

1-4-2 (2) 設計用入力地震動時刻歴波形の取扱い等について

1. 取扱い

横浜市建築構造設計指針 2003 (以下「本指針」という。)における設計用入力地震動時刻歴波形は、保有水平耐力計算 (ルート 3) に適合する高層建築物等*のうち、振動特性や部材設計などに対する特別な配慮を行うために、許容応力度及び必要保有水平耐力計算の参考として行う時刻歴応答解析に用いるものである。また、本指針に示している設計用入力地震動時刻歴波形は、横浜市内 (みなとみらい 21 地区及び新横浜地区) の地域特性を反映した「横浜模擬地震動」を基に策定された「横浜標準波」であること、2003 年当時の知見をもとに作成された地震波であることを踏まえ、建設予定地の地盤特性や最新の知見等を考慮し、横浜標準波を使用することが望ましい。

※ 高層建築物等とは、高さが 31m を超え 60m 以下の高層建築物、ピロティ階を有する建築物又は塔状比が 4 を超える建築物等を示す。

なお、本指針は建築物の構造設計のうえで参考となる指針であり、行政手続法に基づく審査基準等に該当するものではない。

2. 削除部分

P71 5 行目

~~ここでは、前(1)項のエに示した動的応答解析条件である入力地震波について述べる。~~

3. 正誤表

No.	ページ	行等	正	誤
1	73	L12~ 13	図 1-4-4 に示すように、歪みが増加するに従い剛性は低下し、	図に示すように、歪が増加するに従い剛性は低下し、

(2) 設計用入力地震動時刻歴波形

地震動及び設計用入力地震動時刻歴波形は、地域特性を反映した横浜模擬地震動を基に策定された横浜標準波を用いることを原則とする。なお、液状化のおそれのある地盤においては適用しない。

【解説】

ここでは、前(1)項のEに示した動的応答解析条件である入力地震波について述べる。

設計用入力地震動時刻歴波形は、以下のaからcを組み合わせて実施するのが一般的であるが、b、cの場合は、表層地盤の増幅や建築物と地盤の相互効果を適切に評価することなど高度な技術を必要とする。また、a 既往観測波を用いて基礎固定振動モデルに直接入力をする方法は、従来から高層建築物の時刻歴応答解析に多く用いられてきた。しかし、高さ31m程度の基礎固定振動モデルに同じ地震動レベルで用いた場合、地盤の相互効果を取り入れずに解析すれば、大きな応答値となり、一般的な設計クライテリアを満たせないことも考えられる。

- a 既往の観測波をレベル1、2の地震動に規準化し設計用入力地震波として用いる方法
- b 地域の模擬地震動、設計用入力地震動波形を用いる方法
- c 解放工学基盤における地震動を表層地盤増幅を考慮し設計用入力地震波として用いる方法（告示波等）

後述Eの横浜標準波は、建築物の基礎に直接入力を行うために、建築物と地盤の相互効果を取り入れた設計用入力地震動時刻歴波形に整理されている。したがって、設計者が地盤増幅効果や基礎・地盤の相互効果を設定する必要がなく、時刻歴応答解析用プログラムに直接入力することで実施できることから、本取り扱いの対象とした。

本取り扱いでは、横浜標準波を設計用入力地震動時刻歴波形として用いることを原則としているが、他の設計用入力地震動時刻歴波形を否定するものではない。時刻歴応答解析は、用いる地震動や地震波形と建築物の周期など固有の条件から導き出された一つの解析結果であることを考えれば、東京臨海波(Rinkai92)など横浜標準波と同様に地域特性、建築物・地盤相互作用等を考慮したものを入力波として併用し、応答結果を比較することは重要なことである。

また、横浜標準波の特性を把握し動的応答解析を進めるため、参考として基礎固定モデルに上記a 既往観測波を併用することが好ましい。

7 従来の動的応答解析用地震動・設計用入力地震動時刻歴波形

(7) 既往観測地震波の用い方

高層建築物の設計用入力地震波は、一般的には4波程度用いることが多く、その内訳はELCENTRO、TAFT等の標準的地震波を2波、TOKYO101、OSAKA-205、HACHINOHE、SENDAI等の地域特性を表わす地震波を1波、HACHINOHE等の長周期成分を含む地震波を1波用いていることが多い。

(イ) 地震動の基本的な考え方

地震動の基本的な考え方が、ビルディングレター昭和61年6月号((財)日本建築センター)に述べられているので参考となる。

イ 平成12年政令改正後の水平方向入力地震動の設定（告示波）

平12建告第1461号に対応した「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」((財)日本建築センター)による水平方向の入力地震動の設定は以下となっている。

- (ア) せん断波速度が400m/sの解放工学的基盤における減衰定数5%の加速度応答スペクトルをもち、建設地表層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、告示に定められた継続時間などの事項を満たし、位相分布を適切に考慮して作成した3波以上用いること。
- (イ) 告示のただし書きにより、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、地盤構造などに基づいて、建設地における模擬地震波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波以上を用いること。
- (ウ) 上記(ア)及び(イ)のいずれの場合においても、作成された地震波が適切であることを確かめるため、次の地

震波も設計用入力地震動として併用する。すなわち、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25 cm/sec、50 cm/secとして作成した地震波を、それぞれ稀に発生する地震動（レベル1）、極めて稀に発生する地震動（レベル2）とする。動的設計に用いる観測地震波は、建設地の地盤の特性が考慮されたものが好ましい。すなわち建設地近傍で観測された地震動や地盤特性が比較的良好に近似した地盤で観測された地震動が好ましいと考えられる。なお、これらの入力の大きさとして、25 cm/sec、50 cm/secと速度で規準化して用いる。また、これら観測地震波は、地表か建築物内での記録のため、建築物の応答解析に入力する場合は、地盤の増幅が考慮されていると仮定して、そのままの時刻歴を直接入力するのが一般的である。

リ 横浜模擬地震動（基盤波）

横浜市建築局は、「横浜市高層建築物耐震指導基準地震波策定調査」を平成2年度に実施し、みなとみらい地区及び新横浜地区の模擬地震動（基盤波名称：yoko rock）を作成した。

(ア) 基本的な考え方

地震動の設定にあたっての基本的な考え方は、以下の通りである。

- a 地震動は、稀に発生する地震動をレベル1、極めて稀に発生する地震動をレベル2とした。
- b 模擬地震動は、南関東地震、東海地震、東京直下地震、横浜直下地震の4地震を想定して、その震源断層モデルなどを用いて、やや長周期領域まで推定するために「翠川・小林」の方法を用い、また対象地区及び周辺地域で観測された地震動波形を活用するため「入倉」の方法を採用している。

「翠川・小林」の方法は、強震計の観測データに基づいた経験式を用いた半経験的な手法であり、地震基盤（ $V_s=3.0\text{km/sec}$ ）における速度応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を作成する。また、「入倉」の方法は、大地震と小地震の相似則に基づき、余震など小地震の観測波形を要素波として、大地震時の地震波形を予測する方法である。実際は本震の断層面を小領域に分割し、この小領域から要素波が発生するものとして破壊時間や伝播時間の差を考慮して本震の波形を作成している。

c 模擬地震動の設定の手順

- (a) 「入倉」の合成波から応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を計算する。
- (b) 「翠川・小林」の方法、「入倉」の方法による応答スペクトルを重ね合わせる。
- (c) (b)の応答スペクトルの相乗平均、標準偏差（ σ ）を計算する。
- (d) 相乗平均 $+1\sigma$ の応答スペクトルを包絡する提案スペクトルを設定する。
- (e) 提案スペクトルに適合する模擬地震動を作成する。

d 模擬地震動波形の作成

模擬地震動波形の作成は、平澤・渡部の「多価の目標応答スペクトルに適合する模擬地震動の作成」によった。なお、模擬地震動波形（基盤波名称：yoko rock）のテキストデータは、横浜市建築局建築指導部のホームページに掲載しているので参考とされたい。

(イ) 横浜模擬地震動の適用

a 横浜模擬地震動は、みなとみらい21地区及び新横浜地区の基盤（土丹層上面 $V_s \approx 430\text{m/sec}$ ）を想定して作成されている。したがって、ほぼ同様の基盤特性を示す他地区においては適用可能である。また、横浜市総務局危機管理対策室が策定している「地震マップ」における市域約150箇所の模擬地震動などの活用についても今後期待される。

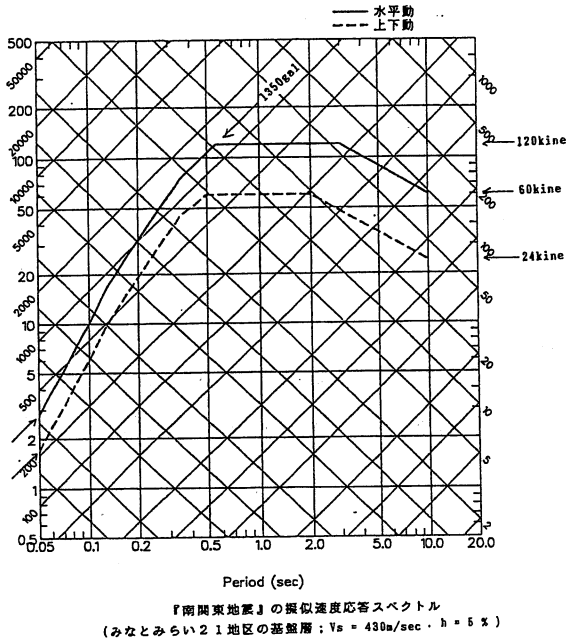
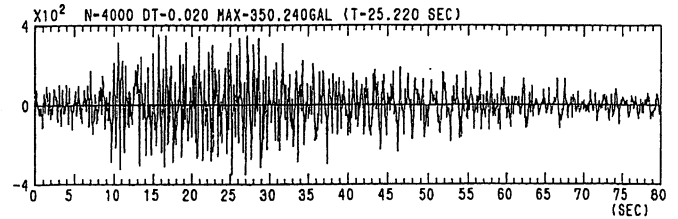


図 1-4-2



加速度波

図 1-4-3

b 地表面における横浜模擬地震動

横浜模擬地震動は、南関東地震、東海地震、東京直下地震、横浜直下地震の4地震を想定したが、検討結果から南関東地震を基本として作成した。南関東地震の模擬地震動については、みなとみらい21地区及び新横浜地区の地盤モデルを用いて、一次元波動論の等価線形法による応答計算を行い、地表面の加速度波形及び速度応答スペクトルが示されているので、同様の地盤モデルの場合に参考とすることができる。

地盤モデルが相違する場合、地盤の動的特性としての地盤のせん断剛性と減衰定数は、せん断歪のレベルによって変化する非線形特性を有するため、地震時にはこの影響を適切に評価する必要がある。図に示すように、歪が増加するに従い剛性は低下し、減衰は大きくなる。そのため、大地震時には歪みの増大による剛性低下により地盤の卓越周期が長くなることが予想され、軟弱地盤や液状化の恐れがある地盤の場合は、高層建築物や免震建築物等のように固有周期の長い建築物では、応答が大きくなる可能性があることに注意する必要がある。

増幅特性の算定方法には、著しい非成層性がある場合を除き、表層地盤を成層地盤と仮定し、一次元波動伝播理論の考え方により評価する。この場合、表層地盤の歪レベルに依存した剛性並びに減衰を用いた等価線形解析 (SHAKE) 等により算定する場合が一般的である。なお、成層地盤に置き換えることが難しいと判断された場合は、地盤を FEM 等によりモデル化する必要がある。

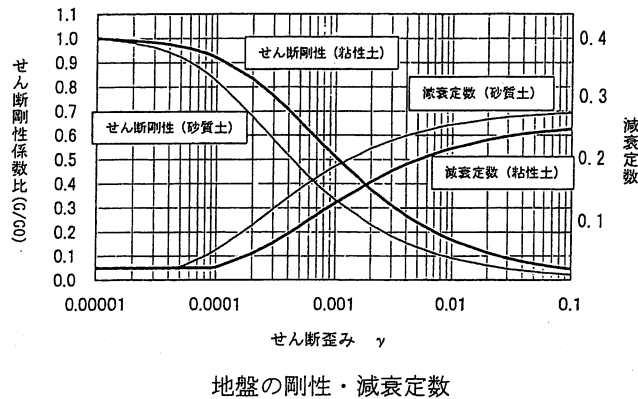


図 1-4-4

エ 横浜標準波（設計用入力地震動時刻歴波形）

横浜標準波は、平成4年度に実施した「横浜市高層建築物耐震指導基準策定委員会」の検討結果として、前記の横浜模擬地震動に基づき建築物の基礎固定モデルに対する入力地震動（設計用入力地震動時刻歴波形名称：yoko face）として作成された。

この横浜標準波は、横浜市内に建築される建築物に使用できるが、標準波作成のために以下の条件と異なるような特殊な形状（メガフレームなど等価フレーム型、地盤連性モデル型等）・条件（大規模な斜面建築物）等を有する建築物の場合は、慎重に取り扱うことが必要である。

(ア) 横浜標準波の作成方法

a 作成方針

建築物の地震時の挙動を把握するには、建築物と地盤との相互作用効果を適切に評価する必要がある。実地震の観測記録は、建築物と地盤との相互作用の効果が含まれているため、自由地盤の観測波形に比べて小さくなるのが一般的である。また、解析結果においても建築物周期近傍では、1階床位置の速度応答スペクトルが自由地表面に比べて小さくなる傾向がある。これらのことから、横浜標準波の作成にあたっては、相互作用の効果をとり入れ、以下の手順で作成した。

- (a) 横浜模擬地震動を用いて、建築物周期をパラメータとして、建築物と横浜地区（MM21、新横浜）表層地盤の連成振動応答解析を行い、1階床位置の水平地震動スペクトルを設定する。
- (b) 1階床位置の水平地震動スペクトルを模擬する加速度波形を作成し、これを横浜標準波とする。1階床位置の水平地震動スペクトルの設定にあたっては、地震応答解析を対象とする建築物の高さが45mから60m程度であることから、周期1から3秒付近を主として検討する。

b 横浜模擬地震動の基盤水平地震動スペクトルと時刻歴波形

横浜模擬地震動の基盤の水平地震動スペクトル（前述）は、土丹層（せん断波速度 $V_s \approx 430\text{m/sec}$ ）を解放工学的基盤とし、この基盤の上面を自由表面と見なしたときの地震動として定義されている。模擬地震動の作成は、正弦波の重ね合わせで作成され、模擬地震動の波形は、最大加速度・最大速度の値が、それぞれ 350cm/sec^2 、 62.0cm/sec であり、継続時間は80秒である。

c 検討対象と解析方法

(a) 地盤

検討の対象とした地盤は、みなとみらい21地区と新横浜地区であり、その地盤構成は、基盤となる土丹層に起伏があり、基盤層以浅の表層は埋土と沖積層による軟弱地盤である。解析モデルの設定にあたっては、表層の層厚に数十mの幅があることから、みなとみらい21地区では3モデル、新横浜地区では2モデルを設定した。

(b) 建築物

対象建築物の平面形状は、40m×40mの正方形、建築物の階数は10階から30階程度を想定し、検討した建築物の一次周期としては、0.5秒、1.0秒、1.5秒、2.0秒、2.5秒、3.0秒の6種類とした。

(c) 解析方法

地盤と建築物の地震応答解析は、一次元波動論による等価線形法にて行った。解析モデルは地盤と建築物を単位断面積のせん断型質点系に置換し、基盤の上には粘性境界を設けた。建築物の剛性は線形とし減衰を2%とした。ここで建築物の剛性分布は、最上層の剛性を1階の剛性の1/2とし、中間階は直線補間により求めている。地盤の剛性と減衰は非線形とした。得られた応答解析結果の波形の速度値の計算は、Trifunacの方法により加速度波形を積分して求めた。

(d) 地盤のみの応答解析結果

横浜模擬地震動を、地盤のみのモデルに入力させた場合の検討を行った。地盤の応答量は大きいものとなっており、非線形化の程度も大きくなっている。地盤のみの応答による地表の最大加速度・速度値は、300から400cm/sec²、70から90cm/secであり、加速度値に比較して速度値が大きいのが特徴である。

さらに、地表の最大速度値が25、50cm/secになるように、基盤での横浜模擬地震波を調整すると、50cm/secでは0.5から0.7倍、25cm/secでは0.23から0.34倍となる。その時の地表最大加速度値は、50cm/secで180から270cm/sec²、25cm/secで120から180cm/sec²となっている。

(e) 地盤・建築物連成系の応答解析

ここで用いた地盤・建築物連成系振動解析モデルでは、建築物と地盤を単位断面積の連続体としてモデル化し、重量及び剛性を評価している。このため、地盤に対して建築物の重量密度(ρ)として単純に建築物重量を建築物の体積で除した値を用いると、相互作用効果を過大に評価することになることから、本解析では、建築物の重量密度を実際の3/4倍した場合と1/2倍とした場合について検討した。

d 横浜標準波の設定

(a) 水平地震動スペクトルの設定

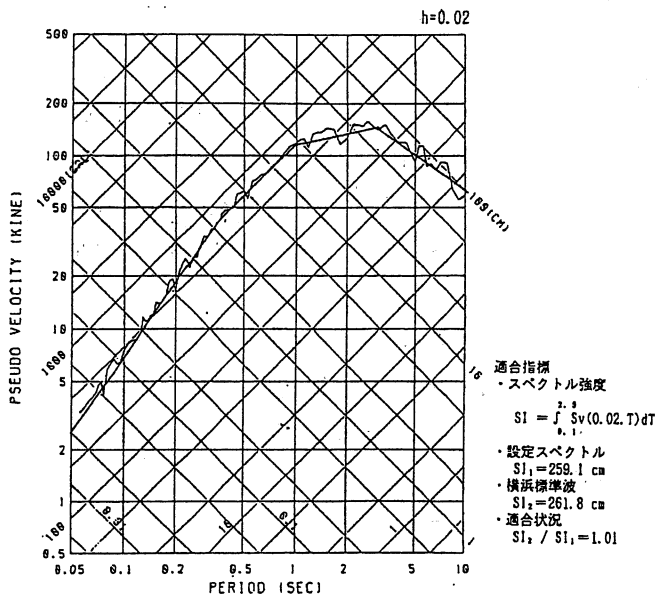
地盤・建築物連成系振動応答解析の結果を基に、相互作用の効果を取り入れた1階床位置の水平地震動スペクトルを、減衰が0.02の疑似応答スペクトルの形で示している(図1-4-5)。設定された水平地震動スペクトルは、対象周期領域(1から3秒付近)では、地盤と建築物の相互作用を考慮した東京都臨海地区の応答結果とも整合性がとれており、対象範囲外の周期領域では過小評価しないようなスペクトルとなっている。

また、相互作用を考えることにより、横浜地区5種類の地盤応答結果を包絡する本スペクトルは、設計実務の立場からみると有効な手法となり得ると思われる。なお、ここで設定した水平地震動スペクトルはレベル2地震に相当するものであり、レベル1地震は1/2とする。

(b) 横浜標準波の作成

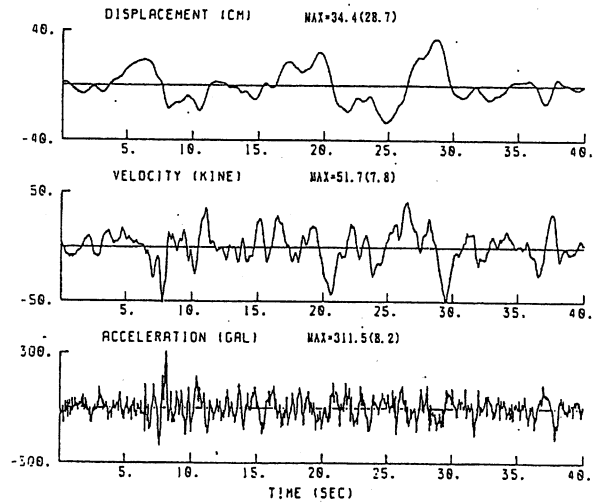
設定された1階床位置の水平地震動スペクトルを模擬する加速度波形を作成し、これを横浜標準波（設計用入力地震動時刻歴波形：yoko face）とする（図1-4-6）。横浜標準波の作成方法は、渡部・藤堂；「設計用模擬地震動に関する研究その3 耐震設計用3次元模擬地震動」により、位相特性としてHACHINOHE NS 1968を用いた正弦波形の重ね合わせで行った。継続時間については、対象建築物周期が3秒程度以下であることから40秒とした。

上記の方法により作成された横浜標準波（レベル2）の最大加速度及び最大速度は、それぞれ312cm/sec²、51.7 cm/sec、波形のデジタル数は4000個、きざみ時間は0.01秒である。レベル1に対しては、この1/2の値を使用する。なお、横浜標準波（yoko face）のテキストデータは、横浜市建築局建築指導部のホームページに掲載しているので参考とされたい。



設定された水平地震動スペクトルと横浜標準波の適合状況

図 1-4-5



横浜標準波の波形

図 1-4-6