

(I-82) 群遅延時間に基づく地震動の位相特性に関する研究

建設省土木研究所 振動研究室 正会員 松本 俊輔
建設省土木研究所 振動研究室 正会員 田村 敬一
建設省土木研究所 振動研究室 正会員 中尾 吉宏

1. はじめに

従来の地震動特性に関する研究は振幅特性に着目したものが多く、近年、地震動の位相特性は地震波の非定常性と密接に関連し¹⁾²⁾、振幅特性とともに、構造物の地震時挙動に大きな影響を及ぼすことが明らかになってきた。地震動の位相特性を評価するための1つの指標として群遅延時間が考えられるが、本研究では、種々の強震記録から群遅延時間を算出し、地震の規模や震央距離等との関係について検討することにより群遅延時間の推定式を導出した。

2. 群遅延時間の算出に用いた強震記録

解析に用いた強震記録は、平成7年兵庫県南部地震による30成分を含むマグニチュード5以上の72地震による232成分である。解析には、地震波初動部から、加速度の振幅値が7回以上継続して最大加速度の5%以下になるまでの時刻歴データを用いた。

3. 解析結果

0.2-10Hzの周波数帯における群遅延時間の平均と標準偏差の関係を図-1に示す。図-1から、群遅延時間の平均と標準偏差の間には一定の相関が見られ、群遅延時間の平均(絶対値)が大きくなると標準偏差も大きくなる傾向があることがわかる。群遅延時間の平均と標準偏差の関係を回帰分析した結果を(1)式に示す。

$$S_{GDT} = -0.503\mu_{GDT} + 1.323 \text{ (相関係数} = 0.827 \text{)} \quad (1)$$

ここに、 S_{GDT} ：群遅延時間の標準偏差(sec)

μ_{GDT} ：群遅延時間の平均(sec)

ここで、群遅延時間の平均の決定因子について検討するため、群遅延時間の平均とマグニチュード、震央距離、震源深さの关系到に着目した。一例として図-2に群遅延時間の平均とマグニチュードの関係を示す。図-2から、マグニチュードが大きい場合には群遅延時間の平均が大きくなる傾向がある。同様に、震央距離が大きい場合には群遅延時間の平均が大きくなる傾向が見られた。また、震源深さと群遅延時間の平均の間には相関性が見られなかった。

4. 群遅延時間の平均の推定

0.2-10Hzの周波数帯における群遅延時間の平均と地震のマグニチュード、震央距離、震源深さの関係を回帰することにより、群遅延時間の平均の推定式を導出した。回帰では、地盤種別を考慮した場合としない場合の解析を行った。推定式の導出にあたり仮定した式形を表-1に示す。例えば、表-1の⑥は、群遅延時間の平均の推定式として、(2)式を仮定したことを意味する。表-1から、0.7程度以上の相関係数を有し、かつ式形が簡便な地盤条件を考慮しない⑦式が群遅延時間の平均の推定式として妥当であると考えられる。

キーワード：群遅延時間 位相特性 地震動 非定常性

連絡先 (〒305-0804 茨城県・くば市大字旭1番地・電話 0298-64-4963・FAX 0298-64-0598)

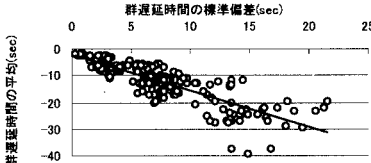


図-1 群遅延時間の平均と標準偏差の関係

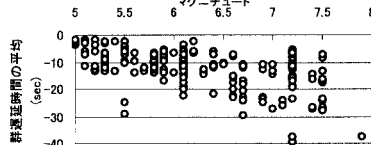


図-2 群遅延時間の平均とマグニチュードの関係

表-1 仮定した式形と相関係数

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
M	○		○	○	○	○	○	○		○
X	○	○	○	○	○	○	○	○		
D	○	○	○	○		○				
Log X	○	○	○	○			○			
X ²	○	○	○	○				○	○	
MX	○	○	○	○						
全地盤種別	0.746	0.746	0.746	0.734	0.728	0.718	0.703	0.661	0.601	0.500
I 種地盤	0.844	0.814	0.763	0.768	0.761	0.762	0.711	0.737	0.663	0.511
II 種地盤	0.741	0.740	0.739	0.739	0.715	0.716	0.678	0.688	0.644	0.490
III 種地盤	0.811	0.798	0.808	0.772	0.782	0.674	0.752	0.538	0.487	0.422

$$\mu_{GDT} = \alpha_1 M + \alpha_2 X + \alpha_3 D + \alpha_4 \quad (2)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ：回帰係数
 μ_{GDT} ：群遅延時間の平均(sec)
M：マグニチュード
X：震央距離(km)
D：震源深さ(km)

5. 群遅延時間の平均及び標準偏差の周波数依存性

群遅延時間の平均の周波数依存性について検討するため、0.2-10Hz における群遅延時間の平均が種々の大きさをとる 5 成分の強震記録について、その群遅延時間の平均を 0.2-1Hz、1-2Hz、2-3Hz、・・・、9-10Hz の周波数帯で算出した結果を図-3 に示す。図-3 から、群遅延時間の平均（絶対値）が大きな強震記録に関しては、1-4Hz で周波数が低くなるにつれて群遅延時間の平均が減少する傾向が見られ、その傾向は群遅延時間の平均（絶対値）が大きな強震記録ほど強い。同様に、群遅延時間の標準偏差についても周波数に依存する傾向が見られた。周波数に依存する群遅延時間の平均の推定式として表-2 に示す式形を仮定し、回帰分析を行った。回帰分析の結果得られた式形ごとの相関係数を表-3 に示す。本検討で仮定した式形の中には、相対的に優位な式形を見出すことができなかったため、本研究では地盤条件を考慮しない①式を周波数に依存する群遅延時間の平均の推定式として用いることとした。①式の回帰係数を表-3 に示す。

6. 推定式を用いた地震動のシミュレーション

推定式の妥当性の検証のため、群遅延時間を推定式から推定し、地震動のシミュレーションを行った。群遅延時間の推定では表-3 により各周波数帯における群遅延時間の平均を推定し、その平均値を基に(1)式から群遅延時間の標準偏差を算出した。群遅延時間は、それらの統計量を有する正規乱数を発生させることにより求めた。地震波のシミュレーションは、1968 年千葉県中部の地震による新葛飾橋記録及び 1978 年宮城県沖地震による開北橋記録を対象とした。それぞれの記録は、群遅延時間の平均値と標準偏差の推定値が実測記録からの算出値とよく一致している例及び両者の乖離が平均的な例である。模擬地震波の各周波数成分の位相角は、初期値を 0 として推定した群遅延時間より算出し、模擬地震波のフーリエ振幅スペクトルは、強震記録と同じものを用いた。新葛飾橋記録、開北橋記録と実測記録と模擬地震波の非定常フーリエスペクトルを図-4、図-5 に示す。群遅延時間の平均と標準偏差の推定値が実測記録からの算出値とよく一致している新葛飾橋記録の場合、図-4(a) (b) から、地震動の非定常性が精度良く再現されていることがわかる。一方、開北橋記録の場合、図-5(a) に示した観測波では大きなスペクトル値が 10 秒付近に集中しているのに対し、図-5(b) の模擬地震波では、大きなスペクトル値が 15 秒及び 30 秒付近に位置し、スペクトル値が長い時間帯に分布しており、地震動の非定常性が十分に再現されていない。地震動の非定常性を推定するためには、推定式の精度の向上が必要であると考えられる。また、地震動の位相特性が本質的にばらつくものであるとすれば、群遅延時間の平均及び標準偏差のばらつきについて評価することも必要であると考えられる。

7. まとめ

地震波の非定常性と密接な関係を有する地震動の位相特性の指標の 1 つである群遅延時間と地震の規模、震央距離等との関係について検討し、群遅延時間に影響を及ぼす因子を抽出した。群遅延時間の特性を表す指標として、その平均及び標準偏差を用い、これらの影響因子との関係を回帰することにより群遅延時間の平均及び標準偏差の推定式を導出した。また、その結果に基づき算出した群遅延時間及び強震記録の加速度フーリエスペクトルを用いて地震動波形をシミュレートした。

【参考文献】 1)和泉正哲、勝倉裕、「地震動の位相情報に関する基礎的研究」、日本建築学会論文報告集、第 327 号、1983
2)中尾吉宏、田村敬一、松本後輔、「群遅延時間を用いた地震動の位相特性に関する検討」第 25 回地震工学研究発表会、1999

表-2 推定式形と相関

	①	②	③
M	○	○	○
logX	○	○	○
M*log(f+0.5)	○		
X*log(f+0.5)		○	
D*log(f+0.5)			○
全地盤種別	0.689	0.676	0.676
I 種地盤	0.686	0.676	0.674
II 種地盤	0.667	0.653	0.658
III 種地盤	0.730	0.730	0.703

表-3 群遅延時間の平均の推定式

回帰係数	α_1	α_2	α_3	α_4
値	-2.844	-11.650	0.573	23.534

$\mu_{GDT} = \alpha_1 M + \alpha_2 \log X + \alpha_3 \log(f+0.5) + \alpha_4$

μ_{GDT} : 群遅延時間の平均(sec)

M: マグニチュード

X: 震央距離(km)

f: 周波数(Hz)

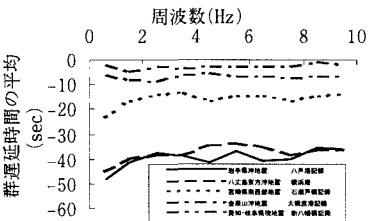


図-3 群遅延時間の平均値の周波数依存性

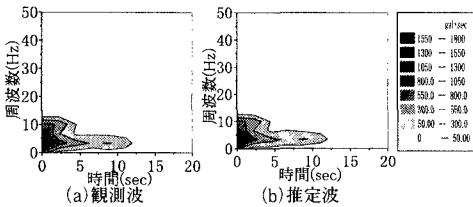


図-4 新葛飾橋記録の非定常スペクトル

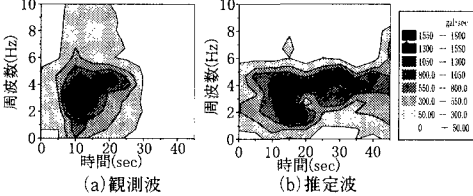


図-5 開北橋記録の非定常スペクトル