

三重大学大学院生物資源学研究所, ○沼本 晋也・林 拙郎・近藤観慈
新潟大学農学部 川邊 洋・権田 豊, 台湾工業技術研究院 王 文能

1. はじめに

1999年9月21日に台湾中部の集集付近を震源とする $M_L7.3$ の巨大地震が発生し、台湾中部に甚大な地盤災害をもたらした。この地震により、車籠埔断層・双冬断層・水裡坑断層を含む南北約100km、東西約40kmの区域に、草嶺地区、九份二地区の崩壊をはじめ、各地で大小さまざまな斜面崩壊が発生した(林ら 2002, 2003, 川邊ら 2003a,b)。このうち草嶺地区では、過去に繰り返し崩壊が起こっていた記録があり、このような大規模崩壊地では、崩壊後の応力開放、岩盤のゆるみ、割れ目への地下水浸透などが山体地盤劣化の要因として考えられている(川邊ら 2004)。このような素因の変化は再崩壊を予測する上で重要な視点であり、また、地震発生から数年が経過してもなお植生に覆われることなく露出している崩壊すべり面の強度特性は、岩盤劣化の進行状況を示すひとつの指標として、また、雨水侵食に対する脆弱性を示すものとして考えることができる。本研究では、1999年の集集大地震により発生した崩壊斜面のうち、九份二地区、九九峰地区、草嶺地区の3地区を対象として、崩壊斜面において継続的に弾性波速度を調査した結果を報告する。

2. 調査対象地および期間

調査対象地は、集集地震で崩壊が発生した、九份二山地区、九九峰地区、草嶺地区である(図-1)。九份二山地区では、地震により大規模崩壊が発生した南東向きすべり面の頁岩斜面に2地点(SSS3, SSS4/SSS6)、および、この崩壊の東縁に隣接するすべり面に1地点(SSS0)の3地点を調査対象とした(図-2)。SSS0における2001年9月の弾性波速度(2700m/s)は林ら(2002)による。九九峰地区では、地震により表層崩壊し裸地化したやせ尾根部の礫岩層上の1地点(99C)を調査対象地とした(図-3)。この地点における2001年9月の弾性波速度(表層320m/s, 第2層720m/s)は、林ら(2002)による。草嶺地区では、地震により大規模に崩壊した南西向きすべり面の卓蘭層上の2地点(BSS1, BSS3)を調査

対象地とした(図-4)。卓蘭層は砂岩頁岩互層で、草嶺地区の崩壊面の最上部になめらかなすべり面を形成している。地震による崩壊で発生した各調査地の表層は、数年を経て風化・侵食が進行している。

3. 調査方法

九份二山地区、九九峰地区、および草嶺地区において簡易弾性波探査による地盤表層調査を実施した。計測には、応用地質社製 OYO-McSEIS-3 (Model-1817)を用いた。各調査対象地では、風化・侵食等と同一とみられる地盤層が十分連続しておらず測線距離が確保できない場合や、表層の強度が低下し、同じ起震点が繰返しハンマ打撃に耐えられないなどの測定困難な場合を除き、可能な限り同じ斜面位置に測線(最長34m)を設定し、2001年9月から2005年12月までの間に3~5回計測した。

4. 弾性波探査結果と考察

4.1 各調査地における弾性波速度

起震点からの距離と初動到達時間の関係を表す走時曲線は、均一な地盤において右肩上がりの線上に並び、性状の異なる複数の地盤が層状に存在する場合は、表層を伝播する弾性波 v_1 と、下層を伝播した弾性波 v_2 の傾きが現れる。

九份二山地区(SSS)では、複数の速度帯に分離することが困難なため一本の直線で近似し v_1 を得た。走時のばらつきは、風化により地盤の連続性が不完全になったことが影響していると考えられる。九九峰地区(99C)では表層を伝播した v_1 と、やや速い v_2 が明瞭に分離できる走時曲線が得られた。調査地は、地震動で地盤表層が50cm程失われたやせ尾根上であり、この礫岩層の固結度が比較的均一であったこ

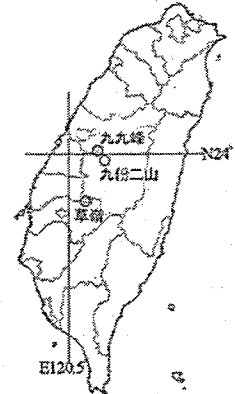


図-1. 調査地位置

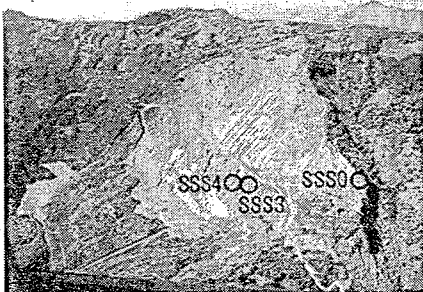


図-2. 九份二山地区の調査地点

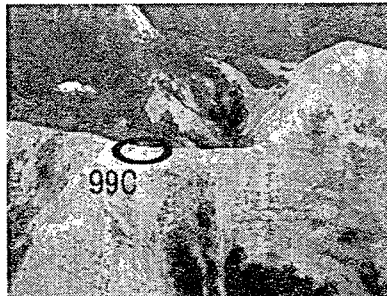


図-3. 九九峰地区の調査地点

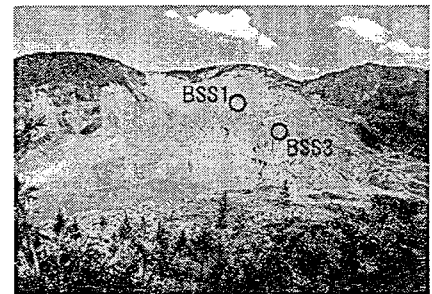


図-4. 草嶺地区の調査地点

とが推察される。草嶺地区(BSS)では、複数の走時曲線と見なせる結果が得られた。草嶺も九份二山地区と同様に風化・侵食が進行しているが、草嶺地区の表層のほうが、風化の影響に加えて、空隙・割れ目などの大きな不連続性を有している可能性が高いことが推察される。

4.2 弾性波速度の経時変化

各調査地で得られた走時曲線から算定した弾性波速度の経時変化を図-5に示す。走時曲線に屈曲が見られ v_2 が得られた地点(99C, BSS1', BSS3')は点線で示した。九份二山地区と草嶺地区では、全体的に時間の経過とともに弾性波速度が低下していく様子が比較的明瞭に現れている。このうち、九份二山地区 SSS3, SSS0(2004年12月まで)、草嶺地区 BSS3, BSS1(各2004年12月以降)での弾性波速度の変化は、1年あたり400~600m/s程度と読み取ることができる。調査期間内に得られた弾性波速度の最大値は、九份二山地区で2700m/s、草嶺地区で3287m/sであった。第三紀層岩盤のうち、頁岩が2000~3000m/s(割れ目有り、または風化層1200m/s~)、砂岩及び礫岩が2000~3500m/s(割れ目有り、または風化層1200m/s~)程度(佐々ら, 1993)と比較すると、最大値は概ね妥当な値が得られたと考えられる。また、九份二山地区 SSS0, 草嶺地区 BSS1', BSS3'等の2004年12月~2005年12月では、低下傾向を続けてきた弾性波速度が再び上昇に転じている。これは、風化・表面流水による侵食が進行し、強度が低下した表層自体が失われたため、1つ下層の弾性波速度が表層の速度として得られたためと考えられる。地震動により露出したすべり面の基岩層は、地震発生から数年のうちに風化が進行し、その表層は侵食されてひとつ下の層が露出し、さらにその表層が風化していく過程が推察される結果であった。

一方、九九峰地区では弾性波速度がほとんど変化していない結果が示された。 v_2 は v_1 の2倍程度の速度であった。弾性波速度は九份二山、草嶺の両地区と比較すると小さいが、地震発生から数年経過した現在までのところ、地震動により露出した尾根上の礫岩層の弾性波速度は安定的であったといえる。

5. まとめ

1999年の集集大地震により発生した、九份二地区、九九峰地区、草嶺地区の崩壊斜面において得られた簡易弾性波探査の結果を整理すると、次のようになる。

- ①九份二山地区、草嶺地区で得られた弾性波速度の最大値は割れ目や風化の少ない第三紀層の頁岩、砂岩、礫岩とほぼ同等であった。
- ②九份二山地区、草嶺地区では、地震発生から数年の期間において、弾性波速度が1年あたり400~600m/sの割合で低下し続ける傾向にある。
- ③一度低下した弾性波速度が再び速くなる点もあった。これは、風化・侵食を受けた表層が失われ、より下層の岩盤が表層に露出した結果と考えられる。
- ④九九峰地区では、地震動により露出したやせ尾根上の弾性波速度が地震発生から数年が経過した時点まで、ほとんど変化していない。

本調査地で対象とした地震動による崩壊すべり面は、表層が風化し層状に侵食されたり、一部は小さなガリーを形成している。表層下に空隙や割れ目が見られる部分も多く、簡易弾性波探査により得られた結果は、この複雑な構造を伝播して到達した走時から読み取ったものである。従って、ここで示した弾性波速度とその経時変化は一義に岩盤上の同一地点の性状変化を示すものとはいえないが、露出した岩盤表層が全体としてどのように強度が低下していくかを示すものと考えることができる。

参考文献

- 川邊 洋・林 拙郎・近藤観慈・沼本晋也(2003a)台湾中部の地震により繰り返し発生する雲林県草嶺の大規模崩壊、歴史地震、第18号, p.116-122.
- 川邊 洋・林 拙郎・近藤観慈・沼本晋也(2003b)1999年台湾集集地震による草嶺の大規模崩壊とその発生要因、砂防学会誌, Vol.56, No.4, p.32-39.
- 林 拙郎・栗飯原篤史・川邊 洋・沼本晋也・近藤観慈(2002)九九峰の災害, 3. 災害要因としての加速度, 科学研究費補助金研究成果報告書(研究代表者 林 拙郎), p.134-147.
- 林 拙郎・川邊 洋・近藤観慈・王 文能・沼本晋也(2003)台湾九二一集集地震による九份二地区の崩壊発生要因、砂防学会誌, Vol.55, No.6, p.13-20.
- 佐々宏一・芦田 譲・菅野 強(1993)建設・防災技術者のための物理探査, 森北出版, p.17.

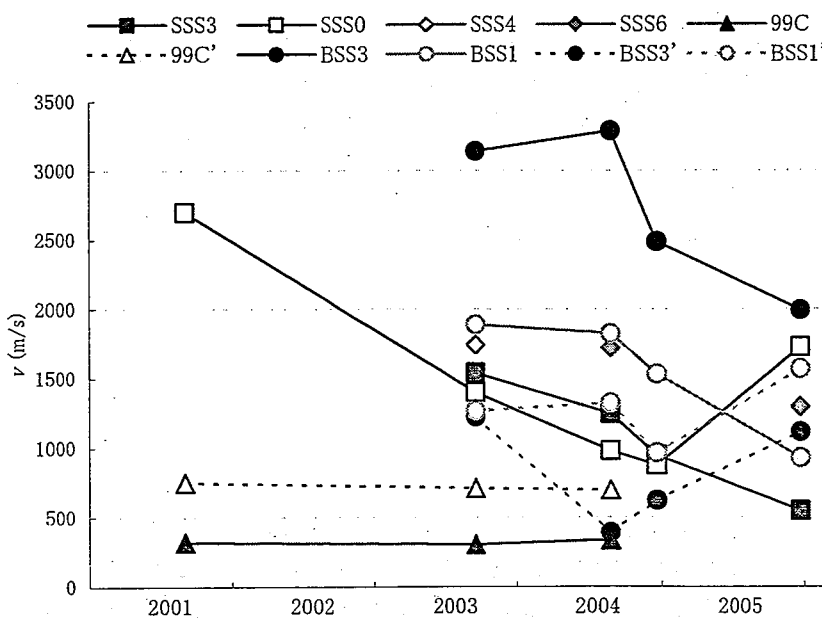


図-5. 各調査地における弾性波速度の経時変化
(九份二山: SSS3, SSS0, SSS6, 九九峰: 99C,
草嶺: BSS3, BSS1), 破線()は v_2 を示す。