3. 事業の成果

3.1. 長周期地震動ハザードの評価手法の検討等

- 事業の内容
- (a) 事業の題目

長周期地震動ハザードの評価手法の検討等

(b) 担当者

	所属機関	役職	氏名
独立行政法人	防災科学技術研究所	研究領域長	藤原 広行
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	河合 伸一
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	前田 宜浩

(c) 事業の目的

長周期地震動ハザード評価における地震活動、震源や地下構造のモデル化に必要となる データや既存モデル等を収集し、整理する。長周期地震動ハザード評価のための地震発生 の多様性や不確定性を考慮した地震活動および震源のモデル化手法ならびに長周期地震動 ハザード評価に用いる地下構造モデルを提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

地震調査研究推進本部による南海トラフの地震および相模トラフの地震の長期評価の内 容等に基づいて、長周期地震動ハザード評価に必要なマグニチュード8程度以上の地震発 生の多様性や不確定性を考慮した地震活動モデル(地震の規模、発生頻度等)を提示した。 長周期地震動シミュレーションのための既往の震源モデルやモデル化手法、および地下構 造モデルを収集し、本業務で用いる震源モデル化手法ならびに地下構造モデルを設定した。 また、長周期地震動シミュレーション結果に大きく影響を及ぼす破壊開始点およびアスペ リティ(または強震動生成域)の位置について、その不確定性を考慮した震源のモデル化 手法を提示した。

(b) 事業の成果

1) 地震活動モデル

本検討では南海トラフおよび相模トラフで発生するマグニチュード(以下、M)8程度以 上のプレート間巨大地震を長周期地震動ハザード評価の対象とする。

南海トラフの地震に関しては、平成24年5月に東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえた 新たな長期評価が公表された(地震調査委員会、2013a)。従来の長期評価では、同じ震源 域で同程度の規模の地震が繰返し発生する「固有地震」の考え方に基づいた評価であった が、新しい評価では、過去に発生したことが確認されていないものの、現在の科学的知見 に基づいて起こりうる最大クラスの地震が評価されるとともに、様々なタイプ(規模)の 地震が発生する多様性が考慮された評価となった(図 3.1-1)。このように、将来発生する 地震として多様な震源モデル(シナリオ)が想定される中では、少数の限られたシナリオ のみを考慮した地震動の評価では不十分であり、ある地点に対して及ぼす全ての地震を考 慮して、その地点が大きな地震動に見舞われる危険度を評価する確率論的な地震動ハザー ド評価が有効と考えられる。地震調査研究推進本部(以下、地震本部)では、東北地方太 平洋沖地震以後、地震動ハザード評価の改良に向けた検討が進められており、地震調査委 員会(2013b)では、南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)に基づいた確率論的地震 動ハザード評価が試みられている。その中では、長期評価で例示された震源域(図 3.1-1) に対して、過去に発生した地震(宝永の地震、昭和の地震など)を加味して表 3.1・1 のよう な「重み」が提示されている。そこで、この「重み」を本検討においても活用することと する。

相模トラフの地震に関して、首都直下地震モデル検討会(2013)は、地震本部と協働し た検討により、近い将来に発生する確率は低いとされているものの最大クラスの地震の震 源域を提示している。本検討では、平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」 を踏まえてその最大クラスの領域区分を行うことにより、南海トラフの地震と同様な評価 を実施することとした。このとき各領域に対する「重み」は、地震本部による長期評価や 相模トラフ沿いで発生した過去地震を参照して設定することとした。詳細については、3.4 節で述べる。

2) 震源モデル

長周期地震動予測地図 2012 年試作版(地震調査委員会、2012)では、震源インバージョン解析から得られた震源時間関数に対して基底幅 2 秒の三角形パルスを加えることにより、 周期 2 秒程度以上の地震動を説明できる震源モデルが作成されている。ただし、震源イン バージョン解析結果から得られた個々の要素断層面上での震源時間関数および破壊伝播様 式を用いることにより震源過程の複雑さが表現されているものであり、予測のための震源 モデル設定に対して同様の複雑さを考慮する手法は現状において確立されていない。

本検討では、震源の多様性および不確実性を考慮した確率論的な長周期地震動ハザード 評価を行うため、できるだけ多数の震源モデル(数百ケース)を設定することが必要とな る。ただし、すべての不確実性を考慮すると数千ケース以上となり地震動シミュレーショ ンを実施することが困難となることから、本検討では震源モデルの違いによる長周期地震 動のばらつきの幅を把握することに重点を置き、平成24年度までの「長周期地震動予測地 図作成等支援事業」の成果を踏まえて、震源域の拡がり、破壊開始点とアスペリティ(強 震動生成域)の配置の不確定性を考慮し、震源パラメータは現状の震源断層を特定した地 震の強震動予測手法「レシピ」(地震調査委員会、2009)に基づいて震源パラメータを設定 することとした。

(A) 巨視的震源パラメータ

海溝型プレート間地震の震源域全体の平均応力降下量については、3.0MPa 程度であると されている(例えば、Kanamori and Anderson, 1972; Allmann and Shearer, 2009)。一方 で、Murotani et al. (2008) では約 2.2MPa、南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012) では、M8 クラス以上の巨大地震について 1.9MPa という報告もある。しかしながら、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の平均応力降下量は概ね 3~4MPa となっている(南海トラフ の巨大地震モデル検討会, 2012) ことから、ここでは 3.0MPa を仮定することとした。

以上の仮定のもと、震源域の面積より「レシピ」に従って各パラメータを設定する。

(B) 微視的震源パラメータ

平成24年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」を踏まえて、微視的震源パ ラメータの設定においては以下の条件を考慮することとした。

- アスペリティ(あるいは強震動生成域)は、各領域区分内に2個程度配置し、面積と
 平均すべり量は、各領域の面積と平均すべり量のそれぞれ20%と2.2倍(Murotani, et al. 2008)とする。
- ・震源時間関数は、中村・宮武(2000)によるすべり速度時間関数を基本ケースとする。
- ・fmax(震源スペクトルの高周波側遮断周波数)は、「レシピ」における 13.5Hz を基本 ケースとする。

アスペリティの配置に関して、東北地方太平洋沖地震の分析からはセグメント(領域区分)ごとに1~2個となっている(南海トラフの巨大地震モデル検討会,2012)。ここでは、 過去の地震に関する震源インバージョン解析結果や南海トラフの巨大地震モデル検討会

(2012)による設定も参考に、各領域に2個とする。海溝型巨大地震における強震動生成 域の大きさに関して、東北地方太平洋沖地震の分析から震源域全体の面積の10%程度とさ れる報告もある(南海トラフの巨大地震モデル検討会,2012)。しかしながら、平成24年 度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において、上記の条件に基づいて、震源域 全体の面積の20%としたモデル群により本検討で対象とする5~20秒の周期帯の地震動に ついて東北地方太平洋沖地震の観測記録を包含できることを確認していることから、ここ ではMurotani et al. (2008)による20%をそのまま用いることとした。各パラメータは、「レ シピ」に従って設定する。

(C) その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、以下の条件で設定する。

- ・破壊伝播速度は、「レシピ」に従い震源域のS波速度の72%(2.7km/s; Geller, 1976)
 とする。
- ・破壊伝播の様式は破壊開始点から同心円状とするが、各アスペリティに到達後、アスペリティ内の破壊はその到達点から同心円状とする(マルチハイポセンター)。

なお、上記(A)~(C)の設定に基づく震源モデルでは破壊伝播の不均質性を考慮し

ていない。そのため、本検討ではマグニチュード(M)8クラス以上の海溝型巨大地震に対 する地震動評価においては、震源モデル全体として周期5秒以上が有効となる(地震調査 委員会、2004)。

3) 地下構造モデル

周期 2 秒程度以上の長周期地震動シミュレーションに関して、長周期地震動予測地図試 作版や平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において実績があるこ とから、地震調査委員会(2012)による全国 1 次地下構造モデル(暫定版)を用いる。た だし、フィリピン海プレート上面の深さについては、平成 19 年から平成 23 年度にかけて 文部科学省により実施された「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の成果を踏ま えて平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において修正されたモデルと した(図 3.1-2)。

(c) 結論ならびに今後の課題

本検討では、地震本部による長期評価および内閣府(南海トラフ巨大地震モデル検討会、 首都直下地震モデル検討会)に基づいた地震活動モデルと震源域の設定方法を提示した。 震源域に関する多様性を考慮し、その不確実性を「重み」を付して表現することにより、 確率論的な長周期地震動ハザード評価が可能となることを示した。長周期地震動シミュレ ーションのための震源モデル設定については、多数の震源モデルを設定する必要性も考慮 して、現状の地震本部による強震動予測手法「レシピ」を適用することとした。その結果 として、対象となる地震動の周期帯は主に5秒程度以上となっている。地下構造モデルに ついては、平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」の成果物の一つである、 全国1次地下構造モデル(暫定版)に首都直下地震防災・減災特別プロジェクトの成果を 踏まえてフィリピン海プレート上面深さを修正したモデルとした。

多様な震源モデルを考慮するために「重み」を付すことを提示したが、「重み」付け手法 について、少なくとも地震動ハザード評価においては現在のところ確立されておらず、今 後、専門家の間で合意形成できるような手法の確立に向けた十分な検討を必要とする。長 周期地震動シミュレーションのための震源モデルに関して、破壊伝播の不均質性の導入や 震源時間関数の形状についてまだ研究途上の段階にあり、海溝型巨大地震の震源をモデル 化するための手法を確立していく必要がある。また、今回採用した地下構造モデルに関し て、平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において

・平野の端部付近で観測記録を十分に再現できない地点もあった。

・三次元的な構造として、特に海域について改善の余地が残されている。

などの課題が挙げられている。

	ディ	推定破壊域 スページス スページス スページス スページ おんしょう スページ スページ スページ スページ スページ スページ しんしょう しんしょう スページ たいしん しんしょう たいしん しんしょう スペーション ひんしょう スペーション しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう スペーション しんしょう しんしょ しんしょ						スケーリング則から
		Z	A	В	С	D	E	推定されるMw
	浅部							
	中部							8.8
	深部							
	浅部							
	中部							9.0 ^{*1}
	深部							
	浅部							
	中部							9.0
	深部							
	浅部							
	中部							9.1 ^{*2}
	深部							
	浅部							
	中部							8.7
	深部							1
東海·南海地	浅部							
域が連動する	中部							8.9
パターン	深部							1
						·		
	浅部							
	中部							8.8
	深部		1					
	浅部							
	中部							9.0
	深部		ĺ					1
						- -		
	浅部							
	中部							8.7
	深部							
							·	
	浅部							
	中部							8.9
	深部		1	1			1	
			-	·			÷	
	浅部							
	中部		1					8.4
	深部							
	to the first to							

水色または青色で塗られる一連の範囲は、地震を同時に発生させると想定される範囲

図 3.1-1 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)で例示されている震源域(地震調査 委員会、2013a より)。

表 3.1-1 南海トラフの地震の発生パターンと確率論的地震動ハザード評価で付与する重み (地震調査委員会, 2013bより)。

	Z (日向灘)	A,B (南海)	C,D (東南海)	E (東海)	重み	M_w	深さ タイプ	N	0.
	•				0.0125	8.8	1	1	-
	◀				0.0125	9.0* ¹	2	2	-
	◀				0.0125	9.0	3	3	-
	◀				0.0125	9.1* ²	4	4	-
_	×	•			0.1625	8.7	1	5	-
北	×	•			0.1625	8.9	3	6	-
震	◀		→	×	0.0125	8.8	1	7	-
	◀			×	0.0125	9.0	3	8	-
	×	•		×	0.025	8.7	1	9	-
	×	◀	>	×	0.025	8.9	3	10	-
		◀			0.05	8.4	5	11	-
	•		4		0.05	8.7, 8.3	1	12	13
2 +#	×	\longleftrightarrow	•		0.325	8.5, 8.3	1	14	13
電震	•		\longleftrightarrow	×	0.025	8.7, 8.2	1	12	15
	×	← →	\longleftarrow	×	0.1	8.5, 8.2	1	14	15
	0.15	1.0	1.0	0.75	1.0				

深さタイプ: ①: 深さ 10~25km 程度の震源域 ②: 深さ 10~45km 程度の震源域 ③:深さ 0~25km 程度の震源域

④: 深さ 0~45km 程度の震源域

⑤:深さ0~10km 程度の震源域

※1: 内閣府 強震動計算モデルのマグニチュード

※2:内閣府 津波計算モデルのマグニチュード



図 3.1-2 本検討で用いたフィリピン海プレート上面深さ(実線)と全国1次地下構造モデ ル(点線)(平成24年度「長周期地震動予測地図作成等支援事業」成果報告書よ り)。

(d) 引用文献

- Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.
- Geller, R. J., 1976, Scaling relation for earthquake source parameters and magnitudes, *Bulletin of Seismological Society of America*, **66**, 1501-1523.
- 地震調査委員会,2004,2003年十勝沖地震の観測記録を利用した強震動予測手法の検 証,千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)別添資料.
- 地震調査委員会,2009,震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」,全国地 震動予測地図技術報告書 付録 3.
- 地震調査委員会,2012,「長周期地震動予測地図」2012年試作版-南海地震(昭和型) の検討-.
- 地震調査委員会,2013a,南海トラフの地震活動の長期評価(第二版).
- 地震調査委員会,2013b,今後の地震動ハザード評価に関する検討~2013 年の検討結 果~付録.
- Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.
- Murotani, S., H. Miyake and K. Koketsu, 2008, Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planets and Space*, **60**, 987-991.
- 中村洋光・宮武隆,2000,断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の 近似式,地震第2輯,53,1-9.
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会(内閣府),2012,南海トラフの巨大地震による震度分 布・津波高について(第1次報告).
- 首都直下地震モデル検討会(内閣府),2013,首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ 沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書.

3.2. 南海トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

南海トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(b) 担当者

	所属機関	役職	氏名
独立行政法人	防災科学技術研究所	研究領域長	藤原 広行
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
独立行政法人	防災科学技術研究所	データセンター長	青井 真
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	前田 宜浩

(c) 事業の目的

南海トラフで発生するマグニチュード8程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザ ード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

南海トラフで発生するマグニチュード8程度以上の地震を対象として、震源パラメータ の不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成した。それぞれの震源モデルについて長周 期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによ りハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示した。

(b) 事業の成果

1) 震源モデルの設定

平成23年度および平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」では、南海 トラフのマグニチュード(以下、M)8クラスの地震および最大クラスの地震を対象とし た長周期地震動シミュレーションが行われている。M8クラスの地震については、南海地 震、東南海地震、想定東海地震などの従来の想定震源域に基づいて震源モデルが設定され ているのに対し、最大クラスの地震については、内閣府による「南海トラフの巨大地震モ デル検討会 中間とりまとめ(平成23年12月27日公表;以下、内閣府のモデル)」や、 地震調査研究推進本部(以下、地震本部)による「南海トラフの地震活動の長期評価(第 二版)(平成25年5月24日公表)」で示された最大クラスの震源域に基づいており、震源 モデルの設定に関しては、M8クラスと最大クラスの地震で必ずしも整合が取られていな かった。

長期評価では、最大クラスの震源域を走向方向に6区分、深さ方向に3区分した小領域 に分割し(図 3.2-1)、それらの組み合わせとして、次に発生する地震の震源域の候補が示 されている。そこで、本検討においても長期評価に基づいて小領域の組み合わせにより最 大クラス未満の地震の震源域を設定することとし、これにより、確率論的地震動ハザード 評価(地震調査委員会、2013b)において設定されている震源域とも整合することとなる。 なお、平成 24 年度の検討と同様に、深さ方向に区分された 3 領域のうち、深部領域には アスペリティ(あるいは強震動生成域)を配置しないこととする。ただし、深部領域と中 部領域の境界深さについては、平成 24 年度の検討では内閣府(2012)を参考に約 30km としていたが、本検討では長期評価に従って約 25km とする。これにより、中部領域の面 積が減少し、それに伴いアスペリティの大きさも減少した。

(A) 巨視的震源パラメータ

3.1節で述べた方針、および平成24年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」 における検討等を踏まえて、以下のように設定した。

- ・対象とする震源域は、確率論的地震動ハザード評価(地震調査委員会、2013b)で想 定されているものと同じ15ケースとする(図 3.2-2)。
- ・全国1次地下構造モデル(暫定版)(地震調査委員会、2012)のフィリピン海プレート上面形状を各震源域の形状で切り出して断層面積を算出(表 3.2-1)。
- ・震源域全体の平均応力降下量は 3MPa(例えば、Kanamori and Anderson, 1975; Allmann and Shearer, 2009) を仮定する。

(B) 微視的震源パラメータ

巨視的震源パラメータと同様に、3.1節で述べた方針、および平成24年度までの「長周 期地震動予測地図作成等支援事業」における検討等を踏まえて設定した。ただし、以下の 条件についても考慮した。

- ・アスペリティ(強震動生成域)は、中部領域(深さおよそ 10~25km)の各小領域に 2個程度配置する。
- ・各小領域内のアスペリティ間の面積比は、内閣府のモデル(図 3.2-3)を参考に設定 する。
- ・浅部領域(深さ10km以浅)にはすべりの大きな領域を設定する。
- ・浅部領域に対しては滑らかなすべりを表す関数(箱形関数や smoothed ramp 関数と するケースも考慮する。
- ・fmax について、「レシピ」において地殻内地震に対する値として示されている 6.0Hz とするケースも検討する。

(C) その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、3.1節で述べた通りに設定した。ただし、以下の 条件についても考慮した。

- ・破壊開始点は、走向方向・深さ方向の領域境界付近(10か所)を候補とする(図 3.2-3)。
- ・浅部領域の破壊伝播速度は、S 波速度の深さ変化を考慮して 2.7km/s よりも遅い

2.3km/s とするケースも仮定する。

(D) 計算ケースの設定

震源モデルの違いによる長周期地震動のばらつきの幅を把握することを目的として、上 記(A) ~ (C) に示した方針の中から以下の条件に該当するケースを中心に地震動シミ ュレーションに用いる震源モデルを作成した。また、いくつかの震源域に対しては、パラ メータを細かく設定して震源モデルを作成した(表 3.2-2)。

- ・破壊開始点:h01、h03、h05の3ケース。
 アスペリティ:中部領域に対して浅い場合と深い場合の2ケース
 浅部領域に対して西側と東側の2ケース
- ・すべり速度時間関数:中村・宮武(2000)
- ・破壊伝播速度:中部・深部領域に対して 2.7km/s 浅部領域に対して 2.3km/s
- fmax : 13.5Hz

結果として、112ケースとなる。



図 3.2-1 長期評価における南海トラフの評価対象領域とその区分け。赤線は最大クラスの震源域。薄い赤線は震源域を類型化するために用いた領域分けの境界線。破線はフィリピン海プレート上面の等深線。「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について」より抜粋。



図 3.2-2 本検討で対象とする 15 ケースの震源域。赤線で囲まれた領域がそれぞれの震源 域。ケース番号(No.1~15)は表1と対応している。



図 3.2-3 アスペリティ(強震動生成域)と破壊開始点の配置。アスペリティは、中部領 域に対しては深さによって3通り(i~iii)、浅部領域に対しては東南海沖と南 海沖の2通り(iv)の設定。図中のZ、A~Eは走向方向の区分領域、a~m、n1、 n2はアスペリティ番号であり、表1と対応している。破壊開始点(赤星印)は、 領域境界付近の10か所(h01~h10)を考慮(v)。右下には、内閣府により設 定されている強震動生成域(基本ケース)を参考として示している。(i)~(iv) の領域が今年度の、(v)が昨年度までの計算対象領域。

表 3.2-1 震源パラメーター覧。

全体					アスペリティ(強震動生成域)								背景領域										
					平均応力降下	量 (MPa) 3.0								m		,			-		s		面積比
) 问[注华(GPa)	40.4		2	h	C	A d	6	f	σ 	h	, i	i	k	E	m	n1 n2		(2 Sa/S)
		d				74370		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	. 960	1030	1040	550	540	,	59500	0.20
	1	m				2.5E+22		5.5E+20	1.1E+21	2.5E+20	1.4E+21	2.6E+21	1.4E+21	6.9E+20	6.1E+20	6.0E+20	6.7E+20	6.8E+20	2.6E+20	2.5E+20		1.4E+22	
	· ·	S				8.3		15.0	18.9	11.6	20.3	25.2	20.5	16.2	15.6	15.5	16.1	16.1	11.7	11.6		5.8	
				- F		8.9	-	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		0.9	0.10
		d				110480		900 6 7E±20	1430	540 2 1 ⊑±20	1 75+21	2540	1 7 - 2 1	0 4E±20	970	960 7 2E±20	0.25+20	1040 0 2E±20	2 2 5 2 0	2 1 E±20		95610	0.13
	2	5				10.1		18.3	23.1	14.2	24.8	30.7	24.9	19.8	19.0	18.9	19.6	19.7	14.3	14.2		8.2	
						9.0		22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3		1.3	
		d				108070		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	87490	0.19
	3	m				4.4E+22		5.1E+20	1.0E+21	2.4E+20	1.3E+21	2.4E+21	1.3E+21	6.4E+20	5.7E+20	5.6E+20	6.2E+20	6.3E+20	2.4E+20	2.4E+20	8.1E+21	2.5E+22	
		S			_	10.0		14.0	17.6	10.8	18.9	23.4	19.0	15.1	14.5	14.4	14.9	15.0	10.9	10.8	35.2	/.2	
		Ь				144190	-	900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	123610	0.14
		m				6.7E+22		5.9E+20	1.2E+21	2.7E+20	1.5E+21	2.8E+21	1.5E+21	7.4E+20	6.6E+20	6.5E+20	7.2E+20	7.3E+20	2.8E+20	2.7E+20	9.4E+21	4.6E+22	0.14
	4	s				11.6		16.1	20.3	12.5	21.8	27.1	22.0	17.4	16.7	16.7	17.2	17.3	12.6	12.5	40.6	9.3	
						9.2	-	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	1.3	
		d				62710				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540		50170	0.20
	5	m				1.9E+22				2.3E+20	1.2E+21	2.4E+21	1.3E+21	6.3E+20	5.6E+20	5.5E+20	0.1E+20	0.2E+20	2.4E+20	2.3E+20		1.1E+22	
		5				8.8				15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.2	15.0	14.0	14.7	15.0	15.0		1.0	
		d				91890				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	73640	0.20
	6	m				3.4E+22				2.1E+20	1.1E+21	2.1E+21	1.1E+21	5.7E+20	5.1E+20	5.0E+20	5.5E+20	5.6E+20	2.2E+20	2.1E+20	7.2E+21	1.9E+22	
	Ŭ	S				9.2				9.6	16.9	20.9	17.0	13.4	12.9	12.9	13.3	13.4	9.7	9.6	31.4	6.5	
		-l				9.0	-	000	1420	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	1.1	0.20
		a m				08920 2 2E+22		900 5 1E+20	1430 1 0E+21	2 4F+20	1 3E+21	2040 2 4F+21	1 3E+21	6 4F+20	970 57E+20	5 6E+20	6.3E+20	6 4F+20				1 2E+22	0.20
	7	s				8.0		14.1	17.7	10.9	19.0	23.6	19.1	15.2	14.6	14.5	15.0	15.1				5.6	
						8.8	a)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0				1.0	
		d			(i a) ya	101980	(m) (MP	900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040			5710	82490	0.19
	8	m			s <u>v</u> ∰ ∛	4.0E+22	S N m f	4.8E+20	9.6E+20	2.2E+20	1.2E+21	2.3E+21	1.2E+21	6.0E+20	5.4E+20	5.3E+20	5.9E+20	6.0E+20			7.7E+21	2.3E+22	
		S			─ 積 w ヾ _	9.7	積 し、な	13.2	16.0	10.2	17.9	22.1	18.0	14.2	13.7	13.0	14.1	14.2			33.2	7.0	
		d				57270	面 "< 家	13.7	15.7	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040			13.7	45820	0.20
	٥	m				1.7E+22				2.1E+20	1.1E+21	2.2E+21	1.2E+21	5.8E+20	5.1E+20	5.1E+20	5.6E+20	5.7E+20				9.5E+21	
	3	s				7.3				9.8	17.1	21.2	17.2	13.6	13.1	13.0	13.5	13.6				5.1	
			<u> </u>		_	8.8	-			15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0			5740	1.1	0.00
		d				85800 2 1 E±22				540 2 0E±20	1650 11E+21	2540	16/0 11E+21	1050 5 2E±20	970	960 4 7E±20	1030 5 2E+20	1040 5 2E±20			5/10 6 9E±21	68640 1 7E±22	0.20
	10	s				8.9				2.01120	15.8	19.6	15.9	12.6	12.1	12.0	12.5	12.5			29.3	6.2	
						8.9				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0			15.0	1.2	
		d				28540															5710	22830	0.20
	11	m				5.9E+21															2.6E+21	3.3E+21	
		S				5.1															11.3	3.6	
		Ь				48900	-	900	1430	540	1650	2540	1670	1050							15.0	39120	0.20
	10	m				1.3E+22		4.0E+20	8.1E+20	1.9E+20	1.0E+21	1.9E+21	1.0E+21	5.1E+20								7.5E+21	0.20
	12	s				6.7		11.1	14.0	8.6	15.1	18.7	15.1	12.0								4.7	
						8.7	-	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0								1.2	
		d				25460									970	960	1030	1040	1 05+20	1 95+20		20370	0.20
	13	m s				5.0E+21 4 9									4.4E+20 11.2	4.3E+20 11.1	4.8E+20 11.5	4.9E+20 11.5	1.9E+20 8.4	1.8E+20 8.3		2.8E+21 3.4	
		5				8.4									15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		1.3	
		d				37250	1			540	1650	2540	1670	1050	-							29800	0.20
	14	m				8.9E+21				1.6E+20	8.4E+20	1.6E+21	8.6E+20	4.3E+20								5.0E+21	
		S				5.9				7.2	12.6	15.7	12.7	10.1								4.1	
		<u>ل</u> ہ				20020	1			15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	070	060	1020	1040				1.5	0.00
	4-	m			1	3.5E+21									3,7E+20	3.6E+20	4.0E+20	4.1E+20				2.0E+21	0.20
	15	s				4.3									9.3	9.3	9.6	9.7				3.0	
						83									15.0	15.0	15.0	15.0				15	

破壊開始点		h01			h02			h03			h04			h05			h06			h07			h08			h09			h10		1
アスペリティ(中部)	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	深	中	浅	
アスペリティ(浅部)	西東	西東	西東	西東	西東	西東																									
No. 1	0		0				0		0				0		0																6
No. 2	0		0				0		0				0		0																6
No. 3	00		00				00		00				00		00																12
No. 4	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	ОС	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	60
No. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
No. 6	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	ОС	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	60
No. 7	0		0				0		0				0		0																6
No. 8	00		00				00		00				00		00																12
No. 9	0		0				0		0				0		0																6
No. 10	00		00				00		00				00		00																12
No. 11	00						00						00																		6
No. 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0																						9
No. 13							0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
No. 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0	0	0	0							18
No. 15							0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
																													tota	al	279

表 3.2-2 作成した震源モデル。

※ No. 6 については、これに加えて、浅部領域の破壊伝播速度を 2.7km/s とした場合、fmax を 6Hz とした場合、震源時間関数と して smoothed ramp 関数を用いた場合についても震源モデルを作成し、計算を行った。 計算結果

まず、上記 1)(D)で示した条件で作成した 112 ケースについての結果から全体的な傾向について検討する。図 3.2・4 に東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における工学的基盤上の速度波形を、また、図 3.2・5 にはそれらの相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%)を示す。速度波形では、浅部領域を含むケース(No.3, 4, 6, 8, 10, 11)で後続波が支配的であるが、観測点と破壊開始点の位置関係によっては後続波が目立たない場合も見られる(東京都庁・愛知県庁に対して h05、大阪府庁に対して h03 の場合)。また、東京都庁では、図 3.2・3 (i)の E 領域(駿河湾)を含む震源域の場合(No.1~6)に特に振幅レベルが高くなっている。速度応答スペクトルは、東京都庁では約 500cm/s(周期 10 秒付近)、愛知県庁では約 300cm/s(周期 3 秒付近)、大阪府庁では約 300cm/s(周期 4 秒付近)が最大値となっている。平成 24 年度の検討では、最大クラスの地震についてさらに多様な震源モデルを用いた計算が行われているが、本検討の結果(図 3.2・5 上)は平成 24 年度の結果(図 3.2・5 下)よりも全般的に小さな応答値となっている。

まず、平成 24 年度と本検討の結果の違いについて考察する。これらの相違は、地下構造モデルと震源モデルの設定に起因している。そこで、地下構造モデル 2 ケース、震源モデル 3 ケースを設定し、それぞれの影響について検討した。これらは、平成 24 年度の東京都庁での最大ケースに対応する。この震源モデルは、

- (1) 固定サイズ (20km×20km) のアスペリティを中部領域に配置する。
- (2) 浅部領域と中部・深部領域を 2 つのセグメントとし、両セグメントの平均応力降下 量が一定となるように地震モーメントを配分する。

という方針で作成されている。(1) に関しては、本検討では中部領域の面積が減少してい るため、同じ方針で震源モデルを設定した場合でも配置されるアスペリティの数が少なく なる。また、(2) に関しては、本検討も平成 24 年度の検討も全体の地震モーメントは同じ であるが、本検討の設定では浅部領域に配分される地震モーメントが相対的に大きくなっ ている。これらの違いの影響を調べるために、次の4つのケースについて計算を行い、東 京都庁での速度波形と速度応答スペクトルを比較した(図 3.2-6)。

①本検討の震源モデルおよび地下構造モデル

- ②平成24年度の検討のアスペリティおよび地震モーメント、本検討の地下構造モデル③平成24年度の検討の震源モデル、本検討の地下構造モデル
- ④平成24年度の検討の震源モデルおよび地下構造モデル

本検討の結果①に比べ平成 24 年度の結果④は、最大速度で 2 倍程度、応答スペクトルは 周期帯によるが 1.2~5 倍程度大きい。このうち震源モデルによる寄与としては、まず、中 部領域への地震モーメント配分を大きくすることで(①→②)、最大速度は 1.2 倍程度、応 答スペクトルは周期帯によっては 1.5 倍程度増大している。さらに、アスペリティ数がふ えることにより(②→③)、最大速度で 1.1~1.4 倍程度、応答スペクトルでは 1.5~2 倍程 度増加している。これに対し、地下構造モデルによる寄与は(③→④)、最大速度は 1.2 倍 程度変化しているが、速度応答スペクトルには系統的な違いは見られない。以上から、平 成 24 年度と本検討の振幅レベルの違いは主として震源モデルの設定方法の違いに起因したものと考えられる。

既往の結果との比較として、「長周期地震動予測地図」2009年試作版(地震調査委員会、 2009)の昭和東南海地震、2012年試作版(地震調査委員会、2012)の昭和南海地震の計 算結果との比較を行った。ここで、昭和東南海地震、昭和南海地震は、それぞれ本検討の No.15 と No.14 に相当するとし、図 3.2-4 に示した 3 地点において比較した(図 3.2-8)。 No.14 と No.15 に対してはそれぞれ 18 ケースの計算を行っている(表 3.2-2)。いずれの 地点においても応答スペクトルのばらつきはケース間で 10 倍以上となっており、試作版 の結果はそのばらつきの範囲に収まっている。ケース間のばらつきの主要因は破壊開始点 の違いによることから、長周期地震動予測地図試作版で設定されている破壊開始点(図 3.2-7)に対応するケースについて見ると、昭和東南海地震の破壊開始点に対応する h08 のケースでは東京都庁、愛知県庁では大きく、大阪府庁では小さくなっている。No.15の 震源域は昭和東南海地震の震源域に比べ東側に広く設定されており、それによりアスペリ ティの数も増えることから、震源域の東側で大きくなると考えられる。一方、No.15 の震 源域とh08の破壊開始点の組み合わせでは断層破壊が東側のみに広がるため、震源域西側 では小さくなる。図 3.2-8a には、昭和東南海地震の震源域とほぼ対応するモデルを用いた 平成 23 年度の検討結果を参考として示している。本検討とは破壊開始点とアスペリティ 配置がやや異なっており(図 3.2-7)、大阪府庁でも振幅が大きくなっている。反対に、東 京都庁では振幅が小さくなるケースが見られる。なお、長周期地震動予測地図試作版に用 いられている震源モデル(山中、2004)は Mw8.1、平均応力降下量 1.23MPa であるのに 対して、本検討では Mw8.3 と 3MPa、平成 23 年度の検討におけるモデルでは Mw8.2 と 3MPa であり、震源モデルの設定が昭和東南海地震に対して大きいことも振幅が大きくな る一因である。昭和南海地震については、長周期地震動予測地図試作版で結果が示されて いる愛知県庁と大阪府庁で比較する(図 3.2-8b)。昭和南海地震の破壊開始点は h03 に対 応しており、震源域との位置関係により愛知県庁では振幅が小さい。一方、大阪府庁では 長周期地震動予測地図試作版とほぼ同じ振幅レベルとなっている。昭和南海地震の震源モ デルは、Mw8.4、平均応力降下量 1.18MPa であるのに対して、本検討は Mw8.6 と 3MPa、 平成23年度の検討ではMw8.5と3MPaであり、震源モデルとしては規模が大きいものの、 大阪に対しては四国沖のアスペリティの影響が小さいことなどにより同程度の振幅レベル となっていると考えられる。なお、ここでは示さないが、九州においては本検討結果の方 が大きな振幅レベルとなっている。

図 3.2-9 に 3 地点における最大速度(PGV)と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒;減 衰定数 5%)のヒストグラム(頻度分布)を示す。表 3.2-2 に示した 279 ケースに対する ヒストグラムとともに、それらを 15 の震源域ごとに分けて作成したヒストグラムも示し ている。全体的な傾向として、震源域が広いほど(M が大きいほど)振幅レベルは高い。 東京都庁では他の 2 地点に比べてばらつきが大きく、破壊開始点が西側(赤いバー)のケ ースや、すべりの大きな領域が東側(▽)のケースで振幅レベルが高いのに対し、駿河湾 の領域を含まない No.7~12, 14, 15 のケースで破壊開始点が東側(h05;青いバー)の場 合には振幅が顕著に小さい。愛知県庁では、すべりの大きな領域が東側(▽)のケースで 振幅レベルが高い傾向が見られる。また、東南海の領域を含まない No.12, 14 のケースで 破壊開始点が中央付近(h03;緑のバー)の場合に振幅が小さくなっている。大阪府庁で は、すべりの大きな領域が西側(△)で、破壊開始点が西側(赤いバー)の場合に振幅が 大きい。

No.4~6, 13~15の震源域に対しては、他に比べて破壊開始点を細かに設定した計算を 行っている(表 2)。他の震源域に対して設定している h01、h03、の 3 か所のみを考慮し た場合と、その他の点も考慮した場合での最大速度、速度応答値の分布の比較を図 3.2-10 に示す。震源域の東側延長上に位置する東京都庁では、3 か所(赤、青、緑)を考慮する ことで全体のばらつきの幅を概ね表すことができているが、愛知県庁と大阪府庁では 3 か 所のみを考慮した場合には、ばらつきの下限を大きめに評価している。また、愛知県庁で は最も震源域の広い No.4 に対して、3 か所を考慮した結果が最大値を含む階級に含まれて いない。したがって、全体のばらつきの幅を把握するためには、最大、最小となる震源域 に対して破壊開始点を細かく設定する必要がある。

No.6 の震源域を対象として、fmaxの違い、すべり速度時間関数の違い、浅部領域の破 壊伝播速度の違いによる影響について検討した。fmax については、「レシピ」において内 陸地殻内(活断層)地震に対して適用する 6.0Hz を用いた場合について、すべり速度時間 関数については浅部領域に対して中村・宮武(2000)ではなく smoothed ramp 関数を用 いた場合について、破壊伝播速度については中部・浅部と同じ2.7km/s とした場合につい て、最大速度、速度応答値を比較した(図 3.2-11)。fmax とすべり速度時間関数について は 36 ケースの比較、破壊伝播速度については 18 ケース(破壊開始点が h01~h05 の 5 通 り)のみを対象とした比較となっている。なお、smoothed ramp 関数のライズタイムは、 中村・宮武(2000)の関数で用いているものと同じとした。fmax については、小さな値 を与えることで中村・宮武(2000)の関数における最大すべり速度が小さく設定されるこ とになるが、fmax が 13.5Hz の場合と 6Hz の場合で結果に顕著な違いは認められなかっ た。これに対して、すべり速度時間関数を smoothed ramp 関数とした場合には、中村・ 宮武(2000)の関数を用いた場合に比べて振幅レベルの低減が認められた。一方で、破壊 伝播速度を大きくした場合には振幅レベルの増加が認められる。 平成 24 年度までの検討 においても、浅部領域に対して箱形関数を仮定した場合や破壊伝播速度を遅くした場合に 振幅レベルの低減が確認されており、浅部領域のモデルの設定が長周期地震動の評価にお いて重要な課題であると言える。

20

東京	5	都厅	Г NS	EW	UD
		₽¥	50.4	-78.4	-33.1
6	5	美	81.5	-88.9	36.0
-	~	账	55.6	43.5	23.2
Z	S	浅	69./	-66.5 20.0	-30.0
y	2	账		-20.9	-12.0
Ľ	_	浅			-40.7
5	=	账	100.6	-109.7	45.5
	_	浅	66.4	55.7	29.5
No.	ß	#R 50	88.0	-80.3	-45.9
Et.	_	影	-39.0	-25.9	-16.2
	5	浅	<u> </u>	-65.5	-33.9
\square		11 西	-71.7 	-96.8	-37.6
	_	漢東			-39.1
	2	ま 西	-106.5	-96.0	35.2
		~ 東	47.8		24.5
		医	90.6	-64.0	-34.4
10.3	n	··· •	68.1	-63.7	-36.4
		浅配	85.9	-64.1	-35.7
	-	EI EI		23.1	-11.9
		栗	28.9	23.5	-12.0
	5		-48.6	-55.6	-28.2
		^浅 東	-48.8		-28.1
		KI		-114.1	-43.6
,	_	深東			-45.3 ////////////////////////////////////
	2	き西	-1257	-110.5	40.0
ΙL		き東			29.6
		民西	107.1	-77.3	-40.7
4.0	n	<u> </u>		-73.5	-43.6
		浅麗	102.8	-77.4	-42.7
╎┟	-	면	33.5	28.5	-14.3
		深眼	33.5	28.9	-14.4
	5	<u></u> 113 王	-55.8	-66.6	-33.8
		き 東	-56.1		-33.8
Π.	_	账	47.0	-/1.9	-30.4
ė		浅		-82.5	23.0
0.5	2	账	64.7	-60.7	-33.6
ž	_	浅	-28.5	-19.5	-11.7
	S	灰	46.2	-48.0	-24.8
		7,0	-67.0	-88.4	-34.1
		影臣	73.5	-84.9	-35.4
6	5	7णा तम	-99.7		38.4
		浅郡	-99.0	-87.3	31.7
		EI	45.1	37.7	22.3
9.0	_	深 東		-58.3	-31.0
Z		美西	01.8	-57.3 	-32.9
		" 東			-52.2
1 I.			25.9	21.4	-11.0
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-43.8	-50.3	-25.5
	S		1010		
0E	S	送西	-44.0	-50.5	-25.5
	ŝ	N	-44.0	-50.5	-25.5
	50	中部 浅部 東西 三		-50.5 0 100 200 300 400 500 600	-25.5 0 100 200 300 400 500 600
域 私上	SU SU	イ 中部 送 浅部 東西 引		-50.5 0 100 200 300 400 500 600 Time (s)	-255 0 100 200 300 400 500 600 Time (c)
	with the second	Jティ 中部 浅 浅部 東西 j		-50.5 0 100 200 300 400 500 600 Time (s)	-255 0 100 200 300 400 500 600 Time (s)
震源域 ^{西体目 仏} 上	锁環開箔点 U2	ペリティ 中部 浅		-50.5 0 100 200 300 400 500 600 Time (s)	-255 0 100 200 300 400 500 600 Time (s)

図 3.2-4a 東京都庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

庌	て打	3庁	NS	EW	UD
	ľ¥.		34.8	-28.0	-11.9
0	憲		-40.5	35.4	30.6
2.0	、账			-28.2	10.0
ž	、		5.3	-3.8	2.2
05	影		-4.4	-3.3	-1.5
		<u>ட</u> –	46.7	36.2	29.1
	账	<u>東</u> 王	78.7	52.8 	-31.7
10		图 ——		41.8	38./
	兲	₩		-28.1	10.4
	账	图 ——	86.0	-60.1	-32.3
<u>8.0</u>			46.8	-32.2	17.4
	憲	<u>₩</u>	86.1	-60.7	30.3
	BV	問 ——	5.2	3.7	2.2
2	,	₩	6.0	-6.8	3.0
6	, 実	图 ——			-2.0
		<u> </u>	32.3	-25.6	-11.0
01	點		-37.5	32.2	27.8
Ľ	漢		-18.2	22.2	9.2
03	憲		39.6	-25.8	16.1
	,账		4.7	-3.4	2.0
0	、浅		-4.0	-3.0	-1.4
	P¥	西 ——		47.3	-28.2
	20	東		37.4	35.6
6	· 実	西 —	67.0	-48.1	27.1
\vdash			22.3	-25.6	-9.5
2	账	<u>₩</u> — —	77.3	-54.2	-28.9
30		<u>E</u> —	42.2	-29.7	15.6
	泄	康 ──	//.4//.4		2/.2
	₿¥	图 ——	-5.3	-5.9	2.0
05		世 四	-3.6	3.2	-1.8
	浅	<u>東</u>	-5.1	-4.9	-2.3
+			29.6	21.2	-13.8
6		西 ——	21.6	-21.3	-11.4
- m	,	₩			13.9
	2	图 ——		-13.9	<u></u>
05	8		-1.2	0.8	0.5
+	E¥.		17.4	-15.0	6.2
312			-25.2	-15.3	9.5
j	、熊		-3.7	2.0	1.6
0	送送		2.7	2.0	1.4
	, 账	\neg —	41.5		17.9
<u>-i</u> P	送き		-22.6		-27.2
05			36.6	-38.4	-20.1
T			15.1	-12.9	5.5
<u>t</u> 5	憲		-21.3	-13.3	8.4
	、账		-3.2	-1.8	1.3
0	湾		2.3	1./	1.2
<u>_</u>	, 账	\neg —	-14.5		
	送送		3.4	-2.4	12.5
05	送送		-3.0	-2.2	-1.0
40	中部	影 [
意源马 破壊開始			Time (s)	Time (s)	Time (s)

図 3.2-4a 続き。

자	ļļ	見 月	= NS	EW	UD
_				-34.4	-14.6
5	. <u>5</u>		-37.1	37.9	13.8
F	ガ B	R R	-20.3		12.6
8		8	-13.6	18.6	10.6
\vdash	17	¥ I	-25.7	-43.1	
120	3	8	19.9		-28.1
t	E-	¥ 🗌	35.2	-44.0	-18.6
6	; ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;	8	-47.8	48.3	-16.1
		È I	-25.5	24.9	14.7
8	; ;;;;	2	-19.3	27.6	-13.8
5	,异	ĸ	-35.1		47.4
0	'∭	2	21.7		
		<i>、</i> 王			-13.5
	. 57	۶ ۳			14.7
0	2	, 昭			15.4
	177	2 東			12.6
	B	⊾ E∐	466	38.3	-12.0
m	<u>م</u>	『東	-19.2	17.8	10.1
0	4	, E	- 19.2		
	- 29	~ 東	-73.9		-15.9
	R	ĸ 臣		-40.0	
5	2	『東	195		-267
	, 411	3 西	19.5		
	<i>"</i>	東	35.1		
	B	西西		51.5	-17.4
5	. 1	『東	-42.6	41.4	16.1
0	, ш	、西		50.5	-17.2
L	77	。 東		23.8	13.5
	R	K E	55.9	44.9	-14.7
m	<u>ر</u>	~ 東	-23.7	25.6	-11.9
			56.7	52.3	-16.4
L	_	_ ₩K	-31.1	-50.6	42.2
	财	K H	-31.7	-50.6	41.8
3	;⊢	म्म	-20.7	35.7	-31.6
	Ħ	き	-21.0	35.6	-31.5
	-		27.9	-31.3	-13.4
5		5	-34.7	35.6	13.0
F	ガ		-18.8	18.7	11.6
03		2	-12.6	17.1	9.7
-	77	K I	-23.8	-39.7	
05	3	8	18.2		-25.6
_	1	 	26.9	-29.0	-11.9
	孯		-41.1	39.6	-12.9
0	; -	7ण तम्	-32.0	31.4	12.9
	#	。	44.6	<u> </u>	13.5
	+	EL	-18.0	18.7	11.4
	5	€	42.1	<u>34.6</u>	-11.3
6	۲ <u>-</u>		-18.2	16.0	9.2
	1#	重	42.9	40.4	-12.6
	-		-21.6		
5	影		-22.0		
õ		, 臣	17.4		
	17	°₩	17.5	25.4	- <u>-24.3</u>
402	1 E E	T 王 王 王 王 王	0 100 200 300 400 500 600	0 100 200 300 400 500 600	0 100 200 300 400 500 600
昭	Į	\succ	Time (s)	Time (s)	Time (s)
1.00	41	IF			11112 (5)
悪い	<u>à</u>	\sum			

図 3.2-4b 愛知県庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。 波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

愛;	知]県	厂	Г NS	EW	UD
_		שמו			-32.3	-13.8
	5	烹		-35.2	35.8	13.0
	-	影		-19.3	19.3	11.9
<u>0</u>	B	渕		-12.9	17.7	10.0
	5	账		20.0	-4/.3	
	0	浅		30.3		-12.6
		E¥.	Ð		41.7	-13.7
		500	東	-33.6	32.6	12.3
	6	浅	E	47.4	40.1	-13.5
	\vdash		西	-19.0	19.8	12.0
~		账	Ē	45.0	-36.5	-12.0
9	03	41152	HEI HEI	-18.6	17.1	9.7
		兲	€	45.7	42.5 45.0	-13.0
		БЖ	Ð	25.2	-45.0	
	32		Ē	16.9	-18.8	-20.0
		遌	副	17.1	-18.9	-19.9
	<u> </u>	I RU	西	26.1	-29.1	-12.5
	01	美		-32.4	33.2	12.1
6	-	影		-17.6	17.7	10.9
No.	0	憲		-11.9	16.0	8.9
	5	账			-43.1	
		漢		27.1	-17.5	-11.3
		в¥	КIJ		37.5	-12.2
	_	71%	₩	-30.3	29.6	11.1
	ò	遌	삞	42.7	36.1	-12.3
	⊢		म	-17.1	18.0	10.8
10		账	Ē	40.5	-32.5	-10.8
No.	03	41152	西	-17.5	15.2	8.8
		兲	東	41.2		-11.0
		ВЖ	围	22.5	-40.2	
	3		Ē	15.0	-16.9	-18.3
	-	遌	聖	15.2	-17.0	-18.2
				-17.9	-17.6	-5.8
	6		11 11	-12.3	11.7	3.0
=	- -		東	20.8	16.4	5.3
No	0		КI	11.5	-8./	3.4
	22		Ē		-5.8	
	<u> </u>	614	۳ <u>ا</u>	23.2	-24.6	6.9
2	5	账		-27.1	19.2	9.9
0.1	F	家		-3.5	4.8	-1.6
2	8	浅		-3.2	3.7	1.4
	-	账	=	-15.3	15.2	8.9
.13	0	浅		-9.4	13.2	-7.9
No	2	账		-19.6		
	0	漢			-21.0 -21.1	-20.2
4	5	账		-23.6	16.5	8.7
0.1	F	漢		-3.0	4.0	-1.4
Z	8	憲		-2.7	3.2	1.2
	i -	ISK		-13.2	13.3	7.7
15	ß	憲		-8.3	11.3	-6.6
No.	5	账		18.2	-32.0	16.9
	Ő	浅			-12.9	-13.1
震源域	破壞開始点	いい (中部	~~~~~ 浅部	0 100 200 300 400 500 600 Time (s)	0 100 200 300 400 500 600 Time (s)	0 100 200 300 400 500 600 Time (s)

図 3.2-4b 続き。



図 3.2-4c 大阪府庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。 波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

CI ²	Ωľ	付り、	Γ NS	EW	UD
1	P	¥ I	37.2	48.0	-15
	5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2	23.0	26.4	1
	。 『	¥		-23.8	
ġ	ю Ж	×.			-14
	<u>ال</u> ال	¥	-16.0	24.1	
	0	۲ <u> </u>	-58.6	46.0	-19
	R	< 王	35.5	46.0	-15
	- <u> </u> "	<u>`</u> ₩	-63.0	42.4	2(
	0 ₩		-23.8	25.5	10
ł	-	म्म म्म	-34.9	-22.8	
∞	影	€₽₽	-35.0	-22.7	-2
è	8	。 思	24.0		
-[#	[×]			
	R	é ₩	54.7	-37.2	
	5	* ₩	-15.2	25.6	
	<u></u> #	遥	-57.8	-30.9	15
		康	33.9	43.2	-14
	5	*	21.3	22.3	
	- (# 	2 ¥	-32.4	-21.8	-22
5	<u>制</u> 103	*	21.7	17.0	-13
	。 別	¥	-15.8	-34.5	2
	٥ ۳	2	-14.6	22.7	1
		. ET	-53.2	40.6	-1,
	髟	≤₹		40./ 	
	5	. HI			
	洲	₹ ₩	-31.3	-20.4	-20
	R	€ E	-31.3	-20.4	-20
2	m	* 東	21.8	17.8	14
ž	0 #	置	21.6	17.5	15
ł	.,		-15.4	-33.2	24
	影	€₽₽	49.2	-33.3	24
	-12		-13.6	23.6	14
	3	¥ 東	-52.0	-27.5	14
1	_	Ŧ	-17.8	-11.5	
	6	E	-20.1	19.8	
Ξĺ	m	東			
2	0	臣		12.7	
	05		8.9	6.7	
_	63	⊫∐ ⊭⊺	30.0	38.9	-12
~	<u>الم</u>	8	20.6	20.6	
0	- 7 R	¥	-20.2	12.2	15
<	8	R	12.8	10.1	
╡	, F	€	16.8	-9.5	-12
<u>m</u>	8	R	12.0	-7.9	-{
ŝ	S B	ĸ		-28.8	<u>2</u>
	0 #	R	12.8	17.0	
_	<u> </u>	ĸ	18.2	163	
5		K L	-17.5	10.5	1
ž	60 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	8	11.0	8.7	-(
	177		15.0	-8.7	-1(
2	<u>لاً</u> 3	8	10.7	-7.2	-{
<u>j</u>	ガ 民	¥	-11.8	-25.4	18
	# 202	Ř	-11.2	17.7	
		記述	0 100 200 300 400 500 600	, 100 200 200 400 500 600	0 100 200 200 400 500
震源均	改壞開始	ペリティ	Time (s)	Time (s)	Time (s)

図 3.2-4c 続き。



図 3.2-5 1-3 段目:東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における 112 ケースの速度応答スペクトル(減衰 5%)。スペクトルの色は、図 4a~c の波形の色と対応している。4 -6 段目:昨年度の検討による、最大クラス地震の速度応答スペクトル(減衰 5%)。



図 3.2-6 平成 24 年度と本検討の計算結果の比較。①~④は、それぞれ、①:本検討の震 源・地下構造、②:本検討のアスペリティ、平成 24 年度の地震モーメント、本 検討の地下構造、③:平成 24 年度の震源、本検討の地下構造、④:平成 24 年 度の震源・地下構造を用いて行った計算結果。速度応答スペクトルの各色は波 形と対応している。



図 3.2-7 左:長周期地震動予測地図で用いられている昭和南海地震と昭和東南海地震の 震源モデル。右:平成 23 年度の検討に用いた震源モデル。

東京都庁		NS			EW			UD	
No15	0	Time (s) 600	0	o Time (s)	60	0 0	Time (s)	600
			-14.3(cm/s)	AMMANAMANALAMANANANANANANANANANANANANANA			- A that a return to a result of	7.0
h03-add_nm_vr1	_fm1	And hide billion and and	20.2			-13.0		- Al Addish de dimension	-5.8
h03-adm_nm_vr1	l_fm1	of the first of the second of	29.4			-19.3		and the limited and an	12.2
h03-ads_nm_vr1_	_fm1^	A TRANSPORT	13.7		VIII A MANAGE AND A	-12.9			-4.3
h04-add_nm_vr1	_fm1	Man and a second	17.7			-13.9		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-4.4
h04-adm_nm_vr1	l_fm1 ~₩	MMMWWWWWWW	175			-73.4		Mariphiphine and a second	79
h04-ads_nm_vr1_	_fm1 ~~ //	Martin Martin - Minimum				-2 A		~\W.\\\\\\\	13
h05-add_nm_vr1	_fm1	๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛๛	J. †			-2.4		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	1.0
h05-adm_nm_vr1	l_fm1	Markey Markey and Markey and Markey Markey Markey Markey Markey Markey Markey				-2.4		~~~~~	-1.0
h05-ads_nm_vr1_	_fm1	Martin Martine Contraction	-3.0			-2.2			-1.0
h08-add_nm_vr1	_fm1	~////www.	19.3		- White the second of the second seco	nteresting		My Helping and Company	10.1
h08-adm_nm_vr1	l_fm1	MM Handelylligerson and	many www.			-13.6			7.5
h08-ads_nm_vr1	_fm1	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-24.5			-19.7			11.2
h09-add nm vr1	fm1 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	H	-13.5			9.1			5.6
h09-adm nm vr1	- 	Mmanumenter	-9.6		- manual ma	-9.1		Mindiphaliphandersonandelingensonen	-3.6
h09-ads nm vr1	fm1	water	-12.4			11.0		~~~~	-4.8
h10-add nm wr1			-2.6			1.8			1.0
h10 adm nm ur1		holyhammaaaaaaaa	3.2			3.1		~~~	1.1
h10 ada ana sat		www.	4.7			-4.3			1.6
		-MMMMM	-9.4			-11.0			6.7
AINKI-d-c		- Martin harmon	17.0			-9.9			4.8
ATNKI-s-c		• Infile on a contract	-2.5						0.4
ATNKI-d-e			-1.5			1.3			-0.5
ATNKI-s-e		AMAA	11.1		a Marat a sui a	-7.5			2.8
試作版		2 AAAaa gagge gage			Anthe Manufathan				
1000			1	000			1000		
() 100				100			100		
				100			100		
5V (G									-
10	S			10_			10_		
		and the second second					100		
1	1			1.			1		ES C
	3	1	0		3 10		3	1 	0
		Period	(5)		Period (S)			Period (S	5)

図 3.2-8a 長周期地震動予測地図(昭和東南海地震)との比較。東京都庁における、本年 度の結果(赤~青)、平成23年度の結果(緑)、長周期地震動予測地図(黒)に よる速度波形と速度応答スペクトル(減衰5%)。昭和東南海地震の破壊開始点 に最も近いケース(h08)については、スペクトルを実線で描いている。

愛知県庁	NS		EW		UD
No15	0 Time (s) 60	00 Q	p Time (s) 6	00 0	Time (s)600
h02 add nm ur	-11.3	(cm/s) _	<u>11.7</u>	7W~~~~	7.9
nus-add_nm_vr	15.0	-	-18.1		-12.5
h03-adm_nm_v	-7.0		-11.4 	1	6.6
h03-ads_nm_vr	23.5		15.5		-15.5
h04-add_nm_vr	1_fm1 34.8		-23.0)	23.9
h04-adm_nm_v	r1_fm1 ¹ 12.9		11.5		-13.5
h04-ads_nm_vr	1_fm1 19.5		-32.6	5	17.1
h05-add_nm_vr	1_fm1 1/	-	-16.5	5	17.7
h05-adm_nm_v	r1_fm1 12.7	-	-13.4		-13.1
h05-ads_nm_vr	I_fm1 10.3	-	-14.0) - Mrmm	-4.9
h08-add_nm_vr	1_fm1 92	-	-14.1		-5.4
h08-adm_nm_v	r1_fm1 8.3	-			-66
h08-ads_nm_vr	1_fm1 0.5	-		·	-0.0
h09-add_nm_vr	1_fm1 5.0	-	12.5		-5.5
h09-adm_nm_v	r1_fm1	-	-4.1		-4.0
h09-ads_nm_vr	1_fm1 6.6	-	-5.4		4.1
h10-add_nm_vr	-4.4 1_fm1		-4.8		-2.8
h10-adm_nm_v	r1_fm1 4.4	-	-3.1		2.0
h10-ads nm vr	2.9	-	-3.3		-2.5
ATNKI-d-c	-9.0	-	11.4	1	4.5
ATNKI-s-c	10.9	-	-7.8	³ — m	-10.4
ATNKLd	-V 11.6	-		<u> </u>	-9.1
	2.2	-	-1.9)	-2.5
ATTINI-S-E		-	-7.3	3	-3.4
BUTFAX	T	т		1	
1000		1000		1000	
		-			
(S) 100		100		100	
(cm					
کر ۱0		10		10	
		1	ار _{مرید} ب ^{ر مر} محمد این ۲ ^۳ میلید کار با ۲۳ میلید از ۲۳ میلید از ۲۰ 	Constanting weeks	and the second
1	3 10	14	<u> </u>	3	
	Period (s)	-	Period (s)	-	Period (s)

図 3.2-8a つづき (愛知県庁について)。

大阪府庁	NS		EW		U	D
No15	₀	၀၀ ၀	Time (s	600	o Tim	e (s) 600
	15.2	2(cm/s) _	like de me	-9.3		-10.4
h03-add_nm_vr	1_fm1 4)	1	-4.8		-5.3
h03-adm_nm_v	r1_fm1 10.9		- Marken	-7.6		6.3
h03-ads_nm_vr	1_fm1	5		33.9		25.1
h04-add_nm_vr	1_fm1 22 (-	- Martin Construction	-31.5		20.7
h04-adm_nm_v	r1_fm1	- 5	-V WWW. WWW. WWW. WWW.	-26.2		-21.1
h04-ads_nm_vr	1_fm1 -10 -	, – ,	-nd Non-destricted afferences	-25.5		186
h05-add_nm_vr	1_fm1			26.0		15.9
h05-adm_nm_v	r1_fm1	~ _ 2		17.5		10.0
h05-ads_nm_vr	1_fm1	· _	- Marine and a sure and	17.5	w	2.0
h08-add_nm_vr	1_fm1	?		4.2		-5.8
h08-adm_nm_v	r1_fm1	- ,		-4.3		-4.0
h08-ads_nm_vr	1_fm1	_		-3./		
h09-add_nm_vr	1_fm1	-	-~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-7.2		-5.4
h09-adm_nm_v	r1_fm1		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	3.8		3.0
h09-ads_nm_vr	1_fm1			5.0		3.4
h10-add_nm_vr	1_fm1 6.0	,		-5.5		-6./
h10-adm_nm_v	r1_fm1 5.2			-9.9		7.3
h10-ads_nm_vr	1_fm1 6.7			6.1		5.6
ATNKI-d-c	-15.3	3 –		-12.1		-11.2
ATNKI-s-c		- -		4.3		3.6
ATNKI-d-e		3 –	- for man has go an and	-13.9		
ATNKI-s-e	-4.(5 –	- Morran and Marine and	6.6		4.1
試作版	-6.7		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-7.8		-3.0
		ιT	1		1	
1000		1000	 	10	00	
(S) 100		100		1	00	
(cu						
چ ₁₀	KATA .	10			10	
	- WAXS					
1					1	
1	3 10	3	1	10	3	10
	Period (s)		Period (s)	Peric	d (s)

図 3.2-8a つづき (大阪府庁について)。

愛知県庁		NS		EW		UI	D
No14	Q	Time (s)	600	ο Time (s)	600	ρ Time	e (s) 600
			19.9(cm/s)		-20.8		6.1
h01-add_nm_vr	1_fm1 ~~ \	Maria and an and a second s	33.8		-28.0		8.9
h01-adm_nm_v	r1_fm1	property and a second	22.0	- Manterstand	16.7	hum	0.9
h01-ads_nm_vr	1_fm1	a go and the for the state of t	17.5	- Martin Martin	10.7		2.5
h02-add_nm_vr	1_fm1	1+p + m 11pt+ + L	17.5		-10.0		-2.5
h02-adm_nm_v	r1_fm1	test a land a time	16.9		-18.1	w/prosecution	5.9
h02-ads_nm_vr	1_fm1	**************************************	-14.3		-13.9		-5.5
h03-add_nm_vr	1_fm1		-2.8		4.0		-1.3
h03-adm_nm_v	r1_fm1		2.9		-4.5		1.5
h03-ads_nm_vr	1_fm1		-2.7		3.1		1.2
h06-add nm vr	1 fm1	Mat gummer and an and	-20.1	MAHAnimmene	-17.0		6.4
h06-adm nm v	r1 fm1	William 1/ 11 an	-21.7	- With Att and	-20.9		-6.8
h06-ads nm vr	1 fm1	Whiteman	-19.1		-20.5		6.0
h07-add nm vr	1 fm1	т Иуминания 	5.0		-4.9		-2.7
h07-adm nm v	r1 fm1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-6.7		-8.0		-2.8
h07-ads pm vr	1 fm1	MM	-8.6		16.9	Where we have a set of the	7.2
h09 add pm yr	1_m1		1.7		-2.3		-0.7
h09 adm nm v	-1 5-1		1.7		-1.8		0.7
hoo-dum_nm_v	ri_imi		1.4		2.1		0.7
nuo-ads_nm_vr	ı_ımı	hopportunite	-13.2		-13.1		
ANNKI-d-w		Will and the design of the second	14.4		-17.2		7.3
ANNKI-s-w		and define the second second	1.5		1.9		0.8
ANNKI-d-c		MAL MARKET CONTRACTOR	-3.7	AM################################	3.8		-3.0
ANNKI-s-c			-6.0		-6.8		3.1
試作版							
1000			1000		10	00	
o 100			100			1	
			100		marrie .		
5V (G					Coresto		
0, 10			10	A C		10	
					S.		
1			1			1	47/
	3	10 Davia d. (a)		3 10		3	10
		Period (S)		Period (s)		Perio	a (s)

図 3.2-8b 長周期地震動予測地図(昭和南海地震)との比較。愛知県庁における、本年度の結果(赤~青)、平成23年度の結果(緑)、長周期地震動予測地図(黒)による速度波形と速度応答スペクトル(減衰5%)。昭和南海地震の破壊開始点に最も近いケース(h03)について、スペクトルを実線で描いている。

大阪府庁 NS	EW	UD
No14 0 Time (s) 6	00 0 Time (s) 600	0 0 Time (s) 600
25.	(cm/s) 32.4	-10.6
01-add_nm_vr1_fm1 31.0	-31.2	-8.2
01-adm_nm_vr1_fm1	16.6	
01-ads_nm_vr1_fm1	20.7	
02-add_nm_vr1_fm1	2 19.3	9.7
02-adm_nm_vr1_fm1)	
02-ads_nm_vr1_fm1		
03-add_nm_vr1_fm1 -13.0) 11.9	
03-adm_nm_vr1_fm1) 8.7	-66
03-ads_nm_vr1_fm1		
06-add_nm_vr1_fm1	-10.3	
06-adm_nm_vr1_fm1	16.8	
06-ads_nm_vr1_fm1		
07-add_nm_vr1_fm1	,	2.7
07-adm_nm_vr1_fm1 07-adm_nm_vr	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
07-ads_nm_vr1_fm1		-++.2 1 0
08-add_nm_vr1_fm1		-1.0
08-adm_nm_vr1_fm1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-1.5
08-ads_nm_vr1_fm1		-1.5
.NNKI-d-w		
.NNKI-s-w		
.NNKI-d-c 9.t		
.NNKI-s-c	-0.1	4./
式作版 16.	-22.0	-10.9
1000	1000	000
হ 100	100	100
C		
3 10	10	10
1		
3 10		N 10

図 3.2-8b つづき (大阪府庁について)。



図 3.2-9a 東京都庁における、最大速度値と速度応答値(固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、 減衰 5%)の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段 目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1~15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の 関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。



図 3.2-9b 愛知県庁における、最大速度値と速度応答値(固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、 減衰 5%)の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段 目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1~15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の 関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。



図 3.2-9c 大阪府庁における、最大速度値と速度応答値(固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、 減衰 5%)の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段 目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1~15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の 関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。



図 3.2-10 破壊開始点によるばらつき。灰色のヒストグラムは、破壊開始点が h01、h03、 h05 以外のケース。



図 3.2-11 No.6 の震源域に対して fmax、浅部領域のすべり速度関数と破壊伝播速度を変えた場合の影響評価。

3) 長周期地震動ハザード評価

本検討では、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示することを目標として いる。そこでまず、例示地点(東京都庁、愛知県庁、大阪府庁)におけるハザードカーブ を試算する。なお、ここでは本検討における全ての計算結果(369 ケース)に加え、平成 24 年度までの計算結果(100 ケース)もあわせて用いることとした。

まず、各震源域(図 3.2-2、No.1~15)についての条件付きハザードカーブを作成する。 この際、平成 24 年度までのシミュレーション結果について、本検討の結果と対応する震 源域で統合する。また、同じ震源域に対する結果に対しては、重みを等分配してハザード カーブを求める。次に、作成された各震源域についての条件付きハザードカーブから、確 率論的地震動ハザード評価に関する検討(地震調査委員会、2013b)で設定されている各 発生パターン(表 3.2-3、①~⑮)についてのハザードカーブを作成する(図 3.2-12)。1 地震型の発生パターン(①~⑪)は、震源域 No.1~11にそれぞれ対応しているが、2 地 震型の発生パターン(⑫~⑮)については、2 つの震源域についてのハザードカーブを包 絡するものとして作成する。最後に、各発生パターンに対して表 3.2-3に示した重みを付

してそれらを足し合わせることで、南海トラフの巨大地震全体での条件付きハザードカー ブを求める。こうして得られた東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における条件付きハザード カーブを図 3.2-13 に示す。また、同様に求めたその他の都府県庁所在地等における結果を 図 3.2-14 に示す。図 3.2-13 では東京都庁が他の2 地点よりもハザードが大きいという結 果となっているが、図 3.2-14 の大阪舞洲のように大阪平野内でもハザードレベルの高い地 点が存在しており、都府県庁所在地における点の結果だけでなく、面的な評価が重要であ ることを示している。そこで、条件付き超過確率 50%、10%、1%に対応する最大速度お よび速度応答スペクトル(周期5秒、7秒、10秒)についてのハザードマップを作成した (図 3.2-15)。大阪平野、濃尾平野を拡大してみると、大阪府庁や愛知県庁は平野内では ハザードの低い地域に位置していることが分かる。また、超過確率が 10%や 1%の地図を 見ると、平野部においてハザードが高いことが明らかである。図 3.2-15 では、関東平野、 濃尾平野、大阪平野に注目したが、これらの他に静岡県南部もハザードの高い地域となっ ている。この地域に対しては、全国1次地下構造モデルでは付加体がモデル化されており、 その領域は図 3.2-15 でハザードの高い領域にほぼ対応している。この領域内の4地点にお ける条件付きハザードカーブを図 3.2-16 に示す。付加体から離れるについてハザードレベ ルが低下しており、付加体の影響が大きいことが分かる。また、SZO017や SZO018 では ハザードカーブがステップ状に変化しているが、これらは浅部領域の東側に大すべり域を 配置した場合に振幅が極端に大きくなったことを反映しており、すべり速度時間関数の設 定によっては結果が大きく変わりうるものだと考えられる。

多数の計算結果の中から、各地点における代表的なシナリオを抽出する。ここでは、最 大クラスの地震(表 3.2-3 のパターン①~④)と既往最大地震に対応する 3 連動型(表 3.2-3 パターン⑤⑥)を対象として、応答スペクトルを基に代表シナリオを選定する。上記のハ ザードカーブあるいはハザードマップの作成では表 3.2-3 に示した「重み」を考慮したが、 この重みづけには現状では任意性がある。そのためここでは、最大クラスや3連動型に発 生パターンを限定することで「重み」によらない結果のとりまとめを試みる。平成 24 年 度までの計算結果も含めると、最大クラスの地震については137ケース、3 連動型につい ては 206 ケースの計算結果がある。それらの速度応答スペクトル(減衰定数 5%:水平 2 成分のうち大きい方を採用)についての平均値(相乗平均)、平均値+1σ、平均値+2σ、 最大値を求め、それぞれに対して周期3~10秒の帯域でスペクトル形状がもっとも良く合 う(残差二乗和が最小となる)シナリオを抽出した。参考として、中央値、第1四分位、 第3四分位についても同様の作業を行っている。例示の3地点に対して抽出した結果を図 3.2-17~図 3.2-19 に示す。各図には、応答スペクトルに加えて、代表シナリオに対する最 |大速度の区間分布、図 3.2-13 に示したハザードカーブにおける代表シナリオの位置づけ、 当該地点での速度波形も示している。図 3.2-4 で示したように、破壊開始点やアスペリテ ィ配置による影響は観測点によって異なっており、代表シナリオについても地点ごとに異 なるシナリオが選定されている。すなわち、東京都庁で抽出された代表シナリオが東京全 域に対しての代表シナリオとは限らないことに留意する必要がある。

39



図 3.2-12 東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における、南海トラフの地震の各発生パターン に対する最大速度値と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒)についての条件付 きハザードカーブ。



図 3.2-13 東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における、南海トラフの地震の全発生パターン に対する最大速度値と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒)についての条件付 きハザードカーブ。


図 3.2-14 条件付きハザードカーブ。



図 3.2-14 つづき。



表 3.2-3 確率論的地震動予測地図における南海トラフの地震の発生パターンと付与する 重み(地震調査委員会、2013b)。

発生パ	パターン	Z(日向灘)	A,B(南海)	C,D(東南海)	E(東海)	重み	深さタイプ	震源	湏 域
	1	↓			\	0.0125	а	1	
	2	←			\	0.0125	b	2	2
	3	←			\checkmark	0.0125	с	3	3
	4	<──			Ļ	0.0125	d	4	ł
1	5	×	\leftarrow		Ļ	0.1625	а	5	5
地	6	×	\leftarrow		Ļ	0.1625	с	6	6
震	$\overline{\mathcal{I}}$	↓		\rightarrow	×	0.0125	а	7	1
	8	↓		\rightarrow	×	0.0125	с	8	3
	9	×	\leftarrow	\rightarrow	×	0.025	а	ç	•
	10	×	\leftarrow	\rightarrow	×	0.025	с	1	0
	11	×	\checkmark		×	0.05	е	1	1
0	(12)	~	\rightarrow	↓	\rightarrow	0.05	а	12	13
∠ ∔⊮h	(13)	×	\leftrightarrow	<	\rightarrow	0.325	а	14	13
地重	(14)	K	\rightarrow	\leftrightarrow	×	0.025	а	12	15
辰	(15)	×	\leftrightarrow	${\longleftarrow}$	×	0.1	а	14	15
		0.15	1.0	1.0	0.75	1.0			
深さら	マイプ	a : 深さ10	~25km程度	の震源域	b : 深さ10	~40km程度	の震源域		
		c : 深さ0~	~25km程度の)震源域	d : 深さ0~	~40km程度の)震源域		

e: 深さ0~10km程度の震源域



図 3.2-15 条件付き超過確率 50%での、最大速度、速度応答(減衰 5%、周期 5 秒、7 秒、 10 秒)のハザードマップ。左図内の灰線で示した領域は平成 23、24 年度の計 算対象領域。右図は関東平野、濃尾平野、大阪平野についての拡大図であり、 図 14 のハザードカーブ算出地点も示している。



図 3.2-15 つづき(条件付き超過確率 10%について)。



図 3.2-15 つづき (条件付き超過確率 1%について)。



図 3.2-16 左:付加体(Vs=1000m/s)の層厚の分布。右:条件付きハザードカーブ。



※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-17a 東京都庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。上段 左:全シナリオの応答スペクトル(灰色)と代表シナリオのスペクトル(各 色:一点鎖線)。中段:各代表シナリオについての最大速度の空間分布。下段 左:各代表シナリオのハザードカーブ上での位置づけ。下段右:各代表シナ リオの速度波形。



※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-17b 東京都庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-18a 愛知県庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-18b 愛知県庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-19a 大阪府庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-19b 大阪府庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。

4) 大振幅長周期地震動に対する地盤の応答について

平成 24 年度に行った最大クラスの地震を対象としたシミュレーションでは、速度応答 が 1000cm/s 程度となるケースがあった。シミュレーションでは Vs=500m/s の工学的基盤 上での揺れを計算しているが、こうした大振幅の長周期地震動によって地盤の非線形性な どが生じるかどうかについて検討した。

まず、シミュレーションによる波動場がどの程度の歪みレベルであるかについて調べた。 対象としたのは、東京都庁で速度応答スペクトルが最大となった最大クラスの地震(平成 24 年度の検討ケース)と、南海トラフの地震の中では規模の小さい想定東海地震(平成 23 年度の検討ケース)である。それぞれの速度波形(図 3.2-20)が最大値となる時間付近 の歪みの分布を図 3.2-21a,b に示す。ここで示している歪みは、シミュレーションによる 地表面の速度場(東西南北に 1km 間隔で出力)を積分して得られる変位場を空間微分し て求めたものである。それぞれの歪みレベルは、想定東海では 10⁻⁵、最大クラスでは 10⁻⁴ のオーダーである。この歪みレベルにおいて、工学的基盤以深の地盤がどのような応答を 示すのかが要点となる。

福元ほか(2009)では、工学的基盤の一つとして扱われる堆積軟岩の三軸圧縮試験結果 と動的変形特性の実験結果がまとめられている。図 3.2-23 は、綱島台(横浜市港北区)で 採取した上総層群の軟岩(Vs=480m/s、VP=2280m/s;図 3.2-22)についての変形特性(G/ $G_0 - Y$ 関係)である。せん断剛性 Gは三軸圧縮試験より得られた変形係数 Eと PS 検層 から求めたポアソン比 v から [G=E{2(1+v)}]、せん断歪み Y は圧縮歪み ε との関係 [$Y=(1+v)\varepsilon$]から算出している。図 3.2-23 は単調載荷の結果であるが、乱れの少ない試料 では $Y=10^{-3}$ 程度までは剛性低下はほとんど認められない(図 3.2-24a)。なお、「乱れ」と は、試料採取時の振動やその後の応力解放によって試料内部に生じた微小なクラックのこ とを指している。

福元ほか(2009)では N 値が 30 以上、または Vs が 300m/s 以上の試料に対する動的 変形試験の結果も収集されている。図 3.2-24 は塑性指数毎にグループ分けした G/G_{0-Y} 関係である。塑性指数は粘土分含有率/シルト分含有率比と概ね線形の関係があり、塑性指 数が大きい(粘土分含有率が多い)ほど非線形化しにくい傾向がみられる。先に示した三 軸圧縮試験に用いた試料の塑性指数は約 30%であり図 3.2-24b に対応している。最も乱れ の少ないもので比較すると、動的試験(繰返し載荷)における剛性の低下は静的試験(単 調載荷)よりも少し小さな歪みから生じているが、歪みレベルはかなり一致している。 以上から、シミュレーションによる工学的基盤での歪みレベル(図 3.2-21)では非線形性 の影響はそれほど顕著ではないと考えられる。

54



図 3.2-20 東京都庁(TKY)における、(上)最大クラス地震と(下)想定東海地震による速度波形(0.3Hzのローパスフィルターを適用)。各波形の右上に記した最大振幅値(単位:cm/s)でそれぞれ規格化している。



図 3.2-21 (a)最大クラス地震と(b)想定東海地震による関東平野での歪み場。それぞれ図 20 の 220 秒付近と 100 秒付近に対応。左から南北圧縮、東西圧縮、せん断歪 み。▲は TKY の位置。





図 3.2-23 図 3.2-22 の試料についての *G*/*G*₀-*y*関係 [福元ほか(2009)の図 7]。ダイヤ 試料、チューブ試料は、ダイヤモンド・コアドリルおよびトリプルチューブ・ サンプラーにより採取したことを意味する。また、「乱れ」は、試料採取時の振 動やその後の応力解放によって試料内部に生じた微小なクラックのことを指し ている。



図 3.2-24 N>30 または V_S>300m/s の試料についての G/G₀-y関係[福元・他(2009) の図 12]。塑性指数(I_P)毎に層別されている。最も乱れの少ない試料を赤色で表示。(b)には福元・他(2009)図 8(No.2 の試料)の結果を併記。

(c) 結論および今後の課題

本検討では、長期評価に基づいて M8 クラスから最大クラスまでの地震を対象として 400 ケース弱の長周期地震動シミュレーションを実施した。計算に用いるシナリオの選定 では、破壊開始点を細かく設定することで最大速度、速度応答値のばらつき(分布形状) の幅をどの程度押さえられるかを検討した。平成 24 年度の検討における計算結果に比べ て振幅レベルが小さい傾向が見られ、主に震源モデルの設定に起因することが分かった。 ただし、いずれも「レシピ」に基づいて設定された震源モデルである。また、長周期地震 動予測地図(試作版)との比較から、本検討の計算では、破壊開始点による違いが現れや すく、震源域の東西延長上ではアスペリティからの寄与が効率よく重なり合って振幅が大 きな結果となる傾向があることが示唆された。平成 24 年度までの検討も含めた計算結果 をもとに長周期地震動の確率論的ハザード評価を試行した。低確率のハザードマップでは、 地下構造の影響を反映して平野部においてハザードが高くなる傾向が確認された。大きな ばらつきをもった多数の計算結果のとりまとめ方として、確率論的なハザード評価は有効 な方法であると考えられる。一方で、過去に発生した証拠のない最大クラスの地震、既往 最大と考えられる3連動型地震の2つのグループについて、特定の地点を対象として代表

57

シナリオの抽出を試行した。震源モデルの違いによる影響は地点ごとに異なるため、地点 ごとに異なるシナリオが代表として抽出された。このような取りまとめは、地点ごとに具 体的なシナリオを提示する方法として有効であろう。

これまでの検討では、「レシピ」に示された平均的な震源パラメータの設定に基づいたも のであり、「レシピ」の範囲内でのばらつきの評価となっている。今後は、長周期地震動だ けでなく海溝型地震の広帯域地震動評価に向けて震源時間関数やスケーリング則(アスペ リティ面積比など)等に関する検討・整理を行い、海溝型プレート間(巨大)地震の震源 モデルの改良を行うことが必要である。また、破壊伝播様式の複雑さの導入や、広帯域地 震動評価に向けて別途検討が進められている浅部・深部統合地盤モデルを地震動シミュレ ーションに組み入れていくことも必要である。本検討では、このように長周期地震動の確 率論的ハザード評価の手法を示すことはできたが、ここで試算した確率論的ハザード評価 の妥当性を検証するために、計算方法の改良や破壊開始点の設定をはじめとして、ばらつ きの幅ばかりでなく分布形状をも押さえるためのより適切なパラメータ設定方法の確立と それに基づく十分なシミュレーションが必要である。

(d) 引用文献

- Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.
- Geller, R. J., 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, **66**, 1501-1523.
- 福元俊一・吉田望・佐原守,2009, 堆積軟岩の動的変形特性,日本地震工学会論文集,9, 46-64. 地震調査委員会,2009,「長周期地震動予測地図」2009 年試作版,66pp.
- 地震調查委員会, 2009, 「長周期地震動予測地図」2009年試作版.
- 地震調査委員会,2012,「長周期地震動予測地図」2012年試作版-南海地震(昭和型)の 検討-.
- 地震調査委員会,2013a,南海トラフの地震活動の長期評価(第二版),94pp.
- 地震調査委員会,2013b, 今後の地震動ハザード評価に関する検討~2013年における検討 結果~付録.
- Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.
- 文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所, 2012, 平成 23 年度 長周期地震動予測地 図作成等支援事業 成果報告書.
- 文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所, 2013, 平成 24 年度 長周期地震動予測地 図作成等支援事業 成果報告書.
- 内閣府, 2011, 南海トラフの巨大地震モデル検討会 中間とりまとめ.
- 中村洋光・宮武隆, 2000, 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の 近似式, 地震 2, 53, 1-9.

3.3. 相模トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

相模トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(h)	扣当者
(1)	1브 크 1日

	所属機関	役職	氏名
独立行政法人	防災科学技術研究所	研究領域長	藤原 広行
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
独立行政法人	防災科学技術研究所	データセンター長	青井 真
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	前田 宜浩
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	岩城 麻子

(c) 事業の目的

相模トラフで発生するマグニチュード8程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザ ード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

相模トラフで発生するマグニチュード8程度以上の地震を対象として、震源パラメータ の不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成した。それぞれの震源モデルについて長周 期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによ りハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示した。

(b) 事業の成果

- 1) 震源パラメータの設定
- (A) 巨視的震源パラメータ

相模トラフで発生するマグニチュード(以下、M)8クラスの地震に関して、地震調査研 究推進本部(以下、地震本部)における議論に基づいて設定された「最大クラスの地震」 の震源域が首都直下地震モデル検討会(2013)に示されている。本検討では、南海トラフ の地震における領域区分や1923年大正関東地震の震源域、平成24年度の「長周期地震動 予測地図作成等支援事業」の検討を参考に、

- ・フィリピン海プレート上面の深さ方向について「浅部」、「中部」、「深部」に分割する。 このとき、プレート上面深さ 10km および 30km をそれぞれの境界とする。
- ・「浅部」と「中部」について、大正関東地震の震源域の東端を境界として東西に分割する。
- ・「浅部」、「深部」はそれぞれ単独では活動せず、常に「中部」と同時に活動する。

を仮定して「最大クラス」の地震の震源域を区分した。これにより、図 3.3-1 に示す No.1 ~No.8 の震源域が設定される。ここで、大正関東地震の震源域については、首都直下地震 モデル検討会(2013)に基づいている。

各領域を震源とする地震の規模については、3.1節で述べた通り、震源域全体の平均応力 降下量を海溝型プレート間地震の平均的な値である 3MPa (例えば、Kanamori and Anderson, 1975; Allmann and Shearer, 2009) と仮定して、震源域の面積より算出した(表 3.3-1)。

(B) 微視的震源パラメータ

各地震の微視的震源パラメータは、3.1節で述べた方針に従って設定した。このとき、浅 部領域のすべりの大きな領域については、震源域が西側のみ(No.3)または東側のみ(No.4) の場合には設定せず、浅部全体の20%の大きさで1個のみ配置することとした。

アスペリティ(強震動生成域)の配置に関して、一部を除いて首都直下地震モデル検討 会(2013)において M7 クラスのフィリピン海プレート上面の地震の震源域、および M8 クラスの地震のアスペリティを配置されていない

・蛇紋岩化域(おおむね千葉県北部)

・房総半島沖のスロースリップ域

・フィリピン海プレートの厚さが 15km 未満の領域

にもアスペリティが含まれるモデルとなっている。

以上により設定される震源モデルをここでは、「基本ケース」と呼ぶことにする。アスペ リティおよび破壊開始点位置を図 3.3-2 に示す。基本ケースの組み合わせは、表 3.3-2 に示 す 156 ケースとなっている。

(C) その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、3.1節で述べた通りに設定した。

(D) 震源モデルの追加

上記の基本ケース(計156ケース;表3.3-2)に対して、浅部の大すべり域を含む震源域 (No.6およびNo.8)のうち、特に計算波形の最大振幅に大きく影響を及ぼす「s1」のケー スについて、浅い部分における破壊過程の不確実性を考慮した以下の震源モデルを追加す る。

①浅部西側に大すべり域を配置したケース(s1)について、浅部の大すべり域のすべり 速度時間関数を中村・宮武(2000)から smoothed ramp に変更。

②浅部西側に大すべり域を配置したケース(s1)について、南海トラフの地震の検討に 基づき破壊伝播速度を 2.7km/s から 2.3km/s に変更。

また、平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」における検討では本検討

よりも小さいアスペリティを配置していたことから、アスペリティの大きさに関する不確 実性を考慮したモデルも追加した。ここでは、発生頻度が比較的高いと考えられる大正関 東地震に相当する震源域に対して、以下の震源モデルを追加する(図 3.3-3)。このとき、 アスペリティ配置はパターン3に基づいて設定した。

③領域 No.3(首都直下地震モデル検討会(2013)の大正地震に相当)に関して、アスペリティ数を4個としたもの(総面積は変わらず)

④領域 No.3(首都直下地震モデル検討会(2013)の大正地震に相当)に関して、アスペリティ面積を 1/2 としたもの(「レシピ」に従って実効応力等のパラメータを再設定)

さらに、No.1~No.8 で対応しない元禄関東地震の震源域について、首都直下地震モデル 検討会(2013)のモデルを参照して設定した(図3.3・4のNo.10)。あわせて、元禄地震で は破壊したが大正地震で破壊していない(「元禄地震-大正地震」)とされる房総半島南東 沖の地震の震源域も設定した(図3.3・4のNo.9)。このとき、巨視的震源パラメータは、震 源断層全体の平均応力降下量を3.0MPaと仮定して設定したが、アスペリティの数、位置 および大きさは首都直下地震モデル検討会(2013)の強震断層モデルにおける強震動生成 域に基づいて設定した(図3.3・5 右図)。ただし、実効応力等のパラメータの値については、 「レシピ」に従って設定しており、首都直下地震モデル検討会(2013)によるパラメータ (下記)と異なっている。

強震断層モデルの強震動生成域総面積=2384.2km² 強震断層モデルの地震モーメント=4.6×10²⁰Nm(Mw=7.7)※ 津波断層モデルの Mw=8.5(震源域全体) 強震動生成域の実効応力=25.0MPa(大正地震、元禄地震で共通)

※強震断層モデルの地震モーメントは強震動生成域のみによるものである

以上の追加モデルは、表 3.3-2 に赤字で示した 90 ケースである。それぞれの震源パラメ ータを表 3.3-3 に示す。

2) 計算結果

まず、基本ケース(156 ケース)について、東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁 における速度波形を図 3.3-6 に示す。いずれの地点においても、破壊開始点が南(h3)また は南東(h5)の場合に振幅が大きくなる。また、No.6 および No.8 では、西側の領域に浅 部大すべり域がある場合(s1)、継続時間の長い大振幅の波となっている。

No.8 の震源域に関してすべり速度時間関数あるいは破壊伝播速度を変えたケースの計算 波形を比較した例を図 3.3-7 に示す。西側の浅部大すべり域の震源時間関数を smoothed ramp 関数に変えた場合や破壊伝播速度を遅くした場合には、特に後続の振幅が大きく継続 時間が長い部分の振幅が小さくなる傾向が見られ、破壊伝播速度を遅くした場合に特にそ の傾向が顕著である。

No.3 の震源域に関してアスペリティ面積を変えたケースの計算波形を比較した例を図

61

3.3-8 に示す。大局的には工学的基盤上の最大速度では大きな違いは見られないものの、ア スペリティが小さいケース(P4 または P5)で最大速度が 2 倍近く大きくなっている場合 があるほか、卓越周期が変わるケースも見られる。

図 3.3-9 に、代表 4 地点(東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、さいたま県庁)における工 学的基盤上の最大速度(PGV)と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒;減衰定数 5%)の 頻度分布(ヒストグラム)を示す。全体的な傾向として、震源域が広いほど(マグニチュ ードが大きいほど)振幅レベルは高い。また、破壊が南(h3:黄緑のバー)あるいは南東 (h5:青のバー、h7:橙のバー)の場合に振幅が大きい。震源域が房総半島南東沖の場合 (No.2、4、9)は破壊開始点位置の違いによる振幅の違いが顕著でばらつきが大きい。

3) 長周期地震動ハザード評価

本年度の検討では、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示することを目標 としている。そこで、例として、これまでの計算結果を用いて代例示地点(東京都庁、神 奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁)におけるハザードカーブを計算する。

まず、各震源域(図 3.3-1 の No.1~8 および図 3.3-4 の No.9、10) についての条件付き ハザードカーブを作成する。このとき、破壊開始点やアスペリティ位置等が異なる各ケー スの「起こりやすさ」に関する情報は得られていないため、ここでは重みを等配分した。 次に、作成された各震源域についてのハザードカーブから、各領域に対して重みを付して それらを足し合わせることで、相模トラフの M8 クラスの地震全体での条件付きハザード カーブを求める。

各震源域に対する重みを付すにあたって、以下の3つのグループに分ける。

①大正関東地震タイプ(平均発生間隔はおおむね 200~400 年)。

②元禄関東地震またはそれ以上(平均発生間隔2300年)。

③房総半島南東沖の地震

No.1~No.10の震源域について、

①No.1 および No.3
②No.5~8 および No.10
③No.2, No.4 および No.9

と分けられる。③の地震については過去に発生したことが知られていないが、房総半島南 東沖にひずみが蓄積している可能性が指摘されていること(例えば、西村、2012)や、過 去に発生していても陸域に証拠が残りにくいために見落とされている可能性があることを 考慮して、①に含めて評価する。ただし、過去の地震の痕跡が見つかっていないことを踏 まえて、①の重みを大きくし、①:③を 3:1 とする。①が 200~400 年間隔、②が 2300 年 間隔であることから、

 $(1)(3): (2)=7:1, (1): (3)=3:1 \rightarrow (1): (2): (3)=21:4:7$

とした。それぞれのグループ内の重みは、地震の規模に応じて、確率論的地震動ハザード 評価で用いられている b 値が 0.9 のグーテンベルグ・リヒターの関係式に合うように配分し た。このとき、グループ内で規模(M)に「抜け」がある場合は、他の規模に配分する。以 上より設定される重みを表 3.3-4 に示す。

このようにして試算したハザードカーブを図 3.3-10 に示す。同様の作業を面的に行い、 ここでは、地震動予測式と同様に対数正規分布が仮定できると考え、条件付超過確率が 50% (中央値)、15.9%(対数正規分布での+1 σ に相当)となる地震動強さの分布をマップとし て表示することにより「長周期地震動ハザードマップ」とする。最大速度および速度応答 スペクトル(減衰定数 5%;周期 5 秒、7 秒、10 秒)を対象としたマップを図 3.3-11 に示 す。図 3.3-11 では、参考のため、条件付超過確率が 2.3%(対数正規分布での+2 σ に相当) のマップも示している。

もう一つのまとめ方として、各地点における代表的なシナリオを抽出することを試みる。 ここでは、3 つのグループごとに、応答スペクトルを基に代表シナリオを選定する。相対速 度応答スペクトル(減衰定数 5%;水平2成分のうち大きい方を採用)についての平均値(相 乗平均)、平均値+1σ、平均値+2σ、最大値を求め、それぞれに対して周期 3~10 秒の帯 域でスペクトル形状が最も良く合う(残差二乗和が最小となる)シナリオを抽出した。東 京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁の4地点についての結果を図 3.3-12 に示す。最 大クラスと+2σはほぼ同じシナリオが抽出されている。ただし、本検討では破壊伝播の不 均質性を考慮していないためにディレクティビティ効果が強く出すぎていることや浅部の 大すべり域の破壊が深部と同様である仮定のもとでの結果のために過大評価されている可 能性があり、これら最大クラスのシナリオとして抽出された波形についての取り扱いには 十分な注意が必要である。

(c) 結論ならびに今後の課題

本検討では、相模トラフの M8 クラスの地震を対象として、震源域、破壊開始点および アスペリティ位置の不確実性を考慮した多数の震源モデルによる長周期地震動シミュレー ションを実施し、各震源域の地震の「起こりやすさ」をあわせて考慮することにより長周 期地震動ハザード評価を試み、ハザードカーブやハザードマップとして提示した。

本検討で設定した震源モデル群において、地震ハザード評価に必要な不確実性について 多くを考慮できつつあるものの、上記の検討からもアスペリティの配置や大きさに関する 不確実性の考慮が平成24年度の検討を含めてもまだ不十分であると言え、実用的な確率論 的ハザード評価を行うためには、さらに多くの震源モデルによる検討が必要である。また、 本検討で設定した領域区分および各領域に対する「重み」は、現状の研究成果や知見に基 づいてはいるものの、確率論的な長周期ハザード評価を実施するために仮に設定したもの である。一方で、相模トラフの地震に関しては、マグニチュード8クラスの地震の震源域 が首都圏直下まで拡がることや、今回対象としなかったマグニチュード7クラスの地震の 発生が切迫しているとされていることから、今後は短周期地震動も含めた広帯域地震動ハ ザード評価を進める必要がある。

(d) 引用文献

- Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.
- 地震調査委員会,2012,「長周期地震動予測地図」2012年試作版-南海地震(昭和型) の検討-.
- Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.
- 西村卓也,関東南部の地震間地殻変動とプレート間カップリング,地震予知連絡会会報, 88,521-555.
- 首都直下地震モデル検討会(内閣府),2013,首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ 沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書.



図 3.3-1 相模トラフの M8 クラスの地震の震源域 (No.は表 3.3-1 と対応)。





図 3.3・2 アスペリティ(強震動生成域;赤の□など)と破壊開始点(赤の☆)の配置。

Na	し 日相的パラメータ					微視的/	パラメータ				
INO.	巨祝のパイノ	×->		m1-1	m1-2	m2-1	m2-2	d-1	d-2	s1, s2	背景領域
1	面積[km²]	7,950	面積[km²]	1,090	500						6,360
	M_0 [Nm]	8.7E+20	M_0 [Nm]	2.9E+20	9.1E+19						4.9E+20
20%	すべり量 [m]	2.7	すべり量 [m]	6.7	4.5						1.9
	Mw	7.9	実効応力 [MPa]	15.0	15.0						2.2
2	面積[km²]	15,030	面積[km ²]			2,010	1,000				12,030
	M_0 [Nm]	2.3E+21	$M_0 [Nm]$			7.4E+20	2.6E+20				1.3E+21
20%	すべり量 [m]	3.7	すべり量 [m]			9.1	6.4				2.6
	Mw	8.2	実効応力 [MPa]			15.0	15.0				2.2
3	面積[km ²]	9,990	面積[km ²]	1,090	500						8,400
	M_0 [Nm]	1.2E+21	M_0 [Nm]	3.3E+20	1.0E+19						6.9E+20
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.5	5.0						2.4
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	18.8	18.8						2.8
4	面積[km²]	21,510	面積[km²]			2,010	1,000				18,500
	M_0 [Nm]	3.9E+21	M_0 [Nm]			8.8E+20	3.1E+20				2.7E+21
14%	すべり量 [m]	4.5	すべり量 [m]			10.9	7.7				3.6
	Mw	8.3	実効応力 [MPa]			21.5	21.5				3.1
5	面積[km²]	22,990	面積[km ²]	1,090	500	2,010	1,000				18,390
	M_0 [Nm]	4.3E+21	M_0 [Nm]	4.0E+20	1.3E+19	1.0E+21	3.5E+20				2.4E+21
20%	すべり量 [m]	4.6	すべり量 [m]	9.1	6.2	12.4	8.7				3.2
	Mw	8.4	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0				1.6
6	面積[km²]	31,490	面積[km²]	1,090	500	2,010	1,000			1,700	25,190
	$M_0 [Nm]$	6.9E+21	$M_0 [Nm]$	4.6E+20	1.4E+20	1.1E+21	4.0E+20			8.9E+20	3.9E+21
20%	すべり量 [m]	5.4	すべり量 [m]	10.3	7.0	14.0	9.9			12.9	3.8
	Mw	8.5	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0			15.0	1.4
7	面積[km ²]	31,280	面積[km ²]	1,090	500	2,010	1,000	830	830		25,020
	$M_0 [Nm]$	6.8E+21	$M_0 [Nm]$	5.0E+20	1.6E+20	1.3E+21	4.4E+20	3.3E+20	3.3E+20		3.8E+21
20%	すべり量 [m]	5.4	すべり量 [m]	11.3	7.6	15.3	10.8	9.9	9.9		3.8
	Mw	8.5	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		1.3
8	面積[km ²]	39,790	面積[km ²]	1,090	500	2,010	1,000	830	830	1,700	31,830
	M_0 [Nm]	9.8E+21	$M_0 [Nm]$	5.4E+20	1.7E+20	1.4E+21	4.7E+20	3.6E+20	3.6E+20	1.1E+21	5.5E+21
20%	すべり量 [m]	6.1	すべり量 [m]	12.2	8.3	16.6	11.7	10.7	10.7	15.3	4.3
	Mw	8.6	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	1.2

表 3.3-1 長周期地震動ハザード評価のための震源パラメータ(基本モデル)。mは中部、dは深部、1は西部、2は東部。



図 3.3-4 追加した房総半島南東沖の地震 (No.9) および元禄地震 (No.10) の震源モデル。 星印は破壊開始点位置 (※h1~h4 は図 3.3-2 と同じ位置)。



強震断層モデル



図 3.3-5 左:震源域(青+桃が元禄地震)、右:強震断層モデル(○が強震動生成域で数 字は表 3.3-3 のアスペリティ番号と対応)。(首都直下地震モデル検討会(2013) に加筆)。

領域 No.	強震動生成域	大すべり域	破壞開始点	小計
1	3	1*	4	12
2	3	1*	4	12
3	3	1*	4	12
4	3	1*	4	12
5	3	1*	6	18
6	3	2	6	36
7	3	1*	6	18
8	3	2	6	36
6 (smoothed ramp)	3	1 (s1)	6	18
6 (Vr=2.3 km/s)	3	1 (s1)	6	18
8 (smoothed ramp)	3	1 (s1)	6	18
8 (Vr=2.3 km/s)	3	1 (s1)	6	18
3(アスペリティ 4 個)	1	1*	4	4
3(アスペリティ面積 1/2)	1	1*	4	4
9(房総半南東沖)	1	1*	4	4
10(元禄関東地震)	1	1*	6	6
	 計			156+ <mark>90</mark>

表 3.3-2 震源モデルのケース。黒字は基本ケース、赤字は追加ケース。

* は「大すべり域」を配置しない1ケースを表す

N.	No 巨相的パラメータ					微視的	パラメータ				
INO.	旦 祝 町 ハフ	>->		m1-1a	m1-1b	m1-2a	m1-2b				背景領域
3b	面積[km ²]	9,990	面積[km²]	550	540	250	250				8,400
	M_0 [Nm]	1.2E+21	$M_0 [Nm]$	1.7E+20	1.6E+19	5.1E+19	5.1E+19				8.0E+20
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.5	7.4	5.0	5.0				2.4
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	18.8	18.8	18.8	18.8				2.0
3c	面積[km ²]	9,990	面積[km ²]	550		250					9,190
	M_0 [Nm]	1.2E+21	$M_0 [Nm]$	1.7E+20		5.1E+19					1.0E+21
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.4		5.0					2.7
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	37.7		37.7					4.6
				1)	2	3	4	5	6	\bigcirc	背景領域
9*	面積[km ²]	8,050	面積[km ²]		306		315				7430
	$M_0 [Nm]$	8.9E+20	$M_0 [Nm]$		7.4E+19		7.7E+19				7.4E+20
8%	すべり量 [m]	2.7	すべり量 [m]		6.0		6.1				2.5
	Mw	7.9	実効応力 [MPa]		38.9		38.9				10.8
10*	面積[km ²]	18,030	面積[km ²]	313	306	401	315	314	474	262	15650
	M_0 [Nm]	3.0E+21	$M_0 [Nm]$	1.1E+20	1.0E+20	1.6E+20	1.1E+20	1.1E+20	2.0E+20	8.3E+19	2.1E+21
13%	すべり量 [m]	4.1	すべり量 [m]	8.5	8.4	9.6	8.5	8.5	10.5	7.8	3.3
	Mw	8.2	実効応力 [MPa]	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	5.0

表 3.3-3 長周期地震動ハザード評価のための震源パラメータ(追加モデル)。

* アスペリティの数、位置および面積を首都直下地震モデル検討会(2013)を参照して設定

	NS	EW	UD
	[[·····	l
No.01P1s0h1	-34.9	-18.1	-8.4 2.9
No.01P1s0h2	51.9	26.4	20.0
No.01P1s0h4	-10.4	5.8	3.5
No.01P2s0h1	-15.4	-16.2	<u></u>
No.01P2s0h2	30.5	22.3	-20.7
No.01P2s0h4	-13.8	13.2	-8.8
No.01P3s0h1	-15.6	-13.8	-5.2
No.01P3s0h2	39.4	36.8	14.6
No.01P3s0h4	-12.4	-10.3	5.8
No.02P1s0h3	17.4	4.0	6./
No.02P1s0h4	-70.5	67.0	-35.1
No.02P1s0h6	-8.2	12.7	-5.0
No.02P2s0h3	4.4	5.0	
No.02P2s0h4	-18.7	-34.8	-12.8
No.02P2s0h5	-8.9	-13.1	6.6
No.02P3s0h3	-10.8	-11.9	-4.5
No.02P3s0h4	53.1	53.3	
No.02P3s0h5	7.6	-12.2	3.9
No.03P1s0h1	38.7	-21.1	-9.7
No.03P1s0h2	59.3	-8.3	
No.03P1s0h3	11.9	7.1	-5.3
No.03P2s0h1	25.9		-10.6
No.03P2s0h2	-17,4		
No.03P2s0h3	-15.6	14.8	-9.8
No.03P3s0h1	27.0	-26.2	8.4
No.03P3s0h2	-17.6		
No.03P3s0h3	-14.0		7.1
No.03P3s0n4	-18.4	14.8	-10.2
No.04P1s0h4	-6.9	5.2	3.7
No.04P1s0h5	-9.1	<u>&</u>	-5.8
No.04P1s0h6	10.0	8.3	4.6
No.04P2s0h4	5.4	-7.6	4.1
No.04P2s0h5	-24.4		<u></u>
No.04P2s0h6	-13.9	17.6	6.2
No.04P3s0h4	-7.5	-7.2	4.3
No.04P3s0h5	-10.5	<u> </u>	-5.0
No.04P3s0h6	47.1	-24.8	-10.6
No.05P1s0h2	-17.1	-10.3	3.5
No.05P1s0h3		40.2	
No.05P1s0h4	89.3	-84.1	-51.5
No.05P1s0h6	-13.7	-20.7	6.5
No.05P2s0h1			-12.6
No.05P2s0h2	-21.1		
No.05P2s0h4	-19.9	21.2	-12.4
No.05P2s0h5	-37.8		33.2
No.05P2s0h6	-29.7	-31.5	
No.05P3s0h2	-21.5	-18.9	13.6
No.05P3s0h3	49.3	45.6	-21.9
No.05P3s0h4	-17.7	73.6	29.6
No.05P3s0h6	-16.5	23.3	11.6
No.06P1s1h1	66.0		-22.4
No.06P1s1h2		135.0	
No.06P1s1h3		46.9	
No.06P1s1h5			<u>80.0</u>
No.06P1s1h6			-59.3
No.06P2s1h1	-40.0	26.9	-22.2
No.06P2s1h3			
No.06P2s1h4		<u>50.4</u>	<u></u>
No.06P2s1h5			-58.3
110.00F251110	Construction of the second sec	A Ashell Ashell Construction of the second	1 miles
	0 100 200 30 Time (s)	0 0 100 200 300 Time (s)	0 100 200 300 Time (s)

図 3.3-6a 東京都庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数値 は最大速度(単位は cm/s)。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。

ipP3s1h12 ipP3s1h2 ipP3s1h3 ipP3s1h4 ipP1s2h1 ipP1s2h2 ipP1s2h4 ipP1s2h5 ipP2s2h2 ipP2s2h4 ipP2s2h5 ipP2s2h6 ipP3s2h4 ipP3s0h4 ipP3s0h5 ipP3s0h6 ipP3s0h7 ipP3s0h8 ipP3s0h6 ipP3s0h6 ipP3s0h6 ipP3s0h6 ipP3s0h6 ipP3s1h13 ipP2s1h14 ipP2s1h13		$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1 22
pP3s1h1 pP3s1h2 pP3s1h3 pP3s1h4 pP1s2h1 pP1s2h2 pP1s2h4 pP2s2h4 pP2s2h4 pP2s2h4 pP2s2h4 pP2s2h4 pP2s2h4 pP3s2h3 pP3s2h4 pP3s2h4 pP3s2h5 pP3s2h4 pP3s2h5 pP3s2h4 pP3s2h5 pP3s2h6 pP3s2h6 pP3s0h1 pP3s0h4 pP3s0h6 pP3s0h6 pP3s0h6 pP3s0h6 pP3s1h1 pP2s1h5 pP2s1h5 <td< th=""><th></th><th>$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$</th><th></th></td<>		$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
PP3s1102 PP3s1102 PP3s1103 PP3s1104 PP3s1105 PP3s1105 PP1s2101 PP1s2103 PP1s2103 PP1s2103 PP1s2104 PP1s2105 PP1s2104 PP2s2104 PP2s2104 PP2s2104 PP2s2104 PP2s2104 PP2s2105 PP3s2105 PP3s2105 PP3s2104 PP3s2104 PP3s2105 PP3s2104 PP3s2104 PP3s2105 PP3s2104 PP3s2105 PP3s2105 PP3s2004 PP2s0016 PP3s0016 PP3s0017 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s0018 PP3s019 PP3s011 PP3s011 PP3s016 PP3s016 PP3s016 PP3s016 PP3s011 PP3s011 PP3s011 PP3s011 PP3s0114 PP3s1		$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
PP3s1113 PP3s1145 PP3s1145 PP3s1145 PP3s1145 PP1s2h13 PP1s2h2 PP1s2h3 PP1s2h3 PP1s2h4 PP1s2h4 PP1s2h5 PP2s2h4 PP2s2h5 PP2s2h4 PP2s2h5 PP2s2h5 PP2s2h5 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h7 PP3s2h8 PP3s2h1 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h7 PP3s0h8 PP3s1114 PP3s1114 PP3s114 PP3s114 PP3s1	-87.4 -126.7 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -20.6 -21.1 -33.0 -23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 -36.7 -24.0 -60.8 -19.7 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -33.5 -36.7 -24.0 -24.1 -24.2 -24.2 -24.2 -357.8 -21.4 -24.2 -36.0 -21.8 -24.1 -36.0 -24.2 -36.0 -24.2 -36.0		29
PP3s11h4 PP3s1h5 PP3s1h5 PP3s1h5 PP3s1h5 PP1s2h1 PP1s2h1 PP1s2h2 PP1s2h3 PP1s2h3 PP1s2h4 PP1s2h4 PP1s2h5 PP2s2h6 PP2s2h6 PP2s2h6 PP2s2h7 PP2s2h8 PP2s2h8 PP2s2h4 PP2s2h6 PP2s2h7 PP2s2h8 PP2s2h8 PP2s2h9 PP2s2h4 PP2s2h6 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h4 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s0h1 PP1s0h5 PP2s0h2 PP3s0h4 PP3s0h4 PP3s0h5 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h7 PP3s0h8 PP3s0h8 PP3s0h4 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s1h1 PP3s1h1	130.7 126.7 126.7 20.6 79.4 15.5 20.6 79.4 15.5 23.1 23.30 23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 36.7 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 36.7 -24.0 -40.8 -19.7 78.2 -24.2 -17.7 -17.7 -105.1 -36.0 39.6 21.8 -26.1 -42.6 -43.7 -26.1 -24.5 -25.3 -24.5	$\begin{tabular}{ c c c c c } \hline & & & & & & & & & & & & & & & & & & $	-50
P3351h6 P3351h6 P3351h6 P351h6 P351h6 P351h6 P1s2h1 P1s2h2 P1s2h2 P1s2h3 P1s2h3 P1s2h4 P1s2h5 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h5 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h5 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h7 P3s2h8 P3s2h8 P3s2h9 P3s2h6 P1s0h12 P1s0h5 P1s0h5 P2soh6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s1h14 P2s1h5 P2s1h5 P2s1h6 P2s1h6 P3s1h14	126.7 20.6 79.4 15.5 97.4 23.1 33.0 -23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 -33.5 -33.5 -24.0 -41.1 -22.3 -45.1 -24.0 -33.5 -36.7 -24.0 -24.0 -24.1 -22.3 -41.1 -22.3 -45.1 -24.2 -24.2 -24.2 -35.6 -17.7 -17.7 -105.1 -36.0 39.6 21.8 -25.1 -26.1 -42.6 -43.2 38.6 -25.3 -25.3 -24.5	$\begin{array}{c c} & & & & & & & & & & & & & & & & & & &$	
PP1s2h1 PP1s2h1 PP1s2h1 PP1s2h1 PP1s2h1 PP1s2h2 PP1s2h3 PP1s2h4 PP1s2h4 PP1s2h5 PP1s2h5 PP2s2h1 PP2s2h2 PP2s2h3 PP2s2h4 PP2s2h3 PP2s2h4 PP2s2h5 PP2s2h5 PP2s2h5 PP3s2h2 PP3s2h4 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h7 PP3s2h8 PP3s2h8 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h6 PP3s0h7 PP3s0h8 PP3s1h1 PP3s1h1 PP3s1h1 PP3s1h2 PP3s1h3 PP3s1h4 PP3s1h3	53.2 20.6 79.4 15.5		-11 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2
P1s2h1 PP1s2h2 PP1s2h3 P1s2h4 PP1s2h4 PP1s2h5 PP1s2h6 P2s2h1 P2s2h5 P2s2h6 P2s2h6 P3s2h2 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h4 P1s0h5 P2soh6 P2s0h6 P2s0h1 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s1h13 P2s1h14 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 <	20.6 79.4 79.4 15.5 	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
P132112 PP132113 PP132143 PP132143 PP132145 PP232143 PP232143 PP232143 PP232143 PP232143 PP232143 PP232143 PP332143 PP332144 PP332143 PP331143	79.4 15.5 97.4 23.1 -33.0 -23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 -33.5 -33.5 -36.7 -24.0 -33.5 -34.7 -17.7 -17.7 -105.1 -33.6 -21.8 -24.1 -33.6 -21.8 -24.1 -26.1 -26.1 -26.1 -26.1 -26.1 -26.1 <td>$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$</td> <td>23 11 </td>	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	23 11
P132113 P132143 P132143 P2132143 P2232143 P2232143 P2232143 P2322143 P2322143 P2322143 P2322143 P332143 P332143 P332143 P332144 P332143 P332144 P332143 P332144 P332143 P332144 P332143 P332144 P332143 P332144 P130143 P130143 P130144 P230143 P230143 P230144 P230144 P230145 P330144 P230145 P330144 P230145 P330144 P330144 P330144 P330145 P330144 P330144 P330144 P330144 P330144 P330144 P331111 P331111 P331111 P331111 P331111 P331111 P331111 P331111 P331111 P3311	15.5	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	11
P1s21h5 PP1s2h5 PP1s2h5 PP1s2h5 PP2s2h1 PP2s2h2 PP2s2h3 PP2s2h4 PP2s2h4 PP2s2h3 PP2s2h4 PP3s2h5 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s2h6 PP3s0h3 PP1s0h4 P1s0h4 P1s0h4 P2s0h1 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h3 P3s1h4 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h4 P3s1h3 P3s1h4	→→→↓↓↓↓ -97.4 23.1 -33.0 -23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 -36.7 -24.0 -40.1 -22.3 -45.1 -33.5 -36.7 -24.0 -24.0 -40.1 -22.3 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.0 -24.1 -24.0 -24.2 -24.1 -24.2 -24.2 -24.2 -24.1 -24.2 -24.1 -24.2 -24.1 -24.2 -24.1 -24.2 -24.2 -24.2 -24.1 -25.3 -25.3 -25.3 -25.3 -25.3 -24.5 -26.0		
P1321b6 PP1321b6 PP2321b1 PP2321b1 PP2321b1 PP2321b1 PP3321b1 PP3301b1	23.1 -33.0 -23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 -36.7 -24.0 -24.1 -25.7.8 -17.7 -17.7 -105.1 -36.0 -39.6 -21.8 -26.1 -42.6 -33.6 -25.3 -25.3 -24.5 -26.0 -24.5 -25.3 -24.5	$\begin{array}{c} & 28.2 \\ & 35.9 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -25.3 \\ & -24.4 \\ & -34.6 \\ & -34.9 \\ & -35.9 \\ & -21.1 \\ & -35.9 \\ & -21.1 \\ & -35.9 \\ & -21.1 \\ & -35.9 \\ & -21.1 \\ & -35.9 \\ & -35.9 \\ & -35.9 \\ & -21.1 \\ & -35.9 \\ &$	11
P2s2h1 P2s2h2 P2s2h3 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h4 P3s2h1 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h4 P2s0h5 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h6 P3s1h1 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h5 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h4 P3s1h4		$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	-14 -11 -11 -33 -34 -34 -34 -34 -34 -34 -14 -34 -14 -34 -14 -15 -15 -22 -24 -24 -24 -14 -15 -24 -24 -24 -24 -24 -24 -24 -24
P252h2 P252h3 P252h4 P252h4 P352h2 P352h2 P352h3 P352h4 P352h4 P352h4 P352h4 P352h5 P352h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h6 P3s0h3 P2s0h4 P3s0h3 P2s0h4 P3s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P3s1h1 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 <td< td=""><td>-23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 36.7 -24.0 -24.2 -24.5 -24</td><td>$\begin{array}{c} & -25.3 \\ &$</td><td></td></td<>	-23.6 -41.1 -22.3 -45.1 -33.5 36.7 -24.0 -24.2 -24.5 -24	$\begin{array}{c} & -25.3 \\ &$	
P2s2h3 P2s2h4 P2s2h4 P2s2h5 P3s2h1 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P3s2h6 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P2s0h1 P2s0h1 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P1s1h3 P1s1h3 P1s1h3 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 <td< td=""><td>→ -41.1 -22.3 -45.1 → -33.5 36.7 -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.1 ↓ -24.2 → -21.4 ↓ -17.7 → -105.1 → -36.0 → -36.0 → -36.0 → -42.6 → -42.6 → -42.6 → -42.6 → -25.3 → -25.3 → -24.5 > -24.5</td><td>$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$</td><td></td></td<>	→ -41.1 -22.3 -45.1 → -33.5 36.7 -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.0 → -24.1 ↓ -24.2 → -21.4 ↓ -17.7 → -105.1 → -36.0 → -36.0 → -36.0 → -42.6 → -42.6 → -42.6 → -42.6 → -25.3 → -25.3 → -24.5 > -24.5	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
P2s2h4 P2s2h5 P2s2h6 P3s2h1 P3s2h2 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P2s0h2 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P3s0h6 P3s0h5 P3s0h6 P3s1h1 <td< td=""><td>-22.3 -45.1 -33.5 -33.5 -33.5 -33.5 -33.5 -32.7 -24.0 -19.7 -78.2 -24.2 </td><td>$\begin{array}{c c} & &$</td><td>-1- 37 -1- 37 -1- 18 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10</td></td<>	-22.3 -45.1 -33.5 -33.5 -33.5 -33.5 -33.5 -32.7 -24.0 -19.7 -78.2 -24.2 	$\begin{array}{c c} & & & & & & & & & & & & & & & & & & &$	-1- 37 -1- 37 -1- 18 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10
P2s2h5 P2s2h6 P2s2h6 P3s2h1 P3s2h2 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P2s0h6 P2s0h2 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P3s0h5 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h4	-45.1 -33.5 		33 18 19 19 22 9 33 11 -11 -11 -11 -11 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17 -18 -19 -11 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -21 -22 -21 <tr< td=""></tr<>
P2s2h6 P3s2h1 P3s2h2 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P1s0h3 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h4 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4	33.5 36.7 -24.0 √	34.9 -35.9 -21.1 51.5 23.3 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.4 -31.6 -48.3 -11.3 -11.2 -31.6 -43.4 -35.8 -24.4 -35.8 -24.1 -36.6 -24.4 -33.2 -17.8	
P3s2h1 P3s2h3 P3s2h3 P3s2h3 P3s2h4 P3s2h4 P3s2h5 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h4 P2s0h1 P2s0h1 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P3s0h2 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h5 P3s0h5 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h3 P1s1h3 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h1 <td< td=""><td></td><td></td><td></td></td<>			
P3s2h2	-24.0 -24.0 -19.7 -28.2 -24.2 -57.8 -21.4 -57.8 -21.4 -57.8 -17.7 -105.1 -36.0 -39.6 -21.8 -25.3 -26.1 -42.6 -42.6 -42.5 -25.3 -25.3 -24.2 -24.5 -	$\begin{array}{c}$	
P3s2h3 P3s2h4 P3s2h6 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h6 P2s0h7 P2s0h8 P3s0h1 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h1 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4	60.8 -19.7 78.2 -24.2 -27.8 -21.4 -21.8 -21.8 -21.8 -22.1 -23.0 -24.5 -25.3 -24.5 -24.5 -24.5	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	-22 9 -32 -12 -13 -12 -13 -4 -4 -4 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -6 -7 -7 -6 -7 -7 -7 -6 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7
P3s2h4 P3s2h5 P3s2h5 P1s0h1 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h5 P3s0h6 P3s0h2 P3s0h5 P3s0h4 P1s1h1 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 <td< td=""><td>-19.7 78.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -26.1 -26.1 -42.6 -43.7 -26.1 -42.6 -43.7 -25.3 -25.3 -24.5 -24.5 -24.5 -24.5 -24.2 -17.7 -10.5 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -17.7 -10.5 -24.2 -24.5 -2</td><td>$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$</td><td></td></td<>	-19.7 78.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -26.1 -26.1 -42.6 -43.7 -26.1 -42.6 -43.7 -25.3 -25.3 -24.5 -24.5 -24.5 -24.5 -24.2 -17.7 -10.5 -24.2 -24.2 -24.2 -24.2 -17.7 -10.5 -24.2 -24.5 -2	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
P3s2h5 P3s2h6 P3s2h6 P3s2h6 P1s0h1 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h2 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h3 P1s1h3 P1s1h3 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h3	78.2 -24.2 -57.8 -21.4 -88.7 -17.7 -17.7 -105.1 -39.6 -21.8 -21.8 -21.8 -26.1 -42.6 -42.6 -42.6 -25.3 -25.3 -24.5 -26.0	Main 81/ 31.0 31.0 12.5	33 11 -11 -12 -13 -14 -15 -17 -16 -17 -18 -11 -13 -14 -15 -17 -18 -19 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17 -18 -19 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17 -18 -19 -11 -11 -11 -11 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17 -18 -19 -110 -111
P3s2h6 P1s0h1 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P1s0h5 P1s0h6 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h2 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 <td>-24.2 -57.8 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -36.0 -39.6 -39.6 -21.8 -21.8 -25.1 -42.6 -43.2 -43.2 -25.3 -25.3 -24.5 -2</td> <td></td> <td></td>	-24.2 -57.8 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -21.4 -36.0 -39.6 -39.6 -21.8 -21.8 -25.1 -42.6 -43.2 -43.2 -25.3 -25.3 -24.5 -2		
P1s0h1 P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h2 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h4 P3s0h2 P3s0h4 P3s0h4 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h4 P2s1h1 P2s1h4 P2s	-57.8 -21.4 -21.4 -88.7 -105.1 -105.1 -105.1 -36.0 -39.6 -21.8 -43.7 -26.1 -42.6 -43.2 -43.2 -43.2 -25.3 -25.3 -24.5 -24.5 -24.5 -24.5 -24.5		
P1s0h2 P1s0h3 P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P1s1h1 P1s1h4	-21.4 -21.4 		
P1s0h3 P1s0h4 P1s0h4 P1s0h6 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P1s1h1 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h4 P2s1h2 P2s1h4 P2s	38./ -17.7 -17.7 -105.1 -36.0 -39.6 21.8 -43.7 -26.1 -43.2 -38.6 -25.3 -25.3 -24.5 86.0	48.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -11.3 -13.2 -33.2 -35.8 -24.4 -36.6 -24.4 -36.6 -24.4 -35.2 -17.8	38
P1s0h4 P1s0h5 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h1 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P2s1h1 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h2 P3s1h2 P2s1h5 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h2	-11/, 		
P1s0h5 P1s0h6 P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h5 P3s0h2 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2			
P1s0h6 P2s0h1 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h2 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P2s1h4		$\begin{array}{c} & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & $	
P2s0h1 P2s0h2 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h1 P3s0h2 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h5 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h5 P1s1h6 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P3s1h2 P3s1h2 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h2 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4		42.4 	
P2s0h2 P2s0h3 P2s0h3 P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h1 P3s0h2 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h7 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h1 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3c1h4			
P2s0h3 P2s0h4 P2s0h4 P2s0h6 P3s0h2 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P3s0h7 P3s0h8 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h1 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3c1h3		243 	
P2s0h4 P2s0h5 P2s0h6 P3s0h2 P3s0h4 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P1s1h8 P1s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h1	-42.6 -43.2 -43.2 		
P2s0h6 P2s0h6 P2s0h6 P3s0h1 P3s0h2 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h3 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h2 P1s1h2 P1s1h4 P2s1h3 P2s1h3 P2s1h4 P2s1h4	-43.2 -43.2 		2
P2s0h6 P3s0h1 P3s0h1 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h4			
P3s0h1 P3s0h2 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h3 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P1s1h8 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3r1h3			1
P3s0h2 P3s0h3 P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h3 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3c1h4			2
2350h3 2350h3 2350h5 2350h5 2350h5 2350h6 21s1h1 21s1h3 21s1h4 21s1h4 22s1h4 22s1h4 22s1h5 22s1h4 22s1h4 22s1h5 22s1h4 22s1h5 22s1h4 23s1h1 23s1h2 23s1h1 23s1h2 23s1h3	-24.5	-17.8	
P3s0h4 P3s0h5 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h3 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h4 P2s1h4	86.0	17.0	
P3s0h6 P3s0h6 P1s1h1 P1s1h2 P1s1h3 P1s1h3 P1s1h4 P1s1h5 P1s1h6 P2s1h4 P2s1h2 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3r1h4		91.2	31
235000 235000 2151h1 2151h3 2151h3 2151h4 2151h5 2251h3 2251h4 2251h5 2251h5 2251h5 2251h5 2251h3 2351h1 2351h1 2351h2 2351h3 2321h3	18.7	30.5	
PISINI ~~ PISIN3 ~~ PISIN4 ~~ PISIN5 ~~ PISIN6 ~~ PISIN6 ~~ PISIN6 ~~ PISIN5 ~~ PISIN6 ~~ PISIN5 ~~ <t< td=""><td>75.4</td><td>-45.1</td><td>-20</td></t<>	75.4	-45.1	-20
P1s1h3 P1s1h4 P1s1h4 P1s1h6 P2s1h1 P2s1h2 P2s1h3 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h4 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h4 P3s1h6 P3s1h7 P3s	-28.1	-32.9	-2
P1s1h4 P1s1h4 P1s1h6 P2s1h1 P2s1h2 P2s1h2 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h4	-141.6	155.1	-70
P1s1h5 P1s1h6 P2s1h1 P2s1h2 P2s1h3 P2s1h3 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h1 P3s1h3 P3s1h3	-103.0	54.3	3
P1s1h6 P2s1h1 P2s1h2 P2s1h3 P2s1h4 P2s1h6 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h3 P3s1h3	186.0	170.2	92
P2s1h1 P2s1h2 P2s1h2 P2s1h4 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3		125.1	-6
2251h2 P251h2 P251h3 P251h3 P251h3 P251h3 P251h4 P251h5 P251h5 P251h5 P251h5 P251h5 P251h6 P351h1 P351h2 P351h3	67.7	57.6	2
P2s1h3 P2s1h4 P2s1h5 P2s1h6 P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3	-47.4	-35.8	-20
P2s1h4	-154.8	111.5	-6
P2s1h5 — P2s1h6 — P3s1h1 — P3s1h2 — P3s1h3 —	-103.0	58.1	3
P2s1h6 — P3s1h1 — P3s1h2 — P3s1h2 — P3s1h3 —			
P3s1h1 P3s1h2 P3s1h3 P3s1h4		- mar May MAN Mar 107.1	
P3s1h2 P3s1h3	-46.1		2
P3s1h3		-35.8	
D2c1h/	~~~~ <u>163.5</u>		
331114		<u>66.0</u>	3
P3s1h5 —	150.4		<u></u>
23s1h6 —	ilde		
21s2h1	<u>60.0</u>		
21s2h2			
21s2h3 —	Www		
21s2h4	111.0		
21s2h5 ——			
21s2h6 ——			
2s2h1	40.3	<u></u>	
2s2h2	47.0		
P2s2h3 —	-4/.4		-4
P2s2h4			
P2s2h5	-42.1	-41.0	
P2s2h6	<u>41</u> 7		
P3s2h1 — ^		-26.2	
P3s2h2		- <u></u>	ii
P3s2h3		<u></u>	-21
P3s2h4		40.1	
P3s2h5	-26.3	071	
P3s2h6	<u>26.3</u> <u>27.7</u>	97.1	1.
_	-26.3 		1

図 3.3-6a 東京都庁における基本モデルによる速度波形(つづき)。

	NS	EW	UD
N= 01D1-0b1	[]	[[]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]	-10.1
No.01P1s0h1	-21.2	-22.4	7.6
No.01P1s0h3			
No.01P1s0h4	-18.3		-14.5
No.01P2s0h1	-23.7	-32.9	-15.5
No.01P2s0h3			-10.6
No.01P2s0h4	-19.4	12.8	4.2
No.01P3s0h1	-37.2		6.2
No.01P3s0h2	-25.3		-13.2
No.01P3s0h4	-19.1	16.3	10.7
No.02P1s0h3	4.7		2.5
lo.02P1s0h4	-33.1		<u> </u>
No.02P1s0h5	-6.6		-3.4
0.02P15010	2.3	2.0	1.8
lo.02P2s0h4	-2.2	-2.3	-1.4
lo.02P2s0h5			-5.3
lo.02P2s0h6	-4.0	6.3	2.9
10.02P3s0h3	2.6	-3.5	1.5
lo.02P3s0h5	-17.9	-30.3	-10.2
lo.02P3s0h6	7.4	-8.1	5.3
lo.03P1s0h1		-25.2	
0.03P1s0h2	63.5		-28.9
lo.03P1s0h4	-20.4	27.8	-16.3
lo.03P2s0h1	-15.2	13.1	-6.3
lo.03P2s0h2	-27.4		-17.0
No.03P2s0h3	-21.8	14.5	-5.2
0.03P3s0h1	-43.5	41.3	-8.7
lo.03P3s0h2	45.7		
lo.03P3s0h3			
10.03P3s0h4	8.8	8.7	3.2
0.04P15005	4.5	3.4	1.8
lo.04P1s0h5			16.3
lo.04P1s0h6	3.6		-3.8
lo.04P2s0h3	3.4	-3.2	1.9
0.04P2s0h4	13.2		-6.6
lo.04P2s0h6	-10.5	-12.2	-6.6
lo.04P3s0h3	-4.8	8.3	3.2
lo.04P3s0h4	-22.9		-12.2
10.04P3s0n5	8.8	-9.9	6.4
lo.05P1s0h1		23.2	-13.9
lo.05P1s0h2			9.7
lo.05P1s0h3	-25.1	<u> </u>	
10.05P1s0n4	48.2		-26.6
lo.05P1s0h6			-19.8
lo.05P2s0h1	-16.2		-4.4
lo.05P2s0h2		-44.4 26.7	
10.05P2s0h3	-27.2	18.4	-5.8
0.05P2s0h5	-25.4	-43.7	-13.5
lo.05P2s0h6	-34.8	20.8	
lo.05P3s0h1		47.0	8.0
10.05P3s0h2	42.9		-19.1
lo.05P3s0h4	-26.6	24.1	14.0
lo.05P3s0h5	30.5	<u>51.7</u>	23.1
lo.05P3s0h6	-29.0		<u></u>
10.06P1s1h1	-37.3	-36.8	
lo.06P1s1h3	-79.3		40.8
lo.06P1s1h4	39.8	-47.2	
0.06P1s1h5			
0.06P151h6	-33.0		19.5
0.06P2s1h2	-52.1	-49.7	-23.4
lo.06P2s1h3	68.6	<u>73.6</u>	41.7
lo.06P2s1h4			
10.06P2s1h5	64.7	75.6	-37.0
0.007251110	A	A Read A Street	
	0 100 200 30 Time (s)	0 0 100 200 300 Time (s)	0 100 200 300 Time (s)

図 3.3-6b 神奈川県庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数 値は最大速度(単位は cm/s)。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。

	115				00	
		-73.6		48.5		-21 7
6P3s1h1	-Vinnen	58.6		35.1		33.7
6P2c1b2		68.6	m Assistant	75.8		39.0
6P3c1h/		38.2		-49.0		-32.8
6P3c1h5		-76.8	- Ma Antrancament	66.9		34.7
5P3s1h6		64.8		76.2		-38.6
5P1s2h1		20.6		26.8		-16.0
5P1s2h2		-31.6		-35.7		-10.9
5P1s2h3	M	77.3		48.0		-37.9
5P1s2h4		-28.2		35.8		-22.2
5P1s2h5	www			-67.1		-31.9
5P1s2h6		-27.5		35.5		-22.
5P2s2h1		-18.3		17.7		-6.
P2s2h2		-34.9		-49.5		-23.4
5P2s2h3		26.6		28.7		-15.
P2s2h4		-30.5		20.7		6.4
P2s2h5		26.9		-47.9		-17.
P2s2h6		-38.8		23.0		-10.
P3s2h1		-59.4		53.1		-10.
P3s2h2		58.8			<u> </u>	
P3s2h3		48.0		42.0	M	-20.
P3s2h4		-25.2				
P3s2h5		-22.2		-21.0		0
P3s2h6		21.4		27.9		- 17
P1s0h1		-35.0				-11
P1s0h2		83.2		52.8		
P1s0h3		_20.0		20.1		
P1s0h4		60.4		-66.8		-22.
P1s0h5		-20.8	www	44.9		-23
P1s0h6		-20.6		19.4		6
P2s0h1		-34.5		-54.2		-24
P2s0h2		-27.3		31.1		-16
P2s0h3		-33.6		21.9		-8
P2s0h4		-30.2		-51.4		-16
P2s0h5		-45.4		29.2		14
P2s0h6		-62.6		56.5		9
P3s0h1	-Vm	63.2		38.4		36
P3s0h2	-Am	50.8		45.9		-23
P3SUD3		-32.9		29.4		16.
P3SUN4		36.6		-60.8		28.
P3SUN3		-39.0		25.0		11.
P3SUNO		-36.4		-37.1		23.
PISINI Dicibo		-42.5		-43.7		-20.
D1c1b2		-92.3		88.7		46.
PISIIIS D1c1b4		45.5		-54.1		-38.
D1c1h5	- And a subbrance	-90.9		119.8		53.
P1c1h6		76.3		89.3		-42.
P2c1h1		-39.8		-43.3		24.
P2s1h2		-60.0		-58.2		-26.
P2s1h3		77.3		85.1		47.
P2s1h4		44.8		-56.6		-37.
P2s1h5		-71.7		87.8		41.
P2s1h6		73.8	- management	87.7		-42.
P3s1h1	-1mmm	-86.8	-American and a second second	56.2		-24.
P3s1h2	- Martin Martin			40.9	~~~~	39.
P3s1h3	-www.www.	77.3	- Marine and a second	88.0		-43.
P3s1h4		44.0	- my man	-58.5		-37.
P3s1h5		-88.3	- Management			39.
P3s1h6		73.7	- Marsteria	88.8		-44.
P1s2h1		22.7		30.8		-19.
P1s2h2		-38.4		-43.4		-12.
P1s2h3		-88.5		56.2	M	44.
P1s2h4		-32.1		41.9		-24.
P1s2h5		laid	w			-37.
P1s2h6				48.1		-25.
P2s2h1		-22.3		20.7		9.
P2s2h2		-36.9		-58.0		-26.
P2s2h3		26.1		32.5		-18.
P2s2h4		-30.1		23.0		
P2s2h5		49.5		-24.0		-20.
P2s2h6		-40.0		<u></u>		10
P3s2h1	-Vm	<u>-07./</u>		41.1		-10.
P3s2h2		<u> </u>		41.1	- <u>\</u>	
P3s2h3		- 25.4		<u>40.7</u>		-24.
P3s2h4	~~~~	-22.4		-65.2		-1/.
P3s2h5		41.0		26.9		
P3c2h6		-41.2		20.0		
1 332110						

図 3.3-6b 神奈川県庁における基本モデルによる速度波形(つづき)。

01P1s0h1 01P1s0h2 01P1s0h3 01P1s0h4 01P2s0h1 01P2s0h1 01P2s0h3 01P2s0h4 01P2s0h4 01P3s0h2 01P3s0h4 02P1s0h4 02P1s0h4 02P1s0h5 02P2s0h4 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P3s0h4 02P1s0h1 02P3s0h4 02P1s0h1 02P3s0h3 02P3s0h4 02P3s0h4 02P3s0h4 02P3s0h4 02P3s0h4 02P3s0h4 02P3s0h4 03P1s0h1 03P2s0h2 03P2s0h2 03P2s0h2 03P2s0h2 03P2s0h4 03P2s0h2 03P2s0	20.7 -10.7 -28.4 -35.5 -24.8 -19.5 -24.8 -24.8 -19.5 -24.8 -24.8 -9.1 -15.5 -3.5 -		-\//	16.5 -9.7 13.4 -4.6 21.2 17.4 -4.9 -18.3 -16.6 18.7 -4.7 -27.6 10.5 113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 -9.5 -84.0	······	-6.2 5.8 -7.7 9.4 9.2 8.1 3.2 -6.7 -5.2 -4.6 -6.7 -2.2 -3.2 -4.6 -6.8 -3.2 -4.6 -6.8 -3.8 -3.8 -6.8 -3.8 -4.4 -6.9 -1.7 -1.7 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.6 -2.2 -3.2 -3.2 -3.2 -3.2 -3.2 -3.2 -3.2
01P1s0h1 01P1s0h2 01P1s0h3 01P1s0h4 01P2s0h1 01P2s0h3 01P2s0h4 01P2s0h4 01P3s0h2 01P3s0h4 01P3s0h4 02P1s0h4 02P1s0h4 02P1s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P2s0h5 02P3s0h4 02P1s0h1 02P3s0h4 02P1s0h1 02P3s0h4 02P3s0h4 03P1s0h1 03P1s0h1 03P1s0h2 03P1s0h2 03P1s0h2 03P1s0h2 03P1s0h2 03P2s0h4 03P2s0	-10.7 -28.4 -35. -28.4 -35.5 -24.8 -19.9 -7.7 -25.4 -9.1 -15.5 -3.5 -3.5 -3.5 -3.5 -3.5 -3.5 -3.5 -			-9.7 -3.4 -4.6 21.2 -17.4 -4.4 -4.9 -18.3 -16.6 -18.7 -4.7 -27.6 10.5 -13.3 -9.0 -13.5 -7.5 -50.3 -19.7 19.3 -9.5 -84.0		5.8 -7.7 -1.7 9.4 9.2 -8.1 -6.7 -5.2 -4.6 -2.2 -1.3.2 -4.1 -60.8 -3.8 -3.8 -4.4 -2.9 -1.7,3 -9.9 -9.9
011P1s0h3 011P1s0h4 011P2s0h1 011P2s0h3 011P2s0h3 011P2s0h4 011P2s0h4 011P3s0h2 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h4 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h5 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h1 011P3s0h2				13.4 -4.6 21.2 17.4 14.4 -4.9 -18.3 -16.6		-7.7 -1.7 9.4 9.2 8.1 -6.7 5.2 -6.7 5.2 -4.6 -2.2 -3.2 -4.6 -2.2 -3.2 -4.6 -2.2 -3.2 -4.6 -2.2 -1.7 -3.2 -4.6 -2.2 -1.7 -2.2 -1.7 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -1.7 -2.2 -3.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 -4.6 -2.2 2.2 -4.6 -2.2 2.2 2.2 2.2 2.2 2.2
D1P1s0h4 D1P2s0h1 D1P2s0h2 D1P2s0h3 D1P2s0h4 D1P2s0h4 D1P2s0h3 D1P3s0h1 D1P3s0h3 D1P3s0h3 D1P3s0h4 D1P3s0h3 D1P3s0h4 D2P1s0h4 D2P1s0h5 D2P2s0h4 D2P2s0h4 D2P2s0h5 D2P2s0h6 D2P2s0h6 D2P3s0h3 D2P3s0h4 D2P3s0h4 D2P2s0h5 D2P3s0h4 D2P3s0h4 D2P3s0h5 D2P3s0h4 D3P1s0h1 D3P1s0h2 D3P1s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h2 D3P2s0h3	3.5 -35.3 -24.6 -19.9 -7.7 25.4 -9.1 -15.5 -3.5 -12.3 -11.4 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -			-4.6 21.2 17.4 -14.4 -4.9 -18.3 -16.6 18.7 -4.7 -27.6 10.5 -113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 -9.5 -84.0		-1.7 9.4 9.2 8.1 3.2 -6.7 -5.2 -4.6 -2.2 13.2 -4.6 -2.2 13.2 -4.6 -2.2 13.2 -13.2 -13.2 -17.3 -60.8 3.8 -4.4 -2.9 -17.3 -17.3 -9.9
11P2s0h1 11P2s0h2 11P2s0h3 11P2s0h4 11P3s0h1 11P3s0h2 11P3s0h3 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 11P3s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P2s0h5 12P2s0h6 12P2s0h5 12P2s0h4 12P2s0h5 12P2s0h5 12P2s0h5 12P2s0h5 12P3s0h5 12P3s0h3 13P1s0h1 13P1s0h2 13P2s0h2 13P2s0h2 13P2s0h2 13P2s0h3				21.2 17.4 14.4 -4.9 -18.3 -16.6 18.7 -4.7 -7.7.6 10.5 113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0		9.4 9.2 8.1 3.2 -6.7 -5.2 13.2 4.6 -2.2 13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
11P2s0h2 — 11P2s0h3 — 11P2s0h4 — 11P3s0h1 — 11P3s0h3 — 11P3s0h4 — 11P3s0h3 — 12P1s0h3 — 2P1s0h3 — 2P1s0h4 — 2P1s0h5 — 2P2s0h3 — 2P2s0h3 — 2P2s0h4 — 2P3s0h4 — 2P3s0h5 — 2P3s0h6 — 3P1s0h1 — 3P1s0h2 — 3P1s0h3 — 3P1s0h4 — 3P2s0h4 — 3P1s0h2 — 3P2s0h3 — 3P2s0h4 — 3P2s0h4 — 3P2s0h4 — 3P2s0h4 —			-\////······	17.4 14.4 -4.9 -18.3 -16.6 18.7 -4.7 -27.6 10.5 113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	·····	9,2 8,1 3,2 -6,7 5,2 -4,6 -2,2 1,3,2 1,3,2 4,1 -60,8 3,8 4,4 4,4 -2,9 1,7,3 9,1 -9,9
1P2s0h3 — 1P2s0h4 — 1P3s0h1 — 1P3s0h2 — 1P3s0h3 — 1P3s0h4 — 1P3s0h4 — 2P1s0h3 — 2P1s0h4 — 2P1s0h5 — 2P1s0h6 — 2P2s0h3 — 2P2s0h4 — 2P3s0h5 — 2P3s0h5 — 2P3s0h5 — 2P3s0h6 — 3P1s0h1 — 3P1s0h2 — 3P1s0h3 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h2 — 3P2s0h2 — 3P2s0h3 — 3P2s0h4 —				14.4 -4.9 -18.3 -16.6 18.7 -4.7 -27.6 10.5 113.3 -9.0 -13.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	······	8.1 3.2 -6.7 5.2 -4.6 -2.2 13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
11P2s0h4 11P3s0h2 11P3s0h2 11P3s0h3 11P3s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P1s0h4 12P1s0h5 12P2s0h3 12P2s0h3 12P2s0h4 12P2s0h5 12P2s0h6 12P3s0h3 12P3s0h4 12P3s0h5 12P3s0h5 12P3s0h4 13P1s0h1 13P1s0h2 13P2s0h3 13P2s0h4 13P2s0h4 13P2s0h4					·····	
11P3s0h1 11P3s0h2 11P3s0h3 11P3s0h4 12P1s0h3 12P1s0h4 12P1s0h5 12P1s0h4 12P1s0h5 12P1s0h5 12P2s0h3 12P2s0h3 12P2s0h3 12P2s0h3 12P2s0h4 12P2s0h5 12P3s0h3 12P3s0h3 12P3s0h4 12P3s0h3 13P1s0h1 13P1s0h1 13P2s0h1 13P2s0h2 13P2s0h2 13P2s0h4	-9-1 -9-1 -15.5 -3.5 -15.5 -3.5 -12.3 -12.3 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -12.4 -24.1 -24.				······	5.2 -4.6 -2.2 13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
IP3s0h2 IP3s0h3 IP3s0h3 IP3s0h4 2P1s0h3 IP3s0h4 2P1s0h5 IP3s0h4 2P1s0h5 IP3s0h4 2P1s0h5 IP3s0h4 2P2s0h6 IP3s0h4 2P2s0h6 IP3s0h3 2P3s0h4 IP3s0h4 2P3s0h6 IP3s0h1 3P1s0h1 IP3P1s0h3 3P1s0h3 IP3s0h4 3P2s0h1 IP3P2s0h2 3P2s0h2 IP3s0h3 3P2s0h3 IP3P2s0h3	-15,5 -3,5 -3,5 -3,6 -3,6 -3,7 -3,7 -12,3 -114,1 -8,7 -12,4 -12,4 -32,6 -24,1 -22,2 -114 -112,6 -23,5 -12,6 -23,5 -12,6 -23,5 -12,6 -23,5 -12,6 -23,5 -23,5 -12,6 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1 -24,1 -22,2 -23,5 -24,1		-\////·····	18.7 -4.7 -27.6 10.5 -113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 -9.5 -84.0	·····	-4.6 -2.2 13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
IP3300H3 12P330H4 2P1s0h4 2P1s0h4 2P1s0h5 2P1s0h6 2P2s0h3 2P2s0h4 2P2s0h5 2P2s0h6 2P3s0h6 2P3s0h6 2P3s0h4 2P3s0h5 2P3s0h6 3P1s0h1 3P1s0h2 3P1s0h3 3P1s0h4 3P2s0h6 3P1s0h1 3P2s0h1 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h3	-3.5 -3.1 -12.3 -12.3 -12.3 -12.4 -8.7 -12.4 -7.1 -32.6 -7.4,1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -11.4 -58.6 -12.6 -23.5 -14.4 -31.3 -31.3 -6.2			-4.7 -27.6 10.5 -113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	·····	-2.2 13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
221s0h3 221s0h4 221s0h5 221s0h6 222s0h6 222s0h6 222s0h4 222s0h5 223s0h5 223s0h5 223s0h5 223s0h6 223s0h5 223s0h6 321s0h1 331s0h1 331s0h1 332s0h1 332s0h2 332s0h2 332s0h3				-27.6 10.5 113.3 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	······	13.2 4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
211s0h4 211s0h5 211s0h6 211s0h6 212s0h3 222s0h4 222s0h4 223s0h3 223s0h3 223s0h4 223s0h3 223s0h4 223s0h5 223s0h5 223s0h6 321s0h6 321s0h1 33P1s0h1 33P1s0h3 33P1s0h4 33P2s0h4 33P2s0h2 33P2s0h2 33P2s0h3	-12.3 -114.1 -8.7 -12.4 -12.4 -12.4 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -22.2 -24.1 -24.1 -22.2 -24.1 -2			10.5 -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	·····	4.1 -60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
2P1s0h5 2P1s0h6 2P2s0h3 2P2s0h4 2P2s0h4 2P2s0h5 2P3s0h3 2P3s0h4 2P3s0h4 2P3s0h5 2P3s0h4 2P3s0h5 2P3s0h4 3P1s0h1 3P1s0h1 3P1s0h3 3P1s0h4 3P2s0h4 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h3 3P3r0h4	114.1 -8.7 -12.4 7.1 -12.4 -32.6 -32.6 -24.1 -22.7 -11.4 -58.8 -12.6 -23.5 -11.4 -31.3 -31.3 -6.2			<u>-113.3</u> -9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	·····	-60.8 3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
2P1s0h6 2P2s0h3 2P2s0h4 2P2s0h5 2P2s0h5 2P3s0h4 2P3s0h4 2P3s0h5 2P3s0h4 2P3s0h5 2P3s0h4 2P3s0h4 3P1s0h1 3P1s0h2 3P1s0h3 3P2s0h1 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h2 3P2s0h3 3P2s0h4	-8.7 -12.4 -7.1 -32.6 -24.1 -22.2 -11.4 -58.6 -12.6 -23.5 -12.6 -31.3 -31.3 -6.2		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-9.0 -13.5 7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0		3.8 4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
2P2s0h3	-12.4 7.1 -22.6 -22.7 -24.1 -24.1 -24.1 -24.1 -24.1 -24.1 -22.7 -11.4 -58.6 -12.6 -23.5 -23.5 -23.5 -23.5 -23.5 -23.5 -23.5 -24.1 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -31.2 -32.6 -3		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	-13.5 7.5 -50.3 19.7 	 	4.4 -2.9 17.3 9.1 -9.9
2P2s0h4			~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	7.5 -50.3 19.7 19.3 9.5 -84.0	 	-2.9 17.3 9.1 -9.9
2P2s0h5	24.0 -24.1 -22.2 -11.4 -58.6 -12.6 -12.6 -23.5 -14.4 -31.3 -6.2			<u>20.3</u> <u>19.7</u> <u>19.3</u> <u>9.5</u> -84.0	 	9.1 -9.9
2P2s0h6 — 2P3s0h3 — 2P3s0h4 — 2P3s0h5 — 3P1s0h1 — 3P1s0h2 — 3P1s0h3 — 3P2s0h2 — 3P2s0h2 — 3P2s0h4 —			- V ···	<u>19.7</u> <u>19.3</u> <u>9.5</u> -84.0	 	-9.9
2P3s0h3 — 2P3s0h4 — 2P3s0h5 — 2P3s0h6 — 3P1s0h2 — 3P1s0h3 — 3P1s0h4 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h4 —	-112.4 -112.4 -23.5 -12.6 -13.5 -14.4 -31.3 -6.2			9.5	 	-9.9
2P3s0h4 — 2P3s0h5 — 3P1s0h1 — 3P1s0h1 — 3P1s0h2 — 3P1s0h4 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h4 —	-58£ -12.6 -12.6 -13.3 -14.4 -31.3 -6.2		-vm	-84.0		-37
2P3s0h5 — 2P3s0h6 — 3P1s0h1 — 3P1s0h2 — 3P1s0h3 — 3P1s0h4 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h4 —	-12.6 23.9 14.4 			07.0		-28.1
2P35006 3P150h1 3P150h2 3P150h3 3P150h4 3P250h1 3P250h2 3P250h4 3P2	23.5 14.4 		~~~~~~	14.2	 	5.3
3P1s0h2	14.4 -31.3 6.2 -41.1			17.7	 	7.0
3P1s0h3 — 3P1s0h3 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h3 —	-31.3 6.2			9.9	 	6.6
3P1s0h4 — 3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h3 —	6.2			14.5	 	-8.9
3P2s0h1 — 3P2s0h2 — 3P2s0h3 —	-41 1			7.4	 	-2.6
3P2s0h2 — 3P2s0h3 —				-24.7	 	10.8
3P2s0h3	-28.0			19.5	 	10.3
2D2c0h4	-21.1			16.4	 	9.0
JF 230114	-6.7			-5.8	 	3.9
3P3s0h1 —				-21.6	 	-7.5
3P3s0h2 —	-12.2			-19.1	 	
3P3s0h3 —	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			7.7	 	2.0
3P3s0h4 —	-34.9			-27.7	 	
4P1s0h3	-16.4		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	13.9	 	4.2
4P1s0h4	140.8			140.3	 	-75.2
4P150h5	-13.8			-11.8	 N/	6.2
	-14.8			-16.7		-5.1
4F 230113				9.1		5.3
1P2s0h5 —	-42.1			-62.7	 	21.4
4P2s0h6 —	-29.0			23.7	 	11.0
4P3s0h3 —	-24.8	<u> </u>	~~~~~	23.8	 	-9.3
4P3s0h4	-15.4	<u> </u>		12.8	 	5.9
4P3s0h5			-vm	-101.8	 	-34.3
4P3s0h6 —	-15.1		~~~~~~	17.0	 	6.5
5P1s0h1 —	20.0		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	12.2	 	-8.0
5P1s0h2 —		<u> </u>		-12.2	 	
5P1s0h3 —	96		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	10.4	 ~~~~~	67
5P1s0h4	143.7			146.9	 	-81.3
SPISONS	-12.8			-12.8	 NNNN	-6.1
	-45.4			-31.3		14.1
5P2s0h2	-32.2			-23.3	 	13.7
5P2s0h3 -	-26.1			-24.7	 	-8.8
5P2s0h4	-9.2			13.7	 	-4.6
5P2s0h5 —	-46.5	·		-65.7	 ~~~~~	-21.9
5P2s0h6 -	-27.3			22.8	 	14.2
5P3s0h1				-26.3	 	9.2
5P3s0h2 —	13.8			-23.2	 	7.2
P3s0h3	-30.6		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	32.5	 	-10.7
P3s0h4	9.1			-115.0	 	-4.3
P3s0h5 -	-16.0	·	V	18.6	 	67
	38.2			33.9	 	20.4
501c1b2	24.7			-33,4	 	20,1
5D1c1b2	-65.4			61.7		36.6
5P1s1h2	-32.2			-48.0	 	-24.6
5P1s1h5 -	161.6		Manna		 Mr.	-92.2
6P1s1h6 —				-54.2	 	41.2
5P2s1h1 —	-58.4	!		-37.5	 ·	19.3
5P2s1h2 -	-36.2			34.5	 	18.9
5P2s1h3 —	~~~~~ <u>56.0</u>				 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
5P2s1h4	-30.9			-44.9	 	24.9
6P2s1h5	60.8	·	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	aman miller	 	39.4
6P2s1h6 —		·			 	41.3

図 3.3-6c 千葉県庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数値は 最大速度(単位は cm/s)。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。



図 3.3-6c 千葉県庁における基本モデルによる速度波形(つづき)。
	NS	FW	UD
	[]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]		
No.01P1s0h1	-20.0	-20.6	7.5
No.01P1s0h2			-24.4
No.01P1s0h4	5.9	4.1	3.0
No.01P2s0h1	-20.8		-10.9
No.01P2s0h2	44.5	-3./	
No.01P2s0h4	-12.8	7.9	-6.0
No.01P3s0h1	17.5		3.3
No.01P3s0h2	27.7	27.8	
No.01P3s0h4	-5.7	4.4	3.7
No.02P1s0h3		-9.0	-4.5
No.02P1s0h4	61.5	60.0	25.1
No.02P1s0h6	6.1	-8.7	4.4
No.02P2s0h3	-4.5	/.1	-3.1
No.02P2s0h4	19.7	-26.5	-16.1
No.02P2s0h6	-5.4	-6.2	2.7
No.02P3s0h3	-3.0	-2.9	-4.0
No.02P3s0h4		46.7	22.8
No.02P3s0h6	-5.2	-5.9	3.1
No.03P1s0h1	5.6	-4.3	2.3
No.03P1s0h3		31.1	-24.7
No.03P1s0h4	<u> </u>	- <u></u>	3.1
No.03P2s0h1 No.03P2s0h2	9.1	-4.3	-3.5
No.03P2s0h3	45.3		-17.3
No.03P2s0h4	-14.4		<u>8</u> 4.1
No.03P3s0h2	-10.5	5.4	-2.3
No.03P3s0h3			
No.03P3s0h4	-13.3		-5.9
No.04P1s0h4	5.8	6.2	2.0
No.04P1s0h5		<u> </u>	
No.04P1s0h6	6.5	-9.2	-4.2
No.04P2s0h4	5.9	5.0	-3.0
No.04P2s0h5	6.2	-7.4	-19.9
No.04P3s0h3	-9.3	9.5	-5.0
No.04P3s0h4	6.3	5.8	2.9
No.04P3s0h5	9.2		3.7
No.05P1s0h1	26.9	-27.3	9.8
No.05P1s0h2	-4./		-2.5
No.05P1s0h3	6.4	-5.4	4.7
No.05P1s0h5			34.9
No.05P1s0h6	-28.4	32.1	-14.6
No.05P2s0h1		-5.0	-4.3
No.05P2s0h3		24.4	
No.05P2s0h4			-21.8
No.05P2s0h6	-23.7	-15.9	-10.9
No.05P3s0h1			4.4
No.05P3s0h2	34.0		
No.05P3s0h4	7.6	7.4	-4.3
No.05P3s0h5	41.5		6.1
No.06P1s1h1		31.3	-16.9
No.06P1s1h2	-19.6		-7.6
No.06P1s1h3			-13.3
No.06P1s1h5		101.3	40.5
No.06P1s1h6			-20.0 -19.4
NO.06P2s1h1 No.06P2s1h2	18.1	-17.4	-7.5
No.06P2s1h3	- <u>79.1</u>	<u></u>	25.0
No.06P2s1h4		-23.7	
No.06P2s1h6		52.6	-22.2
		-	
	0 100 200 30 Time (s)	0 100 200 300 Time (s)	0 100 200 300 Time (s)

図 3.3-6d 埼玉県庁における基本モデルによる速度波形。同じ震源域に対応する波形を同 色で示している。波形は 156 ケース中の最大値で規格化している。

	NS	EW	UD
000-11-1	27.9	34.1	-10
6P3c1h2	-19.2	-16.7	
6P3s1h3		-46.8	2
6P3s1h4	32.9	-31.5	-1
6P3s1h5			3
6P3s1h6		42.8	
6P1s2h1		- <u></u>	
6P1s2h2	-64.4	38.4	
6P1s2h3	-12.8	9.5	
6P1s204		77.7	3
6P1s2h6	-18.5	-18.0	
6P2s2h1	-30.6	35.8	-1
6P2s2h2	-13.4	-8.9	
6P2s2h3			
6P2s2h4			
6P2s2h5		<u> </u>	
6P2s2h6		26.8	
6P3s2h1	-15.4	-9.1	
6P3s2n2	-38.2	38.6	1
6030203	-12.3	9,9	
6P3s2h5	48.0	-56.6	3
6P3s2h6	-14.6	-14.9	
7P1s0h1	-33.2	-31.8	1
7P1s0h2	-9.9	7.2	-
7P1s0h3	- <u></u>	38.5	-2
7P1s0h4	-11.6		
7P1s0h5		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	4
7P1s0h6	-30.7	36.6	
/P2s0h1	-18.4	9.2	1
7P2SUN2	66.8	28.0	2
7P2s0H2	-22.6	-20.3	1
7P2s0h5	50.6	-61.5	-2
7P2s0h6	27.6	20.9	1
7P3s0h1	26.2	28.8	
7P3s0h2		7.4	
7P3s0h3	42.6	<u> </u>	2
7P3s0h4	13.0	9.1	
7P3s0h5	14.6		
7P3s0h6	38.5	35.5	
8P1s1h1	-22.5	-19.3	-
8PISINZ	-98.1	72.0	-3
8P1c1h4	-38.9	-33.4	-1
8P1s1h5			4
8P1s1h6			-2
8P2s1h1	26.4	41.3	1
8P2s1h2		-20.3	
8P2s1h3			
8P2s1h4	-97.8	67.8	
8P25105	-88.9	-60.8	-2
0P251110	30.4	41.4	1
8P3c1h7	-21.5	-18.9	-1
8P3s1h3	- <u></u>	-54.0	3
8P3s1h4	37.4	-36.4	-1
8P3s1h5	100.6		3
8P3s1h6			
8P1s2h1			
8P1s2h2	-741	416	
oriszn3	-14.6	-16.3	
OPISZNA			4
8P1s2h6	-42.2	-24.3	-1
8P2s2h1	-31.8		1
8P2s2h2	-19.6	-10.3	1
8P2s2h3	<u>72.9</u>		
8P2s2h4	-24.4		2
BP2s2h5	<u></u>		
8P2s2h6	26.0	37.4	
8P3s2h1	-17.8		
orss2h2	45.9	45.9	2
0P352N3	14.7	11.3	
8P3c7h5	55.4	-70.2	3
8P3s2h6	-16.1	-17.9	
5. 552110		- "	

図 3.3-6d 埼玉県庁における基本モデルによる速度波形(つづき)。

東京都庁

	N-S	-46 1
No.08_s1_h1		45.0
No.08_s1_h1	د بار سر سر بار بار مار بار بار مار سر سر سر بار بار بار بار مار مار ^{بر} ی می بارد مارد مارد مارد مارد ^{بر مر} م با سر سر س	43.0
No.08_s1_h1		47.0
No.08 s1 h2		-35.6
No 08 s1 h2		36.7
No.09 c1 b2		36.4
No.00_51_112	- A . A . A A MAA	-163.5
NO.U8_S1_N3		-148.8
No.08_s1_h3		-100.0
No.08_s1_h3		-99.9
No.08_s1_h4		
No.08_s1_h4		05.1
No.08_s1_h4		-55.5
No.08 s1 h5		150.4
No 08 s1 b5		-108.4
No.00_31_115		81.6
NO.06_S1_NS		-144.0
No.08_s1_h6		-120.9
No.08_s1_h6	و موسیق می مرکز می می می می می از مرکز بال کرد بال می	88 3
No.08_s1_h6		~~~~
	0 100 200 sec	300





図 3.3-7 No.8 の震源域における西側の浅部大すべり域のパラメータを変えた工学的基盤 上の速度波形(上段)と速度応答スペクトル(減衰定数 5%;下段)の比較例(東 京都庁)。

東京都庁



実線:ケース3(P3;中間) 点線:ケース4(P4;2個→4個) 破線:ケース5(P5;面積1/2)

図 3.3-8 No.3 の震源域におけるアスペリティ面積を変えた工学的基盤上の速度波形(上段) と速度応答スペクトル(減衰定数 5%;下段)の比較例(東京都庁)。



図 3.3-9a 東京都庁における、最大速度と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%)の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下 は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。



図 3.3-9b 神奈川県庁における、最大速度と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%)の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。



図 3.3-9c 千葉県庁における、最大速度と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%)の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下 は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。



図 3.3-9d 埼玉県庁における、最大速度と速度応答値(周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%)の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下 は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。

領域 No.	グループ	面積 [km ^{2]※1}	Mw	重み
1		7,950	7.9	0.362
3	Ú	9,990	8.0	0.294
5		22,990	8.4	0.031
6		31,490	8.5	0.013
7	2	31,280	8.5	0.013
8		39,790	8.6	0.023
10		18,030	8.2	0.044
2		15,030	8.2	0.065
4	3	21,510	8.3	0.059
9		8,050	7.9	0.095

表 3.3-4 各領域に対する重み



図 3.3-10 東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁における相模トラフの M8 クラス の地震を対象とした条件付き長周期地震動ハザードカーブ。破線は各領域のも の、赤太線は全体を重ね合わせたもの。



周期5秒の速度応答値(減衰定数5%)



図 3.3-11 相模トラフの M8 クラスの地震を対象とした長周期地震動ハザードマップ。



周期7秒の速度応答値(減衰定数5%)









※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12a 東京都庁における代表シナリオの抽出例。





図 3.3-12b 神奈川県庁における代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12c 千葉県庁における代表シナリオの抽出例。





図 3.3-12d 埼玉県庁における代表シナリオの抽出例。

3.4. 長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等

(h)	扣当者
(0)	15 7 1

	所属機関	役職	氏名
独立行政法人	防災科学技術研究所	研究領域長	藤原 広行
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
独立行政法人	防災科学技術研究所	主任研究員	河合 伸一
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	東 宏樹
独立行政法人	防災科学技術研究所	契約研究員	前田 宜浩

(c) 事業の目的

長周期地震動ハザードの評価結果および評価に用いた地震活動モデル、震源モデル、地 下構造モデルについて、インターネットを通して公開する手段を提示する。一般国民の防 災・減災に資するため、長周期地震動の性質、被害事例や対策例を公開する手段を提示す る。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

3.2 節および 3.3 節で示した長周期地震動ハザード評価結果だけでなく、3.1 節で収集し たデータや作成したモデルを含めて、インターネットを通してハザード情報を閲覧したり データをダウンロードできるシステムや携帯端末で利用できるアプリケーションを試作し 提示した。また、長周期地震動シミュレーション結果から想定される超高層ビル等の被害 や長周期地震動に対する対策法を提示するとともに、長周期地震動の性質や被害事例を広 く周知するための方策を提示した。

(b) 事業の成果

1) 長周期地震動ハザード評価データの公開方法に関する検討

防災科学技術研究所では、「地震ハザードの共通情報基盤」として「地震ハザードステー ションJ-SHIS」を開発し、2005年より運用を開始している。J-SHISは、地震調査研究推 進本部より公表された確率論的地震動予測地図や震源断層を特定した地震動予測地図をウ ェブ上で閲覧できるだけでなく、計算結果や評価に用いた震源モデル、地下構造モデル等 の各種データをダウンロードできる機能も備えている。このようなJ-SHISのシステム・機 能は、長周期地震動ハザード評価の結果そのものだけでなく、評価に用いた地震活動モデ ル、震源モデル、地下構造モデルに関する情報をウェブ上で提供するためのシステムにも 活用できる。そこで、J-SHISを参考にした長周期地震動ハザードに関する情報の公開シス テムについて検討を行った。

(A) 長周期地震動ハザード評価に関する情報

3.2節および3.3節で示したように、長周期地震動ハザード評価結果の情報として、

①長周期地震動ハザードマップ(ある条件付き超過確率に対する地震動強さ分布を示した地図)

②個別ケース(シナリオ)の地震動強さ分布を示した地図

③特定地点におけるハザードカーブ

④特定地点において抽出された代表的な波形データ(平均、+1σなど; 3.2節、3.3節参照)と対応シナリオ

⑤特定地点における個別ケースの波形データ

がある。このうち、①および②は全体を概観できる情報であるのに対して、③~⑤は個別 地点での詳細な情報である。また、ハザード評価に用いたデータとして、

⑥地震活動モデル:各領域に付与した「重み」の情報

⑦震源モデル:個別ケースの各種震源パラメータ

⑧地下構造モデル:長周期地震動シミュレーションに用いた地下構造モデル。

がある。これらのデータは、対象となる地震に関する知見や長周期地震動と地下構造モデ ルとの関係に関する知見を提供することができるほか、利用者が独自の考えや情報に基づ く「重み」づけや震源モデル(あるいは地下構造モデル)を用いたハザード評価を行うこ とも可能となることから、評価結果データと同様、公開することは有益である。

(B) データの提供方法の検討

上述のように、長周期地震動ハザード評価においては、多種かつ大量のデータが存在し ており、これらをウェブ上で提示あるいは提供するため、ある程度の項目に分類・整理し、 トップページから利用者の必要とするそれぞれの項目に移動する形をとる。ここでは、大 きく以下の4項目

・ハザードマップ(確率論的な長周期地震動ハザードマップ)

- ・シナリオマップ(個別ケースの計算結果)
- ・地下構造モデル
- ・データダウンロード

に分類した (図 3.4-1)。

○長周期地震動ハザードマップ

3.2 節および 3.3 節で提示した、ある超過確率の地震動強さをを地図上で表示する。この とき、利用者の興味の対象に応じて拡大・縮小したり、位置を特定しやすくするため、背 景地図として J-SHIS で用いている Google Map を利用することも有効である。図 3.4-2 に 試作例を示す。地図表示に際しては、対象とする地震動の種類(例えば、最大速度や速度 応答スペクトルの周期)や超過確率の値を選択できるようにする必要がある。J-SHIS で公 開している「全国地震動予測地図」は全ての地震を考慮した地震動ハザード評価結果が示 されているが、現時点で提案している長周期地震動ハザードは、特定の震源域で発生する 地震を対象としているため、地震の種類も選択できるようにする。また、ハザードマップ とあわせて、対象とする地震の震源域も表示すると、表示されているハザードマップの対 象としている地震を一目で分かるようにすることができる。このときの震源域は、最大ク ラスの地震などで代表させることになる(図 3.4-2)。

○シナリオマップ

3.2節および 3.3節で計算した個別のケース(シナリオ)の計算結果による地震動強さを 地図上で表示する。上述のハザードマップと同様に Google Map を利用することは有効であ る。図 3.4-3 に試作例を示す。基本的な構成や機能はハザードマップと同様であるが、マッ プを表示している震源モデルを表示する。なお、長周期地震動ハザード評価では一つの震 源域におけるケース数が多くなる傾向があることから、特定のシナリオを容易に選択でき るような機能が今後必要となる可能性がある。

○特定地点における情報

J-SHISでは、地図を拡大していき、特定される一つのメッシュをクリックすることでその地点の情報を表示できるが、本検討では代表地点のみで表示・選択できる機能とした。 ハザードマップの画面において、「ハザードカーブ/シミュレーション波形」のチェックボ タンを作り、チェックすると地図上に代表地点が表示される(図 3.4-4)。表示された地点 をクリックすることで、その地点のハザードカーブや 3.2 節および 3.3 節で述べた、「抽出 シナリオ」の波形を表示する(図 3.4-5)。本検討では代表地点における情報のみ表示でき るものとなっているが、任意の地点について表示することも可能である。ただし、長周期 地震動に関しては、全国地震動予測地図における約 250m 四方の細かなメッシュではなく、 地下構造(深部地盤)モデルが 1km メッシュであることや対象となる地震動の波長から、 1km 四方または 2km 四方のメッシュでの情報提示で十分であると考えられる。

○地震活動モデルの表示

ハザードマップで表示される震源域を選択することにより、領域区分および「重み」の 設定を表示する(図 3.4·6)。

○地下構造モデルの表示

J-SHIS にならい、長周期地震動シミュレーションに用いた地下構造モデルの各層下面深 さの分布を地図上に表示するようにした(図 3.4-7)。ハザードマップやシナリオマップと 比べることにより、地震基盤まで深い平野部において長周期地震動が大きくなるといった 関係を利用者が理解しやすくなる。 ○データダウンロード機能

ダウンロード可能なデータ(地図データ、ハザードカーブデータなど)の種類をメニュ ー表示する(図 3.4-8)。利用者が必要とするデータを選択することでダウンロードが開始 される。また、マップや特定地点の情報を表示している画面からも「ダウンロード」がで きる機能をつけると利用しやすいと考えられる(図 3.4-9)。なお、本検討では、地下構造 モデルについては地震本部のウェブページから公開されている全国1次地下構造モデル(暫 定版)を用いているため、地下構造モデルのダウンロードについては、当該ページにリン クを貼るようにしている。



長周期地震動ハザードマップ ハザードマップ シナリオマップ 深部地下構造 ダウンロード

図 3.4-1 試作した長周期地震動ハザード情報提供ウェブページのトップ画面。



図 3.4-2 長周期地震動ハザードマップの表示例。



J-SHIS| NIED| 利用規約 | 本サ小 に関するお問い合わせは j-shis@bosai.go.jp までお願いします。

図 3.4-3 シナリオマップの表示例。



図 3.4-4 特定地点の情報を表示するためのチェックボックス。



図 3.4-5 特定地点のハザードカーブおよび抽出されたシナリオの波形の表示例。



図 3.4-6 地震活動モデル (震源域と「重み」)の表示例。



図 3.4-7 地下構造モデルの表示例。

長周期地震動ハザードマップ

ハザードマップ シナリオマップ 深部地下構造

ダウンロード

ダウンロード

・ハザードマップ

データ種別			ファイルサイズ			
地図データ	南海トラフの地震	工学的基盤上の相対速度応答[周期5秒、減衰5%](条件付超過確率50%)	0KB			
		工学的基盤上の相対速度応答[周期7秒、減衰5%](条件付超過確率50%)	0KB			
		工学的基盤上の相対速度応答[周期10秒、減衰5%](条件付超過確率50%)	0KB			
	工学的基盤上の最大速度(条件付超過確率50%) 4 相模トラフの地震 工学的基盤上の相対速度応答(周期5秒、減衰5%)(条件付超過確率50%) 4					
		工学的基盤上の相対速度応答[周期7秒、減衰5%](条件付超過確率50%)	607KB			
		工学的基盤上の相対速度応答[周期10秒、減衰5%](条件付超過確率50%)	602KB			
		工学的基盤上の最大速度(条件付超過確率50%)	604KB			
ハザードカーブ	南海トラフの地震	神奈川県庁付近	0KB			
		東京都庁付近	0KB			
		埼玉県庁付近	0KB			
		千葉県庁付近	0KB			
	相模トラフの地震	神奈川県庁付近	2KB			
		東京都庁付近	2KB			
		埼玉県庁付近	2KB			
		千葉県庁付近	2KB			

図 3.4-8 データダウンロードページのメニューリスト例。



図 3.4-9 マップおよび地点表示画面からのデータダウンロード機能。

2) 長周期地震動の性質や被害事例に関する検討

3.2節および 3.3節で示した長周期地震動ハザード評価結果を理解する上で、長周期地震動により生じる現象や被害を知ることは重要である。ここでは、長周期地震動による超高 層ビルの応答について、3.2節および 3.3節で示した特定の地点における代表シナリオの抽 出方法と同様の考え方を用いることにより、長周期地震動ハザード評価結果の利活用も視 野に入れた検討を行った。また、長周期地震動の大きさと被害を結びつける尺度について の検討も行った。

(A)長周期地震動ハザード評価に基づく超高層建物の応答

平成 24 年度までは、建物の階数の違いのみを考慮した検討であった。本検討では建物の 多様性を考慮して、平成 24 年度までの検討で用いた 6.4m 均等スパンを有する S30、S45、 S60 に加え、45 階建て短スパン (3.2m)の純ラーメン架構である S45X、長スパン (15.6m) の耐震壁付ラーメン架構である S45Y、さらに RC 純ラーメン架構である RC40 を採用し、 長周期地震動に対する応答評価を実施した。

○南海トラフ地震に対する超高層建物の応答

3.2節で計算された地震動について、地震動の発生パターン(連動あるいは単独)毎に重 みづけを設定し、それらの平均あるいはばらつきを考慮することにより、当該地点での「平 均」、「平均+o」の地震動を設定する。この時、地震動の発生パターンでも震源モデル等の パラメータが異なる複数ケースの計算が実施されているが、それらの重みは均等とする。 また、2 地震として発生するパターンの場合、地点ごとに応答スペクトル振幅の大きい 方を採用した。ここで設定した重みの一覧を表 3.4-1 に示す。なお、3.2 節で示したすべ ての計算結果を用いているわけではないことに留意されたい。

表 3.4-1 に示す重みを考慮して計算した多数のシミュレーション結果の擬似速度応答ス ペクトルの平均、平均+oのスペクトルに最も近い地震動を、「平均」、「平均+o」の地震動 として設定する。この時、誤差を計算する区間は、対象とする建物の高さを考慮して 3 秒 ~8 秒とした。地点の代表として東京における全ての長周期地震動シミュレーション結果に よる地震動のスペクトルと、平均、平均+oのスペクトルを図 3.4-10 に示す。さらに、そ れぞれについて平均、平均+oのスペクトルと、それぞれのスペクトルに対応した誤差最小 として選定した計算ケースのスペクトルを図 3.4-11 に示す。図中には、誤差を計算する範 囲とした 3~8 秒の範囲を黄色網掛けで示している。

選定した平均及び平均+oのレベルの地震動に対し、時刻歴応答解析により地震時応答を 評価した。さらに、「被害」として、「建物機能」と、「構造部材」に関する損傷を想定し、 それぞれについて損傷判定を行った。ここで、損傷判定は、北村・他(2006)に掲載の性 能判断基準値表による。同表を表 3.4-2 に転載する。この性能判断基準値表は、2002 年に 刊行された日本建築構造技術者協会のJSCA建築構造性能設計指針の性能メニュー¹⁾の中で その概念が定義されたもので、その後実際に性能評価に使える形にするために、性能判断 基準値を定める作業が行われ、北村・他(2004)として公表された。さらに過去の種々の 被害データや実験データなどを分析することにより、性能判断基準値を見直し、改良を加 えたものが文献³⁰の性能判断基準値表で、現状において最も信頼性の高い判定基準であると 考えられるため、ここではこれに準じて損傷判定することとした。北村・他(2006)に掲 載の性能判断基準値表の掲載された応答値は以下のものに対応する。

- ・建物挙動:層間変形角、応答加速度 → 建物の機能に関する指標
- ・構造骨組:層塑性率、塑性ヒンジ発生率 → 建物の損傷度に関する指標
- ・構造部材:部材塑性率、累積塑性変形倍率 → 部材の損傷度に関する指標

ここで、建物の機能に関する指標とは、設備機器・配管、外壁などの非構造部材、収容 物への影響を念頭においたもの、また部材の損傷度に関する指標とは、構造体の損傷の程 度を念頭においたもので、特に累積部材塑性変形倍率の $\lambda=1$ と0の境界値は、おおよそ梁 端接合部が破断に至る累積部材塑性変形倍率のに対応している。ただし、これらの応答値 の中で、層の塑性率については、今回の解析がすべて部材レベルの立体精算解析モデルで の応答解析であり、層の塑性率は直接出力されないため、表 3.4・2 に示していないように判 定には用いない。現行の新築超高層ビルの耐震クライテリアは、表 3.4・2 の中で $\lambda=2$ すなわ ち安全限界余裕度 II (指定機能確保、小破、小規模修復)に対応していると考えられるた め、これが長周期地震動に対する既存超高層ビルの耐震性確保の1つの目安になる。なお、 RC 造に関しては、累積塑性変形倍率は指標として用いられていないため、ここでは示して いない。併せて判定値及び構造部材損傷度についても記載していない。

地震時応答および損傷判定の結果を表 3.4-3~表 3.4-14 に示す。

○相模トラフ地震に対する超高層建物の応答

3.3 節で計算された地震動のうち、首都直下地震モデル検討会(2013)における大正関東 地震の震源域と対応する震源域 No.3 を対象として、超高層建物の応答評価を実施した。こ こでは、「基本ケース」とした 12 ケースの東京都庁位置での入力地震動を用いた。入力地 震動の擬似速度応答スペクトルを図 3.4-12 に示す。周期 3 秒以上でフラットな特性を示す ものと長周期側でより大きくなるものがある。ただし、3.3 節で示したように本検討におけ る地震動シミュレーションでは現状の「レシピ」に基づく特性化震源モデルを用いている ことから、周期 5 秒以上であることに留意が必要である。

これらの地震動に対する応答解析には、S30、S45、S60の建物解析モデルを用いた。代 表例として、応答スペクトルが大きく、大きな応答結果を示すと考えられる「P1h3」のケ ースに関して応答最大値分布を図 3.4-13~図 3.4-15 に示す。また、最大層間変形角、最大 加速度、最大梁塑性率、最大梁累積塑性変形倍率を全ケースについて表 3.4-15~表 3.4-20 に示す。表中太枠で、P1h3 による検討ケースを示している。各種の震源モデルに関する応 答の傾向を以下に示す。

- a) 東京に破壊が進行してくる破壊開始点h3のケースがいずれの建物モデルに対し ても応答が比較的大きい。
- b) 震源モデル P1h3 による検討ケース:

- ・S30、S45、S60の順に応答が大きくなる。その理由は速度応答スペクトルにより明らかで、入力地震動の特性として周期が長くなるほど応答最大振幅が大きくなるためである。
- ・いずれの建物解析モデルについても、NS 方向の入力の方が応答が大きくなる傾向がある。
- ・S30 では最大層間変形角 1/130 程度であり、概ね弾性範囲の応答におさまる。 S45 では最大層間変形角 1/100 程度であり、梁部材の塑性化が想定される。S60 では最大層間変形角 1/75 程度となり、各部材の塑性化が進展してある程度の被 害が想定されるものの、構造部材に関しては「小損」程度で、その被害は小さい。

	Z (日向灘)	A,B (南海)	C,D (東南海)	E (東海)	重み	N	0.	計 算 数 ^{*1}
	•				0.0125	1	-	6
1 地震 2 地震	•			>	0.0125	2	-	6
	◀				0.0125	3	-	12
	◀				0.0125	4	-	12
1	×	•			0.1625	5	-	6
」 批	×	•		>	0.1625	6	-	12
震	•			×	0.0125	7	-	6
	•			×	0.0125	8	-	12
	×		>	×	0.025	9	-	6
	×		>	×	0.025	10	-	12
	×	◀		×	0.05	11	-	6
	•		4	\bullet	0.05	12	13	4
2 +#1	×	\longleftrightarrow	4		0.325	14	13	4
電震	•		\longleftrightarrow	×	0.025	12	15	4
	×	← →	\longleftrightarrow	×	0.1	14	15	4
	0.15	1.0	1.0	0.75	1.0			

表 3.4-1 超高層建物の応答解析において設定した「重み」。

*1:発生パターンを固定してパラメータを変えて計算した数。それらの重みは均等とする。



(TKY NS)



図 3.4-10 全計算ケースと平均、平均+σのスペクトル(東京都庁位置:TKY)。



(TKY NS)



図 3.4-11 スペクトル平均 (+o) と選択した地震動のスペクトル (TKY)。

	性能評価項目		損傷限界	安全限界 余裕度 I	安全限界 余裕度Ⅱ	安全限界	安全限界 超過
	判定値λ		4	3	2	1	0
7 - + +	機能		機能維持	主要機能確保	指定機能確保	限定機能確保	機能確保困難
建物	層間変形	角 R(rad)	1/200 以下	1/200-1/150	1/150-1/100	1/100-1/75	1/75 以上
饿柜	床加速度 a (cm/s ²)		—	250 以下	250-500	500-1000	1000以上
	部材損傷度		無損傷	軽微	小損	中損~大損	大損以上
	部材塑性率 µm		1.0以下	1.0-2.5	2.5-3.75	3.75-5.0	5.0 以上
伸這	累積塑	JASS6 型	0	0-5.4	5.4-12.0	12.0-21.5	21.5 以上
部材	性変形	ノンスカラッフ゜	0	0-9.0	9.0-20.5	20.5-36.5	36.5 以上
	倍率 η_m	梁端混用	0	0-3.5	3.5-7.5	7.5-13.5	13.5 以上

表 3.4-2 耐震性能判断基準値表(北村・他、2006)。

		AIC		OMS		OSK		ТКҮ	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/222	1/165	1/80	1/138	1/198	1/189	1/150	1/173
物	最大加速度(Gal)	136	187	334	222	158	164	210	173
機	判定值 λ	4	3	1	2	3	3	3	3
能	機能確保	機能 維持	主要機 能確保	限 定 機 能確保	指定機 能確保	主要機 能確保	主要機 能確保	主要機 能確保	主要機 能確保
構	部材塑性率	0.61	0.80	2.45	0.95	0.67	0.70	0.88	0.77
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	3	0	0	0	0	0
部	判定值 λ	4	4	3	4	4	4	4	4
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷

表 3.4-3 S30 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

表 3.4-4 S45 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

		A	IC	ON	ЛS	OSK		ТКҮ	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/313	1/365	1/89	1/90	1/186	1/256	1/78	1/118
物	最大加速度(Gal)	72	72	256	237	133	95	270	184
機	判定値 λ	4	4	1	1	3	4	1	2
能	機能確保	機能 維持	機能 維持	限定機 能確保	限定機 能確保	主要機 能確保	機能 維持	限定機 能確保	指定機 能確保
構	部材塑性率	0.45	0.37	2.19	2.12	0.69	0.55	2.55	1.29
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	17	15	0	0	6	1
部	判定値 λ	4	4	1~3	1~3	4	4	2	3
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	小損~ 中損	小損~ 中損	無損傷	無損傷	小損	軽微

表 3.4-5 S60 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

		A	AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
建	最大層間変形角(rad)	1/325	1/232	1/64	1/101	1/213	1/361	1/126	1/114	
物	最大加速度(Gal)	87	128	265	225	136	79	163	183	
機	判定值 λ	4	4	0	2	4	4	2	2	
能	機能確保	機能 維持	機能 維持	機能確 保困難	指定機 能確保	機能 維持	機能 維持	指定機 能確保	指定機 能確保	
構	部材塑性率	0.44	0.60	3.63	1.94	0.65	0.40	1.17	1.45	
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	8	13	0	0	0	1	
部	判定値 λ	4	4	2	1~3	4	4	3	3	
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	小損	小損~ 中損	無損傷	無損傷	軽微	軽微	

		A	AIC		ЛS	09	OSK		KΥ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/312	1/259	1/147	1/203	1/317	1/322	1/215	1/242
物	最大加速度(Gal)	128	150	247	199	133	121	187	164
機	判定值 λ	4	4	2	4	4	4	4	4
船	機能確保	機能 維持	機能 維持	指定機 能確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	機能 維持	機能 維持
構	部材塑性率	0.71	0.86	3.18	1.38	0.69	0.69	1.09	0.91
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	7	1	0	0	0	0
部	判定值 λ	4	4	4	3	4	4	4	4
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷

表 3.4-6 S45X モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

表 3.4-7 S45Y モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/351	1/330	1/95	1/95	1/185	1/234	1/98	1/122
物	最大加速度(Gal)	72	88	262	236	135	110	247	225
機	判定值 λ	4	4	1	1	3	4	1	2
上上	機能確保	機能 維持	機能 維持	限定機 能確保	限定機 能確保	主要機 能確保	機能 維持	限定機 能確保	指定機 能確保
構	部材塑性率	0.30	0.30	1.38	1.39	0.57	0.44	1.32	0.85
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	3	2	0	0	2	0
部	判定值 λ	4	4	3	3	4	4	3	4
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	軽微	無損傷	無損傷	軽微	無損傷

表 3.4-8 RC40 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均)。

		A	AIC		MS O		SK	Tŀ	KΥ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/243	1/232	1/106	1/169	1/254	1/242	1/184	1/273
物	最大加速度(Gal)	124	126	236	161	116	122	149	106
機	判定値 λ	4	4	2	3	4	4	3	4
能	機能確保	機能 維持	機能 維持	指定機 能確保	主要機 能確保	機能 維持	機能 維持	主要機 能確保	機能 維持
構	部材塑性率	0.46	0.48	1.09	0.67	0.44	0.46	0.61	0.41
造	部材累積塑性変形倍率								
部	判定值λ								
材	構造部材損傷度								

		Al	AIC		MS	OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/125	1/85	1/55	1/100	1/98	1/107	1/79	1/70
物	最大加速度(Gal)	252	337	455	289	345	293	387	380
機	判定値 λ	2	1	0	2	1	2	1	0
能	機能確保	指定機 能確保	限定機 能確保	機能確 保困難	指定機 能確保	限定機 能確保	指定機 能確保	限定機 能確保	機能確 保困難
構	部材塑性率	1.07	2.24	4.04	1.90	1.92	1.58	2.45	3.05
造	部材累積塑性変形倍率	0	2	27	2	4	2	9	4
部	判定値 λ	3	3	0~1	3	3	3	2~3	2~3
材	構造部材損傷度	軽微	軽微	大損	軽微	軽微	軽微	軽微~ 小損	軽微~ 小損

表 3.4-9 S30 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

表 3.4-10 S45 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

		AIC		ON	MS		SK	TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/173	1/194	1/48	1/64	1/93	1/151	1/58	1/76
物	最大加速度(Gal)	138	138	330	290	239	150	359	308
機	判定值 λ	3	3	0	0	1	3	0	1
山口	機能確保	主要機 能確保	主要機 能確保	機能確 保困難	機能確 保困難	限定機 能確保	主要機 能確保	機能確 保困難	限定機 能確保
構	部材塑性率	0.75	0.66	4.94	3.40	1.97	0.89	3.91	2.83
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	64	22	7	0	17	5
部	判定値 λ	4	4	0~1	0~2	1~3	3	1	2~3
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	大損	中損~ 大損	小損~ 中損	軽微	中損~ 大損	軽微~ 小損

表 3.4-11 S60 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

		A	IC	ON	ЛS	09	OSK		KΥ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/194	1/240	1/53	1/74	1/180	1/156	1/80	1/74
物	最大加速度(Gal)	150	122	288	267	126	154	229	195
機	判定值 λ	3	4	0	0	3	3	1	0
能	機能確保	主要機 能確保	機能 維持	機能確 保困難	機能確 保困難	主要機 能確保	主要機 能確保	限定機 能確保	機能確 保困難
構	部材塑性率	0.71	0.60	4.50	2.92	0.78	0.92	2.66	3.03
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	41	26	0	0	4	4
部	判定值 λ	4	4	0~1	0~2	4	4	2~3	2~3
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	大損	中損~ 大損	無損傷	無損傷	軽微~ 小損	軽微~ 小損

		A	AIC		MS O		SK	TI	KΥ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/198	1/118	1/65	1/164	1/144	1/117	1/78	1/104
物	最大加速度(Gal)	207	288	387	214	298	289	358	320
機	判定値 λ	3	2	0	3	2	2	1	2
能	機能確保	主要機 能確保	指定機 能確保	機能確 保困難	主要機 能確保	指定機 能確保	指定機 能確保	限定機 能確保	指定機 能確保
構	部材塑性率	1.49	4.62	10.56	2.52	3.18	4.67	8.35	5.51
造	部材累積塑性変形倍率	2	7	89	10	15	19	37	11
部	判定值 λ	3	1~2	0	2	1~2	1	0	0~2
材	構造部材損傷度	軽微	中損	大損以 上	小損	中損	中損~ 大損	大損以上	中損~ 大損

表 3.4-12 S45X モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

表 3.4-13 S45Y モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

		A	AIC		OMS		OSK		Υ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/163	1/181	1/49	1/78	1/91	1/165	1/53	1/79
物	最大加速度(Gal)	173	157	374	253	265	151	336	293
機	判定值 λ	3	3	0	1	1	3	0	1
伯比	機能確保	主要機 能確保	主要機 能確保	機能確 保困難	限定機 能確保	限定機 能確保	主要機 能確保	機能確 保困難	限定機 能確保
構	部材塑性率	0.64	0.56	3.24	1.82	1.45	0.64	2.86	1.66
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	31	4	2	0	9	2
部	判定値 λ	4	4	0~2	3	3	4	2	3
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	中損~ 大損	軽微	軽微	無損傷	小損	軽微

表 3.4-14 RC40 モデルの長周期地震動に対する損傷判定(平均+o)。

		A	AIC		MS OS		SK	Tŀ	KΥ
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建	最大層間変形角(rad)	1/136	1/111	1/51	1/138	1/114	1/124	1/62	1/76
物	最大加速度(Gal)	207	231	307	184	234	205	319	295
機	判定値 λ	2	2	0	2	2	2	0	1
能	機能確保	指定機 能確保	指定機 能確保	機能確 保困難	指定機 能確保	指定機 能確保	指定機 能確保	機能確 保困難	限定機 能確保
構	部材塑性率	0.82	1.02	2.36	0.83	0.98	0.92	1.93	1.56
造	部材累積塑性変形倍率								
部	判定值λ								
材	構造部材損傷度								



図 3.4-12 相模トラフ地震の擬似速度応答スペクトル(東京都庁位置、減衰 5%)。



図 3.4-13 東京都庁位置での応答最大値分布 (S30、ケース P1h3)。


図 3.4-14 東京都庁位置での応答最大値分布 (S45、ケース P1h3)。



図 3.4-15 東京都庁位置での応答最大値分布 (S60、ケース P1h3)。

地	領域区分 No.		3											
震	パターン		1				2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
建	最大層間変形角(rad)	1/149	1/321	1/132	1/512	1/246	1/239	1/174	1/283	1/468	1/306	1/118	1/424	
物	最大加速度(Gal)	198	94	217	58	124	128	169	104	60	98	255	70	
機	判定值 λ	2	4	2	4	4	4	3	4	4	4	2	4	
能	機能確保	指定機能 確保	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	主要機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持	
構	部材塑性率	0.91	0.44	1.04	0.29	0.57	0.57	0.78	0.49	0.32	0.46	1.29	0.34	
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
部	判定值 λ	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	

表 3.4-15 長周期地震動に対する損傷判定 (S30、EW)。

表 3.4-16 長周期地震動に対する損傷判定(S30、NS)。

地	領域区分 No.		3											
震	パターン		1				2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
建	最大層間変形角(rad)	1/128	1/251	1/135	1/375	1/164	1/187	1/139	1/229	1/439	1/350	1/92	1/252	
物	最大加速度(Gal)	231	122	220	80	182	162	215	132	67	85	317	125	
機	判定値 λ	2	4	2	4	3	3	2	4	4	4	1	4	
能	機能確保	指定機能 確保	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持	主要機能 確保	主要機能 確保	指定機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	限定機能 確保	機能 維持	
構	部材塑性率	1.07	0.54	1.01	0.38	0.81	0.71	0.96	0.59	0.33	0.41	2.11	0.54	
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	
部	判定値 λ	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
材	構造部材損傷度	軽微	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	

地	領域区分 No.		3										
震	パターン			1		2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建	最大層間変形角(rad)	1/133	1/500	1/196	1/651	1/460	1/284	1/207	1/380	1/253	1/499	1/92	1/431
物	最大加速度(Gal)	159	45	103	33	51	77	102	58	84	49	212	48
機	判定值 λ	2	4	3	4	4	4	4	4	4	4	1	4
能	機能確保	指定機能 確保	機能 維持	主要機能 確保	機能 維持	限定機能 確保	機能 維持						
構	部材塑性率	1.05	0.30	0.72	0.24	0.33	0.50	0.67	0.38	0.56	0.29	2.09	0.35
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
部	判定値 λ	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2~3	4
材	構造部材損傷度	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微~ 小損	無損傷

表 3.4-17 長周期地震動に対する損傷判定 (S45、EW)。

表 3.4-18 長周期地震動に対する損傷判定(S45、NS)。

地	領域区分 No.		3											
震	パターン		1				2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
建	最大層間変形角(rad)	1/103	1/256	1/96	1/397	1/332	1/372	1/125	1/489	1/472	1/348	1/81	1/369	
物	最大加速度(Gal)	214	86	203	57	69	60	169	50	45	66	269	70	
機	判定値 λ	2	4	1	4	4	4	2	4	4	4	1	4	
能	機能確保	指定機能 確保	機能 維持	限定機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	限定機能 確保	機能 維持	
構	部材塑性率	1.70	0.55	1.97	0.36	0.42	0.39	1.20	0.29	0.32	0.41	2.46	0.37	
造	部材累積塑性変形倍率	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11	0	
部	判定値 λ	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	2	4	
材	構造部材損傷度	軽微	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	小損	無損傷	

地	領域区分 No.		3										
震	パターン			1		2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建	最大層間変形角(rad)	1/268	1/495	1/116	1/381	1/366	1/485	1/244	1/400	1/343	1/578	1/135	1/312
物	最大加速度(Gal)	76	40	145	51	63	50	86	59	64	38	143	73
機	判定值 λ	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	2	4
能	機能確保	機能 維持	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持	指定機能 確保	機能 維持						
構	部材塑性率	0.53	0.31	1.58	0.39	0.39	0.31	0.58	0.36	0.42	0.27	1.08	0.45
造	部材累積塑性変形倍率	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
部	判定值 λ	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
材	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	軽微	無損傷						

表 3.4-19 長周期地震動に対する損傷判定 (S60、EW)。

表 3.4-20 長周期地震動に対する損傷判定(S60、NS)。

地	領域区分 No.		3											
震	パターン		1				2				3			
動	破壞開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
建	最大層間変形角(rad)	1/104	1/238	1/76	1/449	1/312	1/243	1/153	1/373	1/316	1/316	1/67	1/373	
物	最大加速度(Gal)	190	80	250	48	66	83	127	62	65	70	251	76	
機	判定値 λ	2	4	1	4	4	4	3	4	4	4	0	4	
能	機能確保	指定機能 確保	機能 維持	限定機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	主要機能 確保	機能 維持	機能 維持	機能 維持	機能確保 困難	機能 維持	
構	部材塑性率	1.86	0.61	2.89	0.33	0.46	0.58	0.94	0.38	0.46	0.45	3.38	0.39	
造	部材累積塑性変形倍率	2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	19	0	
部	判定値 λ	3	4	2	4	4	4	4	4	4	4	1~2	4	
材	構造部材損傷度	軽微	無損傷	小損	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	中損	無損傷	

(B) 長周期地震動の強さを表す尺度に関する検討

長周期指標の評価に用いるフィルタの周期特性は、長周期地震動の揺れに対する体感(高橋・他,2007)に合うように設定する。体感の評価曲線の例を図 3.4-16 に示す。体感感度は、振幅については対数的な特性で、周期に対しては図中に示す(1/f)^{1/2}の傾きの直線に概ね平行な特性を示し、速度と加速度の中間的な特性となっている。従って、長周期指標にも計測震度と同じ(1/f)^{1/2}の傾きの周波数特性を用いる。長周期指標は、図 3.4-17 に示すように 3 種類の周期 10 秒までの周期フィルタを用いて短周期成分をカットし、長周期成分を抽出して評価を行う。







図 3.4-17 地震動指標計算用フィルタの利得特性の比較。

○地表面の観測記録の長周期指標

提案した長周期指標の実際の観測記録での特性を把握するために、図 3.4-18 に震央を示 す2000年以降に発生したマグニチュード6以上の主な被害地震の26地震を選定し、K-NET および KiK-net の地表面で観測された延べ 16,739 地点の記録を用いて分析を行った。この とき、図 3.4-17 に示した 3 種類の長周期指標の平均値が同じになるようにした。気象庁が 長周期地震動階級に用いている最大絶対速度応答スペクトルの周期に対する計測震度およ び各長周期指標の相関係数を図 3.4-19 に示す。最も相関係数の大きい周期は、計測震度が 0.3 秒、*I*_{L1}が 1.3 秒、*I*_{L2}が 2.5 秒、*I*_{L3}が 4.2 秒となった。



図 3.4-19 各尺度と絶対速度応答スペクトル (水平 2 方向のベクトル和)の対数との相関。 ○主な地震の長周期指標分布の分析

長周期地震動によって超高層建物のエレベータやタンクで被害が発生した主な地震につ いて、長周期指標分布を図 3.4-20 に示す。2011 年東北地方太平洋沖地震の本震の長周期指 標分布をみると、一般的には平野や盆地で大きくなる傾向が見られ、沖積地盤での長周期 成分の増幅特性を示している。計測震度は奥羽山脈の火山フロントを挟んで減衰し、日本 海側で明らかに小さくなる様子が見られる。計測震度に比べて長周期指標は、火山フロン トでの顕著な減衰は見られず、太平洋側の平野部だけでなく、タンクの被害のあった庄内 平野(酒田)や新潟平野などの日本海側の平野部でも大きくなっている。また、長周期指 標は距離に対する減衰は計測震度に比べて小さく、超高層建物の被害のあった遠く離れた 大阪平野湾岸部でも5弱の指標値を示し、増幅が見られる。2003年十勝沖地震については、 長周期指標は、近い十勝平野だけでなく、タンク火災のあった苫小牧のある勇払平野や高 層建物のエレベータ被害のあった札幌でも大きくなっている。2000年鳥取県西部地震では、 震央距離約200kmの高層建物のエレベータ被害が多かった沖積平野の大阪や神戸で長周期 指標が大きくなっている。2004年新潟県中越地震では、東京で高層建物のエレベータが被 害を受けたが、長周期指標は関東平野で減衰せず、震源から離れた埼玉から東京の東部付 近の低地部分で増幅が現れている。長周期指標でおおよそ 5 弱以上の地域で、高層建物の エレベータやタンクの被害の可能性があることが分かる。



○長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値

2011 年東北地方太平洋沖地震において観測された記録の最大応答値が公開されているもの(日本建築学会,2012)からのデータを用いて、超高層建物の最大変形角と長周期指標の関係を図 3.4-21 に示す。2 次部材や家具什器に被害が発生した東京、大阪の超高層建物においては、長周期指標は5前後だったことが分かる。各長周期指標に対する最大変形角 (こついて直線回帰して (3.4-1)式~(3.4-3)式の関係式を得た。

$\log \phi = 0.4 II_{L1} - 4.68$	(3.4-1)
$\log \phi = 0.46 I_{L2} - 4.92$	(3.4-2)
$\log\phi = 0.5 II_{L2} - 5.20$	(3.4-3)

図 3.4-20 に相関係数の一番大きい I_{L2}に対する回帰式を実線で(3.4-2)式を示すが、外挿して 考えると最大変形角 1/100 となるには長周期指標が 6 を超えると推定される。

次に平成24年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において計算された図3.4-22 に示す南海トラフ沿いの東海・東南海・南海の3 連動震源モデル(深部アスペリティ、紀 伊半島沖から破壊: ANNI3d-c、以後「南海トラフ3連動」と称する)と全国1次地下構造 モデル(暫定版)(地震調査委員会, 2012)を用いて3次元差分法で解析された東京近傍の範 囲の2kmメッシュの周期2秒以上の長周期シミュレーション波形(Maeda et al., 2012) から長周期地震動の尺度を計算し、応答解析による超高層建物の最大応答値との関係を検 討した。

図 3.4-23 に長周期指標 *I*_{L2} と気象庁の「長周期地震動階級」に用いられている周期 1.6-7.8 秒の絶対速度応答スペクトルの最大値 *Svp*の分布を示す。両長周期地震動の尺度は、都内中 央部と都内西部から埼玉県西部で大きい地域が見られる。*I*_{L2} と *Svp*の関係を図 3.4-24 に示 す。*I*_{L2} と *Svp*の対数は線形関係で、南海トラフ 3 連動地震では、東京近郊では長周期地震 動階級 2~4、長周期指標(*I*_{L2})で 4.5 以上の長周期地震動が想定される。次に、東京都(2011) のデータに基づいて東京都内の高さ 60m 以上の超高層建物の所在地をデータ化し、超高層 建物がある位置での長周期指標の頻度分布を図 3.4-25 に示す。長周期指標が 5.0~6.2 の範 囲に超高層建物が存在する。5.0~5.3 だった 2011 年東北地方太平洋沖地震よりは南海トラ フ 3 連動地震の方が大きな長周期地震動が想定される。

121



図 3.4-21 超高層建物の最大変形角(日本建築学会, 2012)と震度及び長周期指標の関係 (2011 年東北地方太平洋沖地震)。



図 3.4-22 南海トラフの 3 連動地震断層モデルと評価地点メッシュ





図 3.4-24 絶対速度応答スペクトルの最大値(減衰定数 5%; Svp) と長周期指標 IL2の関係 (南海トラフ3 連動)。



図 3.4-25 東京都内の超高層建物地点の長周期指標の頻度分布(南海トラフ3連動)。

建物モデルは、S造の30階建、45階建、60階建の3種類で、図3.4-26に示すように階高4m、6.4m均等スパンの純ラーメン架構で、塔状比4を目安に幅を設定した基礎固定の 平面フレームモデルとする。長周期の入力地震動は、上述の南海トラフ3連動地震の東京 近郊の2kmメッシュごとに求められたシミュレーション波形とする。

各建物の固有値解析の結果を表 3.4-21 に示す。入力地震動は 2 秒以下の周期成分が少ないので、建物応答は 1 次モードが卓越すると考えられる。



	30 🛛	皆建	45 [皆建	60 階建		
	固有 周期 (秒)	刺激 係数	固有 周期 (秒)	刺激 係数	固有 周期 (秒)	刺激 係数	
1次	3.70	-1.39	5.36	-1.40	6.49	-1.42	
2 次	1.25	0.58	1.79	0.59	2.20	0.61	

表 3.4-21 固有值解析結果。

南海トラフ3連動地震による入力地震動に対して図3.4-25 で示した3種類の階数の超高 層建物モデルの応答解析を行い、最大層間変形角を求めた。得られた3種類の超高層建物 モデルの最大層間変形角の2kmメッシュの分布を図3.4-27 に示す。長周期地震動の尺度と 図3.4-12 に示した最大層間変形角との関係の代表例を図3.4-28~図3.4-32 に示す。最大層 間変形角の対数は、ばらつきがあるものの長周期指標 Lおよび Supの対数と線形の関係が あり、階数の異なる建物モデルによる傾向の差は見られない。それぞれの尺度と最大層間 変形角の対数との相関係数をまとめて表3.4-22 に示す。相関係数が一番高いのは、30 階建 が相対速度応答スペクトルの平均値、45 階建が擬似速度応答スペクトルの平均値、60 階建 が絶対速度応答スペクトルの平均値という結果になった。

*Svp*など速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値については高い建物ほど相関性が低いことが分かる。ピークとなる特定の周期成分の影響を受けやすいためと考えられ、平均値を 尺度にした方がどの高さの建物に対しても安定した相関性があることが分かる。



図 3.4·27 S 造超高層モデル建物の最大層間変形角の分布(南海トラフ3連動)。



図 3-4-28 長周期指標 IL2 と全建物の最大層間変形角(南海トラフ3連動)。



図 3.4-29 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Svp と最大層間変 形角。



10 図 3.4·230 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6·7.8s)の平均値 Svm と最大層間変 形角。



10 100 (cm/s) 図 3.4·31 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6·7.8s)の平均値と最大層間変形角。



図 3.4-32 擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値と最大層間変形角。

	30 階建	45 階建	60 階建
長周期指標 IL1	0.899	0.779	0.809
長周期指標 IL2	0.903	0.807	0.835
長周期指標 IL3	0.868	0.868	0.898
絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.883	0.817	0.754
絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.883	0.890	0.912
相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.892	0.853	0.782
相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.917	0.873	0.871
擬似速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.889	0.841	0.772
擬似速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.903	0.890	0.898

表 3.4-22 超高層建物の最大層間変形角の対数と各指標の相関係数。

代表的指標について、30 階建、45 階建および 60 階建の最大層間変形角 *φ*との関係式を求めると、(3.4-4) 式~(3.4-6) 式となる。

$\log \varphi = 0.54 I_{L2} - 5.07$	(3.4-4)
$\log\varphi = 0.95\log(S_{vp}) - 4.06$	(3.4-5)
$\log \varphi = 1.18 \log(S_{vm}) - 4.25$	(3.4-6)

絶対速度応答スペクトルと相対速度応答スペクトルについては、建物の固有周期で限定 した方がより相関性が高くなると考えられる。そこで、建物が塑性化によって周期が延び ることを考慮して固有周期から1.2倍の周期まで0.1秒刻みのスペクトルの最大値または平 均値を用いる。図 3.4-33 に相対速度応答スペクトルの例を示すが、ばらつきが小さくなり 相関係数が最大値で0.952、平均値で0.947 と相関が高い。



図 3.4-33 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 固有周期から 1.2 倍周期)の最大値お よび平均値に対する最大層間変形角の関係。

南海トラフの3連動地震の東京近傍の2kmメッシュの地震動を用いて、3種類の高さの S造の超高層建物の梁の塑性率の最大値(最大梁塑性率)を求め、長周期地震動の尺度との 関係について検討する。図 3.4-34 に示すように、埼玉県南部や東京都南部から東部に掛け て最大梁塑性率が大きい領域が広がっている。

長周期指標 L2と最大梁塑性率の関係を図 3.4-35 に示す。最大梁塑性率が 1.0 付近までは ばらつきが比較的小さく、長周期指標に対して線形に大きくなるように見える。しかし 1.0 を越えるとばらつきが非常に大きいことが分かる。次に、速度応答スペクトルの 1.6~7.8 秒の 0.2 秒刻みの値の最大値と平均値を尺度として検討し、図 3.4-36~図 3.4-38 に示す。 図 3.4-35 に実線で区分を示すように長周期地震動階級は概ね 4 になると塑性率 1 を越える ようになる。絶対速度応答スペクトルと相対速度応答スペクトルの相関やばらつきの差は みられないが、それぞれ最大値と平均値を比べると、平均値を用いた方が明らかにばらつ きは小さい。さらに、入力地震動の継続時間の影響も考えられるので 1.6~7.8 秒のエネル ギースペクトルの平均値と最大梁塑性率との関係をそれぞれ図 3.4-39 に示す。相関やばら つきの程度は速度応答スペクトルの場合と同程度となった。

次に、1次固有周期近傍の狭帯域の周期成分の影響が大きい可能性があるので、相対速度 応答スペクトルについて1次固有周期とその1.2倍の範囲の0.1刻みのスペクトル値の最大 値および平均値に対する最大梁塑性率の関係を図3.4-40に示す。固有周期が分かる場合は、 スペクトルの周期範囲を狭くすることによりばらつきが小さくなることが確認された。



図 3.4-34 S 造超高層モデル建物の最大梁塑性率の分布(南海トラフ3連動 ANNI3d-c)。



図 3.4-35 長周期指標と全建物の最大梁塑性率。



101001000 (cm/s)図 3.4·36 絶対速度応答スペクトル (減衰定数 5%; 1.6·7.8s)の最大値と最大梁塑性率。



図 3.4-37 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値と最大梁塑性率。



図 3.4-38 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値と最大梁塑性率。



図 3.4-39 減衰定数 5%のエネルギースペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値と最大 梁塑性率。



図 3.4-340 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%;固有周期からその 1.2 倍の周期まで) と最大梁塑性率。

○長周期地震動の尺度の比較

南海トラフの3連動(ANNI3d-c)および3連動+トラフ沿い(ANNI4c-s-w)の図3.4-22 の範囲のシミュレーション波形を用いて相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクト ルを計算し、1.6-7.8sの0.2秒刻みの値の相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクト ルの関係および最大値と平均値の関係を図3.4-41に示す。相対速度応答スペクトルと絶対 速度応答スペクトルとの関係は、平均的には傾き1の線形関係で、高い相関性を示す。一 方、最大値は平均値に比べて平均として約2倍大きいが、ばらつきは大きいことがわかる。

次に、図 3.4-18 に示した地震の K-NET および KiK-net の地表面の記録の水平 2 成分から相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルを計算した。1.6-7.8s の 0.2 秒刻みの値の相対と絶対の関係および最大値と平均値の関係を図 3.4-42 に示す。図 3.4-41 に示した南海トラフのシミュレーション波形よりばらつきは大きいが、傾向は同じである。



(南海トラフ3連動 ANNI3d-c および南海トラフ3連動+トラフ沿い ANNI4c-s-w)。



131

長周期指標と気象庁長周期地震動階級を比較する。図 3.4-18 に示した地震の K-NET および KiK-net の観測波から長周期地震動階級の算定に用いられる絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 *Svp* などの速度応答スペクトルによる長周期地震動の尺度および長周期指標 *L*を算定した。

 S_{vp} と長周期指標の中で一番相関性の高かった I_{L2} の関係を図 3.4-43 に示す。 S_{vp} の対数 と I_{L2} はほぼ線形の関係があり、(3.4-7)式の関係式を得た。

$$I_{L2} = 1.90 \log S_{vp} + 1.50$$

(3.4-7)

 I_{L2} について絶対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の最大値 S_{vp} から算定される長周期地震動 階級との対応を図 3.4-44 に示す。赤く示した範囲は平均± σ を示す。平均± σ から判断す ると、長周期地震動階級の境目は、1 から 2 が I_{L2} =3.7、2 から 3 が I_{L2} =4.7、3 から 4 が I_{L2} =5.2 となった。

長周期指標の算定の際のハイカットフィルタの下限周期 1/feをパラメータにして、長周期 指標と速度応答スペクトルによる長周期地震動の尺度の対数との相関係数の関係を図 3.4-45 に示す。絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値 Svmが一番長周期側との相関 がよく、フィルタ下限周期約 3 秒で一番相関係数が高いことが分かる。相対速度応答スペ クトル(1.6-7.8s)の最大値および平均値については、フィルタ下限周期は1秒前後である。



図 3.4·43 観測地震の 1.6~7.8 秒の絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の最大値 S_{vp} と長周期指標 I_{L2}の関係.。



図 3.4·44 長周期地震動階級と長周期指標 IL2 (赤で示した範囲は平均± σ を示す)。



図 3.4-45 1/f_cをパラメータにした長周期指標と速度応答スペクトル指標(いずれも減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の対数との相関係数。

- (C) 建物の多様性とフラジリティ
- ○構造形式の異なる超高層建物の応答

平成 24 年度までの検討において用いた均等スパン純ラーメン架構の 30 階建、45 階建、 60 階建の建物解析モデルに加えて、構造形式の異なる超高層建物として、3.2m 短スパンを 基本とした S45X モデル、15.6m 長スパン+耐震壁(耐震ブレース)を有する S45Y モデルを 想定した。ここに建物階数は 45 階で共通としている。さらに、構造形式の異なる建物解析 モデルとして、RC 造 40 階建純ラーメン架構である RC40 を採用した。解析ケースは、平 成 24 年度に作成・選択した、各地の「平均」「平均+σ」「最大」のケースとした。建物解 析モデルの違いによる応答特性の違いを評価するために、各建物解析モデルにより得られ た応答値の相関を検討した。図 3.4-46 に示すように最大層間変形角、最大部材塑性率、最 大部材累積塑性変形倍率の関係を比較すると、塑性化の進展によってばらつきが大きくな り、モデル間の差が大きくなっていることが分かる。



南海トラフの地震の全国 7 地点における平均、平均+σ、最大級の 3 種類の入力地震動 を用いて、長周期地震動の尺度である長周期指標 *I*₁₂、気象庁の長周期地震動階級の用いて いる絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 *S*_{vp}と絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s) の平均値 *S*_{vm}をパラメータにして超高層建物の応答(最大層間変形角、最大梁塑性率、最 大梁累積塑性変形倍率)のばらつきを検討した。ここでは *S*_{vp}を代表尺度として結果を示す が、他の尺度も傾向はほぼ同じであった。また、最大梁累積塑性変形倍率では、継続時間 の影響があるため固有周期からその 1.2 倍までの周期のエネルギースペクトルの最大値を 用いた。

最大層間変形角との関係について図 3.4-47 に示す。赤線は東京近郊のシミュレーション 波形から回帰して得られた関係式 (3.4-5) 式であるが、ある大きさの尺度 (*Swp*) に対して 最大層間変形角の大きめの評価値を与える傾向がある。これは、東京近郊では南海トラフ 地震の場合スペクトル特性が平坦でどの周期帯域もパワーを持っているが、全国各地のス ペクトル特性は、狭帯域の特異な場合があるためと考えられる。多様性を考慮することに よってばらつきが大きいが、特定のモデルだけが偏った特性は示していない。

図 3.4-48 に最大梁塑性率との関係を示す。短スパンの S 造である S45F-X は極めて大き な塑性率を示すケースがあり、スパン長の影響が見られる。塑性率が1を超えて立ち上が る長周期地震動の尺度の値はかなりばらつきがある。

図 3.4-49 に最大梁累積塑性変形倍率との関係を示す。平成 24 年度までのモデルで得られた回帰式を赤線で示すが、緑三角で示す S45F-X モデルは値が大きくなったところで乖離が大きい。入力が大きくなった時には建物モデルによって差が生じることが分かった。





図 3.4-49 エネルギースペクトル指標と最大梁累積塑性変形倍率。

○超高層建物のフラジリティの評価

長周期指標 L、絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 Svpと平均値 Svm、および 相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値 rSvm など長周期地震動の尺度と超高層建物の 応答値との相関に基づいて、尺度に対する超高層建物のフラジリティ曲線を評価する。応 答値としては、最大層間変形角、最大梁塑性率、最大梁塑性変形倍率とし、フラジリティ のレベルとしては、耐震性能判断基準値表(北村・他,2006)による安全限界余裕度 II と安 全限界の境界である最大層間変形角1/100、最大梁塑性率 3.75、最大梁塑性変形倍率 12 と する。入力地震動は南海トラフ地震の全国 7 地点の平均、平均+σ、最大級とする。建物 モデルは多様性を考慮した 6 種類とする。なお、それぞれの解析ケースに偏った重みを与 えず、均一の確率と仮定してフラジリティ評価を行う。

絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 *Svp*と応答解析によって求められた最大層 間変形角の関係を図 3.4-450 に示す。主な尺度の相関係数、回帰式のパラメータ、各尺度の *φ*=1/100 になる中央値および対数標準偏差をまとめて表 3.4-22 に示す。表 3.4-22 に示す回 帰式の傾き *a* を用いて図 3.4-50 の全てのデータを*φ*=1/100 に換算して得られた尺度の値の 確率分布を図 3.4-50 に×で示す。図 3.4-51 には、表 3.4-22 に示す中央値と対数標準偏差 の対数正規分布と仮定した際の確率分布を実線で重ねて示す。対数正規分布の仮定が妥当 であることが分かる。表 3.4-22 に示すように、相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均 値 *rSvp* が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さく、最適な尺度と考えられ、これに ついても図 3.4-51 と同様にフラジリティ曲線を評価して図 3.4-52 に示す。合致度は一番高 いことが分かる。

尺度 <i>ξ</i>	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	rS_{vm} の対数
最大層間変形角の対数の相関係数	0.885	0.872	0.897	0.901
回帰式の傾きa	0.512	0.936	0.998	1.038
回帰式の切片b	-5.02	-4.148	-4.021	-4.059
<i>φ=</i> 1/100 になる尺度 <i>ξ</i> の中央値	5.90	197.2	105.9	96.3
回帰式に対する¢の対数標準偏差	0.327	0.189	0.160	0.151

表 3.4-22 長周期地震動の尺度と最大層間変形角 の関係

回帰式: $\log \phi = a\xi + b$



図 3.4-50 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Svp と最大層間変形角の関係。



絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値Svp(cm/s)

図 3.4-51 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Svpによる最大層間変 形角のフラジリティ曲線。



図 3.4-52 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値 rSvp による最大層間 変形角のフラジリティ曲線。

絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} と最大梁塑性率の関係と回帰式を図 3.4-53 に示す。 S_{vp} の対数に対して最大梁塑性率は線形の関係が見られる。相関係数、回帰 式のパラメータ、各尺度の μ =3.75 になる中央値および対数標準偏差をまとめて表 3.4-23 に 示す。この回帰式の傾き a を用いて全てのデータを μ =3.75 に換算して得られた尺度の値の 確率分布を図 3.4-54 に×で示す。図 3.4-54 には、表 3.4-23 に示す中央値と対数標準偏差 の対数正規分布と仮定した際の確率分布を実線で重ねて示すが、対数正規分布の仮定が概 ね妥当であることが分かる。表 3.4-23 に示すように、最大層間変形角と同様に、相対速度 応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値 rS_{vm} が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さ い。最適と考えられる rS_{vm} についてもフラジリティ曲線を図 3.4-55 に示す。対数正規分布 とした実線との合致度はよい。

尺度 <i>ξ</i>	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	rS_{vm} の対数
最大梁塑性率µの対数の相関係数	0.847	0.834	0.858	0.864
回帰式の傾き a	0.644	1.178	1.257	1.309
回帰式の切片	-3.54	-2.442	-2.283	-2.335
μ=3.75 になる尺度 ξの中央値	6.39	364.1	187.7	166.8
回帰式に対するµの対数標準偏差	0.391	0.222	0.194	0.183

表 3,4-23 長周期地震動の尺度と最大梁塑性率μの関係。



図 3.4-53 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Svp と最大梁塑性率の 関係。



図 3.4-54 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Sup による最大梁 塑性率のフラジリティ曲線。



図 3.4-55 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値 rSvmによる最大梁 塑性率のフラジリティ曲線。

絶対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の最大値 S_{vp} と最大梁累積塑性変形倍率 η の関係と回 帰式を図 3.4-56 に示す。 S_{vp} の対数に対して最大梁累積塑性変形倍率はばらつきが大きいが、 線形の関係があるとして検討する。相関係数、回帰式のパラメータ、各尺度の η =12 になる 中央値および対数標準偏差などをまとめて表 3.4-24 に示す。この回帰式の傾き a を用いて 全てのデータを η =12 に換算して得られた尺度の値の確率分布を図 3.4-56 に×で示す。図 3.4-57 には、表 3.4-24 に示す中央値と対数標準偏差の対数正規分布と仮定した際の確率分 布を実線で重ねて示すが、対数正規分布の仮定に偏りがあることが分かる。表 3.4-24 に示 すように、最大層間変形角と同様に、相対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の平均値 rS_{vm} が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さいので、これについてもフラジリティ曲線 を図 3.4-58 に示す。多少合致度はよくなるが偏りが見られる。表 3.4-25 に示すようにエネ ルギースペクトルの尺度を用いるとさらにばらつきが小さくなるが、最大層間変形角や最 大梁塑性率に比べて劣る。

図 3.4-56 に示すように、データのばらつきを与えている原因として、0.1 以下の最大梁累 積塑性変形倍率のデータがある。これらのデータ値については物理的な意味はなく、最大 梁累積塑性変形倍率が η=12 での特性とは関係がないと考えられるので、ここでは 0.1 以下 の最大梁累積塑性変形倍率のデータを除いて分析を行い、結果をまとめて表 3.4-26 および 表 3.4-27 に示す。ばらつき自体は小さくなり、相関係数は大きくなった。得られたフラジ リティ曲線を図 3.4-59~図 3.4-61 に示すように、最大梁累積塑性変形倍率については、絶 対速度応答スペクトルの尺度より相対速度応答スペクトルの尺度、さらにエネルギースペ クトルを尺度に用いた方がよいと考えられる。また、データ数が減っているため確率分布 は少し波打って見えるが、データ全部を用いた場合に比べて対数正規分布によく適合して いると考えられる。

尺度 <i>ξ</i>	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	rSvmの対数	
ηの対数との相関係数	0.752	0.736	0.762	0.777	
回帰式の傾きa	2.264	4.114	4.416	4.66	
回帰式の切片	-13.40	-9.503	-8.996	-9.297	
<i>η =</i> 12になる尺度 <i>ξ</i> の中央値	6.40	373.2	191.4	168.52	
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.546	0.309	0.275	0.253	

表 3.4-24 長周期地震動の尺度と最大梁累積塑性変形倍率nの関係(全データ)。

表 3.4-25 エネルギースペクトル VEと最大梁累積塑性変形倍率ηの関係(全データ)。

尺度 <i>ξ</i>	$V_E(1.6-7.8s)の平$	VE固有周期からその 1.2 倍周	
	均値の対数	期までの最大値の対数	
ηの対数との相関係数	0.786	0.835	
回帰式の傾き a	4.726	4.752	
回帰式の切片	-11.083	-11.659	
<i>η =</i> 12になる尺度 <i>ξ</i> の中央値	374.4	479.23	
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.245	0.217	

表 3.4-26 長周期地震動の尺度と最大梁累積塑性変形倍率ηの関係 (η≦0.1 を除く)。

尺度 <i>ξ</i>	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	rSvmの対数
ηの対数との相関係数	0.760	0.757	0.764	0.785
回帰式の傾き a	1.127	2.105	2.162	2.315
回帰式の切片	-5.90	-4.072	-3.628	-3.856
η =12 になる尺度ξの中央値	6.19	280.1	150.3	135.4
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.462	0.249	0.239	0.214

表 3.4-27 エネルギースペクトル V_E と最大梁累積塑性変形倍率 η の関係($\eta \leq 0.1$ を除く)。

尺度 <i>ξ</i>	$V_E(1.6-7.8s)の平$	VE固有周期からその 1.2 倍周	
	均値の対数	期までの最大値の対数	
ηの対数との相関係数	0.795	0.820	
回帰式の傾き a	2.353	2.526	
回帰式の切片	-4.757	-5.513	
η =12になる尺度ξの中央値	302.5	406.9	
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.207	0.182	



図 3.4-56 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Sup と最大梁累積 塑性変形倍率の関係。



図 3.4-57 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Svpによる最大梁 累積塑性変形倍率のフラジリティ曲線。



図 3.4-58 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値 rSvmによる最大梁 累積塑性変形倍率のフラジリティ曲線。



図 3.4-59 絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の最大値 Sup による最大梁 累積塑性変形倍率のフラジリティ(最大累積塑性変形倍率 0.1 以下のデータを除 いた分析)。





図 3.4-60 相対速度応答スペクトル(減衰定数 5%; 1.6-7.8s)の平均値 rSvmによる最大梁 累積塑性変形倍率のフラジリティ(最大累積塑性変形倍率 0.1以下のデータを除 いた分析)。



図 3.4-61 固有周期から 1.2 倍周期までのエネルギースペクトル(減衰定数 5%)の最大値 による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ(最大累積塑性変形倍率 0.1 以下 のデータを除いた分析。

○揺れの継続時間の影響

Trifunac and Brady(1975)に従って、地震の加速度波形のパワー(自乗)の積算値が観測波 形全体の 5%と 95%の間の時間を継続時間 T_d とする。2012 年度までの 69 ケースの南海ト ラフの全国 7 か所(大分、大阪、大阪舞洲、四日市、愛知、静岡、東京)のシミュレーシ ョン波形を用いて継続時間に対する 1.6~7.8 秒のエネルギースペクトルと相対速度応答ス ペクトルの平均値の比を図 3.4-61 に示す。線形的な関係を示す。継続時間 $T_d=0$ の場合の 値を 1.0 として直線回帰すると、(3.4-8) 式となり、図 3.4-62 に赤線で示す。

$$\frac{\overline{V}_E}{\overline{S}_V} = 0.00530 T_d + 1.0 \tag{3.4-8}$$

図 3.4-64 に示した被害地震で K-NET および KiK-net での観測記録を用いて、継続時間 とエネルギースペクトル V_E および速度応答スペクトルを計算し、(1)で示したシミュレーシ ョン波形の分析と同様な分析を行い、継続時間に対する平均 V_E /平均 S_V を図 3.4-63に示す。 両者は対数軸上で線形の関係があり、得られた回帰式(3.4-9)式を図中に赤線で示す。

$$\frac{\overline{V_E}}{\overline{S_V}} = 1.13 \log T_d - 0.27 \tag{3.4-9}$$

長周期地震動が卓越した代表的な地震の観測地点のデータを選定して図 3.4-64 に示す。 (3.4-8) 式と(3.4-9) 式も重ねて示す。ばらつきは大きいが継続時間が長くなると比は大 きくなる。同じ地震では震源近傍より沖積平野上の遠方のほうが継続時間は長くなり、3 種 類の比の差が小さくなる傾向が見られる。そこで、その原因を分析するために 2011 年東北 地方太平洋沖地震を例に沖積地盤上の3地点のスペクトルの比較を図 3.4-65~図 3.4-67 に 示す。長周期側をみると、震源近傍では擬似速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクト ルは同程度であるが、相対速度応答スペクトルはそれよりも大きくなりばらつきがあるが、 遠方では3種類の速度応答スペクトルは一致する傾向があり、3種類の比が同じになること が分かる。



図 3.4-62 継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比 (エネルギースペクトル/相対速度応答スペクトル)。



図 3.4-63 継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比 (エネルギースペクトル/相対速度応答スペクトル)。



図 3.4-64 継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比(マーカーは観測値、実線の回 帰式は菱形のマーカーに対応した V_E/S_Vの 6.4-1 式および 6.4-2 式)。







図 3.4-66 スペクトル比較(2011 年東北地方太平洋沖地震 TKY017 辰巳 NS 成分)。



図 3.4-67 スペクトル比較(2011 年東北地方太平洋沖地震 OSKH02 此花 NS 成分)。

南海トラフのシミュレーション波形については 2 秒以上の周期成分しか含まれていない が、観測波については短周期成分も含まれているので、評価した継続時間は同等ではない。 ここでは、ローパスフィルタによって 1 秒以上の周期成分のみ取り出し、さらに主要動の 大きい部分のみを取り出すために終了判定のパワーの累積値は 95%ではなく 70%として継 続時間を計算する。上述の継続時間に対するここで評価した継続時間の関係を図 3.4-68 に 示す。平均的にみるとここで評価した継続時間の方が短い傾向がある。

図 3.4-63 に対応した図を図 3.4-69 に示す。赤線は図 3.4-63 に記入した(3.4-9)式で、 継続時間の求め方を変えても相関が良くなることはなく、全体的には傾向は変わらないこ とが分かる。



図 3.4-68 観測波の継続時間の求め方の違いによる相関。



図 3.4-69 継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比。
○最大梁累積塑性変形倍率

長周期地震動は沖積平野では長時間揺れ続ける現象が起きる。大きな揺れが継続すると、 鉄骨部材は低サイクル疲労を起こして破断し、被害が大きくなる可能性がある。そのよう な被害に関係した建物応答値として最大梁累積塑性変形倍率について検討する。南海トラ フ3連動震源モデルによる東京近郊の2kmメッシュのシミュレーション長周期地震動を入 力地震動とする。入力地震動から計算した長周期指標 I_{L2}と応答解析結果による最大累積塑 性変形倍率の関係を図 3.4-70 に示す。45 階建だけは低い指標値でも最大累積塑性変形倍率 が大きいケースがあるが、概ね指標値が 5.3 を境に塑性化が進むケースが多いことが分かる。 ただし、ばらつきが大きく、明瞭な相関は見られない。

次に、絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 *Svp*と最大累積塑性変形倍率の関係 を図 3.4-70 に示す。長周期地震動階級 4 となる 100cm/s 以上で塑性化が進んでいる。ただ し、長周期指標と同様に、*Svp*と最大累積塑性変形倍率との関係はばらつきが大きく、明瞭 な相関が見えない。同様に、絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値 *Svm*を尺度とす ると、図 3.4-72 に示すように、ばらつきが小さくなる。

継続時間の効果を考慮できるエネルギースペクトルを用いて検討を行う。水平 2 方向の 周期 1.6~7.8 秒の 0.2 秒刻みのエネルギースペクトル(減衰 10%)の最大値に対する最大 梁塑性変形倍率を図 3.4-73 に示す。ばらつきは依然として大きい。そこで、図 3.4-74 に示 すように、超高層建物の 1 次固有周期からその 1.2 倍周期のエネルギースペクトルの最大値 *V*_Eを用いると、最大梁累積塑性変形倍率との相関は大きく改善された。

さらに、震源の特性の違いや継続時間の違いの影響を把握するために、南海トラフの44 シナリオ地震による東京新宿の地震動で検討した結果を図3.4-75に示す。建物階数の違い や継続時間が異なるシナリオ地震に対して、傾向は変化なく、ばらつきが小さい。 Ve=150cm/sまでは塑性化せず、400cm/sを越えると最大梁累積塑性変形倍率は急激に大き くなる傾向が見られる。VEの対数に対して最大梁累積塑性変形倍率 CPとの関係を(3.4-10) 式~(3.4-12)式に示す3折れ線で置換する。

$C_P = 0$: $V_E \le 150$	(3.4-10)
$C_P = 38.2 \log V_E - 83.1$: $150 < V_E \le 400$	(3.4-11)
$C_P = 178.4 \log V_E - 447.9$: $400 < V_E$	(3.4-12)

ただし、梁の長さの違いや RC 造など異なる構造形式の建物の場合では梁に塑性が始まる Vr値が異なり、もう少しばらつきがある可能性がある。



図 3.4-70 長周期指標 IL1~IL3 と最大累積塑性変形倍率(ANNI3d-c)









図 3.4-73 周期 1.6~7.8 秒の 0.2 刻みのエネルギースペクトルの最大値と最大累積塑性変形倍率。



図 3.4-74 建物 1 次周期からその 1.2 倍周期までの 0.1 秒刻みのエネルギースペクトルの最 大値と最大累積塑性変形倍率 *Cp*。



(b) 南海トラフ 44 シナリオ地震(東京新宿)

図 3.4-75 建物 1 次周期からその 1.2 倍周期までの 0.1 秒刻みのエネルギースペクトルの最 大値 V_Eと最大累積塑性変形倍率 C_P。 (E) ゆれビルの改修

長周期地震動に対する理解を深めるため、高層ビルの最上階での揺れを表示するアプリ ケーション「ゆれビル」をこれまでに開発していたが、2013年9月にリリースされた iPhone の新しい OS (iOS7) において正常に動作しないことが確認された。そこで、iOS7 でも動 作するようにアプリケーションの改修を行った。

(c) 結論および今後の課題

本検討では、地震ハザードステーション J-SHIS を参照して検討した結果、3.3 節までに 述べた長周期地震動ハザード評価について、評価結果および評価に用いたデータを公開す るシステムの一案を示すことができた。また、多様な超高層建物の応答計算を実施し、本 検討で計算した長周期地震動シミュレーション結果からどの程度の被害が生じ得るかを具 体的に提示するとともに、長周期地震動の強さを表す指標について、気象庁による長周期 地震動階級も含めて、超高層建物の被害との対応について検討し、長周期地震動ハザード 評価結果をフラジリティ評価に活用する可能性ついて示すことができた。これらの検討結 果は、長周期地震動ハザード評価結果の利活用はもちろん、長周期地震動とそれによる被 害についての理解を一般に広め、長周期地震動への対策に資することが期待できる。

今後、専門家さらに超高層建物に居住する一般の人が簡単に被害の程度を想定し、長周 期地震動とその被害を理解し、対策などへの利活用を容易に行うことができるようなシス テム作りのために、本検討の流れを位置づけて行くことが重要と考えられる。さらに、今 年度は南海トラフがメインで検討を行ったが、相模トラフについても同等な検討が今後求 められている。また、東京近郊だけでなく、濃尾平野や大阪平野などの超高層建物の建て られている地域での揺れや建物応答の違いなどを面的に詳細に検討することも緻密な対策 を考える上で重要である。このように、今後ますます利活用が広がっていくような長周期 地震動に関する検討が望まれる。さらに、超高層建物の最大応答値には、短周期地震動成 分の影響も含まれるので、厳密な評価には広帯域地震動の評価が今後必要と考えられる。

(d) 引用文献

北村春幸・宮内洋二・福島順一・深田良雄・森伸之,2004,性能設計における性能判断 基準値に関する研究-時刻歴応答解析に基づくJSCA 耐震性能メニューの検証-,日 本建築学会構造系論文集,第 576 号, pp.47-54.

北村春幸・宮内洋二・浦本弥樹, 2006, 性能設計における耐震性能判断基準値に関する 研究,日本建築学会構造系論文集,第604号, pp.183-191.

日本建築学会,2012,長周期地震動対策に関する公開研究集会資料.

首都直下地震モデル検討会,2013,首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書,45pp.

高橋徹・貞弘雅晴・斉藤大樹・森田高市・野口和也・箕輪親宏,2007,長周期地震動を考 慮した人間の避難行動限界評価曲線の提案,日本建築学会大会学術講演梗概集,B-2(構 造II),pp.497-498. 東京都, 2011, 建築統計年報 2011 年版, 東京都都市整備局市街地建築部.

Trifunac, M. D. and A. G. Brady, 1975, A study on the duration of strong earthquake ground motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, pp.581-626.