

第2章 長周期地震動の評価の現状

2-1 超高層建築物のための設計用地震動の現状と課題

わが国では、法令上、高さ 60 メートルを超えるいわゆる超高層建築物については、従来より時刻歴解析を用いた動的解析による耐震設計が義務づけられている。

初期においては、米国の強震記録、エルセントロ、タフトに加えて、当時の日本各地（超高層建築物のほとんどは、大都市に建設されたので、東京、大阪、名古屋、仙台など）での地域の代表的な強震記録という位置づけで、それぞれの地域での特定の記録が設計に用いられていた。例えば、東京では、東京大学地震研究所の本館建物一階で 1956 年に観測された略号 TOKYO101 の波形が東京地域の設計用入力地震動として用いられた。TOKYO101 は最大加速度が数十ガル、かつ観測継続時間が 10 秒程度にすぎない地震動である。その他の地域でも同様に、観測データの蓄積が十分ではなく、比較的小振幅観測記録をその振幅を拡幅などして使われていた。

地震動強さの生起頻度などを勘案し、弾性設計用としては、200 ガル～300 ガル、弾塑性設計用では 300 ガル～500 ガル程度の最大加速度になるようにスケーリングを施し、地震応答解析に利用された。その後、速度振幅レベルの強さが超高層建築物の応答には影響が大きいとして、先行的にいくつかの超高層事例では最大速度振幅で規準化した観測記録が利用されるようになった。さらに、(財)日本建築センターから、弾性用で 25cm/s、弾塑性用で 50cm/s という、現在でも使われている標準的な速度振幅レベルが示され、その振幅で規準化された観測記録が入力地震動として広く用いられるようになった。(’86.6 ビルディングレター²⁾) また、その際に標準的に使われるべき波形として、1940 年エルセントロ NS 成分、1952 年タフト EW 成分、および長周期成分を含むものとして 1968 年十勝沖地震時に運輸省港湾技術研究所(当時)が八戸港湾で観測した強震記録の計 3 波が用いられるようになった。

この後、特定の波、特に個々の建設サイトの表層地盤の影響が考慮されていない波形を設計に用いることの問題点が指摘され、建設省建築研究所(当時)と(財)日本建築センターが、地震応答解析に用いる入力地震動の評価法を作成する共同研究が開始され、その最終成果が 1994 年に出された。その中の「設計用入力地震動作成手法技術指針(案)」(以下センター指針)³⁾が、超高層建築物や免震建築物の時刻歴解析に用いられるようになり、このセンター指針で例示された工学的基盤(せん断波速度 400m/s 程度の地盤面)上のいわゆるセンター波(BCJ-L2 波)を用いて、それぞれの建設地における工学的基盤以浅の表層地盤による増幅特性を考慮して、入力地震動を設定するようになった。この BCJ-L2 波はしばらく共通波として用いられることとなった。この波形のスペクトルは短周期域において加速度レベルがほぼ 1g、長周期域において、速度レベルが 100cm/s の応答スペクトルレベル(減衰定数 5%)を有している。

2003 年十勝沖地震における苫小牧での石油タンク火災を契機として、近年、長周期地震動による種々の長周期構造物への影響が懸念されている。その中でも、超高層建築物や免震建築物等のいわゆる長周期構造物も、同種地震動により大きい影響を受けることが予想される。超高層建築物や免震建築物は、巨大地震による長周期地震動を受けた経験がほとんどなく、また入力地震動

として考慮すべき観測記録もほとんどない状態であり、過去の中小地震の記録に基づいて推定したシミュレーション波形による検討によらざるを得ない状況にある。

一方で、1995年兵庫県南部地震以降、わが国の大都市圏に大きな影響のある巨大地震の近い将来における発生が確実視され、巨大地震への早急な対策が求められている状況でもある。

このような現状を背景に、本作業では建築物の耐震性評価用の長周期地震動を作成するための基礎調査をまず実施した。その結果を踏まえて、今後の長周期建築物の耐震設計のための設計用地震動の策定作業を次年度以降実施する予定である。

超高層建築物(高さ60m超)や免震建築物の耐震計算にあたっては、現在国土交通省平成13年告示1461号(章末参考資料参照)の記述に基づき、各評価機関はその業務方法書(章末参考資料参照)の中で、以下の3種類の地震動を規定し、耐震計算に用いることが運用上行われている。

いわゆる告示波は告示1461号に示される工学的基盤における加速度応答スペクトルに適合する模擬地震動時刻歴で、その継続時間が60秒以上あることが要求されている。(継続時間は波形のどの部分を指すのかを明確にする必要がある)

表 2.1 平成12年建設省告示1461号に規定された工学的基盤上の地震動

周期 (秒)	加速度応答スペクトル (単位:メートル毎秒毎秒)	
	希に発生する地震動	極めて希に発生する地震動
$T < 0.16$	$(0.64 + 6T)Z$	希に発生する地震動に対する加速度応答スペクトルの5倍の数値とする。
$0.16 \leq T < 0.64$	$1.6Z$	
$0.64 \leq T$	$(1.024/T)Z$	

この表において、 T 及び Z は、それぞれ建築物の周期(単位:秒)及び令第88条第1項に規定する Z (地震地域係数)の数値を表す。

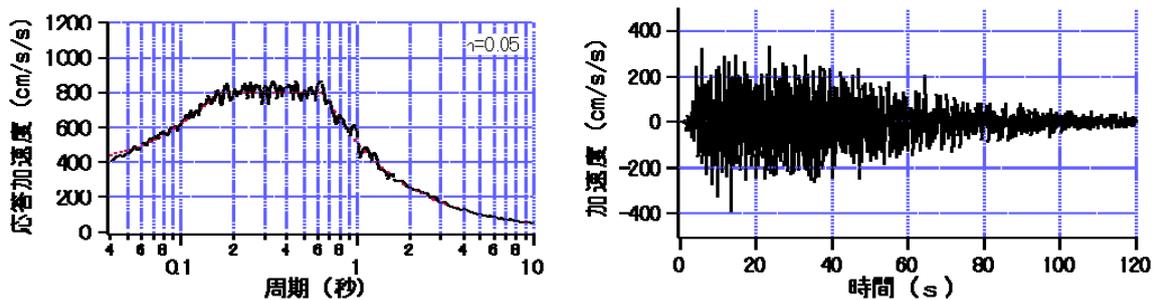


図 2.1 工学的基盤で与えられる告示波スペクトルとそのスペクトルに適合する加速度時刻歴例

サイト波は、建設地点における過去の地震発生履歴や周辺における活断層や地質、直下地盤性状などその固有の地震地盤環境に基づいて個別に決められる地震動である。その評価の妥当性については、構造審査委員会にて審査される。(特に、影響の顕著な震源が近隣にない場合には、告示波によることで十分と判断し、当該サイト波を使用しない場合もある。)

告示波は60秒以上の継続時間を有する必要があるが、サイト波については継続時間に関する規

定はない。

最近、内閣府から巨大地震の被害想定に関わる1kmメッシュ地点の工学的基盤 ($V_s=700\text{m/s}$ 相当の地盤上の地震動) 上における模擬地震動加速度波形が公表されている。独自にサイト波を評価・作成できない設計者は、このような公的機関によって公表されている模擬波形を利用して地震応答解析を行うという事例が増えている。

また、サイト波の評価は、審査の対象にはなるものの、サイト波の評価手法の選定は、基本的に設計者の判断に委ねられている。そのような事情から、サイト波の作成においては、簡便な方法によるものから、かなり高度な知識が必要な手法を用いて強震動予測を行っているものまで、評価手法に非常に大きなバリエーションがある。サイト波は、文字通りサイトの周辺にある影響の大きい震源やサイト下の地盤条件に基づいて個別に評価される地震動である。近年、強震動予測手法が急速に発展してきているものの、巨大地震による長周期地震動の予測では、地表に近い表層地盤だけでなく、震源位置や、地震基盤以浅の3次元地下構造の影響による地震動レベルの増大や、地震動継続時間の長大化の影響を考慮する必要があることが指摘され、個別の評価においては、特に地域ごとの広い地理的範囲の深い地下構造の特定も、重要な課題となっている。

標準波は過去の同種建築物の耐震設計において共通に用いられてきた地震動で、以下の3波形のことをいう。

- ① 1940年5月18日米国カリフォルニア州インペリアルバレー地震におけるエルセントロ変電所建物の地下1階設置の強震計による加速度記録。
- ② 1952年7月21日米国カリフォルニア州カーン郡地震におけるタフト・リンカーン学校校舎間トンネル内に設置された強震計による加速度記録。
- ③ 1968年5月16日十勝沖地震における八戸港湾の地盤上に運輸省港湾技術研究所(当時)によって設置されていた強震計による加速度記録。

上記3波形を最大速度振幅25cm/s、50cm/sに基準化して用いている。

標準波は、過去の設計事例との比較および設計レベルの整合性のチェックを目的としたものであり、特に今回の検討の対象とはしない。

また、これらの個別の地震動の策定に当たっては、国や地方の防災会議等の検討により、それぞれの地域で懸念される地震が起こった場合の地震動の推定や、それに基づいた被害想定などが広く行われていること、(独)防災科学技術研究所により、地震の今後の発生確率に基づいた全国的な地震動予測地図が公表されていること、さらに最近では、南海、東南海、東海各地震による長周期地震動に関する関心が高くなっていること、など従来に比べて建設地の想定地震動に関する情報が広く公開されるようになっており、設計者はそれらの発生の可能性などを勘案しながら設計用地震動(サイト波)の選定を進めているのが現状である。

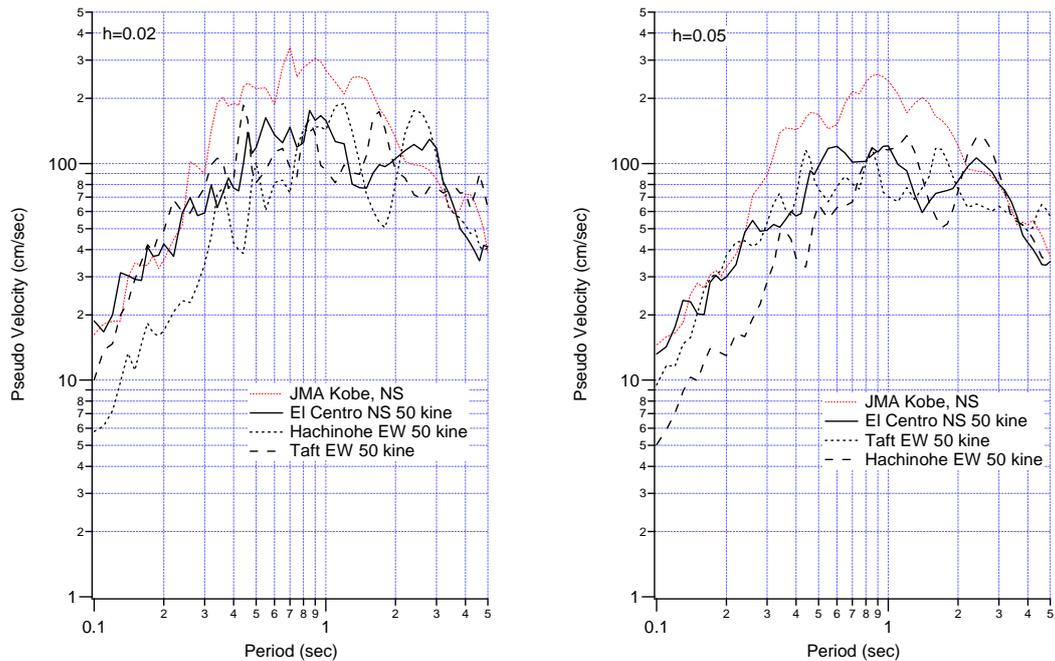


図 2.2 従来の超高層建築物の時刻歴応答解析で用いられてきた標準三波形
(左：減衰定数 2 %、右：減衰定数 5 %)

強震観測点の増加と地震の発生に伴い、強震データの蓄積が進んでいる。また、並行して強震動予測手法の開発も進められてきた。主として超高層建築物を対象とした地震応答解析に用いられる地震動については、現在以下のような問題点・課題が指摘されている。

- (1) 既存の超高層建築物で使われた検討用地震動に建設時期による設計レベルの相違がある。観測記録の蓄積や予測技術の進展により設計用地震動は進化するものであるため、やむを得ない面がある。しかし、最新の手法で評価した地震動で、既存の超高層建築物の耐震性能を評価することは重要である。
- (2) 告示波については、各建設地点の深い地盤構造に起因する地域固有の卓越周期が考慮されていない。図 2.3 に示されるような、卓越周期や卓越バンド幅などが、地域ごとに設定できるかどうか、考えることは有用である。
- (3) 観測記録に見られる長周期地震動の特徴である非常に長い継続時間が考慮されていない。観測記録では、レベルは小さいものの数分以上続くものもあり、建築物の応答の成長の観点から継続時間は重要な要素である。十分な記録時間を持つ観測データの蓄積が必要である。
- (4) サイト波については、個別に物件毎に評価されているが、評価手法がまちまちであり、その妥当性を判断するガイドライン的なものがない。
- (5) 超高層建築物が巨大地震をまだ経験していないため、有用な応答観測記録が十分でない。
- (6) 短周期地震動と長周期地震動の生起時間帯の差が考慮されていない。一般に最初に到来する短周期地震動といわゆる後揺れの両者を考慮する

- (7) 近い将来に発生が懸念される、東南海地震などによる超高層建築物の被災の可能性について早急に検討する必要性があり、特に長周期地震動シミュレーションなど、近年のさまざまな手法に基づく提案波を構造設計に利用する必要性が求められている。

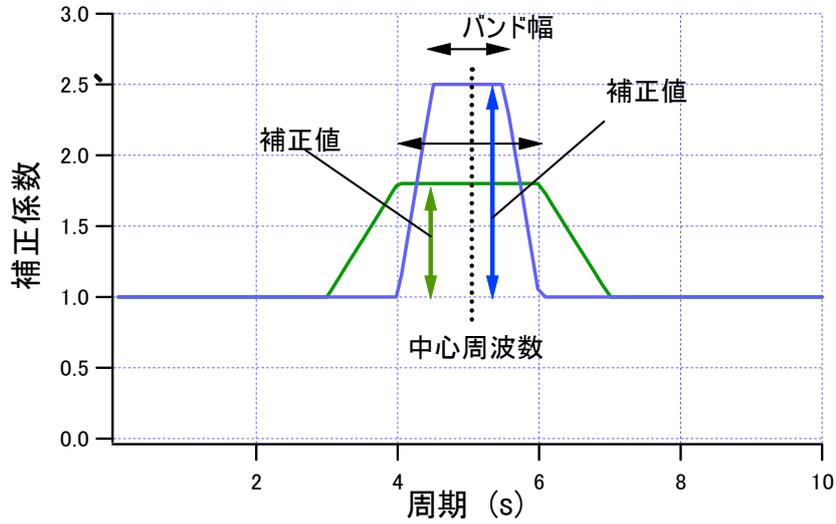


図 2.3 建設地点における固有の卓越周期の評価

2-2 長周期地震動の評価の現状

過去、1964年新潟地震や2003年十勝沖地震で発生した石油タンクの地震時のスロッシングによる火災の問題により、超高層建築物等の長周期建築物への影響が懸念され、最近では、日本建築学会や土木学会による検討の中で、近い将来にその発生が懸念される巨大地震（東海地震、南海、東南海地震、関東地震など）を対象として、いくつかの地点で推定される予測地震動波形が提供されている。

それらの検討によると、建設地点の長周期地震動を決める要素は（1）震源の大きさと震源破壊域（アスペリティ）分布と破壊速度など、（2）震源域と建設地点との距離による地震動の減衰特性、（3）建設地点周辺直下の深い構造（特に3次元構造）に起因する長周期成分の生長、である。

このうち、（1）の震源については、地震調査研究推進本部（推本）により、主要な地震については、推奨モデルが公表されている。（2）はいわゆる距離減衰の問題であるが、長周期地震動データの蓄積は近年進んでおり、それらのデータを用いて、統計的な検討による平均的特性を把握する必要がある。（3）は、わが国の地下構造（特に主要都市部）について、現在どの程度のことかわかっているか、あるいは長周期地震動予測の精度を上げるために、今後どのような調査が必要かなどについて、検討が進んでいるところである。

(1) 石油タンクと設計用長周期地震動

石油タンクのスロッシング一次固有周期は、次式で算定される。

$$T_s = 2\pi \sqrt{D / (3.682g) \cdot \coth(3.682Hl / D)}$$

T_s :スロッシング一次固有周期(秒)

スロッシング一次モードの最大波高応答は、次式で計算される。

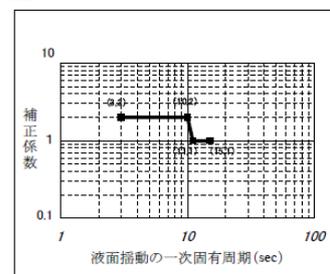
$$w_h = D / 2g \cdot 0.837(2\pi / T_s) \cdot S_v$$

ここに、 D :タンクの直径、 Hl :液深、 g :重力加速度

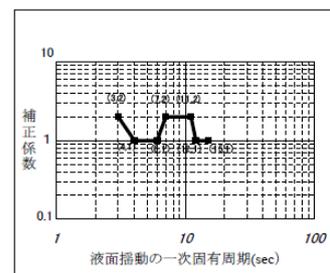
S_v :スロッシング固有周期(T_s)での減衰0.5%の速度応答スペクトル

旧消防法では上記の速度応答スペクトルの値は、約1m/sの基本値に0.7~1.0の地域補正係数を考慮して算定されていた。2006年に施行された、新しい総務省告示では3種類の地域区分（地域1~3）に基づく地震地域補正係数が導入されている。そのうち地域1の地域区分では、予測スペクトルが広い周期帯域、特に約7秒以上で1m/s

別図1



別図2



別図3

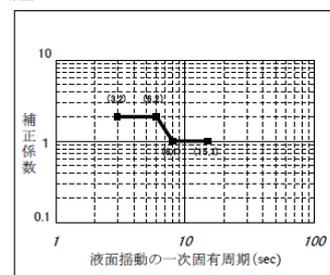


図 2.4 石油タンクの設計用地震動のための補正係数(地域1)
(総務省告示より)

を超えることから、地震地域補正係数として、スロッシングの一次固有周期に応じて与えられる新しい補正係数を導入している。地域 1 に対しては図 2.4 で表わされる最大で 2 倍の補正係数が適用される。地域 1 の地域は以下のように 3 区分され、それぞれの倍率を与えている。

地域 1 :

- i) 苫小牧、酒田、新潟
- ii) 東京湾岸
- iii) 函館、秋田、清水、名古屋、四日市、大阪

地域 2 : 予測スペクトルが周期約 7 秒未満で、1m/s を超える。

地域 3 : 予測スペクトルが、1m/s に満たない。

(2) 建築学会、土木学会と共同研究による検討用地震動

わが国の大都市圏における特定の地点を対象として近未来に発生が懸念されている大地震による長周期地震動の予測が行われた。手法はさまざまで、経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法、有限差分法、それらの組み合わせとしてのハイブリッド法などが使われた。作成された模擬地震動の大半は、日本建築学会から公表されており、表 2.2 に地震、作成者、評価地点などを示した。評価結果によると、地震動の特性は、震源の位置、大きさとその破壊形態および、それぞれの地域の地盤構造（特に深い地下構造）に大きく依存することが指摘された。このうち、震源破壊仮定の予測波への影響が非常に大きいことが指摘されている。（詳細は、文献参照のこと）

さらに、図 2.2 には、模擬地震動波形の応答スペクトル、エネルギースペクトルを重ね書きし、評価地点および研究者による計算結果のばらつきを示している。同じ地震であっても地震発生のプロセスや、計算方法の違いで、結果が大きく異なることを示しており、このような検討においては、相当な不確定性、ばらつきを想定して解釈すべきことを示している。

(3) 内閣府による長周期地震動に関する検討

設計用地震動の策定においては特定の地点ではなく任意の地点を対象とする地震動特性の設定手法が必要である。内閣府の検討では、各地点の地下構造データと観測波の H/V スペクトルなどにより、地盤の固有周期を推定し、全国を対象として分布図を作成して公開している。図 2.6 に固有周期の分布図を示す。青色の固有周期が小さい地域は、山地あるいは、硬質な岩盤が地表近くまである地点であるが、関東平野、濃尾平野、大阪平野、新潟平野等は、堆積層厚が大きく、固有周期が非常に長くなっていることがわかる。

表 2.2 日本建築学会による巨大地震の模擬地震動波形

表 4.1.2 共通波リスト

地震	作成者	地点	成分	略称	呼称	波形データ		時刻 刻み (s)	備考
						加速度	速度		
関東	佐藤・壇	東京・ 気象庁	NS	TS-TOK-NS	関東地震・佐藤波・東京気象庁・NS	○	○	0.02	第一次提供波
		みなと みらい	NS	TS-YKL-NS	関東地震・佐藤波・みなとみらい・NS	○	○	0.02	第一次提供波
東海	土方ほか	新宿	NS	KH-SNJ-NS	東海地震・土方波・新宿・NS	○	○	0.01	第二次提供波
		新豊洲	NS	KH-STY-NS	東海地震・土方波・新豊洲・NS	○	○	0.01	第二次提供波
		横浜	NS	KH-YKH-NS	東海地震・土方波・横浜・NS	○	○	0.01	第二次提供波
東海・ 東南海	中部地方 整備局	三の丸	EW	C-SAN-EW	東海東南海地震・中部波・三の丸・EW	○		0.01	第一次提供波
	愛知県 建築住宅 センター	名古屋駅	EW	A-NST-EW	東海東南海地震・愛知県波・名古屋駅・EW	○		0.01	第二次提供波
		水上出張所	EW	A-SJB-EW	東海東南海地震・愛知県波・水上出張所・EW	○		0.01	第二次提供波
南海	釜江・入倉	大阪管区 气象台	NS	KK-OSA-NS	南海地震・釜江波・大阪管区气象台・NS	○		0.01	第一次提供波
		西大阪	EW	KK-WOS-EW	南海地震・釜江波・西大阪・EW	○		0.01	第一次提供波
南海	関口ほか (平均)	福島	NS	HS6-FKS-NS	南海地震・関口波・平均レベル・福島・NS	○		0.02	第二次提供波
		K-NET 大阪	EW	HS6-OSK005 -EW	南海地震・関口波・平均レベル・K-NET 大阪・EW	○		0.02	第二次提供波
		KiK-net 此花	NS	HS6-OSKH02 -NS	南海地震・関口波・平均レベル・KiK-net 此花・NS	○		0.02	第二次提供波

[注] 地表面位置での評価。ただしみなとみらい、三の丸は工学的基盤位置での評価。

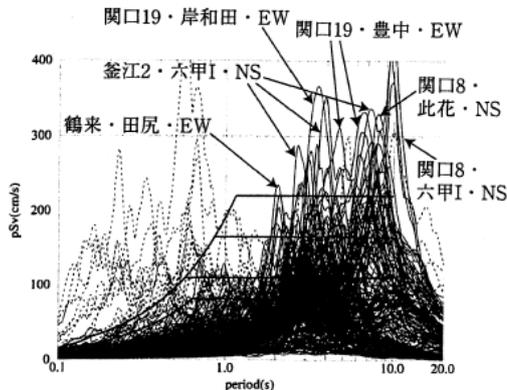


図 4.1.1 提供波の擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

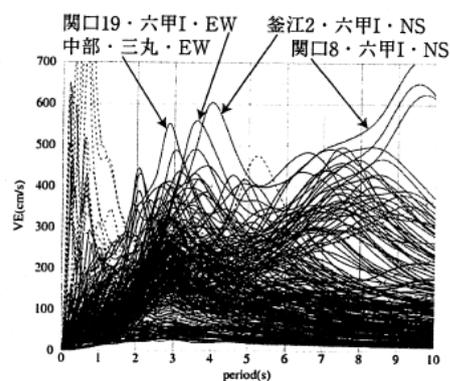


図 4.1.2 提供波のエネルギースペクトル ($h=10\%$)

図 2.5 各提供波のスペクトル特性の比較

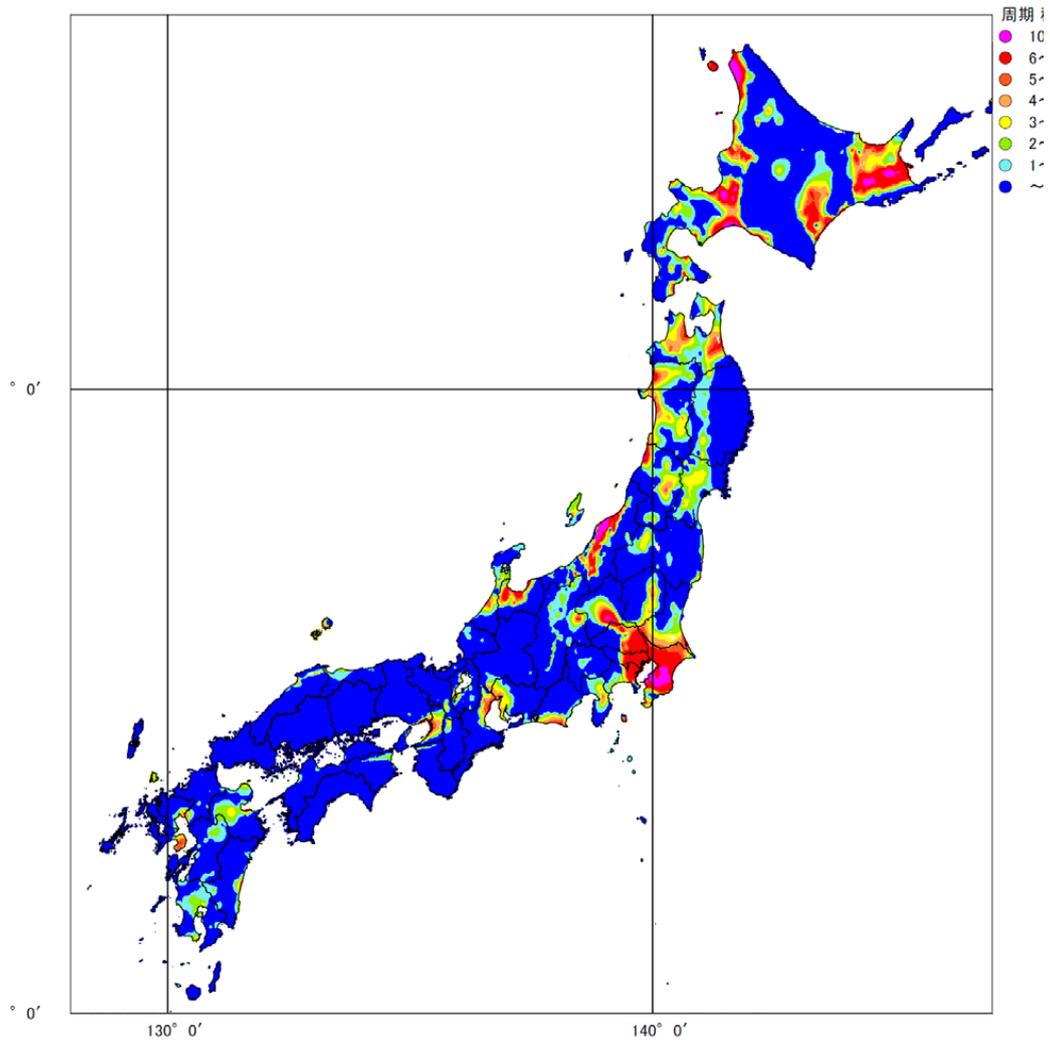


図 2.6 地盤一次周期の全国分布（内閣府の評価結果を転載）¹⁰⁾

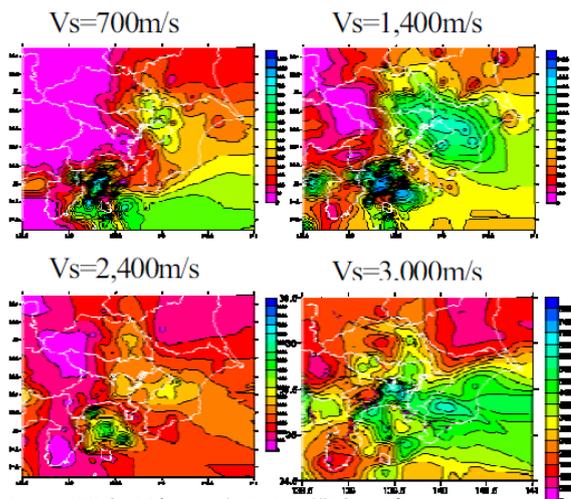


図 9 関東地域の 3 次元地下構造モデル
各層の上面の深さを図示。Vs=700m/s は工学的基盤。
Vs=3,000m/s は地震基盤。

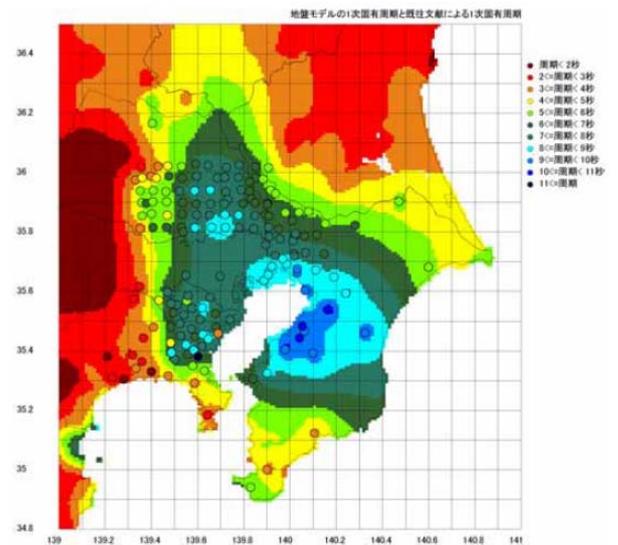


図 10 関東地域の 3 次元速度構造モデルから計算される
Vs=2,400m/s 層より浅い地盤の固有周期

図 2.7 関東地域の 3 次元速度構造モデル(左)と、それに基づく地盤の固有周期分布(右)¹⁰⁾

(4) 日本建築学会・東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会による設計用長周期地震動の検討事例

地震動部会(土木学会、日本建築学会合同)の検討による提供波に基づいて、長周期構造物を主たる対象とした、設計用地震動スペクトル形状が提案されている。

表 2.3 長周期地震動に対する想定されるスペクトルレベル

	標準波・告示波	巨大地震による長周期地震動	
		全体的(周期 0~10sec)	特定の周期帯
速度応答スペクトル S_T (cm/s)	80~120	80~120	120~180
エネルギースペクトル V_E (cm/s)	120~180	180~270	270~400

(5) 日本建築学会高機能社会耐震工学ワーキンググループの検討

日本建築学会は、平成 19 年度より内閣府からの受託研究「平成 20 年度長周期地震動対策に関する調査」を行っている。平成 19 年度には、これまでの予測地震動のばらつきを支配する要因の同定や、超高層建物の応答解析をとおして、損傷箇所の特特定や、補強方法、家具などの固定対策の検討などを行っているが、平成 20 年度には、①震源モデルに起因するばらつきを考慮した予測長周期地震動の高精度化、②長周期建物が保有すべき各種性能項目の明確化など、③長周期地震動の被災に伴い起こりうる事態の明確化、④既存構造物の長周期地震動による損傷把握手法についての検討、を行っている。

その中の①の項目で、関東、濃尾、大阪平野を含む南海トラフ沿い 3 次元地盤モデルによる東海・東南海地震の強震動シミュレーションを行っている。手法は、中央防災会議「東南海・南海地震に関する専門調査会」において検討された東海・東南海連動地震の震源(アスペリティー)モデルをベースに、3次元有限要素モデルを用いて、断層破壊の様相の違いによる地震動への影響度(ばらつきの大きさ)について検討し、既往の模擬地震動波形との比較なども行っている。

(6) その他

関西地震観測研究協議会(関震協)による南海・東南海地震による大阪地域の超高層建築物の応答性状の予測検討が行われている。大阪地域では 2000 年鳥取県西部地震の際に広域で超高層建築物などで長周期地震動が観測されたことから、南海・東南海地震における同様建築物の応答シミュレーションにより、その安全性を検討したものである。

東京地域でも、2004 年中越地震や、2007 年能登半島地震、同中越沖地震などでも、震源から遠く離れているにもかかわらず、長周期の揺れが観測されている。

その他、地震動評価に関連する研究として、地震調査研究推進本部(推本)関係で全国の地下構造の推定に関する調査研究が実施されていて、同時に、発生確率の非常に高い主要な海溝型地震(宮城県沖地震、東海・東南海地震、南海地震)に対応した長周期地震動マップが平成 21 年度末に作成される予定となっている。

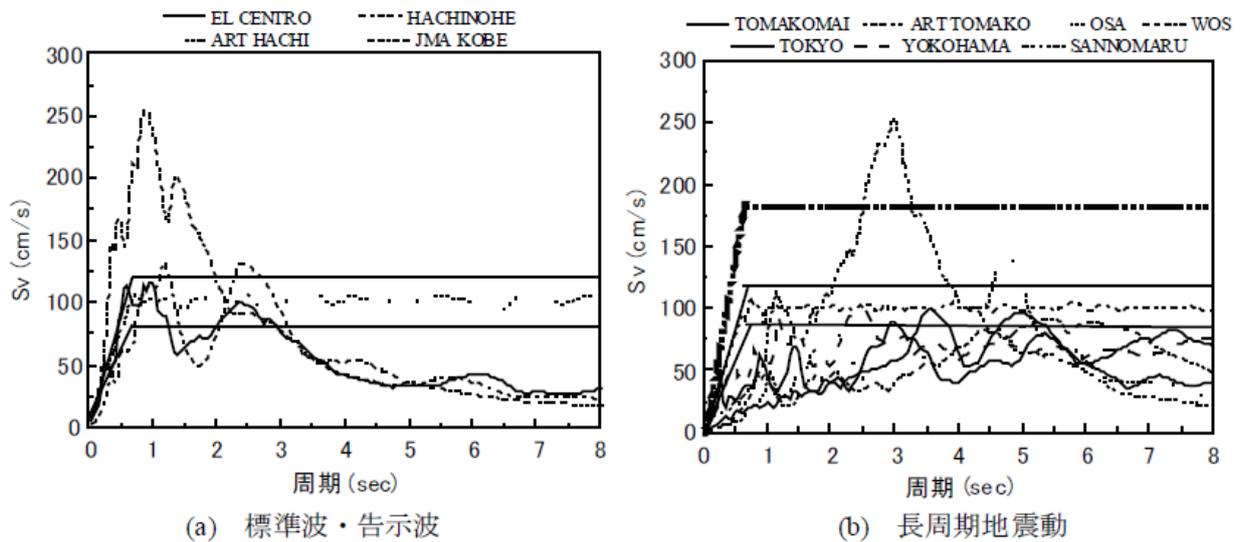


図-1 速度応答スペクトル ($h=5\%$)

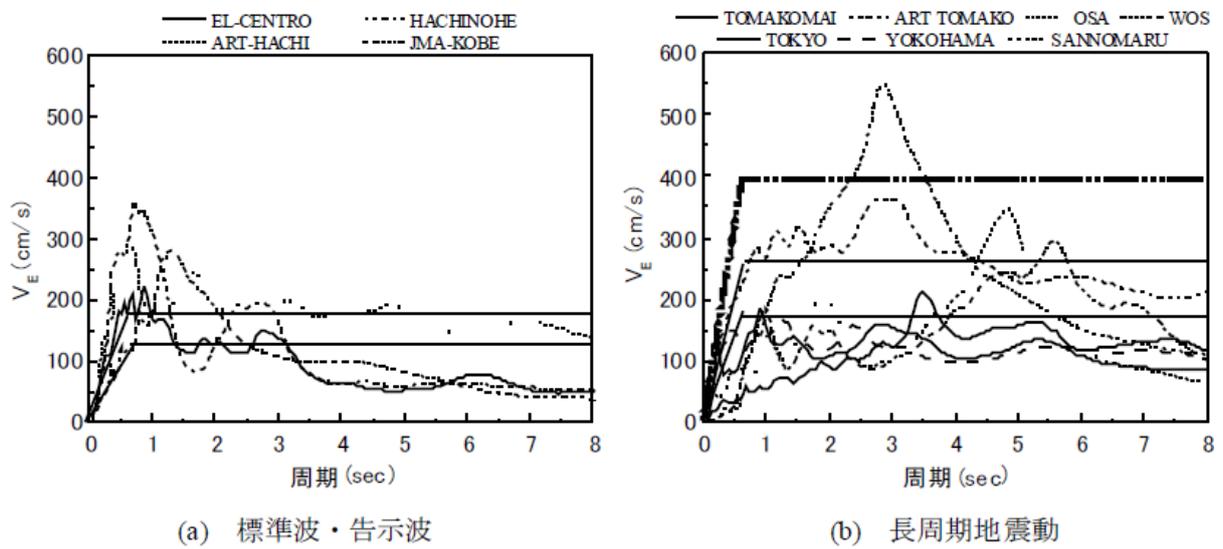
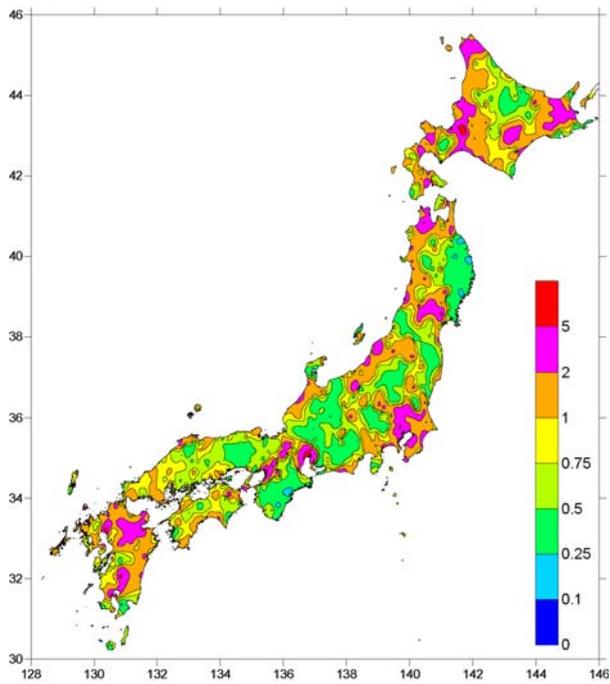


図-2 エネルギースペクトル ($h=10\%$)

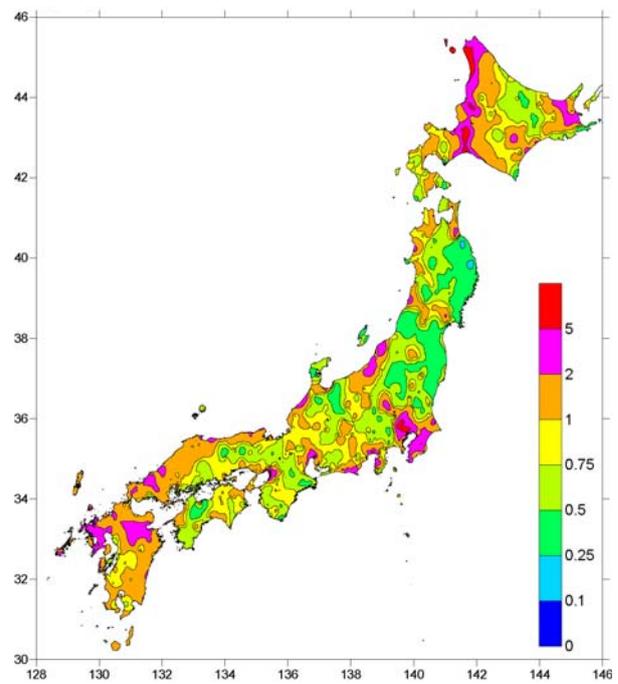
図 2.8 日本建築学会が提案した設計用スペクトル

個別の検討事例として、佐藤他(1999)における関東地震による関東地域の地震動予測事例や、より汎用的な利用をめざした片岡他(2008)による、全国強震観測データを用いた長周期域を対象とした地震動特性の距離減衰式の提案などがある。

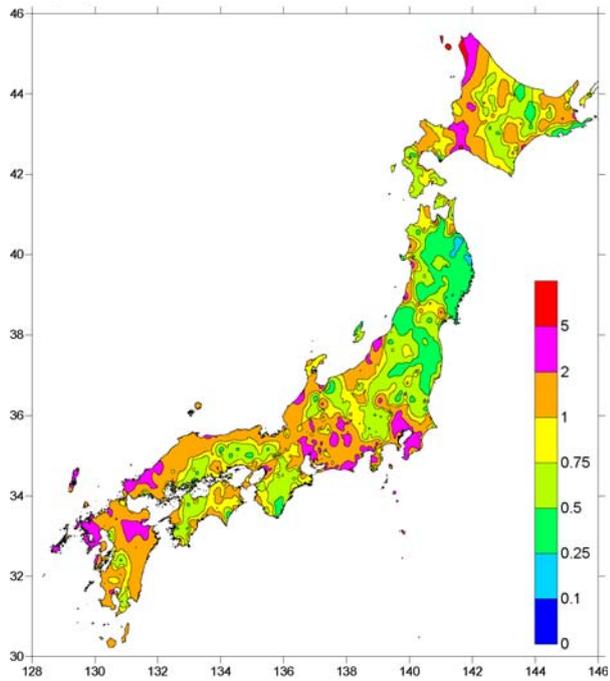
片岡(2008)は、1964年～2005年8月に起こった比較的大規模な地震を内陸地震と海溝性地震に分類し、気象庁一倍強震計、同87型強震計、同95型強震計の記録を用いて、加速度応答スペクトル、フーリエスペクトルの距離減衰式を作成した。通常地震規模と震源から観測点までの距離に加えて観測点の揺れやすさに関する補正値を変数として検討している。この観測点毎の加速度応答スペクトルの補正倍率を周期毎にマップ化して示した。(図2.9参照のこと)



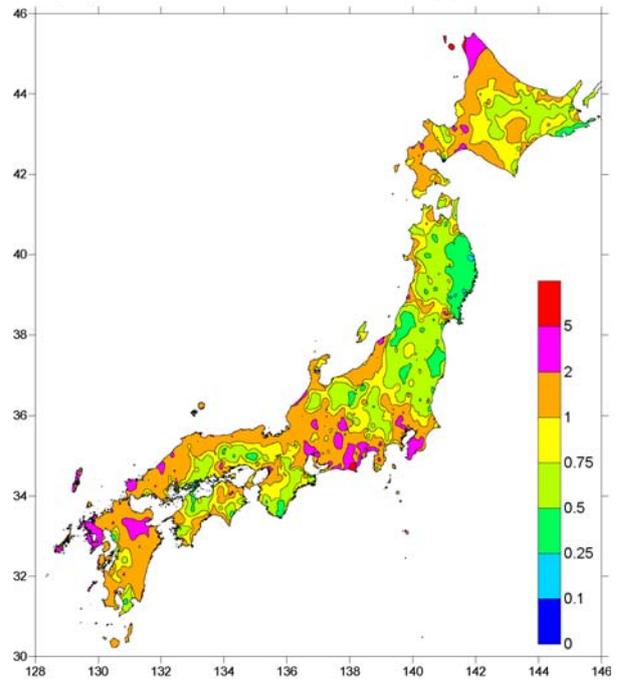
(a) $T_n=3[s]$



(b) $T_n=7[s]$



(c) $T_n=10[s]$



(d) $T_n=15[s]$

図 2.9 加速度応答スペクトル（減衰定数 1%）の距離減衰式の地点補正倍率の分布 ⁷⁾

参考文献

- 1) 日本建築センター，ビルディングレター「高層建築物の動的解析用地震動について」，ビルディングレター 6月号，1986，BCJ
- 2) 日本建築センター，「高層建築物の動的解析用地震動に関する研究」（研究代表者：松島豊），

平成6年度研究助成報告書 No. 9404, 1993, BCJ

- 3) 建築研究所・(財)日本建築センター、「設計用入力地震動作成手法技術指針」、1992, BCJ
- 4) 座間信作 「石油タンクのスロッシングに関わるやや長周期地震動の設計用スペクトル」、12JSEE
- 5) 横田崇, 鈴木晴彦, 増田徹、「中央防災会議での長周期地震動調査結果」広帯域地震動の予測2シンポジウム論文集, 土木学会・日本建築学会・巨大地震災害対応共同研究連絡会 土木学会、2006. 2
- 6) 日本建築学会、「長周期地震動と建築物の耐震性」、日本建築学会東海地震等巨大災害への対応特別委員会、2007. 12
- 7) 片岡正次郎、他、「やや長周期地震動の距離減衰式と全国の地点補正倍率」、土木学会論文集 A、Vol.64, No. 4, pp. 721-738, 2008. 11
- 8) 林康裕、「東南海・南海地震時に想定される大阪平野およびその周辺域における長周期構造物の応答評価ワーキンググループ(長周期応答WG)の活動について」
- 9) 日本建築学会・構造委員会・高機能社会耐震工学WG、「長周期地震動対策に関する公開研究会」予稿集、平成21年3月9日、日本建築学会
- 10) 内閣府中央防災会議、「長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期」、東南海・南海地震等に関する専門調査会 参考資料 平成20年12月

<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/36/shiryou/shiryou4.pdf>

参考資料

建設省告示第1461号(平成12年5月31日)

超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件
(地震力の部分を抜粋)

四 建築物に作用する地震力について次ぎに定める方法による構造計算を行うこと。この場合において、建築物の規定及び形態に応じた上下方向の地震動、当該地震動に直交する方向の水平動、地震時の位相差及び鉛直方向の荷重に対する水平方向の変形の影響等を適切に考慮すること。

イ 建築物に水平方向に作用する地震動は、次ぎに定めるところによること。ただし、敷地の周辺における断層、震源からの距離その他地震時に対する影響及び建築物への効果を適切に考慮して定める場合においては、この限りではない。

(1) 解放工学的基盤(表層地盤による影響を受けないものとした工学的基盤(地下深所にあつて十分な層厚と剛性を有し、せん断速度が約400メートル毎秒以上の地盤をいう。))における加速度応答スペクトル(地震時に建築物に生ずる加速度の周期ごとの特性を表す曲線をいい、減衰定数5パーセントに対するものとする。)を次の表に定める数値に適合する物とし、表層地盤による増幅を適切に考慮すること。(表4.1が入る)

(2) 開始から終了までの継続時間を60秒以上とすること。

(3) 適切な時間の間隔で地震動の数値(加速度、速度若しくは変位又はこらからの組み合わせ)が明らかにされていること。

(4) 建築物が地震動に対して構造耐力上安全であることを検証するために必要な個数以上であること。

ロ イに規定する稀に発生する地震動によって建築物の構造耐力上主要な部分が損傷しないことを、運動方程式に基づき確かめること。ただし、制振部材にあたっては、この限りではない。

ハ イに規定する極めて稀に発生する地震動によって建築物が倒壊、崩壊しないことを、運動方式に基づき確か

めること。

五 第二号から第四号までに規定する構造計算を行うにあたり、第一号に規定する荷重及び外力を適切に考慮すること。

六 第一号に規定する実況に応じた荷重及び外力に対して、構造耐力上主要な部分である構造部材の変形又は振動によって建築物の使用上の支障が起らないことを確かめること。

(財)日本建築センター 時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書 (平成12年6月制定、平成19年6月変更)
(地震関連部分のみ抜粋)

4.4 地震力に対する安全性

建築物に作用する地震力について告示第四号に定められた方法によって構造計算を行っていることを次の各項によって評価する。ただし、地震の作用による建築物への影響が暴風、積雪その他の地震以外の荷重及び外力の作用による影響に比べ小さいことが確かめられた場合にあつては、この限りでない。

4.4.1 水平方向入力地震動の設定

(1) 告示第四号イに定められた解放工学的基盤における加速度応答スペクトルをもち、建設地表面地盤による増幅を適切に考慮して作成した地震波（以下「告示波」という。）を設計用入力地震動とする。この場合、告示第四号イに定められた継続時間等の事項を満たし、位相分布を適切に考慮して作成した3波以上を用いること。

(2) 告示第四号イただし書により、建設地周辺における活断層分布、断層破壊モデル、過去の地震活動、地盤構造等に基づいて、建設地における模擬地震波（以下「サイト波」という。）を適切に作成した場合は、前項の告示波のうち極めて稀に発生する地震動に代えて設計用入力地震動として用いることができる。この場合、位相分布等を適切に考慮して作成した3波以上（告示波を併用する場合は、告示波との合計で3波以上）を用いること。

(3) 上記(1)及び(2)の何れの場合においても、作成された地震波が適切なものであることを確かめるため、下記の1)に示す地震波を、さらに評価員、評価補助員により組織する委員会が必要と認めて求めた場合には、1)に示す地震波を設計用入力地震動として併用する。

1) 過去における代表的な観測地震波のうち、建設地及び建築物の特性を考慮して適切に選択した3波以上について、その最大速度振幅を250mm/s、500mm/sとして作成した地震波を、それぞれ稀に発生する地震動、極めて稀に発生する地震動とする。なお、上記の最大速度振幅の値は令第88条第1項に定められたZを乗じた値とすることができる。

4.4.2 応答解析に用いる建築物の振動系モデルの設定

(1) 建築物の振動系モデルは、建築物の構造方法、振動性状によって建築物の各部分に生じる力及び変形を適切に把握できるように設定されていること。この場合において、特定の部材への応答値を直接評価することが適切な構造方法、振動性状を有する建築物の場合には、その目的に適した振動系モデルが設定されていること。

(2) 建築物と地盤の動的相互作用が建築物の振動性状に与える影響が大きいと推定される基礎構造を有している場合には、その影響を適切に考慮できる振動系モデルが設定されていること。

(3) 振動系モデルの復元力特性及び減衰特性は、建築物の構造方法及び振動性状を適切に反映したものであること。

(4) 層としての復元力特性を設定する場合には、地震力の各階についての分布を適切に仮定し、各部材の弾塑性復元力特性を適切に考慮した上で行った静的弾塑性解析の結果に基づく方法又はそれに準ずる方法によって行われていること。

4.4.3 水平方向地震力に対する応答計算

(1) 建築物の各応答値は、入力地震動を受ける振動系モデルについての運動方程式を適切な方法によって解くことにより求めていること。

(2) 建築物の平面直交主軸2方向のそれぞれに地震動が加わった場合の応答を別途に求めていること。また、2方向同時に地震動が加わった場合の応答又は主軸に対して45度方向に地震動が加わった場合の応答の影響を適切な方法によって評価していること。

(3) 上下方向の地震動の影響を水平方向地震動との同時性の関係を考慮して、また建築物の規模及び形態を考慮して適切に評価していること。

(4) 平面的に長大な寸法をもつ建築物等、入力地震動の位相差の影響を受けるおそれのある規模及び形態をもつ建築物に対しては、その影響を適切な方法によって考慮していること。

(5) 鉛直方向の荷重に対する水平方向変形の影響を適切に考慮していること。

4.4.4 評価判定クライテリア

(1) 損傷限界

稀に発生する地震動によって、建築物の部分に損傷が生じないことが次のイ及びロの方法によって確かめられていること。（ただし、免震層については、法第37条に基づく免震材料の法第37条材料認定の適用範囲内で使用されていることが確認されていれば、イ及びロの方法によらなくてもよい。）

イ．各階の応答層間変形角が200分の1を超えない範囲にあることを確かめること。ただし、構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生じるおそれのないことを確かめた場合にあっては、この限りでない。

ロ．建築物の構造耐力上主要な部分に生じる応力が短期許容応力度以内であるか、又は地震後に有害なひび割れ又はひずみが残留しないことを確かめること。ただし、制振部材（告示第三号イに規定するもの。以下同じ。）にあつては、この限りではない。

(2)倒壊、崩壊限界

極めて稀に発生する地震動によって、建築物が倒壊、崩壊等しないことが次のイから二までの方法によって確かめられていること。（ただし、免震層については、法第37条に基づく免震材料の法第37条材料認定の適用範囲内で使用されていることが確認されていれば、イから二の方法によらなくてもよい。）

イ．各階の応答層間変形角が100分の1を超えない範囲にあること。

ロ．各階の層としての応答塑性率が2.0を超えないこと。この場合、塑性率を求める基準となる変形を構造方法及び振動特性を考慮して適切に設定していること。

ハ．構造耐力上主要な部分を構成する各部材の応答塑性率が、その部材の構造方法、構造の特性等によって設定された限界値（当該数値が4.0を超える場合は4.0）以下であること。この場合、塑性率を求める基準となる変形を構造方法及び振動特性を考慮して適切に設定していること。（ただし、制振部材にあつては、この限りではない。）

二．応答値が、イ、ロ及びハに示した値を超える場合にあっては、その超過する程度に応じ、以下の事項が確かめられていること。

①部材ごとの応答値を算定できる適切な解析モデルを用いて層間変形角、層の塑性率及び部材の塑性率等の妥当性が確かめられていること。

②応答解析に用いる部材の復元力特性が、応答変形を超える範囲まで適切にモデル化され、かつ、そのモデル化が適切である構造ディテールを有すること。

③水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を算定できる適切な応答解析が行われていること。

