

## 2001 年台湾中央部水里-合流坪測線における人工地震観測

坂 守\*・羽田敏夫\*\*・蔵下英司\*\*\*

### The 2001 Explosion Seismic Observation in the Central Part of Taiwan (Suili-Heliuping Profile)

Mamoru SAKA\*, Toshio HANEDA\*\* and Eiji KURASHIMO\*\*\*

#### はじめに

1999 年 9 月 21 日 (現地時間) に台湾中央部の南投縣集集を震源地とする  $ML=7.3$  の「台湾集集地震」が起きた。この地震によって大きな被害 (Sakai *et al.*, 2000) と地殻変動 (Seno *et al.*, 2000) が生じた。本震発生から 2 週間後には余震観測が行われ、詳細な震源分布が求められている (Hirata *et al.*, 2000)。この地震から 1 年半余りが経過した今年の 3 月、地震研究所と台湾国立中央大学地球物理研究所との共同研究として、この周辺域のより詳しい地殻構造を調べる目的で、ダイナマイト震源を使った人工地震観測が行われた (図 1)。現在データ解析中であるが、本稿では、観測の概要と得られた地震波形記録を示す。

#### 観測の概要

探査は、台湾中央部の南投縣集集鎮水里の永興から東の合流坪に至る全長 14.5 Km の測線で行われた (図 2)。我々日本側観測班は 3 月 2 日に現地入りし、3 日-4 日に測線の下見、及び観測点の位置決めと杭打ちを行い、5 日から延長ケーブルの展開と DAT レコーダーの設置を始め、9 日までは全 58 台の設置を終えた。この測線の両端にダイナマイト震源が設けられた。各爆破点の位置、爆破時刻、薬量は表 1 に示す。爆破孔は、東側爆破点 (SP-E) では地表から 40.3 m、西側爆破点 (SP-W) では地表から 35.54 m の深さであり、坑壁保護のために、東側爆破点では内径 79 mm、厚さ 6.75 mm、西側爆破点では内径 78 mm、厚さ 9

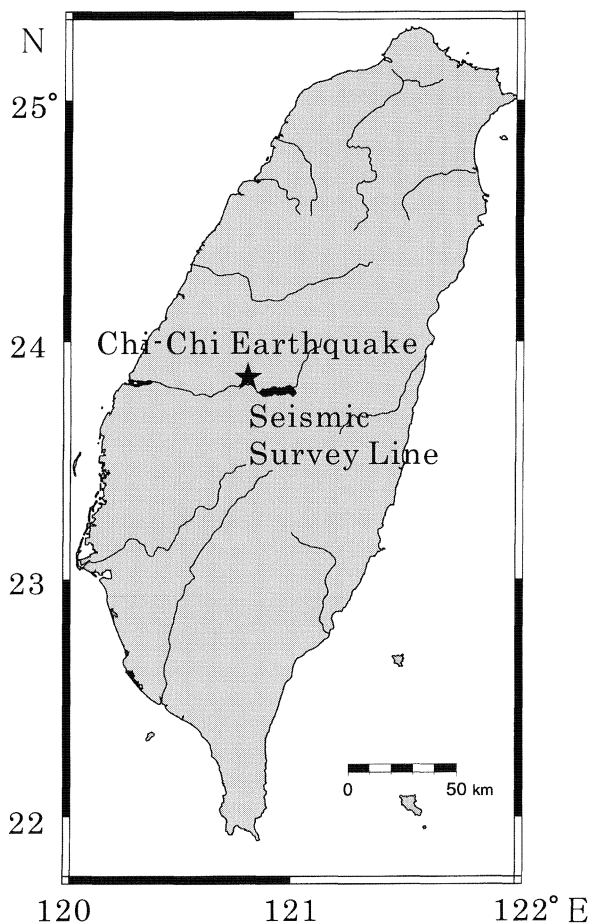


図 1. 台湾南投縣の集集地震震源地と人工地震観測地域  
★印が震源地、●印 (連続している) が DAT 観測点を示す。

mm の鋼鉄製パイプで底までケーシング処理がされている。この底部にダイナマイトを装填した後、現地時間の 3 月 15 日及び 3 月 17 日の夜間に爆破が行われた。観測には単 1 乾電池を電源とする DAT レコーダーを使用した (図 3)。時刻の較正には、GPS を受信して内蔵時計との差を記

2001 年 9 月 4 日受付, 2001 年 10 月 19 日受理.

\* 東京大学地震研究所技術部総合観測室,

\*\* 技術部総合観測室信越地震観測所,

\*\*\* 地震予知研究推進センター.

\* Technical Supporting Section for Observational Research,

\*\* Sin'etsu Seismological Observatory, Technical Support-

ing Section for Observational Research,

\*\*\* Earthquake Prediction Research Center, Earthquake

Research Institute, University of Tokyo.

## 永興 - 合流坪測線

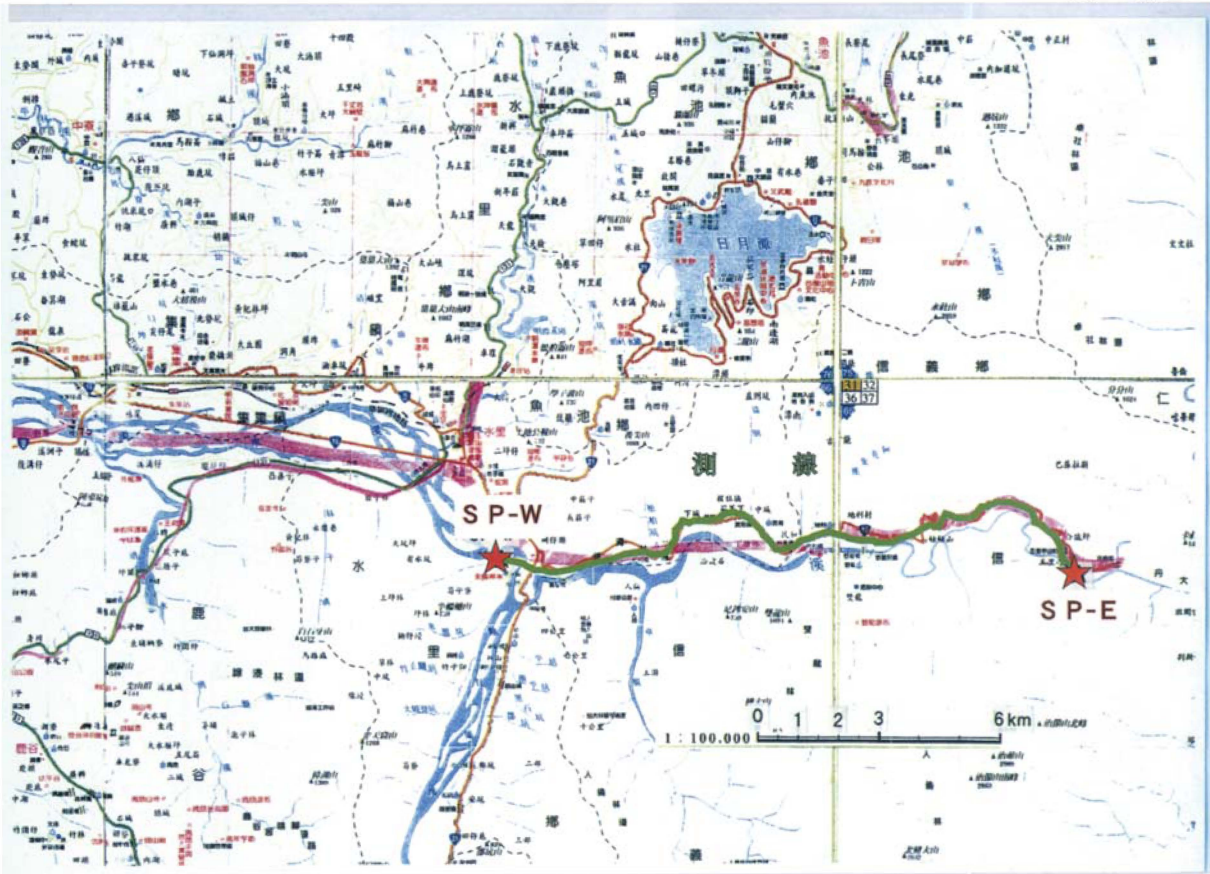


図 2. 「永興-合流坪」人工地震観測測線  
赤の★印が爆破点を示し、緑の太い線が測線を示す。  
永興は SP-W, 合流坪は SP-E に対応する。

表 1. 爆破時刻, 爆破点位置, 薬量

爆破点	日時 (台湾時間)	緯度	経度	高さ	薬量
SP-E	3.15 21:29:42.6	23° 47' 03"	121° 00' 16"	450 m	50 kg
SP-W	3.17 03:11:02.2	23° 47' 21"	120° 52' 05"	298 m	45 kg

WGS84座標系

録する方式により補正を行っている。Sampling 周波数は 100 Hz で、AmpGain は全点を 40 dB で統一した。受信器には反射法地震探査などに良く使われる SM-7B 型の固有周波数 10 Hz の上下動地震計 (9 個組) (図 4) を使用し、S/N 比を上げるために、1 箇所にとまとめて設置するバンチングという方法で 4 Channel 観測を行った (図 5)。展開した DAT レコーダーは全部で 58 台で、その平均間隔は約 250 m とし、1 Station における Channel 間隔は延長ケーブルを利用して約 50 m とした (図 6)。このため、地震計の設置場所を選択する自由度がゼロに等しく、測線の東側では岩山の峻しい崖伝いに道路が作られており、その端から端

までがアスファルトで舗装されていたために、今回使用したスパイク付きの地震計では設置が困難であることが分かった。しかし、山側の露出している岩盤とアスファルトが一体化していることに注目し、岩盤は無理でもアスファルトに孔を開けることは可能なので、電動ドリルを調達し、アスファルトにスパイク径より若干小さめの孔を開け、そこにスパイクを刺し込んで地震計を設置する方法を取った (図 7)。この方法により、記録の質としては、土の地面に刺して設置した記録と比較してよりシャープな良好な記録となった (図 8)。これらにより、設置された総観測点数は 232 点となった。

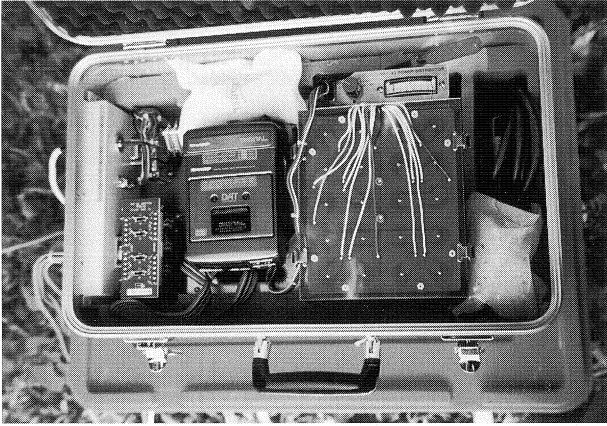


図 3. 観測に使用した DAT レコーダー  
右半分に電源部、その左へ順に DAT テープレコーダー、増幅器、GPS ユニットが内蔵されている。



図 5. バンチングにより設置された地震計  
S/N を良くする。9 個一組で 1 チャンネルずつ接続される。

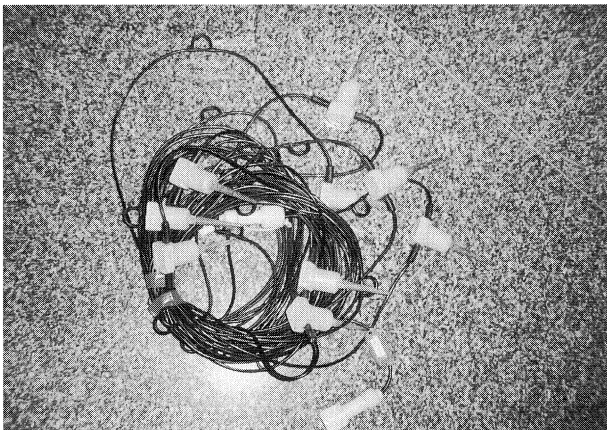


図 4. SM-7B 型上下動地震計  
1.5 m 間隔で 9 個連結しており、両端末に出力コネクタがある。スパイク部分を地面に刺して固定する。

### 観 測 結 果

得られたデータは現在解析中のため、本稿では、各爆破点の爆破に対応する測線における波形記録（レコードセクションと呼ばれる）から推察できる簡単な説明にとどめる。図 9, 10 に、それぞれ SP-E, SP-W のレコードセクションを示す。各記録は縦軸に時間 (S)、横軸には暫定的に、各 Channel 間を等間隔に並べてある。波形には 7-20 Hz の Band Pass Filter (B.P.F) をかけてある。振幅には Auto Gain Control (A.G.C) = 2.0 秒の処理が施してある。各記録とも明瞭な初動が認められる。SP-E では顕著な後続波らしきものは認められなかったが、SP-W では 3 秒、4 秒、及び 7 秒付近に明瞭な後続波（図 10 中の矢印）が認められた。これらの波は地下深部からの反射波と考えられ、地殻内の不均質構造を反映していると思われる。また、

SP-E において顕著な後続波が認められないことから、測線に沿って傾斜するこの地域の地殻構造が推察できる。

### ま と め

台湾中央部の集集周辺域の地殻構造を調べる人工地震観測が 2001 年 3 月に行われた。観測用 DAT レコーダーは 3 月 5 日から 3 月 9 日にかけて 58 台が展開され、全長 14.5 Km の測線の両端で約 50 kg のダイナマイトを用いた爆破が、3 月 15 日及び 3 月 17 日に行われた。得られた 2 つのレコードセクションでは共に良好な初動が認められた。また、西側の爆破点 (SP-W) では、明瞭な反射波と思われる後続波が確認され、これらの波は地殻内の不均質構造を示していると思われる。更に、東側の爆破点 (SP-E) では明瞭な後続波が認められないことから、この測線に沿って傾斜する地殻構造を反映している可能性がある。今後、詳しいデータ解析が行われることにより、集集周辺域の地下構造が明らかにされるものと思われる。最後に、いくつかの観測点の設置風景を図 11 から図 20 に示す。

謝 辞：本実験の観測は、文部省科学研究費補助金、基盤研究 (A) (2) (課題番号 12373001) 代表者：平田 直教授、海外共同研究者：国立中央大学地球科学系 王 乾盈教授、顔 宏元副教授によって実施されました。また、爆破孔の用地交渉、ボーリング及び爆破作業は株式会社地球科学総合研究所の請負で行われました。観測に際し、地球科学総合研究所の加藤太郎氏には大変ご協力をいただきました。また、データ回収では平田 直教授、地球科学総合研究所の黒田 徹氏にご協力をいただきました。本稿の執筆にあたっては地震予知研究推進センターの平田 直教授、地震地殻変動観測センターの岩崎貴哉教授には適切な指導と助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

各STATIONにおける4 Channel 設置図

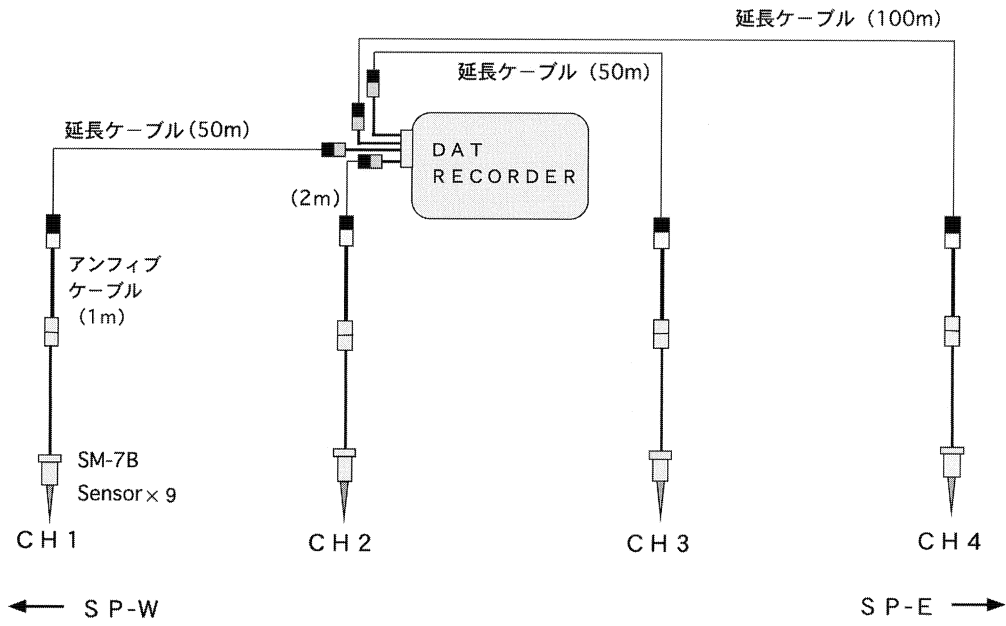


図 6. 各 STATION における 4 チャンネル設置図  
DAT レコーダーの近くに Ch2 を置き、ここを基準に延長ケーブルを利用して SP-W 方向に Ch1, SP-E 方向に Ch3, Ch4 をそれぞれ 50m 間隔で 4 チャンネル設置した。



図 7. アスファルトに電動ドリルで孔を開けて設置された地震計

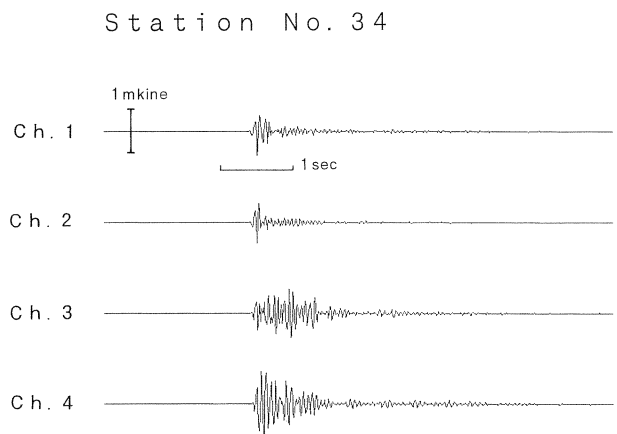


図 8. Station No. 34 に設置された 4 チャンネル記録  
Ch1, Ch2 がアスファルトに孔を開けて設置して得た記録.  
Ch3, Ch4 が土の地面に刺して設置して得た記録.

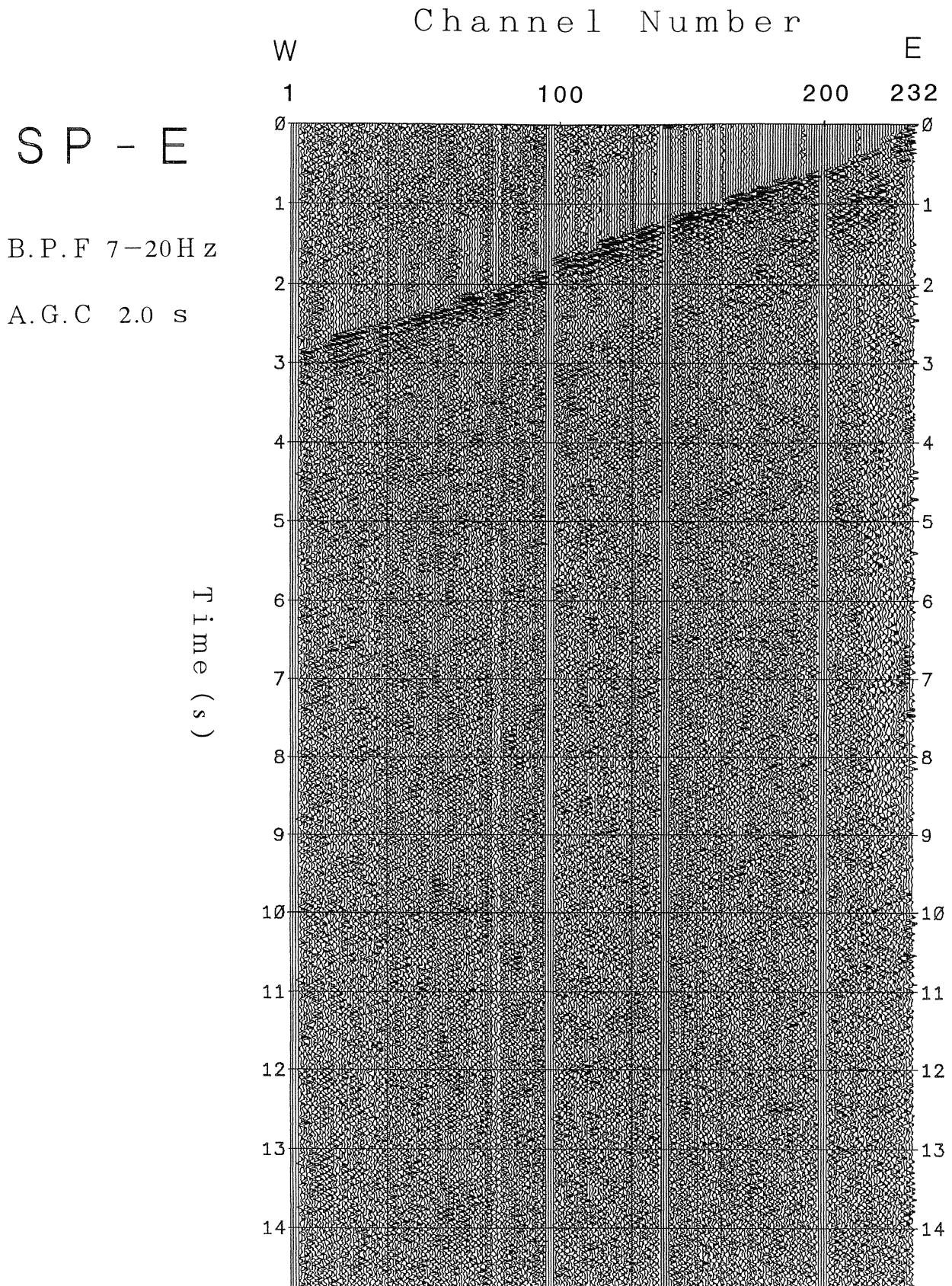


図 9. 東の爆破点 SP-E による記録セクション  
 西側 (W) が Station No. 1-Ch1 に, 東側 (E) が Station No. 58-Ch4 に対応し, 総チャンネル数 232 点を等間隔で順に並べてある.  
 後続波らしきものは特に見られない。

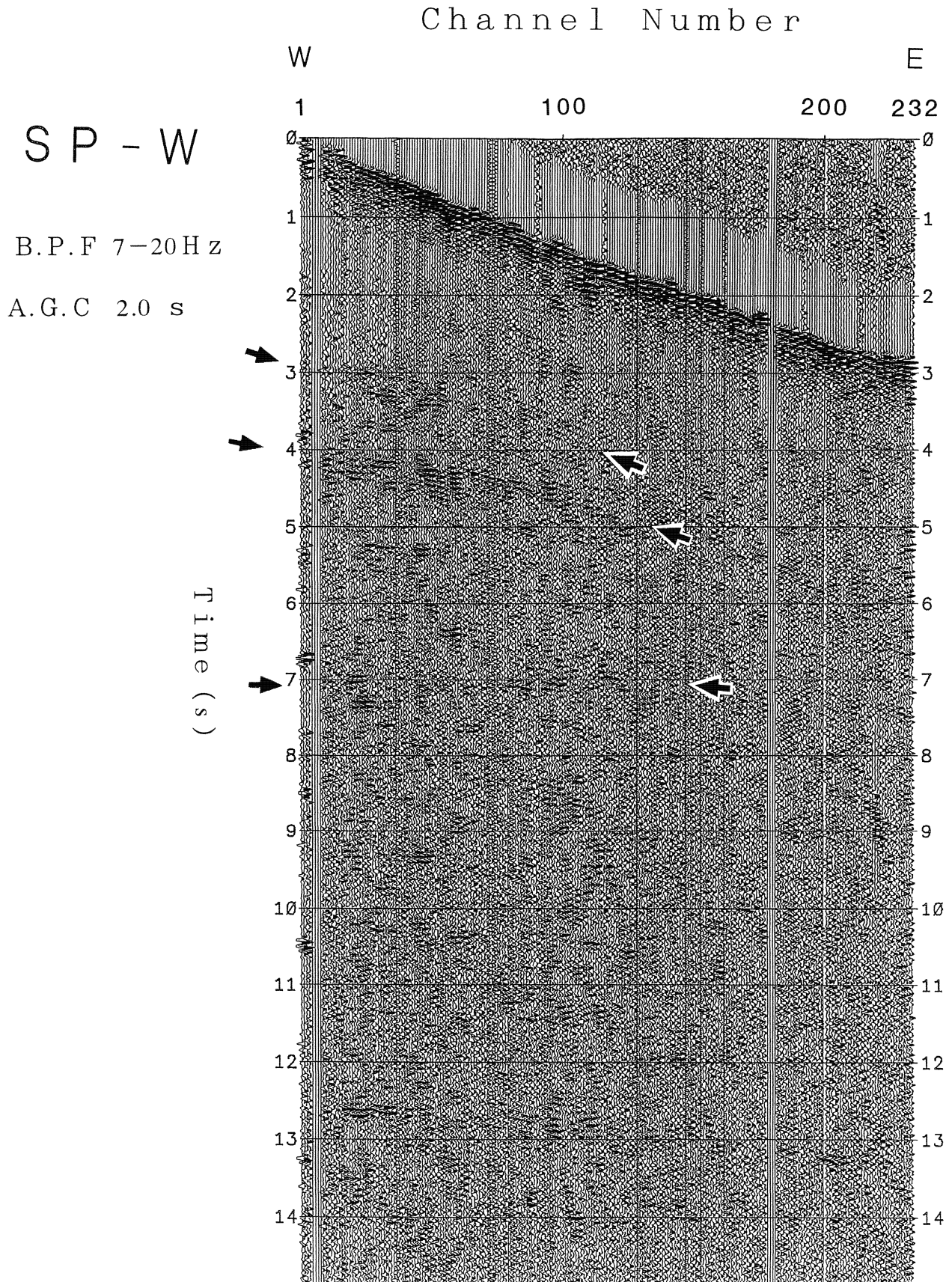


図 10. 西の爆破点 SP-W によるレコードセクション  
 3 秒, 4 秒, 及び 7 秒の矢印に示す位置に明瞭な後続波が見られる。  
 これらは地下深部からの反射波と考えられ, 地殻内の不均質構造を反映していると思われる。



図 11. 発破点のボーリング作業



図 12. Station No. 4-Ch2 の設置点  
DAT レコーダーを操作中.



図 13. Station No. 13-Ch2 の設置点  
中央部に GPS アンテナと梱包された DAT レコーダーが見える.



図 14. Station No. 17-Ch2 の設置点  
GPS 受信作業中.



図 15. Station No. 22-Ch2 の設置点  
檳榔（ビンラン）林の中で地面は非常に硬い.



図 16. 岩山に作られた測線上の道路  
右側が SP-E 方向



図 19. Station No. 51-Ch2 の設置点  
アスファルトに孔を開けて設置された地震計.



図 17. Station No. 29-Ch2 の設置点  
アスファルトに孔を開けて設置された地震計.



図 20. Station No. 53-Ch2 の設置点  
アスファルトに孔を開けて設置された地震計. コンクリート  
塀の左側は瓦礫の捨場で地震計の設置には向かない.



図 18. Station No. 34-Ch2 の設置点  
アスファルトに孔を開けて設置された地震計.



## 文 献

- Hirata, N., S. Sakai, Z.-S. LIAW, Y.-B. TSAI and S.-B. YU, 2000, Aftershock observations of the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **75**, 33-46.
- Sakai, Y., K. Koketsu, S. Yoshioka and T. Kabeyazawa, 2000, Damage to buildings caused by the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake and earthquake response analyses using recorded strong ground motions, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **75**, 15-32.
- Seno, T., K. Otsuka and C.-N. YANG, 2000, The 1999 Chi-Chi Taiwan Earthquake: a subduction zone earthquake on land, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **75**, 55-77.