

# 1999 年台湾集集地震の強震記録の主軸解析

岐阜大学工学部 正会員 ○能島 暢呂  
 岐阜大学工学部 正会員 杉戸 真太  
 岐阜大学工学部 正会員 古本 吉倫

**1. はじめに** 断層近傍における強震動には、放射パターンやディレクティビティーに起因する震動の方向性や増幅効果が表われる。近年、設計用入力地震動を設定する際に、断層の広がりや破壊伝播などの影響を考慮することが要求される傾向にあり、震源域での強震動特性の解明は大きな課題である。こうした中、1999年9月21日に台湾中部で発生した集集地震では、広域かつ高密度な観測網によって、断層近傍を含む多数の地点で強震記録が得られた<sup>1)</sup>。本研究は、台湾中央気象局により公開された約400地点での強震記録の水平二成分に主軸解析を適用し、地震動強度および震動卓越方向の時空間的分布特性について検討を行ったものである。

**2. 強震記録の概要** 台湾中央気象局(CWB)は、1999年9月21日1時47分に発生した集集地震(M=7.3)において得られた強震記録をCD-ROMで公開している<sup>2)</sup>。CD-ROMには約650箇所の地表面強震観測点のうち、422地点で得られた本震の三成分の加速度記録が収録されている。本研究ではこのうち、観測点の重複や記録に不備のあった23地点を除いて、399地点の水平二成分の加速度記録を解析対象とした。なお本研究では、0.12~15.0 Hzの帯域フィルター処理を施し、断層運動に伴う地盤の残留変位については考慮の対象外としている。

**3. 主軸解析の方法** (1) 分散・共分散行列に基づく主軸解析<sup>3)</sup> …… 時刻歴のEW成分  $x_1(t)$  およびNS成分  $x_2(t)$  の分散・共分散行列は、 $S_{ij} = \text{Cov}[x_i(t), x_j(t)]$  を  $ij$  要素とする  $2 \times 2$  の実対称行列であり、固有値解析を適用して得られる第1固有ベクトル  $\vec{l}_1 = (l_{11}, l_{21})^T$  と第2固有ベクトル  $\vec{l}_2 = (l_{12}, l_{22})^T$  は、時刻歴波形の第I主軸(強軸方向)と第II主軸(弱軸方向)を表わす。対応する固有値をそれぞれ  $\lambda_1, \lambda_2$  とすると、水平二成分の全パワーは、第I主軸成分  $P_I = \lambda_1 T_d$  と第II主軸成分  $P_{II} = \lambda_2 T_d$  に分解される。ここに  $T_d$  は継続時間を表わす。(2) 楕円を用いた震動卓越方向の表現法 …… 第I・第II主軸の全パワー平方根をそれぞれ楕円の長径・短径に対応づけて、パラメータ  $a = \sqrt{\lambda_1 T_d}$ ,  $b = \sqrt{\lambda_2 T_d}$ ,  $\theta_I = \tan^{-1}(l_{21}/l_{11})$  で表わされる楕円によって震動卓越方向を表現する。ただし  $\theta_I$  は、第I主軸がN90°Eと反時計回りになす角度である。楕円の面積  $A = \pi\sqrt{P_I P_{II}}$  は、第I主軸と第II主軸の全パワーの相乗平均に比例し、楕円に外接する長方形の対角線の長さ  $L = 2\sqrt{P_I + P_{II}}$  は、水平二成分の全パワーの平方根に比例する。また弱軸・強軸比  $b/a$  は、震動の相対的な偏向度合いを表わす。(3) 平均化領域内での加重平均による格子データ化<sup>4)</sup> …… 強震観測点は不規則に分布しているため、規則的な

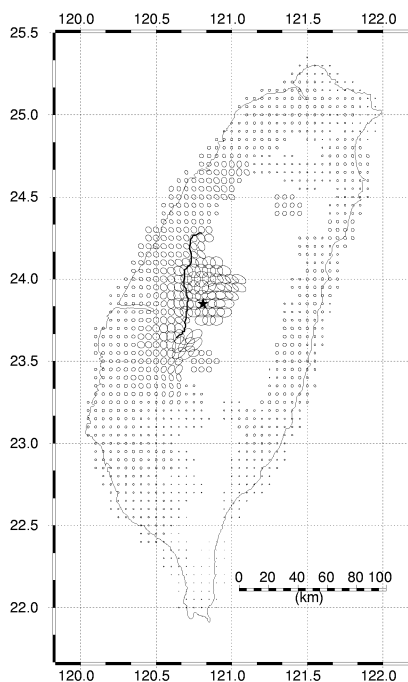


図1 加速度のパワーと方向性の分布

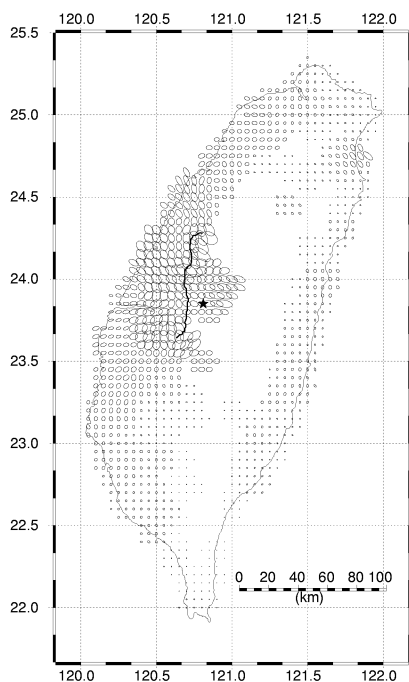


図2 速度のパワーと方向性の分布

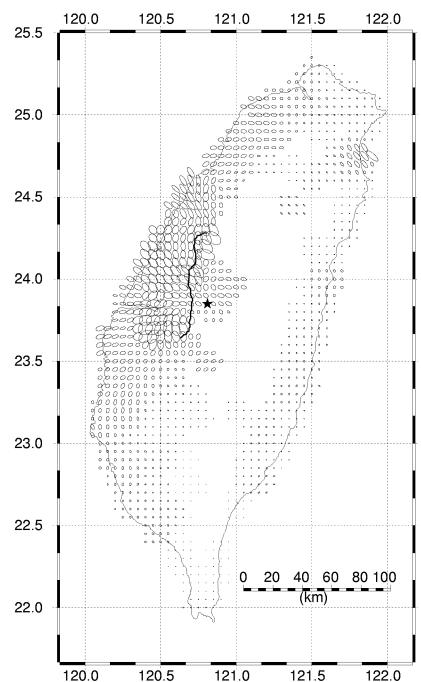


図3 変位のパワーと方向性の分布

<sup>†</sup>Principal Axis Analysis of Strong Motion Records of the Chi-Chi Earthquake, 1999  
 Nobuoto Nojima, Associate Prof., Gifu Univ., Masata Sugito, Prof., ditto, Yoshinori Furumoto, Research Associate, ditto.

格子点上のデータに補間することにより、全体的傾向が理解しやすい可視化情報が得られる。本研究では、任意の格子点を中心とする半径  $R$  の円形平均化領域を考え、格子点からの距離  $d(0 \leq d \leq R)$  に応じて  $w(d) = e^{-\alpha d/R}$  を重みとする加重平均により、 $a$ ,  $b$ ,  $\theta_I$  の格子点上の値を求め、楕円形状を補間する。

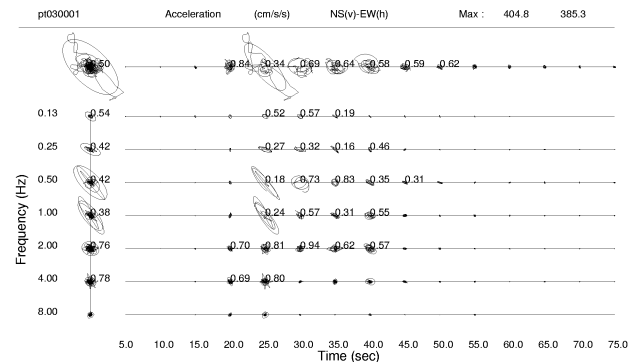
(4) 主軸の時間一周波数解析 …… 原波形を狭帯域フィルターで処理し、任意時間の区間波形を対象として主軸解析を適用すれば、簡易的に主軸の時間一周波数解析を行うことができる。

**4. 結果と考察** 図1～図3は、加速度、速度、変位の水平二成分を用いて主軸の空間的分布を求めた結果であり、★印は震央、太線は地表面断層（車籠埔断層）のトレースを示す。経度・緯度とも0.05度刻み（約5.1km × 5.6km）のメッシュ領域で台湾をカバーし、各格子点上において、円形平均化領域の半径を  $R = 10$  km、パラメータ  $\alpha = 2.0$  として、観測点で求められた楕円形状を空間補間した。まず、図1に示す加速度についてみると、断層の西側（下盤側）よりも東側（上盤側）でパワーが大きい。震動卓越方向については、地表面断層東部では東西から北西－南東の方向性、地表面断層南端部付近で北東－南西の方向性が認められるが、断層からの距離とともに、方向性は急激に不明確になっている。次に、図3に示す変位のパワーの分布をみると、断層の東側よりむしろ西側の平野部に広がりを見せ、長周期成分が地盤の増幅特性の影響を受けて卓越した結果と考えられる一方、節状に震動の小さな地域も認められる。震動卓越方向は加速度の場合よりも明確に表われている。特に、断層中央部から北部の東側の地域では、断層の走向とほぼ直交する北西－南東の方向性が顕著であり、断層南西部では北東－南西の方向性が認められる。また断層から離れるにつれて、方向性が系統的かつ連続的に変化しており、かなり遠方まで方向性が表われている。震動卓越方向の空間的分布特性は、震源過程、伝播経路、局所地盤の影響を受けているものと考えられ、今後、影響要因の分析が課題である。図2に示す速度については、加速度と変位のほぼ中間的な傾向を示している。図4は、光正国民小学校 (TCU052) および日月潭 (TCU084) における加速度記録の水平二成分を、1 oct 幅の7種類の狭帯域フィルターで処理し、5秒ごとの区間波形に主軸解析を適用した結果である。粒子軌跡および方向性を示す楕円に加えて、全パワーへの寄与率が0.5%以上の区間には、 $b/a$  の値を示した。まず震源断層北部の図4(a)をみると、全波形では  $b/a = 0.50$  であるが、最大振幅を示す25秒付近で北西－南東 ( $\theta_I = 125^\circ \sim 130^\circ$ ) の方向性が顕著であり、特に0.5～1Hz帯においては、 $b/a = 0.18 \sim 0.24$  となっている。一方、震源付近の図4(b)をみると、震動卓越方向が東西 ( $\theta_I = 2^\circ$ ) であり、全波形で  $b/a = 0.43$  と強い方向性を示しているが、周波数領域では  $b/a$  が振動数とともに単調増加して方向性が弱くなり、時間領域では主要動を除く部分で方向性が弱くなる傾向にある。断層近傍の観測点の加速度・速度・変位を用いて同様の解析を行った結果、時間領域および周波数領域で部分的に強い方向性が表われるケースが多く認められた。

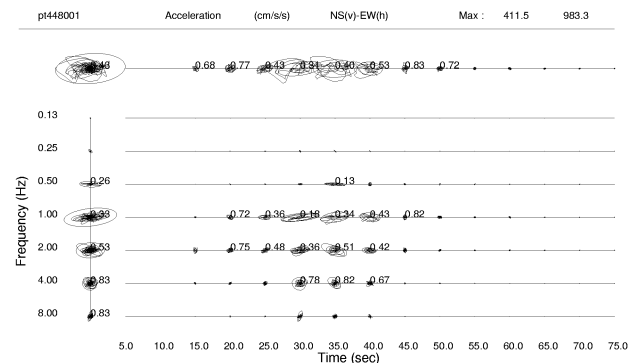
**5. おわりに** 本研究では、1999年台湾集集大地震で得られた強震記録の水平二成分を用い、主軸の時空間的分布特性に関する考察を行った。今後、上下動成分を含めた三成分での主軸解析を行うとともに、震源過程、基盤構造、地盤特性に関するデータを収集し、被害との関連などについて、より詳細な検討を行ってゆく方針である。

【謝辞】 膨大なデータをいち早く取りまとめ、強震記録をご提供いただいた台湾の関係各位に深く謝意を表します。

【参考文献】 1) Shin, T. C., Kuo, K. W., Lee, W. H. K., Teng, T. L., and Tsai, Y. B.: A Preliminary Report on the 1999 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake (To appear in the Jan/Feb 2000 issue of Seismological Research Letters). 2) CWB Free-Field Strong-Motion Data from the 921 Chi-Chi Earthquake: Volume 1. Digital Acceleration Files on CD-ROM, 1999.12. 3) 星谷勝・石橋裕: 地震動ベクトルの主軸と波形特性, 土木学会論文報告集, 第268号, 1977.12, pp.33-46. 4) 流れの可視化学会編集: 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, 1986, pp.419-425.



(a) 光正国民小学校 (TCU052 : 120.7400°E, 24.1980°N)



(b) 日月潭 (TCU084 : 120.8998°E, 23.8830°N)

図4 時間一周波数領域における水平加速度の主軸の変化