

# 小林村堰塞壩潰壩時間點與潰壩洪峰歷程之震動訊號分析

馮正一

國立中興大學水土保持學系 教授

## 摘 要

小林村在 2009 年莫拉克颱風中遭獻肚山崩塌掩蓋，此崩塌土石亦形成堰塞壩與堰塞湖。該堰塞壩又遭堰塞湖水溢頂而產生侵蝕而潰壩，潰壩之洪水往下游攻擊，沖毀許多房屋與橋樑。此潰壩洪水的事件，夾帶巨大的能量而產生了地盤的震動。Feng (2011) 首先發現該潰壩洪水的震動訊號由台灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)的甲仙站(SGSB)寬頻地震儀所連續記錄測得，而得以分析 4 個小時完整的潰壩洪水歷程。Feng (2011) 並首先應用 Hilbert-Huang Transform (HHT) 對甲仙站(SGSB)的寬頻垂直震動訊號進行時頻分析，進而將小林村堰塞壩潰壩時間點進行估計，並對潰壩洪峰在旗山溪的河川動力歷程：如洪水到達時間、洪水延時與洪水行進速度等進行估計與解釋。但本研究另以帶通過濾(band-pass filter)的方式過濾甲仙站(SGSB)的記錄，不需進行 HHT 分析即可得到相當的洪水訊號之萃取效果，除了垂直向的震動訊號分析，並補充了甲仙站(SGSB)寬頻地震儀的東西(E-W)與南北(N-S)兩個水平方向的震動訊號分析。這些以連續震動訊號分析潰壩洪峰歷程之對學術上貢獻為：1. 發現寬頻測站的連續記錄可做為探測河川動力(river dynamics)行為的重要新來源；與 2. 提供旗山溪堰塞壩潰壩洪水歷程模擬之束制條件(empirical constraint)。

關鍵詞：小林村、堰塞壩、潰壩、洪水、BATS、帶通過濾(band-pass filter)

## The dam-break time of Xiaolin landslide dam and the seismic signal analyze of dam-break flooding progress

Zheng-yi Feng

Professor, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

### ABSTRACT

Xiaolin was covered by the landslide of Xian Du Shan during the Typhoon Morakot in 2009, and this landslide also caused landslide dam and quake lake. The landslide dam also eroded by overtopping water and then caused it to failure. Dam-break flood attacked downstream and destroyed many houses and bridges. The incident of dam-break flooding carried massive power and brought out the vibration of 地盤. Feng (2011) first noticed that dam-break flood's seismic wave was recorded continuously by Broadband Array in Taiwan for Seismology (BATS) of Jiaxian (SGSB) broadband seismometer and then analyzed complete dam-break flooding progress for four hours. Feng (2011) first applied Hilbert-Huang Transform (HHT) to do the time-frequency analysis of Jiaxian's broadband seismic signals, and estimated the timing of Xiaolin dam-break; furthermore, doing estimation and explanation to the dam-break flood's stream dynamic progress at Qishan River, such as flood arriving time, flood time-delay, and speed of flood, and so on. This research was used band-pass filter to filtrate Jiaxian's data; therefore, we didn't need to do the HHT analysis but also can obtain the result of appropriate flood signal, and supplied two horizontal direction's seismic signal analysis, (E-W) and (N-S) of Jiaxian broadband seismometer. At the end, we can collated it with Feng's (2011) vertical analysis data. This way that used continuous seismic signal to analyze dam-break flooding progress has some contribution in academic. First, broadband station's continuous record data can be the important new sources of searching river dynamics behavior. Second, provide the empirical constraint of analogy in Qishan River dam-break flooding progress.

*Key word* : Xiaolin, landslide dam, dam-break, flood, BATS, band-pass filter.

## 一、前言

位於台灣南部的小林村，在莫拉克颱風期間慘遭掩埋，繼而形成堰塞湖與堰塞壩，此堰塞壩後又遭洪水溢流過頂而潰壩，堰塞湖存在的時間長短主要有三個因素：河水入流量、壩體形狀體積、地質特性等，堰塞湖的潰決通常會造成重大災害，但其存在時間長短會直接影響災害的嚴重性。

此洪水事件是由於旗山溪旁之堰塞湖存活時間短暫，造成400多人死亡、多數人家園毀損。Feng(2011)的研究是使用HHT分析洪峰潰壩之時間，本研究則嘗試使用帶通濾波(band-pass filter)來進行洪水訊號萃取。

對於甲仙洪峰潰壩時間點，過去已在多篇研究中皆有指出潰壩時間點，目前根據民眾口述約在當日07:00a. m. 左右(陳樹群等, 2009; 董家鈞等, 2009)。但本研究從帶通濾波分析的分析結果中，可清楚看出洪峰抵達確切時間點與洪水之歷程。

## 二、材料與方法

本文利用甲仙站(SGSB)所測得之連續四個小時震動訊號對東西(E-W)、南北(N-S)以及垂直(Z)三個方向做帶通濾波分析，推算洪水到達時間、洪峰歷程、洪水速度等。

本論文的研究方法系參考Feng(2011)以HHT所完成之時頻圖內所發現之頻率區間做為帶通濾波的範圍，在Feng(2011)中發現最主要振動頻率為2.9-3 Hz，故本文即以2.5Hz到3.5Hz做為帶通濾波的區間，帶通濾波完成後，先將其振幅取絕對值，並以每0.01秒取10個點作平均，經由連續計算後即可求出移動平均(moving average)，取移動平均後匯出，如圖2, 4, 6，三個方向完成後，再用此三條線取平均值後即可用此三條移動平均之平均與杉林大橋水位線疊合來判斷洪水到達的時間(圖9)，並可用以計算洪水從甲仙到杉林大橋的平均流速，也可以從這些效應中觀察出洪水到達及堰塞湖從形成到潰壩之確切時間點。

## 三、結果與討論

### 3.1 資料處理結果

從台灣寬頻地震站甲仙站(SGSB)提供之震動訊號與水資源局提供之杉林大橋河床水位紀錄，可以得到以下結果：圖1為台灣寬頻地震站甲仙站(SGSB)測得之東西向(E-W)的原始訊號；圖2是東西向(E-W)原始訊號經由帶通濾波過濾後取絕對值算出之移動平均(Moving average, MA)；圖3為南北向(N-S)之原始訊號；圖4是南北向(N-S)原始訊號經帶通濾波後算出之移動平均(MA)；圖5為垂直向(Z)之原始訊號；圖6是垂直向經帶通濾波後算出之移動平均(MA)；在圖7時把三條MA線套疊進行比較，發現三個方向之訊號極為相近。同時，當洪水經過甲仙站時之行進方向為南北向，因此可以在圖7中明顯看出南北向之訊號較為強烈；圖8為先將三個方向之MA線加總後取平均；圖9

為三個方向之MA平均線再與杉林大橋水位線做疊合，並標示重要點於圖上。

表1列出從本研究中發現旗山溪堰塞壩潰壩產生之洪水對於台灣寬頻地震網甲仙站(SGSB)及杉林大橋影響等各個重要時間點。

### 3.2 潰壩洪水歷程判斷

從圖1,3,5中可發現，06:16獻肚山崩塌後形成堰塞湖擋住了洪水，使河水水位下降，大約經過24分鐘後(06:39)洪水到達甲仙，1小時後影響到杉林大橋，旗山溪河道上的堰塞壩在07:40分時潰壩，杉林大橋整個低水位時間大約為1小時24分鐘左右，這段時間即為此壩體短暫存在的時間。

由圖9可以明顯看出洪水在08:03時到達甲仙，09:08分離開，影響時間大約65分鐘，從圖7得到洪水在08:40到達杉林大橋，10:10結束，大約持續90分鐘，可推算出洪水平均流速為 $8.3 \pm 0.3$  m/sec。

這兩個站的比較，雖然甲仙站是用地震紀錄，但是如果把地震訊號類比成水位的話，還是可以看出洪峰衰減(wave attenuation)的現象，也就是說，洪水在小林村剛開始爆發時，其洪水波高是比較高、時間則較短，到達甲仙時波高雖降低但時間相對稍長，當洪水傳到杉林大橋後其波高更低、時間更長，大約90分鐘，此現象也在本次分析中明顯分析出來證明了洪峰衰減(wave attenuation)現象。

表 1 崩塌與洪水歷程時的間點

崩塌與洪水的歷程	估計時間點 (2009/8/9)
LS: 獻肚山(小林)崩塌	06:16
堰塞湖全面潰堤的預估時間	<b>07:40</b>
SGSB (BATS 甲仙測站):	
A: 堰塞導致震動強度開始下降	06:39
B: 堰塞導致低震動強度	06:55
C: 震動強度開始增加	08:03
D: 高震動強度範圍	08:43
E: 潰堤洪波已消退	09:08
1730H058 (杉林橋水位站):	
A': 堰塞導致水位開始下降	07:10
B': 堰塞時的低水位	07:50
C': 水位開始增加	08:40
D': 水位最高的時候	09:35
E': 潰堤洪波已消退	10:10

#### 四、結論

本研究主要利用台灣寬頻地震站甲仙站(SGSB)測得之震動訊號、杉林大橋水位站水位資料，分析旗山溪河道上所形成之堰塞湖及其潰壩時間點，較準確推估潰壩時間點。在本研究參考Feng(2011)所做HHT時頻分析之結果，將甲仙站之震動訊做帶通濾波分析後取得水位之「類比訊號」與杉林溪水位資料比對後，發現不需做HHT分析即可達到與HHT分析相同之結果，即可用以判斷洪水在河川運行之過程。

經本研究結果，小林村堰塞壩約在07:40a.m.時完全潰壩，洪水爆發約08:03到達甲仙，約08:40a.m.到達杉林大橋，小林村堰塞壩短暫存在時間為1小時24分鐘。

#### 誌謝

本文對國科會(NSC-99-2625-M-005-004-MY3)的支持與幫助、中央氣象局提供之甲仙測站(SGSB)的震動訊號資料、水利署提供杉林大橋水位紀錄(1730H058)，在此一併致謝。

#### 參考文獻

- [1] AnCAD, Inc.: Visual Signal Reference Guide, Version1.3, AnCAD, Inc, 2010 (in Chinese).
- [2] Feng, Z.-Y, "The seismic signatures of the surge wave from the 2009 Xiaolin landslide-dam breach in Taiwan", manuscript, Hydrological Processes, an 'Accepted Article', doi: 10.1002/hyp.8239 , (2011).
- [3] 陳樹群、吳俊銘，「莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程」，中華水土保持學報，第四十期，第377-392頁(2009)。
- [4] 李錫堤、董家鈞、林銘郎，「小林村災變之地質背景探討」，土工技術，第122期，第87-94頁(2009)。

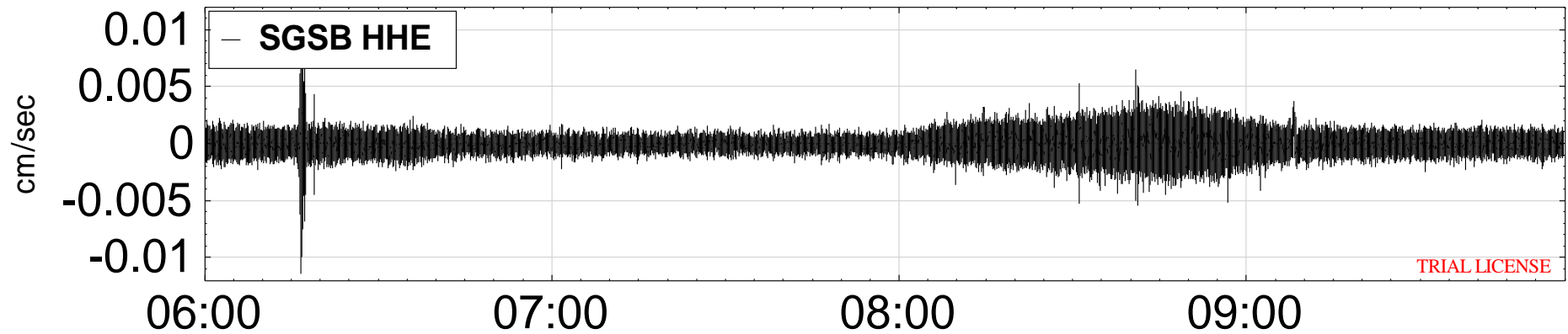


圖 1 台灣寬頻地震站甲仙站東西向之原始訊號

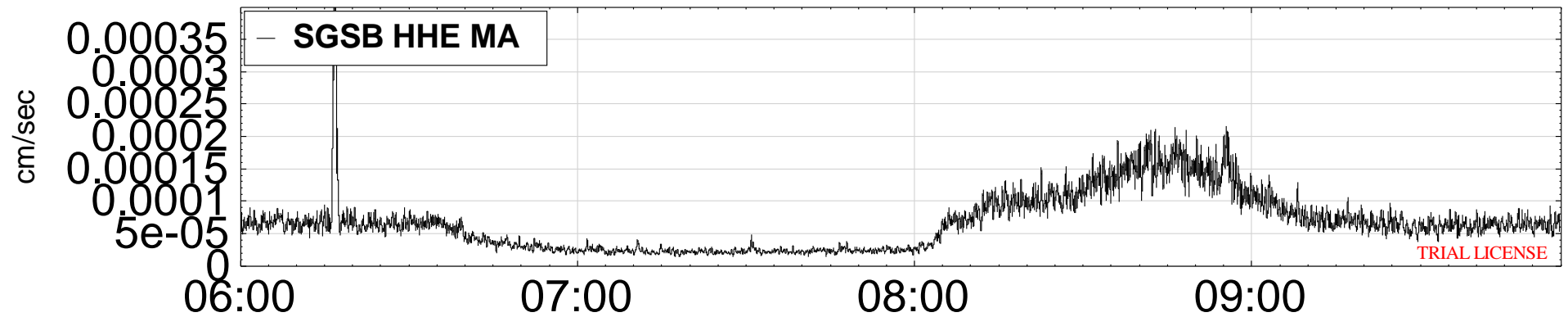


圖 2 台灣寬頻地震站甲仙站東西向之移動平均(moving average, MA)

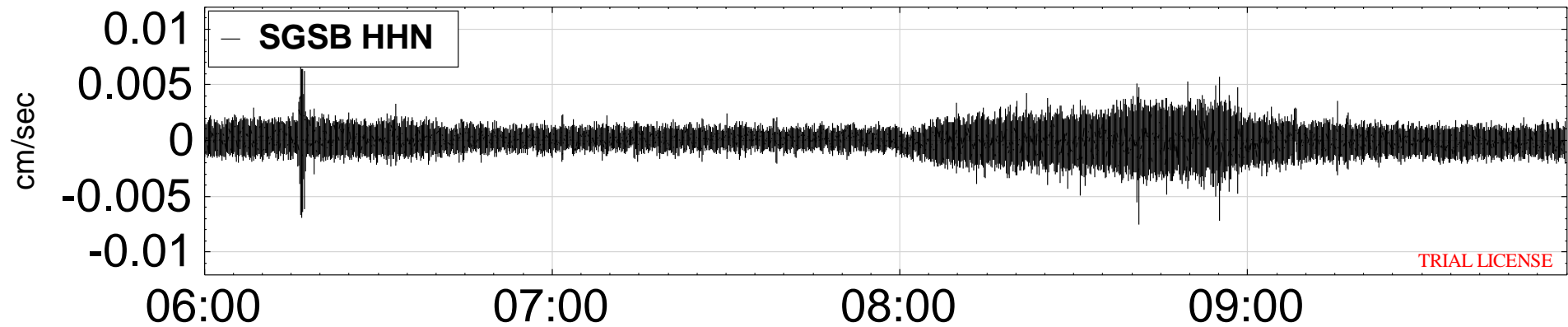


圖 3 台灣寬頻地震站甲仙站南北向之原始訊號

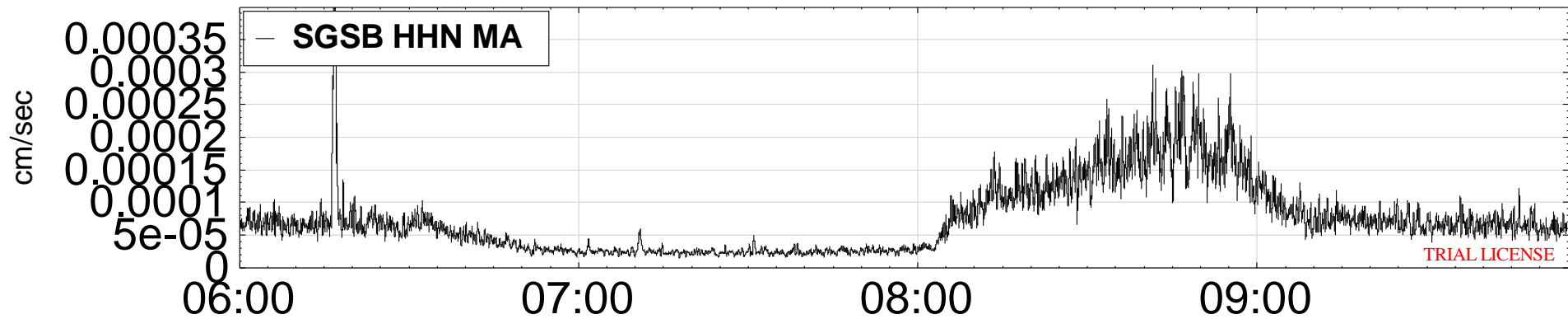


圖 4 台灣寬頻地震站甲仙站南北向之移動平均(moving  
average, MA)

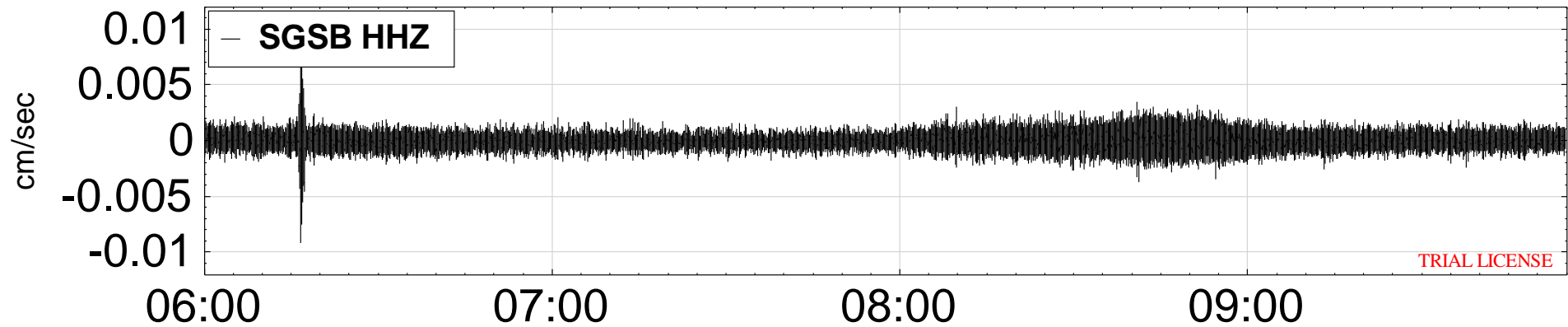


圖 5 台灣寬頻地震站甲仙站垂直向之原始訊號

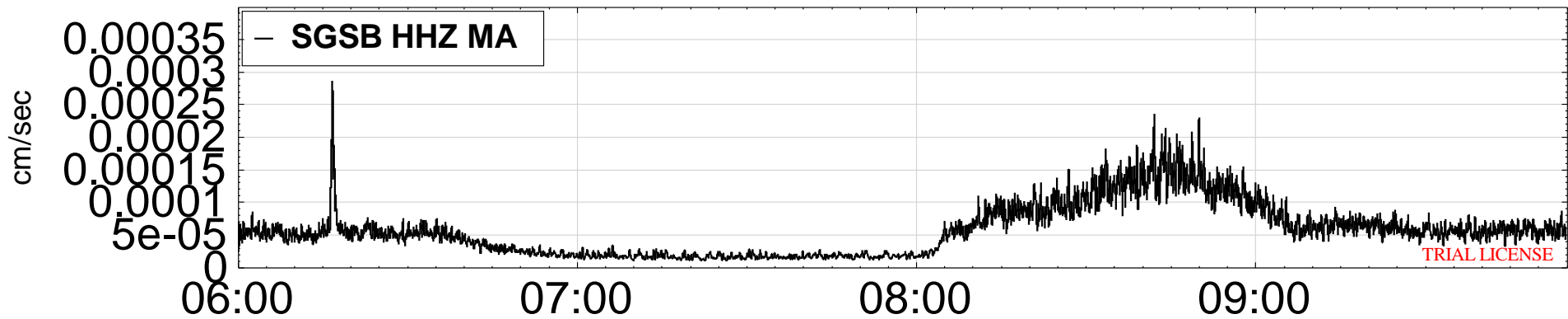


圖 6 台灣寬頻地震站甲仙站垂直向之移動平均(moving average,  
MA)

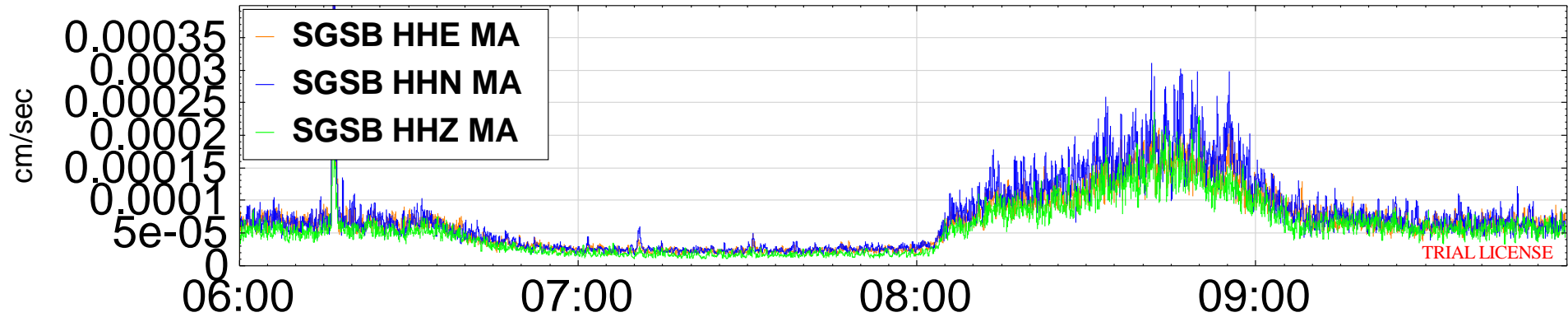


圖 7 台灣寬頻地震站甲仙站三個方向之 MA 疊合圖

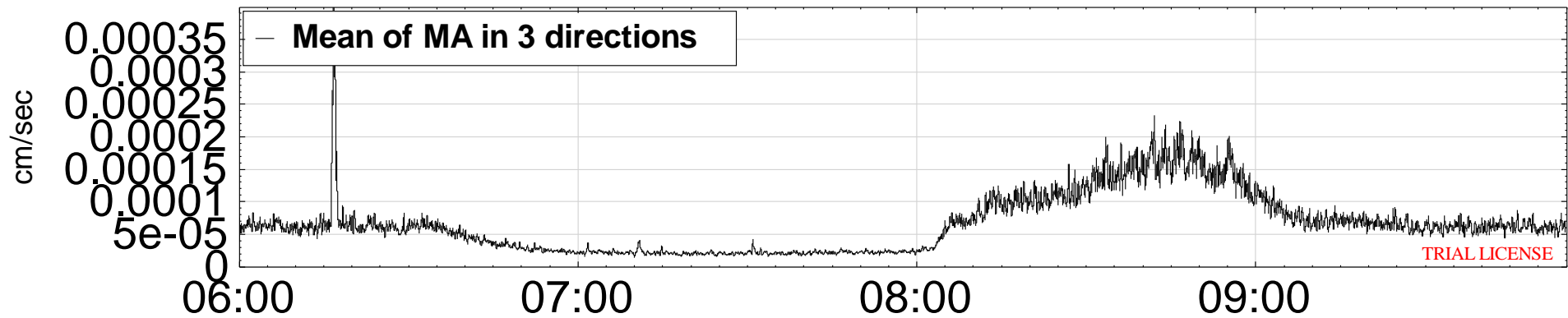


圖 8 台灣寬頻地震站甲仙站三個方向之平均 MA 線

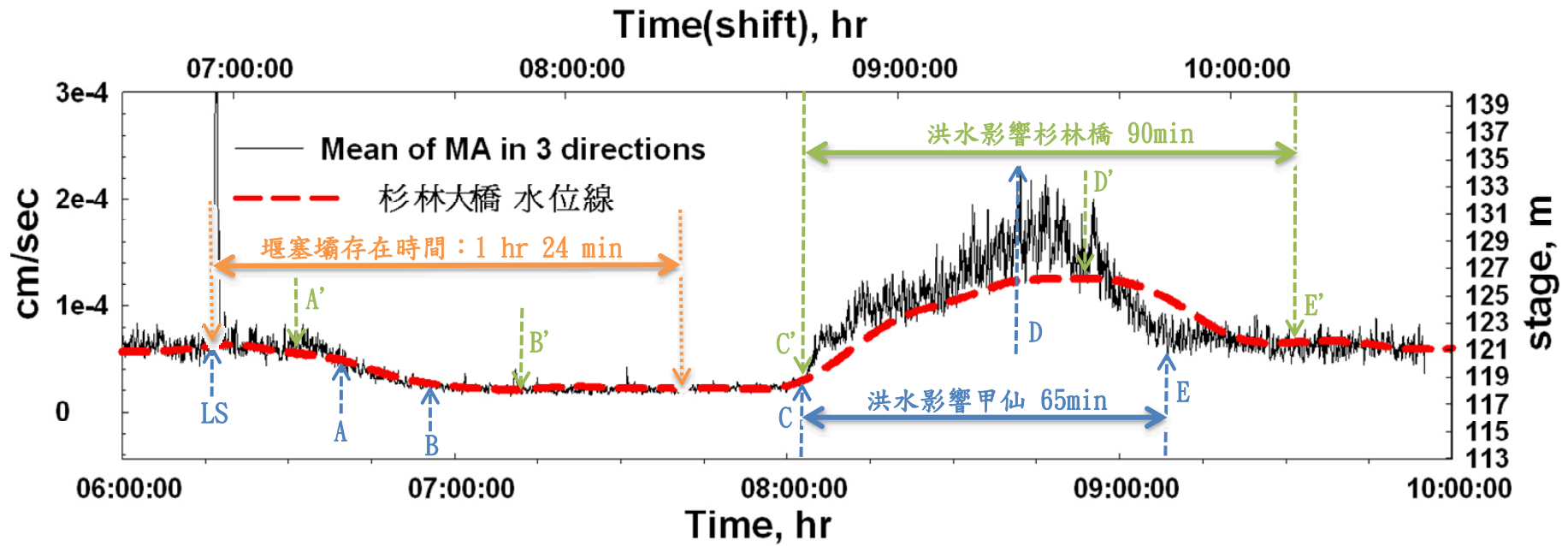


圖 9 台灣寬頻地震站甲仙站三個方向之平均 MA 線與杉林大橋水位線之疊合圖