

(14) 東京で期待されるやや長周期地震動の大きさの検討 (福島県沖の地震群の場合)

清水建設 (株) 技術研究所 (正) 片岡俊一 (正) 横田治彦
大崎研究室 田中貞二

1. はじめに

入力地震動の評価は、その立地サイトに影響を及ぼす震源地域を選んだ上で、予測される地震動を詳しく検討するのが合理的であろう。特に、やや長周期の地震動は短周期の地震動に比べ発震機構の影響をより強く受けると考えられるから、震源地域毎に検討する必要性は高い。やや長周期地震動で問題となるのはマグニチュード (M) が大きく、震源が浅い地震と考えられるので、その発生地域は比較的容易に限定できよう。

本報告は、震源地域別の検討の第1歩として、1987年にM6以上の中規模地震が群発した福島県沖に着目し、東京での地動の大きさ及びスペクトル特性を検討したものである。すなわち、観測記録から求めた応答スペクトルの回帰分析による手法と、観測記録を要素波とする波形合成の手法とにより、想定される大規模地震に対する応答スペクトルを推定した。

2. 想定地震の規模

今回対象としている地域では、1938年11月5日に塩屋埼沖にM7.5、震源深さ30kmの地震が起こっている (阿部による解析¹⁾ではM₀=7.7、震源深さ20km)。さらに、この本震に続いて3日の間にM7級の余震が3つも起こった。本検討ではこの本震程度の規模の地震がこの地域で起こる最大のものと考えた。この地域の地震は震源深さが50km以下と浅く、東京に対する震央距離が200km程度で、やや長周期の地震動が長周期構造物に影響を及ぼす可能性がある。

3. 解析に用いた記録

本報では、我々が東京の江東区で行っている地中及び地表の地震観測のうち地表に設置してある速度型強震計の記録を用いた。速度型強震計の周期特性は周期0.02秒から40秒までの領域でフラットであり、やや長周期の地

震動を検討するのに適している。その記録を震源方向成分 (R方向) と震源直交方向成分 (T方向) とに座標変換して用いた。また、表層地盤の卓越周期が1秒付近にあるので応答スペクトルを求める際には1.2秒より短い周期成分はデジタルフィルターで除去した。解析の対象とした地震の諸元を表-1に、その震央と観測点の位置を図-1に示す。

表-1 検討に用いた地震の諸元

NO.	日時	震央位置	深さ (km)	M	震害度
1	1983年07月02日	36° 54' N 141° 11' E	54	5.8	Ⅲ
2	1984年12月19日	37° 08' N 141° 34' E	44	5.3	Ⅱ
3	1985年05月11日	37° 06' N 141° 35' E	45	5.3	Ⅱ
4	1985年08月12日	37° 42' N 141° 53' E	52	6.4	Ⅲ
5	1986年10月14日	37° 04' N 141° 12' E	53	5.7	Ⅱ
6	1987年02月06日	36° 57' N 141° 56' E	18	6.4	Ⅲ
7	1987年02月06日	36° 59' N 141° 54' E	31	6.7	Ⅳ
8	1987年04月07日	37° 17' N 141° 54' E	37	6.6	Ⅳ
9	1987年04月17日	37° 03' N 141° 37' E	42	6.0	Ⅲ

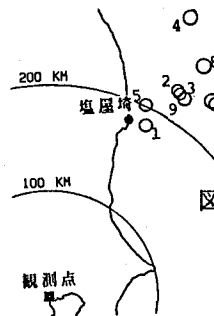


図-1 検討に用いた地震の震央位置と観測点

マグニチュードが最も大きかったNo.7の地震 (1987年2月6日) の波形とフーリエスペクトルを図-2、図-3に示す。図-3の水平動のスペクトルは伊豆半島周辺の地震に見られるような8秒付近が特に卓越するものではなく、2秒~8秒にわたって多くのピークがある。また、R方向とT方向では波形、スペクトルともに大きな差異は認められない。上下動のスペクトルには5秒付近に卓越がみられる。5秒付近の卓越は、宮城県沖地震や長野県西部地震でも観測され²⁾、東京の地下構造を反映したものと言われているが、この地

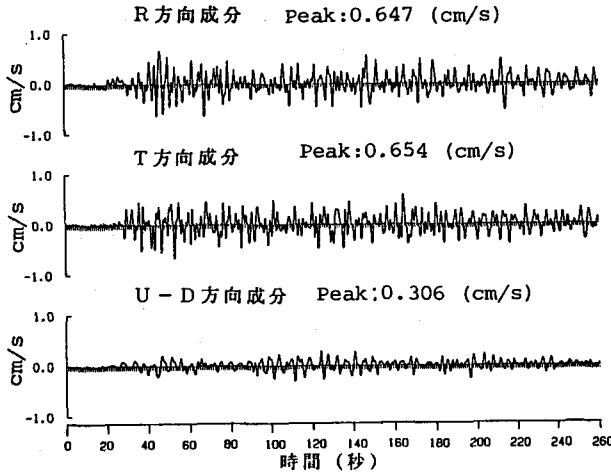


図-2 No.7地震の記録
(ローパスフィルター使用)

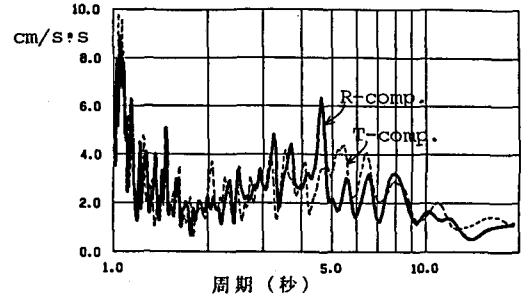
域の地震でもしばしば観測されている。

水平動の平均的な周期特性を見るために1987年の4地震 (No.6~No.9) について平均フーリエスペクトルを求めた。R方向成分とT方向成分のスペクトルに顕著な方向性がないので両者を合わせて使用し、相乗平均により平均スペクトルを求めた。結果を図4に示す。平均スペクトルでは、2秒~8秒にかけてフーリエ振幅はほぼ一定になっているが、詳細にみるとやはり多くの山谷がある。また、図-4には夢の島の地下構造に対するS波の重複反射による増幅特性も任意スケールで示しているが(破線)、増幅特性のピーク周期は地震動のピーク周期と調和的である。ある地点で観測された地震動の平均フーリエスペクトルは地盤の増幅特性を示すと言われているが、それは発生場所、伝播経路が異なる多くの地震の平均を取るためであり、今回のように発生地域が限られている場合には震源特性、伝播特性および地盤の増幅特性の両者を合わせたものを示していると考えられる。

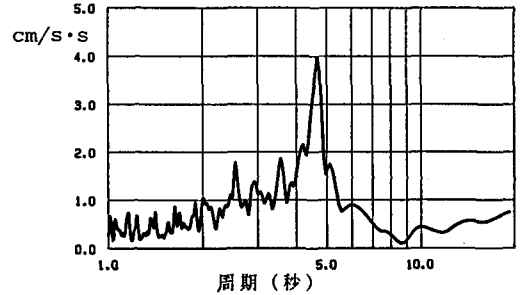
また、約10秒より長い周期帯域で振幅レベルが低い。これは解析の対象とした地震が中規模地震 (M6.0~M6.7) であるためと考えられる。

4. 回帰分析

表-1の地震記録を用いて減衰定数1%の速度応答スペクトルを求めた。回帰モデルに深



(a) 水平動



(b) 上下動

図-3 No.7地震のフーリエスペクトル

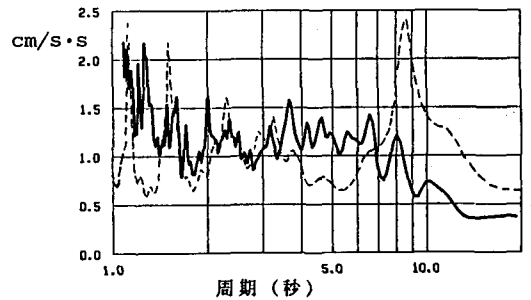


図-4 水平動の平均フーリエスペクトル
(破線はS波重複反射の増幅特性)

さを取り込んだ形のものも試みたが³⁾、推定結果に特に有為な差が見られなかったので、今回は(1)式の形を仮定して周期毎に回帰分析を行った。

$$\log (S v(T)) = a(T) \cdot M + b(T) \cdot \log (\Delta) + c(T) \quad (1)$$

ここで、 $S v$: 速度応答スペクトル、 M : マグニチュード、 Δ : 震央距離 (km) である。回帰係数の周期依存性を図-5に示す。回帰結果と実測値との重相関係数は、解析対象とした全周期帯域にわたって0.9以上であった。図-5より M の係数 a が1.0前後、震央距離の係数 b が2秒から5秒の間の平均で-1.83となり、気象庁マグニチュードを定める坪井の式

(2式) とよく似た値になっている。

$$M = \log A + 1.73 \cdot \log(\Delta) - 0.83 \quad (2)$$

また、各回帰係数は周期10秒以上で安定している。このことは、観測記録の速度応答スペクトルがこの帯域で地動の最大速度振幅値と同じ値になっているためと解釈される。

この周期毎の回帰式の係数を使って $M=7.5$, $\Delta = 200, 230, 250\text{km}$ の応答スペクトル (減衰定数1%) を計算し、図-6に示す。同図によると2.5, 3.5秒付近に卓越したピークが見られる。このピーク周期は平均フーリエスペクトルのピーク周期とよく対応している。その他にも5秒付近, 6秒前後, 8秒付近にもピークがある。また、10数秒以上の周期帯域の振幅レベルが相対的に低いが、平均スペクトルで見たとように記録にその成分が少ないためであり、回帰式を用いてマグニチュードが大きな地震まで外挿する際の問題点と言えよう。

5. 波形合成法

波形合成法によって大地震の地動を推定するには、その大地震と同じ震源メカニズムを持つ要素地震を用いる必要がある。阿部は¹⁾1938年11月の地震のうち本震及びそれに続く余震は低角逆断層であり、その後の2つの余震は高角逆断層であると述べている。表-1にある地震のうち現在震源メカニズムが公表されているのはNo.7だけである⁴⁾。そこで、今回は1987年の4つの地震記録を要素波としてそれぞれ合成波形を求め、その応答スペクトルのアンサンブル平均をもって推定値とすることにした。

合成には入倉の基本的な手法を用いた。断層モデルは阿部¹⁾によるもので断層は大きさ100km×60km、走向N20°E、傾斜角10°W、ライズタイム4秒で、破壊は北側から南側に3.0km/sの速度で進んだとされている。断層面の地表投影図と想定地震の震央位置及び要素波として用いた地震の震央を示すと図-7になる。

合成に当たって、まず破壊様式と距離減衰の補正の度合がどの程度合成結果に影響するかを確認するために、NO.6地震記録を用いて以下の予備的検討を行った。破壊様式は一方方向破壊と放射状破壊を、距離減衰の補正は距離の-1乗と-0.5乗の場合を検討した。断層長さの分割数はマグニチュードと地震モーメントの関係を表す経験式から推定して4とした。

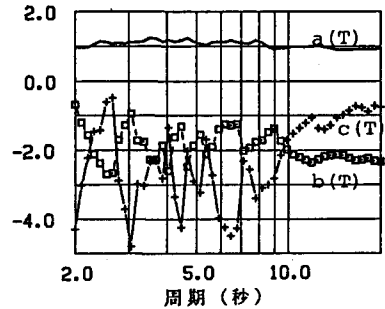


図-5 応答スペクトルの回帰係数

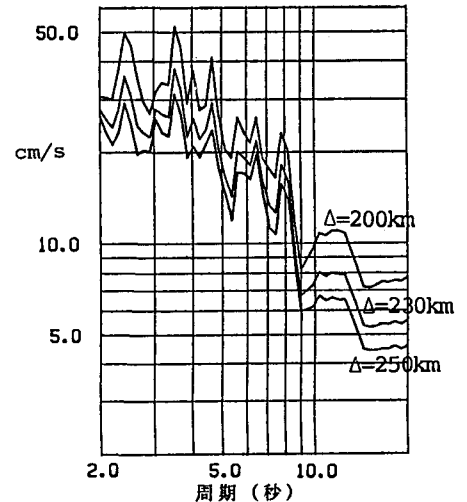


図-6 回帰結果を用いて推定した応答スペクトル (減衰定数1%)

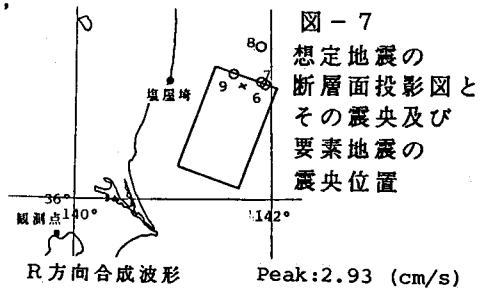


図-7 想定地震の断層面投影図とその震央及び要素地震の震央位置

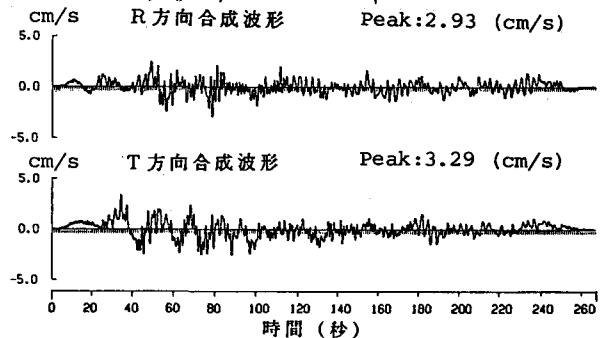


図-8 合成波形の一例 (放射状破壊, 距離補正-1乗)

図-8に合成波形を示す(距離補正-1乗)。図-9に合成波形の速度応答スペクトルを示す(減衰定数1%)。R成分とT成分では大きな差は認められない。

そこで破壊様式を放射状とし、距離減衰の補正を-1乗として前述の4地震8成分について合成波形を計算した。図-10に合成波の応答スペクトルの平均と $\pm 1\sigma$ (σ :標準偏差)の範囲を示す。2.5秒に卓越したピークがあり、8秒付近にもピークがある。これらのピークに対する振幅のバラツキは少なく、回帰分析の結果と調和的であるが、振幅レベルは回帰式による推定結果を下回っている。

一方、回帰分析では10秒より長い周期成分は周期数秒の帯域に比べ相対的にレベルが低かったが、合成法ではバラツキは大きいものの10秒を超えてもそれほどレベルは落ちない。このことは波形合成法の有利な点と言えよう。

6. まとめ

地震動のやや長周期成分について東京に影響を与える可能性がある震源地域の1つとして福島県沖を選び、速度型強震計の記録を用い、2つの手法により想定される大規模地震の地動の大きさを検討してみた。その結果、伊豆半島周辺の地震にみられるような周期8秒付近で極端に卓越する傾向はみられなかった。

速度応答スペクトルについて回帰分析を行いM7.5の大規模地震について推定してみると2.5秒と3.5秒が卓越し、これらの周期では速度応答値は50cm/s程度になった。しかしながら、この手法では10秒より長い周期領域の振幅レベルは、より短い周期領域のレベルに比べてかなり低く、この手法の問題点であることも分かった。

波形合成法により想定地震の応答スペクトルを推定すると、2.5秒、8秒などにピークがあることは回帰分析の結果と一致していたが、そのレベルには相違があった。しかしながら、周期10秒を超えても振幅レベルはほぼ一定でこの点は回帰分析結果を用いる手法より優れていると思われる。

やや長周期の領域における地動加速度フーリエスペクトル振幅の略算式が太田・鏡味⁵⁾、工藤⁶⁾、田中ら⁷⁾により提案されているが、M=7.5、震央距離200kmに対する推定値は10~30cm/sであり、本研究の検討結果とおおよそ一致していた。

今後は福島県沖以外の震源地域を対象として同様な検討を行う予定である。

参考文献

- 1) Abe, K.: Tectonic Implications of the Large Shioya-Oki Earthquakes of 1938, *Tectonophysics*, **41** 269-289 1977.
- 2) 横田, 片岡, 田中; 東京で観測されるやや長周期地震動とその特性 第7回日本地震工学シンポ 193-197 1986
- 3) 片岡, 横田, 田中; 東京で期待されるやや長周期地震動の大きさ(その1. 福島県沖の地震) 昭和62年度土木学会年次講演会投稿中 1987
- 4) 長谷川ほか; 1987年2月6日福島県沖の地震(M6.7)について 昭和62年度春地震学会梗概集 11 1987
- 5) 太田・鏡味; 耐震工学上考慮すべき地震波の周期の上限と振幅の下限 建築論報 249 53-60 1976.
- 6) 工藤; 長周期構造物への地震入力に関連した表面波の評価 第5回日本地震工学シンポ 273-280 1978.
- 7) 田中・吉沢・大沢; やや長周期帯域における強震動の特性 震研い報 54 629-655 1979

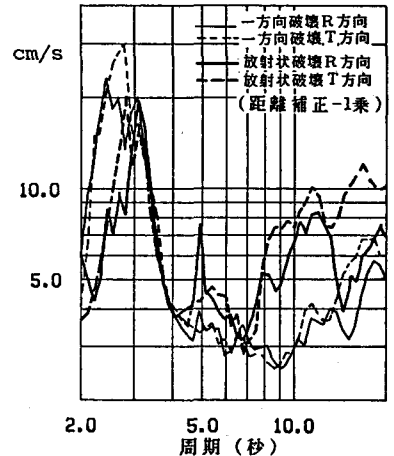


図-9 合成波形の速度応答スペクトル(減衰定数1%)

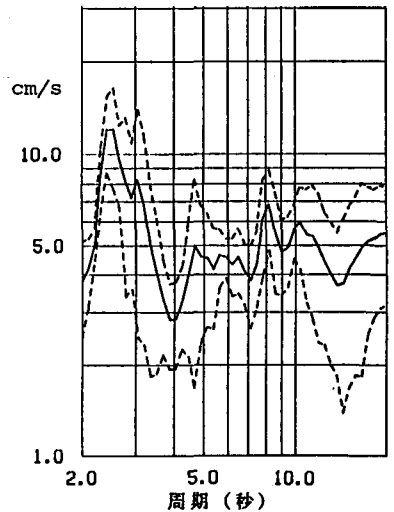


図-10 波形合成法で求めた大規模地震の速度応答スペクトルの平均(減衰定数1%)