

小波轉換應用於土石流地聲分析-以愛玉子溪事件為例

方耀民^[1] 李秉乾^[2] 周天穎^[3] 張桂芳^[4]
連惠邦^[5] 林裕益^[6] 連榮吉^[7] 尹孝元^[8]

摘要 本文針對南投縣信義鄉神木村的愛玉子溪觀測站，觀測到 2004 年 7 月 2 日敏督利颱風和 2006 年 6 月 9 日水災發生兩次土石流事件，利用小波轉換（wavelet transform）分析地聲檢知器資料後，不但可以分離出外在環境的干擾，也可以既快速又準確的判斷出土石流事件發生的時間。由於土石流地聲訊號的強度與土石流的規模有直接的關聯性，故利用小波轉換後的累積能量，訂出小波累積能量指標（wavelet energy indicator），再經由這兩次不同規模的土石流事件結果，暫訂出愛玉子溪土石流地聲觀測指標值。由於小波轉換的計算量小，可於土石流觀測站的前端電腦直接運算，並作為災害來臨時，判斷土石流發生的時間與規模之依據，並可大幅提升防災應變的能力。

關鍵詞：土石流地聲、地聲探測器、小波轉換、小波累積能量指標。

Analysis of Debris Flow Underground Sound by Wavelet Transform - A Case Study of Events in Aiyuzih River

Yao-Min Fang^[1] Bing-Jean Lee^[2] Tien-Yin Chou^[3] Kuei-Fang Chang^[4]
Hui-Pang Lien^[5] Yu-I Lin^[6] Jung-Chie Lien^[7] Hsiao-Yuan Yin^[8]

ABSTRACT The wavelet transform is employed in this study to analyze the underground sound of debris flows obtained from the geophones. Two debris flow events observed at Shenmu Village monitoring station (Nantou County) on July 2, 2004 (Mindulle typhoon) and June 9, 2006 are selected as examples. It is found that the wavelet transform not only can effectively separate ambient noise but also can be used to determine the beginning time of the debris flow event. To estimate the

-
- [1] 逢甲大學地理資訊系統研究中心博士後研究員（通訊作者）
Postdoctoral Fellowship, Geographic Information System Research Center, Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan, R.O.C. (Corresponding Author)
E-mail: frankfang@gis.tw
- [2] 逢甲大學土木工程學系教授
Professor, Department of Civil Engineering, Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan, R.O.C.
- [3] 逢甲大學土地管理學系教授
Professor, Department of Land Management, Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan, R.O.C.
- [4] 逢甲大學應用數學系教授
Professor, Department of Applied Mathematics, Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan, R.O.C.
- [5] 逢甲大學水利工程學系教授
Professor, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan, R.O.C.
- [6] 農委會水土保持局監測管理組組長
Director, Monitoring and Management Division, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 54044, Taiwan, R.O.C.
- [7] 農委會水土保持局監測管理組科長
Section Chief, Monitoring and Management Division, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 54044, Taiwan, R.O.C.
- [8] 農委會水土保持局監測管理組技正
Technical specialist, Monitoring and Management Division, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 54044, Taiwan, R.O.C.

magnitude of debris flow event, a so-called wavelet energy indicator is proposed. Since the computational time of wavelet transform is small and can be implemented in the computer at monitoring station, it can be used to determine the occurrence of debris flow and estimate its magnitude.

Key Words: geophone, debris flow underground sound, wavelet transform, wavelet energy indicator.

一、前言

台灣位處於環太平洋地震帶上，經常性的地殼變動造成土質鬆軟，每逢雨季來臨時，西太平洋颱風及豪雨往往引發嚴重災情。再加上台灣山區地形陡峭，在陡坡多、降雨多、土石堆積多的三多條件下，土石流容易產生。在歷經 921 大地震與桃芝颱風後，土石流發生的次數逐漸增加，嚴重影響台灣整體經濟環境與自然生態的平衡，使得土石流儼然成為臺灣山坡地災害的代名詞。土石流觀測系統 (debris flow observation system) 因具有即時掌握土石流發生前的預兆和發生時之土石流動的動態，不僅有助於土石流各項學理研究之發展，在防災應變方面，更能獲得災害現場變異的即時資訊。農委會水土保持局 (2003) 目前在全國已建置十三座土石流觀測站，可以大幅提升防災應變之能力。

為了有效取得土石流發生時之地表振動的變化情形，採序列式佈設兩組地聲檢知器於愛玉子溪，下游地聲檢知器設置於愛玉子溪橋墩處右側護岸上，距離愛玉子溪橋約 5 公尺，中游地聲檢知器則裝設距愛玉子溪橋約 178 公尺處，兩組序列地聲相距約 173 公尺。本研究採用的 Geospace 公司之三軸地聲速度檢知器，其可量測頻寬為 8-1500Hz，詳細規格如表 1 所示。此地聲所量測的物理量為速度，量測電壓與速度的關係為 $1V=0.28cm/sec$ 。由於土石流內部土砂礫石間相互撞擊摩擦所產生的頻率特性，應屬於低頻範圍，與一般之水流、風雨、和儀器電壓雜訊等訊號有明顯區別，但卻不能不排除有頻率較高的成分，因而量測時應採用高取樣頻率。故本研究採用的取樣頻率為 500Hz，而有效頻率為取樣頻率的 0.5 倍為 250Hz 範圍內。

本研究針對地聲檢知器，運用現有的訊號分析方法 (哈爾小波轉換)，找出一套既快速又能有效即時判斷土石流發生的時間，在災害未發生前即時獲得現場可能變異的瞬間資訊，以及災害發生的過程中快速判斷災害規模，並可提升土石流災害應變的能力。

表 1 地聲檢知器詳細規格

Table 1 The specification of Geophone

地聲檢知器 (Geophone)	1.型式 (Type)：具三軸接收功能； Digital grade long travel geophone 2.動態範圍 (Dynamic Range)： > 96 db 3.線性度 (Linearity)：<0.3% F.S 4.頻寬 (Bandwidth)：8.0 to 1500 Hz 5.頻率反應 (Frequency Response)：4.5 ~ 315 Hz 6.阻尼 (Damping)：標準 0.7
---------------------	--

二、土石流地聲分析

1. 快速傅立葉轉換 (FFT) 分析

地聲檢知器 (geophone) 主要是量測土石流動時巨礫滾動、摩擦和撞擊河床所造成的地表振動訊號。此種振動訊號是透過地表或土壤的傳播，又稱為土石流地聲 (underground sound of debris flow)。中國大陸學者吳積善等人 (1990) 利用壓電陶磁式地聲檢知器於雲南蔣家溝測得 18 場土石流地聲資料，認為土壤組成的顆粒會影響土石流地聲頻率的特性，利用快速傅立葉轉換分析，其頻率多介於 25~80Hz。Arattano (2003) 分析四場發生在東義大利阿爾卑斯山 (Eastern Italian Alps) Moscardo 流域的土石流地聲訊號，發現當土石流波湧通過地聲檢知器時之振幅最大，會出現尖峰值。並由相鄰兩個地聲檢知器所測得的振幅尖峰值發生的時間，可以推算出土石流流過這兩個測點間的平均流速。Itakura *et al.* (1997) 測得 Nojiri River 的土石流地聲訊號頻率主要介於 20~60Hz。劉格非等人 (1999) 經由室內及野外實驗結果顯示，無論砂石粒徑之大小，其土砂相互撞擊產生的頻率多分布在 20~80Hz 之間，且以 40~60Hz 居多。美國地質調查所 (U. S. Geological Survey) Richard (1996) 亦認為土石流地聲頻率約在 10~300Hz 之間，顯著頻率介於 30~80Hz。