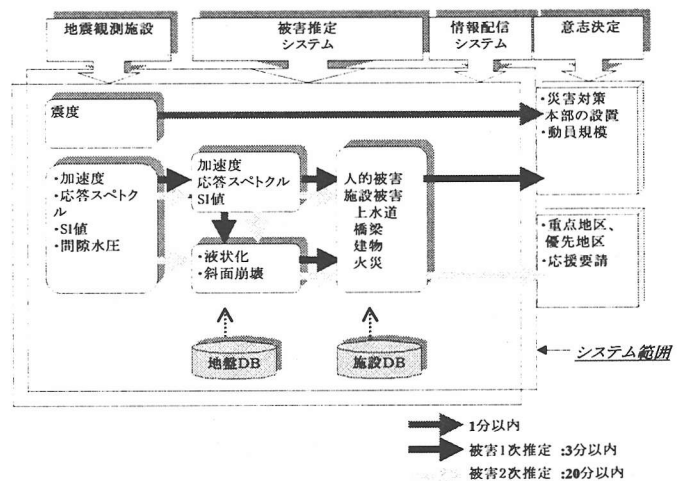


図-7 広島市地震情報ネットワークシステム

図-8, 9に二次推定による工学的基盤面と地表面の最大加速度分布を示す。図-8中の数字は広島市設置の8カ所の観測点における地表波形から応答計算により求めた工学的基盤面での入射波の推定値を示す。観測点であるNo.9からNo.13に向かって工学的基盤面での推定値が大きいため、空間補間後にNo.13付近で300Galを超える領域が分布する推定となった。

一方、図-9中の数字は市内19カ所の観測点における地表推定値と括弧内に観測値を示す。No.4、No.12、No.14の観測点を含む領域で400Galを超えた分布を推定しており、観測値との整合が見られる。同図には、18カ所の観測点における地表観測記録から直接空間補間により求めた加速度コンターを併記するが、推定分布と比較的整合している。

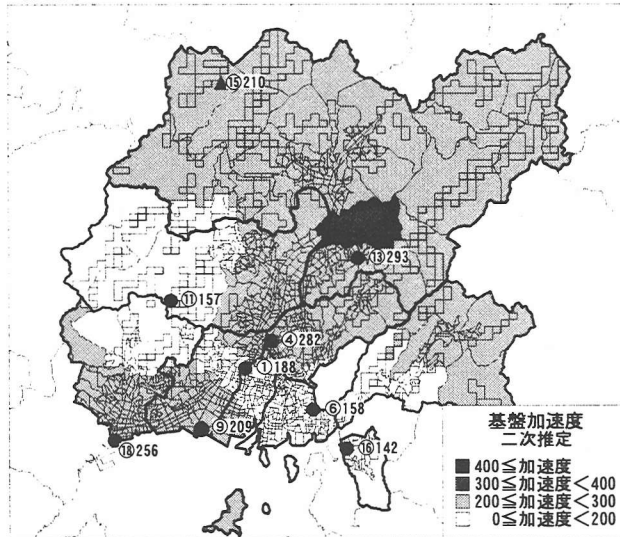


図-8 広島市内の地中最大加速度分布

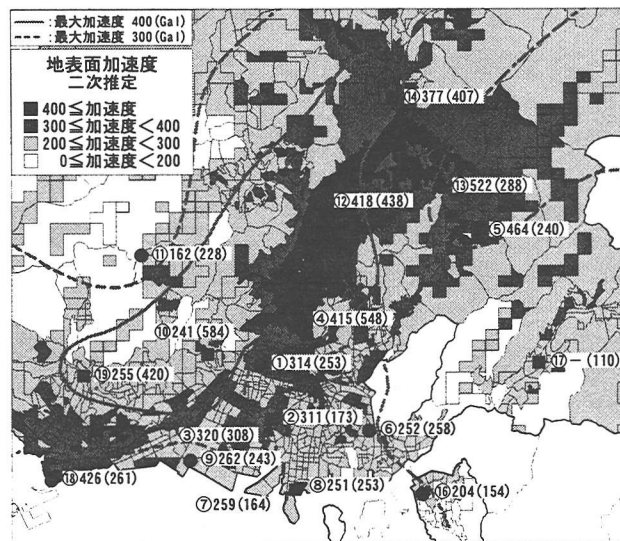


図-9 広島市内の地表最大加速度分布

4. 被害の特徴

(1) 地盤被害

a) 被害の概要

土木学会の芸予地震被害調査報告¹⁴⁾では、道路斜面、宅地斜面、ため池堤体、液状化および宅地擁壁について紹介している。ここでは、液状化について広島市で観測された間隙水圧データをもとにシステムで採用している液状化判定法について検討を加えた結果¹⁵⁾を報告する。

b) 液状化被害

No.9, 16, 18の3観測地点では加速度観測のほかに沖積砂層での間隙水圧計測を目的とする間隙水圧計を埋設している。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

あるため、地盤の液状化が懸念されていた。今回の地震で観測された過剰間隙水圧の時刻歴を図-10に示す。この記録から表-5に示す過剰間隙水圧比 Lu で0.17~0.31の上昇量となり、完全液状化までには至らなかった。また、市内で確認された噴砂地点¹⁶⁾は図-11に示す位置であり、比較的新しい埋立地に限定され、液状化に伴う建物や護岸、埋設管等の顕著な構造物被害は少なかった、

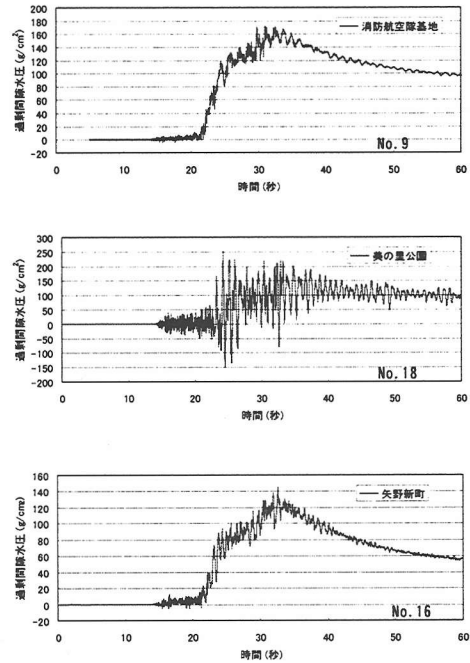


図-10 過剰間隙水圧の時刻歴

c) 液状化判定法

液状化判定法は、道路橋示方書・同解説に示される F_L 値による方法を基本とし、広島市の地盤モデルと想定地震動の加速度レベルに応じた地中せん断応力の分布タイプを前もって準備しておく方法¹⁷⁾とした。

$$F_L = R/L \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F_L ：液状化抵抗率、1.0以下の土層は液状化する。 R ：動的せん断強度比（ N 値・粒度から示方書により求める。） L ：動的せん断応力比、次式より求める。

$$L = (r_d \cdot \alpha_{max} \cdot \sigma_v) / (g \cdot \sigma_v') \dots\dots (2)$$

ただし、 α_{max} は地表面最大加速度、 g は重力加速度、 r_d は深さ方向の低減係数、 σ_v は上載圧、 σ_v' は有効上載圧である。

ここで、道路橋示方書ではどのような地盤でも深さ方向の低減係数 r_d を $r_d = 1 - 0.015Z$ （ Z は深さm）から求めることとしている。このため、地盤の層序構成や地震動レベルによっては計算される動的せん断応力比は実際に生じているものとは異なり、地表面最大加速度が大きい場合にはその差がさらに大きくなる可能性がある。そこで本手法では1905年芸予地震級のモデル地震波形を用い、広島市域の地盤モデルに対して入力加速度レベル50~400galに調整して入力した場合の地表面加速度と地中各深度の最大せん断応力比を応答計算によって求め、式(3)により各被害推定地点における加速度レベルごとの低減係数 r_d のテーブルを準備した。

$$r_d = (\tau_{max} \cdot g) / (\alpha_{max} \cdot \sigma_v) \dots\dots\dots (3)$$

d) 観測点位置での液状化判定

広島市が設置した市内 8 カ所の観測点のうち、システムにおいて液状化判定を行っている 5 カ所について、地表観測最大加速度をもとに液状化判定を行ない、システムで用いた判定法¹⁷⁾(改良法と呼ぶ)の妥当性を検証した。地震時の地中せん断応力分布の評価方法は、改良法と道路橋示方書の方法の両手法を用いて比較した。また、地下水位はボーリング時の孔内水位を用いるが、観測点 No.9 では地震 2 日前に地下水位測定が行なわれており、地下水位が最も低下した場合として GL-1.0m についても計算した。表-4 に示す PL 値の比較から、道路橋の方法では、No.16 を除く 4 地点で液状化危険度が高い ($5 < PL \leq 15$) と予測されるが、改良法では 5 地点とも液状化の可能性が低い ($PL \leq 5$) と判定され、実被害との対応が良い。

間隙水圧計が設置されている 3 カ所について、間隙水圧計設置深度での FL 値および過剰間隙水圧比(Lu)の計算値を実測値と比較し表-5 に示す。道路橋の方法による Lu の計算結果は観測値に比べ過大評価となっており、改良法の方が観測値との対応が良い。ただし、No.9 については、改良法によっても観測値を過大に評価している。

表-4 各観測点の PL 値の計算結果

観測点	地下水位 (GLm)	観測最大加速度 (cm/s ²)	PL 値	
			道路橋の方法	改良法
No.1	2.7	253	7.95	0.00
No.6	4.2	258	6.41	0.58
No.9	0.6	243	7.85	2.85
" (観測水位)	1.0	"	6.09	1.71
No.18	1.1	261	7.67	2.76
No.16	3.5	154	0.77	0.00

表-5 間隙水圧計設置位置の FL 値と Lu 値

観測点	FL 値 ()内は Lu 推定値		Lu 観測値
	道路橋法	改良法	
No.9	0.674 (1.00)	1.014 (0.91)	0.29
" (観測水位)	0.708 (1.00)	1.065 (0.64)	"
No.18	1.066 (0.64)	1.145 (0.39)	0.31
No.16	1.170 (0.33)	1.394 (0.10)	0.17

PL 値の推定結果を図-11 に示す。液状化危険度がかなり高い ($15 < PL \leq 30$) と推定された箇所は、西区南部の草津漁港周辺と、JR 広島駅を中心とする南区北部と東区南部の大きく 2 箇所分布し、その周囲には液状化危険度が高い ($5 < PL \leq 15$) 箇所が広がっている。その他の大部分は、液状化危険度が低い ($PL \leq 5$) と推定される。液状化危険度がきわめて高い ($30 < PL$) 箇所は草津漁港周辺の 2 箇所の地盤タイプで推定される。液状化危険度がきわめて高い、あるいはかなり高いと推定される箇所は、特に地表面加速度が大きいと推定されているわけではなく、当該箇所の液状化対象層である U_m 、 U_s 層が厚くかつ N 値が 5 程度と緩いことが、液状化危険度を高いと推定した原因であった。

(2) 物的被害

a) 被害の概要

土木学会の被害調査報告¹⁴⁾では、港湾、道路・橋梁、ライフラインについて紹介されているが、ここでは物的

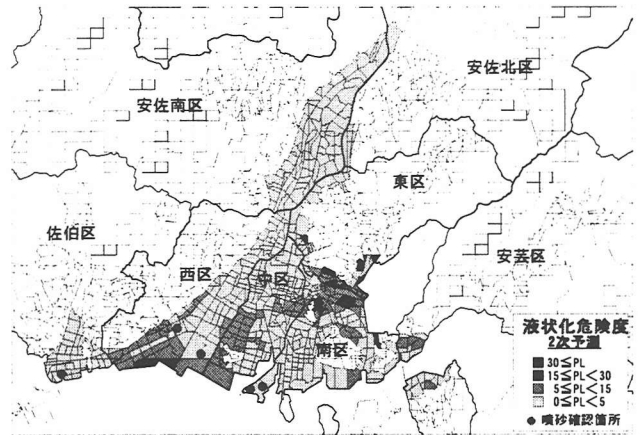


図-11 広島市内の液状化危険度分布

被害として最も顕著であった住家の一部損壊被害に着目し、地震動特性と地盤特性との関係について報告する。

b) 広島県内の住家被害

広島県¹⁸⁾がまとめた市町村毎の住家被害集計から求めた被害率の分布を図-2 に示す。なお、広島市¹⁹⁾については市内各区毎に集計されたものを用いた。また、被害率は全壊、半壊、一部損壊を加算した被害棟数と住家総棟数(木造+非木造)¹¹⁾との比率とした。ほとんどの市町村は一部損壊のみであり、全半壊を含めて呉市の被害が突出している。被害率で見ると震度 6 弱の熊野町、河内町が 6%以上であるが、震源に近い震度 5 強の芸南地方(呉市、豊町)も同様に被害率が高い。また、被害率が 3%以上の市町村はほぼ震度 5 強のコンターライン内に位置する。

図-12,13 には 3 成分合成最大加速度と被害率、SI 値と被害率の関係を示す。SI 値は、減衰定数 20%の速度応答スペクトルの固有周期が 0.1~2.5 秒の区間における平均値であり、被害との相関は最大加速度より高い傾向にある。

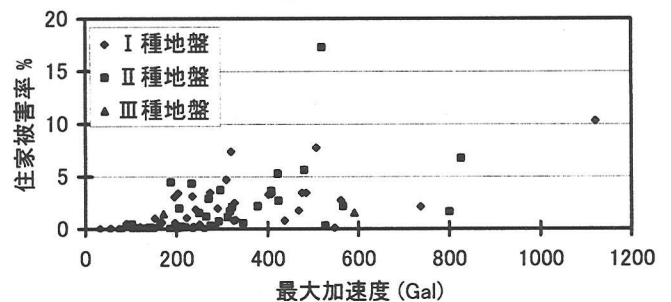


図-12 最大加速度と住家被害率の関係

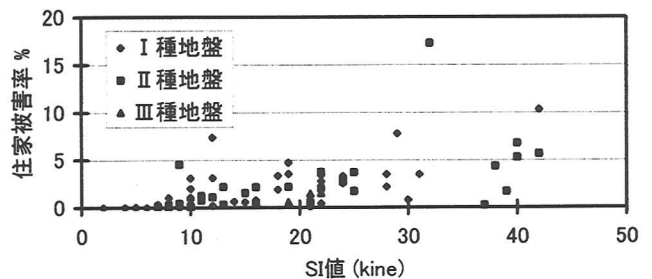


図-13 SI 値と住家被害率の関係

図-12, 13 には観測点の地盤種別による分類を行っている。ここで、微地形区分と地盤種別の対応は表-6 のように考えた。

表-6 微地形区分と地盤種別の対応

I種地盤	II種地盤	III種地盤
山地、山麓地、丘陵地、台地	扇状地、三角州	埋立地、干拓地、干潟

図-12, 13 より、各地震動指標に対する住家の被害率は I 種, II 種, III 種の順に大きい傾向がみられる。一般に被害の多いとされる軟弱地盤の III 種地盤については、県内の観測点が少ないため明確ではないが被害率は低い傾向にある。これは、i) 住家被害の多くが慣性力による屋根瓦の落下等の一部損壊である、ii) 芸予地震は短周期成分が卓越するため比較的良好な地盤での加速度が大きいことが原因と考える。

c) 広島市内の住家被害

広島市内の建物棟数は、木造建物が約 23 万棟、非木造建物が約 9 万棟で³⁾、木造と非木造建物の棟数を各区毎に集計した結果を図-14 に示す。このうち、住家の一部損壊被害(壁のひび割れ、瓦の落下等)は、図-15 に示すように市内 8 区のうち、西区、安佐南区、佐伯区において 1,000 棟を超えて多く発生している。

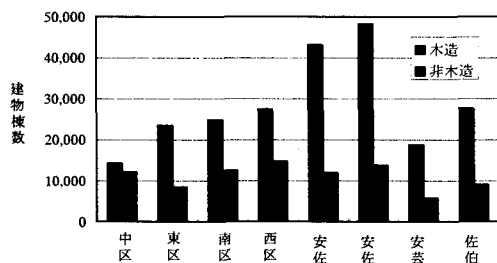


図-14 広島市内の建物棟数

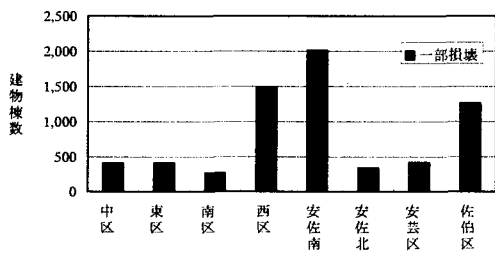


図-15 住家の一部損壊被害棟数

広島市内の地盤特性については、地震時被害推定のための地盤モデルを地形区分と市内デルタ部を中心に約 6,500 本のボーリングデータを用いて、合計 126 タイプに区分したものを²⁰⁾を用いた。この地盤モデルは、市内の町丁目をさらに細分化した基本地区(1,739 地区)毎に設置されている。一方、住家の被害データは町丁目毎に集計されており、ここではさらに細分化された基本地区に割り振るために、町丁目内の面積比によって変換した。

図-16 には、基本地区の地盤モデルから算定した卓越周期³⁾と被害率の関係を示した。なお、被害率は町丁目毎の半壊、一部損壊を加算した被害棟数と木造建物総棟数との比率とした。被害率が 10% を超える地盤は主に卓越周期が 0.6 秒以下の I 種・II 種地盤上となっており、軟弱な III 種地盤上での被害が少ないことがわかる。なお、同図には凡例に示すように、地形区分として山地・山麓

斜面、人工改変地(埋立地、干拓地を除く)および低地の 3 種類に分類した被害率の分布を示す。人工改変地において卓越周期が 0.3 秒および 0.4 秒付近にある地盤(盛土厚 4~16m)における被害が多い。なお、後述するように低地部における被害率が 10% を超える地区は図-22 に示すように佐伯区の臨海部に集中している。

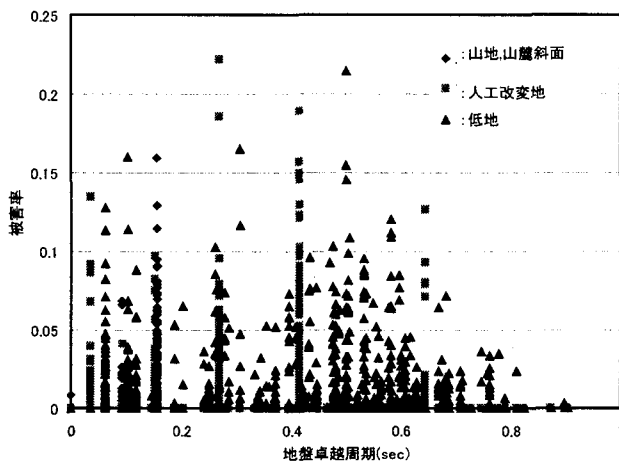


図-16 地盤卓越周期と住家被害率

図-17 には、広島市⁹⁾と広島県⁸⁾が各区に一箇所ずつ設置している計 16 箇所の最大加速度水平 2 成分の合成値と観測点の被害率の関係を示した。また、図-18 には SI 値と被害率との関係を示した。数が少ないため相関性の議論はできないが、被害率 10% を超えた観測点はなく 5% を超える観測点は I 種・II 種地盤上に限られる。

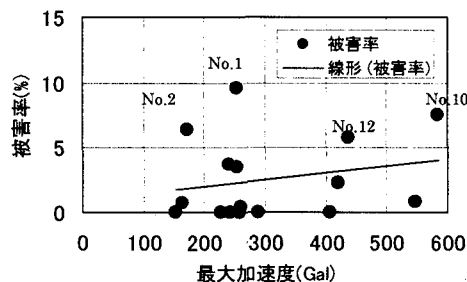


図-17 最大加速度と被害率

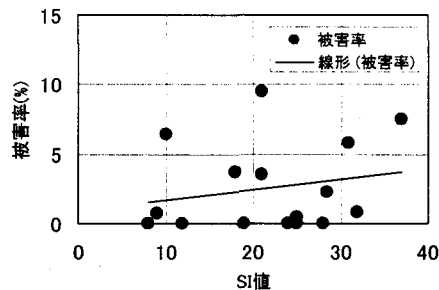


図-18 SI 値と被害率

図-17 に示すように今回の地震で最も大きな加速度を記録した観測点 No.10 の NS 成分の加速度波形⁸⁾を図-19 に、3 成分のフーリエスペクトルを図-20 に示した。200Gal 程度の主要動が 10 秒程度続いており、2.5Hz 付近(0.4 秒)に卓越した成分が確認できる。この観測点は、図-21 に示す西区の K 住宅団地の中にあり、図-16 に示した地盤卓越周期 0.4 秒付近の人工改変地に相当し、被害の多い地区の観測記録である。

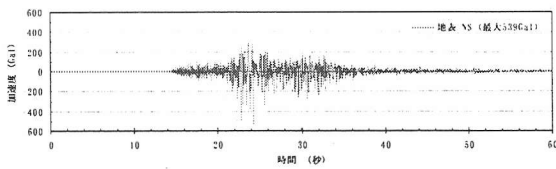


図-19 No. 10 の加速度波形 (NS 成分)⁵⁾

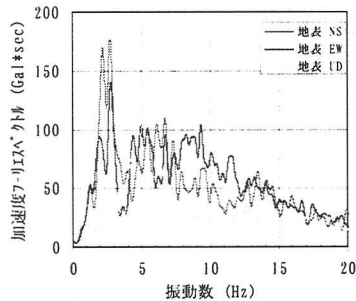


図-20 加速度フーリエスペクトル⁵⁾



図-21 住宅団地の屋根瓦被害分布

図-21 には、K 住宅団地の屋根瓦被害のあった住宅を現地調査してプロットするとともに、切盛造成による盛土地盤部を示した。被害のあった住宅は、明らかに盛土地盤上もしくは切盛境界に位置しており、盛土地盤による 0.3 秒～0.4 秒付近の地震動成分の増幅が原因と考えられる。

d) 住家の被害推定分布

図-16 に示した基本地区毎の実被害率（半壊＋一部損壊）の分布を図-22 に、システムによる木造建物の被害率（全壊＋半壊）の推定分布を図-23 に示す。

システムによる建物被害推定は、振動（慣性力）による被害と、液状化による被害を対象としており、前者は地表面加速度応答スペクトルと建物の保有耐力から、後者は液状化指数 PL 値からその被害を推定する。建物被害を推定する上で重要となる被害関数は、広島市大規模地震被害想定調査¹⁾等を参考に設定した。この推定分布は（全壊＋半壊）を対象としており、実被害率が主に一部損壊であることからここでの比較は定性的な比較となる。

5%以上の被害率に着目すると、実被害分布は佐伯区南部、西区北部東部、中区北部および安佐南区北部に多く分布し、佐伯区を除くと内陸部の被害が多い。一方、推定分布は、佐伯区南部、西区南部、中区南部、南区北部および東区南部で被害を多く推定しており、市内全体で見ると南部に集中している。これらの地区のうち、佐伯区南部を除く地区では液状化によって被害が発生する推定結果となっており、その他は慣性力（揺れ）によって被害が推定されている。今回の地震では液状化による顕著な建物被害は少なく、液状化による被害推定結果は明らかに過大評価である。また、揺れによる被害推定については、佐伯区南部で実被害との整合が認められるが、西区北部と安佐南区北部の住宅団地および西区東部と中区北部の三角州の要付近では過少評価している。これらの地区の被害箇所は、人工改変地の盛土層厚 4～16m の地区および低地部でも沖積砂層が厚く沖積粘土が確認できない地区で、いずれの地区も卓越周期が 0.3 秒～0.4 秒付近にある地盤条件において被害が目立つようである。このように、想定地震動に比べ地震動の短周期成分が卓越したために推定被害と異なる分布パターンとなった。

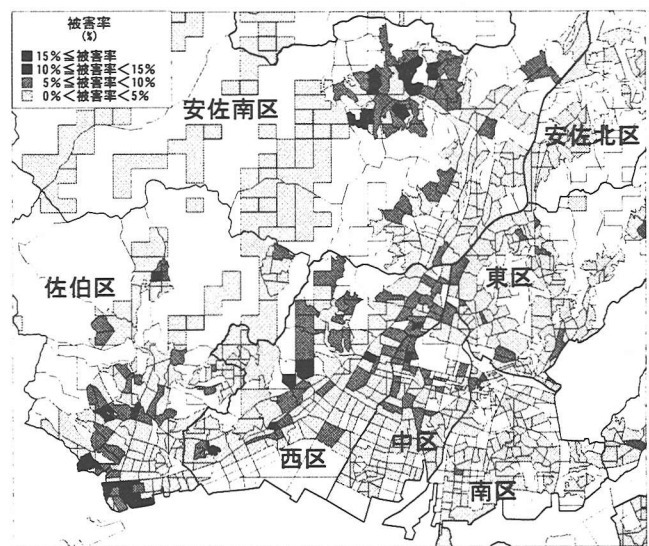


図-22 住家の一部損壊の実被害分布

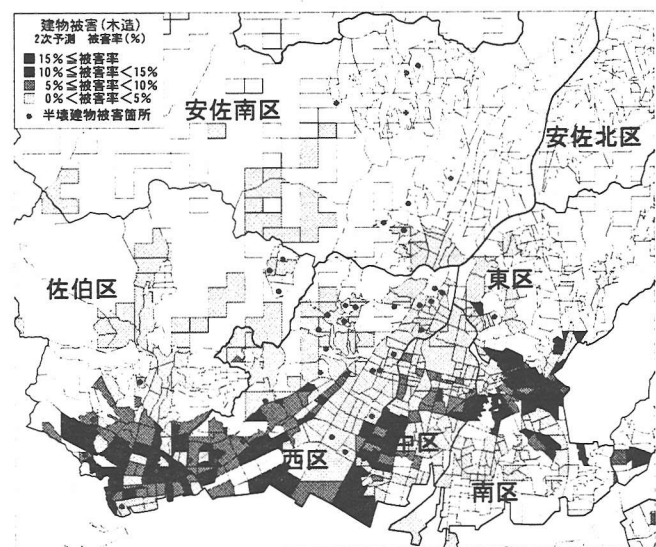


図-23 木造建物の被害推定分布

(3) 人的被害

この地震による人的被害は死者2名、負傷者289名となったが、広島市内では図-24に示すように死者はなく重傷者10名、軽傷者18名であった。同図にはシステムによる(死者+重傷者)の推定分布を示すが、これは主に木造建物の全壊棟数と非木造建物の大破棟数の被害関数である太田らの経験式²¹⁾を用いて推定したものである。実被害分布、推定分布ともに、佐伯区の南部と中区、西区の一部で被害がみられ、木造建物の揺れによる被害が多く推定された地区と対応している。

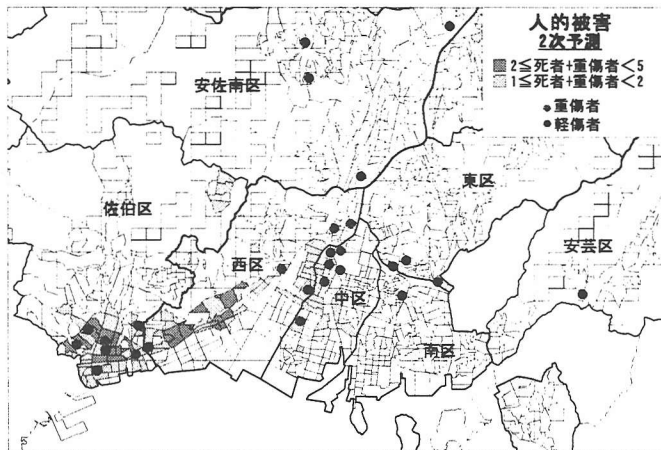


図-24 人的被害分布

5. 地震発生後の行政・住民対応

(1) 行政対応³⁾

初動期におけるシステムの被害推定情報の活用については、実被害情報が早期に入り、活用度が低い状況であった。しかし、兵庫県南部地震のように夜間に発生した地震や、ライフライン障害により実被害情報が入らない場合には、本システムが唯一の情報源となって重要な役割を果たす。今回の地震の場合には昼間でライフライン障害もなく、早期に実被害情報が収集できた。

ただし、市内の各消防署では、署内に設置されている広島県設置の震度計記録の表示盤により震度情報を確認した後、本システムの震度情報、1次被害推定情報および2次被害推定情報を確認し、初動体制の支援情報として本システムを活用した。

(2) 住民対応³⁾

市消防局が地震後に行ったアンケート調査³⁾によれば、「地震発生の可能性がある」という情報を得ていた人は71.0%を数えるが、実際に「大きな地震がくる」と思っていた人は38.6%にすぎず、「家具の転落・落下の防止」などの実際の行動をしていた人となると18.4%まで低下する。今回の地震で「怖さ」を身にしみて体験し備えを固めた人も多いが、一方では「あの程度のものか」とか、「しばらくは(つぎの周期まで)大丈夫」とタカを括っている人も多いようである。今回の地震で震源域の蓄積エネルギーが完全に解放されていない可能性があり、いましばらくの推移を見守る必要があると考えられる。

6. まとめ

2001年芸予地震の被害分析を行い、地震の特徴と今後の課題を確認した。今後の課題をまとめると、i) スラブ内地震による地震動の特徴を解明する。ii) 地震動特性は表層地盤特性と地形特性に強く影響されるためより一層地域性を明らかにする。iii) 液状化判定の精度向上のために地震動の周期特性や継続時間などの更なる検討を行う。iv) 今後ともデータの蓄積を進め、想定地震動と被害関数の精度の向上を図る。

本報告にあたり、ご討議頂いた広島市地震情報ネットワークシステム検討委員会の各委員、広島市消防局ならびに作業に協力頂いた中電技術コンサルタント(株)の片山吉史氏、岸田健太郎氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 広島市消防局：広島市大規模地震被害想定調査報告書，1998.
- 2) Y.Sasaki,K.Fujiwara,F.Miura,H.Konishi,S.Furukawa : Development of the seismic disaster information system for HIROSHIMA CITY, 12WCCE 2000
- 3) 広島市消防局：平成13年芸予地震と広島市地震情報ネットワークシステム地震の概要と被害の分析ならびにシステムの検証-2001.7
- 4) 宇佐美龍夫(1987)：新編日本被害地震総覧,東京大学出版会
- 5) 広島市消防局(1996)：己斐断層他箇所活断層調査報告書
- 6) 東京大学地震研究所広島地震観測所：平成13年芸予地震(過去の地震活動の分布), 2001.6.27, <http://www.eri-tokyo.ac.jp/HSO/>
- 7) 電力中央研究所：平成13年芸予地震調査速報，電力中央研究所報告,U01003,2001
- 8) 広島県：広島県震度情報ネットワークシステム,平成9年
- 9) 広島市：広島市地震情報ネットワークシステム，平成11年，<http://www.shobou.city.hiroshima.jp/>
- 10) 独立行政法人防災科学技術研究所：K-net,Kik-net.
- 11) 広島県：広島県地震被害想定調査報告書，1997.
- 12) 福島美光：地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測，ORI研究報告93.7
- 13) 国土交通省港湾技術研究所：港湾地域強震観測網.
- 14) 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，JSCE,Vol.86,pp.75-78,2001
- 15) 片山吉史,佐々木康,三浦孝治,古川智：広島市地震情報ネットワークシステムによる芸予地震の液状化被害推定について,第37回地盤工学研究発表会投稿中
- 16) 地盤工学会中国支部土質セミナー(広島地域)：平成13年芸予地震の地震動と広島県内の地盤被害,土質セミナー報告会,2001.8
- 17) 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,土木学会地震工学委員会,2000.5.
- 18) 広島県：平成13年(2001年)芸予地震による被害等の状況について，2001.5.8, <http://www.pref.hiroshima.jp>
- 19) 広島市：平成13年(2001年)芸予地震に関する情報，2001.5.31, <http://www.city.hiroshima.jp/shobou>
- 20) 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,第51回土木学会中国支部研究発表会講演概要集,1999.
- 21) 太田裕,後藤典俊,大橋ひとみ：地震時の死者発生数予測に関する実験式の一構成,地震第2輯,Vol.36,No.3,pp.463-466.1983