

自由場強震資料整理與評估

王乾盈 楊嫻嫻
地球物理研究所
中央大學

呂佩玲 蕭乃祺
地震測報中心
中央氣象局

摘 要

中央氣象局台灣地區強地動觀測網 (TSMIP) 自 1992 年開始運作以來, 已收到極為豐富的強震資料, 建立了一套世界級的強震研究資料庫。至 1996 年 9 月為止, 共有 13043 筆 (每筆 3 向量) 記錄, 來自 2083 個地震。但在使用此套資料前, 必須對這些資料的分布情形及品質有所了解。本報告即針對 TSMIP 資料是否好用? 是否足夠? 做一初步的整理與評估, 提供使用者參考。本報告採用統計圖表來表示資料數量上的分布, 例如 PGA 大於 100 gal 以上共有 400 條, 其中並分為三區來討論, 製圖內容包括激發站數、地震規模、震央距離、PGA 值及每站收到地震數。品質方面之評估則採用各分區各別逆推的方式, 由預測的頻譜值與實際觀測值比較, 並分出 A, B, C 三級表示每一站之品質 (穩定程度)。這些整理工作希望提供 TSMIP 使用者對此資料庫一些基本概念, 以方便資料取捨。亦對本網未來收錄工作, 提出一些改進意見。

一、前言

中央氣象局地震中心自 1991 年 7 月起, 積極執行強地動觀測計畫 (Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP), 主要安裝 600 部自由場及 12 座結構物 (共 400 部) 強震儀, 測站大部份分布在台灣西部及東部平原區人口密集處, 少數在山區 (圖一)。為分擔沈重的資料收集及儀器維修工作, 自由場測站分為七區, 分由四個不同單位負責, 包括: 台北盆地 (TAP 98 站)、西北部 (TCU, 桃竹苗中彰投 136 站)、嘉南地區 (CHY, 雲嘉南 94 站)、高屏地區 (KAU 88 站)、宜蘭平原 (ILA 61 站)、花蓮 (HWA 50 站) 及台東 (TIN 44 站)。這些資料收集工作, 在中心及各合作單位積極負責下, 進行極為順利, 資料收集整理情形亦都有報告列檔。

本所參與負責西北部地區之資料收集, 並做過一些基本資料分析, 持續累積經驗。至 1996 年止, TSMIP 計畫已進行五年, 包括二年安裝, 三年記錄, 因此, 此時很適合對此計畫做一些初步整理與評估, 作為未來五年加強或改善之參考依據。此整理工作亦可做為使用此三年資料者, 一些背景參考資料。本報告將針對量與質兩方面, 分別進行整理與評估。

二、強震資料數量分析

雖然自 1992 年 9 月 11 日台北網收到首筆強震資料開始, 迄今全網已累積 13043 筆三分量之記錄, 但這些資料在空間、激發站數上的分布, 關係到進行分析時, 是否具備足夠的條件, 以保證結果的可信度, 因此必須予以評估。以下分項討論本套 TSMIP 強震網的資料分布型態。

1. 每個地震所激發測站數分布

若有 1000 筆資料, 但卻來自 500 個地震, 則每個地震所激發測站數太少, 令資料彼此間相關性減低, 分析結果將會有很大的誤差, 因此激發站數之分布代表資料內部之一致性, 是很重要的參考指標, 所謂挑選資料即由此開始。圖二表示全網及各分區中每個地震所激發站數之分布, 其中圖二 (a) 為地震數之統計, 圖二 (b) 為記錄數之統計。全網 13043 筆資料來自 2083 個地震 (為 563 個測站收到), 但若將激發站數限制在 30 站以上, 則資料量減為 5845 筆, 來自 60 個地震 (為 560 個測站接收), 此 60 個地震將稱為主要地震。換言之, 所收集之記錄中 1/2 將為有用, 但所記錄到的地震, 90% 以上激發很少的測站, 不太有用。激發站數最多之前十個地震, 激發站數在 171 至 331, 但都位在東北部宜蘭到花蓮一帶 (圖一), 其中最多的為 1995 年 6 月 25 日南澳地震。島內主要地震 (30 站以上激發) 共約 25

個，但偏在南部地區，西北部缺乏足夠近的強震。60 個主要地震係為 560 個測站所接收，代表幾乎每一測站都收到主要地震，此對場址效應的研究很有利。圖二 (b) 也表示激發站在 30 以下的記錄，大都發生在東部，此與東部多震且測站分布缺乏縱深有關。

2. 地震規模分布

將分析限制在激發站數 30 以上之主要地震上，則其地震規模分布如圖三所示，大多數地震規模在 5.0 至 6.0，規模 6.0 以上之地震則有 9 個。規模 4.0 地震平均獲得之記錄為每個地震 43 筆，規模 5.0 為 112 筆，規模 6.0 為 152 筆。可見規模越大的地震所獲得記錄愈多，代表地震分布與測站分布大致和諧，即在主要地震的附近，都有足夠的站來記錄。圖三也表示規模 6 以上的地震全省都收得到，因此各分區收到規模 6 以上的地震數相差無幾。換言之，利用各測站收到規模 6 以上地震的多寡，可檢查該測站之運作情形。

3. 震央距離分布

震央距離分布關係到衰減率的計算，是很重要的一項條件。圖四表示激發站數在 30 以上之主要地震，其被記錄之筆數與震央距離之關係，可看出震央距離主要分布在 40km 至 150km 之間 (共 4150 筆)，10km 之內之近震資料也不少，共 154 筆，但這些近震資料有一半位在嘉南地區，一半在東部 (含宜蘭平原)。為減低場址效應之影響，衰減率的計算最好引用岩盤場址，目前 TSMIP 很缺乏岩盤資料，從圖一來看，欲加岩盤站，以選在北台灣最佳，在中橫、北橫加站應是很好的考慮，此地區可有效收集宜蘭至花蓮間頻頻發生之地震。

4. PGA 值分布

圖五表示主要地震之 PGA 值個數分布，其中超過 100gal，共有 274 條，佔主要地震所獲總數的 1.6%，全部資料中超過 100gal 則有 400 條 (其中台北盆地 17 條，西北部 15 條，西南部 130 條，宜蘭地區 110 條，花東地區 128 條) 佔全部總數的 1%，超過 200gal 以上有 103 條，佔總數 0.26%，可見所收錄地震資料中，堪稱為強震者僅佔極少數。全部記錄 90% 以上其 PGA 值都在 40gal 以下。1994 年 6 月 5 日宜蘭南方的地震在 ILA050 (金洋國小) 收到一筆記錄東西動達 1112.9gal 為最大，此為特例。欲使用強震資料研究非線性作用 (大地震之作用非小地震線性放大)，台灣西北部 (含台北盆地) 大的 PGA 值很

少，顯非理想區域。全網仍須持續運作，以收集足夠堪稱為強震之資料。

5. 測站間距

測站間距代表可以掌握側向變化的精度情形，TSMIP 全網約 600 站，平均測站間距為 4.05 Km，各分區之平均測站間距為：TAP=2.35 Km，TCU=4.58 Km，CHY=5.17 Km，KAU=4.50 Km，ILA=2.41 Km，HWA=3.37 Km，TTN=5.85 Km。可看出台北盆地及宜蘭平原測站最密，嘉南地區因測站散佈範圍較廣，測站間距較大 (圖一)。但幾個都會區，測站間距都能維持在 3 Km 以內。

三、強震資料品質分析

同一地區對不同地震之響應，常有很大的差異，欲從雜亂的地震記錄中，歸納出屬於該地區的地動特性，將震源效應分離顯為必要。Seekins and Boatwright (1995) 利用 Loma Prieta 的餘震，來預測主震在事前未佈站地區的響應，根據如下的公式：

$$R_{ij}(f) = S_i(f) E_j(f) G_{ij}(f)$$

其中 $R_{ij}(f)$ 代表第 j 個地震，第 i 個測站記錄的地震加速度記錄， $S_i(f)$ 代表第 i 個測站的場址響應， $E_j(f)$ 代表第 j 個震源響應， $G_{ij}(f)$ 代表距離響應，包含了幾何修正、衰減修正。若對 $R_{ij}(f)$ 作距離的修正得到：

$$A_{ij}(f) = S_i(f) E_j(f)$$

欲預測主震頻譜，則將主震震源效應當成 1，(也就是 $\ln E_0(f) = 0$) 利用逆推理論之 S.V.D. 方法 (Singular Value Decomposition) 可求得：

$$S_i(f) E_0(f), \text{ 其中 } i=1 \sim I$$

$$\frac{E_j(f)}{E_0(f)}, \text{ 其中 } j=1 \sim J$$

分別代表場址及震源的效應。

對多震源多測站之整組資料，利用上述公式，可將震源效應及測站效應分開。若將分離出來的某一地震的震源響應，乘上某一測站之場址響應，再加上距離修正，可得到此地震在該測站的理論頻譜值。若該測站之場址效應很穩定，則得到的理論值和實測值應該很接近。利用此關係，依其理論頻譜值與觀測值接近的程度 (穩定程度)，將測站品質分為 A, B, C 三級。本研究將台灣自由場強震站分為七區 (此七區如前言中所述)，進行逆推。每一區分別挑出來自相近位置而且激發站數較多的地震

(至少激發 20 個測站以上)，如此，每一個測區大約有 6 個以上可用的地震。研究的方法可分為兩個步驟：第一個步驟，先對各地震刪除 2/3 的觀測資料，利用上述的逆推方法，找出觀測和理論穩合的測站；第二個步驟，對各地震保留穩定良好的測站，再利用逆推方法，求得各測站的理論頻譜，和收到的觀測頻譜是否具有的一致性，予以判斷測站品質。圖六表示利用理論值與觀測值之差異，來判斷測站品質的實例。A 級站址差異很小，B 級站址在高頻或低頻其中一側有大的差異，C 級站址則差異量很大。此種比較方式當然受到參與逆推之資料量多寡影響，但在充份的樣本個數下，仍可過濾出每一場址的特性。

圖七為全網測站品質分析之結果，圖七(a)表示每一測站所收到的記錄筆數，其中黑點為收到記錄 20 筆地震以上的測站，雙圈為 5 筆至 20 筆之間，圓圈為 5 筆以下，圖七(b)為品質分析圖，黑點為 A 級，雙圈為 B 級，圓圈為 C 級，最小圈則記錄太少（對各區所選參與逆推的地震資料而言），未參與比較。圖七(a)及(b)相互參照，可看出台北盆地東半部比西半部記錄品質為佳，瑞芳線上測站比烏來線上來得好。西北部地區，以新竹-苗栗最佳，桃園、中壢台地次之，台中盆地、彰化品質較差，此與該測站設站歷史較短，資料較少有關，欲研究台中地區強震仍須等待一些時日。嘉南平原測站資料量很多，但品質較佳者集中在嘉義市、新營市至海邊一帶，雲林縣品質尚可，但曾文水庫至台南市一帶品質並不理想，令人好奇。高屏地區高雄市品質很好，屏東平原較差，而恆春半島則幾乎尚無可用之強震資料，有待加強。宜蘭平原資料多且品質佳，是最佳強震實驗場，以前 SMART- I 選在宜蘭不為無因。花東地區花蓮市至光復，及台東市附近較佳，縱谷內瑞穗至池上、關山一帶則不理想，秀姑巒溪及卑南溪帶來之沖積層明顯影響震波行為，造成資料不穩定。花東海岸測站品質亦不佳。

四、結論與建議

TSMIP 自由場強震網經三年運作，已收集到上萬筆記錄，就強震而言，此資料庫堪稱豐富。這些強震站雖然大都分布在平原地區，但也能圍住大的地震，佈站策略成功，資料收集亦多有效。本研究獲得如下結論：

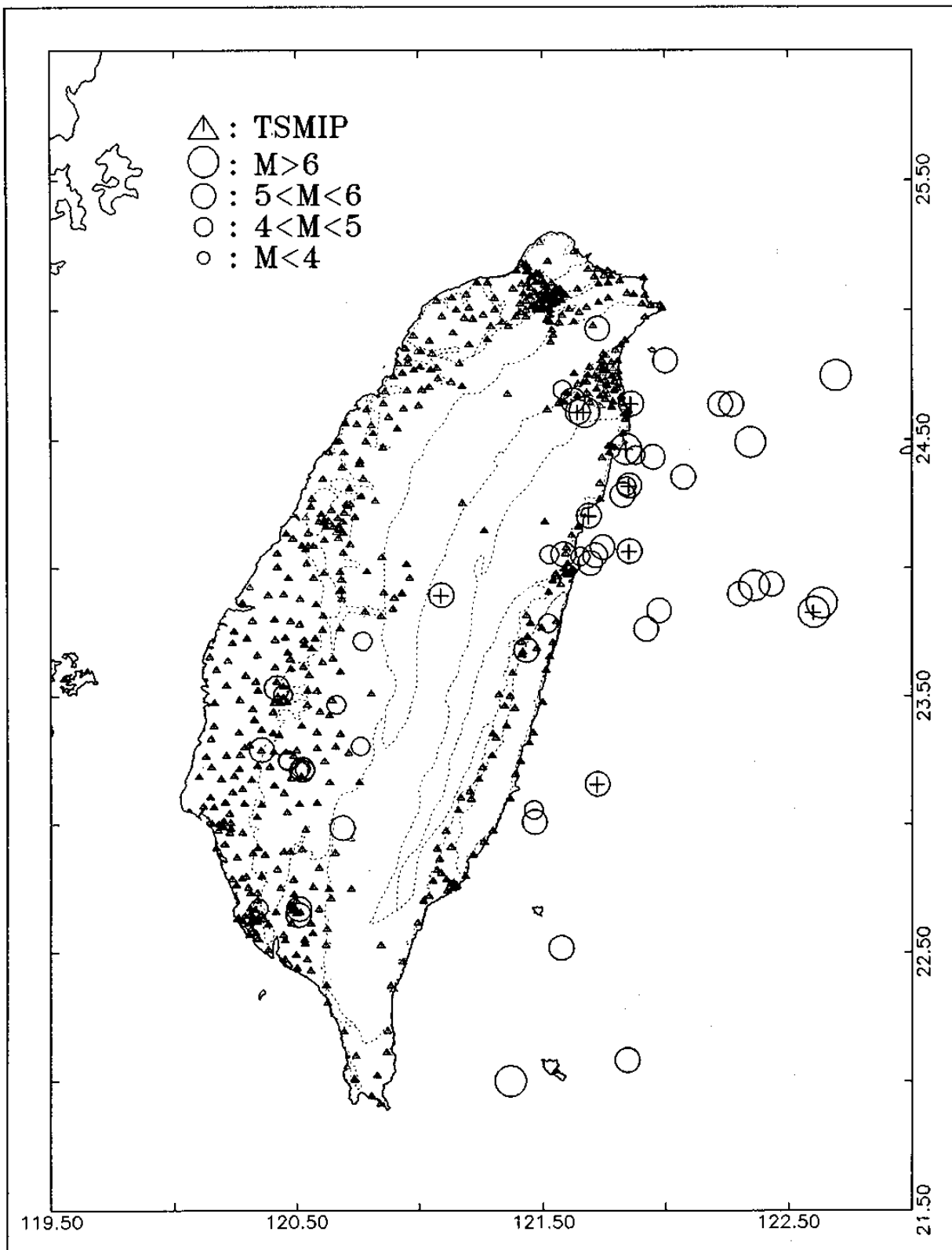
1. 激發站數在 30 站以上之地震，資料佔全部記錄一半以上，來自 60 個地震，其分布亦廣，有利於場址分析。

2. 各分區都能充分收到規模 6 以上的地震，測站分布均勻，但大的主要地震局限在宜蘭至花蓮附近。
3. 台北盆地、西北部地區近震很少，PGA 值也偏低。PGA 在 200 gal 以上，約有 100 條，大都在宜蘭及嘉南地區。
4. 全省測站間距平均為 4.05 Km。大多數記錄震央距離在 40 Km 至 150 Km 之間。
5. 現有資料其品質待加強之地區包括：台北盆地西半部、台中盆地、彰雲、曾文至台南市、屏東平原、恆春半島、縱谷中南段及花東海岸。
6. 宜蘭平原地區地震多且大，資料品質亦佳。

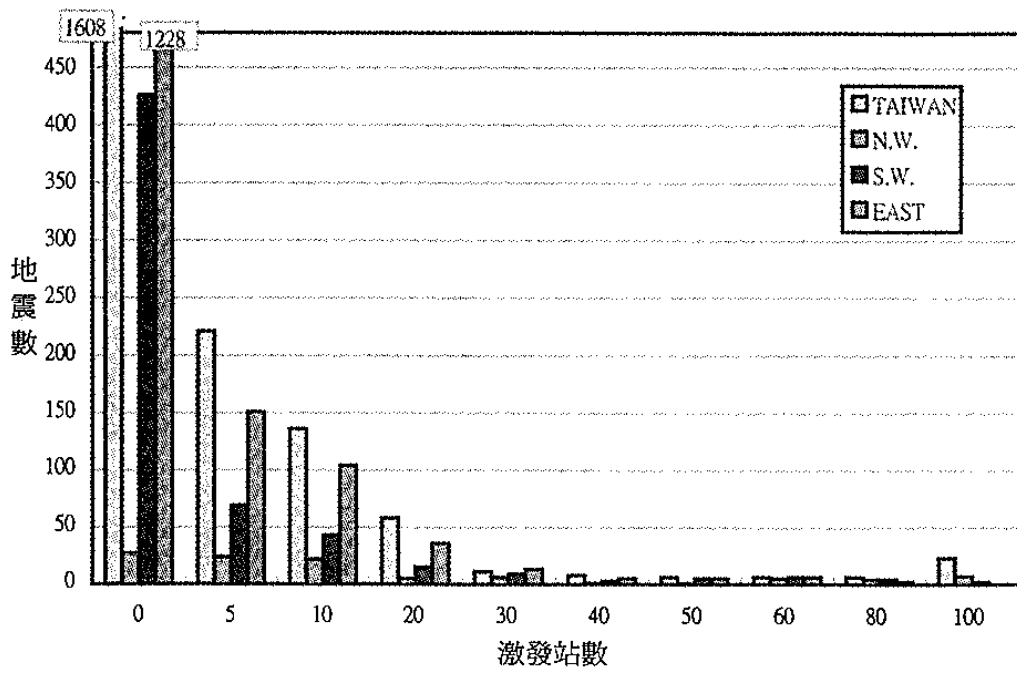
基於以上之觀察提出建議如下：

1. 增加岩盤場址測站，尤以在北台灣增站最為有效。提高岩盤站數有利於衰減率的計算，建議在北橫、新北橫一帶增加 20 站。
2. 提高宜蘭地區為強震實驗場，該地區地震多且大，測站品質穩定，又兼具硬及軟的場址，很適合各類效應的研究。建議再增加 30 站，以達到 2 Km 測站間距的密度。
3. 成立一套 30 站之機動性短期強震觀測網，因應不同目的佈站觀測，此可有效提昇測站密度，又不至於增加太多負擔。
4. 促進現有測站之效率，對因故休站或記錄過少之測站(約 40 站)進行改良。品質不良之測站宜加強檢查，提出改進策略。

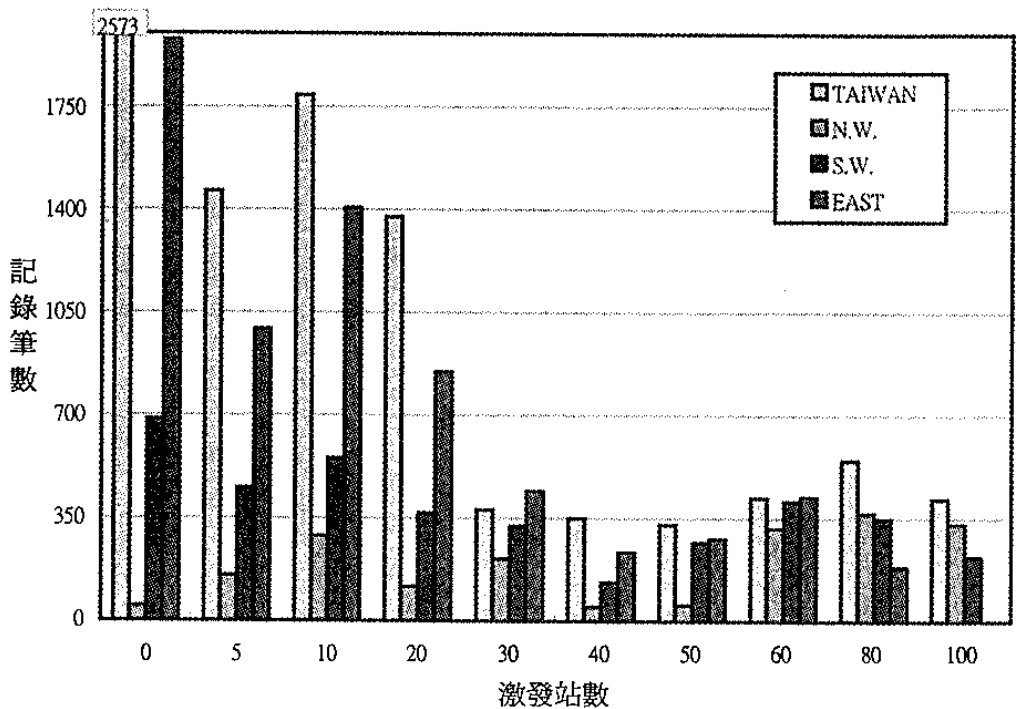
TAIWAN



圖一：TSMIP 強震網測站分布（三角形）及 1992 年 9 月至 1996 年 9 月所收錄到激發站數超過 30 站之主要地震（圓形），中間加“+”者為激發站數最多之前十名地震，大都在宜蘭至花蓮之間。圖中虛線標示本島重要地質區，在中央山脈及雪山山脈變質岩區測站稀少。

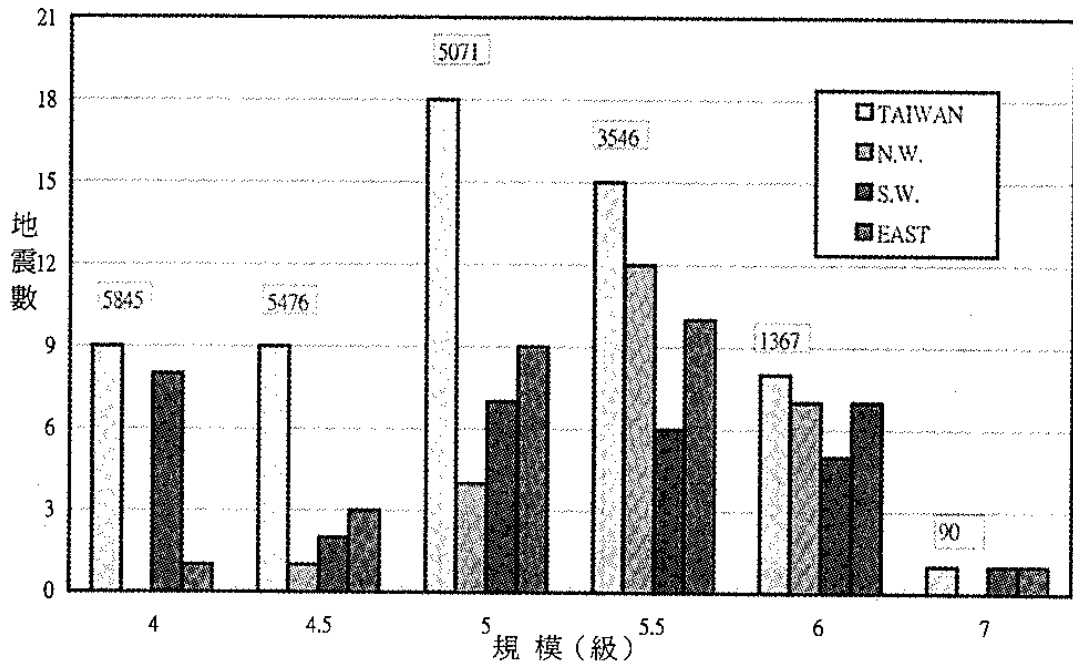


(a)

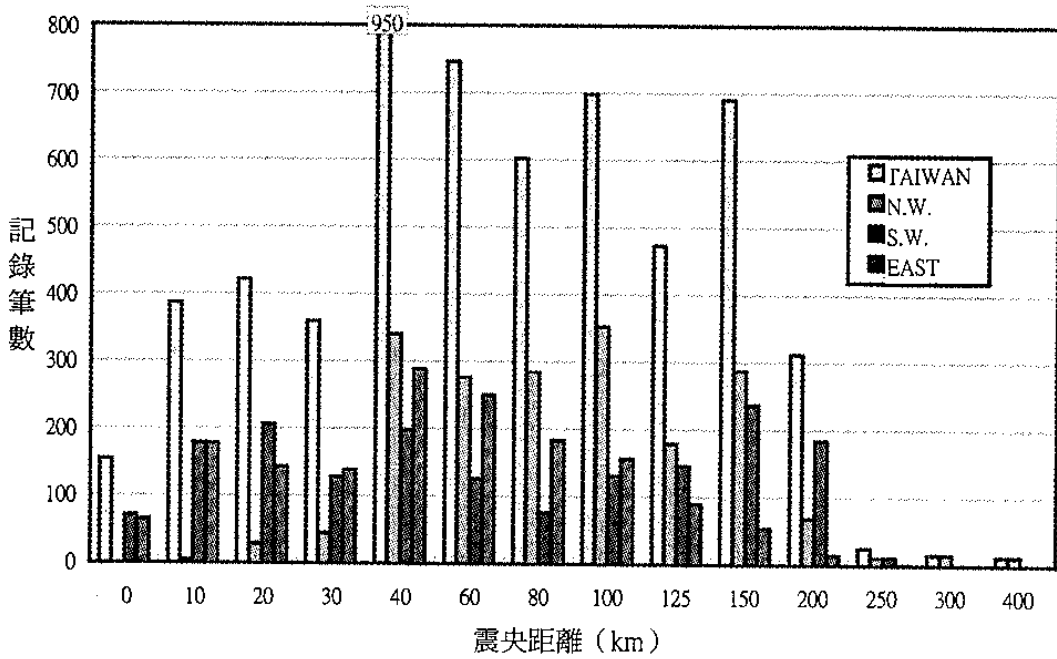


(b)

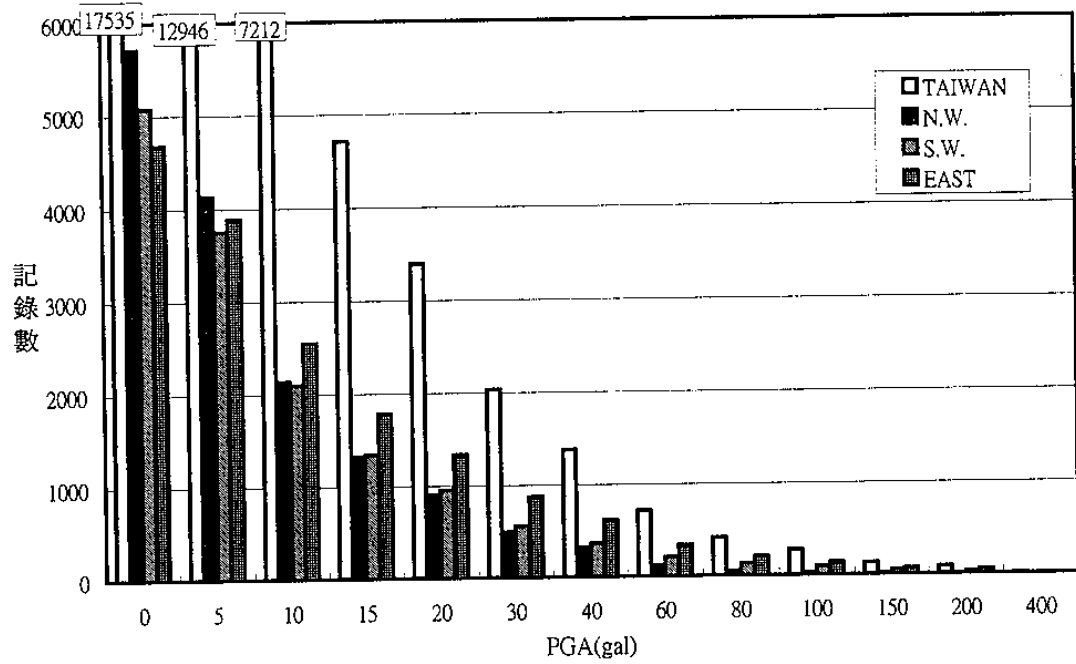
圖二 每一地震激發站數分布圖



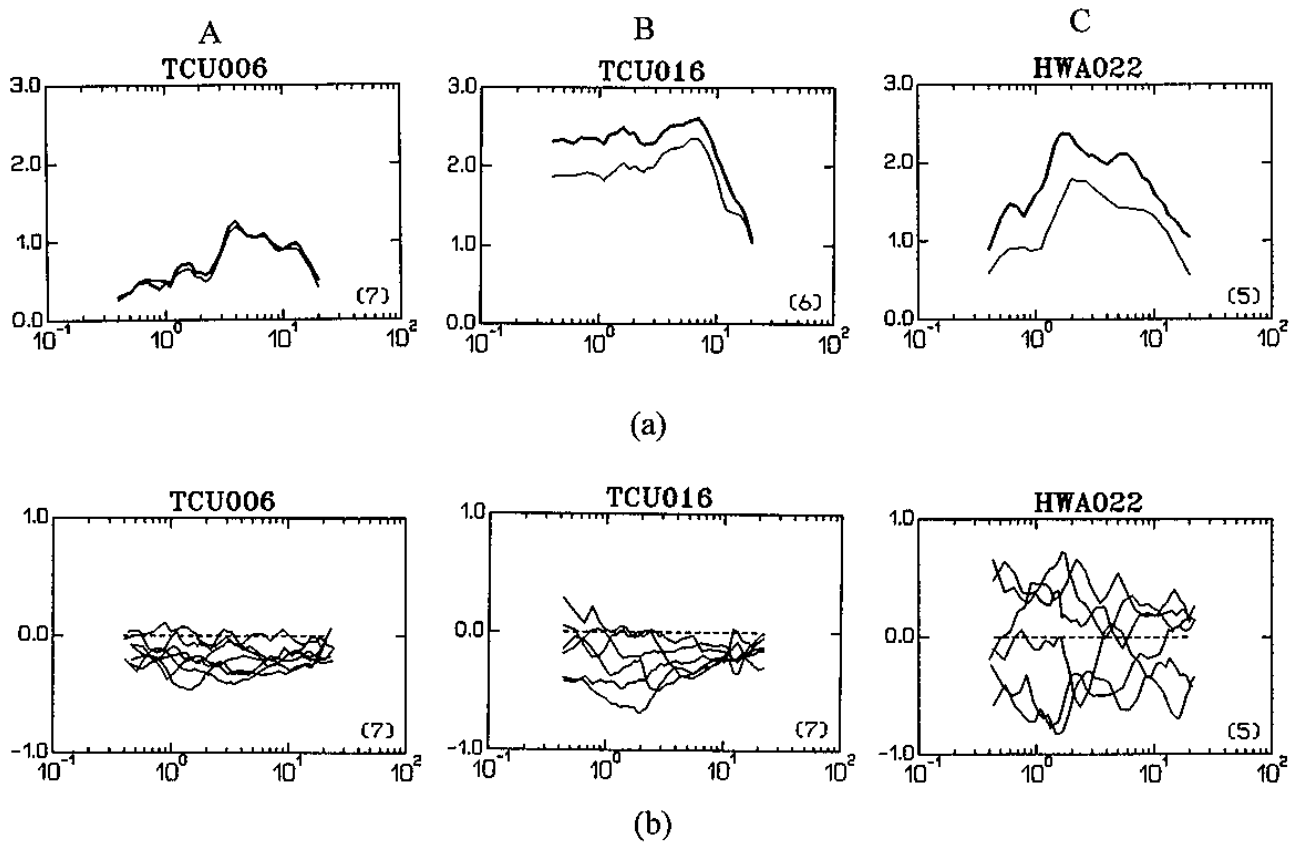
圖三 TSMIP所收錄主要地震之地震規模分佈圖
(口內數字代表"記錄筆數")



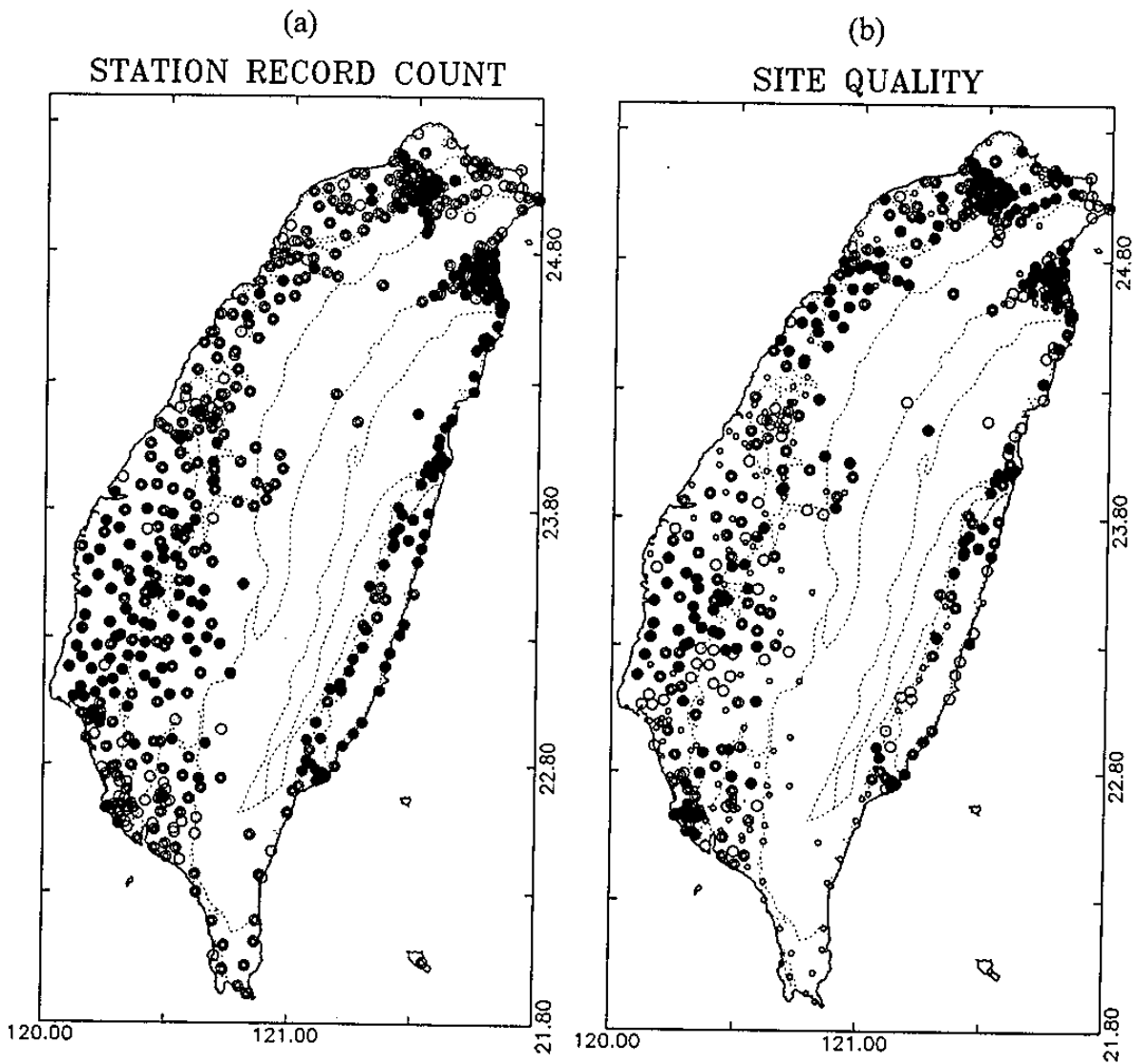
圖四 TSMIP所收錄主要地震之震央距離分佈圖



圖五 TSMIP 所收錄主要地震資料 PGA 值分布圖



圖六 強震資料預估值與實際觀測值之比較。(a)表示頻譜，圖中粗線表示實際觀測值，細線表示逆推得到的預測值。(b)表示觀測值和預估的頻譜差。(A,B,C表示品質分類)



圖七 (a)表示每一測站所收錄到的筆數代表圖，黑點為收到地震 20 筆以上，雙圈為 5 筆至 20 筆之間，圓圈為 5 筆以下。(b)表示每一測站品質分析圖，黑點為 A 級，雙圈為 B 級，圓圈為 C 級。