

農林水産省林業試験場 落合博貴・松浦純生・梁瀬秀雄

1. はじめに

これまで数多くの地震にともなう地すべり、崩壊が報告されてきたが、そのメカニズムについては必ずしも明らかになっていない。地震時の土層中の間隙水圧については、Harp et al.⁽¹⁾、Ishihara et al.⁽²⁾による地震動との同時観測例があるが、観測データは少なく、安定解析において重要な因子となっているにもかかわらず間隙水圧の挙動の解明は端緒に付いたばかりである。

筆者らは、由比地すべり地において地震動と地すべりの挙動について、とくに地震時の土層内の間隙水圧の変動の観測を行ってきた。その結果、1984年9月14日発生した長野県西部地震による一連の地震動によって土層内に発生した動的な間隙水圧の変動が記録された^(4,5)。今回、記録された間隙水圧と地震動について波形解析を行ない検討を加えた。

2. 解析方法

地震動および間隙水圧の記録は磁気テープ上のアナログ記録のため各々の記録について1/200秒のサンプリング間隔でA/D変換を行い数値化した。間隙水圧の応答に関わる地震波の成分を知るため、数値化したE-W方向とN-S方向の加速度データより、観測地点から震央へ向かうR(Radial)方向とそれに直交するT(Transvers)方向の加速度成分を求めた(図-1)。また、U-D方向の加速度をV(Vertical)成分とした。そして、地震動の周波数による間隙水圧の応答特性を把握するため地震動の各成分と間隙水圧についてスペクトル解析を行った。

3. 結果と考察

3.1 長野県西部地震と間隙水圧の変動

1984年9月14日8時48分発生した本震と9月15日7時14分の最大余震についてR、T、V各成分の加速度波形と間隙水圧波形を図-2、図-3にしめす。実線は間隙水圧、点線は地震加速度である。本震の20秒以降の長周期の部分は、各成分毎に位相差が異なるものの、明らかに相関が認められる。また、加速度の大きいピークは記録開始後18秒から20秒のS波の始め部分に現れているのに対し間隙水圧のピークは25秒以降の長周期の加速度に対応して発生している。最大余震については、加速度の最大値は本震よりも大きいのが、本震に比べ長周期の成分は少なく、間隙水圧の応答は本震に比べて小さい。また、加速度と間隙水圧の波形の適合性は明瞭ではない。これらのことから、間隙水圧は地震動の長周期の成分に強く応答すると考えられる。Harp et al.⁽¹⁾は湖岸での地震時の間隙水圧の観測結果から加速度記録の水平方向のS波に相当する部分が最も良く適合しており1/4周期の位相差があると指摘しているが、今回の測定例においては波形の比較だけでは必ずしも同様の事はいえない。

3.2 間隙水圧と地震動のフーリエスペクトル

地震動の各成分と間隙水圧波形を特徴的なA、B、Cの三区間に分けて各々フーリエ変換を行い周波数領域における表示を行った

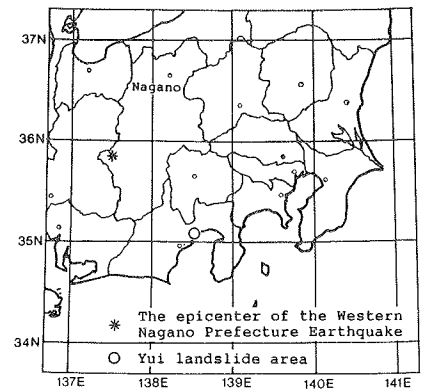


図-1. 由比地すべり地と長野県西部地震の震央

(図-4、図-5)。A区間はP波、B区間はS波の初めの部分、C区間は長周期成分の顕著な部分であり、本震は5~15秒、15秒~25秒、25秒~35秒を、最大余震は、8~18秒、18~28秒、28~38秒をそれぞれ、A、B、C区間とし、各区間10秒間、についてR、T、V各成分毎にFFT法によりフーリエスペクトルを求め、バンド幅0.4 HzのParzenのラグウィンドウによって平滑化した。実線はR成分、破線はT成分、点線はV成分のスペクトルである。本震のA区間(図-4 a)については、間隙水圧の0.2 Hz、1.6 Hzのピークに相当する加速度のピークがT、V成分に見られる。最大余震のA区間(図-5 a)についてはV成分のピークが間隙水圧の各々のピークに良く一致している。本震のB区間(図-4 b)ではR、V成分が間隙水圧のスペクトルに良く合うが、T成分については特に2 Hzまでの長周期の部分の違いが大きい。最大余震のB区間(図-5 b)については間隙水圧の1 Hzのピークについてはいずれも応答は良くないが、2.4 HzについてはR、V成分が一致する。C区間においては本震、最大余震(図-4 c、5 c)ともR成分が最も良く一致し、次いでT、V成分の順に相関が高い。以上、周波数領域における比較では、A区間ではT、V成分、C区間ではR成分が間隙水圧に対して最も良い相関をしめし、B区間はR、V成分とA、C区間の中間的な応答を示した。

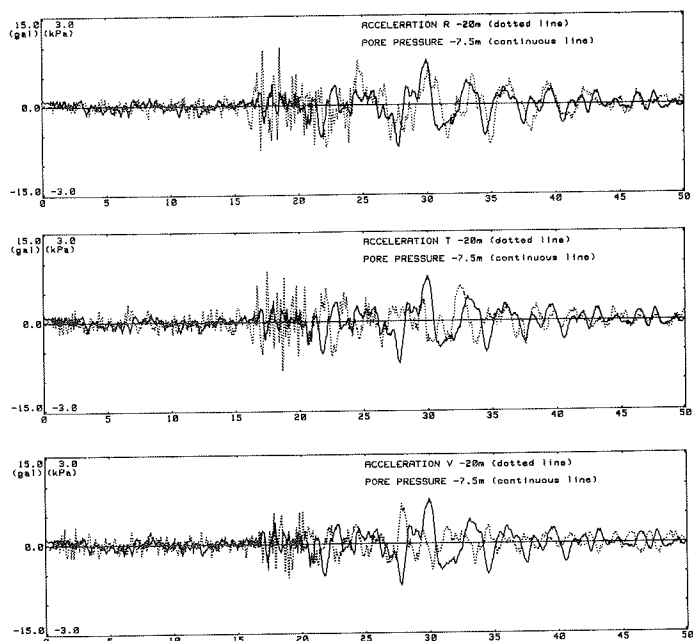


図-2. 長野県西部地震本震の地震加速度と間隙水圧の変動
(実線：地震加速度 破線：間隙水圧)

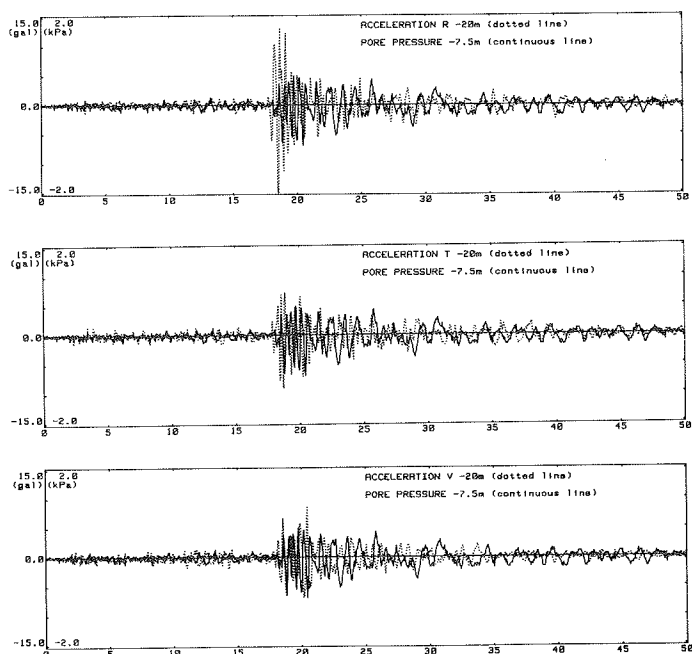
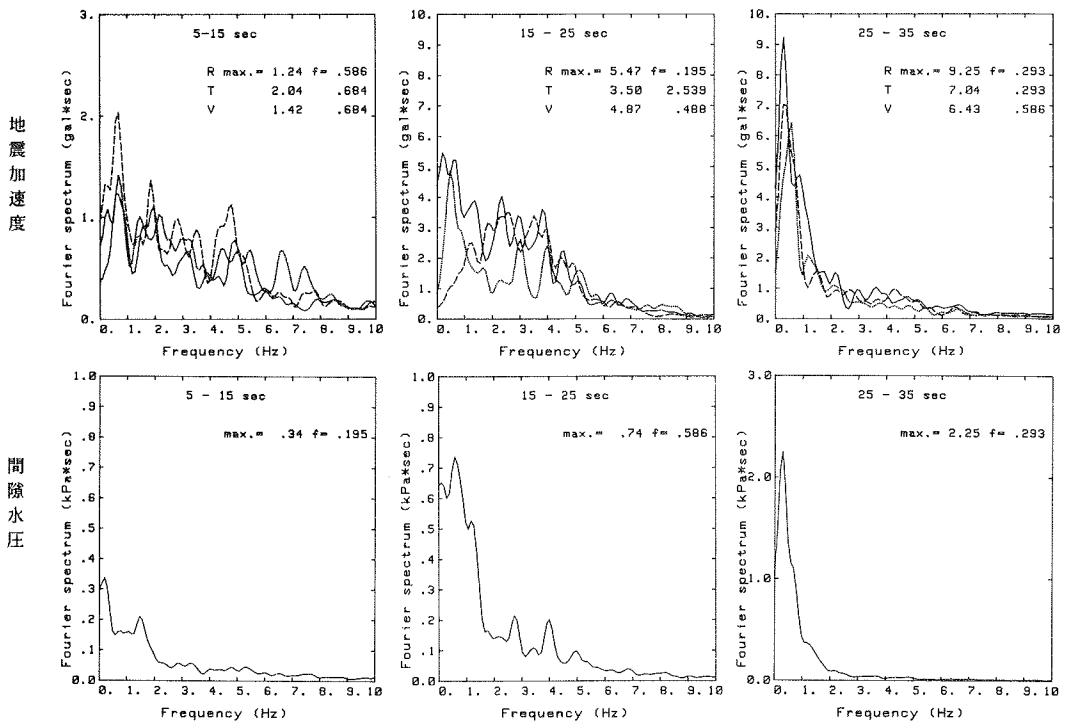
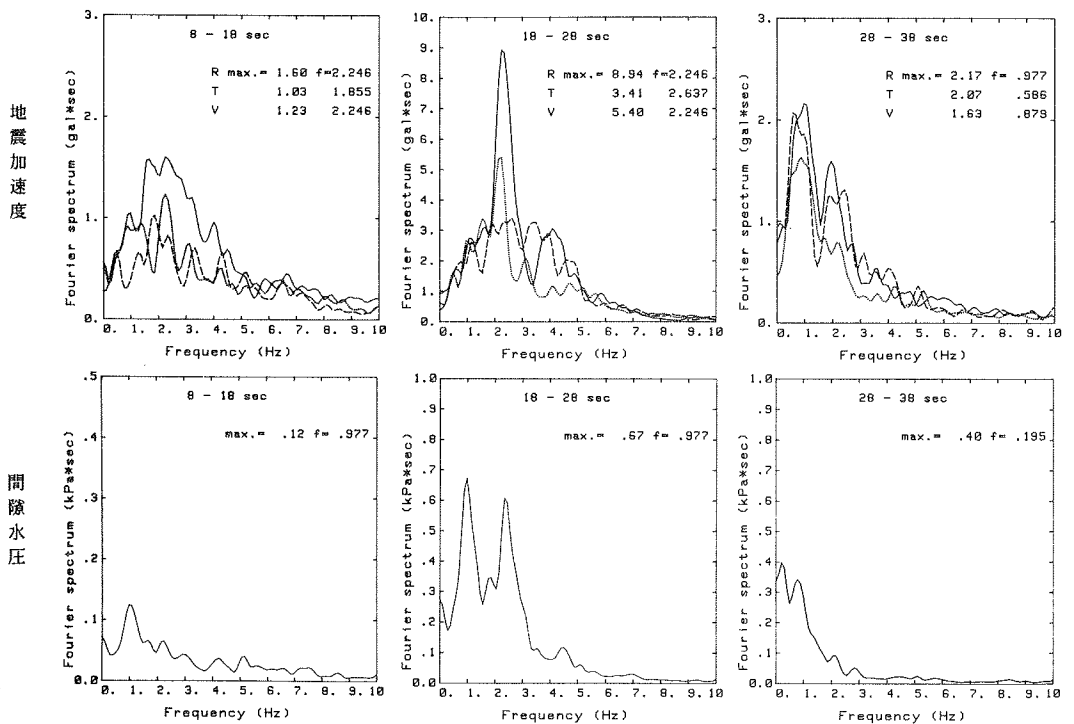


図-3. 長野県西部地震最大余震の地震加速度と間隙水圧の変動
(実線：地震加速度 破線：間隙水圧)



図一四、長野県西部地震本震の地震動と間隙水圧のフーリエスペクトル
(実線：R成分 破線：T成分 点線：V成分)



図一五、長野県西部地震最大余震の地震動と間隙水圧のフーリエスペクトル
(実線：R成分 破線：T成分 点線：V成分)

3.3 間隙水圧と地震加速度のスペクトル比

本震、最大余震のいずれの区間についても加速度のスペクトルに対し間隙水圧のスペクトルは長周期側にかたよった分布となっており、間隙水圧は長周期の加速度により強く応答すると考えられる。そこで、A、B、Cそれぞれの区間毎に間隙水圧のスペクトルに対する加速度スペクトルのスペクトル比を求めた（図-6）。なお、間隙水圧の7 Hz以上の成分は非常に小さくスペクトル比の誤差が大きくなるため、0~7 Hzについて計算した。A区間はV成分、B、C区間はR成分についてもとめた。実線は本震、破線は最大余震についてのスペクトル比である。どの区間についても、本震と最大余震は同様の傾向を示し、周波数の増加に従って次第に指数関数的に減少する関係を示している。また、最大余震についても間隙水圧の応答性は長周期の加速度ほど高いといえる。Mavko & Harp⁽³⁾は、P波とS波のそれぞれの部分について間隙水圧と地震動のスペクトル比をもとめ、P波については負の線形関係、S波については指数関数的な右下がりの関係があることを示している。しかし、今回の観測例では、A区間の最大余震、B区間の本震については負の線形関係に近い傾向があるが、明白ではない。

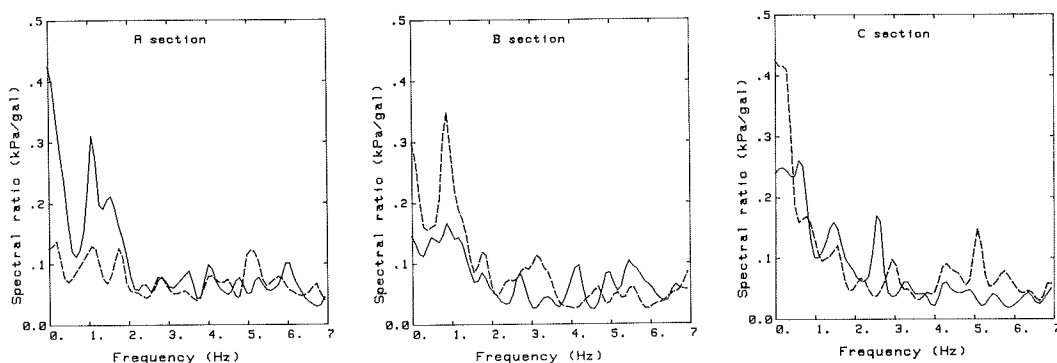


図-6. 間隙水圧と地震加速度のスペクトル比
(実線：本震 破線：最大余震)

4. まとめ

時間領域における波形の比較だけでは必ずしも間隙水圧と地震動の波形の適合性は明確ではないが、周波数領域における比較も行うことによって本震だけでなく最大余震についても地震加速度の各成分と間隙水圧との関係が明らかになった。つまり、①間隙水圧の加速度波形に対する応答は、P波部分ではV、T成分に、S波部分ではR成分に最も強く応答する。また、②間隙水圧は加速度の長周期の成分により強く応答する傾向があり、周波数の増加に従って指数関数的に減少する傾向を示した。しかし、これは間隙水圧計自身の周波数応答特性を反映していることも考えられるため、フィルターを含めた間隙水圧計の周波数応答試験を行った上でさらに検討を加える。

参考文献

- (1) Harp, E.L. et al. : Seismic-induced pore-water pressure records from the Mammoth Lakes, California, Earthquake of 25 to 27 May 1980, Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 74, No. 4, 1381-1393. (2) Ishihara, K. et al. : Pore water pressures measured in sand deposits during an earthquake. Soil and Foundations, Vol. 21, No. 4, 85-100, 1981. (3) Mavko, G.M. and E.L. Harp : Analysis of wave-induced pore pressure changes, Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 74, 1395-1407, 1984. (4) 落合博貴ほか：地すべり地における地震動と間隙水圧の変動、第96回日本林学会大会論文集、599-600、1985. (5) Ochiai, H. et al. : Measurement of earthquake motion and pore water pressure at the Yui landslide area, Proc. 14th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides, 203-208, 1985.