

2001年芸予地震の経験を踏まえた愛媛県地震被害想定結果の考察

Discussions on Seismic Damage Evaluation in Ehime Prefecture from the View Point of the Experience of the 2001 Geiyo Earthquake

森 伸一郎¹

Shinichiro MORI¹

¹ 愛媛大学 環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Ehime University

The purpose of this paper is to show the result of seismic damage evaluation in Ehime Prefecture subject to major influential earthquakes and to discuss it from the viewpoint of the experience of the 2001 Geiyo earthquake. Compared with the estimated loss in Ehime Prefecture in the result of the seismic damage evaluation in Japan by forthcoming Nankai earthquake, big difference is shown between the two and the importance of the fragility curve for wooden houses is illustrated in the overall evaluation on the seismic damage. Furthermore, the interpretation on the result of the seismic damage evaluation and the continuing education of it is encouraged.

Key Words: seismic damage evaluation, Geiyo earthquake, Nankai earthquake, fragility curve, seismic intensity

1. はじめに

愛媛県では、2000年度と2001年度に地震被害想定調査が実施され、2002年3月付けで調査結果が公表された^{1), 2)}。著者はこの調査に携わる機会を得た。この調査では、5つの地震がシナリオ地震として選定され、それらの想定地震に対して各種被害が算定された。本稿では、この調査の手法と結果について紹介する。また、調査中の2001年3月24日に平成の芸予地震が発生したので、この地震の経験を踏まえて地震動の推定方法と被害関数について考察する。一方、2002年12月には中央防災会議が想定南海地震の揺れ、津波と被害について想定結果を発表した。ここでは2つの想定結果について考察するとともに、地震被害想定のある方に触れる。

2. 愛媛県地震被害想定

(1) 背景と経緯

1995年(平成7年)の兵庫県南部地震以降、同年7月に中央防災会議において防災基本計画の抜本的な改訂が行われ、それに引き続き各都道府県の地域防災計画が行われた。1998年現在、全47の内44都道府県で地震被害想定が実施されていた(44済み、4実施中)³⁾が、長らく実施されていなかった3県の内、愛媛県においても、地震対策の見直しの前提となる基礎資料とすべく地震被害想定調査が2000年秋に開始され、2002年春に終了した。調査結果の報告書¹⁾は愛媛県のホームページで公開されている。

(2) 調査の方針

調査は2カ年度にわたって行われ、2000年度は陸域の断層による地震、2001年度は海域の断層による地震を対象にして検討するというのが事務局の方針であった。被害想定の対象とされた地震を表-1に示す。

ところで、1970年に地震予知連によって8つの特定観測地域が指定されたが、愛媛県に近いところでは、「伊予灘及び日向灘周辺」がある。1906年芸予地震の震源は指定された領域の北東隅に位置する。著者は、芸予地震を想定地震の一つとするように進言したが、より大きい地震の被害想定をしておくことで小さい地震の想定を省略できることを理由に、芸

表-1 被害想定の対象とされた地震

名称	略称	想定する地震断層	M
想定地震1	想定川上・小松断層	川上・小松断層が1つのセグメントとして活動する地震	7.6
想定地震2	想定石鎚・池田・三野断層地震	石鎚・池田・三野断層が1つのセグメントとして活動する地震	8.0
想定地震3	想定伊予断層地震	伊予断層の活動による地震	7.1
想定地震4	想定伊予灘海底断層地震	伊予灘海底断層が1つのセグメントとして活動する地震	7.8
想定地震5	想定安政南海地震	安政南海地震(1854)の再来 相田(1981)モデル	8.4

予地震を想定の対象に含めないという方針が確認された。

ハザード評価およびリスク評価は、国土3次メッシュを縦横にそれぞれ2等分した4次メッシュ(緯度15秒、経度22.5秒:約500m四方)を単位として行われた。

評価は、リスクが大きくなるように実施された。

(3) ハザードの評価

地震によるハザードは、地震による揺れ、地盤の液状化、津波であった。津波は、南海地震に対してのみ算定された。

(a) 地震による揺れ

地震による揺れは、工学的基盤上の最大加速度の評価と、その加速度でスケールされた地震動波形を用いた等価線形解析による地震応答解析の2段階で評価される。図-1に想定地震断層のセグメンテーションを示す。工学的基盤上の最大加速度は、起震断層セグメントの断層長さに基づき地震規模を評価し、福島・田中⁴⁾の距離減衰式によって評価される。

地震応答解析には、加速度時刻歴は、想定地震1~4には兵庫県南部地震における神戸ポートアイランド地中83mの観測記録のNS成分、想定地震5(想定南海地震)には1968年十勝沖地震における八戸の観測記録のNS成分が用いられた。

また、約500m四方のメッシュには1つの地盤モデルが割り当てられた。地盤モデルは地形・地質を7種に分け、それぞれに複数の層構成パターンとして実際のボーリング柱状図が割り当てられた。表-2に地形による表層地盤のパターン化を示す。主要な平野に相当する地形では、35の層構成パター

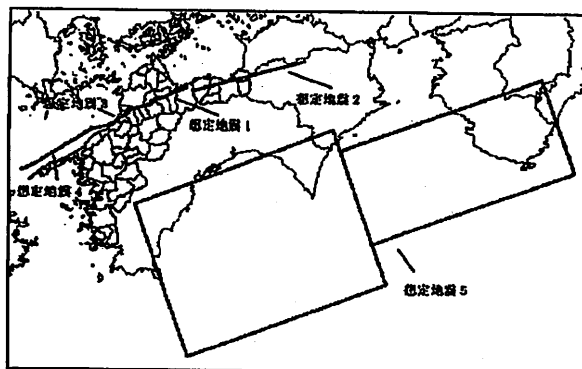


図-1 想定地震断層のセグメンテーション

ンで、基盤の深さは15～50mであり、平野中央部の100mを越えるような深い地盤の実状が反映されていない。

層構成は、平均5層から成っており、層厚は最小2m、最大31m、平均6mである。地震応答解析では、これらの層は計算上でもそのままの厚さで採用されており、地盤の非線形応答を表現するには物足りない。

図-2に想定地震1, 3, 5の場合の震度分布を示す。想定地震1（想定川上・小松断層地震）では断層セグメントに沿う松山平野（道後平野）の松山市や道前平野の今治市・西条市において震度6強が見られ、その周囲に震度6弱の地域が広がる。想定地震3では伊予断層に沿い震度6弱の地域があり、断層に接する松山平野では震度6強に達するが、それらの地域は限定的である。これらの地震に対して想定地震5（想定南海地震）では、震度6強に達するところはないが、県北部の山地を除き全域で震度5強に達し、全域にわたって平野部

表-2 地形による表層地盤のパターン化

地形・地質	層構成パターン	基盤深さ	地盤種別(道示)
埋立地	7	20～40m	4, 3
平野(主要)	35	15～50m	4, 3, 2
平野(山間)	5	5～10m	1
段丘	3	10～30m	2
扇状地	3	20～30m	2
崖錐	3	5～40m	1, 2
山地・丘陵地	5	0m	1
合計	61		

で震度6弱に達するなど、被害を引き起こす可能性のあるレベルの地震動が県全域で予想されるのが特徴である。中央防災会議による南海地震の際の震度分布（図-4に後掲）⁹は、多少の差異はあるものの、全域で震度5強であることや主要な平野部で震度6弱になることなど主な特徴は同じである。

(b) 地震による液状化

液状化については、層構成パターンとして採用した柱状図のN値をそのまま採用しているとのことであった。したがって、地盤の液状化の判定は、層構成のパターン割り当てに大きく依存していると考えられる。ハザード指標としては、液状化指数 P_L 値によって液状化面積率を設定している。

(c) 津波

津波は想定南海地震のみ対象にしており、波源域と初期水位については、安政南海地震の際の各地における津波痕跡高さと整合するように試行錯誤的に設定された。津波高さは、

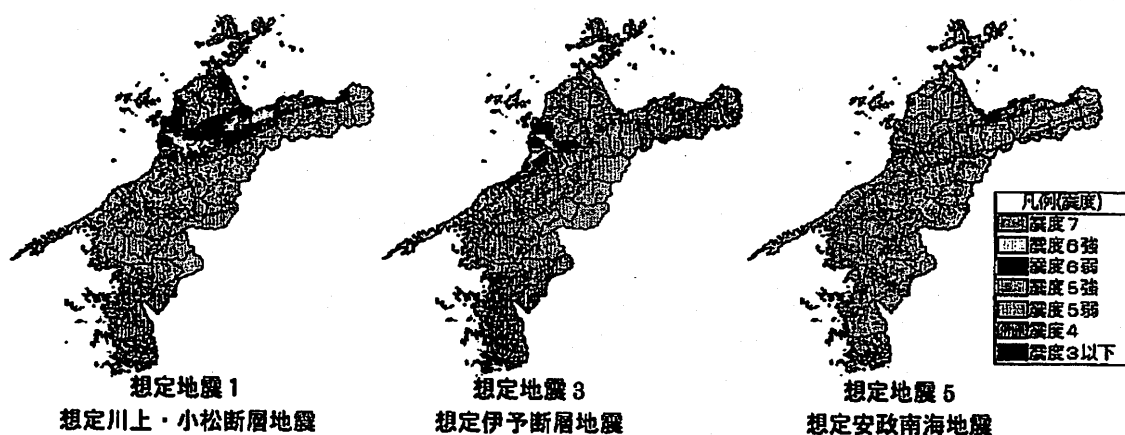


図-2 3つの想定地震における震度分布（ハザード評価の結果）

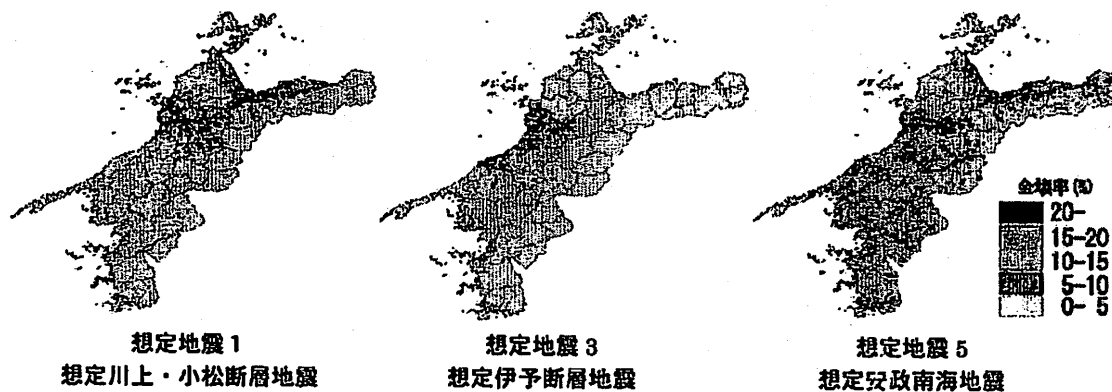


図-3 3つの想定地震における建物全壊率分布（リスク評価の結果）

城辺町で T.P.+5.9m, 西海町で T.P.+5.7m, 吉田町で T.P.+5.3m, 八幡浜市で T.P.+4.7m, 宇和島市で T.P.+4.0m などとなった。

(4) リスクの評価

各種の構造物被害や人的被害に関するリスクの評価は、入力に地震ハザードや液状化ハザードの指標が割り当てられる場合と、他のリスク指標が割り当てられる場合とがある。

構造物被害のうち、建物は Miyakoshi ら⁹⁾が兵庫県南部地震における神戸市の被害データから求めたとされる被害曲線 (fragility curves) を用いた。建物被害の評価に当たり、この調査の特徴として、各市町村から収集された固定資産税課税台帳のデータに基づいて、建物の地域特性をきめ細かく評価されており、地域地震防災に有用と期待される。

道路・鉄道の被害は、被害形態別に震度と被害率の関係が与えられている。港湾については、さらに液状化危険度が被害と関係付けられる。いわゆるライフラインは、基本的には震度または地表速度と被害率の関係が得られており、液状化指数 P_L 値による被害率も考慮入られている。しかし、塀の被害は、木造建物全壊率と塀の被害率の関係が用いられている。

一方、人的被害は、揺れによる死者は、1995 年兵庫県南部地震の際の芦屋市におけるデータに基づき、木造・非木造の建物の全壊率と死者率の関係から算定された。揺れ・津波・山崩れによる死傷者率は過去の建物被災率から求められた。

(5) 被害想定結果

表-3 に地震被害想定の結果を示す。全壊建物の数では、県全域にわたり震度 5 強以上となる想定南海地震で最も多く、約 76,000 棟と推定された。また、想定地震 1 では約 61,000 棟、想定地震 3 では約 28,000 棟と推定された。図-3 にそれぞれの地震の全壊率分布を示すが、想定南海地震では高い全壊率の地点が県内全域にわたり分布しているのに対して、他の 2 つの想定地震では平野部に高い全壊率の地点が集中している。震度と全壊率の分布状況の違いは建物の構造・年代の違いが反映されたためである。さらに、推定された死者数は、それぞれの地震で、想定地震 5,1,3 の順に約 3,000 人、約 2,700 人、約 1,200 人である。

県の被害想定結果が発表された 1 年後に中央防災会議(国)が想定南海地震の被害想定が発表された。表-4 に比較したものを示す。県の推定被害は国のそれに比べて違いは大きく 15 倍に及ぶ。中央防災会議による震度分布と比較して地震による揺れ(震度)の推定に大きな違いがないことから、被害規模の推定の差は主に被害曲線の違いによると考えられる。

3. 地震被害想定における問題点

(1) 建物の被害曲線の精度と重要性

リスク評価がハザード評価から直接なされているものとしてリスク評価の結果を別のリスク評価の入力として用いているものがある。建物の全壊率や被災率は、塀被害、火災、人的被害などの評価の入力となっている。したがって、建物の全壊率や被災率は被害想定全体を大きく作用するものであるとの認識をもつことが重要である。

被害曲線の多くは、累積正規関数で近似されているので、平均値と標準偏差という 2 つのパラメータだけで被害曲線が定義されるため、フィッティングを左右するデータ近傍(神戸の高被害率)では精度も期待できるが、そうでないところでは精度が保証できない。

図-4 に Miyakoshi らの木造住宅の被害率曲線と被害想定の結果を示す。1950 年以前の木造住宅の被害率曲線では地表速度が 30cm/s 程度で 5~10% に達する全壊率となる。図に、芸予地震の際に記録された各地の地表速度を矢印で示すが、被害率曲線から読みとられるような全壊率が数%のレベルにす

表-4 国、愛媛県、松山市の被害想定結果の比較

南海地震	全壊(棟)	死者(人)
愛媛県内(中央防災会議)	5000-6400	100-200
6弱のばらつき	6900-8300	
愛媛県内(愛媛県)	76000	3000
松山市内(愛媛県)	12000	610
松山市内(松山市)	5000	560

伊予断層地震	全壊	死者
松山市内(愛媛県)	16000	800
松山市内(松山市)	16000	1400

らなっていない。したがって、このような低い全壊率に対応する大きさの地震動に対しては過大評価になりうることに注意する必要がある。

(2) 異なる地震被害想定結果の解釈

中央防災会議の想定に用いられた被害曲線は、兵庫県南部地震における西宮市の全壊建物被害データを基にして設定されたもの⁷⁾であるが、最近の地震の被害データを参考にして特に震度 6 弱以下では低めに設定されているようである。いずれにせよ、いまだ十分な合理的な根拠と精度を持った被害曲線が開発されていないと考えられる。したがって、精度の高い被害曲線の開発やばらつきの評価を被害想定に取り入れることが重要であると考えられる。また、耐震性能を上げることが建物の全壊率、死傷者率の低下に直接的に結びつくこと、すなわち、既存不適格構造物に対する耐震改修が重要であることを強調することを繰り返していく必要がある。

国と地方自治体で被害想定の結果が違ってもそれぞれに意味がある。被害想定を含む地震対策については地方自治体の独自の検討をも重視するような指導を行うのが望ましいと考える。被害想定結果が地震防災計画の詳細に反映されることで、被害想定の意味が発揮できると考える。

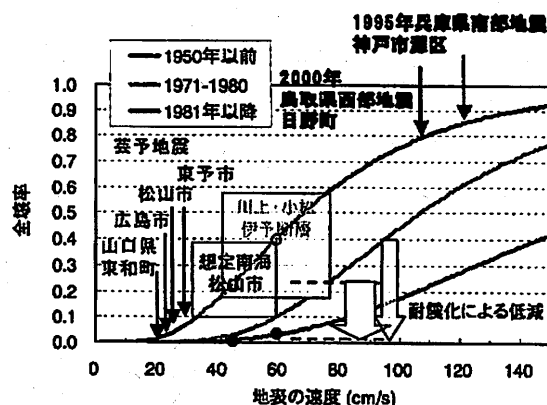


図-4 木造家屋の全壊に関する被害曲線に見る過去の地震と芸予地震と想定地震のゆれ

(3) 芸予地震の結果による手法の検討

被害想定はハザード評価とリスク評価の 2 段階である。芸予地震では愛媛県の北西部(中予地方)が震度 5 強から 6 弱に達する地震動に見舞われた。そこで、愛媛県の被害想定手法に対して、ハザード評価手法の検討が行われた。基盤の入力波には震源に近くて設置されている地層のせん断波速度が $V_s=500\text{m/s}$ に近い Kiknet 丹原 (EHMH04) の地中で観測された加速度記録が用いられた。

計算された加速度のばらつきの範囲は観測値のそれとほぼ等しいが全体的に小さめ(1~1/2)に評価されていた。また、地表速度や震度についても各地の分布の傾向は似ているもの

のやや小さめに評価された。すなわち、地震被害想定に用いられた手法は地震動を小さめに評価する傾向があることが考えられる。

4. おわりに

本稿では、愛媛県の地震被害想定的手法と結果について紹介するとともに、その結果について芸予地震の経験や中央防災会議による南海地震の被害想定結果との比較という観点から考察を加えた。新たに行われた愛媛県独自による地震被害想定の意味は大きく、今後の愛媛県および県内の市町村の地震防災計画や地震対策への積極的な活用が大いに期待される。謝辞：貴重な機会を与えて戴いた愛媛県県民環境部消防防災安全課と愛媛県地震被害想定調査委員会の皆様に感謝します。

参考文献

1) 愛媛県：愛媛県地震被害想定調査概要版報告書, 2002.

- 2) 愛媛県：愛媛県地震被害想定調査報告書, 2002.
- 3) 損害保険料率算定会：地震被害想定資料集, 地震保険調査報告 28, 1998.
- 4) 福島美光, 田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂, 地震学会予稿集, 1992.
- 5) 中央防災会議：東南海、南海地震の被害想定について, 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第14回)資料2, 2003.
- 6) Miyakoshi, J., Hayashi, Y., Tamura, K., and Fukuwa, N.: Damage ratio functions of building using damage data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake, Proc. 7th Intl. Conf. Structural Safety and Reliability, pp. 349-354, 1998.
- 7) 中央防災会議：東南海、南海地震の被害想定手法について, 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第10回)参考資料, 2003.

表-3 愛媛県地震被害想定調査の結果

想定条件	名称(県地域防災計画)	想定地震1	想定地震2	想定地震3	想定地震4	想定地震5
	略称	想定川上・小松断層地震	想定石鎚・池田・三野断層地震	想定伊予断層地震	想定伊予灘海底断層地震	想定安政南海地震
	略称(県パンフレット)	道前道後地震	東予地震	伊予地震	伊予灘地震	南海地震
	マグニチュード M_{JMA}	7.6	8.0	7.1	7.8	8.4
ハザード	強い地震動	道後平野(松山市ほか), 道前平野(今治市ほか), 新居浜平野(新居浜市)などの10市町村で震度6強	道前平野(今治市ほか), 新居浜平野(新居浜市)などの10市町村で震度6強	道後平野(松山市ほか)を中心に大洲市に至る8市町村で震度6強	伊予灘沿岸の大洲市, 双海町など12市町村で震度6強	震度6強はないが, 県内の7割の地域が震度5強以上で震度6弱が散在
		液状化	上記平野の軟弱地, 埋立地で発生の危険性高い			
		津波	検討せず			
建築物被害	全壊建物(棟)	(揺れ)	58,224	39,227	26,320	20,140
		(液状化)	2,491	2,204	1,839	1,834
	半壊建物(棟)	(揺れ)	60,715	41,431	28,159	21,974
		(液状化)	4,609	4,047	3,418	3,379
	急傾斜地・地すべり地	(合計)	173,020	137,776	128,489	137,654
		高危険度暴露建物(棟)	7,477	4,698	6,049	9,219
火災	火災	ブロック塀	8,879	5,986	8,905	16,970
		石塀	11,830	7,840	5,351	4,127
	火災	合計	4,728	3,132	2,137	1,649
		合計	16,558	10,972	7,488	5,776
	火災	出火件数	239	166	124	111
		炎上件数	104	65	42	34
交通輸送	火災	消火件数	80	64	42	34
		残消火件数	24	1	0	0
	火災	焼失棟数	11,362	237	42	34
		焼失棟数	11,362	237	42	34
	火災	大規模延焼	棟(約)	松山(10,000), 今治(900)	今治(100)	なし
		大規模延焼	棟(約)	松山(10,000), 今治(900)	今治(100)	なし
ライフライン	交通輸送	道路:緊急輸送路	被害箇所	209	178	149
		鉄道	被害箇所	316	277	269
	ライフライン	港湾(甲種)	被害港湾数	2	1	4
		港湾(乙種)	被害港湾数	4	7	1
	ライフライン	空港	松山空港	液状化	液状化	液状化
		電気	停電需要家	94,544	86,209	55,374
危険物	ライフライン	水道	断水世帯数	260,616	173,355	167,139
		都市ガス	供給停止需要家	30,633	159	13,707
	ライフライン	LPガス	供給停止需要家	8,025	7,114	6,308
		ガス合計	合計	38,658	7,273	20,015
	危険物	下水道	機能支障人口	8,927	7,956	6,311
		伊方原子力	停止炉数	(1基)	0	1~2基
人的被害と生活支障	危険物	設計加速度	超えない	超えない	超えない	超えない
		小規模漏洩	29	26	10	4
	危険物	コンピナート	継続漏洩	3	3	0
		小規模漏洩	12	12	1	1
	人的被害と生活支障	2時の場合	死亡	2,666	1,719	1,247
		死傷者(人)	重傷	584	449	420
人的被害と生活支障	人的被害と生活支障	死傷者(人)	中等傷	2,870	2,222	2,071
		死傷者(人)	軽傷	38,945	30,146	27,889
	人的被害と生活支障	死傷者(人)	合計	45,065	34,536	31,627
		死傷者(人)	重傷対応	-800	-550	-478
	人的被害と生活支障	死傷者(人)	中等傷対応	-1,721	-312	28
		死傷者(人)	軽傷対応	-1,257	11,499	17,721
人的被害と生活支障	人的被害と生活支障	死傷者(人)	入院	11,224	7,664	6,692
		死傷者(人)	外来	42,820	29,240	25,549
	人的被害と生活支障	死傷者(人)	避難・疎開者	482,029	336,506	291,708
		死傷者(人)	避難・疎開者	482,029	336,506	291,708
	人的被害と生活支障	死傷者(人)	避難・疎開者	482,029	336,506	291,708
		死傷者(人)	避難・疎開者	482,029	336,506	291,708