

採石発破を利用した台湾花東縦谷北部周辺地域の地下構造探査 (序報)

馬場久紀*¹・楊 宜升*²・岩下 篤*³・飯塚 進*⁴

Exploration of the Underground Structure in and around the Northern Part of Hua-Tung Longitudinal Valley, Taiwan by Quarry Blasts: Preliminary Report

Hisatoshi BABA, Yang YI-SHENG, Atsushi IWASHITA and Susumu IIZUKA

Abstract

From March to June in 2004, we carried out the seismic refraction exploration by using quarry blasts to clarify the sub-surface structure in and around the northern part of Hua-Tung Longitudinal Valley in Taiwan. This experiment used two quarry sites, SP. 1 and SP. 2, which were located at Wan-Jung and San-Chan in the middle and northern parts of Hualien prefecture, respectively. The quarry blasts has been performed approximately once a week by using an explosive of 100-300 kg in order to provide stones for constructions and so on. We chose three seismic lines, Line A, Line B and Line C, in this study area. Line A of about 47 km long was elongated from SP. 1 to SP. 2, which ran along the valley in the direction of the north-north-east. Line B of about 10 km long was extended to the east from SP. 1, which was across the valley. Line C of about 12 km long was extended to the north-east from SP. 1. Seismic refraction data on Line A were obtained from two sources at both ends of the line, while those on Lines B and C were obtained from a source only at SP. 1. The former data showed clear records to the point 27 km from each end of Line A. They indicated the upper layer with a velocity of 4.4 km/sec and the lower layer with a velocity of 5.7 km/sec. The latter data showed clear records over the entire Lines B and C. Direct wave velocities of 4.4 km/sec and 4.5 km/sec were calculated for Lines B and C, respectively.

1. はじめに

東海大学では、中華民国台湾省(台湾)の花蓮にある大漢技術学院防災研究中心の協力を得て、台湾の花東縦谷北部周辺域で行われている採石発破を利用し、屈折法地震探査による地下構造調査を実施した。探査測線の位置図をFig. 1に示す。台湾はフィリピン海プレートとユーラシアプレートが複雑に衝突している場所であり、圧縮作用の影響により山脈が隆起し、地震が多発するという地学的特徴を有している(瀬野, 1994)。花東縦谷は、これらのプレートの衝突境界にあり、花蓮から台東(Fig. 1)まで達す

る台湾島でもっとも大きな構造線の一つである。台湾島の地震波速度の解析によれば(例えば, Wu, 1978), 台湾島の主要部となる縦谷から西の部分は、大陸と類似する速度構造、一方東側の海岸山脈の下は海洋地殻または漸移帯の速度構造を有していると報告されているが、縦谷付近の明確な速度構造モデルは明らかにされていない。Photo 1に海岸山脈から花蓮市付近を見渡した花東縦谷北部の風景を示す。

花東縦谷(Photo 1)は、南南西から北北東に延びた直線的な形状をしている(Fig. 1)。その幅は、3~6 km、長さは陸域で約150 kmである。盆地部は平坦で沖積層によって形成されている(Ho, 1986: 台湾地質図, 1974)。

2005年1月18日受理

*1 東海大学総合科学技術研究所 (Research Institute of Science and Technology, Tokai University)

*2 国立花蓮高級商業学校 (台湾) (Taiwan Hualien Commerical Vocational High School)

*3 九州東海大学工学部宇宙地球情報工学科 (Department of Space and Earth Information Technology, Kyushu Tokai University)

*4 元東海大学海洋学部海洋資源学科 (Former Department of Marine Mineral Resources, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

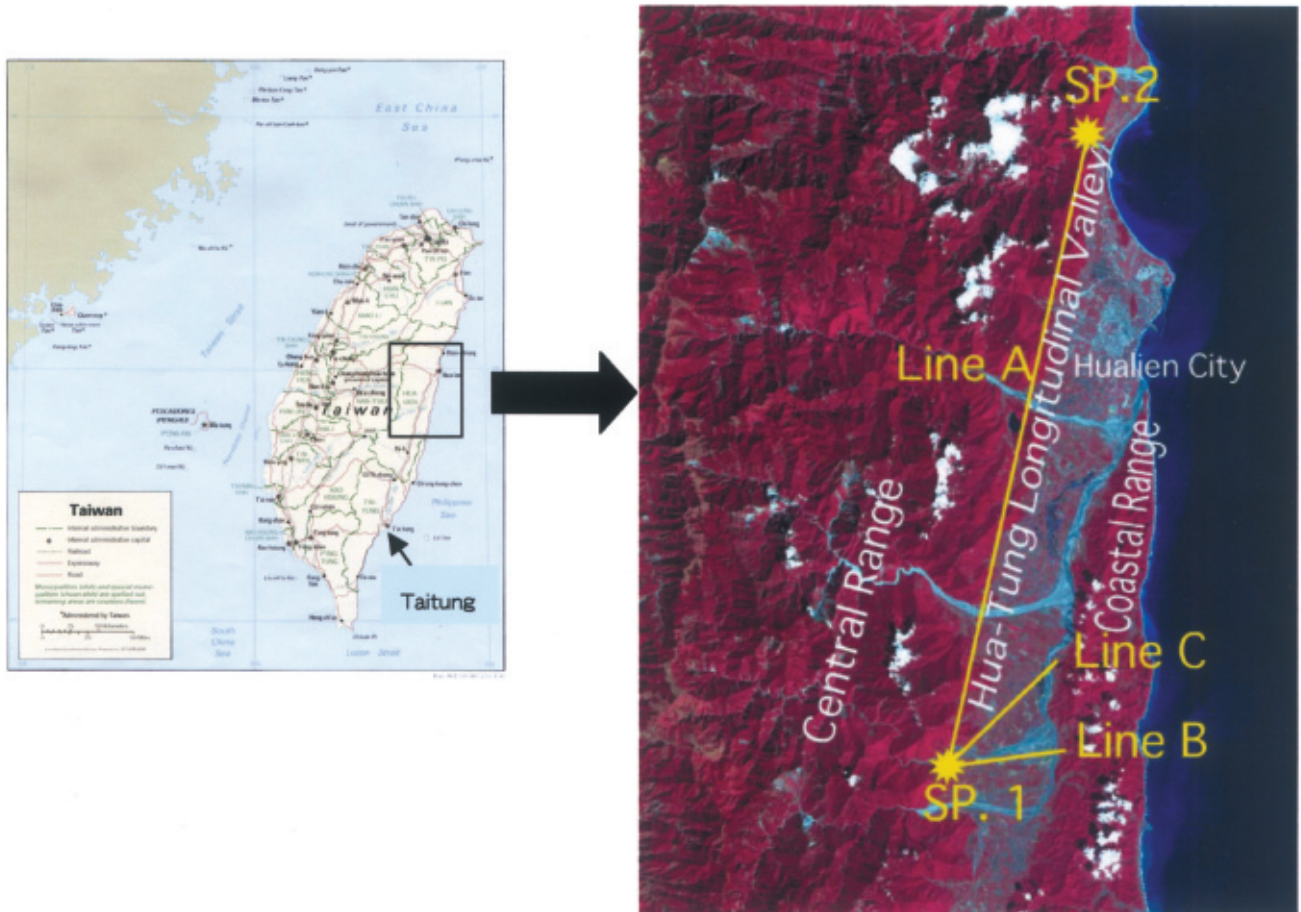


Fig. 1 Location map of Taiwan (left), and JERS-1 SAR Fringe (Iwashita et al. 2001, in Japanese) in and around Hua-Tung Longitudinal Valley. Line A, Line B and Line C indicates lines for the seismic refraction exploration.



Photo 1 Along-distance view of Huan-Tung Longitudinal Valley and Hualien City from Coastal Mountain.

Fig. 1 にあるように花東縦谷の西側には中央山脈，東側には海岸山脈が走り，それらとは山側に傾斜する逆断層によって接している。花東縦谷では，地震活動が活発なこと，断層が沖積層を切っていることから，それらが活断層であることを示している (Sibuet and Hsu, 2004)。しかし，断層に関連する歴史的な被害地震や地殻変動に関する記録等については，縦谷の位置する台湾東部が未開発地区であったため古いものがほとんど残っておらず，詳細は判っていない。

花東縦谷は，この地域を中央山地と海岸山地の異なる地質帯に2分しており，西側の中央山地は大陸縁辺部の地質

構造，一方海岸山脈は島弧と似た地質構造をしている。地質学的に見て海岸山脈はフィリピン海プレートの先端部分に存在していた新第三紀の島弧の名残であると考えられている (許・飯塚, 1986)。花東縦谷北部周辺では，被害を伴う M5 以上の地震がしばしば発生している (楊他, 2002)。

台湾島の地震波速度の解析によれば (例えば, Wu, 1978)，台湾島の主要部となる縦谷から西の部分は大陸と類似する速度構造，一方東側の海岸山脈の下は海洋地殻または漸移帯の速度構造を有していると報告されている。花蓮の南方 35km 付近において，陳 他 (1974) により構造



(a)



(b)

Photo 2 Two quarry blast sites, SP.1 and SP.2 located at Wan-Jung in the middle of Hualien prefecture (Photo (a)) and San-Chan in the Northern part of Hualien prefecture (Photo (b)), respectively.

探査が実施されているが、一次速度構造が示されているだけで、詳しいモデルは明らかにされていない。したがって、花東縦谷周辺地域で詳細な地下構造モデルを解明することは震源決定精度の向上のみならず、この付近のテクニクスを明らかにするためにも非常に重要である。

2. 観測方法

台湾花蓮付近は商業用大理石等の産地であり、採石発破が繰り返し実施されている。そこでこれらの採石発破の振動を利用し、2004年3月から6月の期間に地下構造調査を11回にわたって実施した。観測で利用した採石発破場は、花蓮縣中央にある萬榮 (SP.1) と北部の三棧 (SP.2) の2箇所である (Photo 2)。これらの採石場では、ほぼ週に1度の割合で、100~300kgの火薬を使用し採石を行っている。探査測線は、SP.1からSP.2の両端発破となるLine A (測線長約47km)、SP.1から花東縦谷を東西に横断する片測線Line B (測線長約10km) と北東方向に延びる片測線Line C (測線長約12km) の3測線とした。観測は、同一地点で実施される採石発破を同一測線上で数回にわたって行い、観測点数を増やしていくという方法をとった。1回の観測で展開した点数は3~15点で、延べ85点に達した。

今回の屈折法地震探査では、データロガーに白山工業製のデジタル記録計 (LS8000sh) をサンプリングレート200Hzで使用した。また地震計には、Mark Products社製のL-22D速度型上下動1成分 (固有周波数2Hz、コイル抵抗2k Ω) を用いた。LS8000shの刻時装置はGPSにより校正され、観測中は常に3/1000sec以内の時間精度が維持された。

採石発破の観測は、発破がすべて夕方に行われたため、生活ノイズやラッシュアワーによる交通ノイズの影響を避けることはできなかった。しかし、通常場内の発破はほぼ

1週間の割合で繰り返し実施されているので、ノイズの影響で地震波初動が不明瞭だった観測点では、データを取り直すか、または観測点を移動させるなど、良好なデータを得ることを試みた。そのため再測定を含め、11回の臨時観測を行った。なお1回の観測では、LS8000shを3~15セット展開した (Photo 3)。発破時刻は、採石場内の発破箇所から50m以内に設置した地震計で得られた値を採用した。



Photo 3 A temporary seismograph station setting at GPS receiver.

花東縦谷の西側縁辺部 (中央山脈側) に沿ったLine Aでは、SP.1発破時には32観測点を、SP.2発破時には18観測点を配置した。Line BとLine Cは、SP.1から花東縦谷を横断する測線であるが、花東縦谷の東側にある海岸山脈が険しいため、約10キロの測線長しかとれなかった。Line Bでは15観測点、Line Cでは13観測点を配置した。

3. 観測結果

測線長の短いLine B (約10km) とLine C (約12km) では、SP.1の発破について測線全体にわたり良好な波形

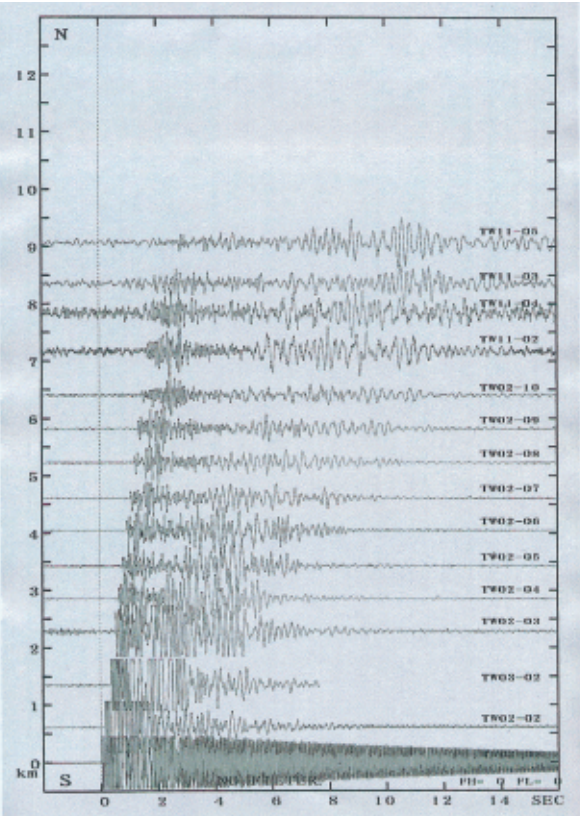


Fig. 2 Record sections on Line B when quarry blasts were performed at SP. 1.

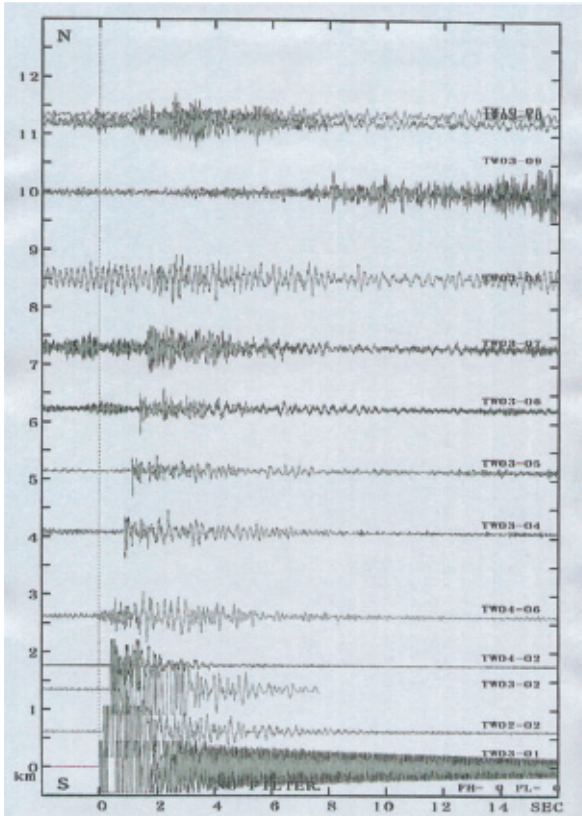


Fig. 3 Record sections on Line C when quarry blasts were performed at SP. 1.

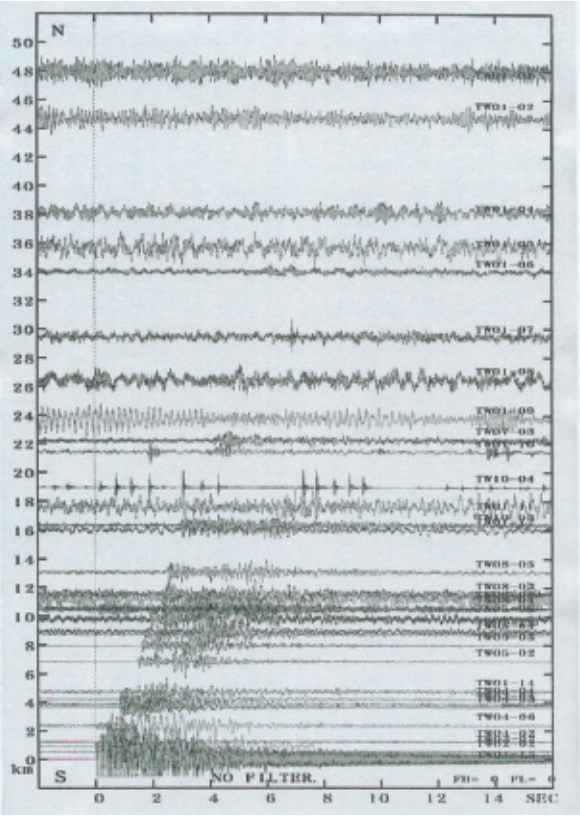


Fig. 4 Record sections on Line A when quarry blasts were performed at SP. 1.

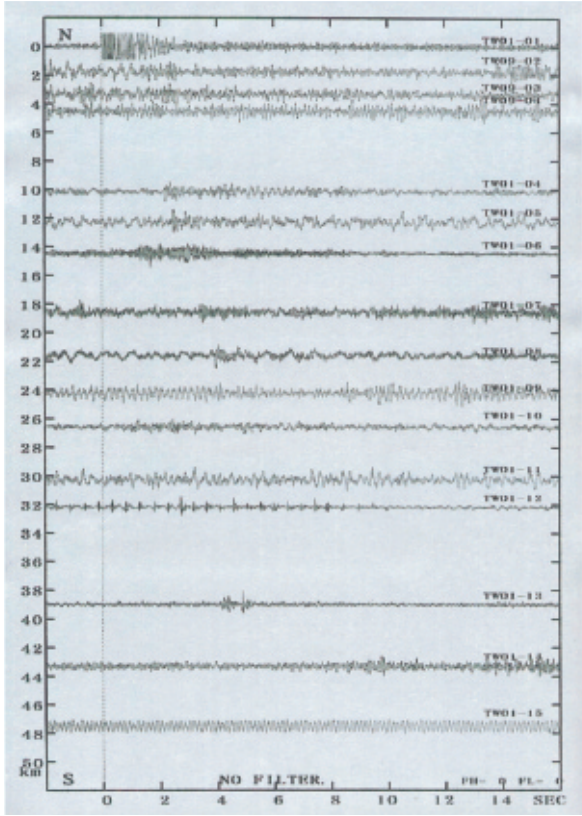


Fig. 5 Record sections on Line A when quarry blasts were performed at SP. 2.

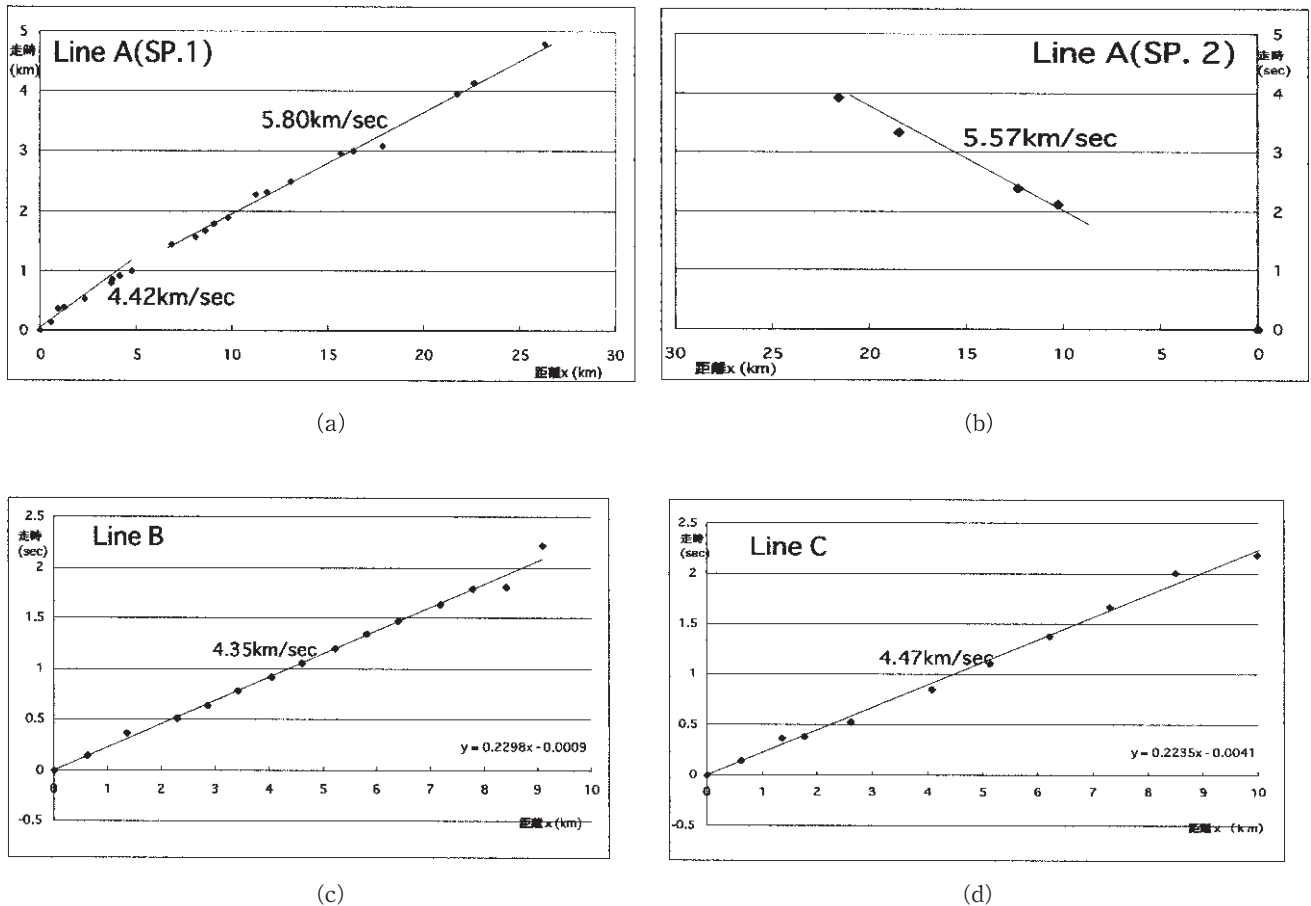


Fig. 6 Travel time curves on (a) Line A for SP.1 blast, (b) Line A for SP.2 blast, (c) Line B for SP.1 blast and (d) Line C for SP.1 blast.

記録が観測された。Fig. 2 に Line B の、Fig. 3 に Line C の Record Section をそれぞれ示す。振幅のスケールは、初動が明瞭になるようトレースごとに調整されている。横軸は観測走時を示している。観測点は、400~700m の間隔で設置された。Line B・Line C とともに屈折波が初動としては確認されず、それぞれ 4.4km/sec・4.5km/sec と非常に速い速度を持つ直達波が約 10km 付近まで観測された。なお Record Section には、明瞭な後続波も確認できた。

測線長 47km の Line A では、SP.1・SP.2 のそれぞれの発破点から約 27km まで初動を得ることができたが、それより遠方では確認ができなかった。SP.1 発破で得られた Record Section を Fig. 4 に示す。横軸は観測走時を示している。観測点は、発破点付近で約 400m 間隔と密に、距離が離れるにつれて間隔は大きくなるように配置した。Fig. 4 では、発破点から約 27km 付近まで良好な記録が得られているが、27~47km 地点あるいは 19km 地点で記録が悪いのは、SP.2 付近の工業地帯や測線を横切る幹線道路による人工ノイズの影響と考えられる。同様に Fig. 5 に SP.2 発破で得られた Record Section を示す。発破点付近では工業地帯のノイズの影響で、記録は良くない。また発破点より 30km 以遠の観測点間隔が粗いため、

今後もデータを蓄積することを予定している。

各測線の走時曲線を Fig. 6 にまとめて示す。SP.1 の発破点付近では、Line A (Fig. 6-(a))・Line B (Fig. 6-(c))・Line C (Fig. 6-(d)) の結果から 4.4km/sec の速度を持つ表層が検出され、その下層ではみかけ速度 5.8km/sec 層が観測された。他方、SP.2 の発破からは、みかけ速度 5.6km/sec が得られた (Fig. 6-(b))。

4. まとめと今後の課題

花東縦谷北端部で採石発破を利用した屈折法地震探査を実施した。その結果をまとめると次の通りである。表層は約 4.4km/sec の速度を持つ礫を主とした堆積層である。厚さは花東縦谷中軸部で約 900m 程度あり、中央山脈側に向かって次第に浅くなると推定される。第 2 層は約 5.7 km/sec の速度を示す。発破点である採石現場の露頭 (Photo 2) や地質図 (台湾地質図, 1974) などから、この層は第三紀の蛇紋岩・黒色片岩などを主体とした地層と推察される。この層の厚さを含む地下構造モデルを明らかにするためには、発破点・測線をさらに増やさない限り不明である。

詳細な地下構造を明らかにするためには、測線の両端に

発破点をおくことが最低限必要である。また、Line A のように測線両端に発破点があっても初動が測線全体で観測されない場合は、測線の中間やそれ以上の間隔で発破点を設け、観測をすることが理想である。花東縦谷周辺地域では、採石発破や道路工事に伴う発破が比較的頻繁に実施されているため、これらの人工震源を利用することにより、今後も地下構造探査が可能であると考えられる。したがってさらに観測を行い、測線を増やしてデータを蓄積することにより、この地域の詳細な地下構造を解明していく予定である。

謝 辞

査読者には、詳細にわたり有益な助言とご指摘をいただいた。観測では、大漢技術学院防災研究センター（台湾）の許 華杞名誉教授をはじめ、聞 祝達センター長他、皆さんに多大なる協力をいただいた。観測で使用した機材は、国立極地研究所 金尾政紀氏より拝借した。国立花蓮高級商業学校（台湾）自然科学教室の生徒諸君には機材の展開に協力をしていただいた。記して感謝する。

本研究では、平成14年度～平成15年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））（課題番号14540399）の研究費を使用した。

参考文献

- 陳 瑞祥, 周 俊雄, 李 彦璋, 周 玉山 (1974): 台湾東部之震測, *Petroleum Geology of Taiwan*, **11**, 147-163.
- 中国測量工程学会 (1974): 台湾地質図 1: 250,000, 中華民國經濟部中央地質調查所編, 1.
- 中国測量工程学会 (1974): 台湾地質図 1: 250,000, 中華民國經濟部中央地質調查所編, 2.
- 中国測量工程学会 (1974): 台湾地質図 1: 250,000, 中華民國經濟部中央地質調查所編, 3.
- 中国測量工程学会 (1974): 台湾地質図 1: 250,000, 中華民國經濟部中央地質調查所編, 4.
- Ho, C. S. (1986): A synthesis of the Geologic Evolution of Taiwan, *Tectonophysics*, **125**, 1-16.
- 岩下 篤, 馬場久紀, 飯塚 進, 許 華杞, 諸星敏一, 原政直 (2001): JERS-1 SAR 干渉画像による台湾東部花東縦谷周辺の変動に関する考察, *九州東海大紀要*, **28**, 51-55.
- 許 華杞・飯塚 進 (1986): 台湾における地殻変動とプレートテクトニクス, *東海大紀要海洋*, **23**, 99-118.
- 瀬野徹三 (1994): 台湾付近のテクトニクス, *地震*, **2**, **46**, 461-477.
- Sibuet, Jean-Claude and Shu-Kun Hsu (2004): How was Taiwan created?, *Tectonophysics*, **379**, 159-181.
- Wu, Francis T. (1978): recent Tectonics of Taiwan, *J. Phys. Earth*, **26**, Suppl., S265-S299.
- 楊 宜升・許 華杞・馬場久紀・岩下 篤・飯塚 進 (2002): 台湾東部至琉球西南諸島海域之地震観測網, *測量工程 (台湾)*, **44**(3), 53-64.

要 旨

台湾花東縦谷北端周辺域で採石発破を利用した屈折法地震探査による地下構造調査を実施した。観測に用いた採石発破場には、花蓮縣中央にある萬栄 (SP. 1) と北部の三棧 (SP. 2) の 2 箇所を利用した。これらの採石場では、ほぼ週に 1 度の割合で、100～300kg の火薬を使用し採石を行っている。探査測線は、両端発破となる Line A (測線長約 47km)、SP. 1 から花東縦谷を東西に横断する片測線 Line B (測線長約 10km) と北東方向に延びる片測線 Line C (測線長約 12 km) の 3 測線とした。

観測の結果は、短測線 Line B と Line C では、測線全体にわたり良好な波形記録が得られ、それぞれ 4.4km/sec・4.5 km/sec と非常に早い速度の直達波が観測された。一方、測線 Line A では SP. 1 と SP. 2 のそれぞれの発破点から約 27 km まで良好な記録を得ることができた。その結果、発破点付近では 4.4km/sec の速度を持つ表層の下に、速度 5.7km/sec の層が観測された。