

京都大学工学部 正員 後藤尚男
 京都大学工学部 正員 土岐憲三
 京都大学工学部 正員 ○横山康夫

松代群発地震地域の揺りょうおよび地盤における震動観測結果については、すでに昨年の関西支部年次学術講演会において報告したが、^{1),2)}本文は昭和41年6月以来、現地の地盤で観測継続中の起動器付磁気テープ記録装置によって得た強震の加速度記録をもちいて、主として各種地盤における1自由度系の応答スペクトルの解析を行なったものである。

1. 震動観測の概要 地震動観測を実施した地所は長野市の信州大学工学部構内、松代町の松代荘および戸倉町の万葉橋右岸の3地所(以下、長野、松代、戸倉と呼ぶ)である。

長野ではL.G.平屋建の実験室内の厚さ30cmの床コンクリート上に換振器を設置したが、その地盤は図-1(a)にみるように比較的硬い砂礫地盤の上に厚さ8m程度の軟かい粘土地盤が載ったものである。つぎに松代では建物から離れた位置にある物干場の床コンクリート上に換振器を設置した。この観測所は図-1(b)にみるようにそのほとんどがN値5以下の軟かい粘土質地盤である。さらに戸倉の観測所は旧河川敷であった堤内地にある家屋内のコンクリート造の地下貯蔵庫に換振器を設置したが、その地所から約30m離れた場所で行なったボーリングの結果を示した図-1(c)により硬い砂礫地盤であることがわかる。地盤の震動加速度の観測は図-2に示すような周波数特性をもつ加速度変換器をピックアップとした電磁式強震計によって行なった。この電磁式強震計は起動感度5galの起動器、制御器、3チャンネルデータレコーダにより構成されており、起動器からの信号をうけてから約0.5sec後に収録を開始し、記録継続時間が2分間となるように設定した。なお長野では昭和41年6月～7月、松代では7月～11月の間にそれぞれ観測を実施し、戸倉では11月以降観測続行中である。

2. 観測の結果 図-3,4,5はそれぞれ長野、松代、戸倉で観測した加速度記録の1例である。起動

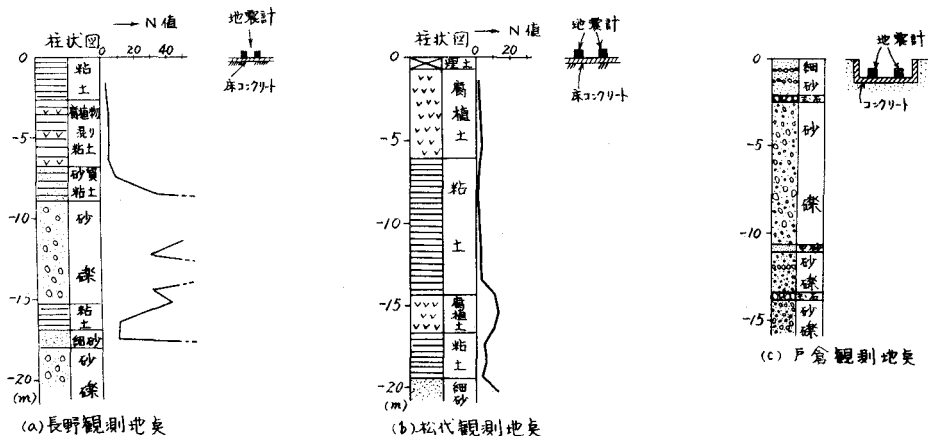


図-1 地震動観測地所の地盤と地震計設置位置の概要図

器を用いたためにいずれも初期微動の部分は明らかでないが、主要動と思われる部分は明瞭に記録されている。長野、松代の記録例はいずれも震度階Ⅳと発表された地震によるものであり、戸倉の記録は松代地震観測所での震度階Ⅲの地震に対応している。

3. 観測結果の解析 各観測点で記録された地震動の周期特性を解析するために、図-3,4,5に掲げた地震記録をフーリエ変換して得た加速度スペクトルを図-6に示した。まず長野でのスペクトルは3.5%付近に鋭いピークをもち10%以上になると急激に小さくな

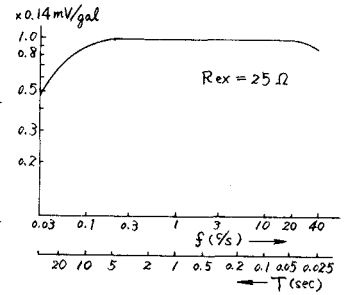


図-2 加速度変換器の周波数特性

ている。一方、松代でのスペクトルは1.5%と3.5%付近に2つの

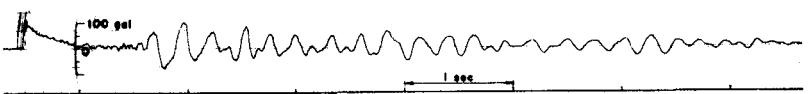


図-3 長野観測地震での加速度記録 (S02, 昭.41.6.22, N17E)

ピークをもって、10%以上では長野と同様に振幅が非常に小さくなっているが、1.5%という低い振動数成分が含まれているのが注目される。また戸倉

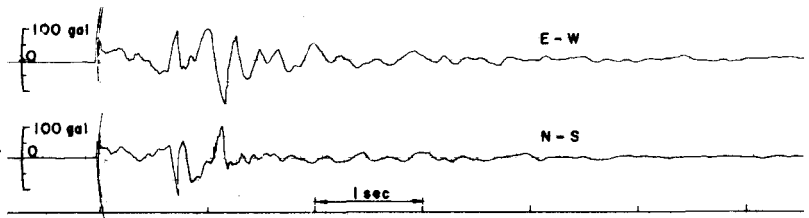


図-4 松代観測地震での加速度記録 (M14, 昭.41.9.27)

でのスペクトルは他の2点とは異なり、ピークが5~6%の比較的高い振動数にみられ、3%以下の振動数成分は小さく、逆に高い振動数成分が大きくなっている。このような地

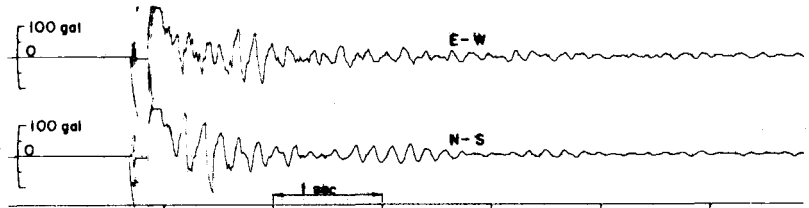


図-5 戸倉観測地震での加速度記録 (T02, 昭.41.11.25)

震動の周期特性の相違は図-1に明らかなように地盤の構成の相違によるものと考えられ、地盤の軟かい場所ほど低振動数の震動が卓越しやすいという傾向をよく説明している。

つぎに地震記録の波形の周期性を調べるために、これまでと同じ記録の自己相関関数を計算した結果を図-7に示した。長野の記録ではかなり周期成分が多く含まれていることがわかるが、松代では長野ほど周期成分がはっきりみられずランダムな波形であることを示しており、また比較的高い周期成分も含まれていることを示している。一方、戸倉の記録では短い周期成分が卓越していることがよくわかる。おのおの自己相関関数において卓越している周期成分は図-6でみられたピークにほぼ相当しており、フーリエスペクトルの場合と同様に、構成の異なった地盤においては地震動の周期特性が異なることをはっきりと示している。

つぎに松代群発地震のもつ特性を構造物の応答の面から調べるために、観測された地震の加速度記

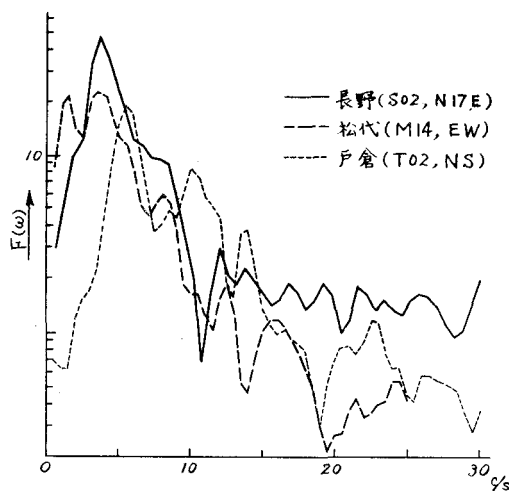


図-6 加速度スペクトル

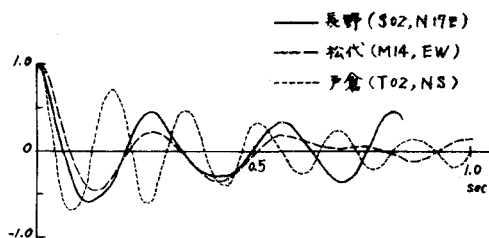


図-7 自己相関関数

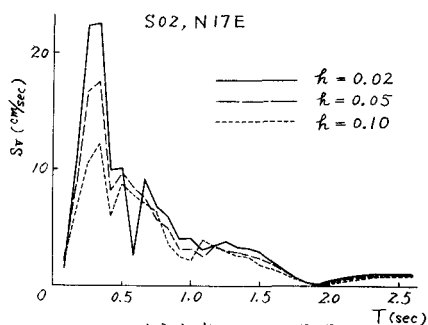


図-8 速度応答スペクトル(長野)

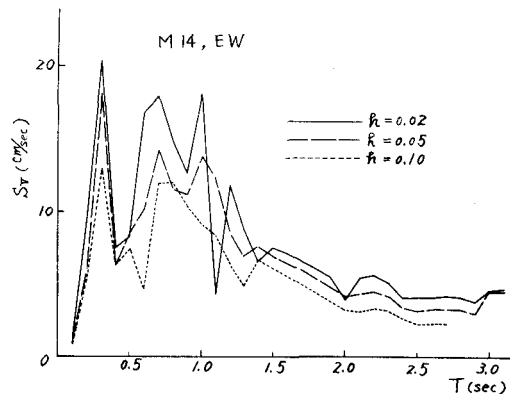


図-9 速度応答スペクトル(松代)

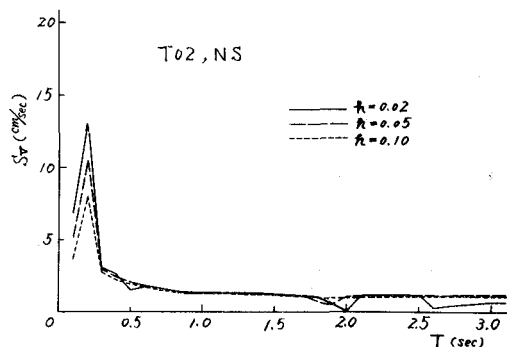


図-10 速度応答スペクトル(戸倉)

録を用いて1自由度系の応答スペクトルを求めたのが図-8,9,10であり、それぞれ図-3,4,5に掲げた地震動についての速度応答スペクトルを示している。

図-8の長野の例では0.3～0.4 sec付近に鋭いピークをもち0.5 sec以上の固有周期に対しては単調に減少する傾向が認められる。また図-9の松代の計算例では0.3 sec付近の鋭いピークのほかに0.6 secから1 secにかけてもう一つのピークをもつ姿が長野の例とは異なっている。すなわち、このピークはフーリエスペクトルにおいてみられた1.5 %付近のピークに相当するものと考えられるが、固有周期が3 sec程度になっても S_v の値の減少は比較的少なく、かなり高いレベルを持続している。つぎに図-10の戸倉の応答スペクトルでは0.2 secに鋭いピークがみられるが、0.3 sec以上の固有周期に対しては一様に小さな値となっている。

ここに示した応答スペクトルはいずれも各観測点で得た最大加速度を伴った地震動についての計算結果であるが、同じ観測点で得た他の地震動についての解析結果もほぼ同様な応答スペクトル図を示しており、これらは各観測点での代表的な応答スペクトルと考えてよい。図-8,9,10においてピークを示す周期とその形を比較すると、図-10の戸倉での記録が最

も短い周期に対して鋭いピークを示し、図-9の松代での記録がより長い周期においてゆるやかな山を描いている。このような応答スペクトルの相違が現地地盤の状態にもとづくものであることは図-1とみれば明らかである。なお応答スペクトルは入力地震の大きさに影響を受けるであろうから、最大加速度が200gal以上にも達するような地震に対してはまた異なった特性を示すことが考えられるが、ここで取り扱ったような100gal前後の最大加速度を伴うような震源の近い地震動では、地盤が軟かい程大きな応答速度を示す固有周期の範囲が広く、硬い地盤では応答速度が大きくなる固有周期の範囲が狭く短周期の方に偏る傾向があると考えてよからう。

これまでの多くの地震記録についての解析結果では、一般に速度応答スペクトルは構造物の固有周期に関してほぼ一定の値を示す傾向をもつ場合が多いとされているが、松代群発地震では上述のように長周期の構造物に対しては

S_v の値が小さくなる地震が多くなっている。この関係を比較対照したのが図-11であってこの図に明らかのように松代群発地震は構造物に及ぼす影響の面ではかなり違った様相を呈している。

しかしながら速度応答スペクトル S_v は入力地震の大きさにより当然その値が変わるので、これを無次元量で表示するために1自由度系に生ずる最大加速度応答 S_A を求め、これを入力とした地震記録の最大加速度 $\ddot{z}_{max}$ で除した加速度応答スペクトルの計算結果を図-12に示した。したがってこの図の縦軸の値は構造物の固有周期ごとに、入力加速度に対する構造物の応答加速度の倍率を表わすことになる。図-12によれば松代群発地震は固有周期が0.2～0.3 sec程度の構造物に及ぼす影響が最も大きく、地動加速度の2～3倍程度の最大加速度が生じる可能性のあることを示しており、固有周期が1 sec以上の構造物に対しては大きな影響をもたないことを意味している。このように比較的長周期の構造物の応答が小さいのは、松代群発地震が震源の浅い小規模な局地地震であるために、短周期の波の成分が多く、地震の継続時間が短くて長周期の構造物に振動が励起されるには十分でないためと考えられる。

4. 結言 松代群発地震地域において観測した数多くの地震記録のうちの数例に対する解析により、松代群発地震の耐震工学の面における特質、また地盤と構造物の応答との関係などに関して上述のような成果を収めた。なお本研究の数値計算には京都大学電子計算機KDC-IIを用いた。

参考文献

- 1) 後藤尚男・亀田弘行・石田昌弘：松代群発地震地域における橋りょうの震動観測結果について、土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、I-27、昭和41年11月。
- 2) 土岐寛三・横山康夫・秋吉 卓：松代群発地震地域における地盤の震動観測結果について、土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、III-23、昭和41年11月。

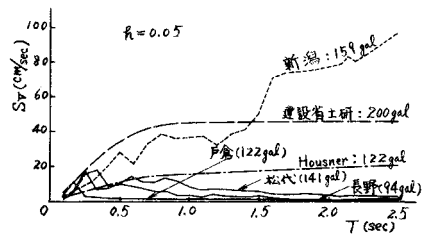


図-11 速度応答スペクトルの比較

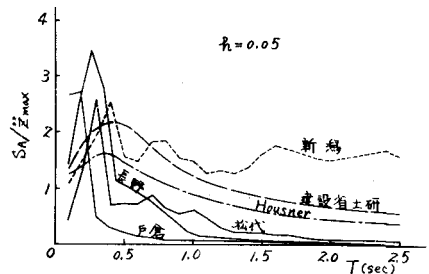


図-12 加速度応答スペクトルの比較