

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

出國類別：考察

水力電廠地震安全防護技術考察報告

服務機關：台灣電力公司

職 稱：副廠長

姓 名：翁炳坤

姓名代號：485045

出國地點：法國

出國日期：90.9.17~90.9.26

報告日期：90.11.16

93/
C09005113

行政院及所屬各機關出國報告審核表

| | |
|------------------------------|--|
| 出國報告名稱：水力電廠地震安全防護技術考察報告 | |
| 出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司 | |
| 出國人姓名/職稱/服務單位：大觀發電廠 副廠長 翁炳坤 | |
| 出國計畫 主辦機關 審核意見 | <input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input checked="" type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略容 <input type="checkbox"/> (4) 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> (5) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見 |
| 層轉機關 審核意見 | <input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 退回補正，原因： _____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 其他處理意見： |

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

總經理

副總經理

(Handwritten signatures and initials)

主管處

主管



單位

主管



報告人：



行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：水力電廠地震安全防護技術考察報告

頁數 28 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司 陳德隆 02-3667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話 大觀發電廠 副廠長 翁炳坤

049-2774016 轉 433

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：90年9月17日至90年9月26日 出國地區：法國

報告日期：90年11月16日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

壹、前言

貳、考察心得：

- 一、地震的起因
- 二、耐震問題研究之進展
- 三、地震帶
- 四、地震強度與地震規模
- 五、地震觀測
- 六、地盤、地質與震災的關係
- 七、結構物耐震設計須考慮的因素
- 八、地震對隧道之損害與防範對策
- 九、水庫及壩之耐震設計須考慮的事項
- 十、水庫及壩的安全監測
- 十一、大壩之設計地震評估與安全分析
- 十二、地下管線之防震措施
- 十三、地下結構物之防震措施

參、結語

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

出國類別：考察

水力電廠地震安全防護技術考察報告

服務機關：台灣電力公司

職 稱：副廠長

姓 名：翁炳坤

姓名代號：485045

出國地點：法國

出國日期：90.9.17~90.9.26

報告日期：90.11.16

水力電廠地震安全防護技術考察報告

出國行程概要：

依照原訂出國計畫，出國日期為 9 月 16 日，當日因適逢納莉颱風來襲，台灣北部地區籠罩在強風豪雨當中，職按時趕赴中正機場時，始被告知機場已關閉，班機一直延至 9 月 17 日晚間九時五十分才起飛，因此整個出國行程被迫順延一天，實際行程如下：

9 月 17 日～9 月 18 日 台北—巴黎(往程)

9 月 19 日～9 月 23 日 赴 ALSTOM Hydro 考察

9 月 24 日～9 月 26 日 巴黎—維也納—台北(返程)

因出國前幾天美國發生九一一恐怖攻擊事件，世界各國均加強警戒，法國亦不例外，一些重要設施均限制外賓參訪，此行原已安排順道參訪 Maison 抽蓄電廠，也就無法如願，實為美中不足之事。其餘主要行程大致而言尚稱順利，較大的困難點是 ALSTOM 所能提供有關地震方面的資料相當有限。茲將考察心得略述於后：

壹、前言：

地震帶遍佈世界各地，本世紀以來發生之強震，有半數

以上發生在亞洲，僅 1976 年即相繼發生七次以上大地震，共有三十餘萬人喪生，財產損失更是不計其數，地震災害之慘重可見一斑。

地震之可怕在於無法預測，而地震所引起之災害更是無所不包，諸如房屋倒塌、橋樑斷裂、導管破裂、海嘯衝擊，甚至山崩地裂。台灣係處於地球上三個主要地震帶之「環太平洋地震帶」，地震之多幾乎居全球之冠。

九二一集集大地震是台灣百年來最大的地震，地震規模 (Magnitude) 7.3，最大地表震波加速度(日月潭，名間) 983gal，主震搖晃時間 20~30 秒，釋放能量相當於 30~40 顆廣島原子彈，在中部地區造成慘重的災情，本公司各發電廠、水庫大壩、引水隧道等水路設施、開關場、變電所、輸電鐵塔、線路、辦公房舍等亦嚴重受損。中寮及天輪超高壓變電所更因此造成南北系統解聯，中北部地區電壓瞬間下降，發電機組因連鎖反應而跳脫，使許多地區電力中斷及長達十餘天的限電。面對此一百年罕見的災害，本公司同仁在背負儘速恢復供電的壓力下，群策群力，冒著生命危險，不分晝夜全力進行搶修，快速復電，終獲社會各界相當之肯定。

根據專家學者分析，九二一地震的發生與歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊擠壓有關。台灣因位於這兩個板塊交界處，受板塊擠壓影響，地震頻繁乃就無可避免，根據統計，近百年間台灣共發生 90 次規模 5 以上的地震，造成不少災害。因此，對發電廠而言，如何提高重要設備與結構物之耐震性及如何加強地震安全防護以減輕因地震所造成之損害，確保發電設備運轉之安全，實乃一重要之課題。

貳、考察心得：

一、地震的起因

關於地震的起因，有各種不同的理論，其中較被接受的是造山力地震起因理論，根據此一理論地震的起因是造山運動累積於地殼的應變能量，累積到相當程度時，就會引發地層錯動造成地震，因此地震可以說是地殼能量突然釋放的一種現象。在造山運動激烈和應變能量快速累積的地區，地震活動就會比較頻繁。而地震發生的時間間隔隨著地殼貯存應變能量之容量而變，容量大者，一旦斷層滑動時，其幅度和範圍必然很大，於是導致大規模地震。反之，容量小時，斷層經常發生滑動，於是

在地震發生時，地層滑動輕微，地震規模自然就比較小了。

根據造山力地震起因理論，在有過量能量累積且應變超過 $1\sim 2 \times 10^4$ 的地區，其構成地殼板塊邊界的主要斷層即增加其滑動速度，甚至形成新斷層，而釋出地震能量。斷層滑動的方向受應力型態所左右，張應力導致正斷層，壓應力導致逆斷層。當構成地殼板塊邊界的大斷層發生位移時，所釋出的能量將很可觀。反之，若地殼板塊內部的局部性小斷層發生位移時，所釋出的能量就很有限了。

此外，構成地殼板塊邊界的斷層通常會伸展到地下比較深處，所以由這類斷層所引起之地震可能發生於地殼底部或地函上部。反之，由局部小斷層引起之地震通常震源都在地殼淺部。

由於斷層與地震有密切之關係，因此地震評估時，常將活斷層作為未來地震假想之震源。評估斷層的活動性即是判斷斷層是否再次活動造成地震，其評估主要係以斷層以往之活動性為根據。

二、耐震問題研究之進展

自 1906 年美國舊金山大地震之後，結構物之耐震問題之研究才逐漸為科學界及工程界所重視。在此等大地震時，房屋、橋樑、堤岸與壩等遭受嚴重損害。經由多次震災，方知結構物不但須能承受垂直力，且須能承受水平力。

於 1923 年日本關東大地震，很多工程設施及新式建築全部破壞。地震更引起東京與橫濱兩地大火，導致 14 萬人死亡，由此次地震所得之教訓為彈性建築物之耐震問題，非從基本振動學科著手不能解決。之後由於電子計算機的發展，結構物耐震之動力設計乃有重大進展。1964 年阿拉斯加威廉王子灣大地震，因地盤破壞而引起大規模的震災，促使科學界加速土壤動力學之研究。

總而言之，結構物的耐震設計與施工，所需應用的知識相當廣泛，包括地球物理學、地質學、地震學、土壤力學、結構動力學等等，幾乎無所不包。從事於耐震設計者須有相當的認識與瞭解。耐震結構物之建造乃一綜合性之高超技術，必須廣聚多數專家之經驗及各項研

究之成果，避免憑空想像。設計工程師須了解地震振動與災害之實況，自行考慮與判斷結構物之耐震能力，才可能有合理的耐震設計。

三、地震帶

分析世界上過去發生地震之震源的地理分佈，可知地震只發生在有限的地區。大地震常發生之地區如下：

- 1.第一條地震帶為圍繞太平洋環狀地區，即自南美洲西岸經日本、琉球、菲律賓、新幾內亞至紐西蘭，稱為環太平洋地震帶。全世界 80% 的地震發生在地震帶。
- 2.第二條地震帶為自地中海北部地區經喜馬拉雅山至中國內部之帶狀區域，稱為阿爾卑斯、喜馬拉雅地震帶。全世界 14~15% 的地震發生在此地震帶。
- 3.第三條地震帶為天山至貝加爾湖之帶狀區域，稱為天山、貝加爾地震帶。

四、地震強度與地震規模

結構工程通常採用最大加速度(gal)來表示地震強度(1G=980gal)，這是基於一個先決觀念，即地震對建築物和土木結構物的影響主要決定於最大加速度。此一觀

念對於彈性不大的結構物而言大致是正確的，但是對彈性構造物如煙囪、高層建築物、高拱壩等就不能只考慮最大加速度，地動的頻率、位移、速度和波形都有關係。

當地震強度用最大加速度來表示時，通常用地震最大加速度值和重力加速值之比值來代表。最大水平地震加速度與重力加速度的比值稱為水平地震係數，最大垂直地震加速度與重力加速值之比值稱為垂直地震係數。

地震的強度乃表示某一地點之地震強烈程度，但並不表示整個地震的大小。地震大小需由廣大地區之地震強度分佈情形始能決定，亦即依據地震所釋放能量多寡，來描述地震的大小，稱為地震規模(M)。

世界通用的地震規模為芮氏規模，是美國地震學家芮氏在1935年所創的計算公式。規模小於3為微小地震，規模3~5為小地震，規模5~7為中地震，規模7以上為大地震。規模7以上會有重大災害，且世界各地震站可記錄到地震波。

地震規模每增加一個單位所釋放的能量增加30倍，例如：921集集大地震規模7.3其釋放的能量相當於33

顆廣島原子彈，規模 8.2 的地震釋放的能量相當於一千顆廣島原子彈。

五、地震觀測

在工程方面須用合理的方法預測下列問題，包括：將來大地震可能發生的地區、發生的頻率及地震的規模等等。實際上，這種預測相當困難，通常可根據過去地震活動情況，用統計方法或地質構造來判斷。

用地震儀等儀器做定量觀測乃是對地震進行科學分析所不可缺少的，尤其是對強震須有足夠的觀測設備。強震儀不僅裝設於地面，也裝設於結構物中，以提供足夠數量的強震記錄供結構物耐震設計之用。

從工程觀點而言，只觀測地震時物體的運動還不夠，另外還須觀測地震所引起之結構物應變量、土壓力、水壓力和構造物的殘留位移等。

台灣自從有觀測儀器以來所累積的地震資料顯示：台灣地區地震震央主要集中於菲律賓板塊與歐亞大陸板塊交界線附近、菲律賓板塊之隱沒部份及台灣西南部之嘉南地區。

六、地盤、地質與震災的關係

根據經驗，與震央距離相同之地區，其所遭受震災之程度大不相同，主要係因各地區之地盤有所差異，因為地盤與震災密切之關係，各種公共工程與土木設施在初步規劃時，即應考慮此點，如此可防範重大災害，同時也可避免浪費金錢於不必要的耐震設計與施工。

地面表層之地質對建築物之損害有密切的關係，故常需做詳盡的表層地質調查。但震災並非全能依表層地質情況來解釋，有時也和地盤深處之地質有關，因此深孔鑽探及重力異差之測量亦能提供耐震設計之資料。

土壤承受強烈地震時，由於土壤強度降低及土壤破壞所引起之損害，包括崩塌、土壤液化、基礎下陷等。大規模之崩塌未必僅限發生於陡坡處，亦可能發生於低凝聚力表層下之軟土層。土壤液化發生於鬆性且水位高之砂質地盤，此種地盤於地震時失去承载力，導致建於其上之結構物沉陷，而地下設施斷裂或上浮。因此選定結構物建築位置，應對地質做充分的調查。

七、結構物耐震設計須考慮的因素

結構物之耐震設計因地區及結構物之剛柔而異，須考慮下列因素：

- 1.若由地形或地質判斷某地區極易發生地層滑動或崩塌，則須特別注意此問題(建築基地、水力電廠及進水口等)。
- 2.嚴重之火災(變電所等)或堤岸受損引起海水、河水倒灌(地下電廠等)。
- 3.結構物基地之土壤性質在地震時對結構物之穩定性有極大影響，在土壤較軟弱處須有合適的基礎(閘門等)。
- 4.沙土層且地下水位較高，在地震時有發生土壤液化之危險，致使在地面之結構物沉陷而在地下者上浮(建築物、引水隧道)
- 5.結構物應儘可能對稱，則地震時振動較均勻(房屋建築)。
- 6.上重下輕之結構物應儘量避免(高墩橋樑)。
- 7.所有重要建築物均應遠離斷層所在地(核能電廠及水壩等)。

八、地震對隧道之損害與防範對策

地震對隧道造成之損害，較常見的是在隧道口斜坡面層的滑動，為防止這種損害，在隧道口處須做適當的開挖斜坡，避免大量的開挖，並做適當的擋土設施。其他常見的損害包括隧道襯砌面的橫向和縱向龜裂，擠碎及變形。根據以往地震損害的調查發現：

- 1.在地質相同的地區，隧道扇形部份之襯砌厚度較厚者，其遭受地震損害之百分率較襯砌厚度較薄者為高。
- 2.若不考慮襯砌厚度，而只考慮地質情況，則損害率依下列順序逐漸減小；土壤、土壤和礫石、有節理之岩盤、硬岩等。

因此，隧道的安全受到下列兩種情況影響，即地質的情況以及地質情況不良時，不能僅以增加襯砌厚度來克服。為了抵抗地震而增加襯砌厚度時，可能會增加地震應力而產生反效果，故應採行下列方式較適當：

- 1.隧道的位置應選擇在偏心荷重較小的地方，通常若隧道沿著山腳前進，常會受到偏心荷重。
- 2.對於被軟化之地層，應使其固結轉硬。

3.襯砌後回填時，應作充分的夯實，以防止偏心荷重。

當隧道頂部留有空隙時，易使襯砌部份產生龜裂，因此頂部必須完全用混凝土填滿。

4.襯砌部份應加鋼筋或鋼骨使之成為堅韌體。

九、水庫及壩之耐震設計須考慮的事項

水庫及壩的耐震設計可分為兩方面，即水庫兩岸的邊坡穩定性及壩本身的耐震性。

由於水庫蓄水高度常達數十公尺，所以周遭的地盤應力及地下水位皆可能起變化而影響地盤的穩定。水庫蓄水後，若發生大規模的坍方，則土石與蓄水即可能溢流而下。1963年義大利即發生過這類事故，造成兩千多人死亡，當時並無地震。

地震時，節理傾向水庫的岩層以及有薄黏土層間隔的岩層易發生滑動，假如水庫邊有一較薄的鞍部，且在此發生滑動，則即使是表面的滑動也會對水庫的安全造成威脅，因此在規劃水庫之初，就必須對廣大區域內土層的性質、表層的厚度、岩石的性質、岩盤的傾斜及地下水位等做初步的調查。

(一)混凝土重力壩

混凝土重力壩之耐震設計須考慮下列幾點：

1.乾舷高度

壩之高度是由蓄水深度加上乾舷高度而定，而乾舷高度則由異常洪水流量、地震與風所造成之浪高及其他原因所造成之水位上昇高度等因素來決定。

2.對滑動之穩定性

對壩之穩定應考慮者為沿壩體之水平剖面之滑動及由壩體內過高的應力所造成之裂縫。

3.壩體內之應力及容許應力

地震時壩體之應力分析與壩體受靜水壓時之分析相同，由於地震為短時間的現象，因此容許應力可較正常情形提高 15%，基於安全之考慮，張應力通常是不容許發生的。

4.壩頂設施的設計，尤其是閘門，應考慮到地震時

壩頂振動較壩底激烈。壩頂重要設施的設計地震係數約為壩底地表地震係數的兩倍。

(二)拱壩

拱壩比重力壩更需注意的是壩岸基礎岩盤的穩定，因此壩址及壩的形狀須慎重選擇，以確保壩及壩岸的穩定。1959年法國一座高66.5公尺的拱壩——Malpasset壩第一次蓄水時適逢大洪水，水位急速上升，導致壩的左岸處之岩盤(片麻岩)被壓碎破裂，造成下游Frejus地方三千人死亡。此案例雖非地震造成，但足以說明壩岸基礎對拱壩的重要性。

除了正常荷重外，地震時作用於基礎岩盤之力，有壩體受地震力所造成對岩盤的推力、基礎岩盤本身所受地震力及由岩盤中孔隙水壓力變化造成之力，若壩岸基礎岩盤之穩定被破壞，則拱壩本身即無穩定可言，因此在這些力的作用下，壩岸必須十分穩定。

拱壩通常建在河谷變窄之處，在這種特殊地形處，易有各種地質變異，造成地震時特殊的地表振動。常見的地質變異有斷層、泥縫、裂縫及岩盤風化造成之全面或局部劣化，熱化學與壓碎作用等。

當壩岸有斷層、泥縫、裂縫時，應依其規模方向性、黏土化與破碎的程度、離壩址距離等因素而做適當的處理，這些弱點在受到地震力作用時就有使壩體破裂的危險，因此必須予以謹慎處理。

若岩盤已全面劣化，則處理困難，有時不得不改變壩址及壩高。基礎之處理可分為材料處理(例如灌漿或混凝土局部變換自然地表)與力學處理(例如用岩釘及預力鋼鍵等)。

(三)土石壩

地震對土石壩所造成之損害，通常有沉陷、滲漏、沿壩軸方向在壩頂及坡面上的龜裂、護坡的龜裂及錯移等幾種情況。這類損害是因為受到反覆振動而造成的，若反覆振動次數不多時，完全崩壞的情況尚不至於發生。但在特別強烈的振動下，當壩材發生了液化現象或滑動，崩壞的情況將迅速擴大。

縱向龜裂多發生於壩頂，當發生在壩體坡面上時，則多半發生在上游坡面，可能是因為上游面壩

體內滲水面較高。

造成縱向龜裂的原因為壩心或基礎土壤發生了不均勻的沉陷。縱向龜裂有時隱蔽於壩體內部，所以即使在表面上看不出任何損害，仍須做詳細的調查。

由於地震時的振動使土石壩的壩體內部應力發生變化、土壤強度減低及空隙水壓增加等因素造成壩體喪失穩定度。當壩體喪失穩定度時，部份壩體可能沿著壩體內部滑動面發生滑動(常發生在上游坡面)或造成壩面發生膨脹(常發生在下游坡面)。

當地震造成的振動超過一定程度時，而壩體上游部份土壤含水又是飽和時，土壤會發生液化現象。根據土壤試驗結果，液化現象在緩坡的情形下更容易發生。一旦液化現象發生，壩體穩定度與坡面的斜度不再有太多關連，因此，必須注意壩體材料的選擇及施工控制，以防止液化現象發生。

土石壩壩心主要功能在於阻止水流通過壩體，為壩體最重要的部份，因此，它在地震時的反應特

別重要。壩心剛度的高低會影響壩體的穩定度，當壩心的剛度較高時，地震時壩心對壩殼之間沒有相對位移產生，因而沒有漸進轉變區，不連續現象發生在壩心與壩殼交接面上，因此導致高應力作用於壩心上，此應力使壩心承受張力，導致發生沿壩軸方向的龜裂，這些龜裂從壩頂部位開始發生，然後向壩體內部延伸。

若壩心剛度與壩殼材料相差不多時，壩心將發生較大的變形，但不致發生沿壩軸方向的龜裂現象。然而當壩殼中發生大規模滑動後，壩心失去支撐，在壩頂處可能發生二次崩毀現象。

土石壩之耐震設計必須注意下列事項：

- 1.壩址應選擇地層情況良好處，因堅硬地層上因地震造成的位移較小。
- 2.地層為細砂層或地層中含有細砂層時，地震時可能發生液化現象，此種地層若佔大片面積時，不宜建造土石壩，因為任何處理方法都很難改進地層的耐震能力。

- 3.當壩心深入基岩而壩殼直接建造於河谷沖積層上，龜裂情形可能發生。因此，壩心與壩殼之間應有漸進轉變區，逐漸改變材料的剛度。
- 4.土石壩發生坡面滑動時，滑動的範圍可能延伸到軟弱基礎地層中，而造成基面崩毀情形。
- 5.地震時坡腳處之材料有可能被震鬆，因此應用良好的填石以防發生此種情形。
- 6.當不透水層距地表的深度很大時，引水帶常向上下游延伸相當長的距離而並不將壩心延伸到地下不透水層之中。在這種情形下，在引水帶之間的泥層可能發生龜裂。若壩址有強烈地震的可能時，應避免使用引水帶做為阻水之用。
- 7.埋設於壩體內部的設施如管線等，因其振動特性與壩體不同，不僅本身容易受到損害，亦可能造成壩體受損。因此應避免埋設在壩體與原地層交接處。
- 8.除了壩體的穩定度之外，地震造成水庫中衝擊壩體的湧浪亦應以注意。因土石壩對抵抗溢流的強

度較低，所以應有足夠的乾舷。

近年來由於抽蓄發電技術的發展，小型水壩的建造相當普遍。長週期低震幅的地震可能造蓄水面急速上升，此點應特別注意。

十、水庫及壩的安全監測

為確保水庫及壩的安全，須於壩體、基座及壩岸基礎或邊坡內設置適當數量監測儀器，並確實進行定期監測，以收集與安全有關的重要數據，供安全評估、分析之用，若發現異常變化，可提前預警並採取必要的措施。

水庫的安全監測須有一套觀測、維護、校核、記錄、整理、繪圖及預警之作業程序，俾能最快時效內顯示水庫之安全狀態，以便即時反應處理。

強烈地震後安全監測之觀測頻率應適度增加，以提供足夠數據，做為評估水庫及壩安全與否的依據。

監測儀器必須做定期校正及維護，以保持其精確性。不精確之觀測值易引起大壩情況之誤判，導致疏忽嚴重的問題。

監測資料為安全評估之重要依據，因此所有監測資料須確實且有系統地加以記錄、鍵入電腦及存檔、並依時間繪成曲線，以利研判及評估。

對於一般土石壩或土壩，其壩體水位、滲流量及壩體變形行為(垂直與側向)為安全監測之目標，藉以瞭解壩體行為與掌握壩體之安全性。因此須確實複核及檢討既有監測儀器可充分量測上述三種行為，足敷安全監測需求。

本廠水社壩及頭社壩設置之監測儀器包括(1)水位觀測井，用以掌握下游壩體地下水位分佈狀況，(2)水壓計，用以監測下游壩體分層水壓，(3)量水堰，用以監測壩體及壩座地下滲水量，(4)壩體表面沉陷觀測點，(5)傾度管，可增加瞭解壩體變形，特別是地震發生後的永久變形量，以便瞭解壩體之震損程度，以掌握其安全性。上述監測儀器於 921 集集大地震之後已列入緊急安全評估項目做全盤檢討，結果顯示均符合安全監測需求。

根據以往經驗，上述監測儀器中，水位觀測井易

因日久阻塞而失效，沉陷觀測點易因工程維修等因素而遺失，故應做定期維護，並於工程維修或其他因素移動監測儀器時，事後應確實復原。

十一、壩體之設計地震評估，包括震源位置、地震規模、壩址設計 PGA 值、地震係數等。

依目前大壩耐震設計慣例，設計地震有下列三種不同基準：

(1)最大可能地震(Maximum Credible Earthquake,MCE)

為各地體構造區內可能發生之最大地震，其規模之假定必須基於歷史強震記錄，以及地殼錯動之證據。水庫壩體於遭遇最大可能地震時，允許發生有限度之損壞，但不能造成水庫無法控制之出水，水庫主要設施在此一地震應能維持運轉。

(2)設計基準地震(Design Basis Earthquake,DBE)

為水庫在經濟壽命年限內可能遭遇一次之最大規模地震。水庫壩體於遭受此一地震時，允許發生日後可予修護之損壞，但不能產生重大之變位或變形；壩體上之主要設施須保持操作之功能。通常以 100 年再

現周期之地震作為設計基準地震之規模。

(3)運轉基準地震(Operating Basis Earthquake,OBE)

為水庫在經濟壽命年限內可能遭遇一次以上之地震。水庫在此地震下，一切重要設施均應保持其功能，不容有任何損壞。運轉基準地震之規模通常訂為 25 年再現周期之地震。

九二一集集大地震後，日月潭水庫實施緊急安全評估，依據地質構造及地震條件之改變，重新評估日月潭水庫壩址之設計地震參數。為進行壩體及附屬結構物仿靜態耐震分析，重新評估地震係數，依據「水庫安全評估地質與地震評估規範」之規定，取壩址 PGA 值之 1/2 為地表水平向地震係數，再由壩型決定壩體地震係數。其中水社壩及頭社壩均為土壩，故取壩體地震係數為地表地震係數 1.4 倍；頭社壩培厚部份可視為堆石壩，故取壩體地震係數為地表地震係數 1.2 倍。計算結果，日月潭水庫壩體之地震係數如下表：

| 設計地震 基準 | 壩址水平向 PGA 值 | 地表水平向 地震係數 | 壩體水平向地震係數 | |
|------------|----------------|---------------|-----------|---------|
| | | | 水社壩、頭社壩 | 頭社壩培厚部份 |

| | | | | |
|-----|-------|-------|------|------|
| MCE | 0.59g | 0.295 | 0.41 | 0.35 |
| DBE | 0.45g | 0.225 | 0.32 | 0.27 |
| OBE | 0.35g | 0.175 | 0.25 | 0.21 |

大壩之安全分析主要考量水庫運轉時大壩安定性與滲流狀況及壩體受地震時之安全性。分析工作包括滲流分析、靜態與仿靜態安定分析及動態分析，分別就滲流、靜態穩定及動態變形考量大壩之安定性。

滲流分析可用 SEEP 程式計算出自由水面的位置、滲流量、土壩內孔隙水壓與水力水頭 (hydraulic head) 等。

靜態與仿靜態安定分析可用 STABL-5M 程式計算大壩邊坡在常時、急洩降及設計地震下之安定性。

根據國外土石壩受地震侵襲致破壞之經驗，以大型施工機具分層滾壓且夯實良好之土石壩受震時，壩體發生液化之可能性甚微，故目前大壩動態安定評估主要考慮兩種壩體受震破壞模式：

一為壩體發生永久變形及沉陷，一為壩體發生邊坡滑移。

壩體之動態分析工作主要包括：震前靜態分析、動態反應分析、震後行為分析及綜合評估等。其中靜態分析之目的在瞭解大壩地震前之應力狀況，以決定與應力狀態有關之壩體材料最大剪力模數及動態強度；動態反應分析則在於估算壩體之動態應力及加速度反應；震後行為分析則將前項分析結果與材料強度作一比較，以求得壩體之變形及壩坡滑移量。

十二、地下管線的抗震措施

地震對地下管線的損害包括拔出和震裂，地質的硬度和損害有不可分的關係。硬地質最適宜埋設地下管線，而軟地質則不適宜。

除地質硬度外，埋管深度也影響地震損害程度，通常埋管較深，地震的損害相對較小。

管線走向與地震振動主要方向，對地震損害的程度亦有影響，當管線受垂直方向振動時會造成彎

曲，彎曲過大時，接頭處承受高應力以至在此處裂開。當振動沿管線方向時，管線將被拉起，在接頭處分開或相互交錯形成縱向裂損。

為應付大幅度地移，必須給予管線適度伸縮性，故在適當長度間隔，管線接頭須能伸張及收縮。通常在每二個連接體處設置一伸縮接頭較為理想。此外，設置具有伸縮彈性的防震接頭於地層情況改變處，管線突然彎曲處以及在有T型接頭及管線交叉的地方，因為這些地方管線的均一振動性質往往遭受擾動。風箱型防震接頭可被彎曲到15度，因此若一鋼管裝於兩風箱型接頭之間，即使有大幅度的位移，管線仍不會發生位移。故於較可能發位移處，例如水管路與蓄水庫或水渠連接的地方，宜用此種接頭。

伸出地面之管線易遭地震損壞，此乃因地面移動量與地下埋管處移動量差異所致。管線伸出堅固結構物，其伸出部份尤易受損。因此在這種情況下應採用防震接頭。

十三、地下結構物之防震措施

在地下結構物的周圍地區，可能有未發現之異常狀況存在，並可能為強烈地震時發生巨大災害的潛在因素。例如在土地沉陷嚴重的地區，結構物由邊牆四周之土壤支持，表面看來並無異狀，若於此情形下遭受強震之襲擊，結構物必然發生沉陷。

水力電地下廠房由牆保持其穩定狀態，由於土地潛變之進行與地下水位之變化，廠房等結構物所承受之應力發生變化，在大規模地震中可能發生損害，為防範發生上述之意外，必須裝設應變計、水壓計等觀測儀器，以觀測結構物之變形及地下水壓力之變化等，經常進行檢查工作，若發現異常情況，立即採取必要措施，以避免發生重大災害。

兩相連之地下結構物若基礎之剛度不同，則連接處將發生不連續位移，致造成連接處破壞，若兩地下結構物以通道相連，將因而發生甚大困擾，為避免兩相連結構物因不同剛度而發生損害，相連結構物須具有足夠的韌性，如此即使發生龜裂，亦不

致於崩塌。

地下電廠之直井(例如通風直井等)若穿過硬度急遽變化之地層，將會在地質突然改變處附近發生破壞，故該處須有足夠韌性之剛性結構。

地下電廠等地下結構物須特別檢討當地震造成地下水或河堤破壞，使水灌入廠房時，如何使人員安全撤出地面，此點應事先規劃，並於平時防震演習時加強演練。

地震常造成發變電設備損害，致電力系統發生解聯全停電的情況，因此柴油發電機等緊急後備電源系統相當重要，應列入防災檢討與安全評估的主要項目，並加強檢查與維護以確保在緊急情況下，地下廠房等結構物之排水設備與照明電源得以維持正常。

參、結語：

- 一、感謝公司各級長官的關愛，讓職有這個出國考察機會，雖然僅短短數日，但仍然覺得獲益良多，不虛此行。在此也要感謝水營課幾位同仁的協助，使整個行程得以順

利完成。

二、台灣由於特殊的地理環境，地震相當頻繁，水力電廠重要結構物的耐震性也就顯得格外重要，除了關係設備運轉安全及電力系統的穩定之外，水壩等結構物更關係到下游民眾生命財產的安全。截至目前為止，學術界及工程界對於防震的研究，大多針對結構物的耐震設計與施工，以「事前的防範，重於事後的補救」的理念，在合理的成本考量下，以合理的耐震設計及施工方法來減少地震可能造成的損害。而結構物的耐震設計屬於較高層次的技術，其所牽涉到的學科與知識極為廣泛，實非一蹴可幾。

三、地震何時發生無法預測，大家須有防災意識，時時提高警覺。水力電廠現有設備須考量上述之防震原則在可能範圍內加以改善，對於大壩、地下廠房等重要結構物要確實做好安全監測及安全分析，以期預先發現異狀，提前採取必要改善或防災措施。地下廠房緊急電源可靠性及人員逃生防震演練，亦應列入定期安全評估與防災檢討之主要項目。