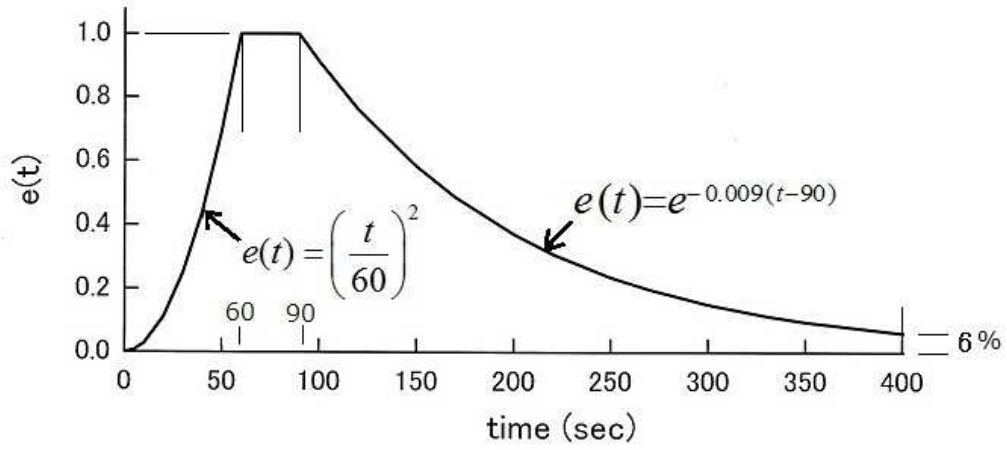
pdf-file

建築学会「長周期地震動と超高層建物の対応策」に基づく

濃尾平野の長周期地震動の作成例
包絡曲線 1 の場合



2024.4

工博 山田隆夫 著

***SEA*　耐震技術アソシエイツ**

出版に当って

一般的な「模擬地震波の作成法」に関する名著として、
大崎順彦著：新・地震動のスペクトル解析入門　鹿島出版会
が挙げられます。ここでは、加速度の時刻歴波形の包絡曲線から位相差分スペクトルを求め、目標とする設計用速度応答スペクトルに適合する地震波を作成する方法が述べられています。

平成 4 年 3 月に建設省建築研究所と日本建築センターから
設計用入力地震動作成手法技術指針(案)　(以下 「1992 年告示案」と呼ぶ)
が公開されました。ここに、解放工学的基盤で設定した、やや長周期地震動用の強度レベル 2 の擬似速度応答スペクトルの最大値を 100kine とする水平動設計用基準応答スペクトルと、時刻歴加速度波形について継続時間 120 秒間の包絡曲線が示されました。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震では、震源から離れた地域で長周期地震が生じたことを契機に、建築学会は「長周期地震動と超高層建物の対応策」(2013.10)において、後続の地震波について東海・東南海・南海地震の三連動地震を想定して、関東平野を 3 ゾーン、濃尾および大阪平野の 2 ゾーンについて、周期 16 秒までの速度応答スペクトルの平均値を具体的に示しています。

本書は、濃尾平野の 2 ゾーンについて、加速度時刻歴波形が包絡曲線 1 の場合の長周期地震動の作成例をまとめたものです。地震動作成に用いる確率密度関数の変数系列と包絡曲線は、継続時間 400 秒という長時間の地動加速度を 2 ～16 秒の短周期の速度応答スペクトルで定義する際の位相が絡む内容を含んでいます。本書では、変数系列と包絡曲線がどのように地動変位の時刻歴性状に影響するかを検討しました。

筆者は既に模擬地震波に関して、
大崎の方法による模擬地震波の作成例　H1, H2, V1, V2 シリーズ
を著わしています。短周期側の地震動と長周期地震動を接続する場合には、1992 年告示案の短周期側の地震動の速度応答スペクトルの最大値 100kine を 81.5kine に低減して用いればよいと考えます。

2024.4　筆者記す

目　次

総論(General)	G-1	解放工学的基盤における後続の加速度時刻歴波形の包絡曲線	1
	G-2	濃尾平野のゾーン分け	2
	G-3	位相角を求める際の 3 系列 a,b,c の一様乱数	3
	G-4	スペクトルの適合性の推奨値	4
	G-5	地動加速度の時刻歴データについて	-
濃尾平野ゾーン 1 (nb1)	nb1.1	速度応答スペクトル	5
	nb1.2	乱数系列毎の速度スペクトルの適合性の計算例 [1] 乱数系列 a の場合の spectrum fitting	6
		[2] 乱数系列 b の場合の spectrum fitting	-
	nb1.3	地動加速度、速度、変位の時刻歴波形 [1] 乱数系列 a の場合の波形	7
		[2] 乱数系列 b の場合の波形	-
濃尾平野ゾーン 2 (nb2)	nb2.1	速度応答スペクトル	8
	nb2.2	乱数系列毎の速度スペクトルの適合性の計算例 [1] 乱数系列 a の場合の spectrum fitting	9
		[2] 乱数系列 b の場合の spectrum fitting	-
	nb2.3	地動加速度、速度、変位の時刻歴波形 [1] 乱数系列 a の場合の波形	10
		[2] 乱数系列 b の場合の波形	-
関連著書			-

本書は abstract の為、正規の書籍とページが異なります

総　論（General)

G-1　解放工学的基盤における後続の加速度時刻歴波形の包絡曲線

1992 年告示案では、入力加速度時刻歴波形の包絡曲線を継続時間 120sec の場合について
建設省建築研究所　日本建築センター:「設計用入力地震動作成手法技術指針(案)」
で示しています。

然しながら、後続の長周期の加速度時刻歴波形の包絡曲線に関する規定はないので、気象庁の 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震観測波形等を参考にして、図 G-1 のように、継続時間を 400 秒、最大加速度の継続時間を 30 秒、地震終了後の加速度の値は最大値の約 6% と仮定して、包絡曲線 Envelope-1 を設定しました。包絡曲線から地震波の位相を求めています。

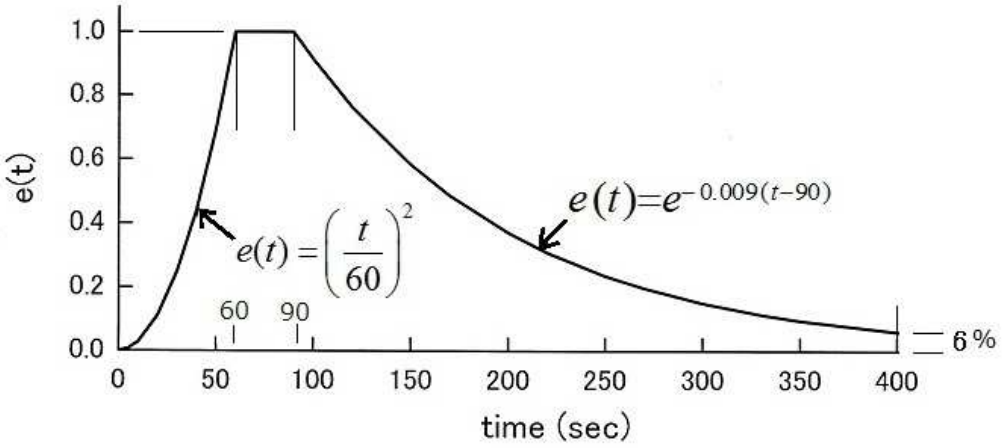
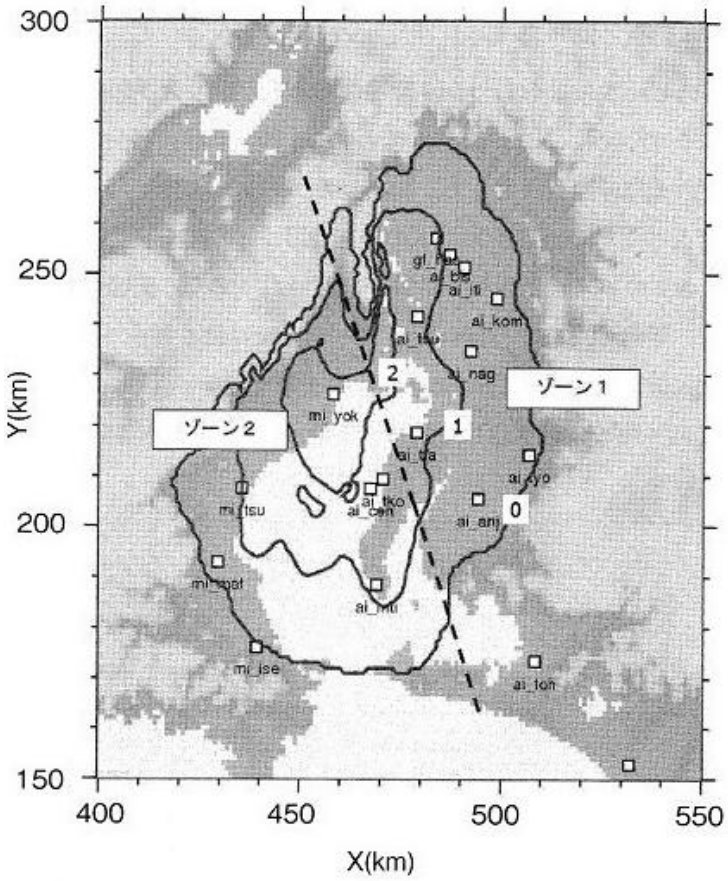


図 G-1　包絡曲線 Envelope-1

G-2　濃尾平野のゾーン分け

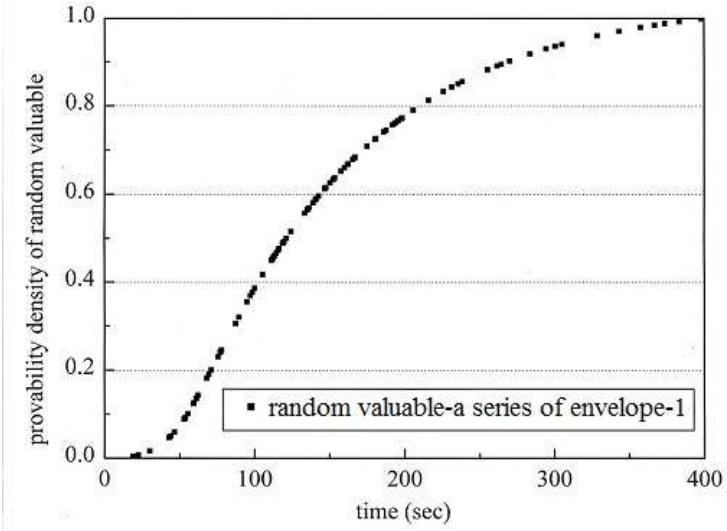
図 G-2.1 濃尾平野の
ゾーン分け



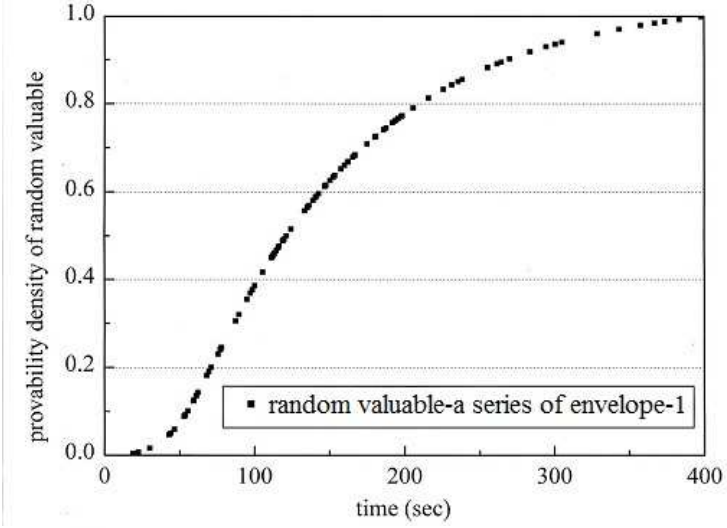
G-3　位相角を求める際の 3 系列 a,b,c の一様乱数

包絡曲線 Envelope-1 から求められる確率密度関数の 0～1.0 を 100 分割した a,b,c 3 系列の一様乱数を図 G-3 に示します。c 系列では長周期部分で乱数分布がやや粗であるため、a,b 系列にくらべて地震波の終端部で有意な位相が得られないので、詳細な検討を省略しました。

乱数 a 系列



乱数 b 系列



乱数 c 系列

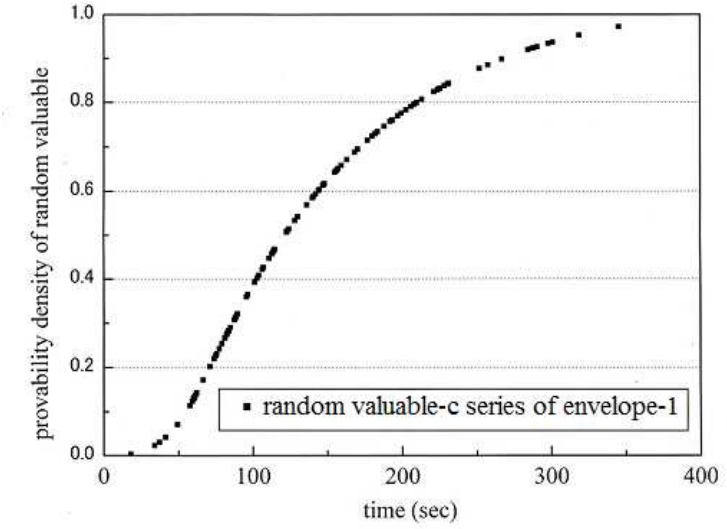


図 G-3　Envelope-1 の乱数分布状態

G-4　スペクトルの適合性の推奨値 (*Spectrum fitting*)

技術指針(1992 年告示案)では作成した地震動の速度応答スペクトル $response\ velocity(j)$ と設計用速度応答スペクトル $pSv(j)$ は次の条件を満たすことが望ましいとしています。

① 最小応答スペクトル比

$$\varepsilon(j)min = \left\{ \frac{response\ velocity(j)}{pSv(j)} \right\} \geq 0.85 \qquad (1)$$

② 応答スペクトルの平均値の誤差

$$\varepsilon(j)ave = \frac{\Sigma\,\varepsilon(j)}{N} \quad \text{として} \quad \left| 1 - \varepsilon(j)ave \right| \leq 0.02 \qquad (2)$$

③ 応答スペクトル比の変動係数 ν (*covariance*)

$$\nu = \sqrt{\frac{\Sigma\left(1 - \varepsilon(j)\right)^2}{N}} \leq 0.05 \qquad (3)$$

本書では作成された地震波が概ね上記の推奨値を満たすように収斂計算を行なっています。

濃尾平野ゾーン 1 (nb1)

nb1.1　速度応答スペクトル

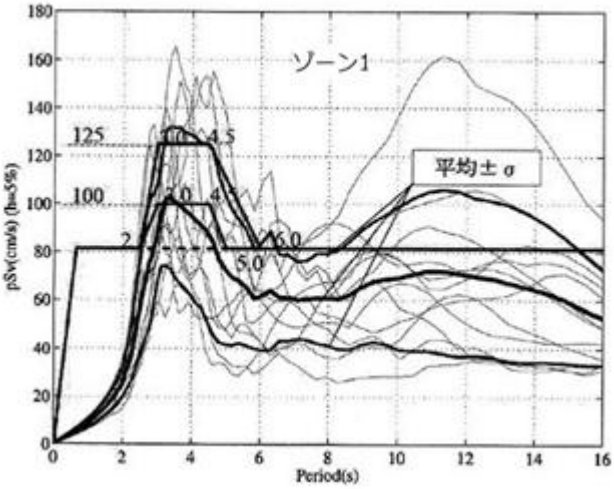


図 nb1.1.1 理論計算波の速度応答スペクトル

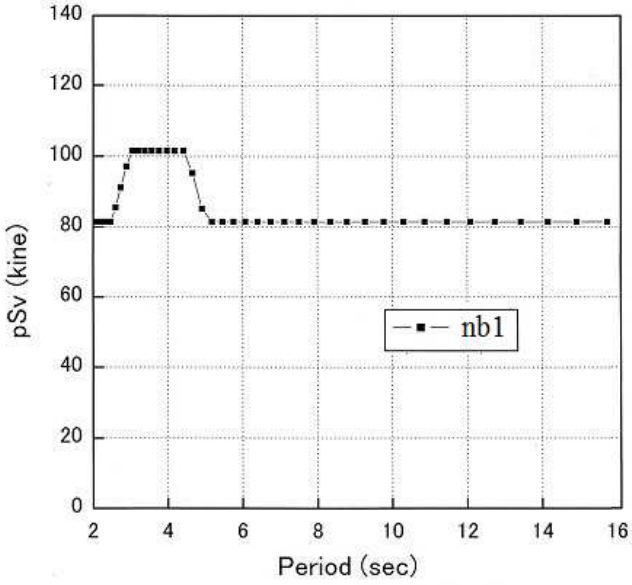


図 nb1.1.2 設計用速度応答スペクトル平均値

地震波の 0～400 秒間の時間軸を対数目盛で 100 分割し、0～16 秒間の周期に対する速度応答スペクトルの平均値を実線でモデル化し、39 個の分割値を設計用速度応答スペクトルとしました。

nb1.2　乱数系列毎の速度スペクトルの適合性の計算例

[1] 乱数系列 a の場合の *Spectrum fitting*

速度スペクトルの設計値と計算値の分布は図 nb1.2.a に示しました。

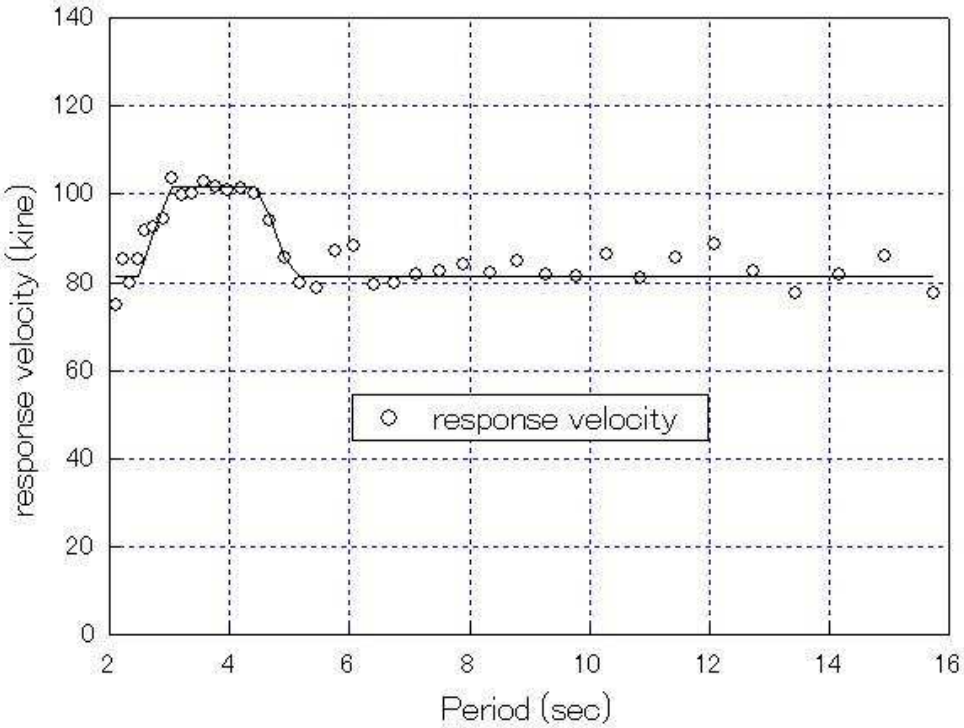


図 nb1.2.a 速度スペクトルの設計値と計算値の分布

nb1.3　地動加速度、速度、変位の時刻歴波形

地動速度は地震終了時に zero になっているので基線補正は正しく行われたと思われます。地動変位の後半部の片ズレは、地動変位を求める際の計算誤差によるものではありません。

地動加速度の最大値は包絡曲線をほぼ満たすように、時刻 60～110 秒間で生じています。

地動変位の片ズレは乱数系列 a の場合が乱数系列 b の場合より小さい結果になりました。

長い継続時間 400 秒の地震波を短周期 2～16 秒間の設計用速度応答スペクトルと 0～1.0 の 100 個の乱数系列 a,b と包絡曲線から求めた位相を基に計算して求めるので、終端部の地動変位を精度良く求めることは難しく、片ズレの大きさは *spectrum fitting* の適合性だけからは予想できません。

結局、包絡曲線 1 の場合には、終端部の片ズレ変位の小さい乱数系列 a による結果が適当と考えられます。従って、上部構造の耐震設計には乱数系列 a の地動加速度を採用するのが良いのではないかと考えます。

[1] 乱数系列 **a** の場合の波形

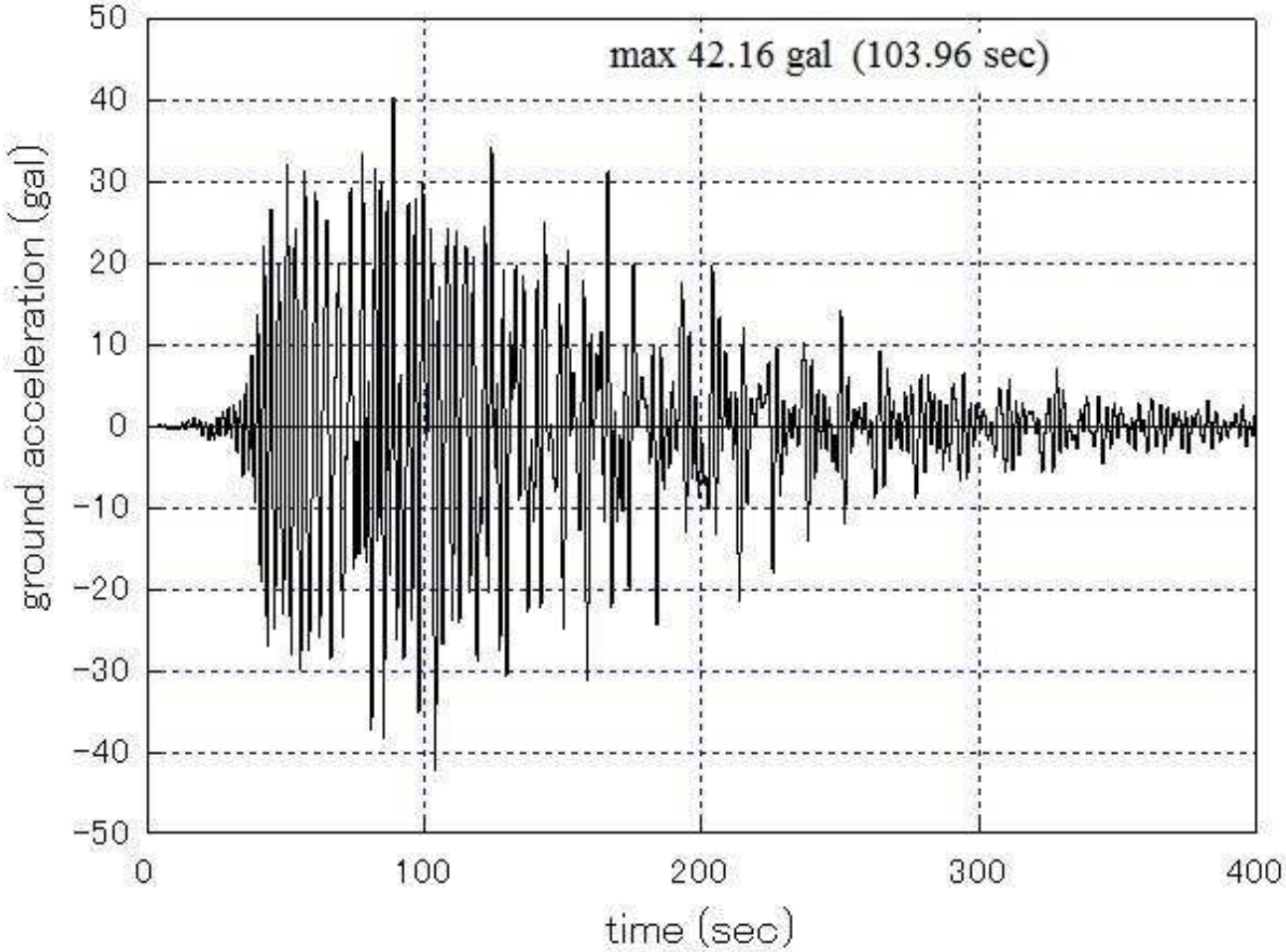


図 nb1-3.1.acceleration　地動加速度波形

濃尾平野ゾーン 2 (nb2)

nb2.1　速度応答スペクトル

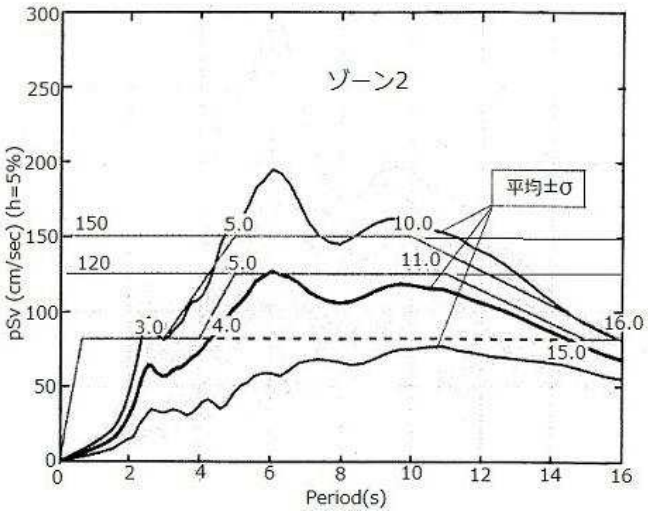


図 nb2.1.1 理論計算波の速度応答スペクトル

(註)「長周期地震動と超高層建物の対応策」
page82のゾーン2のスペクトル 修正

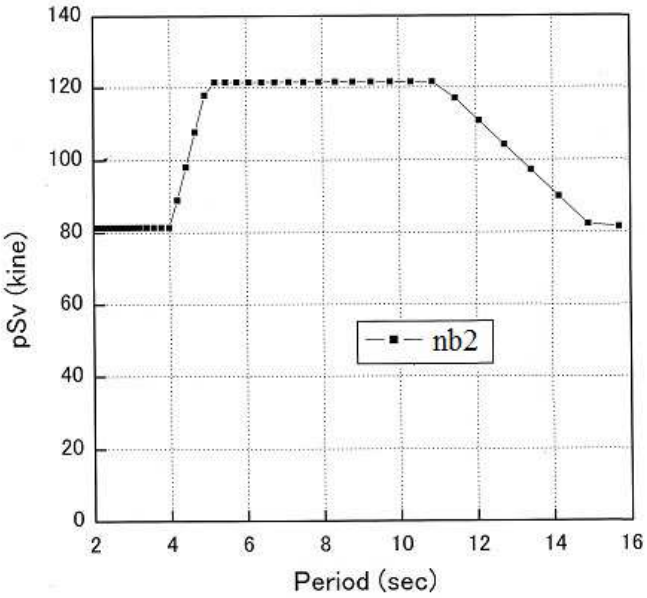


図 nb2.1.2 設計用速度応答スペクトル平均値

地震波の 0～400 秒間の時間軸を対数目盛で 100 分割し、0～16 秒間の周期に対する速度応答スペクトルの平均値を実線でモデル化し、39 個の分割値を設計用速度応答スペクトルとしました。

nb2.2　乱数系列毎の速度スペクトルの適合性の計算例

[1] 乱数系列 a の場合の *Spectrum fitting*

速度スペクトルの設計値と計算値の分布は図 nb2.2.a に示しました。

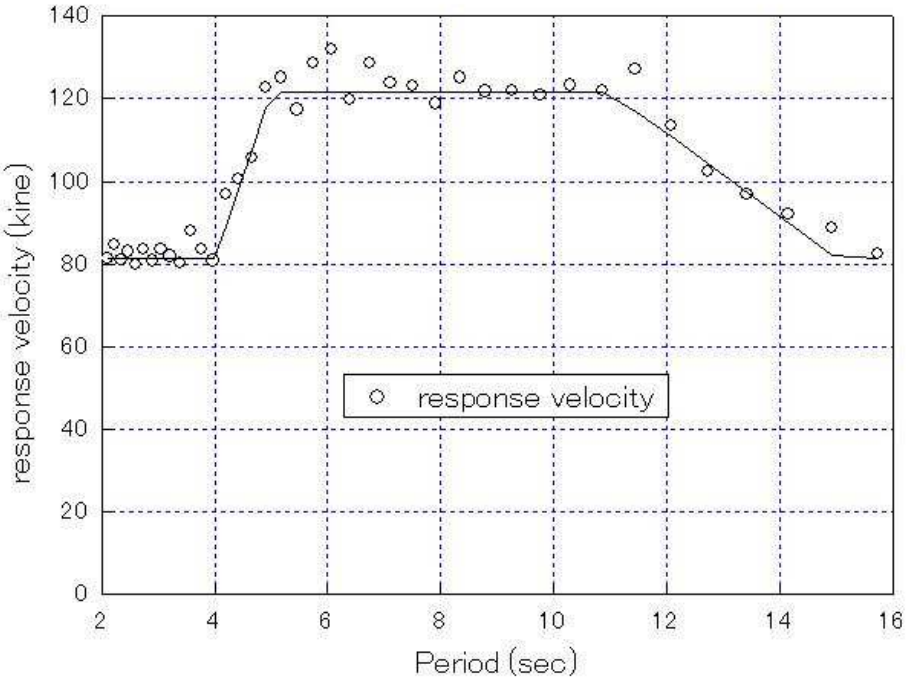


図 nb2.2.a 速度スペクトルの設計値と計算値の分布

nb2.3　地動加速度、速度、変位の時刻歴波形

地動速度は地震終了時に zero になっているので基線補正は正しく行われたと思われます。地動変位の後半部の片ズレは、地動変位を求める際の計算誤差によるものではありません。

地動加速度の最大値は包絡曲線をほぼ満たすように、時刻 60～90 秒間で生じています。

地動変位の片ズレは乱数系列 a の場合が乱数系列 b の場合より小さい結果になりました。

長い継続時間 400 秒の地震波を短周期 2～16 秒間の設計用速度応答スペクトルと 0～1.0 の 100 個の乱数系列 a,b と包絡曲線から求めた位相を元に計算して求めるので、終端部の地動変位を精度良く求めることは難しく、片ズレの大きさは *spectrum fitting* の適合性だけからは予想できません。

結局、包絡曲線 1 の場合には、終端部の片ズレ変位の小さい乱数系列 a による結果が適当と考えられます。従って、上部構造の耐震設計には乱数系列 a の地動加速度を採用するのが良いのではないかと考えます。

[1] 乱数系列 **a** の場合の波形

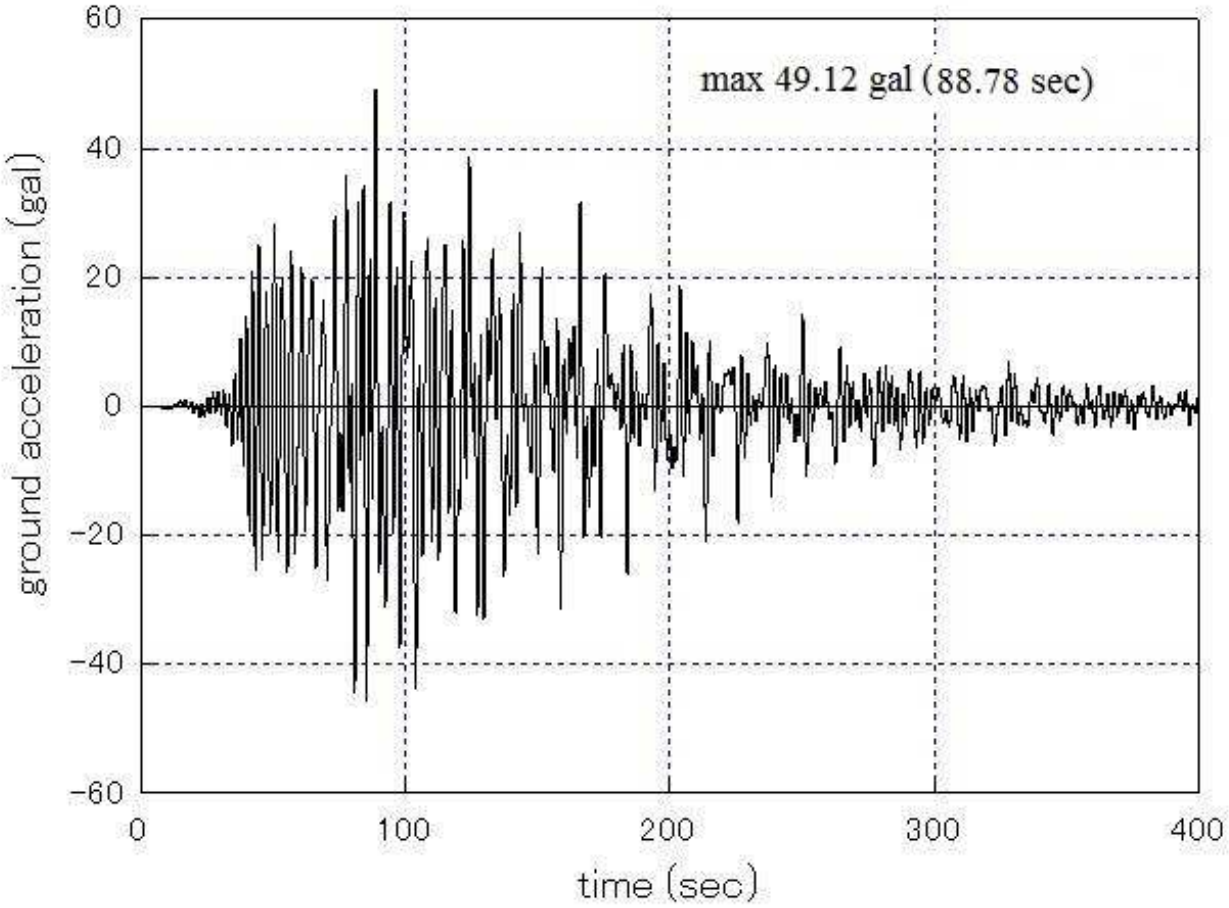


図 nb2-3.1.acceleration　地動加速度波形