

地震工程與耐震設計簡介

張景鐘 教授

海洋大學 河海工程系

地震災害特性

1. 破壞性：短時間釋放大能量
2. 廣域性：斷層錯動範圍可達100公里
3. 複合性：一次災害
二次災害
4. 突發性：無法預測預警

地震大小量測

1. 規模(Magnitude)

— 芮氏規模(Richter Scale) $M=7.3$

以地震儀上量測到之最大震幅之對數值訂定

M 每增加一單位 $\rightarrow$ Energy增加30倍

$M=8.2$ 地震相當1000個廣島原子彈能量

2. 震度(Intensity)

— 台灣分成7級(人的感覺)

無感、微震、輕震、弱震、中震、強震、烈震

耐震設計

$$F = m \cdot a$$

F = 牛頓慣性力

m = 結構質量

a = 對應加速度

結構加速度 >> 地表加速度

振動週期相等 → 共振現象

結構耐震動力分析

$$\mathbf{M} \cdot \mathbf{x}'' + \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}' + \mathbf{K} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F}(t)$$

$\mathbf{F}(t)$ = 地震力

$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{M} = \text{結構質量} \\ \mathbf{C} = \text{結構阻尼} \\ \mathbf{K} = \text{結構勁度} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x} = \text{位移} \\ \mathbf{x}' = \text{速度} \\ \mathbf{x}'' = \text{加速度} \end{array} \right.$

耐震設計準則

安全 + 經濟

1. 弱震不壞

2. 中震可修

3. 強震不倒

結構耐震設計基本要求

1. 基地遠離斷層帶和鬆軟基礎
2. 建築平面、立面規則對稱
3. 合理的耐震結構系統
4. 處理好非結構之構件
5. 材料與施工品質

結構防震新趨勢

能量守恆：

$$E_I = E_S + E_K + E_D$$

E_I = 地震輸入能量

E_S = 彈性應變能

E_K = 動能

E_D = 阻尼消散能量

1. 隔震與減震

2. 主動與被動控制

921 大地震回顧

大樓連根倒

■凌晨強震
致使新莊民
安路一棟12
層樓大樓地
基斷裂傾倒
，造成嚴重
傷亡。(本
報影像中心
)

集集大地震



天災? -- 人禍?

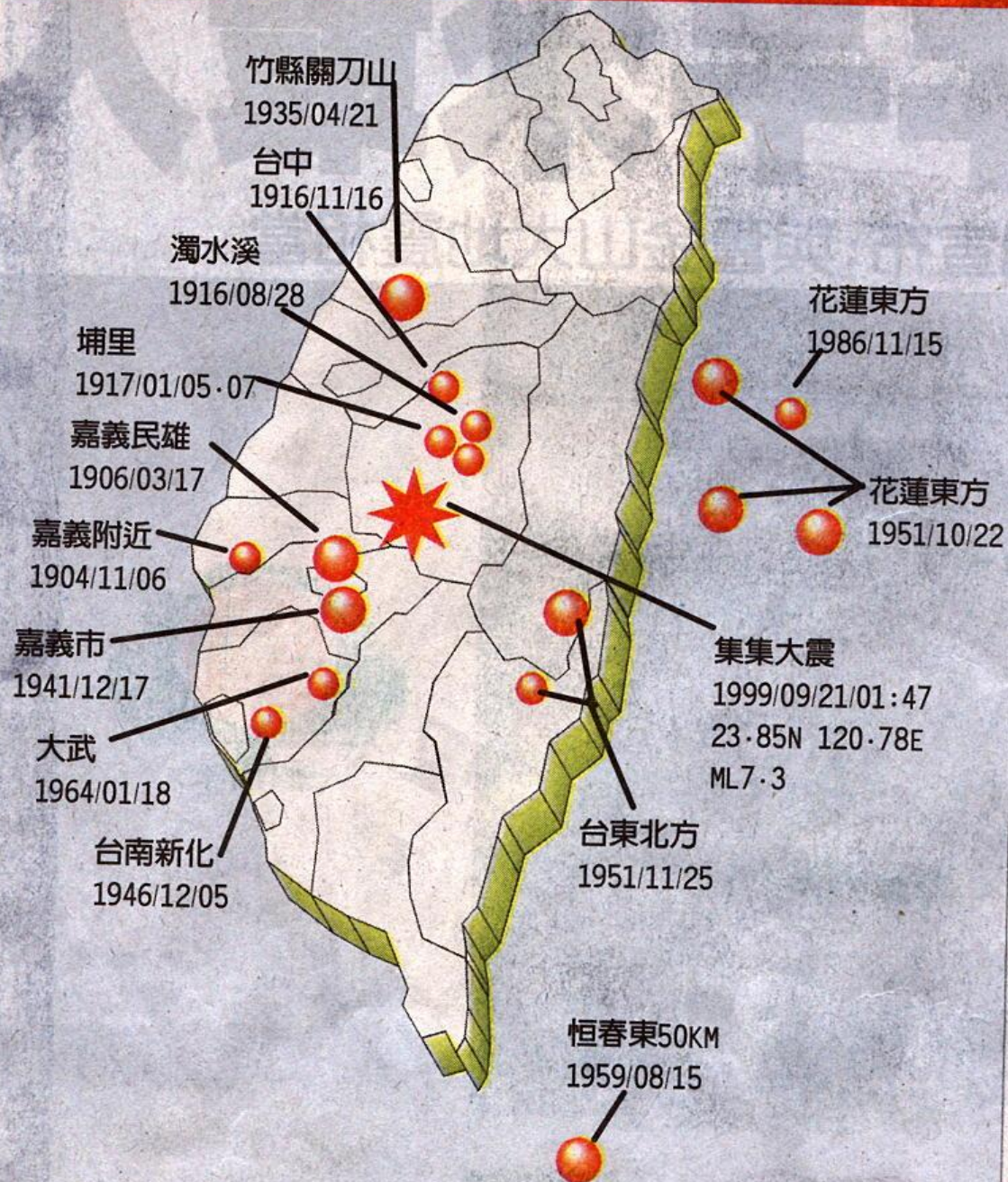


台中金巴黎社區



天災? -- 人禍?

百年十大地震分佈圖



台灣地區百年來十大地震傷亡損失表

(依死亡人數統計)

時 間	震 央	規模	死亡	受傷	房屋受損
(1)1935.04.21	新竹關刀山	7.1	3276	12053	54688
(2)1906.03.17	嘉義民雄	7.1	1258	2385	20987
(3)1941.12.17	嘉義市中埔	7.1	358	733	15606
(4)1904.11.06	嘉義附近	6.3	145	158	3840
(5)1964.01.18	台南白河	6.5	106	653	40965
(6)1946.12.05	台南新化	6.3	74	482	4038
(7)1951.10.22	花蓮東南東	7.3	68	856	2382
(8)1917.01.05	埔里附近	5.8	54	85	755
(9)1935.07.17	後龍溪口	6.2	44	391	7621
(10)1951.11.25	台東北方	7.3	17	326	1598
1999.09.21	南投集集	7.3	?	?	?

資料來源：中央氣象局

製表：曹以會

地震成因-- 板塊構造運動

150°E

120°E

125°E

130°E

歐亞塊板

EURASIAN PLATE

中國大陸

MAINLAND CHINA

EAST CHINA SEA

東海

LYUKYU ISLAND ARC
琉球島弧

臺灣
TAIWAN

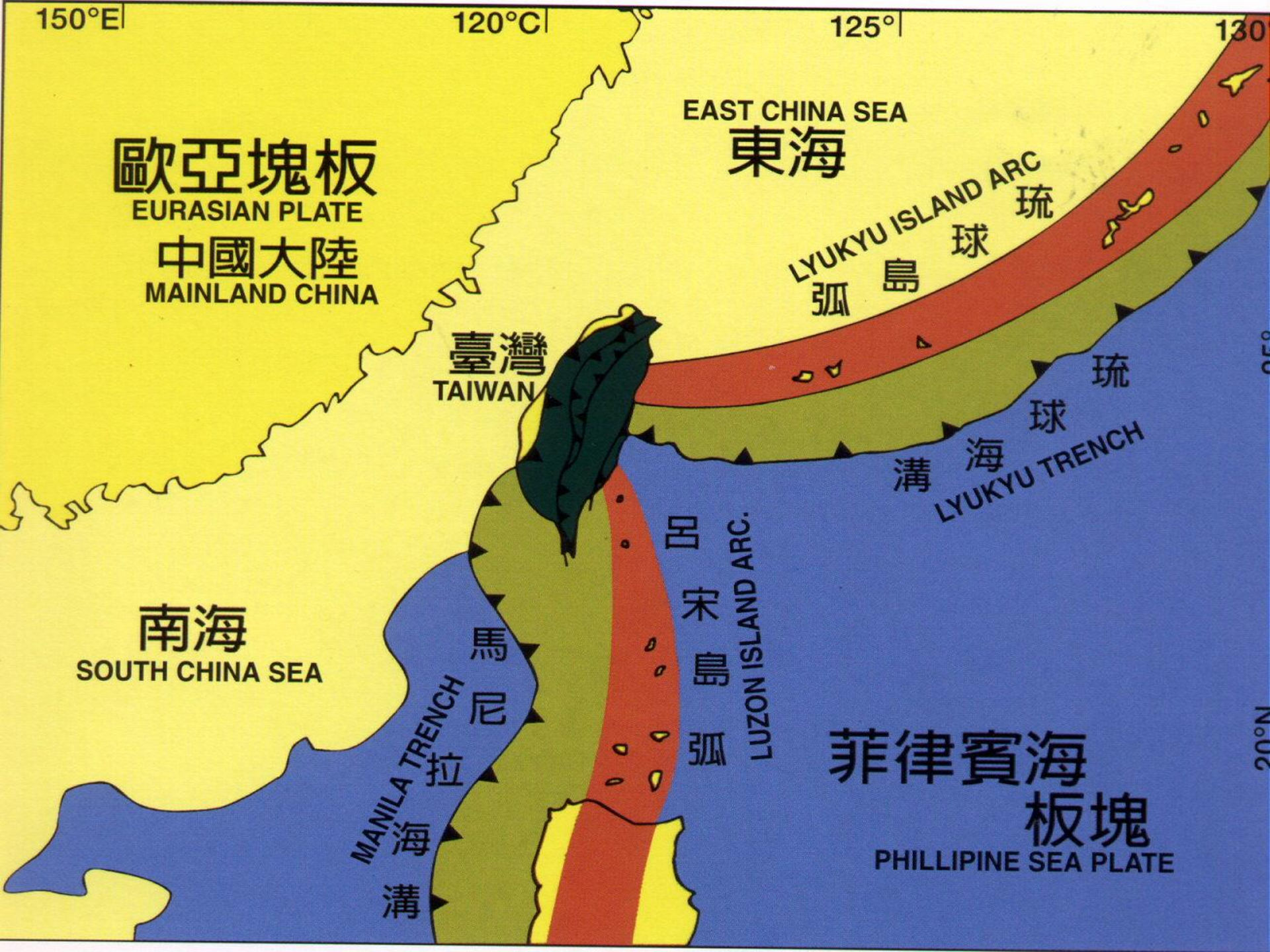
琉球海溝
LYUKYU TRENCH

南海
SOUTH CHINA SEA

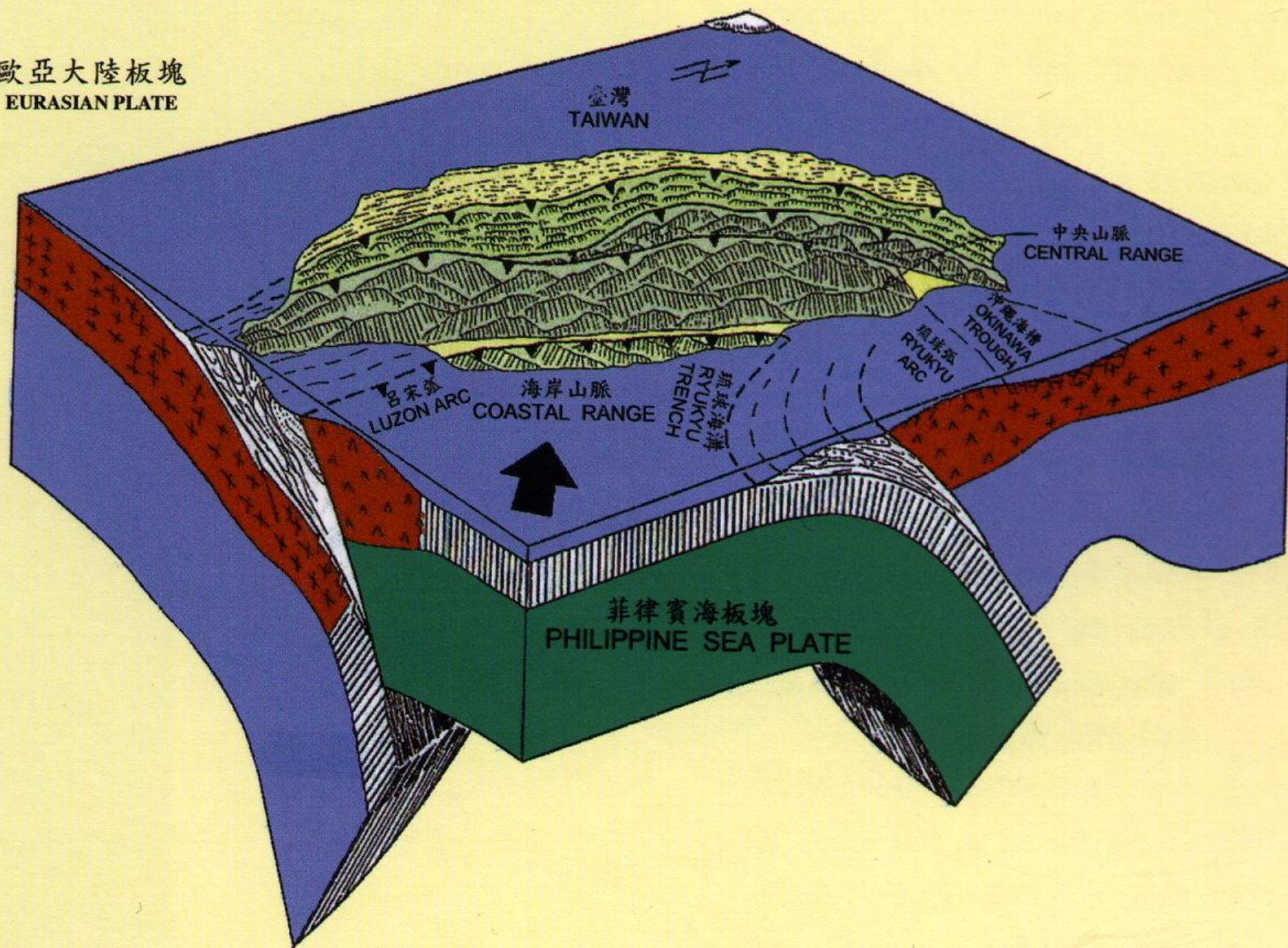
馬尼拉海溝
MANILA TRENCH

呂宋島弧
LUZON ISLAND ARC

菲律賓海板塊
PHILLIPINE SEA PLATE



歐亞大陸板塊
EURASIAN PLATE



地震斷層

圖中四條虛線為經過石岡鄉之斷層線



台灣活動斷層分佈圖

- | | | |
|------------|------------|-------------|
| 1 磺溪斷層 | 27 環山斷層 | 47 海岸山脈斷層南段 |
| 2 小油坑斷層 | 28 四季斷層 | 48 玉里斷層 |
| 3 炭腳斷層 | 29 牛鬥斷層 | 49 中央山脈斷層 |
| 4 南崁斷層 | 30 礁溪斷層 | 50 海岸山脈斷層北段 |
| 5 雙連坡斷層 | 31 宜蘭斷層 | 51 美崙斷層 |
| 6 楊梅斷層 | 32 觸口斷層 | 52 六龜斷層 |
| 7 湖口斷層 | 33 古坑斷層 | 53 潮州斷層 |
| 8 新竹斷層 | 34 梅山斷層 | 54 恆春斷層 |
| 9 大坪地斷層 | 35 九芎坑斷層 | 55 鹿野斷層 |
| 10 新城斷層 | 36 大尖山觸口斷層 | |
| 11 竹東斷層 | 37 木屐寮斷層 | |
| 12 斗煥坪斷層 | 38 六甲斷層 | |
| 13 獅潭斷層 | 39 左鎮斷層 | |
| 14 神桌山斷層 | 40 新化斷層 | |
| 15 屯子腳斷層 | 41 後甲里斷層 | |
| 16 彰化斷層 | 42 小岡山斷層 | |
| 17 車籠埔斷層 | 43 右昌斷層 | |
| 18 大茅埔雙冬斷層 | 44 仁武斷層 | |
| 19 水裡坑斷層 | 45 鳳山斷層 | |
| 20 陳有蘭溪斷層 | 46 旗山斷層 | |
| 21 武界斷層 | | |
| 22 曲冰斷層 | | |
| 23 萬大斷層 | | |
| 24 霧社斷層 | | |
| 25 力行斷層 | | |
| 26 梨山斷層 | | |

921大地震震央

22日嘉義地震震央

第一類活動斷層 (全新世活動斷層)

註：此為全新世（一萬年前迄今）活動過之活動斷層。

第二類活動斷層 (更新世晚期活動斷層)

註：此為更新世晚期（十萬年前迄今）活動過之活動斷層。

第三類活動斷層 (圖中上述第一類、第二類以外之活動斷層)

註：此主要為具有活動斷層特徵，但尚未確定為第一類或第二類活動斷層者。

資料來源：中央大學應用地質研究所
整理：工業技術研究院
能源與資源研究所
電腦繪圖：美編黃子權

大安溪

三義

泰安

大甲溪

台中縣

卓蘭

豐原

東勢

大肚溪

台中市

南

921地震
斷層破裂帶

霧峰

國姓

彰化縣

埔里 投

南投

名間

日月潭

縣

濁水溪

集集 水里

雲林縣

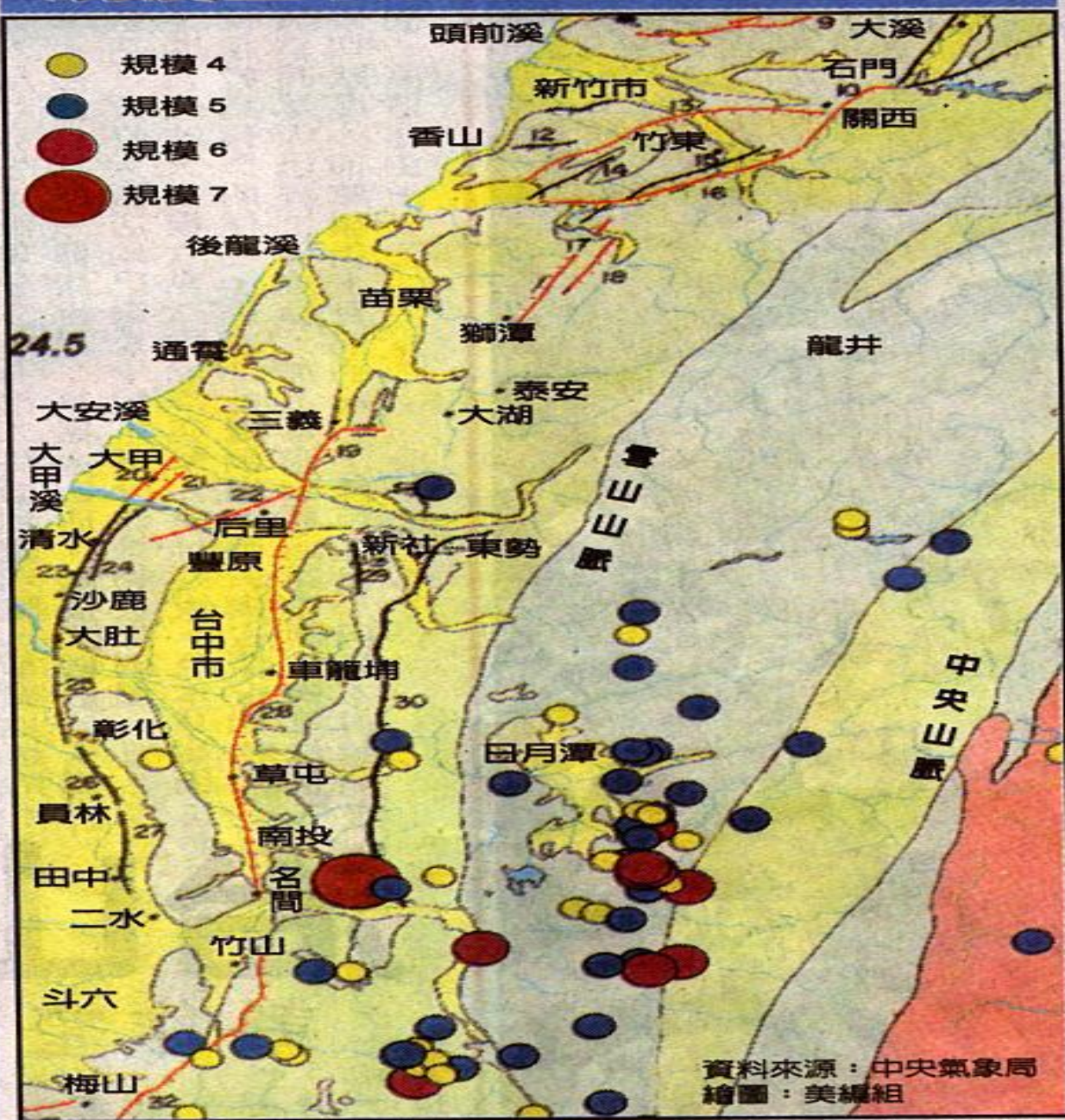
竹山

草嶺

阿里山

電腦繪圖 /
美編 黃子權

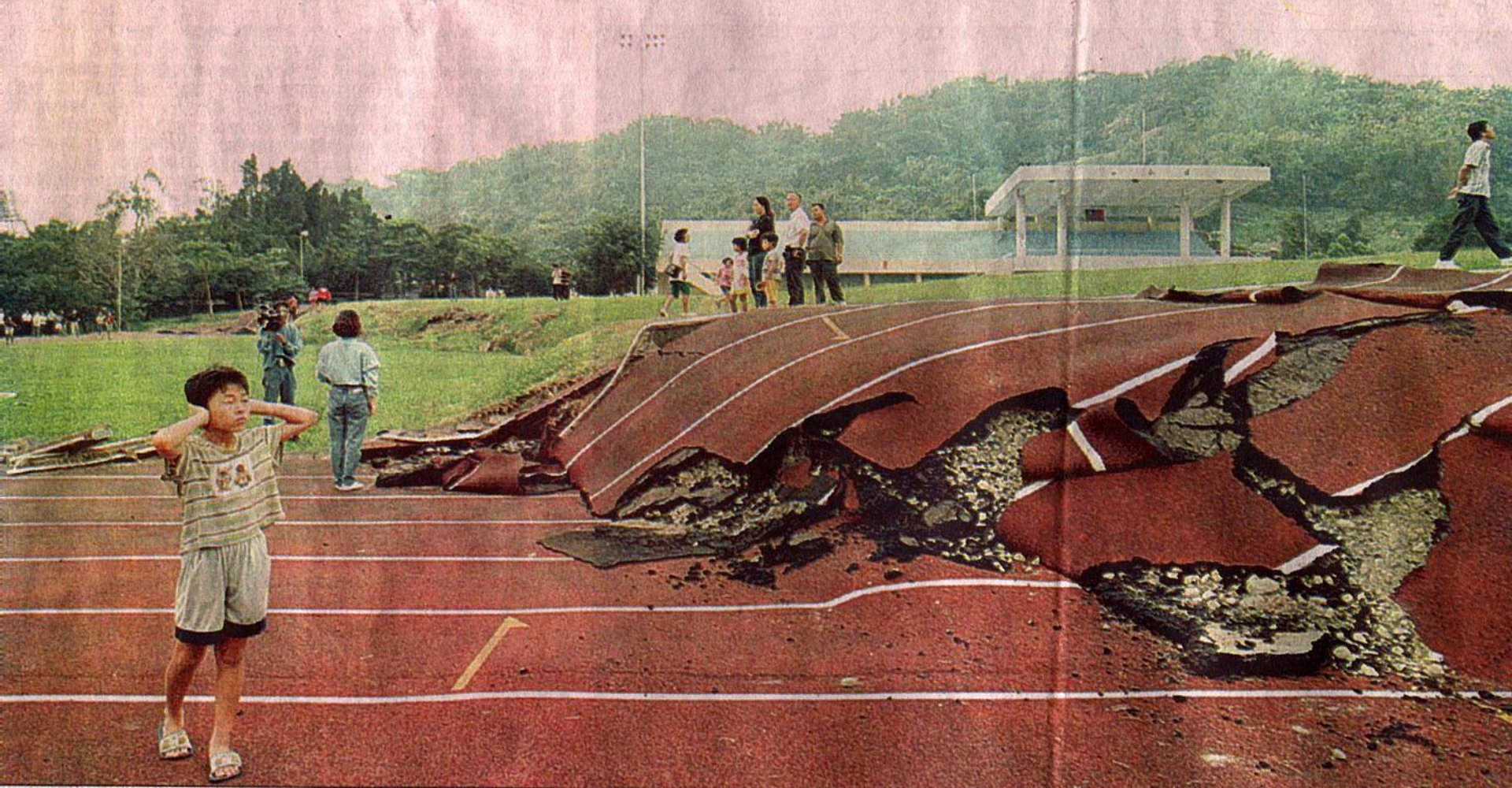
921集集大地震以來 規模四以上的餘震分佈圖



中央氣象局分析，目前出現的餘震大都集中在雪山山脈和中央山脈之間，主要是因為中央山脈以東的岩層結構不同，能量無法往台灣東部傳遞。

(文：蘇宇暉)

資料來源：中央氣象局
繪圖：美編組



霧峰光復國中操場--斷層經過--地表隆起



霧峰光復國中操場--斷層經過--地表隆起



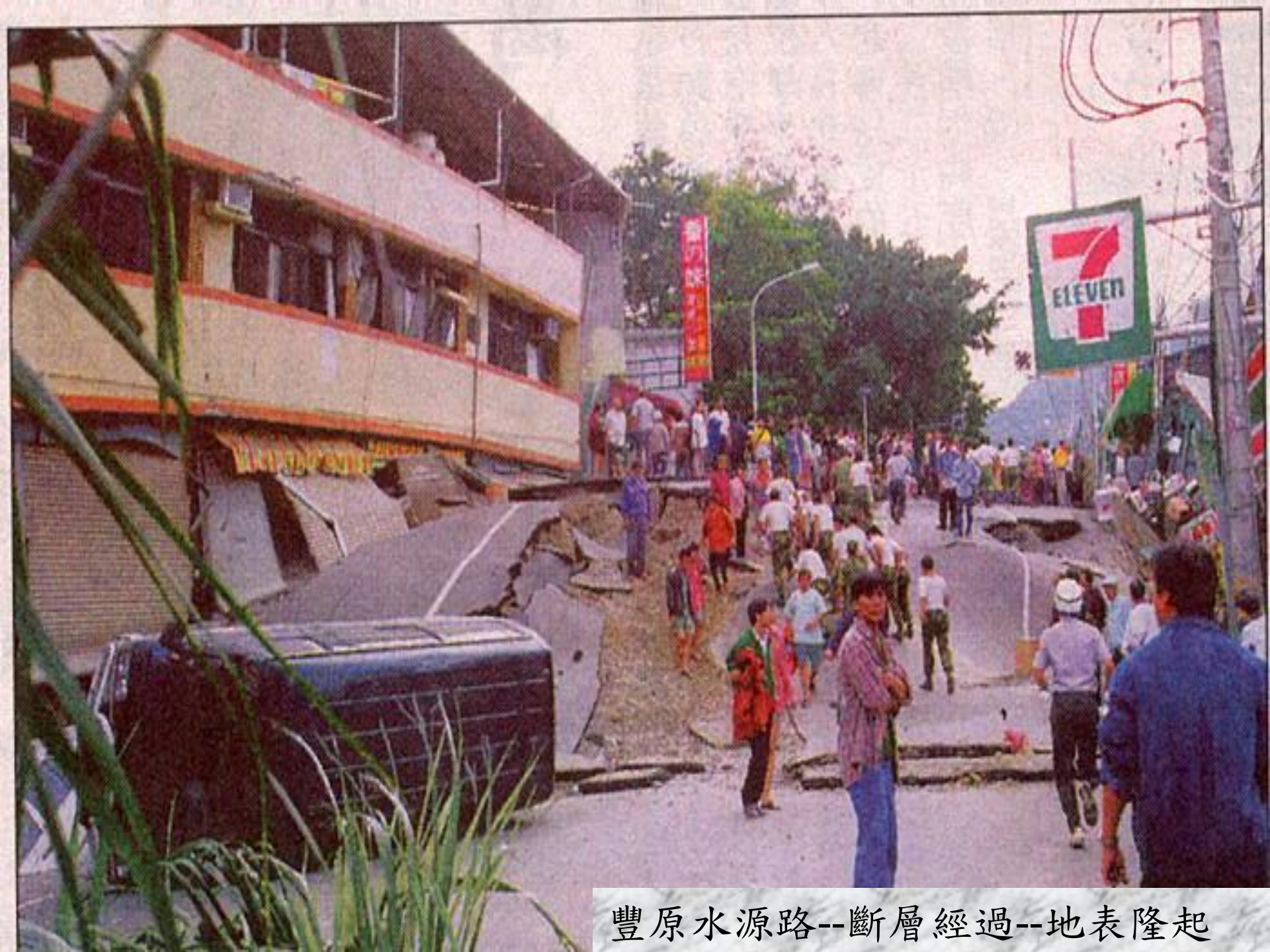
霧峰光復國中操場--斷層經過--地表隆起



霧峰光復國中操場--斷層經過--地表隆起



明台家商操場--斷層經過--地表隆起2公尺



豐原水源路--斷層經過--地表隆起

車籠埔新瀑布

車籠埔斷層從大甲溪底隆起，形成壯觀的瀑布，
支離破碎。
(記者鄭宏昱)



新埤豐瀑布--斷層經過--地表隆起

新埤豐瀑布--斷層經過--地表隆起



新埤豐瀑布--斷層經過--地表隆起



供應大台中地區民生用水的台中縣石岡水壩左方三處閘門下陷，破洞見底，蓄積水量一夕間傾瀉流光，中部地區災民除遭地震災變，還將面對缺水之苦。

新聞見十三版

記者張柏福／攝影

水壩也震壞了



石岡水壩破裂--斷層經過--地表隆起



石岡水壩破裂--斷層經過--地表隆起



石岡-豐原一帶--斷層經過之破壞



豐原中正公園--斷層經過之破壞





南投--斷層經過之破壞



石岡壩南幹渠引水隧道因錯動隆起四、五公尺而斷裂，修復期長達二個月。

(記者鄭宏昱攝)

地下水管破裂--斷層經過--地層錯開

大地裂痕



九九峰(火炎山)--震後光禿禿景象



九分二山--震央所在地



草嶺潭

土壤液化

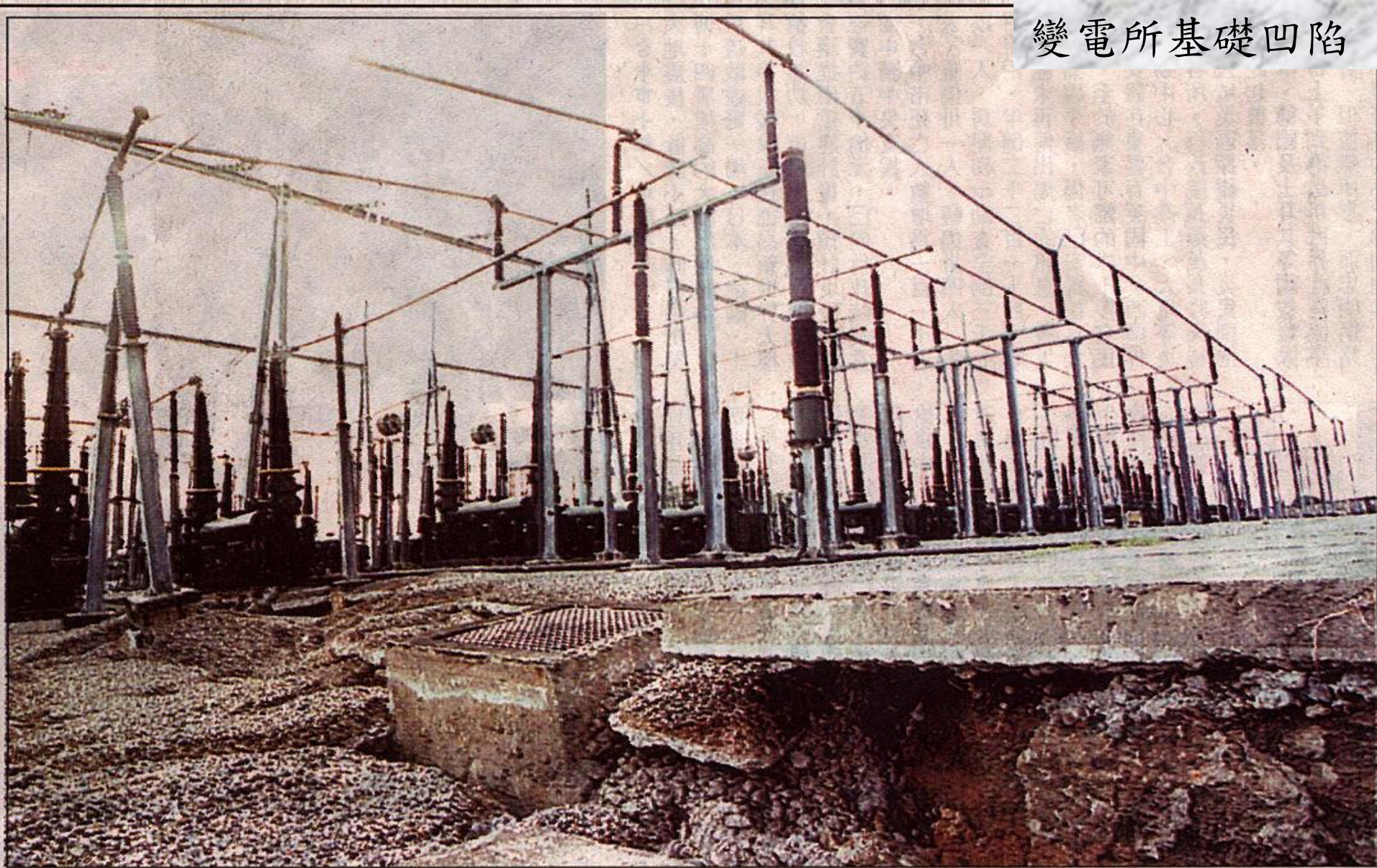
土壤液化--地表凹陷



彰化縣伸港鄉大肚溪口高灘地，地震後出現裂縫和坑洞的奇特景觀，專家研判是土壤異化現象。
(記者張瑞楨攝)



土壤液化--地表凹陷



供電關鍵

攸關中北部穩定供電的中察超高壓變電所，在大地震後，如圖中所見幾乎已成廢墟，修復時間台電估計最少需要半年，為儘快提供中北部所需電力，台電計劃搭建臨時輸電鐵塔，繞經中察變電所，將電力往北送。

（圖：記者宋志雄 文：記者歐祥義）



大地在哭泣 ■台中港碼頭嚴重坍塌，機具設備岌岌可危，損失慘重。

9.22
中時晚

(陳世宗攝)



■台中港碼頭因液化造成坍陷，連鐵軌地基亦遭到掏空。

(陳世宗攝)





台中港碼頭



台中港碼頭

山峰國小後山庭園所出現如泥火山
的噴沙孔。

（記者周麗蘭攝）



高樓--破壞倒塌

921集集大地震損毀的部份高樓大廈

地點	大樓	樓層	災況	圖例
1.台北市	1.八德路宏傑大樓（東星大樓）	12	倒塌	圖一～三
	2.民權東路樓房	12	傾斜	
	3.中龍大樓		倒塌	
2.台北縣新莊市	1.民安路博士的家	12	倒塌	圖四～六
	2.龍閣大廈	11	傾斜下陷	
3.台中市	1.德昌新世界	14	中間斜裂，底層傾塌	圖十～十二
	2.昇平華夏	7	傾塌	
4.彰化縣員林鎮	1.龍邦富貴名門	16	4-8樓柱斷壓扁，其餘傾塌	
5.台中縣大里市	1.金巴黎	12	傾塌	
6.台中縣豐原市	1.美村尊龍	20	傾斜	
	2.向陽永照	12	攔腰斷裂，倒塌	
7.南投縣南投市	1.國泰人壽大樓	6	倒塌	
8.雲林縣斗六市	1.林中街民房	16	傾斜	
	2.中山國寶大樓	12	倒塌	

驚變

■北市八德路東興大樓今天凌晨在強震中，轟然一聲
不支倒塌。

(本報攝影中心)

台北東興大樓



東星大樓變形對照圖

東星大樓原貌

強震後東星大樓
變形輪廓

鋼筋嚴重變形



12F

11F

10F

9F

8F

7F

6F

5F

4F

3F

2F

1F

B1

B2

11F~12F
松山賓館

3F~10F
住宅

1F~2F
第一銀行

B1~B2
停車場

台北東興大樓



台北東興大樓



台北東興大樓





新莊博士的家

台北縣新莊民安路「博士之家」在地震中倒塌，壓毀隔鄰五層樓公寓，現場哀嚎求救聲不斷，令人慘不忍睹。

(本報園記者龔昌瑾攝)



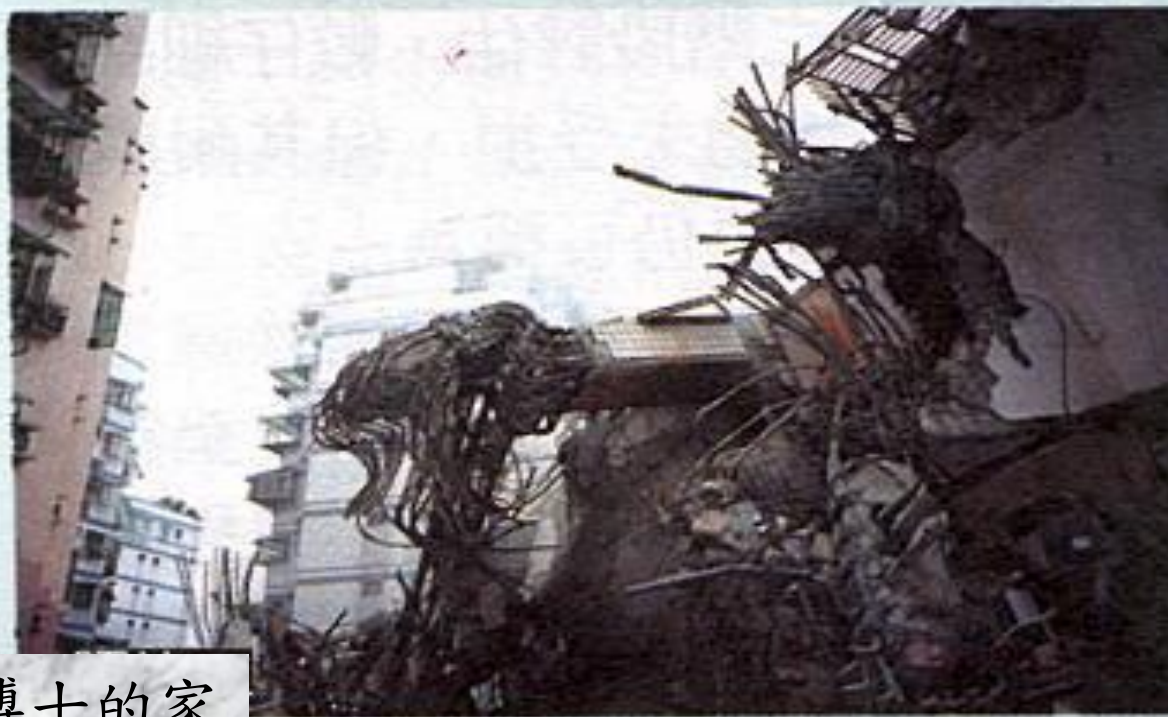
新莊博士的家



新莊博士的家



新莊博士的家



新莊博士的家



照片三



台北縣龍閣大樓

台中王朝大樓

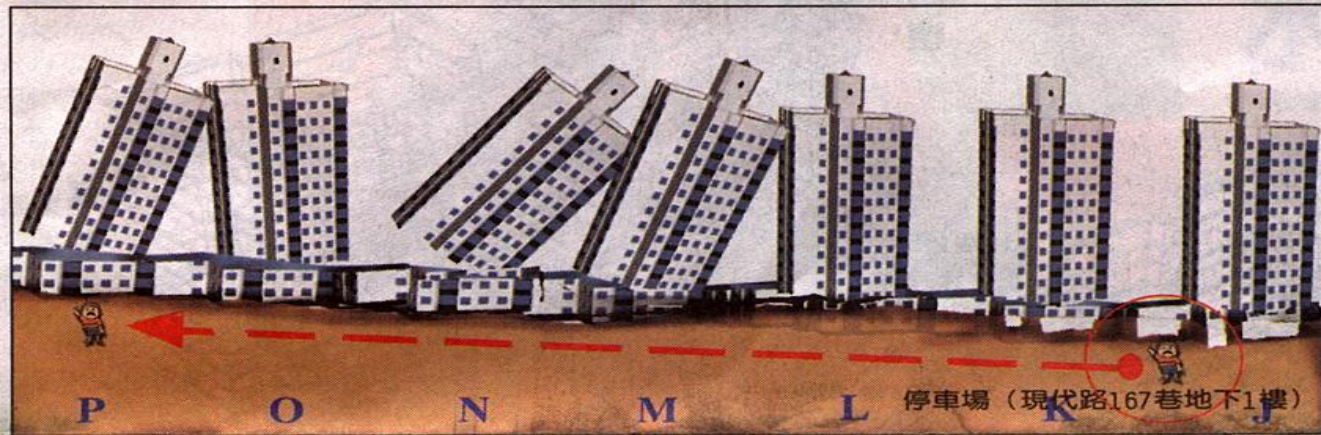
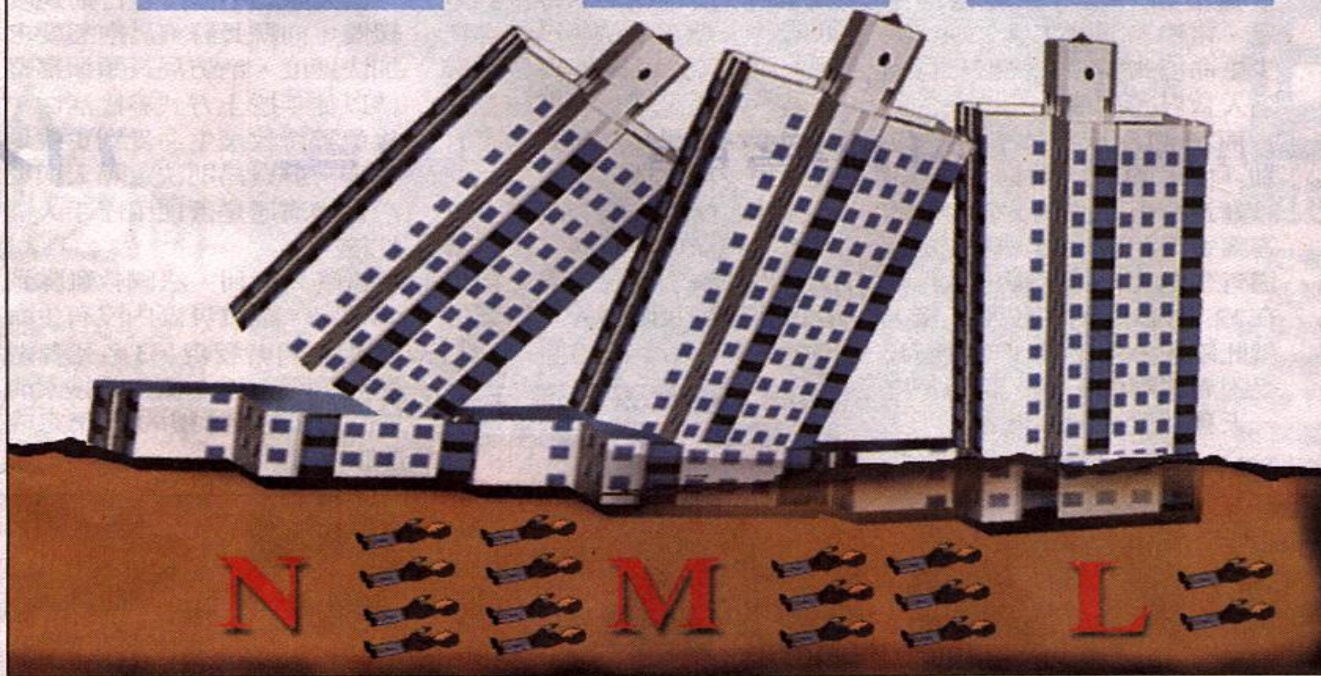


王朝大樓受困災民位置顯示圖

N棟
8人位於3至7樓

M棟
6人位於3至5樓

L棟
2人位於4至5樓



臺中王朝大樓。(記者倪國緯 攝影)

王朝大樓 災情剖析表

總戶數：**181戶**

住屋率：**80%**

計有**144戶**約**500人**居住，在**P棟2樓**救出男孩張景閣

王朝大樓每一棟有**11戶**，樓高**12層**，發現男孩的位置是在地下**1樓**

救難隊伍：南韓隊 **15-17人**

日本隊 **22人**

德國和瑞士隊約**7至8人**

傷亡統計：死亡**19人**

受傷**70人**

被困**17人**

被困人員分布情況如下：

L棟2人位於**4至5樓**

M棟6人位於**3至5樓**

N棟8人位於**3至7樓**

店**27 (M和N棟2樓之店面)** **1人**

* 王朝大樓**1、2樓**為店面，**3樓**以上為住戶

製表：倪國緯 繪圖：勁報美術組

台中金巴黎社區





台中金巴黎社區



東勢大樓

東勢大樓



彰化龍邦富貴名廈



台中德昌新世界





台中德昌新世界



南投名間上毅世家



南投縣名間鄉「上毅世家」十二層大樓不堪昨日規模六·八餘震搖晃，整棟大樓橫倒在彰南路上，並波及當地農會大樓。

(記者宋志雄南投傳真)



斗六漢記大樓



斗六漢記大樓



斗六觀邸大樓

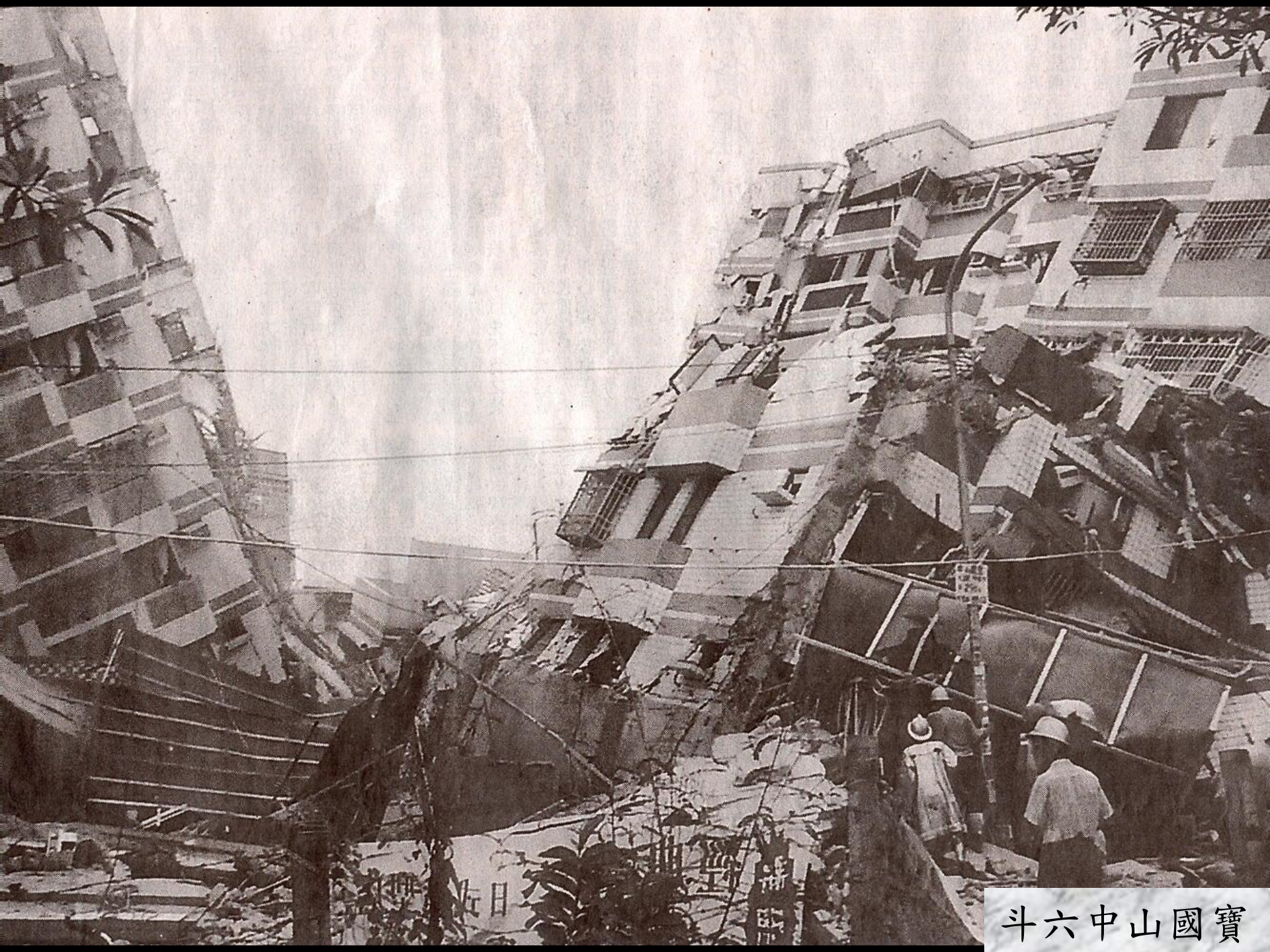


斗六觀邸大樓



1999.9.23

斗六中山國寶



寶國中山中六斗



斗六中山國寶

歪七扭八

◀雲林縣斗六市中山國寶二棟大樓不堪強震，搖晃陷落，建築物嚴重扭曲變形。

記者魯永明／



斗六中山國寶

校舍--破壞倒塌



霧峰光復國中--校舍破壞前後對照



埔里宏仁國中



埔里宏仁國中



埔里南光國小



埔里南光國小--短柱破壞,箍筋間距太大,柱內有水管



南投爽文國中



竹山社寮國小--一樓完全塌陷



此因也舍校，尺公兩起抬被層斷，後過震地，上帶層斷埔籠車在建好正工商屯草
影攝／甫彥李者記

。形變壓擠被



。形變重嚴壓擠被窗鐵樓一，垮震上以樓二舍校中國興中縣投南

影攝／禮文紀者記

南投中興國中



10/22 嘉義地震--民雄農工電工實習大樓塌陷破壞

一般民房



草屯民房--挑高樓層破壞塌陷



草屯民房--一樓騎倒塌樓破壞



草屯民房--一樓完全破壞



車籠埔斷層帶上--草屯民房傾倒破壞

南投縣草屯鎮的一棟民宅，在這次震災中斜躺下來，許多人一生的積蓄化為烏有，親人止別，令人不勝欷歔。

（記者鍾國偉



草屯樓房傾倒破壞



草屯民房--一樓柱破壞



一般民房倒塌破壞



一般民房--一樓騎倒塌樓破壞



廟宇建築破壞

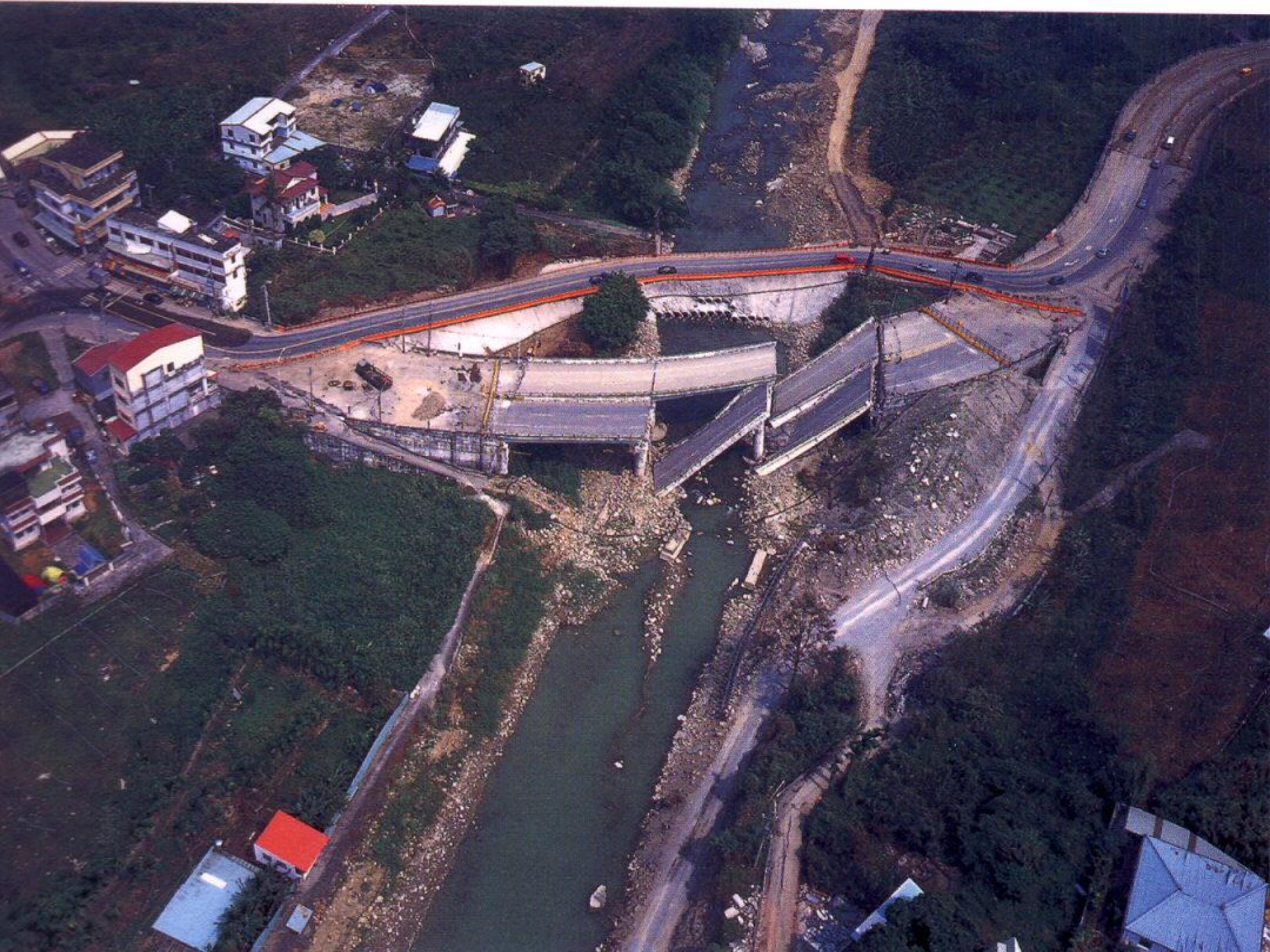


集

集

集集火車站破壞

橋樑--破壞倒塌





南投一江橋





名竹大橋



烏溪橋--橋面墜落

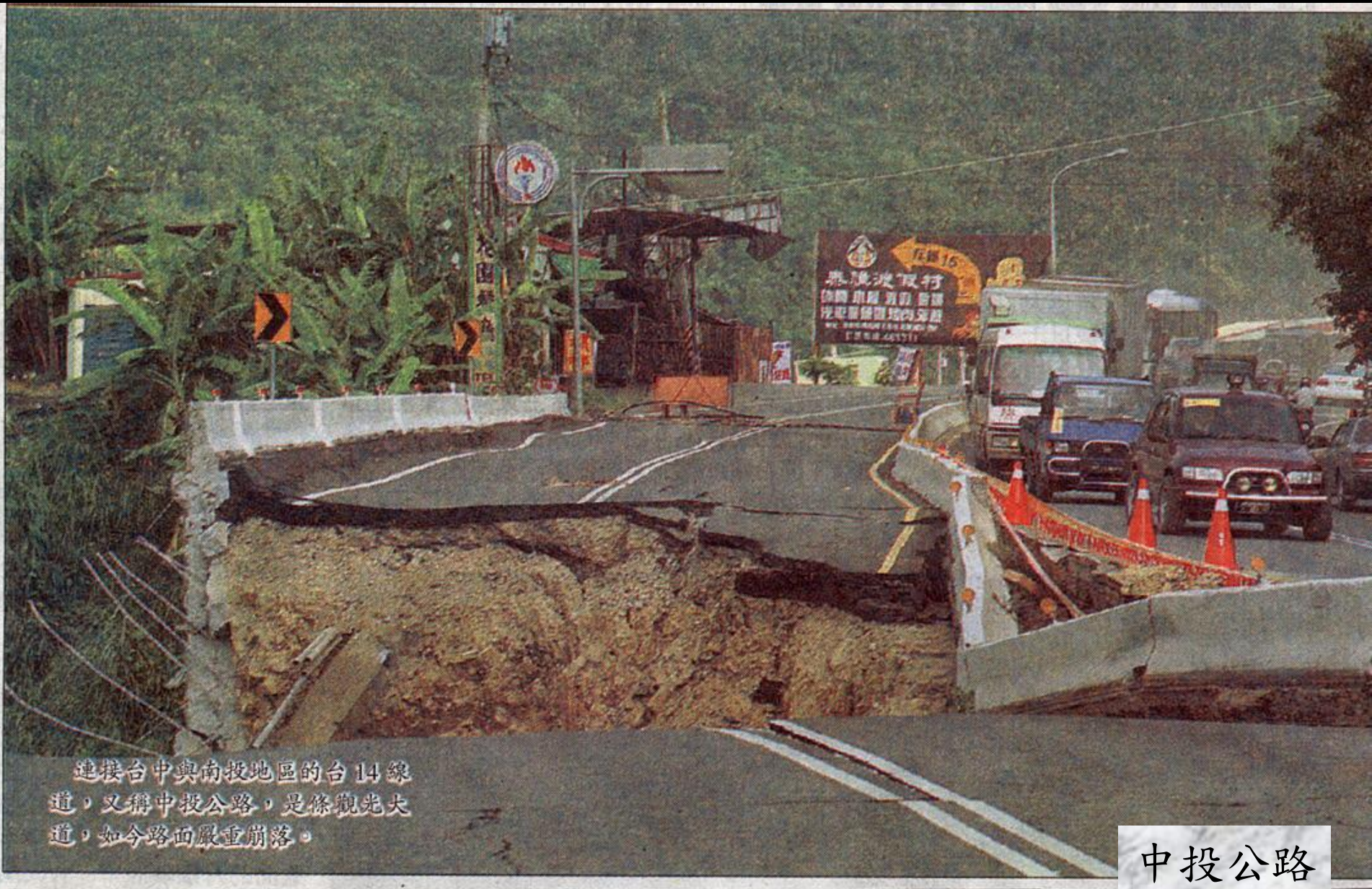


烏溪橋--橋墩剪裂錯動



台三線名竹大橋禁不起強震肆虐，三分之一約七十公尺的橋面整個坍塌，一部大型砂石車閃避不及，隨橋面掉落在河床上。

名竹大橋



連接台中與南投地區的台14線道，又稱中投公路，是條觀光大道，如今路面嚴重崩落。

中投公路



中投公路

看不盡殘破

■南投縣員集路整個路面因隆起而柔腸寸斷。

(季志翔攝)

天災難免！人禍？

設計不良

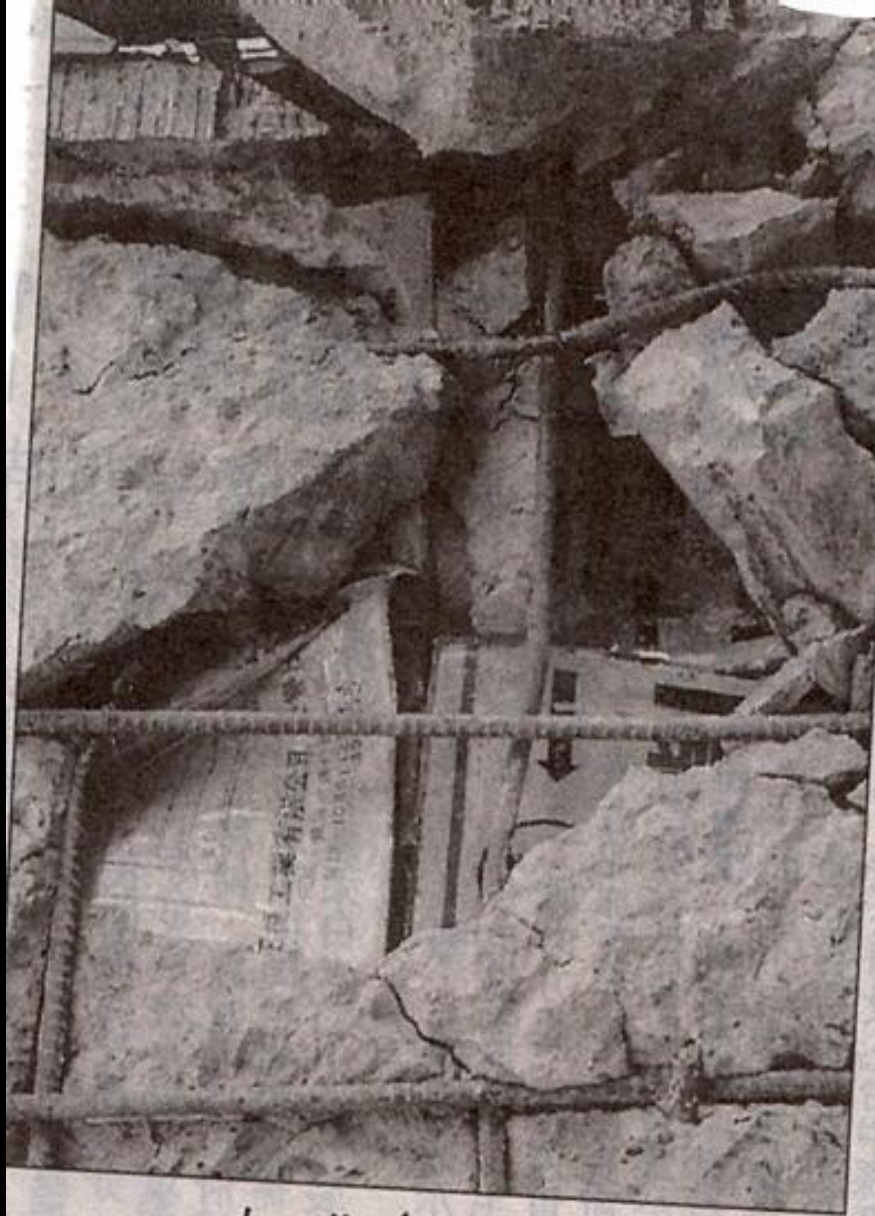
偷工減料

使用不當

沙拉油桶填充柱

台中縣太平市「新平生活公園」震災現場，救難人員挖開建物，樑柱裡赫然可見沙拉油桶。





桶鐵空 內壁牆

見可內壁牆、柱樑築建的倒傾區災縣中台

。料減工偷疑質民災，桶鐵空多許

影攝／趙定國



沙拉油桶填充樑

日本行 我們行不行

阪神高速道路神戸線復建狀況



1月22日



1月25日



1月25日



1月28日



1月28日

1995年1月17日凌晨5時46分，日本發生震驚全國的阪神大地震。

日本政府展現出極高效率的救災能力，以大阪市内倒塌的阪神高速公路高架路段為例：

從震災發生到全面拆除倒塌路段，清運土石，前後只有短短幾個工作天。

由於災區廢棄土石的數量相當驚人，日本政府除大量徵調民間運輸業者投入清運以外，並由日本自衛隊扮演主要的角色。

日本自衛隊在最短時間內清理災區，因為只有在完成清理後，才能展開復建的工作。

面對集集大震中部災區到處都是斷殘垣的破敗景象，政府如何在最短時間內完成災區重整的工作，或許可以多參考日本經驗。

(圖片來源：中華民國建築學會)



921大地震建築物震災調查 初步結論與建議

(國家地震工程研究中心)

震害原因

1. 建築物鄰近斷層或土壤發生液化現象，導致基礎開裂或不均勻沉陷。
2. 老舊建築物未經耐震設計或設計不良，耐震能力較差。
3. 鄰近建築物因樓層高度不一，樓板與鄰屋之樑柱系統互相碰撞。
4. 底層挑高、開放空間設計、隔間牆被不當敲除等因素，形成軟弱層。
5. 設計不良、施工品質不佳。

- (1) 柱斷面過小導致鋼筋排列過密，鋼筋與混凝土之握裹力無法發揮。
- (2) 大量管線置於結構柱中，減小有效混凝土斷面積。
- (3) 採用懸臂式走廊設計卻未特別考量其影響。
- (4) 為方便地下室停車位增設或通行，任意敲除必要的剪力牆。
- (5) 鋼筋搭接長度不足，搭接位置不當；鋼筋間距不足
- (6) 箍筋間距太大，未採用 135° 彎鉤，造成圍束力與抗剪力不足。
- (7) 鋼筋量及混凝土強度不足，鋼筋不在正確位置。
- (8) 鋼筋之混凝土保護層不夠。

改善對策

1. 檢討現行之耐震設計法規，重新檢討震區劃分、近斷層之設計反應譜與場址效應等。
2. 推動公有及供公眾使用之建築物的耐震評估與補強，確保學校、醫院與防救災體系能在震後正常運作。
3. 加強建築物設計與施工者的責任，並落實雙方之監督機制。
4. 推動建築物震災保險制度。

5. 加強一般民眾，尤其是鄉村地區，對住宅之正確建造、使用與維護的知識，加強建築物耐震常識。
6. 改善高層建築結構的審查作業方式與須審查的對象，減少不法建商投機取巧的機會。
7. 落實建築基地之地質鑽探作業流程，並整合現有與未來之工程地質探勘資料庫，達資源共享的目的。
8. 汲取本次地震之教訓，探討地震災害有關課題與策略。