

長者地すべりにおける微小地震観測と表面波探査を併せたすべり面深さ推定

愛媛大学 フェロー 森 伸一郎
愛媛大学 学生会員 ○大竹 秀典

1. はじめに

地すべり対策では、すべり土塊の形状や分布状況を特定することが必要で、まずそのために調査が行われる。それは、現地踏査によるすべり土塊の平面形状の把握とボーリング調査・孔内傾斜計によるすべり面深さの判定からなる。一般には、一つの地すべりブロック内の 1 点での深さであり、三次元的な広がりを経験則¹⁾で推定されることが多い。地すべりブロック内の深さの二次元・三次元的な変化を把握することや孔内傾斜計の観測を待たずにすべり面を判定することを目的として、微動測定や微小地震観測による実現を研究している。

すべり土塊の地盤構成を地盤振動の観点から見ると、地すべり面を境に地盤振動インピーダンスのコントラストができ、すべり面より上部の土塊の固有振動が励起されやすい状況となっている可能性が高い。その場合、微動や微小地震動などのような地域に一定のせん断波が入射する場での振動測定により、すべり土塊の固有振動数が特定でき、別にすべり土塊（表層）のせん断波速度を評価しておけば、すべり土塊の深さを上記の経験則と同等もしくはそれを上回る精度で推定できることが期待される。長者地すべり地における事例を紹介する。

2. 振動測定の方法

長者地すべり地の地すべり土塊の規模は、幅約 200 m、長さ約 900 m、平均斜面勾配 15 度であり、北方向（長者川方向）に移動している。最下部のブロック上部を横断する町道に沿い 18 個の測点を配置して単点微動観測を行うとともに、5 点での同時微小地震観測を行った。観測に用いたのは、動電型の速度計で、4.5 Hz の固有振動数を有する 0.5~20 Hz でほぼ平坦な周波数特性を有する速度計 CR4.5-2S（物探サービス製）と計測器 GEODAS-10-24USB（物探サービス製）である。P1 から P18 の測点の内、測点 P1 と P18 はブロックの東外側に、測点 P16 と P17 はブロックの西外側に、残りはブロックを横切るように配置した。微小地震観測を行ったのは、中心線より東側で、P18、P2、P3、P7、P10 の 5 点であり、P18 はブロック外側、P7 と P10 は歴史的に大きく移動している最下部ブロック中央である。微小地震観測は、2010 年 7 月 2 日（金）19:30 から 7 月 4 日（日）14:20 までの 43 時間行った。データ数削減のためサンプリング周波数を 100 Hz とし、30 分間の記録を 1 セットとする連続観測を行い、86 セットのデータを得た。

3. 微動測定と微小地震観測の結果

微動観測の結果は、時間と場所に関係なく、センサーの真横を車両や人が通る場合などを除いて、人間活動に伴う微動のレベルは極めて低く、センサーと観測装置のノイズレベルを越えることがなかった。微動測定は、当該地すべり地では無効であった。微動レベルが安定して低いというのは、微小地震観測にとっては好条件である。都会では考えられない中山間地の特徴である。観測の 43 時間で Hi-net では 744 個の地震が観測されており、その内、3 地震が観測できた。

図-1 に P10 地点における 3 つの地震動の水平動時刻歴（振幅が大きい方向成分）を示す。香川県 M2.6 の地震（EQ1）が最も応答振幅が大きくなっており、2 地点ともに明瞭な地震波形が認められる。図-2 に微小地震動と微動の NS 成分のフーリエスペクトルを示す。良くゆれると予想された P10 では、いずれの地震でも微動レベル（電源ノイズ相当）を有意に上回っており、EQ1 では 1.8 Hz で SN 比 2 以上を確保しているし、EQ2 と EQ3 では 4.5 Hz 以上で SN 比 2 以上を確保している。図-3 に地すべりブロックの外側の P18 に対する

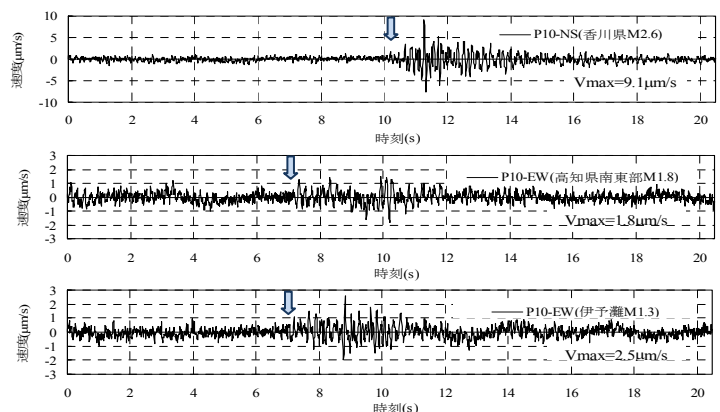


図-1 P10 地点における 3 つの地震動の水平動時刻歴

P10 の周波数応答特性 (H/H 比) を示す。EQ1 では 4~5 Hz と 7~9 Hz の 2 ヶ所で 3~4 倍の増幅を示すピークがあるが、EQ2 と EQ3 でも 5 Hz 付近と 7~9 Hz の 2 箇所で 2 倍の増幅を示すピークがあり、地震方位角やマグニチュードが異なっているにもかかわらず、卓越振動数としては安定して現れている。

4. 各観測地点での卓越振動数と推定される地すべり面深さ

フーリエスペクトル比から SN 比が 2 以上となる有効下限振動数 f_{low} 、それより高振動数側にある卓越振動数 f_{p1} , f_{p2} , f_{p3} を読み取った。別途実施した表面波探査により、距離 22~98 m 間の 20 の各距離断面での平均せん断波速度 V_{sa} は、平均値 359 m/s、標準偏差 12 m/s、変動係数 3% である。したがって、360 m/s とそれに ± 12 m/s を考慮した場合を検討して、誤差を検討する。

読み取った卓越振動数 f_p と平均せん断波速度 V_{sa} を用いて、次式により、すべり面深さ H を推定する。

$$H = V_{sa} / (4 f_p) \quad (1)$$

推定の妥当性を検討するため、すでに明らかになっている地すべり面深さを檜垣²⁾のすべり断面図と比較する。図-4 に我々の調査側線と最も近い C 測線における地すべりブロックの横断面図を示す。ここに、P2 を岩盤端部に相当するものとして、他の P3, P7, P10 の位置と地震観測の卓越振動数から推定したすべり深さを記入した。単一のピークを示して均質表層を示唆していた P3 では、同じ物質で構成され、推定深さは地すべり面と一致する。P7 では、2 つの推定深さは地すべり面とその上の岩屑物層の上面に対して、それぞれ 5m 程度下方に位置する。P10 では、2 つの推定深さは地すべり面とその上部の岩屑物の堆積層上面に対応している。P3, P10 の 2 点は、深い推定面が地すべり面と 5% 以内で一致した。P7 では、35% 程度の誤差があるが、推定地質断面の測線と今回の探査測線との不一致が影響しているかもしれない。これによれば、地すべり調査ボーリングの結果に基づいたすべり面の位置の 5~35% (平均 15%) で推定できた。

5. 結論

2 日間の微小地震観測で 3 つの地震記録を得られた。微小地震観測は、地すべり地における卓越振動数の評価に有効である。表面波探査により得られた地すべり土塊表層の平均せん断波速度と微小地震観測により得られた水平動スペクトル比 (H/H 比) の卓越振動数から、4 分の 1 波長則に基づいて推定される地すべり面深さは、すでに精度良く得られている深さに対して 15% 程度の誤差で推定できる可能性がある。

謝辞：本研究の一部は、平成 22 年度砂防・地すべり技術センター研究開発助成によりました。高知県土木部には情報提供と観測への協力を、長者地区の区長はじめ地元の方にはご協力を戴きました。深く感謝します。

参考文献

- 1) 上野 将司：地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討，地すべり，Vol.38, No.2, pp.105-114, 2001.
- 2) 檜垣 大助：長者地すべり地における地すべり斜面の変遷過程，地すべり，Vol.29, No.2, pp.12-19, 1992.

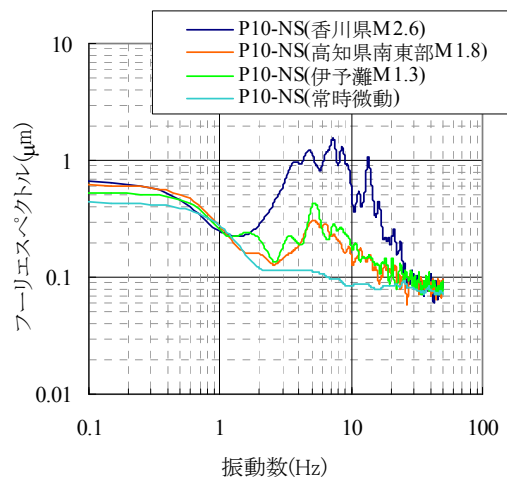


図-2 P10 地点における微小地震動と微動の NS 成分のフーリエスペクトル

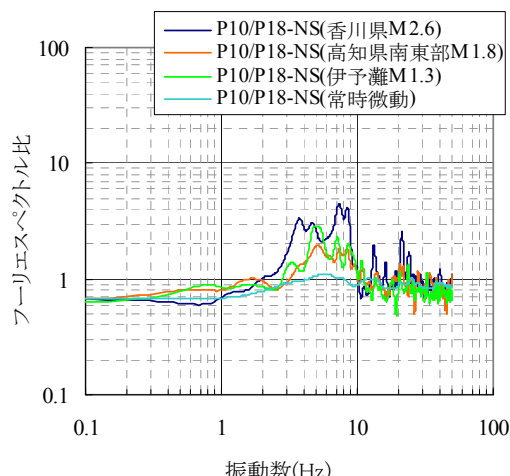


図-3 P18 に対する P10 のスペクトル比 (H/H 比)

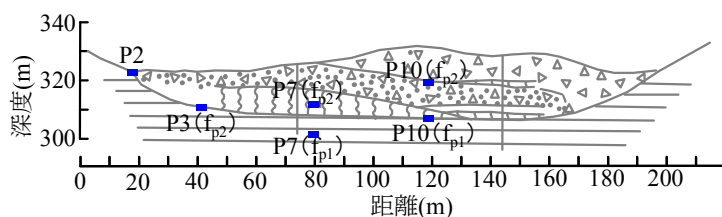


図-4 檜垣 2) のすべりブロックの横断面図と微小地震動の H/H 比の卓越振動数から推定したすべり深さ