

(6) 1978年宮城県沖地震における墓石調査による推定最大加速度と表層地盤の関係について

神奈川大学工学部 正員 荻本孝久

東京都立大学工学部 正員 国井隆弘

1. はじめに

この地震の直後において、筆者らは約150個所の寺院・墓地を廻り墓石調査によって最大加速度を推定している¹⁾。これらの調査地点で推定された最大加速度は150~450 galおよびこれ以上の範囲にあるが、このような差異が生じた原因として、震央距離の違いによることが当然考えられるが、同時に、表層地盤の条件が強いかかわっていると感ぜられる。本研究はこのような観点から、表層地盤の条件と推定加速度との関連性を明らかにしようとするもので、震央距離に大差のみられない加速度推定地点約100個所に対して、最初に土地条件図から地盤条件を判断し、次に、実施した常時微動観測の結果をとりあげ、これらと推定最大加速度の関係について検討を進めたものである。

2. 墓石調査の概要

調査は宮城県の全域および福島県北部、岩手県南端部に対しておこなわれた。要した調査期間は約2週間である。調査地域および調査地点の選定は以下に列記する方法によった。

- ① 墓石の転倒がみられる全域と把握する。この結果上述の調査地域が定った。北限、南限は墓石の存在する最小加速度の形状(約150 gal)から定められた。なお山形県は除外した。
- ② 調査地域内では、できるかぎり高密度で調査地点が分布するよう試みた。ただし、仙台市周辺では高密度をめぐした。
- ③ 日程等の条件により、底地にある寺院・墓地を並び出して調査地点とした。したがって推定加速度はその地区の中ではやや大きめの値であると考えられる。
- ④ 転倒した墓石の修復作業が始まる以前に調査がおこなわれることが望ましい。このため、被害発生に関する情報を得て、被害が軽微と思われる地区から順に被害甚大地区へと調査順路を逆定した。
- ⑤ 1978年2月(約4ヶ月前)の宮城県沖地震において、宮城県北部を中心に約30個所の寺院・墓地で墓石調査を実施したが²⁾両地震での調査結果を調べる目的のため、これらの地点では調査が重複するよう逆定した。なお、加速度の推定方法および方法に関する種々の問題点については、ここでは割愛したい(文献¹⁾参照)。

3. 調査結果

各調査地点ごとの推定最大加速度は25 gal きざみで得られた。これらの結果を適当なランクに分けて地図上にプロットしたのが図-1である。図中の仙台市周辺では調査地点の密度の高ことから、全地点がプロットされてはいない。仙台周辺から東側、および古川-小牛田の地区に大きい加速度がみられるが、それ以外の加速度

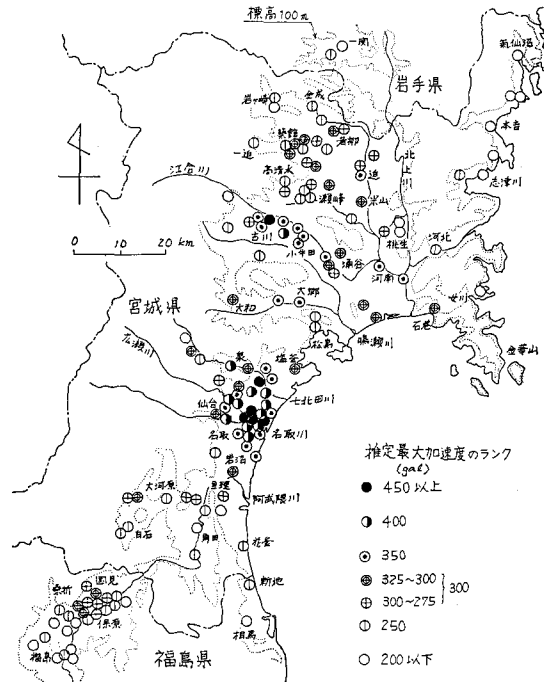


図-1 推定最大加速度

の分布に明快な傾向・特徴はないようである。

本研究では、これらの調査地点のうち震央距離がほぼ類似した地点とみなせる震央距離(気象庁による)90~130 kmの範囲にある約100地点に注目し、以後に述べる検討の対象とする。図-2はこれらの地点の推定加速度に対する地点数の分布を示している。

表1 土地条件図による表層地盤の分類

| 地盤条件 | 土地条件図で示されている地盤種類 | 地点数 |
|------|-------------------------------|-----|
| 良 | 山地に属し、洪積台一般、緩斜面、巻錐、岩石台地、段丘状地盤 | 40 |
| 普通 | 低地に属し、自然堤防、砂洲、三角洲、海岸平野である地盤 | 44 |
| 悪 | 低地に属し、谷底平野、氾濫平野、旧河道である地盤 | 11 |

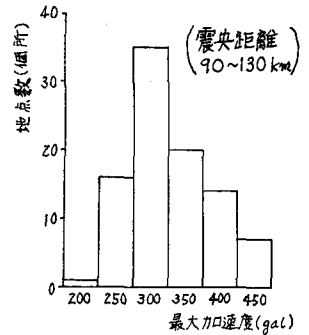


図-2 検討される地点数の分布

4. 推定最大加速度と表層地盤の関係

ここでは表層地盤の良悪と推定最大加速度との関係について検討を進める。国土地理院が発行している2万5千分の1の土地条件図に示される表層地盤の種類を、前述の調査地点に関して読み取り、分類したのが表1である。地盤条件の分類は、良、普通、悪、の3種類へと試みたわけであるが、議論の多い所でもある。分類はいくつかの研究結果³⁾を参考にしておこなわれた。

表層地盤の条件を得るための手法として、たとえばボーリング柱状図によることも考えられるが、表1に示した如く、多数の地点の表層地盤の概略的な条件を簡易に知る方法として、土地条件図を利用するののも1つの意義のある方法であると考えられる。

表1で分類された3種類の地盤条件に属する調査地点の推定最大加速度の分布を地点数で表わしたのが図-3である。この図から推定最大加速度と表層地盤条件の明確な対応性が読み取れる。すなわち、良い地盤では350 gal以上で地点数が極減し450 galを含まない。また普通の地盤では350 gal付近をピークにしてその両側で漸減している。そして悪い地盤では350 gal以上にある、等の特徴がみられる。3種類の地盤の平均的推定最大加速度を求めると、良、普通、悪、でそれぞれ290、350、420 galとなる。

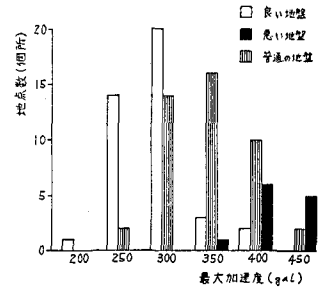


図-3 地盤条件と加速度の分布

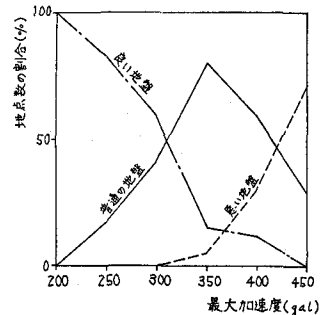


図-4 加速度と地点数の割合

各レベルの加速度の中で、3種の地盤がしめる地点数の割合(%)を求めたのが図-4である。200 galでは良、の地盤が1地点しかないため不十分な資料数といえるが、図-4に大きな影響を及ぼさないため、そのまま割合を求めている。良、の地盤が右さがり、悪、の地盤が右あがりの理解し易い傾向を示すとともに、普通の地盤が350 galをピークにほぼ正規状の分布形を示している。

このように、土地条件図による地盤のかなり大ざっぱな分類にもかかわらず、墓石から推定される最大加速度は地盤の条件によって明らかに判別され対応づけられる。このことは、墓石調査から推定される最大加速度が、実際に生じたであろう最大加速度と定量的に近似しないと考えるにしても、推定最大加速度が表層の地盤特性を強く反映した地震動の強さを示す1つの指標になり得ることを暗示していると思われる。地盤の条件をより詳細に検討したり、震央距離、等の他の要因を含めた解析により、さらに明快な結果が得られるものと思われる。今後検討したい。

5. 常時微動測定

墓石調査より推定された最大加速度が表層の地盤特性に基づく影響を強く受けていることが理解される。すなわち、表-1で分類された3種類の地盤条件より、悪の地盤ほど最大加速度値が高い値を示している。一方、地盤の振動特性を検討するための簡便な方法として常時微動の測定結果が広く利用されている。しかしながら、特に短周期における常時微動は、その振源ならびに波動の性質が十分に解明されていないため、工学的な利用に関する評価方法が不明確である。本研究では、一つの試みとして墓石調査による推定最大加速度と常時微動測定による振動特性の相関関係を表層の地盤特性を考慮して検討することとした。常時微動の測定に種々の制約があり、墓石調査が実施された地点のうち以下に列記する方法によって選定された地点で実施した。なお、測定に要した日数は延べ5日間である。

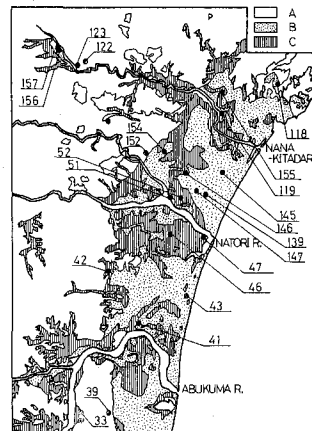


図-5. 常時微動測定地点

- ① 常時微動の測定対象地域は広範囲となるため推定最大加速度が高い値を示した仙台市とその周辺地域とした。
- ② 表-1による3種類の地盤条件による測定地点数がほぼ同程度に分布し、また各地盤条件内での推定最大加速度値の分布が均等に分布するように測定地点を選定する。
- ③ 測定地点の周囲に多数の交通量がある道路や特定の機械振動の振源等が存在していないと思われる地点を選定する。

以上のような条件によって常時微動の測定地点を選定し測定を実施した。測定地点を図-5に示しておく。ただし、地盤条件が良の地盤はA、普通の地盤はB、悪の地盤はCに対応している。測定は固有周期1秒の動コイル式の速度型換振器により水平2成分(N-S, E-W成分)各地点で平均約10分程度測定し、その記録のうち極めて定常的な振動性状を示す時間帯を解析対象としている。図-6に3種類の各々の地盤条件で測定された代表的な記録であるNo.33(A), No.156(B)およびNo.119(C)地点で記録波形を同一スケールで示しておく。

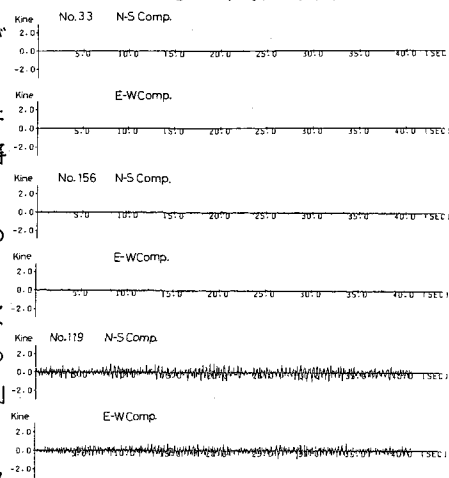


図-6. 常時微動測定記録

表-2. 測定地点および測定結果

| No. | 測定地点 | 市町村名 | 地盤 | 最大加速度 | 平均振動周期 | 卓越周波数 |
|-----|------|------|----|-------|--------|-------|
| 39 | 松名寺 | 亶理 | A | 200 | 5.73 | 3.10 |
| 122 | 西園寺 | 亶 | A | 200 | 4.50 | 4.50 |
| 157 | 東禅院 | 亶 | A | 200 | 4.50 | 4.25 |
| 33 | 定禅寺 | 角田 | A | 250 | 1.13 | 4.00 |
| 42 | 福寿院 | 各取 | A | 250 | 10.50 | 4.30 |
| 123 | 林泉寺 | 亶 | A | 250 | 9.30 | 4.75 |
| 118 | 西園禅寺 | 多賀城 | A | 300 | 8.60 | 3.75 |
| 128 | 龍雲寺 | 仙台 | A | 300 | 10.37 | 3.20 |
| 152 | 東禅寺 | 亶 | A | 300 | 19.95 | 3.60 |
| 41 | 岩地 | 名取 | B | 300 | 9.90 | 3.10 |
| 156 | 福寿寺 | 亶 | B | 300 | 4.90 | 3.00 |
| 43 | 法円寺 | 若沼 | B | 350 | 16.90 | 3.50 |
| 47 | 観音寺 | 各取 | B | 350 | 15.50 | 3.00 |
| 139 | 慈林寺 | 仙台 | B | 450 | 20.03 | 2.50 |
| 147 | 薬王寺 | 亶 | B | 450 | 16.85 | 2.60 |
| 154 | 園分尼寺 | 亶 | B | 450 | 13.71 | 3.15 |
| 155 | 慈雲寺 | 多賀城 | C | 350 | 11.50 | 2.25 |
| 119 | 西光禅寺 | 亶 | C | 350 | 23.60 | 2.60 |
| 145 | 岩地 | 仙台 | C | 400 | 36.10 | 2.50 |
| 146 | 龍目成院 | 亶 | C | 400 | 41.53 | 3.00 |
| 46 | 大照寺 | 各取 | C | 400 | 22.80 | 2.90 |
| 51 | 持静寺 | 仙台 | C | 450 | 45.36 | 3.00 |
| 52 | 持静寺 | 亶 | C | 450 | 30.93 | 3.00 |

6. 測定結果

表-2に常時微動の測定地点とともに対応する地盤条件と墓石調査による推定加速度値を示してある。測定された常時微動の波形は図-6に示されているように極めて定常的な時間帯においては非常に相違し、良の地盤程振幅レベルは小さくなる。この傾向は全部の測定地点についても同様であり、表層の地盤条件の相違が常時微動の振動特性に強く影響を及ぼしているものと考えられる。図-7にNo.33, No.156およびNo.119地点の測定波形のスペクトルを示す。図より、N-S成分、E-W成分ともにほぼ同様な周波数特性を示している。また図-8は同様に、周波数特性の時間的変動を考察するためにランニングアライメントスペクトル解析を実施した結果であり、スペクトルの最大値を基準化してスペクトル振幅を6ランクで示したものである。以上の結果より、卓越周波数はNo.33では4Hz, No.156では3Hz, No.119では2.5Hz付近に見られ、図-8のランニングアライメントスペクトル解析結果にも明瞭な時間的に

継続している。この結果は、液形に基づく平面的な軌跡にも著しい方向性が見られなかった。測定点近傍の特定の振源によるものではなく明らかに表層の地盤特性に基づく各地盤の卓越周波数であると考えられる。

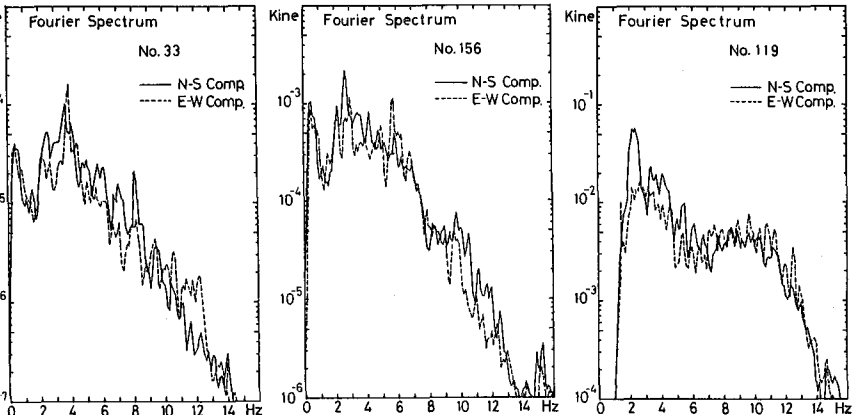


図-7. 測定記録のフーリエスペクトル

また、各地点の常時微動の振幅特性の相違を検討するために次式で定義する平均振幅を算定することにした。

$$\bar{D} = \frac{\int_0^T |D(t)| dt}{T}$$

\bar{D} : 平均振幅
 $D(t)$: 測定記録
 T : 継続時間

以上のようにして算定した各測定地点の卓越周波数と平均振幅を表-2に示しておく。

7. 推定最大加速度と地盤の振動特性の関係

図-9および図-10は、基石調査より推定された最大加速度と常時微動測定より得られた卓越周波数と平均振幅の関係を3種類の地盤条件を考慮して示したものである。図より両者ともに推定最大加速度との関係は理解しやすい相関関係を示し、最大加速度値が高くなる地点程、常時微動の平均振幅も増大し、特に悪の地盤では著しい傾向を示している。一方、卓越周波数は全体的には、推定最大加速度値の増加とともに減少する傾向が見られ、表層の地盤特性による顕著な影響が寄与しているものと

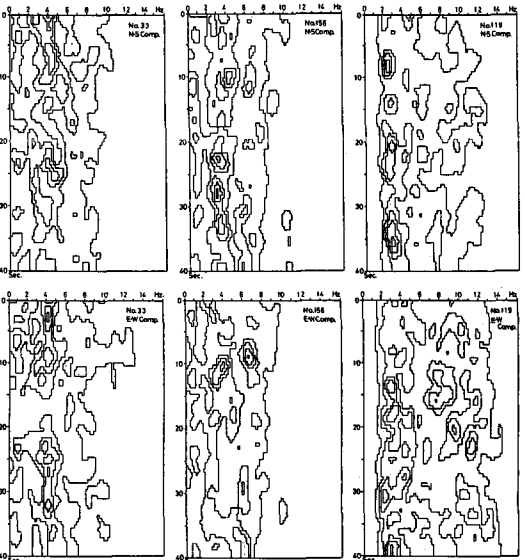


図-8. ランニングフーリエスペクトル解析

考えられる。

8. あとがき

基石調査から推定された最大加速度が表層の地盤条件と強く関係があることが示され、常時微動の測定結果からもその関係と調和する良好な傾向が見られた。今後、同様に定量的な検討を加えたいと考えている。

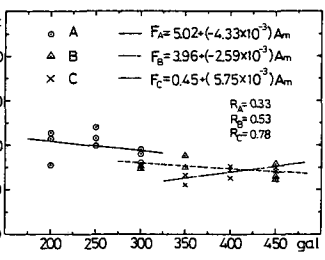


図-9. 推定最大加速度と卓越周波数の関係

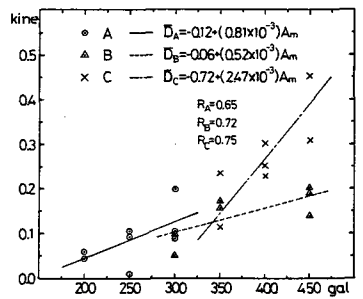


図-10. 推定最大加速度と平均振幅の関係

- 1) 国井・荻本「1978年6月宮城県沖地震における基石調査による最大加速度の推定」総合都市研究(東京都立大学都市研究センター発行), 才5号, 1978年12月.
- 2) 国井「基石調査から推定される最大加速度に関する一考察」総合都市研究 才8号, 1979年12月.
- 3) たとえば 望月・他「サイスミックマイクロゾーニングにおける震度分布の評価手法について(その1)」総合都市研究 才2号, 1978年3月.