

臺灣地區地震危險度之研究*

徐明同

On the Degree of Earthquake Risk in Taiwan

Ming-Tung Hsu

ABSTRACT

Zoning of the degree of earthquake risk is quite important for designing the aseismic structures in the earthquake country. In the present paper, the writer proposed the zoning map of earthquake risk in Taiwan based on the past one hundred year's seismic record of the Central Weather Bureau. The expectancy of maximum acceleration of earthquakes in 50, 75 and 100 years and the maximum intensity in Taiwan are presented.

一、前言

臺灣島位於環太平洋地震帶西側之中心，自古以來常發生大規模地震，災情慘重者亦復不少[1]。據著者[1, 2]之統計，震災所導致的傷亡人數稍多於風災及水災之合計，房屋及財產之損失則較少。但風災及水災之發生可以預測，通常採取適當預防之策，即可減輕災害；然而地震之發生現尚無法預測，常突然來襲，在短暫時間內造成數千甚至數萬人之傷亡，房屋倒塌數以萬計亦屬常見。唯一防止震災之方法只有靠耐震設施。

晚近耐震工程相當發達，各種房屋，高樓大廈，結構物等較一世代前均有長足之進步。欲使耐震工程經濟而有效，必須從事地震活動以及地震危險度之研究，將結果提供參考。尤其最近幾年來，臺灣生活安定社會趨繁榮，除十項建設正在積極進行外，民間各大經濟建設也勢將陸續開展。政府機構及大工程公司選擇工地及決定工程本身之耐震度，常向著者索取有關地震資料。幸著者十幾年來已發表臺灣地區地震活動之研究報告多篇[1, 3, 4, 5]，勉予應付。本文則將進一步推算臺灣地區地震危險度(degree of earthquake risk or danger)作為此一主題較為完整之研究。

關於地震危險度分區問題，在美、加、日、俄等國已有不少研究。Richler (1965) [6] 發表洛杉磯地區，加州以及美國大陸之可能最大震度分布圖而叫

做區分圖 (regionalization map)。Hodgson (1956) [7] 曾繪製加拿大地震機率圖 (seismic probability map)。Kawasumi (1951) [8] 應用日本過去一千多年之地震紀錄，推測震度，而繪製強震以上之等頻率線，再現期間 (return period) 以及未來 75, 100 及 200 年間可能發生地震之最大震度及加速度預期值。Muramatsu (1966) [9] 使用最近 100 年來可靠性較高之資料，類似河角之方法，求出未來 50 年內預期地震最大速度之分布。Goto 及 Kameda (1967) [10] 假設地震之機率模式，而用統計理論分析強烈地震發生時之最大地動，而求出未來 75 年內日本各地最大地動加速度及速度之預期值。大久保及寺島 (1970) [11] 使用最近大地震之實際震度分布修正河角所繪之圖。在俄國 Savarensky 及 Kirnoss (1955) [6] 繪製俄國之最大震度預期值分布圖，具有權威，供各種建設之公式依據。此外 Gubin (1967) [12] 及 Riznichenko 等 [13, 14] 也推算俄國各地甚至義大利半島之更詳細的可震度 (shakeability) 分布圖。

本文將利用 100 年來臺灣之地震資料，前 21 年係自地方誌等古籍而得之資料，後 79 年為中央氣象局及其所屬測候所之實際觀測資料，依照河角之方法，整理分析推算臺灣地區之地震危險度並繪製分布圖，希望能供各種結構靜態耐震設施所需外力之依據。

* 本文完成曾獲得國家科學委員會之補助

二、地震危險度

地震之危險度，隨震度之增強而增大。其一地點地震發生時所測得之震度 (seismic intensity) 與該次地震之大小即地震規模 (earthquake magnitude)，震央距離，地震波動所經過之地盤構造以及此一地點之地盤特性等具有密切之關係，且其關係非常複雜。爲使問題簡單化，暫不考慮地盤特性，亦即僅考慮標準地盤，使興趣限於各級地震之侵襲頻率。

「地震危險度」一詞並無明確之定義。河角〔8〕以各級震度之平均頻率 R 表示地震危險度之物理指標 (physical index of earthquake danger)。即

$$R = \frac{n(I)}{T} \dots \dots \dots \quad (1)$$

上式中 n (I) 為各級震度頻率，而 T 為統計時間。Richter [6] 以一地點最大可能發生震度 (probable maximum intensity) 表示。Riznichenka 等 [13] 以地震可震度 (seismic phakeability)，即任意震度平均發生頻率表示。而 Medvedev (1960) [15] 求地震動波譜 (spectrum) 之標準形，乘以地盤係數，而對此量之標準結構物應答 (response) 稱為地震危險度。本文即以某處某期間內所預期之最大地震動用震度或加速度表示。

關於地震發生時間及空間之法則是否存在，現尚無法完全了解，故只好把地震之發生認做偶發現象處理。偶發現象並不是說完全無秩序，例如人壽或火災保險，可以假定地震之發生具有統計法則。以下之討論即採取此種立場。

災害既爲震度之函數，即震度愈大災害也愈大，所以由某地點各級震度之平均頻率可以估計一定期間內可能發生之倒塌房屋，傷亡人之總數，甚至於以現在物價指數估計之災害總額。這些災害之推定值即爲數學上所稱預期值，可以供做表示某地點地震危險度之實用指標。另外如有參數能決定 $n(I)/T$ 之函數形，也是一種表示地震危險度之物理指標。據河角 [8] 之研究，某地點 $n(I)$ 之函數形可用下式表示。

$$n(I) = C \times 10^{aI} \dots \dots \dots \quad (2)$$

上式 α 中係與地點無關之常數。因此 $n(I_o)/T$ 或其合計

$$\frac{S(I_o)}{T} = \sum_{I=1}^{\infty} \frac{n(I)}{T} \dots \dots \dots \quad (3)$$

也可佐倣表示地震危險度之物理指標。

三、耐震設計基準震度

耐震設計上所需之基準震度為震災預防對策最重要之一因素。如認為過去之地震活動狀況將來也會繼續下去，而以某一地點曾經體驗過之最大震度作為基準震度，即可不必考慮地震頻率。

著者[5]曾經使用臺灣地區 70 年震度資料，由 12 次最大地震之等震度線，重疊而繪製臺灣地區最大等震度線如圖一。其後再詳細尋找資料，把它修正如圖二。由此圖可知各地過去 70 多年來所體驗之最大震度，能用於各種工程建設以及長期發展計劃。由此圖僅知過去多少年來之最大震度而並不知發生多少次。

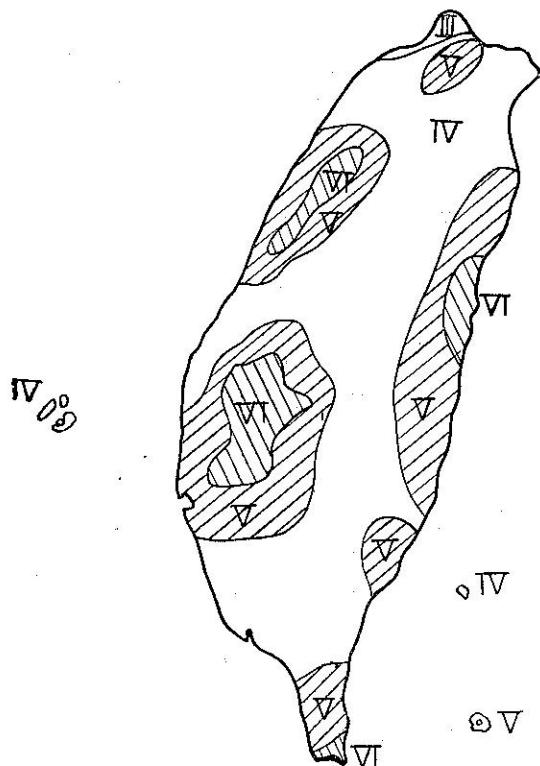


Fig. 1. Map of maximum intensities in Taiwan

圖一 臺灣地區最大震度分布圖

如果某結構之設計震度設為超過此基準震度，則在此結構壽命（假設壽命比上述統計年數短）內安全率可達百分之百。然而實際上地震動之最大加速度有時超過重力加速度，而考慮耐震工程法之經濟性，不可能採取過去最大震度為基準震度。當然要考慮在可能範圍內減輕設計強度。此時如結構壽命較短，因統

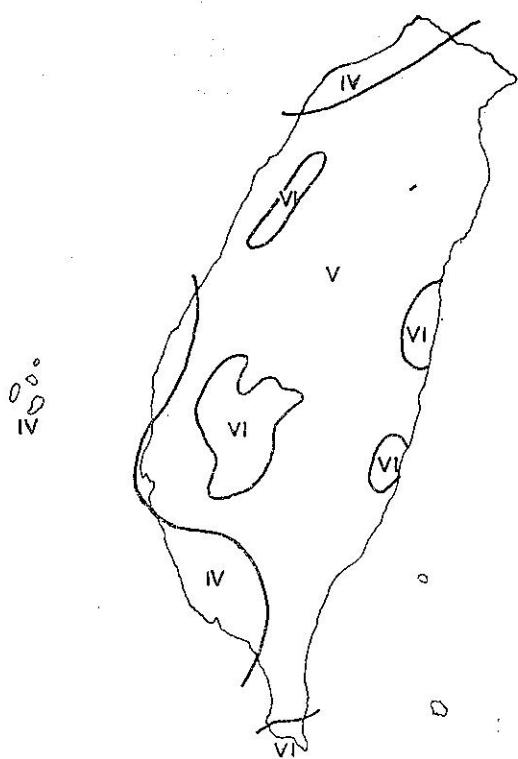


Fig. 2 New map of maximum intensities in Taiwan

圖二 臺灣地區新最大震度分布圖

計上大地震之發生頻率愈少，故此結構遇到最大震度之可能性當然愈少。因此最理想之設計震度，即採用能克服此結構壽命期間內可能遇到之最大震度。此值當然比過去所體驗之最大震度為小。然而此值因不能作獨一無二之決定，故不得不依照機率論之預期值求得。

在壽命期間 t 年內可能會遇到某種震度值以下地震，而此震度值以上地震侵襲頻率之預期值剛達到一，則此值稱為臨界震度（critical intensity） I_0 ，以 I_0 作為上述壽命期間最大震度之預期值，即

$$\frac{S(I_o)t}{T} = 1 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

由此式可求得臨界震度 I_c 。因此值為機率論之預期值，故實際上在壽命期內，當然也有機會遇到預期值以上之地震。因此基準設計震度之訂定必須另外再考慮安全率。總而言之，臨界震度之預期值也可以佐作一種危險度之指標。

四、實際計算結果

^{著者}[1, 3]曾經發表 1900 年即中央氣象局實施

地震觀測以後臺灣地區發生災害之地震目錄及 1655 年至 1900 年之大地震目錄。其中採用近 100 年（1875 年至 1974 年）來可靠性較高之地震作為本文之參考資料。此等地震共有 50 次，列在附錄一，以地震規模 M 分類之震央分布如圖三。

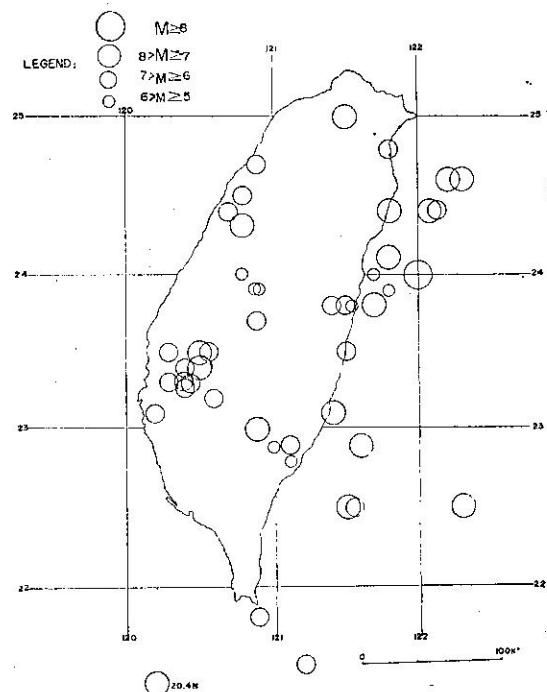


Fig. 3 Distribution of epicenters of major earthquakes in Taiwan (1875-1974)

圖三 臺灣主要大地震震央分布圖（1875–1974）

據河角[8]之研究，Richter地震規模 (Richter's magnitude) M 和河角地震規模 (Kawasumi's magnitude) M_k 之關係如下：

$$M = 4.85 + 0.5M_k \dots \dots \dots \quad (5)$$

且 M_c 和震度 I 之關係如下：

$$e^I = \left(\frac{100}{\Delta}\right)^2 e^{M_k} - 0.00183(\Delta - 100) \quad (\Delta > 100 \text{ km}) \dots \quad (6)$$

三

上式中 M_k 為河角地震規模，即震央距離 100 公里處之震度， Δ 為震央距離， r 為震源距離， r_0 為 Δ 等於 100 公里之震源距離，均以公里為單位， k 為常數。

等於 $0.0192/\text{km}$ 。⑥式適用 Δ 大於 100km ，而⑦式適用 Δ 小於 100km 。各地有實際震度觀測者就用觀測值，如無觀測值者由⑥式⑦式推算震度。

此外在臺灣地區震度階級 (seismic intensity scale)，簡稱震度一直沿用下表所列 0 至 VI 級制。各測站所觀測結果如附錄二。此種中央氣象局震度階級 (CWB intemety scale) 和其他震度階級如 MM(modified Mercalli), M. S. K.(Medvedev-Sponheuer-Karnik), J M A (日本氣象廳) 以及加速度之關係如圖四。

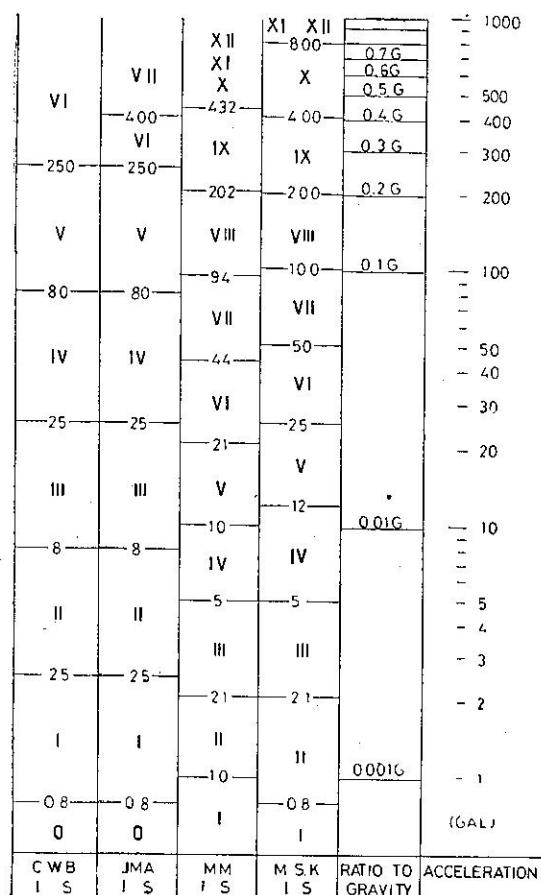


Fig. 4. Camparison of Various Seismic Intensity Scales

圖四 各種震度階級比較表

對於極淺層地震（假定震源深度為 18 公里）來說，震度 I 和所對應之加速最低值 a_i 之間，河角 [8] 採用下式關係。

$$a_i = 0.8 \times 10^{0.5(I-1)} \text{ gal} \dots \dots \dots \quad (8)$$

而震度 I 和加速度幾何平均值 \bar{a} 之間有下列關係，

$$\bar{a} = 0.45 \times 10^{0.5I} \dots \dots \dots \quad (9)$$

其次將臺灣本島及澎湖羣島分為緯度及經度各半度之網格共有 26 箇。首先自附錄一大地震中計算各網格內發生之強震（震度 V 級）以上之地震次數 $n(I)$ 。然後再計算 $S(I) = \sum_{i=1}^{\infty} n(I)$ 。圖五表示強震以上之地震總次數 $S(V)$ 。圖六表示烈震（震度 VI 級）之地震次數 $S(VI)$ 。此兩圖中之等值線表示再現期（單位為年）。

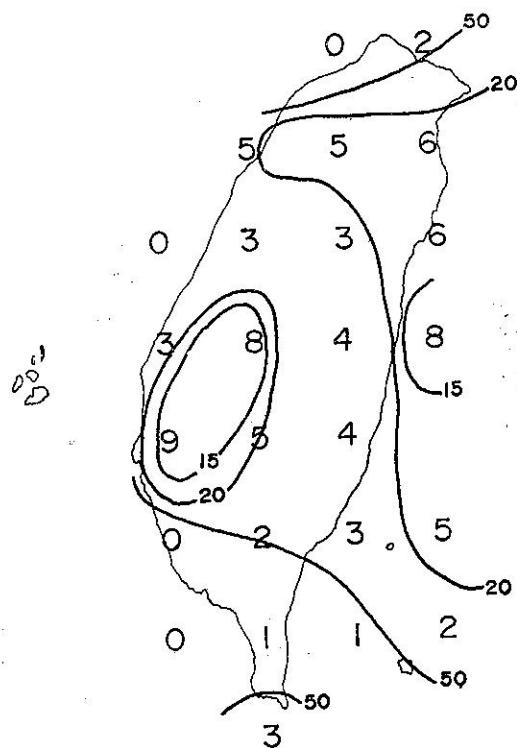


Fig. 5 Number of earthquakes with intensity over 5, $S(V)$ and isoplethes of return period (unit:year)

圖五 強震以上之地震次數 $S(V)$ 及再現期間 (單位為年) 等值線

下一步驟取 t 為 50, 75 及 100 年，依照(4)式計算臨界震度 I_0 之預期值，然後由(9)式換算為加速度。其結果如圖七，八及九。圖中等值線表示加速度之預期值以 gal (cm/sec^2) 為單位。

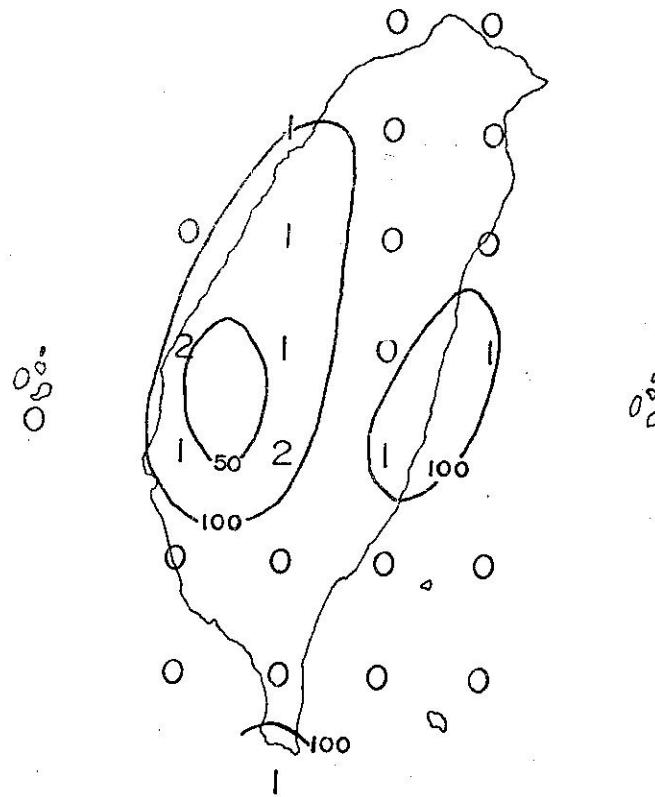


Fig. 6 Number earthquakes with intensity 6, S(VI) and iroplethes of return period (unit:year)

圖六 烈震次數 $S(VI)$ 及再現期間(單位為年)等值線

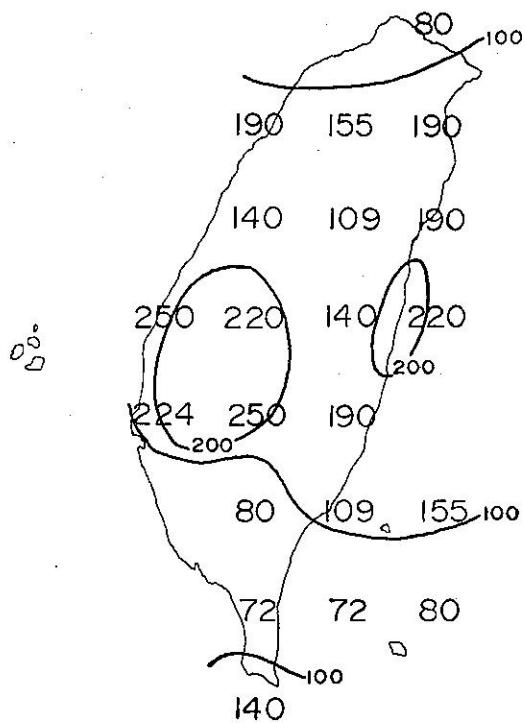


Fig. 7 Distribution of the expectancy of maximum acceleration of earthquakes in 50 years (unit: gal)

圖七 50 年內可能來襲地震之最大加速度預期值分布
(單位為 gal)

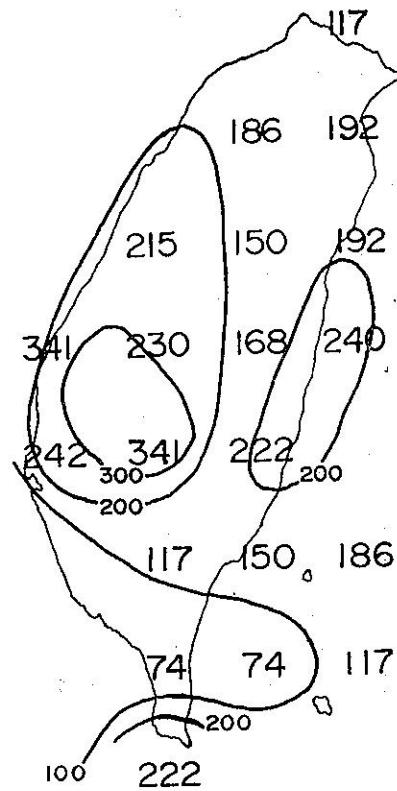


Fig. 8 Distribution of the expectancy of maximum acceleration of earthquakes in 75 years (unit:gal)

圖八 75 年內可能來襲地震之最大加速度預期值分布
(單位為 gal)

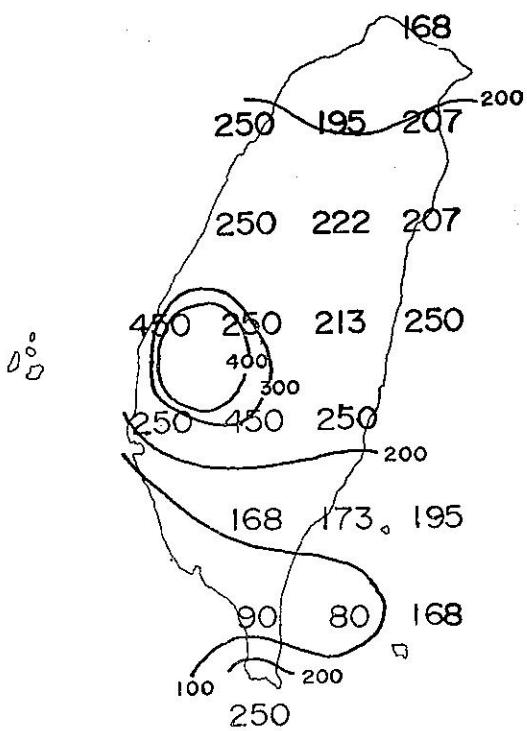


Fig. 9 Distribution of the expectancy of maximum acceleration of earthquakes in 100 years (unit:gal)

圖九 100 年內可能來襲地震之最大加速度預期值分布
(單位為 gal)

五、結語

綜合以上各圖可以推定臺灣地區地震危險度之分布。由這些圖可以看出大地震之頻率，臨界最大加速度之預期值以及過去最大震度，在嘉義地區，臺東縱谷，苗栗地區及南端部等區域比較大，而西北部，西南部及澎湖羣島為最小。

我們必須注意地震觀測之歷史和地球歷史相比較，不過是一瞬間而已。過去 100 年間沒有地震發生之區域，以地震學現狀來說，也不能斷定將來這一區域一定不發生大地震。其次前面所得結果，係依照統計理論而來，故預期值並不是獨一無二的決定。這一點在應用時要特別注意。

最後上面所得結果，沒有考慮地盤特性，即採用標準地盤。如考慮特定地盤，必須另乘「地盤係數」修正才算合理。至於地盤係數，需作地盤振動之實測，將來應發展此種觀測。此外實際設計震度還需要考慮結構對社會之重要性才算完善。

參 考 文 獻

1. Hsu, M. T. (1960): Seismicity of Taiwan (Formosa), Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 39, 831-847.
2. 徐明同 (1948): 颱風之災害，氣象通訊，第五卷，第 7~12 期，21。
3. Hsu, M. T. (1965): Seismicity of Taiwan, Proc. 3rd World Conf. Earthq. Eng., New Zealand, III/H/8, 1-8.
4. 徐明同 (1966): 臺灣地區地震活動，氣象學報，第 12 卷，第 4 期，33-51。
5. Hsu, M. T. (1971): Seismicity of Taiwan and some related problems, Bull. Intern. Inst. Seis. Earthq. Eng., Tokyo, Japan, Vol. 8, 41-160.
6. Richter, C. F. (1959): Seismic regionalization, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 49, No. 2, 123-162.
7. Hodgson, J. H. (1956): A seismic probability map for Canada, Canadian Underwriter, Vol. 23, No. 7.
8. Kawasumi, H (1951): Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from seismic activity in historical times, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 29, 469-482.
9. Muramatsu, I. (1966): Expectation of maximum velocity of earthquake motion within 50 years throughout Japan, Sci. Rep., Gifu Univ., 3, 470-481.
10. Goto, H. and H. Kameda (1967): A statistical study of the maximum ground motion in strong earthquakes, Memoirs Faculty Eng., Kyoto Univ., Vol. 29, 389-419.
11. 大久保忠良及寺島敦 (1970): 地震危險度の地域区分，土木研究所報告，138 號の 1，1-18。
12. Gubin, I. E. (1967): Lecture notes on basic problems in seismotectonics, Intern. Inst. Seis. Earthq. Eng., Tokyo, Japan, 195 pp.
13. Riznichenko, Y. V., A. I. Zakhrova and S. S. Seiduzova (1969): Seismic activity and shakeability of the Appenninian region, Boli. Geof. Teorica Applicata, Vol. 11, 227-268.
14. Riznichenko, Y. V. (1969): Problems in detailed studies of regional seismicity, IZV, Earth Physics, No. 7, 3-20.
15. Medvedev, S. V. (1960): The forecast of seismic effect on construction, Proc. 2nd World Conf. Earthq. Eng., Japan, 1839-1900.

中央氣象局震度階級

震度(級)	名稱	說	明	加速度(gal)
0	無感	地震儀有紀錄，人體無感覺。		0.8 以下
1	微震	人靜止時，或對地震敏感者可感到。		0.8 ~ 2.5
2	輕震	門窗搖動，一般人均可感到。		2.5 ~ 8.0
3	弱震	房屋搖動，門窗格格有聲，懸物搖擺，盛水動盪。		8.0 ~ 25.0
4	中震	房屋搖動甚烈，不穩物傾倒，盛水達容器八分滿者濺出。		25 ~ 80
5	強震	牆壁龜裂，牌坊烟囱傾倒。		80 ~ 250
6	烈震	房屋傾塌，山崩地裂，地層斷陷。		250 以上

附錄一 臺灣主要大地震目錄 (1875-1974)
Appendix 1 Catalogue of major earthquakes in Taiwan (1875-1974)

年 Year	月 Month	日 Day	震央 Epicenter	東經(°E) Long.	北緯(°N) Lat.	深度(km) Depth	規模 Magnitende
1881			臺北				6.0
1892	4	22	臺南安平				6.5
1896	2	12	宜蘭				6.5
1904	4	24	八卦溪上流	120.5	23.5	—	6.1
1904	11	6	北港溪下流	120.3	23.5		6.3
1906	3	17	民雄附近	120.5	23.5	很淺	7.1
1906	4	14	店子口附近	120.4	23.4	20	6.6
1909	4	15	臺北南方	121.5	25.0	80	7.3
1909	11	21	大南澳南方	121.8	24.4	很淺	7.3
1916	8	28	濁水溪上流	120.9	23.7		6.4
1916	11	15	埔里西方	120.8	24.0		5.7
1917	1	5	埔里附近	120.9	23.9		5.8
1917	1	7	埔里附近	120.9	23.9		5.6
1920	6	5	花蓮外海	122.0	24.0	很淺	8.3
1922	9	2	蘇澳外海	122.2	24.6	很淺	7.6
1922	9	15	蘇澳外海	122.3	24.6	很淺	7.2
1923	9	29	臺東附近	121.1	22.8		5.5
1925	4	17	巴士海峽	120.2	20.4	很淺	7.1
1925	6	24	立霧溪河口外海	121.8	23.9		5.6
1927	8	25	新營附近	120.3	23.3		6.5
1930	12	8	新營附近	120.4	23.3		6.5
1930	12	22	(7 ^h 52 ^m)	120.4	23.3		6.5
1930	12	22	新營附近	120.4	23.3		6.5
1930	(8 ^h 08 ^m)		新營附近	120.4	23.3		6.5
1934	8	11	蘭陽溪河口	121.8	24.8		6.5

1935	4	21	關刀山附近	120.8	24.3	5	層	7.1
1935	4	21	中港溪附近	120.9	24.7	淺	層	6.0
1935	5	5	後龍溪中流	120.8	24.5	淺	層	6.0
1935	7	17	後龍溪河口附近	120.7	24.4	30		6.2
1935	9	4	綠島附近	121.5	22.5	淺	層	7.2
1937	12	8	新港附近	121.4	23.1	10		7.0
1938	12	7	新港東方外海	121.6	22.9			7.1
1941	12	17	中埔附近	120.5	23.4	10		7.1
1943	10	23	(Ob 01 ^m) 花蓮附近	121.5	23.8	5		6.2
1943	10	23	(Ob 15 ^m) 花蓮附近	121.5	23.8			5.6
1943	11	24	花蓮附近	121.7	24.0	0		5.7
1943	12	2	綠島南方	121.5	22.5	40		6.0
1944	2	6	花蓮附近	121.4	23.8	5		6.4
1946	12	5	新化附近	120.2	23.1	0		6.3
1951	10	22	花蓮附近	121.7	23.8	0		7.3
1951	10	22	花蓮附近	121.8	24.1	20		7.1
1951	11	25	臺東附近	120.9	23.0	5		7.3
1951	11	26	臺東西北方	121.1	22.9	0		6.2
1951	11	29	臺東西北方	121.0	22.9	0		5.7
1955	4	4	鵝鑾鼻南方	120.9	21.8	5		6.7
1959	8	15	恆春東南方外海	121.2	21.5	20		6.8
1963	2	13	蘇澳外海	122.1	24.4	10		7.3
1964	1	18	白河附近	120.6	23.2	20		6.3
1967	10	25	蘇澳東南外海	122.1	24.4	65		6.1
1972	1	25	綠島東方	122.3	22.5	70		7.2
1972	4	24	瑞穗附近	121.5	23.5	3		6.9

附錄二 各測站年平均有感地震觀測次數

Appendix 2 Mean annual felt-earthquakes observed at various stations

Station	震度						合計 Total	統計年間 Year
	I	II	III	IV	V	VI		
臺北	18.1	3.8	1.8	0.4	0.0	0.0	19.1	1920-1973
臺南	8.1	2.5	0.8	0.1	0.02	0.0	11.6	1920-1973
臺中	10.2	2.4	0.9	0.1	0.02	0.0	13.5	1920-1973
恆春	5.4	1.9	0.8	0.2	0.04	0.02	8.4	1920-1973
臺東	11.6	3.4	2.4	0.7	0.04	0.0	18.2	1920-1973
花蓮	78.2	20.8	6.2	1.5	0.2	0.0	106.9	1920-1973
澎湖	1.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	1.7	1920-1973
高雄	2.9	0.7	0.6	0.1	0.0	0.0	4.3	1931-1973
阿里山	15.0	5.5	2.0	0.3	0.0	0.03	22.9	1934-1973
宜蘭	14.4	5.3	2.4	0.9	0.03	0.0	23.1	1936-1973
新竹	5.6	3.0	1.5	0.2	0.0	0.0	10.3	1936-1973
新竹	24.9	7.6	3.0	0.7	0.0	0.0	36.1	1941-1973
大武	5.5	2.2	1.4	0.3	0.03	0.0	9.4	1942-1973
玉山	12.9	3.4	1.4	0.06	0.1	0.0	17.9	1958-1973
鞍部	4.0	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	5.7	1965-1973
蘭嶼	6.7	2.7	1.1	0.6	0.0	0.0	11.1	1965-1971
嘉義	10.8	2.6	1.8	0.2	0.0	0.0	15.4	1969-1973