

I - 8 模擬波作成とその応答について

パシフィック・コンサルタンツ(株) 正員 ○ 林 亜紀夫
 〃 正員 二神 健次
 〃 天國 邦博

1 まえがき

土木構造物の動的応答解析に用いる入力地震動としては、加速度時刻歴測定値と平均応答スペクトルが一般的である。後者は、地震動の平均的な全体像として理解できるので調査や設計の際に設定する入力地震動として適している。ところがモデル法以外の解法を用いる際には、平均応答スペクトルを用いることができないので、これと同等の性格を持つ模擬波を人工的に合成し、平均的な入力地震動と考えることができれば便利である。

設計や調査に用いるために模擬波を合成するとすれば、簡単にしかも少ない計算規模で実行できる必要がある。そこで、卓上型電子計算機程度の機種で扱うことができる方法で、模擬波を作成する試みをしたので報告する。

2 作成方法

計算量を少なくする目的で約100組の正弦波を合成する方法を採った。振動数と各振幅の組み合わせの例を、図1に示す。その位相は一様分布乱数とした。合成した定常波に次式のような強度関数 $E(x)$ をかけて、波形の包絡形状を整えた。

$$E(t) = \frac{1}{t_p} \exp(1 - \frac{t}{t_p}) \dots (1)$$

ここに、 t :時刻、 t_p :係数である

包絡形状を整える目的は作成した波形による応答解析をする際に、適当な演算時間内に応答最大値が得られるようにするためである。上式中の t_p は、設定した主要動継続時間 T_d を満足するように調節する。(T_d は最大加速度の半振幅を維持する時間である) 今回の試行では、次式に M (マグニチュード)=7、 Δ (震央距離)=50 kmを代入し、 T_d (第一種地盤)=7.12(秒)と仮定した。

$$T_d = 3.89 \times 10^{-4} \times 10^{0.46M} \times \Delta^{0.509} \dots (2) \quad *2$$

以上の手順で合成した波形による応答スペクトルが目標応答スペクトルに一致するように、各正弦波の振幅を次式によって調節し、20回のイテレーションを行う。

$$C(T_k)_{n+1} = \frac{S_T(T_k)}{S_V(T_k)} \cdot C(T_k)_n \dots (3)$$

ここに、 $S_T(T_k)$: 周期 T_k の目標応答スペクトル速度

$S_V(T_k)$: 周期 T_k の模擬波応答スペクトル速度

目標として、設定した応答スペクトルを図2に示す。^{*}1

同図には、作成した波形によるスペクトルも合わせて示してある。

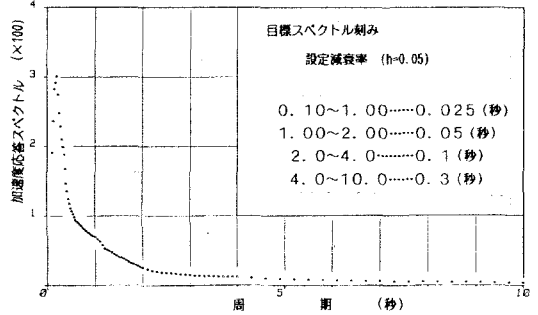


図1. 周期と各振幅の関係

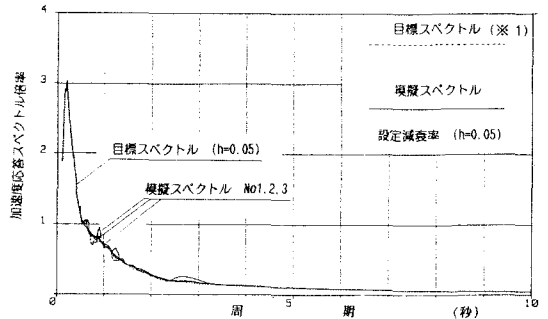


図2. 目標応答スペクトルと模擬波スペクトルの対比

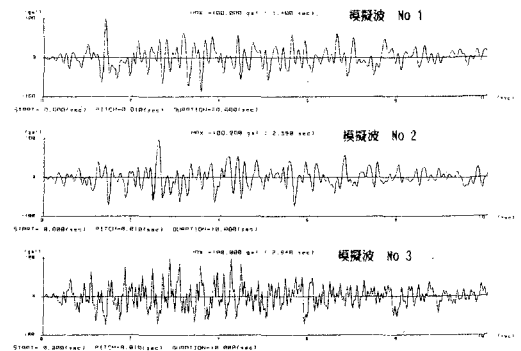


図3. 作成した模擬波(正規化)

表-1 作成した模擬波の評価

模擬波NO.	応答スペクトルの 最小誤差(%) (イテレーション回数)	最大加速振幅 (line) [発生時間(秒)]	主要動の周期 (秒) (%)	最大加速振幅 (line) [発生時間(秒)]
1	6.87 (4回)	6.128 (2.08秒)	0.184(秒) 5.44(%)	1.40
2	6.72 (20回)	6.364 (2.65秒)	0.179(秒) 5.60(%)	2.59
3	11.75 (14回)	6.899 (3.77秒)	0.129(秒) 7.72(%)	2.84
4	13.07 (11回)	5.814 (6.54秒)	0.110(秒) 9.11(%)	4.63
5	13.39 (14回)	8.496 (3.4秒)	0.147(秒) 6.82(%)	3.37

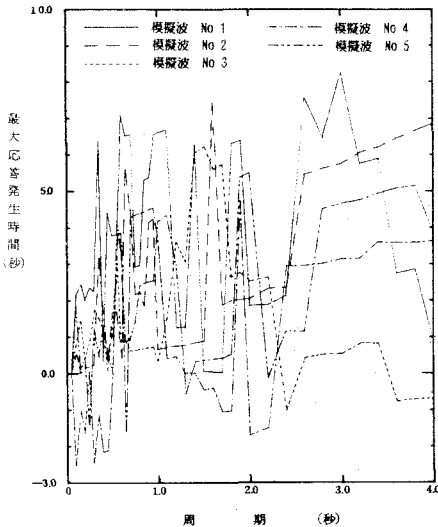


図4. 模擬波による最大応答発生時刻

ル計算の際に最大応答の生じた時間を図4にまとめた。時間は入力波の最大値発生時刻からかぞえたものであり、図の横軸は振動系の固有周期である。予想したより広い範囲にバラツキ入力の最大値発生時刻から、約8秒間は計算が必要であることがわかった。(振動系の減衰 $\gamma=5\%$ としての計算結果である)

4 おわりに

比較的に簡単な方法、少ない計算規模で模擬波を作成することを試し、目標とした性格を満足することができるとどうかと作成した波形を入力として応答解析をする際の使い勝手を試した。合成する正弦波の振動数ビッチはフーリエ級数展開のビッチより細かい部分もあり、粗い部分もある。

結果は目標スペクトルの収束がスムーズにできる場合もあり、そうでない場合もあり、その差は最初に設定した位相の組合わせの適否によると考えられる。

今回の試算では、CRTグラフィック機能を利用して目視判断による調整を行ったが、全ての調整を自動的に実行できるような工夫が必要である。

参考文献;

※1 土田・倉田・石坂;各種地盤におけるスペクトル, 港湾技術研究所報告

Vol.12, No.4 Dec 1973 PP171~199

※2 日本道路協会;道路橋示方書, 同解説V耐震設計編 PP104~111

※3 楢谷・広瀬・石井;設計用模擬地震波の作成, 清水建設研究所報, SSS, 4, 第32号

3 検討

上記の方法で位相組合わせの異なる5つの模擬波を作成した。その一例を図3に示す。作成した波形の目標近似の程度を知るために次式による誤差 ε を計算した。

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left\{ \frac{S_v(T_k)}{S_T(T_k)} - 1 \right\}^2} \quad \text{--- (7)}$$

式中Nは、合成した正弦波の数(約100)である。

イテレーションの途中で応答スペクトル倍率(波形の最大値を1galに正規化した際の応答スペクトル)が全体的に

高くなり、目標スペクトルから離れ、二層になる傾向を示すケースが発生した。その場合には、短周期側の成分正弦波の周期分割を調節することによって修正したが、誤差 ε は比較的大きいままに終る例が多い。表1に示した3,4,5番目が、それである。

波形の平均的周期数特性を評価する指標として主要動内のゼロクロス周期があるが、これについては表1に見るように、比較的近かった結果となった。波形を100galに正規化した後、積分した得た速度波形の最大値についても同表に見るように、バラツキが少ない。

波形の包絡形状を整えるために使った強度関数は、はっきりした頂部を持つが、合成した波形の最大値は必ずしもこれと一致せず、表1のようなバラツキを示す。

この波形を入力として応答解析をする際、その応答最大値が適当な演算時間内に発生するかどうかを知るために、応答スペクトル