

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

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
 京都大学工学部 正員 秋吉 卓

本文は、松代群発地震地域の千曲川沿いの2、3の地点において、本年7月に実施した連続震動観測と、本年6月から現在に至るまでに起動器付き観測装置によって得られた地震動と、それらに関する若干の解析結果について報告するものである。

1. 震動観測地点の概況と観測方法

震動観測を行なった場所は皆神山の西方約5 kmの岩野橋右岸、北北西約1.5 kmの松代荘、北北西約9 kmの信州大学構内である。岩野橋では右岸の高水敷に地表面から5、10、23 mの深さまで3本のボーリングを行ない、その中に地中換振器($f_0=3\%$)を設置し、さらに地表面に同じ換振器を設置した。これらのいわゆる地中地震計は水平2成分、鉛直1成分を内蔵しており、成分の切換えを行ないながら常時6成分ずつを約2日間にわたって連続観測を実施した。地盤は図1にみるように、約5 mから15 mまでは次第に硬くなり、それ以下はN値が50以上の硬い砂礫地盤である。つぎに松代荘では建物の前庭に図2に示したごとくボーリングを行ない、地中の3点に地中換振器を設置した。この観測地点は同図にみるようにそのほとんどがN値5以下の軟い粘土質地盤であり、岩野橋のそれとは対照的である。さらに信州大学工学部ではL.G.平屋建の実験室内の厚さ30 cmの床コンクリート上に別の換振器($f_0=2\%$)を設置し、起動器を通じて約2ヶ月間にわたって地震加速度の観測を行なった。この地点の地盤は図3にみるように比較的硬い砂礫地盤の上に8 m程度の軟い粘土地盤がのっている。

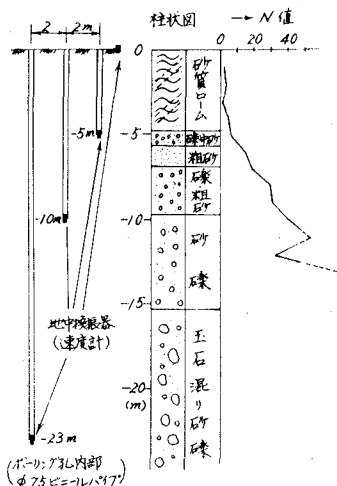


図1 岩野橋地点地質柱状図と地中換振器

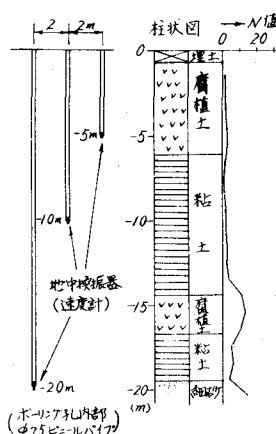


図2 松代荘地点地質柱状図と地中換振器

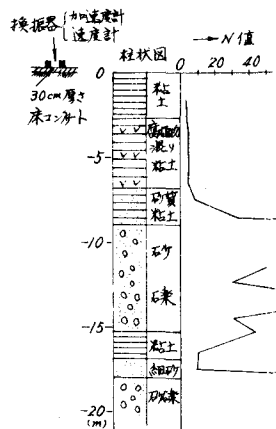


図3 信州大学工学部地質柱状図と地上換振器

観測に当っては換振器からの出力を増幅して磁気テープに記録させる方法により、岩野橋では2日間で合計40時間の観測を行なった。松代荘と信州大学では起動器の起動感度を5 gal、記録継続時間を2分間として、信州大学では合計約140回、松代荘では8月末現在で約120回の地震記録を得た。

2. 観測結果

観測により得られた地震記録の例を図4, 5, 6に示した。これらの記録は各観測地点において記録されたもののうち比較的揺れの

大きな地震によって得られたものである。岩野橋での記録では初期微動も明瞭にみられ、それらの記録の初期微動継続時間を読みとり、その頻度を調べた結果、その大部分は0.9~1.2 secであり、岩野橋で観測された地震の震源距離は10 km程度以内であろうと推察される。一方、松代荘での観測には起動器を用いたため地震動の初めの1秒間程度の記録が不完全なものが多いが、図5のように初めから記録されたものでも初期微動の継続時間はさきめて短いの、かなり震源に近いことになる。また信州大学での観測例の図6は長野地方の震度IVと発表された地震の記録であって、最大加速度は94 galを示しており比較的揺れの大きな地震である。

3. 記録の分析

a) スペクトル 前掲の図4, 5の地震と別の地震の記録をフーリエ変換して得られた速度スペクトルが図7, 9である。まず岩野橋でのスペクトルは地表面と-23 mの両者ともに8%でピークを示しているが、これは図7にみられるように他の地震動についてのスペクトルと

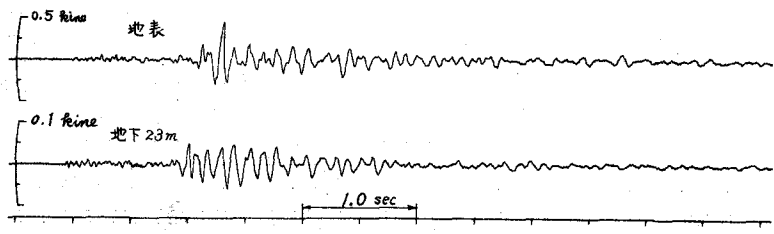


図4 地震記録の例、岩野橋、昭41.7.15, 3:06, N-S. (震度II)

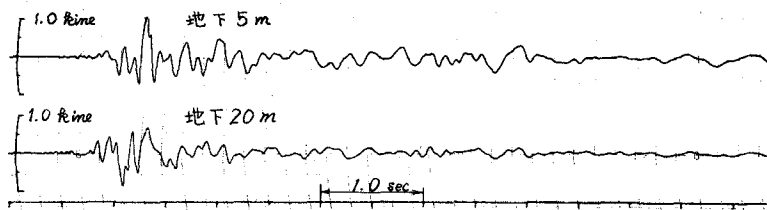


図5 地震記録の例、松代荘、昭41.8.18, 0:38, N-S. (震度III)

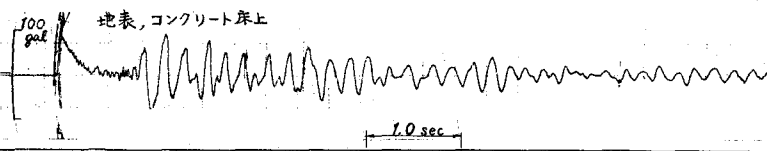


図6 地震記録の例、信州大学工学部、昭41.6.21, 22:05, N17E. (震度IV)

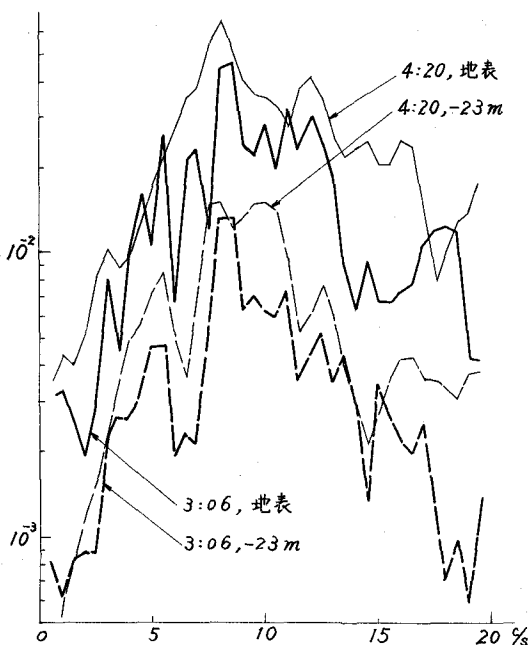


図7 速度スペクトル(岩野橋, N-S)

も一致しており、また図示したのと同一の地震動のE-W成分のスペクトルにおいても同様の傾向が認められた。つぎに-23mに対する地表面のスペクトルの比を求めたのが図8である。同図において点線は地震の速度記録を積分した変位波形からスペクトルを求めてその比を示したものである。この図によると6, 15, 18%付近でピークを持ち、他の周波数に対しては5〜6倍の値になっている。とくに6, 15%においてピークがみられ、地表と-23mの点でのスペクトル図7でピークを示した8%での比率がそれほど大きくないことから、それぞれのスペクトルの8%前後のピークは岩野橋付近の地盤の卓越振動と関係したものであり、スペクトルの比に現われる6, 15%前後のピークは-23mの点から上の層の影響であると考えられる。

松代荘での記録から得られたスペクトルは図9にみるように、岩野橋におけるそれとは相当異なった形をして、そのピークは3〜7%付近にみられ、17%程度からは急激に小さくなっている。このように松代荘では岩野橋に比較して震源距離が短いにもかかわらずスペクトルのピークがより低い周波数でみられることは、図1, 2に明らかなように地盤の相違によるものと考えてよく、このことは地盤の軟い場所ほど低周波数の震動が卓越しやすいという既知の事実と一致している。一方-5mと-20mでのスペクトルの大きさを比較すると、この両者の間にはほとんど差異がみられず、深さによる震動振幅の変化が小さいことを示している。

すなわち、基盤の深いかなり軟弱な地盤の上位では、地震波の重複反射による増幅作用という現象は少く、一定の厚さの地盤が一様な運動をしているとみなしても大過なからうと考えられ、構造物に及ぼす地震力を考えるに際して興味あることである。

6) 自己相関関数 観測された地震波の波形を調べるために、これまでと同じ記録の自己相関関数を計算した結果が図10, 11である。まず図10の岩野橋での例では、-23mの深さではかなり周期成分が多いが、地表ではこの周期成分がやや失なわれていることを示している。とくに初期微動の部分においてこの傾向が著しく地表面ではかなりランダムな成分の多いことがわかった。図11の松代荘の例では一般にランダム成分が多く、その中に比較的周期の長い周期成分も潜在することを示しているが、両者の間にはあまり差

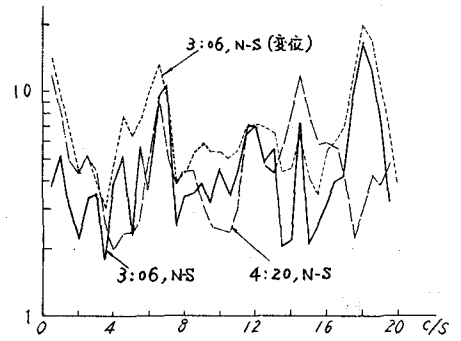


図8 スペクトル比(岩野橋)

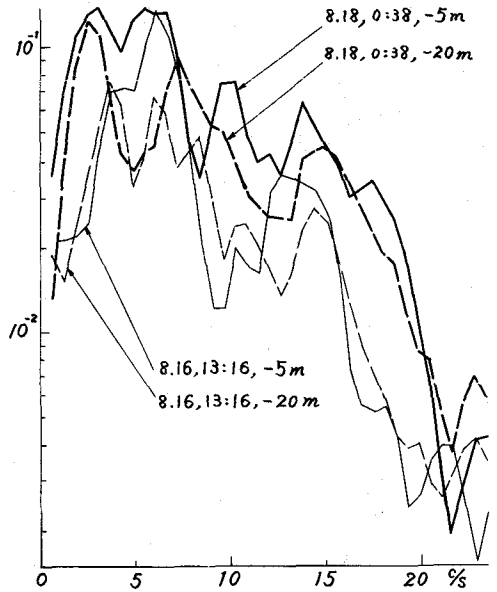


図9 速度スペクトル(松代荘, N-S)

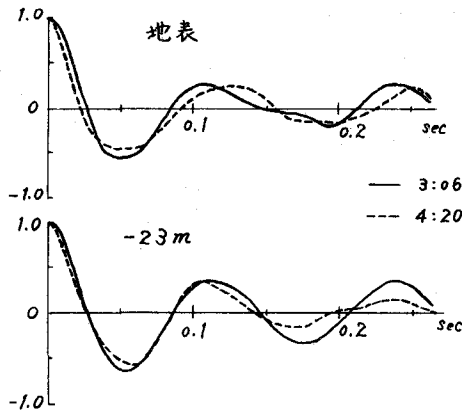


図10 自己相関関数(岩野橋)

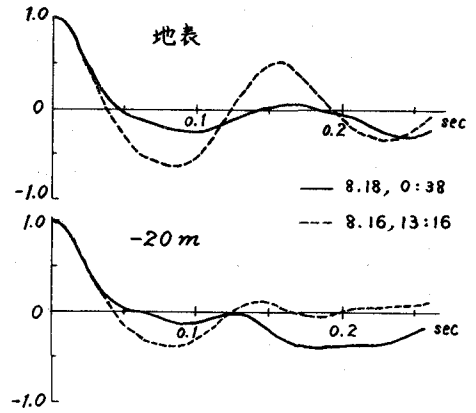


図11 自己相関関数(松代荘)

異が認められない。このような相関関数の測定結果からして地下の硬い地盤での地震波は比較的周期性を持つ波動であるが地表面近くの軟弱な地盤ではランダムな波動になる傾向がみられる。一方、地上に設けられた構造物では周期的な波形が卓越することは別に構造物についての報告で述べられているとおりである。

c) 応答スペクトル 信州大学において記録された加速度記録から速度応答スペクトルとせん断カスペクトルとを求めた結果が図12, 13である。多くの強震記録についての解析結果では、速度応答スペクトルは周期に関してほぼ一定の傾向が多いとされているが、図12にみるようにこの記録例では0.3sec前後から単調に減少する傾向にある。この傾向は他の地震動の記録についても同様であり、これは地震動の継続時間が比較的小さいこと、震源に近いことなどによるものであろう。図13のせん断カスペクトルが0.1~0.4secの間にすどいピークを持ち、その値が4から5に達していることから短周期の、周期成分を持った地震動であることがわかる。

4. 結び

以上、松代群発地震地域において観測した数百の地震記録のうちの数例に対する計測結果とその解析について述べたが、地盤の深さ方向の震動の差異が地盤の種類とどのような関係にあるかをある程度知ることができた。他の資料については引き続き整理中であり講演時に報告したい。終りに本研究における数値計算は京都大学電子計算機KDC-II によってなすことを付記する。

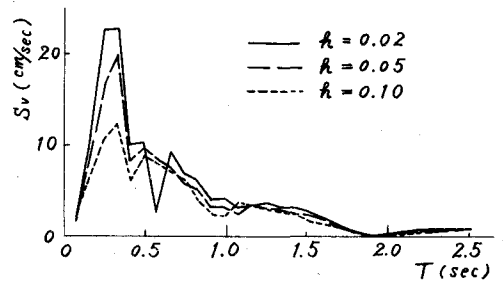


図12 速度応答スペクトル(信州大学)

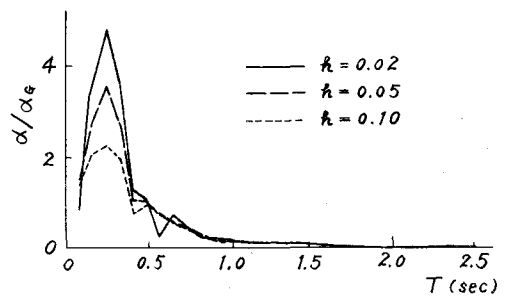


図13 せん断カスペクトル(信州大学)