# 南海トラフ沿いの巨大地震による 長周期地震動に関する報告

## 図表集

### 平成27年12月

南海トラフの巨大地震モデル検討会

## 首都直下地震モデル検討会

図1. 長周期地震動の主な特徴1
図2. 超高層建築物の固有周期と建物の高さ・階数の関係2
図3. 南海トラフ沿いの巨大地震の発生履歴 3
図4. 東北地方太平洋沖地震における断層のすべり量分布
図5. 強震動生成域と大すべり域・超大すべり域 4
図6. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の再現 5
図7. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動(周期10秒)の推計9
図8. 東北地方太平洋沖の強震動生成域とアスペリティ分布 10
図9. 地震全体の地震モーメントと断層面積のスケーリング則 11
図10. 各強震動生成域の地震モーメントと面積のスケーリング則11
表1 既往研究における東北地方太平洋沖地震の強震動生成域 (SMGA) 12
図11.各強震動生成域の応力降下量と地震モーメントとの関係12
図12. 長周期地震断層モデルの強震動生成域位置 13
表2. 長周期地震断層モデルの断層パラメータ 16
図13. 浅い地盤における地表と孔中のスペクトル比18
図14. 固い地盤と柔らかい地盤における地表と孔中のスペクトル比18
図15. 地盤構造モデルの点検・修正を行った地域 20
図16. 地盤構造モデル修正前後のH/Vスペクトル 21
図17. 地盤構造のピーク周期の比較 23
図18. 地盤構造モデル修正前後の速度層上面深度分布
図19. 地盤構造モデルの断面図 28
図20. 地盤モデルから算出した1次固有周期の分布 30
図21. 震度の「ゆれやすさマップ」 31
図22. 統計的グリーン関数法と三次元差分法 32
図23. 断層のすべり量の揺らぎによる速度応答分布の比較 33
図24. 破壊伝播速度の揺らぎの設定 34
図25. 昭和東南海地震における長周期地震動の再現 37
図26. 大正関東地震における長周期地震動の再現 38
図27.破壊開始点の違いによる影響
図28. 強震動生成域の位置の違いによる影響 40
図29.計算波形例
図30. 地表の揺れ(最大速度)の推計結果 45
図31. 地表の揺れ(最大変位)の推計結果 46
図32. 震度分布

図33.継続時間の推計結果	49
図34.応答最大層間変形角と速度応答スペクトルとの関係	50
図35. 擬似速度応答スペクトル(宝永地震)	51
図36. 擬似速度応答スペクトル(安政東海地震)	53
図37. 擬似速度応答スペクトル(最大クラスの地震)	55
参考1 超高層建築物の構造躯体への影響に関する実証的研究	57
参図1. 実験概要図	57
参図2. 試験体の梁伏および軸組図	57
参図3.入力地震動の加速度波形	58
参図4. 実験に用いた擬似速度応答スペクトル	58
参表1. 実験経過と損傷状況	59
参図 5. 層せん断力-層間変形角関係 1階	59
図38. 建物の多自由度系へのモデル化と各モードの揺れ	60
図39.モード合成法の概念	61
図40.モード合成法による観測記録波形の再現と減衰率の設定	62
図41.モード合成法を用いた高層建築物の各階における揺れの推計	64
図42.長周期地震動の観測波形とモード合成法による応答波形の比較	65
表3. 超高層建築物における揺れの観測記録と推計結果の比較	67
図43. 観測記録とモード合成法、SRSS法との相関	68
図44. 超高層建築物の最上階の揺れ(宝永地震)	70
図45. 超高層建築物の最上階の揺れ(安政東海地震)	74
図46. 超高層建築物の最上階の揺れ(最大クラスの地震)	78
図47.家具類等の転倒の簡易予測手法に基づく家具の形状別の転倒可能性	82
表4. 行動難度解説表	83
図48.家具の転倒・人の行動難度と建物の応答との関係	83
図49 地盤構造モデルの修正前後における長周期地震動の地表の揺れの比較	84





短周期の地震動による建物の揺れ

長周期地震動による建物の揺れ

図1. 長周期地震動の主な特徴



※日本建築学会・「実測減衰データベース」より作成

#### 図2. 超高層建築物の固有周期と建物の高さ・階数の関係



図3. 南海トラフ沿いの巨大地震の発生履歴



図4. 東北地方太平洋沖地震における断層のすべり量分布



図5. 強震動生成域と大すべり域・超大すべり域



図6-1.東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の再現

川辺<sup>1</sup>・倉橋<sup>2</sup>モデル 観測波形(黒)と推計結果(赤)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>川辺秀憲・釜江克宏・上林広敏(2012):2011 年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の長周期地震動シミュレーション,日本建築学会大会学術講演梗概集,69-70.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Kurahashi S. and K. Irikura(2013): Short-Period source model of the 2011 Mw 9.0 Off the pacific coast of Tohoku earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 1373-1393.



川辺・倉橋 モデル 観測波形(黒)と推計結果(赤)



図6-3. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の再現 川辺・倉橋 モデル 観測波形(黒)と推計結果(赤)



図6-4. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の再現 川辺 ・倉橋 モデル 観測波形(黒)と推計結果(赤)



\*川辺秀憲・釜江克宏・上林広敏(2012):2011 年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の長周期地震動シミュレーション,日 本建築学会大会学術講演梗概集,69-70.

最大クラスに相当する東北地方太平洋沖地震の強震動生成域位置は、それ以前の過去地震で 大きな揺れを引き起こしたとされた地域(アスペリティ)と概ね一致する場所である。



1994 (7, 6) 1921 (7, 2) 1989 (7, 2) 1989 (7, 2) 1988 (7, 2) 1978 (7, 4) 1981 (7, 0) 1938 (7, 3) 1938 (7, 4) 1938 (7, 5) 1938 (7, 0)

東北地方太平洋沖地震における 強震動生成域とすべり量分布

「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する 専門調査会」(H18) で検討したアスペリティ分布

図8. 東北地方太平洋沖の強震動生成域とアスペリティ分布





室谷ほか(2012): M9 クラス巨大地震のすべり量分布とスケーリング,2012 年日本地震学 会講演予稿集秋季大会講演集



図10.各強震動生成域の地震モーメントと面積のスケーリング則

	SMGA	S[km <sup>2</sup> ]	Mo[Nm]	Mw	$\Delta \sigma$ [MPa]
Asano & Iwata[2012]	SMGA1	1296	4.57E+20	7.71	23.9
	SMGA2	1296	5.33E+20	7.75	27.8
	SMGA3	1225	3.07E+20	7.59	17.5
	SMGA4	1225	1.16E+20	7.31	6.6
Kurahashi Irikura[2013]	SMGA1	1156	2.68E+20	7.55	16
	SMGA2	650.25	1.41E+20	7.37	20
	SMGA3	1806.25	6.54E+20	7.81	20
	SMGA4	533.61	1.24E+20	7.33	25.2
	SMGA5	1239.04	5.95E+20	7.78	26
川辺ほか[2012]	SMGA1	1600	5.02E+20	7.73	20.4
	SMGA2	2500	1.10E+21	7.96	21.6
	SMGA3	441	6.43E+19	7.14	15.7
	SMGA4	784	1.02E+20	7.27	10.5
	SMGA5	900	2.58E+20	7.54	23.1
佐藤智美[2012]	SMGA1	2025	1.49E+21	8.05	39.8
	SMGA2	8100	7.73E+21	8.53	25.9
	SMGA3	900	3.23E+20	7.61	29.1
	SMGA4	450	8.06E+19	7.20	20.6

表1 既往研究における東北地方太平洋沖地震の強震動生成域 (SMGA)

Asano, Kimiyuki and Tomotaka Iwata(2012): Source model for strong ground motion generation in the frequency range0.1–10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, 64, 1111–1123.

佐藤智美(2012):経験的グリーン関数法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル,日本建築学会構造系論文集第 77 巻第 675 号,695-704.



図11. 各強震動生成域の応力降下量と地震モーメントとの関係



宝永地震(左:震度分布、右:SMGAの位置と推計震度)



安政東海地震(左:震度分布、右: SMGAの位置と推計震度)



安政南海地震(左:震度分布、右:SMGAの位置と推計震度)

#### 図12-1.長周期地震断層モデルの強震動生成域位置



昭和東南海地震(左:震度分布、右:強震動生成域の位置と推計震度)



図12-2.長周期地震断層モデルの強震動生成域位置





最大クラスの地震

最大クラスに相当する東北地方太平洋沖地震の SMGA の位置は、それ以前の過去地震 で大きな揺れを引き起こしたとされた地域と概ね一致する場所であることを踏まえ、 南海トラフの最大クラスの地震は、SMGA の位置を検討対象とした過去地震の全ての SMGA を包絡するモデルとした。なお、過去地震の強震動生成域の面積が異なる場合 は最大のものを採用した

図12-3.長周期地震断層モデルの強震動生成域位置

#### 宝永地震

#### 安政東海地震

#### 安政南海地震

	南	東南海	
面積(km²)		6,722	3,992
地震モーメント(Nm)		3.2E+21	1.6E+21
SMGA#	9	5	1
面積(km <sup>2</sup> )	608.1	929.2	914.0
地震モーメント(Nm)	1.8E+20	3.5E+20	3.4E+20
Mw	7.4	7.6	7.6
応力パラメータ(MPa)	30.0	30.0	30.0
ライズタイム(s)	4.6	5.6	5.6
SMGA#		6	2
面積(km <sup>2</sup> )	-	1,959.9	913.5
地震モーメント(Nm)	_	1.1E+21	3.4E+20
Mw	_	8.0	7.6
応力パラメータ(MPa)	-	30.0	30.0
ライズタイム(s)	-	8.2	5.6
SMGA#		$\overline{\mathcal{O}}$	3
面積(km <sup>2</sup> )	_	1,612.9	1,237.5
地震モーメント(Nm)	_	8.0E+20	5.4E+20
Mw	_	7.9	7.8
応力パラメータ(MPa)	-	30.0	30.0
ライズタイム(s)	-	7.4	6.5
SMGA#		8	4
面積(km <sup>2</sup> )	-	1,611.5	926.5
地震モーメント(Nm)	-	8.0E+20	3.5E+20
Mw	-	7.9	7.6
応力パラメータ(MPa)	-	30.0	30.0
ライズタイム(s)	-	7.4	5.6
破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7
fmax	6Hz	6Hz	6Hz

	東南海	駿河湾		南海
面積(km <sup>2</sup> )		4,142	面積(km <sup>2</sup> )	4,277
   地 震 <del>エ</del> ー メント(Nm)		1 4F+21	- 地震モーメント (Nm)	1.7E+21
		1.42.2	SMGA#	1
SMGA#	3	(1)	面積(km <sup>2</sup> )	929.2
面積(km²)	914.0	569.8	地震モーメント	2 5 5 1 20
地震モーメント(Nm)	3.4E+20	1.7E+20	) (Nm) Muu	3.32+20
Mw	7.6	7.4	- IVIW 	7.0
応力パラメータ(MPa)	30.0	30.0	) $\exists A \vec{x} \forall A A A (a)$	56
ライズタイム(s)	5.6	4.4	SMGA#	2
SMGA#	4	2	面積(km <sup>2</sup> )	928.8
面積(km <sup>2</sup> )	913.5	515.9		
地震モーメント(Nm)	3.4E+20	1.4E+20	) (Nm)	3.5E+20
Mw	7.6	74	Mw	7.6
応力パラメータ(MPa)	30.0	30.0	応力パラメータ (MPa)	30.0
ライズタイム(s)	5.6	4.2	(1)(1) ライズタイム(s)	5.6
SMGA#	5		SMGA#	3
面積(km <sup>2</sup> )	613.0	-	面積(km <sup>2</sup> )	1,210.3
地震モーメント(Nm)	1.9E+20	_	地震モーメント (Nm)	5.2E+20
Mw	7.4	-	Mw	7.7
応力パラメータ(MPa)	30.0	_	応カパラメータ	30.0
ライズタイム(s)	4.6	-	ライズタイム(s)	6.4
SMGA#	6		SMGA#	4
面積(km <sup>2</sup> )	615.8		面積(km <sup>2</sup> )	1,208.7
地震モーメント(Nm)	1.9E+20	-	地震モーメント (Nm)	5.2E+20
Mw	7.4	_	Mw	7.7
応力パラメータ(MPa)	30.0	-	応カパラメータ	30.0
ライズタイム(s)	4.6	_	ライズタイム(s)	6.4
破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	破壞伝播速度	2.7
fmax	6Hz	6H2	fmax	6Hz

#### 表2-1.長周期地震断層モデルの断層パラメータ

#### 昭和東南海地震

#### 昭和南海地震

#### 最大クラスの地震

	東南海
面積(km <sup>2</sup> )	2,856
地震モーメント(Nm)	9.5E+20
SMGA#	1
面積(km <sup>2</sup> )	713.3
地震モーメント(Nm)	2.3E+20
Mw	7.5
応カパラメータ	30.0
ライズタイム(s)	4.9
SMGA#	2
面積(km <sup>2</sup> )	913.5
地震モーメント(Nm)	3.4E+20
Mw	7.6
応カパラメータ(MPa)	30.0
ライズタイム(s)	5.6
SMGA#	3
面積(km <sup>2</sup> )	613.0
地震モーメント(Nm)	1.9E+20
Mw	7.4
応カパラメータ	30.0
ライズタイム(s)	4.6
SMGA#	4
面積(km <sup>2</sup> )	615.8
地震モーメント(Nm)	1.9E+20
Mw	7.4
応カパラメータ	30.0
ライズタイム(s)	4.6
破壊伝播速度(km/s)	2.7
fmax	6Hz

	南海		
面積(km <sup>2</sup> )		3,051	面積(km <sup>2</sup> )
地震モーメント(Nm)		1.1E+21	地震モーメント(N
SMGA#	1		SMGA#
面積(km <sup>2</sup> )		618.1	面積(km <sup>2</sup> )
地震モーメント(Nm)		1.9E+20	地震モーメント(N
Mw			Mw
応力パラメータ(MPa)		30.0	応力パラメータ
ライズタイム(s)		4.6	ライズタイム(s)
SMGA#	2		SMGA#
面積(km <sup>2</sup> )		619.6	面積(km <sup>2</sup> )
地震モーメント(Nm)		1.9E+20	地震モーメント(N
Mw		7.5	Mw
応カパラメータ(MPa)		30.0	応力パラメータ(N
ライズタイム(s)		4.6	ライズタイム(s)
SMGA#	3		SMGA#
面積(km <sup>2</sup> )		906.8	面積(km <sup>2</sup> )
地震モーメント(Nm)		3.4E+20	地震モーメント(N
Mw		7.6	Mw
応力パラメータ(MPa)		30.0	応カパラメータ
ライズタイム(s)		5.6	ライズタイム(s)
SMGA#	4		SMGA#
面積(km <sup>2</sup> )		906.3	面積(km <sup>2</sup> )
地震モーメント(Nm)		3.4E+20	地震モーメント(N
Mw		7.6	Mw
応力パラメータ(MPa)		30.0	応カパラメータ
ライズタイム(s)		5.6	ライズタイム(s)
破壊伝播速度(km/s)		2.7	破壊伝播速度(ki
fmax		6Hz	fmax

			1	
	南海		東南海	駿河湾
面積(km²)		6,722		5,077
地震モーメント(Nm)		3.2E+21		1.9E+21
SMGA#	1	$\overline{\mathcal{O}}$	3	1
面積(km²)	608.1	929.2	914.0	569.8
地震モーメント(Nm)	1.8E+20	3.5E+20	3.4E+20	1.7E+20
Mw	7.4	7.6	7.6	7.4
応カパラメータ	30.0	30.0	30.0	30.0
ライズタイム(s)	4.6	5.6	5.6	4.4
SMGA#		8	4	2
面積(km <sup>2</sup> )	_	1,959.9	913.5	515.9
地震モーメント(Nm)	-	1.1E+21	3.4E+20	1.4E+20
Mw	-	8.0	7.6	7.4
応力パラメータ(MPa)	-	30.0	30.0	30.0
ライズタイム(s)	_	8.2	5.6	4.2
SMGA#		9	5	
面積(km²)	_	1,612.9	1,237.5	_
地震モーメント(Nm)	-	8.0E+20	5.4E+20	_
Mw	-	7.9	7.8	-
応力パラメータ	_	30.0	30.0	_
ライズタイム(s)	_	7.4	6.5	_
SMGA#		10	6	
面積(km <sup>2</sup> )	_	1,611.5	926.5	-
地震モーメント(Nm)	-	8.0E+20	3.5E+20	-
Mw	_	7.9	7.6	-
応カパラメータ	-	30.0	30.0	_
ライズタイム(s)	-	7.4	5.6	-
破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
fmax	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz

表2-2.長周期地震断層モデルの断層パラメータ



KiK-net 孔中地震計の深さ(m)の分布

孔中地震計深さ 99~105m のスペクトル比

浅い地盤の増幅を確認するため、深さが99~105mのKiK-net 孔中地震計で東北地方太平洋沖地震時に 観測された地震記録を抽出し、地表の観測記録とのスペクトル比をとると、短周期成分では増幅が大き いが、周期2秒以上では、増幅が小さいことが確認できる。





AVS30(深さ30mまでの平均S波速度)が小さい、すなわち地盤がやわらかいところでは、 AVS30が大きい(地盤が固い)ところと比較して、やや増幅していることが確認できる。

図14-1. 固い地盤と柔らかい地盤における地表と孔中のスペクトル比



西新宿における増幅

足立区における増幅

東京湾湾岸近傍・低地の一部では工学的基盤が深く、その増幅率が周期2秒以上でも大きいことが指摘されている。そのような場所で地表/孔中記録の比較できるようなデータが無かったため、1次元応答計算により増幅率を求めたところ、(特に入力地震動が大きく非線形効果の影響がある場合)表層において2秒よりも長い周期が増幅することが確認できた。

図14-2. 固い地盤と柔らかい地盤における地表と孔中のスペクトル比



図15. 地盤構造モデルの点検・修正を行った地域



図16-1. 静岡県における修正前後のH/Vスペクトル例



図16-2. 徳島県と香川県における修正前後のH/Vスペクトル例



図17-1. 地盤構造のピーク周期の比較(静岡県)



グラフの横軸:観測ピーク周期、縦軸:計算ピーク周期 図17-2. 地盤構造のピーク周期の比較(徳島県)



図17-3 三大都市圏におけるピーク周期の比較(横軸:観測ピーク周期、縦軸:計算ピーク周期)



図18-1. 地盤構造モデル修正前後の速度層上面深度分布



左図:修正後(本検討)、右図:修正前(全国一次地下構造モデル)

#### 図18-2. 地盤構造モデル修正前後の速度層上面深度分布









#### (参考:中央防災会議,2006)

※深い地盤構造モデルから算出した地盤の1次固有周期の分布は、 地震動が卓越しやすい周期と相関がある

#### 図20. 地盤モデルから算出した1次固有周期の分布



図21 震度の「ゆれやすさマップ」 (全国一律にM6.8の震源を想定した場合の震度分布(内閣府,2013))



図22. 統計的グリーン関数法と三次元差分法


SMGA 内のすべり量分布は一定であるが、それに揺らぎ(標準偏差7%)を与えても計算波形の振幅はほぼ変わらない

# 図23. 断層のすべり量の揺らぎによる速度応答分布の比較



本検討で用いた破壊開始時間

### 図24-1. 破壊伝播速度の揺らぎの設定



破壊伝播速度の揺らぎの大きさを決める際には、東北地方太平洋沖地震の再現計算による周 期2~3秒の再現性に着目した。上図は、周期3秒の速度応答スペクトルで観測と比較したも の。下図は、計算フーリエスペクトルと観測フーリエスペクトルそれぞれの平均を比較したも の。それぞれにおいて、揺らぎの大きさ7%において、再現性が向上すると判断した。

### 図24-2.破壊伝播速度の揺らぎの設定



断層内の破壊伝播は同心円状に広がる設定を基本としているが、実際の断層破壊を 模してその破壊伝播速度に揺らぎを与えている。その揺らぎに用いる乱数セットによ り、地震動大きさが上図のように変化するため、ここでは5つの乱数セットの計算を 行いその平均を計算した。

# 図24-3.破壊伝播の揺らぎによる影響







### ※周期2秒~10秒の周期帯以外の成分をカットする処理

# 図26.大正関東地震における長周期地震動の再現



※宝永地震で評価 図27.破壊開始点の違いによる影響







図28-1. 強震動生成域の位置の違いによる影響



沖側へずらしたケース



陸側へずらしたケース



図28-2. 強震動生成域の位置の違いによる影響















最大クラスの地震



※周期2秒~10秒の周期帯以外の成分をカットする処理



最大クラスの地震

図31. 地表の揺れ(最大変位)の推計結果 (周期2秒~10秒のバンドパスフィルタ処理\*後)

※周期2秒~10秒の周期帯以外の成分をカットする処理



図32-1. 宝永地震の再現震度(再掲)



図32-2. 安政東海地震の再現震度(再掲)



検討対象とした5つの過去地震の震度の重ね合わせ



(参考)内閣府(2012)基本ケースの震度分布



宝永地震



安政東海地震



最大クラスの地震

# 図33.継続時間の推計結果

(閾値:周期2秒~10秒のバンドパスフィルタ処理\*後の速度値が5cm/s以上かつPGV最大値の10%以上)

※周期2秒~10秒の周期帯以外の成分をカットする処理



内閣府において、標準的な超高層建築物 14 棟 (S造 30 階4棟・45 階6棟・60 階2棟、RC造 40 階3棟)について、今回の検討で作成した長周 期地震動を入力し、時刻歴応答解析を行ったとこ ろ、「応答最大層間変形角」と「1次固有周期にお ける相対速度応答値(Sv)」との間に概ね比例関 係がみられた。

応答最大層間変形角-(1次固有周期時)速度応答スペクトル関係



阿部・他(2014)による応答最大層間 変形角ー (1 次固有周期時)速度応答ス ペクトル関係

・文部科学省による平成24年度「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」により作成した地震波を使用。

検討結果(左上)と左図の重ね合わせ 赤線が今回の検討による分布の範囲

図34.応答最大層間変形角と速度応答スペクトルとの関係



周期2秒



周期3秒



周期4秒

図35-1. 宝永地震の擬似速度応答スペクトル (pSv) (減衰率5%)







周期6秒

図35-2. 宝永地震の擬似速度応答スペクトル(pSv)(減衰率5%)







周期3秒



周期4秒

図36-1. 安政東海地震の擬似速度応答スペクトル (pSv) (減衰率5%)



周期5秒



周期6秒

図36-2. 安政東海地震の擬似速度応答スペクトル (pSv) (減衰率5%)







周期3秒



周期4秒

図37-1.最大クラス地震の擬似速度応答スペクトル(pSv)(減衰率5%)



周期5秒



周期6秒

図37-2.最大クラス地震の擬似速度応答スペクトル(pSv)(減衰率5%)

#### 参考1 超高層建築物の構造躯体への影響に関する実証的研究

### 1. 実験名称

文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」 都市機能の維持・回復に関する調査研究(1)-1)鉄骨造高層建物の崩壊余裕度の定量化

### 2. 目的

鉄骨造高層建築が完全に崩壊するまでの余裕度を定量化することを目的とする。

#### 3. 実験手法

防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター実大三次元振動破壊実験施設(E-ディフェンス)を利用して、大規模震動台実験を実施した。

下図のとおり、試験体を震動台に設置し、南海トラフを震源とする三連動地震を想 定した長周期地震動を想定した揺れを起こし、震動台の揺れを次第に大きくして、試 験体の損傷がどのように進むかを調査した。



参図1. 実験概要図

#### 4. 震動台に設置する試験体の概要

1980年代から1990年代に建設された鉄骨造高層建物を念頭に、18階建てを想定した縮尺1/3の試験体とする。詳細は、下図のとおりである。



参図2. 試験体の梁伏および軸組図

#### 5. 入力地震動について

国土交通省「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」に示された方法により「東海・東南海・南海の三連動地震」の模擬地震動を作成する。

作成した入力地震動の加速度波形と擬似速度応答スペクトルは、以下のとおりである。この波形は、「長周期平均レベル(pSv 110cm/s)」として、これを係数倍することにより震動台の加振レベルを次第に大きくした。

なお、本実証的研究では、作成した模擬地震動を包絡するレベルの180cm/s(平均の1.64倍)を「長周期最大レベル」としている。





参図4.実験に用いた擬似速度応答スペクトル

### 6. 実験の結果と損傷状況

震動台の揺れを下表に示すとおり次第に大きくし、試験体の損傷がどのように進む かを調査した結果、試験体の損傷状況は、以下のとおりとなった。

加振レベル		凡例	想定するレベル	試験体頂部 最大変位(cm)	試験体最大 層間変形角	試験体の損傷	
pSv40cm/s	36.4%	pSv40	設計(レベル1)	8.5	1/171 (14F)	弾性	
pSv81cm/s	73.6%	pSv81	設計(極稀レベル2)	15.3	1/110 (3,14F)	梁端塑性化(2-4F)	
pSv110cm/s	100.0%	pSv110-1	長周期平均	20.6	1/90 (14F)	梁端(2-7F)、柱脚(1F)塑性化	
pSv110cm/s	100.0%	pSv110-2	長周期平均	21.7	1/91 (14F)	同上	
pSv180cm/s	163.6%	pSv180-1	長周期最大	30.8	1/62 (11F)	梁端(2-14F)降伏、梁端(2-5F)亀裂の兆候	
pSv180cm/s	163.6%	pSv180-2	長周期最大	31.7	1/55 (11F)	梁端(2-14F)降伏、梁端(2-5F) 亀裂発生	
pSv220cm/s	200.0%	pSv220	長周期最大超	34.7	1/48 (9F)	梁端(2F)破断	
pSv250cm/s	227.3%	pSv250	長周期最大超	33.7	1/45 (2F)	梁端(2-3F)破断	
pSv300cm/s	272.7%	pSv300	長周期最大超	37.4	1/30 (2F)	梁端(2-5F)破断	
pSv340cm/s	310.0%	pSv340-1	長周期最大超	51.0	1/16 (2F)	梁端破断上層階に進展、1F柱脚局部座屈	
pSv340cm/s	310.0%	pSv340-2	長周期最大超	56.3	1/13 (2F)	梁端破断上層階に進展、1F柱脚局部座屈進展	
pSv420cm/s	381.8%	pSv420-1	長周期最大超	66.6	1/10 (2F)		
pSv420cm/s	381.8%	pSv420-2	長周期最大超	100	1/6 (2F)	] 下5層全梁端破断、1F柱脚破断、崩壊	
pSv420cm/s	381.8%	pSv420-3	長周期最大超	崩壊	崩壊		

### 参表1.実験経過と損傷状況



層間変形角(rad)

参図5. 層せん断力-層間変形角関係1階



N階建ての建物をN自由度系にモデル化する。 上図は、4階建ての建物の4自由度系にモデル化した例



図38. 建物の多自由度系へのモデル化と各モードの揺れ





ビル1階の観測記録を用いた最上階の推計結果(減衰率1%)

## 図40-1. モード合成法による観測記録波形の再現と減衰率の設定



図40-2.モード合成法による観測記録波形の再現と減衰率の設定



大宮・久田(2014)による刺激関数の近似式







東北地方太平洋沖地震における超高層建築物の揺れ(大阪市内の例)

図42-1.長周期地震動の観測波形とモード合成法による応答波形の比較

変位の推定



図42-2.長周期地震動の観測波形とモード合成法による応答波形の比較

建物	卓越周期	最大加速度(	cm/s²)		最大速度(cn	n/s)		最大変位(cm)		
		観測値	モード合成法	SRSS法	観測値	モード合成法	SRSS法	観測値	モード合成法	SRSS法
А	1.95	121.2	352	263	34.5	45.6	45.5	9.1	11.8	12.3
	2.09	130.5	234	233	30.2	45.8	47.7	11	13.9	13.5
В	2.04	209.7	260	246	44.7	45.5	49.7	13.9	15.1	15.2
	1.89	149.7	304	282	22.7	38.4	38	6.4	8.9	8.7
	2.04	177.3	260	246	42.7	45.6	49.7	13.1	15.1	15.2
	1.84	134.9	319	257	24.8	34.1	35.9	8	8.6	8.7
С	2.84	248	222	223	54	58.8	59.1	15.3	28.2	27.5
	2.74	502.9	258	242	47.9	62.2	70.2	22	30.1	29.6
	2.84	265	222	223	61.7	58.8	59.1	20.3	28.2	27.5
	2.64	685.6	285	275	76.8	65.1	67.6	20.9	29.1	26.9
D	1.94	385.2	344	374	86.2	77.6	75.1	24.9	20.8	21.5
	1.85	289.7	254	267	42	45.9	45.1	13.7	12.7	12.8
Е	3.02	161.8	308	274	43.8	94.9	87.2	16.1	39	38.8
F	3.01	235	290	256	69.4	56.7	61.2	54	26.2	24.6
	3.11	292	251	246	75.8	74.7	70	59	31	28.7
	3.11	341	249	253	76.2	75	74.4	60.1	32.4	30.4
G	6.55	126.1	97	102	117.8	110	105.1	102.4	102.5	103.9
	7.05	87.5	77	81	59.4	86.5	85.8	53.6	93.6	93.9
	6.55	130.1	97	102	121.2	110	105.1	104.8	102.5	103.9
	7.05	85	77	66	57.8	63.3	64	52.1	72.8	71.5
[		制振構造								

# 表3. 超高層建築物における揺れの観測記録と推計結果の比較

※東北地方太平洋沖地震における超高層建築物6棟(A~G)の揺れを用いて評価



図43-1. 最上階の観測記録とモード合成法の相関



図43-2. 最上階の観測記録と SRSS 法の相関


図43-3. モード合成法と SRSS 法の相関



図44-1-1. 宝永地震による建物最上階の揺れ(最大加速度)



固有周期5秒の建物



図44-1-2. 宝永地震による建物最上階の揺れ(最大加速度)



図44-2-1. 宝永地震による建物最上階の揺れ(最大変位)



固有周期6秒の建物

## 図44-2-2. 宝永地震による建物最上階の揺れ(最大変位)



固有周期4秒の建物

図45-1-1. 安政東海地震による建物最上階の床の揺れ(最大加速度)



図45-1-2. 安政東海地震による建物最上階の床の揺れ(最大加速度)



固有周期4秒の建物

図45-2-1. 安政東海地震による建物最上階の揺れ(最大変位)



図45-2-2. 安政東海地震による建物最上階の揺れ(最大変位)



固有周期4秒の建物

図46-1-1. 最大クラスの地震による建物最上階の揺れ(最大加速度)



図46-1-2.最大クラスの地震による建物最上階の揺れ(最大加速度)



固有周期4秒の建物

図46-2-1. 最大クラスの地震による建物最上階の揺れ(最大変位)



固有周期5秒の建物



固有周期6秒の建物

図46-2-2. 最大クラスの地震による建物最上階の揺れ(最大変位)





図47.家具類等の転倒の簡易予測手法に基づく家具の形状別の転倒可能性

行動難度	
0	わずかに揺れを感じたが、行動には支障がなかった
1	はっきりした揺れを感じたが、行動には支障がなかった
2	歩いたり動いたりすることに、やや支障があった
3	立っていることができなかった
4	揺れに翻弄され、自分の意志で何も行動できなかった

表4. 行動難度解説表



図48.家具の転倒・人の行動難度と建物の応答との関係



地盤構造モデル修正後(首都直下地震モデル検討会)

地盤構造モデル修正前 (全国一次地下構造モデル)

## 図49. 地盤構造モデルの修正前後における長周期地震動の地表の揺れの比較