

49

90年2月

中華技術

隨著電子化e世代的來臨，為順應時代的潮流，及提倡環保意識，自90年元月起『中華技術』將改採『網路電子書』方式發行，冀望e流的『中華技術』日後更能積極成為工程技術與資訊交流之媒介，更盼各界繼續不吝給予鼓勵與指導。

目錄

工程譯述

- ◎ 土壤及地下水污染處理總論(譯) 陳福勝、陳卓然、林士誠

工程實務

- ◎ 高屏溪斜張橋載重試驗規劃 莊輝雄、陳建州、蔡同宏
- ◎ 密級配瀝青混凝土與石膠泥瀝青混凝土之比較 吳學禮

工程研究

- ◎ 水泥混凝土工程材料試驗問題之探討 宋福江

海外考察

- ◎ 海外訓練課程之出國報告 陳建州

土壤及地下水污染處理總論(譯)

原著者：T.M.J. Ngu and J.A. Xu

Geotechnique Pty Ltd., P.O.Box 880, Penrith, NSW, 2751, Australia

地工部
經理 陳福勝

地工部
正工程師 陳卓然

地工部
工程師 林士誠

摘要

由於工業快速發展之結果使得土壤及地下水污染逐漸威脅著人類生活之周遭環境及人體健康，此問題引起世界各國廣泛注意。因此，各先進國家動用許多研究基金，研究發展許多處理污染土壤技術。在澳洲最常用之土壤污染處理方法有：掩埋處理法(Landfill)，生物處理法(Bio-remediation)，固化穩定處理法(solidification/Stabilisation)，圍堵覆蓋處理法(Containment / Capping)，直接加熱處理法(Direct Desorption)，間接加熱處理法(Indirect Thermal Desorption)及鹼性催化劑分解處理法(Base Catalysed Decomposition)而最常用之地下水污染處理方法則有：抽取處理法(Pump and Treat)，土內水氣抽取處理法(Soil-Vapour extraction) 及生物處理法等。然而，參考國際知名雜誌、期刊、國際會議論文書籍及有關之電腦網站等資料，顯示現今國際上已有許多污染處理技術，已應用於土壤及地下水污染狀況。本文嘗試著蒐集各種具有代表性之污染處理技術並加以介紹。

一、簡介

現今，土地污染是世界性的問題。舉凡銀行家、律師、環保署、投資者、地主、企業家、營造業者、工程師、地質師、水文地質師及科學家等，當在進行土地取得、買賣出租或開發時，都會面對土地污染問題。對於環保署、工程師、地質師、水文地質師及科學家等，因具有環境污染常識背景，對於諸如“污染處理”之技術性名詞的瞭解並不困難。但對於其他如銀行家、律師、投資者、地主及企業家等，就無法領會各種土地及地下水污染等技術性處理方法。

另一方面，工程師、地質師、水文地質師及科學家等，雖可以瞭解各種污染處理技術性方法，但卻面臨要如何從世界上各種不同處理案例中，無論從法規限制或從污染處理技術之觀點出發，選擇最恰當之污染處理方法。為彌補這種缺憾，本文內容將包含有下列各項要點：

- 1.提出廣泛之污染處理技術介紹，供工程師、地質師、水文地質師及科學家等參考。
- 2.將土壤及地下水污染之處理技術以較簡單形成表達，甚至以簡圖呈現。
- 3.提供對於污染處理技術有興趣者，不同之參考文獻或門徑。
- 4.提供一個機會給對於污染處理有興趣者，接受新污染處理技術或深入瞭解既有之污染處理技術。

二、污染處理技術

現今已有許多適用於土壤及地下水污染之商用處理技術。然而，仍有許多尚未成熟之污染處理技術仍停留於實驗室階段規模(laboratory-scale)、工地試驗階段規模(demonstration-scale)、現地部份尺寸試驗階段規模(pilot-scale)、現地全尺寸或現場試驗階段規模(full/field-scale)，而且並非所有污染處理技術都同時適用於土壤及地下水污染問題，某些污染處理技術只適用於土壤污染問題，但不適用於地下水污染問題，反之亦然。為改善處理污染之效率，有些污染處理方法甚至會與其他技術聯合應用。

由於在鄉村地區土壤掩埋法是種較便宜的選擇，因此，一般較傾向採用掩埋處理法而不喜採用生物處理法。

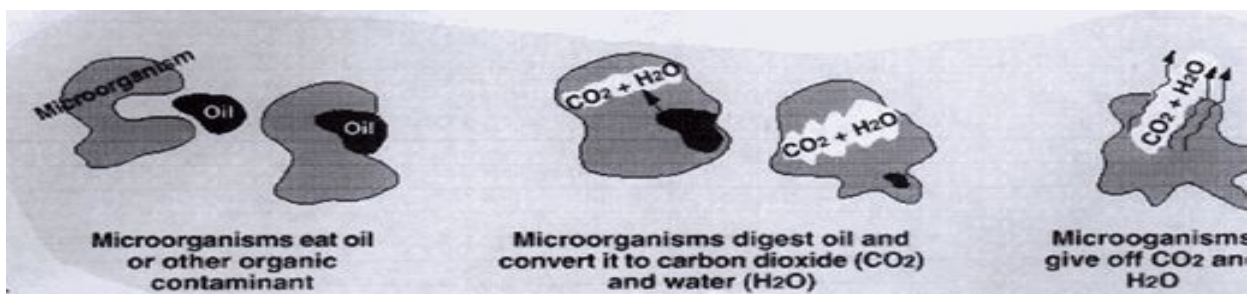
三、土壤污染處理

3.1 生物處理法(Bio-remediation)

生物處理技術係利用酵母菌(yeast)，黴菌(fungi)或細菌(bacteria)等微生物，弱化污染物毒性或轉變污染物成無毒性物質之處理方法。

微生物吃掉有機化合物經消化後提供自身所需之養份及能量，同時藉由消化有機化合物之過程中，將污染物分解為二氧化碳(carbon dioxide)及水份，如圖一所示。

污染物雖然提供微生物數量增加所需之養份及能量，但隨著污染物被大量微生物消化而數量逐漸減少後，微生物會因食物短缺也跟著數量亦減少或消失。一般而言，生物處理法對於具有揮發性及半揮發性之有機污染物最具成效。



3.2 圍堵處理法(Containment)

建立障礙物隔離現地污染物。

3.3 直接加熱處理法(Direct Desorption) (參考 ADI, NSW, Australia)

在澳洲已有商用處理技術，其污染處理能力約 15~20tons/hr。此項處理技術適用於土壤污染物來自於下列情形：

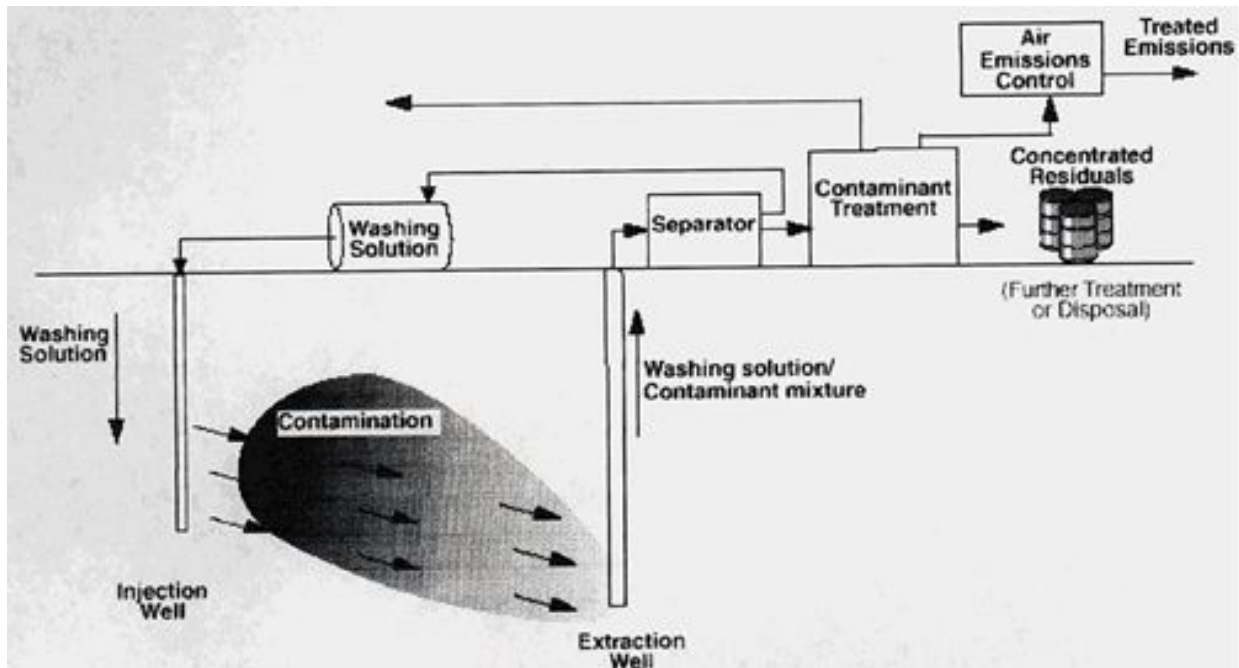
3.3.1 石油工業-區或汽機車加油站

3.3.2 焦油(coal tars)、防腐油(creosote)及多環芳香烴(PAH)等

3.4 沖洗處理法(Flushing)

沖洗處理技術其原理係將沖洗溶液，如清水、酸性溶液、鹼性溶液或清潔劑等，注入土中沖洗已遭受污染之土壤，藉由沖洗過程將污染物集中某一地區再行挖除，如圖二示意圖所示。

加入酸性溶液是用以去除土壤中含有金屬及有機物之污染物；加入鹼性溶液是用來處理土壤中含



有酚及某些金屬之污染物；而清潔劑則用以清除土壤中含有油脂之污染物。

3.5 間接加熱處理法(Indirect Thermal Desorption)及鹼性催化劑分解處理法(Base Catalysed Decomposition) (參考 ADI, NSW, Australia)

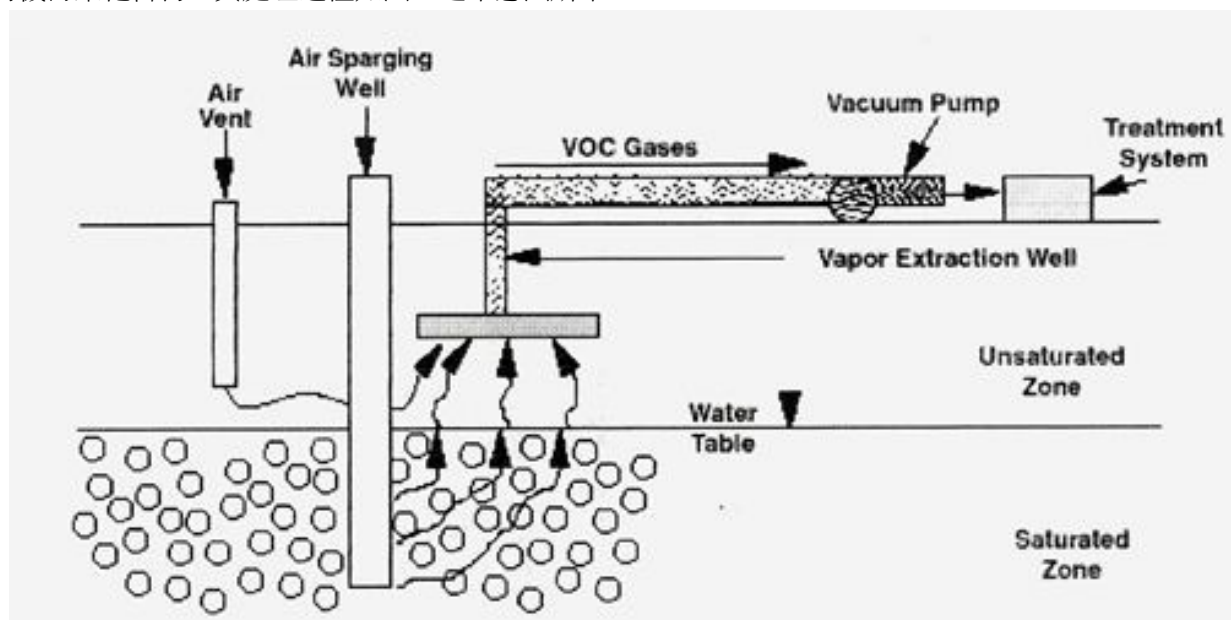
間接加熱處理法(ITD)係利用加熱從土中分離化學物質，然後利用鹼性催化劑分解處理法(BCD)分解這些化學物質。

關於難分解之有機氯化物(organochlorine)，諸如氯甲橋苯(Aldrin)、二氯二苯基三氯乙烷(DDT)、狄式劑(dieldrin)，氯丹(chlordane)及六氯化苯(lindale)等廣泛用作殺蟲劑；五氯酚(Pentachlorophenol, PCP)、多氯化化合物(ploychlorinated)等廣泛用於木材之防腐劑；聚氯化二苯(Polychlorinated Biphenyls,PCB)則廣泛用於電子零件之變電器及電容器；其他還有諸如氯化苯(chlorinated Benzenes)、戴奧辛(Dioxins)及異環化合物(Furans)等難分解之有機氯化物。

目前在澳洲已有 ITD 及 BCD 等商用處理技術，其最大設備之污染處理能力約 15 ~ 20 tons/hr。

3.6 土內水氣抽取處理法(Soil-Vapour extraction)

此種處理法之原理是在地下非飽和土壤地區，抽取揮發性(volatile organic compound)及半揮發性等有機污染化合物，其處理過程如圖三之示意圖所示。



3.7 固化穩定處理法(solidification/Stabilisation) (參考 Martin I. & Bardos P., 1966 &

NATO/Air Sparging System, www.clu-in.org)

此種處理技術之原理係將有受污染之土壤與水泥或飛灰混合，以減少污染源滲漏到其他地區。對於砷(arsine)、鎘(cadmium)、鉛(lead)、鋅(zinc)及酸式硫酸鹽 (acid-sulfate)等污染物之處理，在希臘、意大利、葡萄牙、保加利亞及羅馬尼亞等國家都有進行實驗室規模 (laboratory-scale)，工地試驗階段規模(demonstration-scale)，甚至現地全尺寸或現場試驗階段規模(full/field-scale)等研究。此外，關於 PCB 及重金之污染物處理，在土耳其也有進行實驗室試驗研究(bench scale study)。

3.8 加熱處理法(Thermal Desorption) (參考 NATO/CCMS Pilot study, Annual Report,

1999)

加熱處理法主要處理具有揮發性及半揮發性等之有機污染物。在美國曾有進行現地全尺寸之研究，處理含有多環芳香烴(PAH)、五氯酚(PCP)、石油烴(petroleum hydrocarbon)及三氯乙烯(tetrachloroethylene)等污染物。

3.9 洗滌處理法(Washing) (參考 Martin I. & Bardos P., 1966)

洗滌處理技術其原理係從利用清水及清潔劑洗滌，將污染物從土壤中分離。

四、地下水處理

4.1 生物處理法(Bio-remediation)

生物處理法其原理係利用微生物弱化污染物毒性或轉變污染物成無毒性物質之處理方法。在美國曾進行處理含有四氯乙烯(tetrachloroethylene)及三氯乙烯(trichloroethylene)等污染之物現場試驗。此外，荷蘭也曾進行現地部份尺寸及現地全尺寸試驗，以處理含有油污、苯、甲苯、乙苯、二甲苯(BTEX)、含氯溶劑及含氯殺蟲劑等污染物。(參考 NATO/CCMS Pilot study, Annual Report, 1999)

4.2 循環井處理法(Circulating Wells) (參考 www.clu-in.org)

循環井處理技術其原理係將空氣注入已污染之地下水，以強迫一些具有揮發性之有機污染物(VOC)隨著氣泡釋出至水面，在利用土內水氣抽取法 (Soil-Vapour extraction) 處理這些已釋出之污染物，惟此種循環井處理技術仍停留在現地部份尺寸試驗技術階段。

4.3 水力破裂處理法(Hydrofracturing)

水力破裂處理技術其原理係將具有高壓之水注入不易滲透土層，以增加土層之滲透性。在高壓水注入過程中土層裂隙將增加，將有利於生物處理及改善抽取效率。實際應用上，水力破裂處理法常與土內水氣抽取處理法、現場生物處理法及抽水處理法等，混合應用以增加處理效率。惟此種水力破裂處理法仍停留在現地部份尺寸試驗技術階段。

4.4 自然衰減法(Natural Attenuation)

自然衰減法其原理係將受有化學污染之土壤圍堵住，藉著自然過程遏制因化學污染物洩漏而引起之擴散，並逐漸以減少污染土壤之污染濃度。自然衰減法過程相當緩慢，須建立監測系統長期監測，以確定污染濃度持續減低至不危害人體健康及周遭環境。一般而言，含有高濃度之有機土層如沼澤、溼地等，很適合用自然衰減法處理。

4.5 滲透性屏障處理法(Permeable Reactive Barrier)

4.5.1 關於滲透性屏障處理技術在德國曾進行現地全尺寸試驗，研究處理含有氯化物、不含氯溶劑、BTEX、PCE 及 TCE 等污染物。

4.5.2 在美國曾進行現地部份尺寸試驗，研究處理 DCE、PCE 及 TCE 等含氯溶劑之污染物。

滲透性屏障處理技術其原理係將滲透性處理屏障(處理牆)打設至地底下，以處理具危險性之受污染地區之地下水，其處理過程如圖四之示意圖所示。

當施作滲透性屏障時，首先在污染現場開挖壕溝貫穿受污染範圍之地下水，再注入對污染物有處理效用之材料。當地下水流過此滲透性屏障時，污染物將被擋住或經反應轉變為無害物質。

4.6 抽取處理法(Pump and Treat)

抽取處理技術其原理是將受污染地之地下水抽出，在現場或離開現場處理此受污染地之地下水。

五、土壤及地下水處理

5.1 高壓氣體注入處理法(Air Sparging)

高壓氣體注入處理法其原理係將空氣注入飽和土層，使污染物隨氣泡上升到非飽和土層區。此種處理法對於具有揮發性之有機污染物(VOC)最具成效。

5.2 圍堵處理法(Containment)

圍堵處理法其原理係利用屏障、薄膜或水文地質等措施隔離現地污染物。

5.3 多階次抽取處理法(Multi-Phase Extraction, MPE)

多階次抽取處理技術其原理相當於改良式之土內水氣抽取處理技術，可以同時處理地下水及土內水氣之揮發性污染物。

5.4 氧化處理法(Oxidation)

氧化處理技術其原理係將化學氧化劑，諸如過氧化氫(Hydrogen Peroxide)、高錳酸鹽(Permanganate)及臭氧(Ozone)等注入污染物，藉由氧化作用將污染物氧化產生二氧化碳或轉化污染物為無毒性之化合物。

5.5 植樹綠化處理法(Planting Trees Phytoremediation)

植樹綠化處理技術其原理係利用植物及與植物有關連之微生物處理低至中度之淺層污染土層。可利用此種處理技術清除含有金屬、殺蟲劑、炸藥、原油、多環芳香烴及掩埋場產生析出液(leachate)處理物等污染源。在美國曾對 DCE、PCE、1122 - TCA 及 TCE 等含氯溶劑，進行現地全尺寸之植樹綠化處理試驗。

六、討論

在澳洲及紐西蘭當面對污染土層時，其處理方法之採用優先次序選擇可歸納如下：

- 1.將受污染之土壤挖除，並在現場將土壤中所含之污染物清除，或處理到可接受之標準後再重新使用。

2.將受污染之土壤挖除，並運離現場將土壤中所含之污染物清除，或處理到可接受標準後，再運回現場重新使用。

3.將受污染之土壤挖除，並運至許可地點視需要再回填乾淨土壤。

4.設計適當屏障以覆蓋或圍堵污染現場。

在澳洲及紐西蘭關於污染土層處理經驗之優缺點可歸納如下

處理法選擇	優 缺 點
現場處理法	減少環境衝擊，節省運送污染土壤之運費 經處理後之污染土壤可重新使用，節省購置乾淨土壤之費用 很難找到適合之現場處理技術，在限制時間內將污染土壤濃度處理到可接受程度。
非現場處理法	在短時間內可將污染現場清除 費用昂貴。除非有時間限制，或污染現地場所太小無法設置污染土壤處理廠，或污染土壤被列為「危險廢棄物」(Hazardous waste)等情形下才建議採用。
掩埋處理法	費用便宜。在雪梨(Sydney)地區，包括開挖，運送及掩埋等，每噸約澳幣\$60~100 元(約台幣 1200~2000 元)。
現場圍堵處理法	費用便宜。 需建立監測系統長期監測滲漏情形。

美國曾經在一些重要地區，花費很多心血進行地下水污染之清除，大部份是採用抽取處理法、土內水氣抽取處理法及加熱處理法等。至於採用某些創新之地下污染處理技術，由於在現地應用之效果無法確定而導致處理費用大大的增加。有鑑於此，另種替代方法即風險評估法(risk assessment)有逐漸流行之趨勢；針對於個別污染地區之情況，採取個別之風險評估，以減少對創新處理技術之依賴而達到節省污染處理費用是風險評估法之目的。因此，當面對污染處理問題時，應採取費用昂貴之現有技術、創新技術或採用風險評估分析技術值得三思？

七、後記

本文原作者之吳道明(T.M.J. Ngu)先生，臺大土木系畢業後赴澳洲進修獲雪梨大學(Uni. of Sydney)大地工程組碩士。目前任職於澳洲 Geotechnique Pty Ltd 顧問公司為該公司的二位董事(Director)之

一。在澳洲工作期間為應付日益蓬勃之環境地工業務需要，又回到新南威爾斯大學(Uni. of New South Wales)進修環工碩士。

日前國內地下污染事件屢見於報紙及電視，由於地下環境污染與大家之共同生活息息相關，引起全國重視也是商機之所在。因此，本部門也積極推環境地工業務，為引進技術於今年 5 月 25 日曾邀請吳道明先生及 Mr. Tony O'Brien (Managing Director)至本司技術演講，今年 9 月更獲同意翻譯吳道明及徐基安先生之這篇論著(The State of Art of Soil and Groundwater Remediation)，在此僅表誌謝。

備註：常見污染物及其特性

◎汞(mercury)

銀白色，極重之液體；不溶於水；比重 13.59；有極大表面張力(480 達因/公分)；不可燃。

金屬汞；吸入或皮膚吸收均具高度毒性。空氣中汞(Hg)容許量為每立方米 0.05 毫克。大部份汞之有機化合物具高度毒性。所有汞之無機化合物不論攝食，吸入或皮膚吸收均具高度毒性。

◎聚氯化二苯(Polychlorinated Biphenyls, PCB)

無色液體；比重 1.4~1.5；具高度毒性。由於對水持久性之污染及有害生態環境，在美國自 1976 年已不再生產。

◎DDT

無色結晶或白至微灰白色粉末，無氣味或略帶芳香氣味；不溶於水；食入，吸入或皮膚吸收均具毒性，特別是溶液。對人而言，口服致毒量每公斤體重 0.25 克。因 DDT 不是生化分解的，而是生態上傷害，因此美國禁止在農業上使用；至於致癌性尚未證實。

◎氯丹(chlordane)

無色，氣味，黏稠液體；比重 1.57~1.67；不溶於水；吸入，攝取及皮膚吸收均具毒性。

◎氯甲橋苯(Aldrin)

棕色至白色晶狀固體；不溶於水；吸入，攝取及皮膚吸收均具毒性。空氣中容許量每立方米 0.25 毫克。

◎戴奧辛(Dioxins)

持久性劇毒；致畸形物；在土壤之半衰期約一年。

◎五氯酚(Pentachlorophenol, PCP)

白色粉末或晶體；略溶於水；吸入，攝取及皮膚吸收有劇毒，空氣中容許量 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ；吸食可能致死。

◎四氯乙烯(tetrachloroethylene)

無色液體；似醚氣味；極穩定；抗水解；比重 1.625；中度毒性，對眼睛，皮膚有刺激性。在空氣中容許量 100ppm。

◎三氯乙烯(trichloroethylene)

穩定，低沸騰，無色；比重 1.456~1.462；吸入有毒；空氣中容許量為 50ppm；禁止用於食物，藥品，化妝品。

◎砷(arsenic)

銀灰色，脆，晶狀固體；在潮溼空氣中變暗色；比重 5.72；不溶於水；食入及吸入具高度危險，為已知致癌物；空氣中若含量 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 以上，需戴防毒面具。

◎鎘(cadmium)

柔軟，藍白色，延展性金屬或灰白色粉末，比重 8.642；毒性大；經由吸煙或灰而中毒；致癌物。食物和飲料容器如鍍有鎘已經導致很多腸胃炎的病例（食物中毒）；粉末狀的鎘易燃，空氣中容許量（灰和可溶化物）每立方米為 0.05 毫克。鎘的可溶化合物毒性大，吸入經常會強烈的嘔吐這樣可以減少致命的危險或更嚴重的中毒，限量使用菌劑。

◎鉛(lead)

重的，易展延，軟的灰色固體；比重 11.35；不溶於水；抗腐蝕性；放射線不易透穿；弱導電性；很好的聲音及振動吸收劑；不可燃的；攝取和吸入有毒；空氣中容許量每立方米 0.15 毫克(煙，塵和無機化合物)；一種會蓄積體內的毒。

◎鋅(zinc)

閃亮的白色金屬，具青色灰色的光澤；不溶於水；比重 7.14；粉塵，可燃，有起火及爆炸之危險。

◎焦油(coal tars)

黑色，黏性液體(或半固體)，茶氣味，強焦味；比重 1.18；可燃。吸入有毒。容許量(揮發物)，每立方米空氣 0.2 毫克，已知之致癌物。

◎防腐油(creosote)

黃至深綠棕色，油性液體；比重 1.06~1.10；不溶於水；吸入煙有毒；刺激眼，皮膚；限制使用。

◎氰化物 (Cyanide)

氰化物可由某些細菌、黴菌及藻類產生，並可在許多種食物及植物中發現大部分土壤中及水中的氰化物是來自工業製程。在許多的職業場所中會使用或產生氰化物，像是電鍍、一些金屬礦物開採的過程、冶金、金屬的清潔、某些殺蟲劑的使用、製革、攝影及照相製版、滅火，以及煤氣廠的操作過程等。暴露到大量的氰化物是能夠導致死亡，短時間內暴露到大量的氰化物，會傷害腦部及心臟，甚至造成昏迷或死亡。人體若吸入 546 ppm 的氰化氫十分鐘後便會死亡；暴露於 110ppm 氰化氫一小時後便會有生命危險；短時間之內若食入大量的氰化物也可能導致死亡。一些氰化物毒性發作的立即徵兆為快速短促的深呼吸，緊接著抽搐及失去意識，這些症狀發生的快慢，視食入的量而定。無論是食入、飲用、呼吸或接觸大量的氰化物，其所造成的健康效應都是類似的。皮膚接觸氰化氫或氰化鹽時會引起刺激及痛覺，吸入含有 6 -10 ppm 氰化氫空氣的工人，超過一年即有呼吸困難、心臟部位疼痛、嘔吐、血液病變、頭痛、及甲狀腺腫大的症狀出現。

參考文獻

- (1) ADI (NSW), Australia
- (2) Australia and New Zealand Environment and Conservation Council and National Health and Medical Research Council, 1992. Guidelines for the assessment and management of Contaminated Sites.
- (3) Contaminated Site Remediation: Challenges Posed by Urban and Industrial Contaminants, 1999. (ed. By C.D. Johnston). Centre for Groundwater Studies, Wembley, Western Australia, Australia.
- (4) Land Contamination & Reclamation, 2000. (EPP publications, Surrey, U.K.)
- (5) Martin I. & Bardos P., 1996. A Review of Full Scale Treatment Technologies for the Remediation of Contaminated Soil. (EPP publications, Surrey, U.K.)
- (6) NATO/CCMS Pilot Study, Annual Report, 1999. Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater (Phase III). North Atlantic Treaty Organisation, Angers, France.
- (7) Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation, 1998. EPA, Washington DC.
- (8) www.clu-in.org
- (9) Yin, Y. and Allen, H.E., 1999. In Situ Chemical Treatment. Ground-water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA.

高屏溪斜張橋載重試驗規劃

屏東監造工程處
計畫經理

莊輝雄

屏東監造工程處
第一工務所主任

陳建州

屏東監造工程處
工程師

蔡同宏

摘要

高屏溪斜張主橋採單橋塔非對稱混合式設計，橋長 510 公尺，塔高 183.5 公尺，兩側單面混合扇形斜張鋼纜系統分別錨碇於塔柱及箱梁中央處。由於橋梁整體結構配置特異性高其結構動靜力特性並不顯著，且應力行為較為複雜。為求了解本橋於設計階段結構分析之各項結構特性參數能否符合橋梁完工後之實際結構動靜力特性，乃規劃於主橋結構完成後進行全橋服務載重試驗。本文之目的即在於說明高屏溪斜張橋全橋載重試驗之規劃及執行作業。

一、前言

第二高速公路南部路段新地標—高屏溪斜張橋終於於民國八十八年七月合攏，並於同年十二月底配合該路段通車政策提前三個多月完工。全橋由規劃、設計至施工完成歷時約九年，其間克服了無數的設計盲點及施工難題，在業主—國道新建工程局、設計監造單位—中華顧問工程公司及施工廠商—大成／泛亞／川田／利德（短期結合）的通力合作下完成了台灣最長跨徑橋梁，亦是全世界第二長之單橋塔斜張橋。

高屏溪斜張橋之特殊性不僅止於其超大跨徑的配置，橋梁構築材料的選擇及結構系統的整合亦引進了最先進的設計理念。斜張橋全長 510 公尺，橋面寬 34.4 公尺，採非對稱混合式配置，主跨 330 公尺為全銲接箱型鋼梁，邊跨 180 公尺為預力混凝土箱型梁，倒 Y 型鋼筋混凝土橋塔高 183.5 公尺，兩側斜張鋼纜系統沿橋梁中心線採單面混合扇形配置。由於全橋組成構件複雜，結構介面繁多，分

析模擬不易，且橋面寬達 34.4 公尺，僅由中央斜張鋼纜支撐，活載應力之傳遞並不易掌握。為確認橋梁各項結構動靜力特性參數，即規劃於斜張橋結構主體完成後進行全橋載重試驗，期間同時驗收埋設之監測儀器之功能，並建立監測儀器之量測初始值。

全橋載重試驗配合橋梁施工進度於八十八年初即著手進行規劃作業，並於八十八年底通車前進行為期四天之載重試驗作業，試驗主要由國立成功大學土木系方一匡教授、陳培麟教授及國立台灣科技大學陳生金教授與本司屏東監造工程處負責。由於本橋載重試驗之目的主要在於確保橋梁之服務性，而非探討橋梁之極限承载力，故僅規劃非破壞性試驗，即以適當數量之載重車模擬設計活載外力，並配合已埋設之監測儀器進行資料收集之規劃。試驗項目則分為靜力及動力兩部分，試驗對象主要以斜張橋整體結構系統為主，但考量上部結構材質之差異性，仍細分為主跨鋼構箱型梁及邊跨預力混凝土箱型梁兩主題。

二、試驗目的

為確保高屏溪斜張橋通車後之服務性及施工期間之安全性，橋梁於設計階段即研擬一套監測維護計畫，計畫依階段性目的進行相關作業，其中，載重試驗則為通車前之作業重點。載重試驗擬訂之主要目的在於確認或調整結構特性參數以作為橋梁後續檢測、管理及維護計畫擬訂之參考，同時針對監測系統進行功能驗收，並建立長期觀測之起始量測值。除此之外，經由橋梁現場試驗所收集之應力應變資料重新檢核分析模式之可靠性及各項假設參數之正確性，並將結果回饋於原設計，以提升斜張橋分析設計能力。

全橋載重試驗依探討重點之差異可概分為動態載重試驗及靜態載重試驗兩部分，另因考量主跨與邊跨構材性質差異甚大，載重試驗乃分別針對主跨鋼構箱型梁及邊跨預力混凝土箱型梁進行靜態撓曲、扭矩試驗及動態車行、衝擊試驗。

2.1 動態載重試驗

動態載重試驗係分析載重車在不同車道及不同速率行駛時橋梁結構系統在動載作用下之強迫振動反應，解析相關動力特性參數並驗證橋梁結構系統之穩定性。本試驗主要重點在於：

2.1.1 藉由載重車行駛或定點衝擊所造成之強制振動，量測橋梁結構系統之動態反應，並與理論分析模式相互對照以確認結構動力特性參數；

2.1.2 經由動載重試驗求得活載重對結構系統之衝擊係數、活載重反應譜資料及活載橫向分佈資料，進而驗證分析模式及假設參數之可靠性；

2.1.3 透過量測各規劃處之加速度反應譜及動態變位資料，利用 FFT 解析橋梁之模態振動頻率及阻尼比，進而判讀橋梁之動力行為及抗風穩定性。

2.2 靜態載重

靜態載重試驗係量測載重車佈設在不同車道時橋梁結構之靜力反應，以解析結構特性係數，並推估橋梁結構系統之實際承載服務性。本試驗主要重點在於：

2.2.1 藉由各控制斷面所佈設之監測儀器量測結構系統之應力變化，推估橋梁之垂直 勁度、扭轉勁度及構件斷面中性軸位置，並進而探討橋梁在不同載重位置下之主梁應力變化情形；

2.2.2 經由比對各規劃控制斷面應力分佈量測值與分析模式理論值之差異性，校核分析模式之應用性；

2.2.3 建立活載重之橫向分佈資料，從而計算主跨鋼構箱型梁之應力差值以評估鋼梁實際疲勞應力；

2.2.4 透過比對鋼纜索力變化量量測值與理論值之差異狀況，以確認鋼纜模擬之可靠性。

三、試驗規劃

高屏溪斜張橋載重試驗於 88 年初進行初步規劃，於年中提出試驗計畫書，於年底進行試驗，試驗作業流程主要依據橋梁施工進度及監測儀器安裝與整合作業時程而擬訂。配合橋梁主體工程提前三個月完成，試驗亦提前進行。整體規劃計包含人員編組、加載方式研擬、車行動線安排、量測記錄儀器佈設及試驗流程等，基於考量試驗參與單位繁多，包含學術單位、業主、承包商、儀器供應商及監造單位等，為利於載重試驗作業，各單位於試驗預定時程前六個月起即定期進行整合作業。

3.1 試驗時程與人力配置

載重試驗為高屏溪斜張橋監測研究計畫工作項目之一，本計畫係由國工局委託中華顧問工程司負責辦理。基於考量斜張橋監測研究計畫屬專業技術顧問服務工作，並為提昇國內產官學界三方工程實務技術交流及學理資源共享，中華顧問工程司特委託財團法人成大研究發展基金會負責統籌主持監測研究計畫，而屏東監造工程處則負責協調辦理並提供相關工程實務諮詢。

載重試驗主要由計畫主持人成功大學土木系方一匡教授、陳培麟教授與國立台灣科技大學營建系陳生金教授所組成之跨校研究單位負責策畫與執行，承商則負責清理現場與提供部分人力協助製作試驗所需之輔助器材，另有國外顧問 VCE 公司提供載重分析之計算資料，中華顧問工程司除了參與規劃作業，另負責協調工作，並提供測量隊協助量測工作，同時管控試驗區域所有車輛與人員的進入。除此之外，國工局所屬「風對斜張橋主梁與鋼纜穩定性之影響」之計畫主持人國立台灣科技大學陳瑞華教授亦於試驗期間時進行鋼纜振動量測。為確保載重試驗之完整性及可靠性，試驗須於全橋主體結構工程及監測儀器中央集錄系統整合作業均告完成後進行。此外，試驗期間須撤離所有施工機具與設備，並暫停一切工程施工。因此，配合高屏溪斜張橋施工時程，載重試驗於 88 年 12 月 13 開始執行至 12 月 16 日止，共計 4 天。試驗項目及時程規劃詳表 3-1 所示。

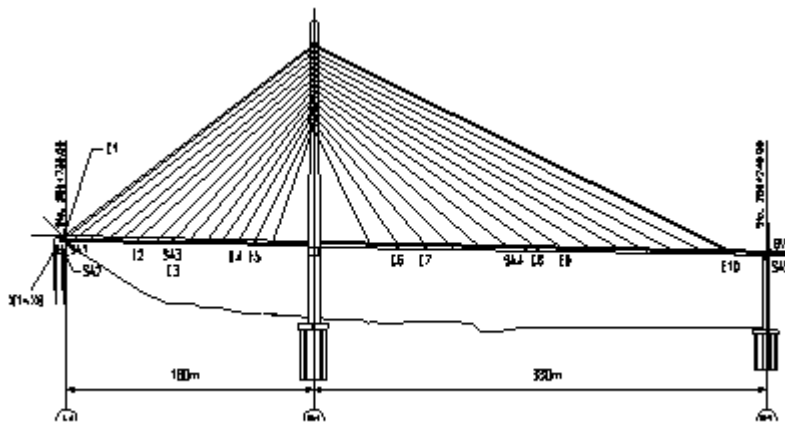
表 3-1 載重試驗時程規劃

載重試驗時程規劃					
	試驗項目	第一天	第二天	第三天	第四天
靜 態 載 重 試 驗	斜張主橋撓曲試驗	√			√
	斜張主橋扭矩試驗	√			√
	主跨鋼梁撓曲試驗		√		√
	主跨鋼梁扭矩試驗		√		√
	邊跨預力混凝土梁撓曲試驗	√			√
	邊跨預力混凝土梁扭矩試驗	√			√
動 態 載 重 試 驗	斜張主橋車行試驗			√	
	斜張主橋衝擊試驗				√
	主跨鋼梁車行試驗		√	√	
	主跨鋼梁衝擊試驗			√	√
	邊跨預力混凝土梁車行試驗			√	
	邊跨預力混凝土梁衝擊試驗				√

3.2 監測儀器佈設

斜張主橋載重試驗儀器佈設主要以監測計畫所規劃之預埋監測儀器為主，另為提供較完整之上部結構箱型梁之應力、應變及振動等資料，乃依據測試項目之需求，規劃外加式監測儀器以收集相關資料，外加式監測儀器於試驗結束拆除。預埋式監測儀器主要包括傾斜儀、鋼筋應變計、混凝土應變計、鋼筋計、鋼梁應變計、鋼纜錨碇應變計、橋台拉力計、三軸式地震儀及動靜態資料蒐集及處理系

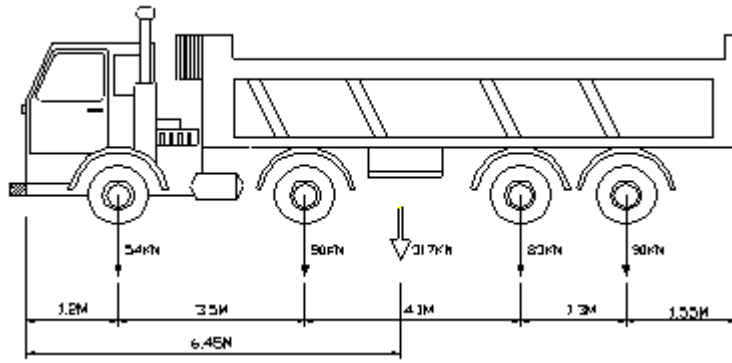
統等，詳圖三及表 3-2 所示。外加式量測儀器型式及位置則配合載重試驗需求分別進行規劃，其中，為求得結構系統之活載重反應譜、橫向應力分佈及衝擊載重等相關資料，分別於主跨鋼構箱型梁 G4、G10 及 G16 節塊內側頂腹底版處與邊跨預力混凝土箱型梁第八及十二節塊控制斷面處安裝應變計。再者，配合全橋結構系統分析模式及動態載重試驗需求，亦分別於各控制斷面處設置有表面型三軸地震儀，用以求得橋梁之自然振動頻率或阻尼比等動態行為。此外，為期能瞭解斜張鋼纜之索力變化及結構穩定性，載重試驗期間亦於數根鋼纜上裝設速度計，用以分析不同載重情況下鋼纜之應力變化情形及各振態之頻率與阻尼比等動力特性。



(圖三)

3.3 載重規劃

一般而言，載重試驗加載方式依試驗需求可分為重物堆放、水載、車輛荷載或利用千斤頂配合反力架施加反力等。本橋為模擬橋梁受設計活載重之真實狀況，並且滿足動靜態載重試驗之要求，同時考量外載量來源及調配之便捷性，乃採用當地砂石車進行加載，砂石車之標準軸重配置詳圖五。



(圖五)

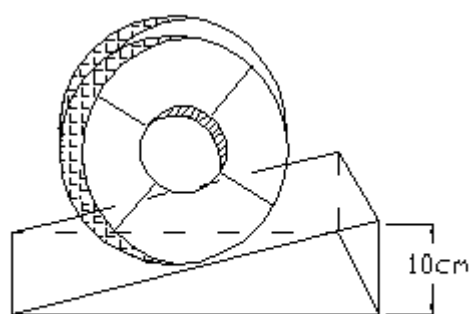
本橋結構系統係以 AASHTO HS20-44 標準載重車加 25% 進行活載重設計，考量車道數、折減係數及衝擊係數等計算參數，其活載重各項檢核值如表 3-3 所示。

表 3-3

	主跨鋼構箱型梁	邊跨預力混凝土箱型梁
均佈載重	74.3KN/m	76.33KN/m
計算力矩之集中力	637.1KN	654.2KN
計算力矩之集中力	927.6KN	945.3KN

若為模擬全橋最大設計加載狀況約需一百輛以上之砂石車，在試驗執行時相當困難，也不合乎經濟原則。基於考量試驗之主要目的在於探討結構動靜力特性係數及推估全橋之服務載重，其試驗外載重並不須以最大設計活載重為考量對象，可適度地折減，唯須確認外載重足以引起可供判讀之量測值，因此計規劃 30 部砂石車以供試驗加載之用。

載重試驗加載規劃可分為靜態載重與動態載重兩部分，靜態載重係規劃數部載重車依各單項試驗目的分別佈設於單向或雙向車道定點位置，藉由觀測橋梁受撓曲及扭矩之變形行為及受力狀況，進而評估全橋設計載重之可靠性及探求結構靜力特性係數。試驗之定點位置，於試驗前利用黃色警示帶標示於中央橋護欄之金屬欄杆上，試驗進行時工作人員再將黃色警示帶分別拉至南北兩側金屬欄杆之相對應點位，如此則可管控各車道上載重車均能整齊對稱佈設於規劃位置上。動態載重可分為車行動態載重試驗及衝擊載重試驗兩組，車行動態載重試驗乃利用載重車分別以不同行車速率行駛於橋面規劃車道上，藉由記錄之應變值及加速度值求取活載反應譜衝擊係數及結構動力特性係數；動態衝擊試驗則利用載重車慢速行駛通過一具有 10 公分落差之三角楔形障礙物所產生之垂直衝擊反應量，進而解析橋梁結構系統之動力特性，詳圖六。



圖六 三角楔形障礙物示意圖

3.4 動線安排及資料蒐集

斜張主橋載重試驗時程相當緊湊，試驗規劃項目與數量相當龐大，如何於有限的時間內完成所有的試驗項目一直為試驗規劃的重點。為估計試驗全程所需時間，載重車的動線、量測點位的佈置及量測的時機與方式皆需事先進行規劃，並預估每一單項作業之執行時間。

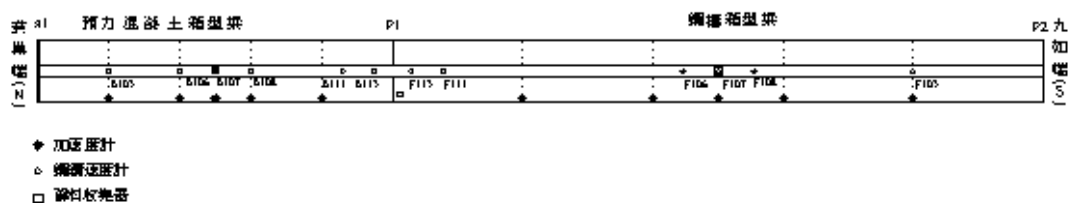
車行動線的規劃除了需滿足試驗項目之基本需求外，亦需考量每一回測試行駛路線所需耗費的時間，其中尤以動態試驗因測回數量繁多，其整體測試耗費時間將與車行路線息息相關。考量斜張主橋所屬施工路段全線於試驗期間已接近完工，所有施工便道皆已封閉，載重車進出及迴轉須利用北上約 3 公里處之燕巢系

統交流道及南下約 5 公里處之九如交流道進行，如此將可能嚴重影響連接匝道之台 3 線交通狀況，同時長距離行駛亦將嚴重影響試驗進度。

為避免影響台 3 線路況及節省車行時間，即規劃載重車僅於每天清晨及黃昏由九如交流道進入及駛離試驗區，試驗期間車輛則利用高屏溪河川橋兩端之中央活動護欄區域進行迴轉。但為避免車輛迴轉造成 AC 路面車轍破壞，除了嚴格要求車輛之迴轉半徑及行駛速率外，並於迴轉區域範圍內之 AC 面上鋪築薄木板及帆布以消弭車轍破壞。

為確保試驗能順利完成，除了載重車動線需特別規劃外，另一重點工作為資料的蒐集。資料蒐集的對象包含監測計畫所規劃之全部預埋式監測儀器及配合載重試驗特殊需求所配置之外加式量測儀器，預埋式監測儀器資料均由一組工作人員配合儀器供應商收錄於監測室之中央集錄系統；外加式量測儀器則依試驗項目的需求進行規劃，約可概分成靜態資料收集及動態資料收集兩部分。靜態資料收集之量測對象主要為箱型梁之變位量，依據規劃分別於主邊跨箱梁兩側紐澤西橋護欄上各規劃五處位移監測點，並於橋下方配置四組測站，測量人員於試驗期間配合試驗進行收集相關變形資料。

動態資料收集則收集箱型梁之加速度資料，外加式加速度計分別於主邊跨橋面上各安裝 5 組，資料收集站則設置於橋塔附近。除此之外，斜張鋼纜振動資料收錄於中央分隔帶之臨時集錄系統，外加式鋼梁應變計及鋼纜錨碇處應變計資料則收錄於箱型梁內部三組臨時資料收集器，相關配置詳圖七。



圖七 各測站、測點示意圖

四、試驗內容

載重試驗依規劃於 88 年 12 月 13 日開始執行，為確保試驗進行順利，於試驗前再度集合研究單位、監造單位、施工單位及儀器供應商，並就試驗期間之工作分配與協調進行確認。除此之外，考量載重車作業項目繁多，為確保車輛調度能順利進行，並且避免發生任何事故及破壞，亦特別召集司機領隊說明試驗內容及相關注意事項。

4.1 載重車佈載

加載位置的佈設原則係以最少載重車數量達到最大荷載效率為主，斜張主橋靜態載重試驗計有下列幾種加載位置：

- (1) 主跨鋼梁撓曲對稱佈載；
- (2) 主跨鋼梁扭矩佈載；
- (3) 邊跨預力混凝土梁撓曲對稱佈載；
- (4) 邊跨預力混凝土梁扭矩佈載；
- (5) 全橋撓曲對稱佈載；
- (6) 全橋扭矩佈載。

動態載重試驗佈設原則係配合載重試驗規劃之外加式監測儀器以及監測計畫原規劃之相關監測儀器佈設位置進行佈載。由於主跨鋼構箱型梁 G10 節塊斷面中心接近主跨鋼構箱型梁 2/3 跨徑處，該處為斜張主橋整體結構行為最顯著點位；再者，G16 節塊斷面中心鄰近全橋載重容量最大之編號 F101 最長斜張鋼纜錨碇處，因此為求瞭解斜張主橋特殊結構系統或控制斷面處應力、應變及振動行為，動態載重試驗乃規劃於主跨鋼構箱型梁 G10 及 G16 節塊處佈設三角楔型行

車障礙物。此外，由於載重車不同車速行駛下將對斜張主橋產生不等之衝擊效應動力行為，故動態車行試驗乃規劃以 10~60km/hr 不同行車速率進行試驗。

4.2 量測作業

4.2.1 主梁控制斷面應力量測

主梁應力量測主要目的在瞭解控制斷面縱向與橫向應力分佈狀態，並可檢核其實際承載能力與服務性。基於混凝土結構屬於非均質材料，局部應力行為較不具代表性，故混凝土結構系統應力檢核須兼採該控制測點處之鋼筋應力應變量測值轉換成混凝土承力行為，以為佐證。

對於主梁控制斷面因活載重所引起混凝土應變，亦即應力分佈狀態，一般可採用應變計（Strain gauge）或測微計（Dial gauge）進行量測。本橋係於各控制斷面處安裝應變計，用以進行主梁應力行為監測作業。

4.2.2 主梁撓度量測

有關主梁撓度監測作業，本橋係採精密經緯儀（Total station）進行測定。試驗進行時，數部經緯儀可同時記錄各控制測點之里程、支距及高程等三軸向變位資料。

4.2.3 橋塔變位量測

橋塔變位測定包括三軸向位移及轉角變位兩項，此兩項量測資料亦可互為校核。軸向位移係以設置於主橋邊坡上監測室之變位計進行塔頂及橫梁處控制點位測定；而轉角測定則採用安裝於橋塔內各控制升層斷面之傾斜儀進行量測。

4.2.4 橋塔應力量測

橋塔應力測定係利用預埋於橋塔各控制斷面升層內之鋼筋計、混凝土應變計進行測定。

4.2.5 鋼纜索力量測

鋼纜索力除採利用已安裝於鋼纜錨碇處之應變計進行監測外，亦選擇主邊跨六根控制鋼纜進行微振試驗（Ambient Vibration Test），以測定鋼纜索力值。微振試驗係於鋼纜適當位置安裝一高靈敏度速度計，當鋼纜因荷載變化或自然力的擾動而產生振動反應時，速度計可將此振動資料傳送至 FFT 分析器，再經由快速傅立葉轉換（Fast Fourier Transformation）解析後，可將速度計所得之訊息轉換成鋼纜振動模態及相對應之頻率與阻尼比，透過頻率與鋼纜索力之轉換關係即可計算鋼纜索力值。

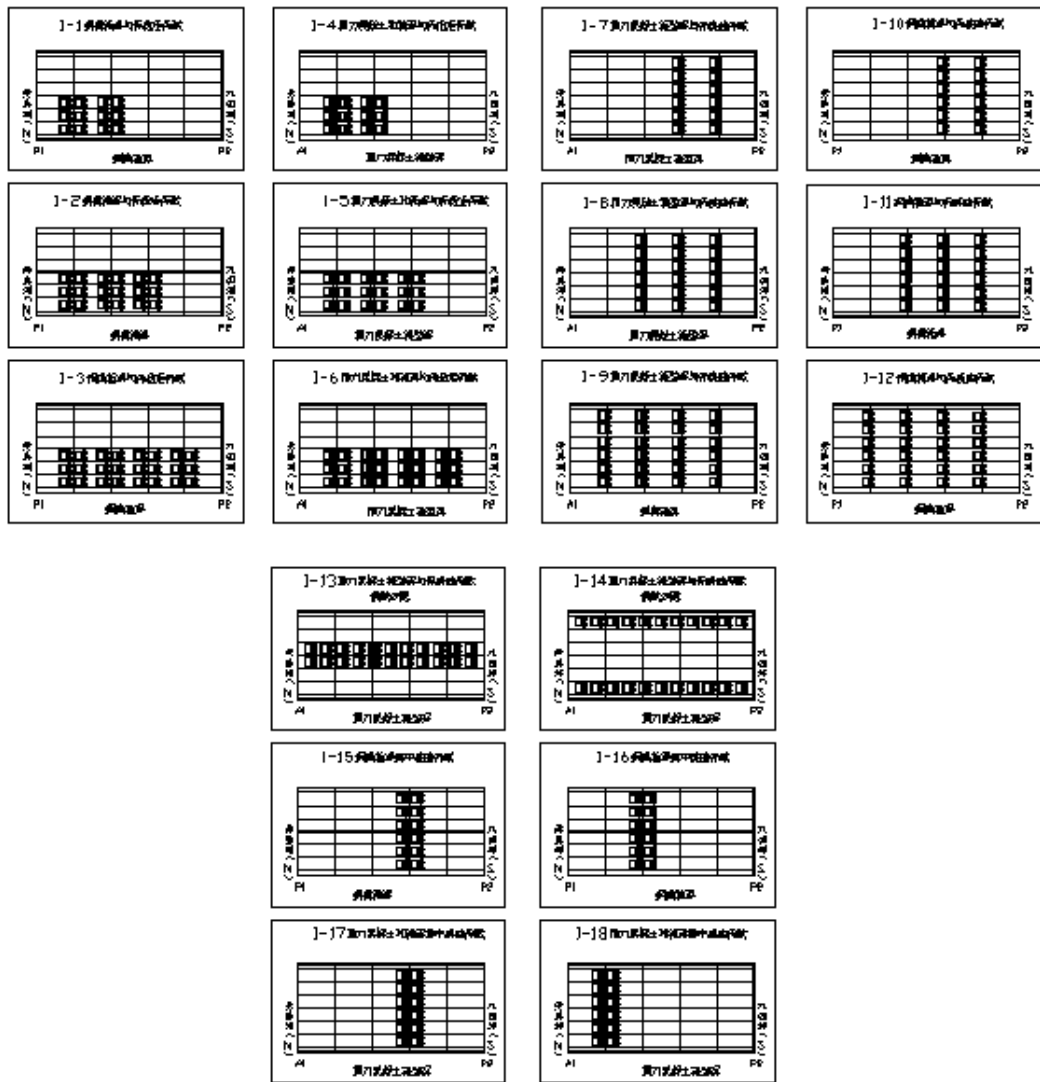
4.2.6 橋台應力量測

橋台應力量測係利用安裝於 A1 橋台處預力地錨之拉力計（Load cell）進行測定。

4.3 試驗過程

動靜態加載時程規劃需同時考量載重車數量配置、參與試驗單位各項試驗目的及需求、相關協力單位整合如試驗儀器供應商、資料收集系統安排或測量人員整體橋梁變位之量測、車行動線或試驗介面之協調以及周圍環境如溫度或日夜間照明通視與否對整體試驗環境之影響等。因此，試驗加載規劃原則係力求整合各相關單位需求，精簡試驗時載重車之使用數量、車次及人力資源配合，達成試驗之連貫性及安全性。基於上述種種理由考量，試驗主要可概分為成大方教授所主導之全橋載重試驗及台科大陳教授所負責之主跨鋼構箱型梁載重試驗，試驗行程詳如以下所示：

4.3.1 試驗第一天(88.12.13)－靜態載重(詳圖九)。

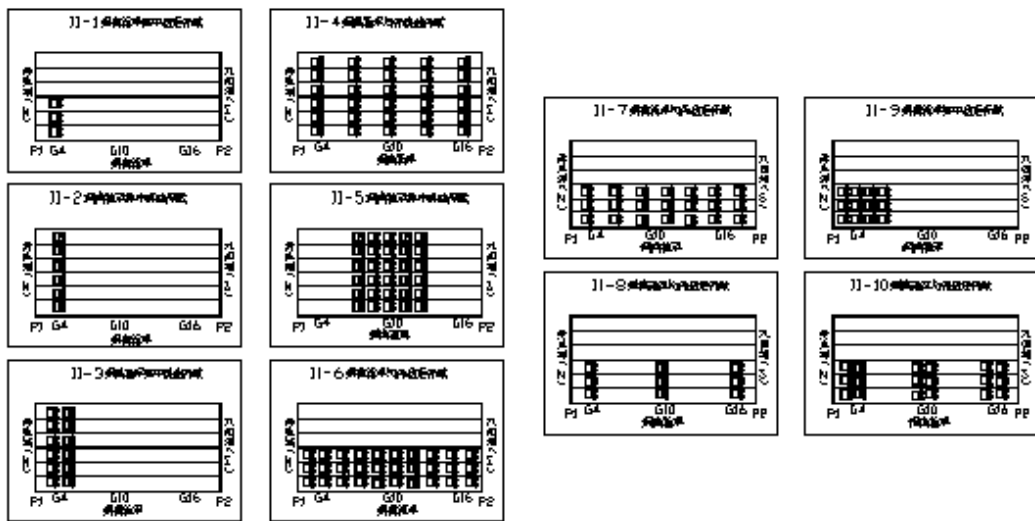


圖九 試驗第一天靜態載重佈設示意圖

本日試驗係由成大方教授主持，主要試驗重點為 PC 梁及全橋靜態荷載，依序分別進行六組均佈扭矩試驗，八組均佈撓曲試驗以及四組規劃斷面集中撓曲試驗，共計十八組載重條件。再者，因應不同試驗目的之需求，均佈扭矩試驗加載位置可分為鋼梁及 PC 梁兩部分，載重車於各規劃單向車道加載位置處依序逐次由十二部、十八部而至廿四部進行佈設。均佈撓曲試驗加載位置亦分為鋼梁與 PC 梁兩部分，加載方式採南北雙向車道對稱佈設，而載重車佈設數量原則同於均佈扭矩試驗。再者，為探求撓曲試驗偏載效應，本試驗亦於邊跨 PC 梁處利用

二十四部載重車分別針對中央分隔帶外之第一、二車道(內側)與第二、三車道(外側)進行撓曲偏載試驗。最後四組集中撓曲試驗則配合十二部重車於鋼梁及 PC 梁各規劃控制斷面處行佈載。

4.3.2 試驗第二天(88.12.14)－靜態載重(詳圖十)



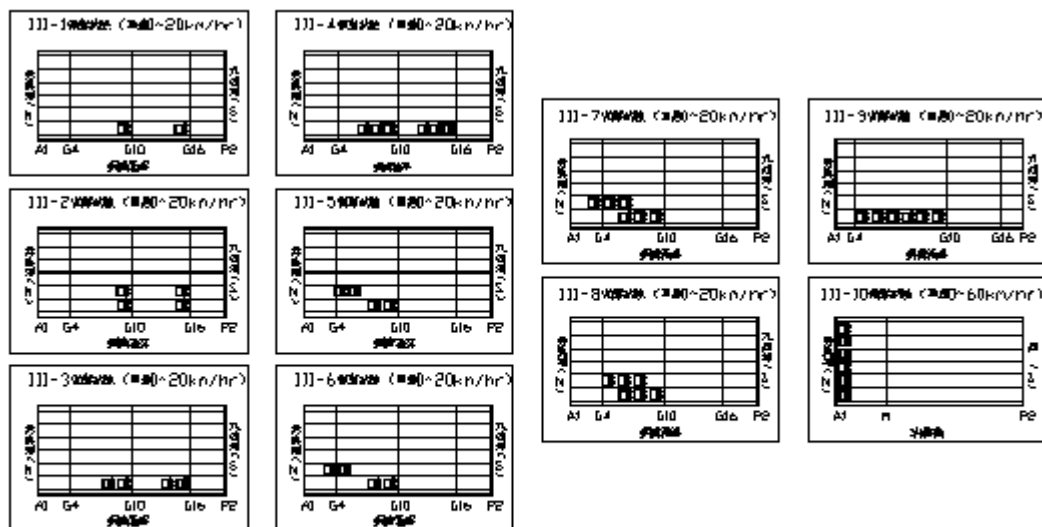
圖十 試驗第二天靜態載重佈設示意圖

本日試驗係由台科大陳教授負責，主要試驗重點為主跨鋼梁靜態荷載，分別進行均佈及規劃斷面集中扭矩與撓曲試驗。規劃控制斷面及加載條件依序為鋼梁 G4、G10 及 G16 節塊。首先以三部載重車於 G4、G10 及 G16 節塊控制斷面處僅沿單向車道佈載，共進行六組扭矩試驗；其次，再以六部及十二部載重車分別於各規劃控制斷面處沿雙向車道對稱佈載，計進行九組集中撓曲試驗。隨後，為探求主跨鋼構箱型梁結構系統之應力特性及服務載重，乃規劃三十部載重車沿雙向車道對稱佈載，進行一組鋼梁均佈撓曲試驗。其次，配合三十部載重車行車動線安排，分別於 G4、G10、G16 三處控制斷面處進行三組集中撓曲試驗。再者，先以三十部載重車沿單向車道佈設，再逐次遞減至二十一部及九部，分別進行三組鋼梁均佈扭矩試驗。另外，基於探討鋼梁規劃控制斷面處之最大服務扭矩行

為，亦規劃十二部載重車沿單向車道佈載，進行三組集中扭矩試驗。最後，集中扭矩試驗配合十八部載重車於 G4、G10 及 G16 各規劃控制斷面處進行佈載。

此外，由於周圍環境溫度高低將可能影響橋梁線形變化，因此，為消弭溫度對試驗精度之影響，載重車於試驗結束駛離工區後，各測站測量人員均需進行量測初始值重新律定作業。

4.3.3 試驗第三天(88.12.15)－動態載重(詳圖十一)



圖十一 試驗第三天動態載重佈設示意圖

本日試驗分為上午及下午兩組試驗規劃，分別由台科大及成大負責執行十四組鋼梁動態衝擊及十組全橋車行載重試驗。基於達成載重車資源共享及最大使用效率原則下，整合各項動態衝擊及車行試驗載重需求，乃規劃以六部載重車進行試驗。

鋼梁衝擊試驗加載位置均選擇單向車道進行規劃，並依不同試驗需求逐次調整行車速率及增加載重車使用數量。試驗初始係以一部載重車於 10km/hr 及 20km/hr 行車速率下，同步沿不同兩車道配合 G10 及 G16 節塊行車障礙物佈設，

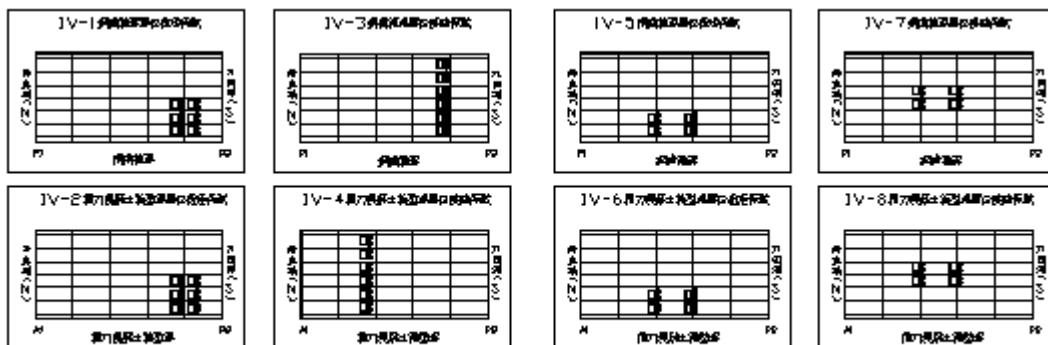
進行四組動態衝擊試驗。其次，再進行兩部及三部載重車於相同車速下，同步連續或並排通過障礙物之衝擊試驗。

隨後，以四部載重車沿不同二車道，兩兩佈設，並於相同車速下，分別錯開半個至一個車身間距下進行衝擊試驗。最後，六部載重車分別沿同一或相異二車道以連續或並排錯開不等車身間距加載條件，進行鋼梁動態衝擊試驗。

全橋車行動態試驗之加載位置均採雙向車道對稱佈設，並配合試驗區與九如及燕巢南北二端中央活動護欄不等行車迴轉緩衝距離，採高速搭配低速方式進行往返測試。本試驗沿雙向對稱之內側或外側車道各佈載三部載車，分別以 10、20、30、40、50、60km/hr 不等車速下通過斜張主橋，計進行十組全橋動態車行載重試驗。

此外，不論衝擊或車行動態荷載，造成結構系統之變位均為歷時反應，無法以精密經緯儀進行量測，因此動態載重試驗之橋梁撓度變化係以佈設於各控制斷面之加速度計記錄歷時資料，再經由二次直接積分，以求得橋梁三軸向之動撓度。

4.3.4 試驗第四天(88.12.16)一動靜態載重(詳圖十二)



圖十二 試驗第四天動靜態載重佈設示意圖

本日試驗由成大主持，主要試驗重點為 PC 梁與鋼梁之扭矩與撓曲靜態載重及動態衝擊載重。靜態載重依序分別進行各為八組之集中扭矩及集中撓曲載重試驗，總計十六組載重條件。再者，動態衝擊載重則分別針對鋼梁及 PC 梁不同結

構特性需求，於各規劃控制斷面處分別進行八組集中扭矩及撓曲動態衝擊試驗。集中扭矩靜態載重試驗係以六部載重車採單向車道進行加載，分別於主跨鋼構箱型梁及邊跨預力混凝土箱型梁規劃控制斷面處共進行八組加載試驗，加載斷面是以主邊跨各均分五等分進行規劃。集中撓曲靜態載重試驗則以六部載重車採雙向車道進行對稱加載。加載控制位置同於前述單位扭矩試驗佈載原則，總計執行十六組靜態扭矩及撓曲載重試驗。

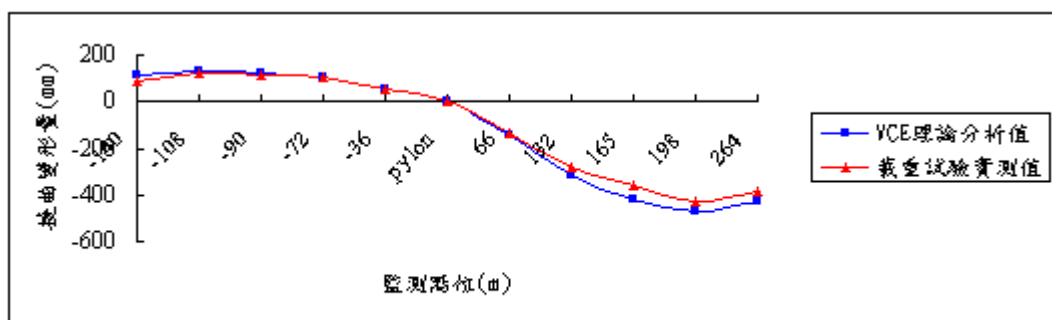
動態衝擊試驗則分別進行主邊跨撓曲及扭矩衝擊試驗，中央隔欄兩側之載重車依規劃於撓曲衝擊試驗時，需同步通過楔形障礙物，因考量沿中央配置之斜張鋼纜可能影響駕駛者間相互通視，為降低通視障礙影響試驗進行，撓曲動態衝擊試驗僅採二部載重車進行作業；扭矩動態衝擊試驗配合撓曲試驗之規劃亦採兩部載重車進行測試。扭矩動態衝擊試驗係於中央分隔帶外南下第二、第三車道(外側)之主跨鋼梁距 A1 橋台 312m 與 378m 規劃控制斷面處及邊跨 PC 梁距 A1 橋台 72m 與 108m 規劃控制斷面處進行四組加載測試；撓曲動態衝擊試驗則規劃二部載重車分別於中央分隔帶兩側相鄰車道進行對稱加載，加載控制位置則同於前述扭矩試驗加載規劃，共計執行八組扭矩及撓曲動態衝擊試驗。

4.4 試驗初步成果與分析

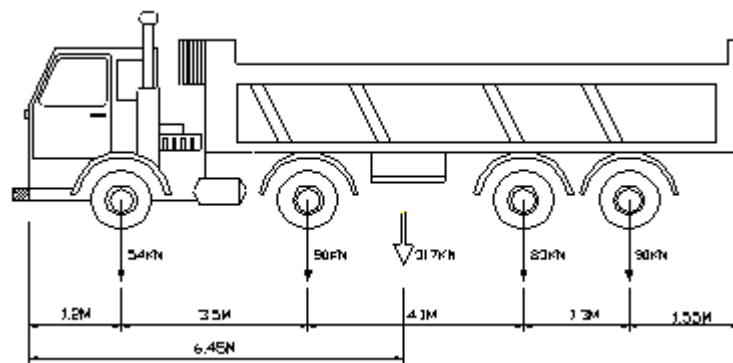
4.4.1 靜態載重試驗

基於考量橋梁結構會因周圍環境變化而產生微振現象，因此各項載重試驗進行前即需進行全橋環境微振試驗 (Ambient Vibration Testing)，亦即透過各規劃處之加速度計紀錄資料，並經由 FFT 轉換成結構系統之環境微振傅氏譜 (Fourier spectrum) 及各振態振動頻率 (Vibration mode and Vibration frequency)。爾後，動靜態載重試驗所求得之結構系統各項振動物理量即需綜合考量此一環境微振效應影響。再者，為消弭因載重車引擎發動造成橋梁結構產

生微振現象影響試驗進行，載重車於定位後需將引擎熄火，並待全橋微振行為趨於穩定後再進行靜態載重規劃處變位資料量測作業。圖十三為主跨鋼構箱型梁在最大靜態撓曲荷載試驗下（詳圖十之-4），主梁撓度測點高程變化實測值與 VCE 理論分析值之比較示意圖；而主跨鋼構箱型梁 G10 節塊之最大集中靜態撓曲荷載下（詳圖十之-5），主梁撓度測點高程變化實測值與 VCE 理論分析值之比較詳圖十五所示。



圖十三 鋼梁在最大靜態撓曲荷載下之主梁撓度變化示意圖



圖十五 加載砂石車之應力配置

此外，經由監測單位分析相關試驗量測資料得知，在規劃之載重情形下，高屏溪斜張橋載重變形及結構行為均具有線性疊加現象。再者，以 STAADIII 分析軟體模擬高屏溪斜張橋結構行為時，慣性矩 I 值係採原設計值，彈性模數則採材料試驗實測值；PC 梁及鋼梁係以梁元素模擬；斜張鋼纜則採桁架元素模擬；而

載重位置則採規劃之載重位置。分析結果發現理論值較實際載重試驗值為大，此應為分析時所使用之參數較為保守所致。

4.4.2 動態載重試驗

橋梁於車行載重作用下之動力行為除與結構系統本身動力特性有關外，車行速度與橋面平整度亦為重要影響關鍵。車行動態載重試驗結果顯示：載重車行車速率越快，橋梁之變位或加速度也就越大。動態試驗之最大變位及加速度結果詳下表所示。

	鋼構箱型梁	預力混凝土箱型梁
最大變位	6 cm (距 A1 橋台 312m 處)	3 cm (距 A1 橋台 108m 處)
最大加速度	30 gal (車行速度為 60km/hr)	8 gal (車行速度為 60km/hr)

五、結論

高屏溪斜張橋載重試驗經由一系列不同承載量之佈載條件測試下，橋體結構系統整體動靜力行為均在規劃設計值內，符合結構穩定之要求，亦即表示本橋於規設階段之設計理念、結構分析模式以及相關設計參數選用均與實際施工現況相當一致。因此，可推論本橋結構系統應力承載能力應與規劃設計值十分接近。

密級配瀝青混凝土與石膠泥

瀝青混凝土之比較

副總工程師兼
試驗中心經理 吳學禮

摘要

SMA 近期世界各國皆在興建鋪築中，其因乃可解決因重車而造成之車轍問題，惟其結構強度及鋪築結構之選擇有賴於洞悉各種類別之瀝青混凝土，為此本文提出瀝青混凝土之類別及級配規格，以供參考。

從柔性鋪面設計參數、配合設計準則、粒料及瀝青之材質要求、施工要求等予以比較 DGAC 與 SMA，亦可從績效之比較而決定鋪面結構之選擇。

一、前言

近 10 年來台灣地區由於車輛快速成長，除造成交通擁塞而外，亦增加路面維修之社會成本，因此改變現行路面鋪築材料成為研究之新潮，尤其是石膠泥瀝青混凝土(SMA)、排水瀝青混凝土等等。

學術單位之研發，主管道路單位之試鋪，已使從業人員不得不參與其事，何況終身學習本是工程師應有之態度，故本文將簡略地敘述粒料級配規格之分類與演進，以供參考。

二、瀝青混凝土類別

瀝青混凝土因粒料(集料)之級配規格不同，大致可分為連續級配(Continuous-Graded)及殘缺級配(Gap- Graded)等兩大類，現列述如下：

2.1 連續級配與殘缺級配

2.1.1.連續級配：美國式，如 FHWA(美國聯邦公路總署)、AASHTO(美國州公路及運輸官員協會)、FAA(美國聯邦航空局)、ASTM(美國材料試驗協會)、AI(美國瀝青學會)等所訂定之級配規格。

2.1.2 殘缺級配：歐州式，如英國 BS 594、德國 SMA 等所訂級配規格。

2.2 連續級配分類

2.2.1.連續級配以 Fuller 0.5 次方最大密度曲線及 FHWA 0.45 次方為主，然後酌量各地區之料源而訂定粒料級配規格。若以 AI 予以區分可得兩個階段：

(1)1975 年以前：AI SS-1 1969 年版[1]將瀝青混凝土分成八大類如：

① 地瀝青碎石式	開放級配
③ 粗級配	密級配
° 細級配	± 片地瀝青石
² 粗片地瀝青砂	³ 細片地瀝青砂

(2)1975 年以後：AI SS-1 1975 年版改以 ASTM D3515 為主。

2.2.2.ASTM D3515

初版為 1976，經 1984 修改，最新版為 1989 年版(ASTM V01.04.03, 1996)，其類別分為密級配及開放級配等兩大類，級配規格列於表 1。

2.2.3.績優瀝青鋪面[2]

績優瀝青鋪面為 SHRP (The Strategic Highway Research Program)研發之主要課題之一，其級配規格如表 2 及圖一，可能是未來級配規格更改之趨勢。

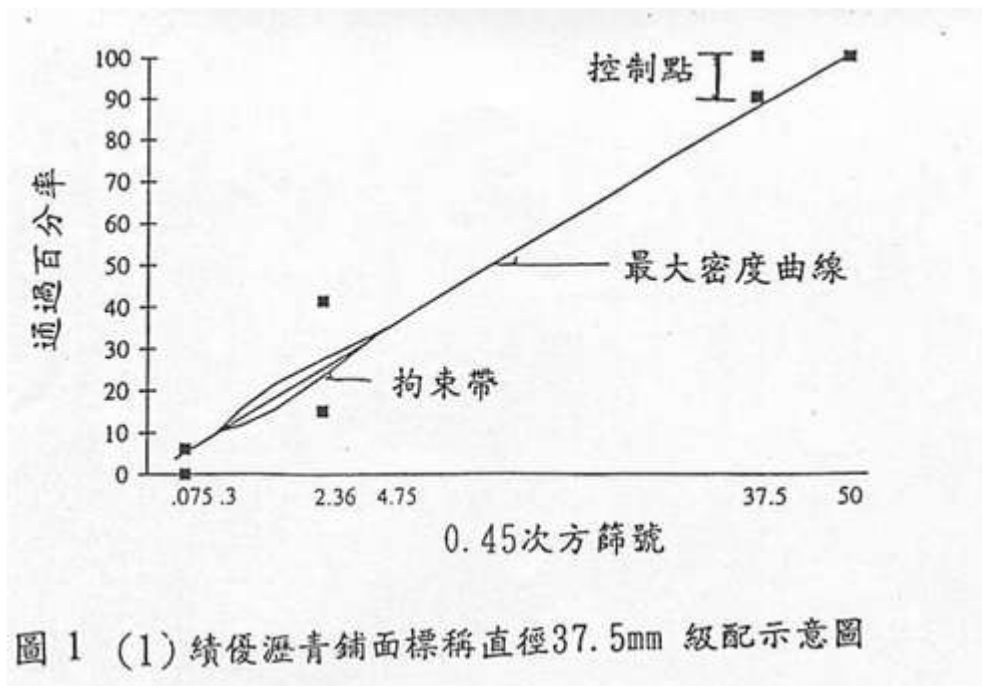
表 1 ASTM D3515 級配規格

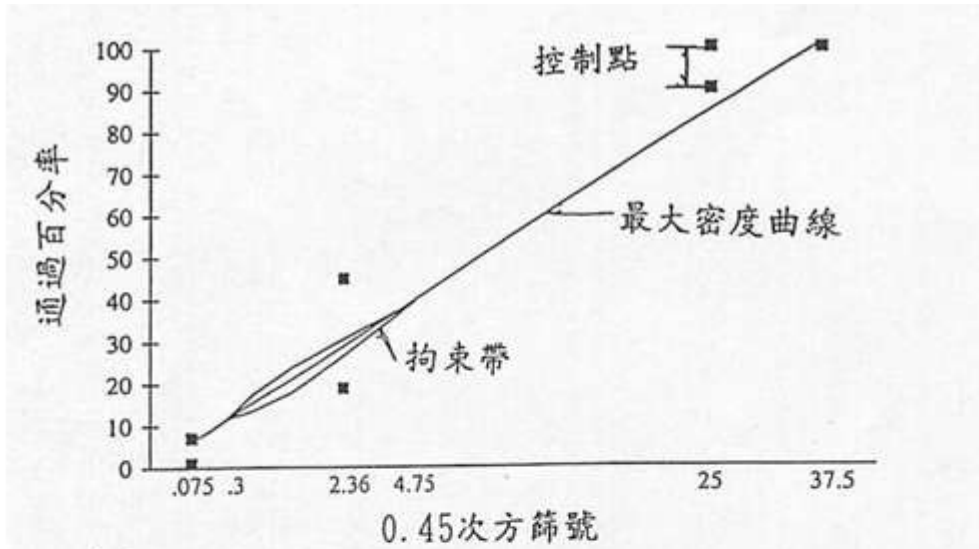
篩 號	密 級 配		
	標	稱	直 稱

	2 in. (50mm)	1½ in. (37.5mm)	1 in. (25.0mm)	¾ in. (19.0mm)	½ in. (12.5mm)	3/8 in. (9.5mm)	No.4 (4.75mm) (Sand Asphalt)	No.8 (2.36mm)	No.16 (1.18mm) (Sheet Asphalt)
通過百分率，%									
2½ in.(63mm)	100	—	—	—	—	—	—	—	—
2 in.(50mm)	90-100	100	—	—	—	—	—	—	—
1½ in.(37.5mm)	—	90-100	100	—	—	—	—	—	—
1 in.(25.0mm)	60-80	—	90-100	100	—	—	—	—	—
¾ in.(19.0mm)	—	56-80	—	90-100	100	—	—	—	—
½ in. (12.5mm)	35-65	—	56-80	—	90-100	100	—	—	—
3/8 in.(9.5mm)	—	—	—	56-80	—	90-100	100	—	—
No.4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	—	100
No.8 (2.36mm) ^A	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	—	95-100
No.16 (1.18mm)	—	—	—	—	—	—	40-80	—	85-100
No.30 (600 μ m)	—	—	—	—	—	—	25-65	—	70-95
No.50 (300 μ m)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	—	45-75
No.100 (150 μ m)	—	—	—	—	—	—	3-20	—	20-40
No.200 (75 μ m) ^B	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	—	9-20
篩 號	開 放 級 配								
	標 稱 直 稱								
	2 in. (50mm)	1½ in. (37.5mm)	1 in. (25.0mm)	¾ in. (19.0mm)	½ in. (12.5mm)	3/8 in. (9.5mm)	No.4 (4.75mm) (Sand Asphalt)	No.8 (2.36mm)	No.16 (1.18mm) (Sheet Asphalt)
	底層及連結層					面層及整平層			
2½ in.(63mm)	100	—	—	—	—	—	—	—	—
2 in.(50mm)	90-100	100	—	—	—	—	—	—	—
1½ in.(37.5mm)	—	90-100	100	—	—	—	—	—	—
1 in.(25.0mm)	40-70	—	90-100	100	—	—	—	—	—
¾ in.(19.0mm)	—	40-70	—	90-100	100	—	—	—	—
½ in. (12.5mm)	18-48	—	40-70	—	85-100	100	—	—	—
3/8 in.(9.5mm)	—	18-48	—	40-70	60-90	85-100	—	—	—
No.4 (4.75mm)	5-25	6-29	10-34	15-39	20-50	40-70	—	100	—
No.8 (2.36mm) ^A	0-12	0-14	1-17	2-18	5-25	10-35	—	75-100	—
No.16 (1.18mm)	—	—	—	—	3-19	5-25	—	50-75	—
No.30 (600 μ m)	-0-8	0-8	0-10	0-10	—	—	—	28-53	—
No.50 (300 μ m)	—	—	—	—	0-10	0-12	—	8-30	—
No.100 (150 μ m)	—	—	—	—	—	—	—	0-12	—
No.200 (75 μ m) ^B	—	—	—	—	—	—	—	0-5	—
	瀝青含量，% (by total)								
	2-4	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

表 2 績優鋪面瀝青混凝土級配表

篩號 mm	標稱直徑 37.5mm				標稱直徑 25mm				標稱直徑 19mm				備註
	控制點		拘束帶		控制點		拘束帶		控制點		拘束帶		
			最少	最多			最少	最多			最少	最多	
50	100												
37.5	90	100			100								
25					90	100			100				
19									90	100			
12.5													
9.5													
4.75			34.7	34.7			39.5	39.5					
2.36	15	41	23.3	27.3	19	45	26.8	30.8	23	49	34.6	34.6	
1.18			15.5	21.5			18.1	24.1			22.3	28.3	
0.600			11.7	15.7			13.6	17.6			16.7	20.7	
0.300			10	10			11.4	11.4			13.7	13.7	
0.150													
0.075	0	6			1	7			2	8			





1 1 (2) 績優瀝青鋪面標稱直徑25.0mm 級配示意圖

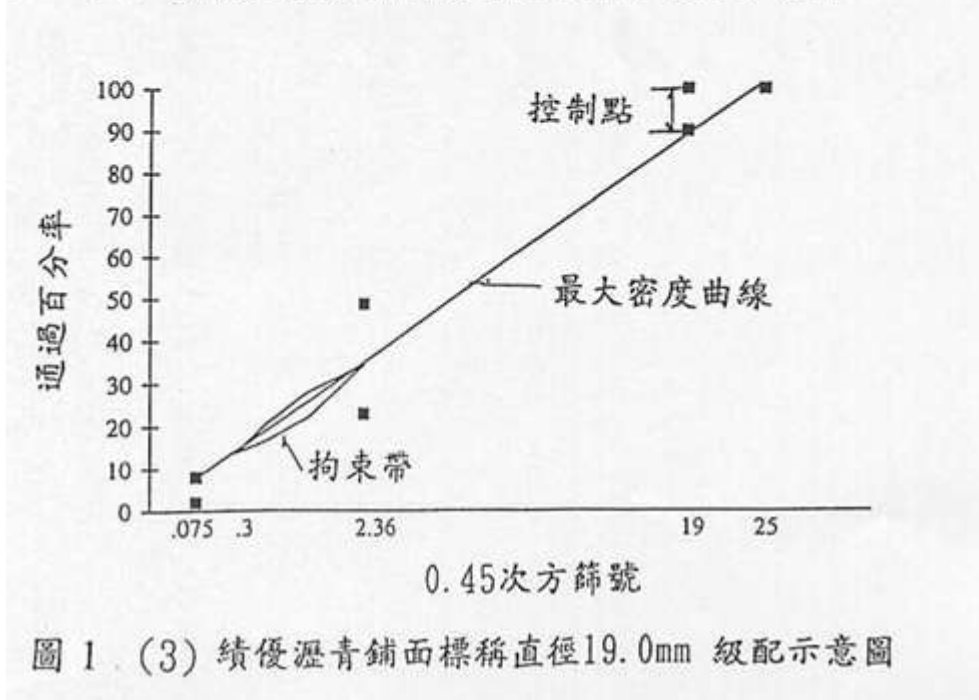


圖 1 (3) 績優瀝青鋪面標稱直徑19.0mm 級配示意圖

2.3 殘缺級配

筆者所知之英國 BS 594 可謂歐州式殘缺級配之一，至於 SMA 亦可歸納為殘缺級配，本文只提 SMA 相關之級配規格如下：

2.3.1. SMA-TWG 及德國 SMA 級配規格[3]：表 3。

表 3 SMA TWG 及德國級配規格

篩 號 (mm)	通過百分率，%		備 註
	SMA TWG	德國 SMA (FHWA-RD-006)	
19.0	100	100	
12.5	85~95	90~100	
9.5	75 (最大)	34~75	
4.75	20~28	23~41	
2.36	16~24	18~20	
1.18	—	15~24	
0.600	12~16	12~20	
0.300	12~15	10~17	
0.15	—	9~14	
0.075	8~10	8~13	

SMA-TWG: The stone matrix asphalt (SMA) technical working group (TWG)

2.3.2. AASHTO SMA 級配規格[4]：表 4

表 4 AASHTO 級配規格

篩 號 (mm)	標稱直徑，mm (通過百分率，%)				
	25	19	12.5	9.5	4.75
37.5	100				
25.0	90~100	100			
19.0	30~86	90~100	100		
12.5	26~63	50~74	90~100	100	
9.5	24~52	25~60	26~78	90~100	100
4.75	20~28	20~28	20~28	26~60	90~100
2.36	16~24	16~24	16~24	20~28	28~65
1.18	13~21	13~21	13~21	13~21	22~36
0.600	12~18	12~18	12~18	12~18	18~28
0.300	12~15	12~15	12~15	12~15	15~22
0.075	8~10	8~10	8~10	8~10	12~15

2.3.3. 台灣地區 SMA 級配規格(試驗道路)：表 5。

表 5 台灣地區 SMA 級配規格

篩 號 mm	通過百分率，%				備 註
	標稱直徑，mm				
	19 ⁽¹⁾	19 ⁽²⁾	12.5 ⁽²⁾	9.5 ⁽²⁾	
25.4	100	100			(1)高雄港 務局施工 規範
19.0	88~100	90~100	100		
12.5	53~67	35~55	90~100	100	
9.5	26~40	25~40	40~60	90~100	
4.75	20~30	18~30	20~35	30~45	
2.36	18~28	15~25	15~25	20~30	(2)台灣公 路局施工 規範
1.18	16~25	—	—	—	
0.60	14~22	—	—	—	
0.30	12~19	—	—	—	
0.15	10~16	—	—	—	
0.075	8~13	7~12	7~12	7~12	
瀝青含 量，%	—	5.9~7.1	6.5~7.0	7.0~8.5	
每層厚 度，cm	—	4.0~5.0	3.5~4.5	3.0~4.0	

三、瀝青混凝土與鋪面工程關係

3.1 柔性鋪面工程：

面層使用瀝青混合料者（瀝青混凝土）謂之。

3.2 柔性鋪面設計參數

3.2.1. AI MS-1 1991 年版固定設計圖：由 AI CP-1 DAMA 程式求得，其 AC 之設計參數以 ASTM D4123 試驗方法所得之 $|E^*|$ 與溫度關係圖中找出 1~12 月平均溫度之 $|E^*|$ 值。

3.2.2. AASHTO 1993 年版設計方法：以年平均溫度代入公式(1)中求出 a_1 係數。

$$a_1 = 0.39 \log E_{AC}(|E^*|) - 1.787 \text{ -----公式(1)}$$

3.3 瀝青混凝土最少厚度

3.3.1. 交通量大因素。

3.3.2. 基底層鋪築材料之強度

四、密級配瀝青混凝土(DGAC)與 SMA 比較

4.1 配合設計準則 (Design Criteria)

4.4.1. AI SS-1 與 NCHRP Report 245：列於表 6。

表 6 AI SS-1 與 AASHTO (NCHRP Report 245)
馬歇爾配合設計準則比較表

試 驗 項 目	規 範 值		備 註
	AI SS-1 (DGAC)	NCHRP (SMA)	
1.穩定值(Stability)N, 最小	8006	6200	DGAC 要求較高
2.流度(Flow) 0.25mm	8~14	—	
3.空隙率(Airvoids), %	3~5	4.0 ⁽¹⁾	⁽¹⁾ 交通量較少時可用 3%
4.VMA, 最小	因空隙率及粒料最大標稱直徑而異	17	SMA 要求較大
5.VCA mix, %	—	少於 VCA _{DRC}	
6.TSR, %, 最小	—	70	
7.垂流(Draindown), 最大 生產溫度, %	—	0.30	
8.VFA, %, 最大	65~75	—	

VCA: Voids in Coarse Agg.

TSR: AASHTO T283 Tensile Strength Ratio

4.4.2. 台灣地區 DGAC 與 SMA 比較：表 7。

表 7 台灣地區 DGAC 與 SMA 比較

試 驗 項 目	規 範 值		備 註
	高速公路	SMA	

	DGAC	公路局	高雄港務局	
1.穩定值(Stability)N， 最小	6670	1780	7840	(1) DGAC 試體打擊每 面 75 次。
2.流度 0.25mm	8~16	8~16	20 以下	
3.空隙率，%	3~5	2~4	3~6	(2) SMA 試體打擊每 面 50 次。
4.VMA，%，最小	因空隙率及粒料 最大標稱直徑而 異	17	—	
5.TSR，%，最小	75	—	—	
磨耗試驗(Cantabria)， %，最大	—	—	30	

4.2 粒料要求

SMA 對於粒料(粗、細及填縫料等)之要求比 DGAC 嚴格，如表 8。

4.3 瀝青要求

4.3.1. DGAC 以 AASHTO M20 或 M226，SMA 以改質瀝青(ASTM D5840，D5841，D5892)為主。

4.3.2. 同樣標稱直徑之級配，SMA 要比 DGAC 多用 1.0% 左右之瀝青含量。

4.4 施工要求

DGAC 與 SMA 之拌合及施工要求等，列於表 9。

4.5 QC/QA 試驗

工作混合公式(JMF)比較如表 10。

表 8 DGAC 與 SMA 粒料要求比較表

試 驗 項 目	AI SS-1 1992 年版	AASHTO [NCHRP Report 425 (1999)]	備 註 (試驗方法)
1.粗粒料			
(1)洛杉磯磨損率，%， 最大	40(面層)	30	AASHTO T96

(2)扁平率(Flat and Elongated) %, (3 to 1), 最多	— (台灣高速公路為 10)	20 (台灣高速公路為 7)	ASTM D4791
(3)吸水率, %, 最多	—	2	AASHTO T85
(4)健度,(Soundness), 硫酸鈉, 五次循環 %, 最多	12	15	AASHTO T104
(5)破碎面, 雙面, %, 最少	75 (台灣高速公路為 90)	90	
2.細粒料			
(1)健度(Soundness)硫酸鈉, 五次循環, %, 最多	15	15	AASHTO T104
(2)未夯壓空隙率, %, 最多	—	45	AASHTO TP33, 方法 A
(3)液性限度, %, 最多	—	25	
(4)塑性指數, %	4.0	N.P.	
3.填縫料			
(1)塑性指數, %, 最多	4.0	4	
4.纖維材料	未用	省略, 請參考 AASHTO Format	

表 9 DGAC(HMA)與 SMA 施工要求比較

項 目	DGAC (HMA)	SMA	備 註
1.拌合廠拌合			
(1)材料			
• 粗粒料	粗粒料準備 40~60%	粗粒料準備 72~80%	粗粒料以 4.75mm 為基準
• 填縫料	以回收料為主	最少要使用 5%之商用 填縫料	
• 穩定附加物	不需要	礦物纖維為瀝青混合 料之 0.4%, 纖維素纖	

		維(cellulose)為 0.3%	
(2)拌合廠校驗	AASHTO T172 ASTM D290	除 AASHTO T172 外應注意纖維及填縫料輸入系統(Feed System)	
(3)拌合後溫度	163°C 以下	176°C 以下	SMA 使用改質瀝青需較高之溫度
(4)拌合時間	50 秒以下	55~65 秒	
2.工地施工			
• 倒入鋪裝機溫度	120°C 以上	140~150°C	
3.滾壓			
• 壓實度	目標值 99%以上，最大理論 92%以上	目標值 95%以上，最大理論 94%以上	
• 滾壓最低溫度	85°C	127°C	

表 10 DGAC 與 SMA 之 JMF 比較

項 目		AI SS-1 (1992 年版)	SMA			附 註
			(NCHRP)	台灣公路局	高雄港務局	
通 過 篩 號 (%)	12.5 mm	±8	±4	±7	±5	
	9.5 mm	±7	±4	±6	±5	
	2.36 mm	±6	±3	±4	±4	
	0.6 mm	±5	±3	±4	±3	
	0.075 mm	±3	±2	±1	±2	
瀝青含量%(對混合料)		±0.5	±0.3	±0.4	±0.3	
每層厚度容許限度(mm)			±6	±7	—	

4.6 績效比較

4.6.1. 車轍

SMA 若用改質瀝青及添加纖維，則在車轍輪跡試驗上勢必比 DGAC 較具成效，惟在拌合、施工等須要較為謹慎及技巧，且成本亦較貴[5] [6] [7]。

4.6.2. 回彈模數(ASTM D4123)

25°C 及 40°C 時之 DGAC 回彈模數大於 SMA [7]。

4.6.3. 間接張力(AASHTO T283)

DGAC 之間接張力大於 SMA[7]。

五、選擇鋪築材料原則

5.1 柔性鋪面損害型態

5.1.1. 張應變：AC 厚度不足及材質較差等導致張應變偏大，發生裂縫。

5.1.2. 壓應變：鋪築厚度不足及材質不良等發生車轍、變形(凹凸)。

5.1.3. 表面剝脫、分離、千瘡百孔：瀝青老化，失去粘結力而加速路面損害。

5.2 瀝青混凝土最少厚度：

須依設計方法求出 AC 之最少厚度。

5.3 持久性及安全性：

因道路類別及車輛行駛類別予以考量鋪築材料及其厚度。

5.4 經濟性：

5.4.1. 因鋪築材料料源狀況而決定鋪築材料類別，如級配料短絀地區可用水泥處理級配料或水泥處理土壤等。

5.4.2. 高速且交通量較大之快速公路，其面層可採用較貴之改質瀝青混凝土。

六、結論及建議事項

6.1 結論

6.1.1. DGAC 屬於美式之連續級配，SMA 屬於歐州式之殘缺級配。

6.1.2. SMA 特點為通過 4.75mm(No. 4 篩)少於 30%而通過 0.075mm(No. 200 篩)在 8~12%，因此使用改質瀝青及纖維材料成為 SMA 所需條件。

6.1.3. SMA 對於粒料及地瀝青膠泥之要求較為嚴謹，如粗粒料磨損率要 30%以下，扁長率亦期望在 7%以下(長為寬之 3 倍者)，同時粗粒料之吸水率要在 2%以下，至於 DGAC 則無此項規定。

6.1.4. 同樣標稱直徑之級配所需之瀝青含量，SMA 比 DGAC 大約需多用 1%。

6.1.5. SMA 因使用改質瀝青及粒料要求較為嚴謹，拌合之溫度較高(10~20°C)時間亦多 10~15 秒，因此單價比 DGAC 為高。

6.1.6. 抵抗車轍上 SMA 優於 DGAC。

6.1.7. 回彈模數及間接張力，SMA 低於 DGAC。

6.2 建議事項

6.2.1. 快速或高速公路可試鋪 SMA，尤其是 AC 厚度使用超過 15cm 時，可用 10cm 之大粒料瀝青混凝土(Large Stone Asphalt Mixture)及 5 cm 之 SMA 或 DGAC。

6.2.2. SMA 需要拌合及施工技巧，因此試拌、試鋪以提高品質的確需要。

6.2.3. 由於 SMA 要用到改質瀝青及纖維材料，因此訂定其施工規範應注意符合採購法之規定(台灣地區)。

參考資料

- [1] 吳學禮 “瀝青混凝土粒料級配研討” ，台灣公路工程第 9 卷第 11、12 期，1983.6。
- [2] FHWA “Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis” ， FHWA-SA-95-003, 1995.
- [3] Walaas Mogawer and Kevin D. Stuart “Effect of Concrete Aggregate Content on Stone Matrix Asphalt Rutting and Draindown” ， TRR 1492.
- [4] NCHRP Report 425 “Designing Stone Matrix Asphalt Mixtures for Rut-Resistant Pavements” ， TRB National Research Council, 1999.
- [5] 蕭良豪、林志棟 “SMA 和密級配瀝青混凝土抗車轍能力之比較” ，中華民國 1995 第八屆鋪面工程研討會論文集。
- [6] 廖浚坤、張芳志、林志棟 “石膠泥瀝青混凝土(SMA)之配合設計” ，1999 年瀝青混凝土路面及材料特性研討會。
- [7] 陳世晃、林志棟 “改質瀝青混凝土規範之研擬” 國立中央大學土木工程研究所，1997.8。

水泥混凝土工程材料試驗問題之探討

試驗中心
正工程師

宋福江

摘 要

水泥混凝土為營建主要材料之一，影響工程安全與經濟等兩大主要因素，故本文敘述台灣地區目前品管執行概況，及影響混凝土多種控制點之問題，以料源、拌合廠、運送、泵浦車、試體製作、抗壓試驗及配合設計等提供業已存在之問題，同時提供改善對策及多種混凝土相關試驗費用等作為設計者之參考，亦提出稽核方法以確保從業者可盡到應有之責任。

一、前言

品管大師戴明博士曾明確而直接的指出：「品質問題的產生，有百分之八十導因於管理不善」。因此在工程施工階段中除了持續重視品質直接的相關技術事務(施工檢驗及材料試驗)外，後勤支援(採購、人事、財務、庶務等)事務的品質，也開始為人所重視，全面品管(TQA、TQC)的觀念正式導入傳統的品管體系，「品質是每一個人的責任」應為當今參與工程的全體人員所必須深切體認的思維。

從技術事務涵括之施工檢驗及材料試驗，我們發現有關水泥混凝土結構工程中，在許多施工檢驗點及材料試驗檢驗點中，雖然可以在規劃排定的時間，利用適當的檢驗工具、儀器，經過專人的檢試驗，來確保施工及材料品質，惟因水泥混凝土材料牽涉的檢驗點較多，各檢試驗界面之相互影響亦較密切，最特殊的是生產後的混凝土強度，必須要等到 28 天齡期才能經過抗壓試驗被判定合格與否，此時，結構體已成型硬固，甚至已在進行下一階段的工作，如何處理不合格產品，實在是目前工程界較為棘手

的事，所以如何加強混凝土生產前的預防管理，以確保品質，正是本文所探討的主要目的。

二、台灣地區混凝土品管執行概況

自從行政院公共工程委員會公佈公共工程三級品管制度以來，一些材料試驗及施工檢驗皆由承包商自辦品管工作 (QC)，因此導致承包商選擇單價較低之分包商合作，分包商選擇試驗單價較低且試驗報告較易合格之檢試驗機構，委託辦理檢驗及試驗工作，成為很自然的商業行為模式；惟鑒於國內預拌混凝土拌合廠，品質水準良莠不齊，且混凝土品質受到生產流程各檢驗控制點之影響頗大，如未特別加以規範，恐怕會有劣幣逐良幣之現象，也促成混凝土品質有每況愈下之隱憂。

三、影響混凝土品質的各檢驗控制點之相關問題

3.1 料源

規模較大的拌合廠大部分有其自己的粗、細粒料(砂石)廠或有長期合作供料之廠家，其粒料級配，材質較為穩定，但規模較小之拌合廠，其粒料來源較不穩定，甚至有些是向盜採砂石商家購買，品質不易掌握。

3.2 拌合廠

3.2.1 人員：拌合廠操作人員是否經過訓練、實習，進而熟習，其資歷可否證明其有能力勝任操作拌合之工作。

3.2.2 粒料：粒料料倉或堆料場是否設施良好，粒料不易混淆，且排水良好，不受污染。

3.2.3 設備

- 1.拌合鼓葉片是否過於磨耗、老舊，必須更新。
- 2.計量磅秤是否有定期校正，準確否？
- 3.操作室電腦設定程式及列印設備是否經過驗證。
- 4.水泥、飛灰或爐石粉儲存槽是否標識區別清楚，進料時不致混淆。

3.2.4 運送

- 1.預拌車司機是否經過訓練，裝料前是否已確定鼓內已無前次卸料後清洗之餘水。
- 2.是否已確實遵守運送途中不擅加水之規定。

3.3 泵浦車

- 1.性能是否老舊，馬力足夠否？
- 2.操作人員是否有擅自加水之惡習。

3.4 試體製作

- 1.是否確實於施工現場旁依規定方法取樣做試體且經監造人員註記清楚。
- 2.二十四小時後拆模，標識是否清楚且依規定送入養治池。
- 3.製作之試體可能是特別增加水泥用量之混凝土。

未實施三級品管政策前之中山高速公路 QC 人員是全天候的在工地，拌合廠除甲方派人駐廠外，現場根本不知道抽作那一車之試體，且每一車皆有可能因坍度超過規定而拒用。

3.5 抗壓試驗

1. 28 天材齡送驗的試體是否確實是原先經監造人員註記的試體？

2. 監造單位是否派員會同試驗。

3. 現今各檢(試)驗單位出具之試驗報告都有加註“本試驗僅對送驗樣品負責”等字樣，可見試體從製作→養生→送驗之工作界面，試體之正確代表性是最被質疑且待解決之主要課題。

3.6 試驗費用之支付方式

CNLA 檢試驗室原是一立場超然的第三者檢試驗機構，由於實施三級品管以後，社會商業行為模式之改變，試驗費用由送試單位支付，各檢(試)驗室為了生存及營運績效，產生了許多怪異的商業行為，從免費喝飲料、吃便當、洗車及提供佣金等較具競爭性的服務方式，原也無可厚非，然而要是演變成耳聞的“保證通過”的假試驗報告的話，那無疑是工程品質的一大毒瘤，非有良好的對策因應，的確難於確保工程品質。

3.7 混凝土配合設計

1. 從公共工程評鑑中(5000 仟萬以上且施工進度在 30~80%時)發現大部份拌合廠提供之配合設計報告僅僅是依據美國墾務局使用，亦是台灣公路局首先啟用之一張計算表，并未依照 CNS12891、ACI 211 或 PCA 之規定提出三種水灰比，然後才決定每方之各種材料使用量。

2.未因工程 f_c' 、粒料料源、水泥等變化而提出配合設計報告亦是最大之弱點。

四、改善對策

4.1 承包商應先將二家以上拌合廠相關資料送請監造單位審核，其相關資料為：

4.1.1 工廠登記證明。

4.1.2 工會會員證明。

4.1.3 品管人員經歷及訓練記錄。

4.1.4 操作拌合人員履歷。

4.1.5 使用之粗、細粒料料源區，監造單位得視需要前往察看。

4.1.6 粗、細粒料物性試驗報告。

4.1.7 試驗設備明細表。

4.2 發包前規定每一工程由乙家試驗室辦理試驗，避免權責不分。

4.3 承包商應先將二家以上委託檢試驗機構相關資料送請監造單位審核，然後決定乙家試驗室全責辦理，其資料為：

4.3.1 中華民國試驗室認證(CNLA)合格證書內含認證項目。

4.3.2 品質手冊。

4.3.3 組織人員履歷。

4.3.4 合格駐廠人員名單及其訓練記錄

4.3.5 合格抗壓試驗人員訓練記錄

4.3.6 近 5 年來工程服務實績

4.4 監造單位應於承包商提送之拌合廠家資料後 30 天內進行資料審查及現場驗廠作業，並以書面審查報告答覆承包商。對於合格之拌合廠家排定先後順位，以第 1 家為生產廠家，其後者為預備廠，若經審核不足二家合格廠，承商應補提送其他拌合廠家資料送審以為預備廠做準備。

4.5 監造單位應於承包商提送委託檢試驗機構資料後 15 天內進行資料審查及實地查證，以書面審查報告答覆承包商。對於合格之檢試機構，排定先後順位，以第 1 家為受委託檢試驗機構，其後者為預備試驗機構，若經審核不足二家合格檢試驗機構，承包商應補送其他合格單位資料送審以為預備試驗機構做準備。

4.6 試驗費用支付方式

有關相關檢試驗費用由受託檢(試)驗機構每月向承包商請款，副本送交監造單位，承包商審查無異議後，監造單位得於承包商估驗款中扣除檢試驗費用，直接撥付檢試驗單位。

相關檢試驗費用列於附表一內，以供參考編列檢試驗費預算

4.7 每日生產 300M³ 以上時，拌合廠必須由承商委託檢試驗機構派員駐廠。

4.8 試體養生池設於監造單位辦公房舍旁，以利管理。

4.9 到達試驗材齡由監造單位派員會同試驗，或隨機會同試驗。

4.10 視工程規模，鼓勵受委託檢試驗機構於工地設立試驗室並辦理 CNLA 認證。

4.11 實施混凝土品保稽核

每三個月乙次，於拌合廠之生產流程至檢(試)驗機構出具之試驗報告實施稽查作業。

1. 對於檢試驗機構發現有重大缺失時，稽查小組開列改正通知單告知承包商於一定期間內改善完竣，若仍無法改善時，得撤銷其代辦業務，由下一順位機構取代之。

2. 對於拌合廠作業發現有重大缺失時，稽查小組開列改正通知單告知承包商於一定期間內改善完竣，若仍無法改善時，得停止其供料，由預備廠供料。

五、結語

5.1 台灣地區混凝土工程材料已到非加強管理不可之地步。

5.2 對於混凝土改善對策，可再經由專家學者討論確定可行後，併入特定條款內予以實施，則解決當前混凝土工程品質之亂象，該可獲得根本的改善。

5.3 混凝土材料費僅佔營建工程施工費之 10~30%，惟影響結構體之安全使用年限，可達百年或數百年之久，若因一時之疏忽或管理不當，

致產生公共危險及人身傷害，其所付出之社會代價，九二一震災即是明證，則非金錢可以衡量。是故做好水泥混凝土工程材料之品管乃土木建築工程中重要的一環，不可輕忽之。

材料試驗收費單價表(一)

項次	試驗項目	單位	單價	試驗方法	備註
1.	水泥混凝土試體抗壓強度試驗	個	200	CNS 1232	
2.	篩分析試驗-細粒料	件	1,000	CNS 486	
	-粗粒料	件	800	CNS 486	
	-粗細粒料混合	件	1,500	CNS 486	
3.	比重及吸水率試驗-粗粒料	件	1,000	CNS 488	
	-細粒料	件	1,500	CNS 487	
4.	洛杉磯磨損試驗-100/500 轉	件	3,000	CNS 490	
5.	硫酸鈉健度試驗-粗粒料(五週期)	件	5,000	CNS 1167	
	-細粒料(五週期)	件	3,000	CNS 1167	
6.	有機物含量試驗	件	1,000	CNS 1164	
7.	粒料扁平率試驗	件	1,500	ASTM D4791	
8.	破碎率	件	1,500	ASTM D5821	
9.	含泥量試驗	件	800	CNS 491	

10.	土塊及易碎顆粒含量試驗	件	1,000	CNS 1171	
11.	粒料單位重	件	3,000	CNS 1163	
12.	粗粒中含輕質含量試驗	件	5,000	CNS 10990	
	細粒中含輕質含量試驗	件	3,000	CNS 10990	
13.	鑽心混凝土試體抗壓強度試驗	個	250	CNS 1238	
14.	混凝土試體抗彎強度試驗	個	600	CNS 1233	
15.	混凝土配合設計	組	30,000	CNS 12891	
16.	混凝土廠新拌混凝土均勻度試驗	組	30,000	CNS 3090	
17.	預拌混凝土廠檢查	次	30,000	CNS 3090	以檢查項目得再調整
18.	混凝土駐廠品管	次	5,000	—	以日間每人八小時內計，夜間計費每小時加 600 元計
19.	混凝土用化學摻料性能試驗	組	40,000	CNS 12284 試 拌至 28 天期齡	

材料試驗收費單價表(二)

項次	試驗項目	單位	單價	試驗方法	備註
20.	細粒料中水溶性氯離子含量試驗	件	2,000	CNS 13407	
21.	水溶性氯離子含量試驗(硬固)	件	3,000	ASTM C1218	

22.	水溶性氯離子含量試驗(新拌)	件	2,500	CNS 13465	
23.	鹼性反應試驗(粗粒料)	件	12,000	CNS 13618	ASTM C289 化學法
	鹼性反應試驗(細粒料)	件	8,000	CNS 13618	ASTM C289 化學法
24.	混凝土用拌合水				
	油脂	1	1,500	CNS 1237	
	硫酸鹽(SO ₄ ⁻²)	1	1,200	CNS 1237	
	濁度	1	300	CNS 1237	
	氯鹽(CL ⁻¹)	1	1,200	CNS 1237	
25.	水泥試驗				
	水泥細度檢驗(氣透儀法)	1	1,000	CNS 2924	
	比重試驗	1	1,000	CNS 11272	
	正常稠度用水量試驗	1	1,000	CNS 3590	
	假凝結試驗	1	1,000	CNS 3458	
	凝結時間試驗初、終凝 (維克針法)	1	2,500	CNS 786	
	試體製作與抗壓強度試驗 (3、7、28 天)	1	3,000	CNS 1010	
	水泥壩料空氣含量試驗	1	1,500	CNS 787	

健度(熱壓膨脹試驗)	1	4,500	CNS 1258	
水合熱試驗	1	5,500	CNS 2248	
燒失量試驗	1	1,500	CNS 1078	
不溶殘渣試驗 (I.R.)	1	2,000	CNS 1078	
游離氧化鈣試驗(Free CaO)	1	2,500	CNS 1078	
X-光化學分析	1	3,000		

海外訓練課程之出國報告

屏東監造工程處 陳建州
第一工務所主任

摘要

董事長為激勵同仁士氣，提昇競爭力，同時為國家培養人才，於每年均選派同仁參加海外管理課程訓練。筆者奉派至麻省理工學院（MIT）參加夏季專業課程，課程為" Project and Investment Risk Management "，本文之目的在說明此次訓練課程之規劃、內容及對本司之建議。

一、前言

本司為激勵同仁士氣，提昇競爭力，同時為國家培養人才，於每年均選派同仁參加海外管理課程訓練。今年奉派出國參與海外管理課程訓練為地工部李組長順敏及筆者，李組長前往麻州哈佛大學（Harvard University），筆者則至麻省理工學院（MIT）參加夏季專業課程，核定訓練課程為 " Project Management for Engineers and Managers "，由於該課程因故被取消，即更改課程為" Project and Investment Risk Management "。訓練課程為期三天，自 6 月 28 日至 30 日，主講者為 MIT SLOAN 管理學院的教授 Prof. Ernst G. Frankel，見照片一。



照片一 Prof. Frankel與筆者

考量前往美國旅途遙遠，又訓練課程為期僅數日，因此張副總經理州男先生特於行前召集李組長及筆者開會，並指示在結束訓練課程後能至美國相關公司實習。後因國外公司並不輕易接受實習或代訓工作，除非有合作或契約關係，故此一構想並未實現，行程安排仍以課程訓練為主。

最後出國行程核定 14 天，自 6 月 23 日由高雄飛往紐約，再轉機至波士頓，預計於 6 月 25 日到達波士頓，回程為 7 月 5 日由波士頓起飛至紐約，再轉機飛回台北。提前三天抵達波士頓主要考量是為熟悉校園及市區，並藉機調整時差（12 小時）以應付緊湊的課程。課程結束後原計畫利用三天時間至圖書館收集相關資料，但由於所持臨時學生證僅適用於上課期間，因此只有修改原有計畫，改為參觀波士頓市區建設。

二、麻省理工學院簡介

麻省理工學院簡稱

MIT，見照片二，為麻州兩所最有名學府之一，另一所為哈佛大學，兩所學校相當接近，皆位於劍橋區，不同於哈佛大學，麻省理工學院自從 1861 年創立之後，即以重視實用、鼓勵創新的研究精神聞名於世，於 2000 年公布的美國大學排行榜總排名第 3，理工學院的排名則繼續蟬聯第 1 名的寶座。



照片二 麻省理工學院

學校分為五個學院，其組織包含二十一個科系及約七十個主要研究機構和實驗室。所屬研究單位不是為美國聯邦政府支持，就是由知名大企業贊助，每年研究經費約為三億五千萬美金，其中 70%來自於聯邦政府，20%則來自於工業界。由於學校偏重於研究工作，因此教職員及研究員總人數約和該校大學生及研究生人數相當，各約為一萬人。

雖說麻省理工學院以科學聞名，但必修課目亦包含文學和藝術，同時該校的博物館、藝術中心的內容亦相當豐富，收藏範圍相當廣泛，其中以

雷射及金屬的高科技展示品更為突出，因為該校相信「科技帶動藝術」。除了展覽之外，每年並有 42 個表演團體和戶外藝術家們舉辦超過 500 場的音樂會、戲劇和舞蹈表演，每年美國獨立紀念日（7 月 4 日）波士頓的煙火及大型演奏會即在 MIT 校園前的 Charles 河旁演出。

隨便在校園內走走，便可以發現許多建築物非常具有特色，不同於哈佛大學的古典風味，該校建築物較具現代感，據說大部分建築皆由具時代性領導風格的建築師和藝術家們所設計的，除此之外，校園內還散佈著許許多多的雕塑品、壁畫等等。關於 MIT 的建築另有一個很有趣的現象，就是每棟大樓雖然都有命名，但可能是為了方便記憶，每棟大樓皆另有編號，筆者即是在第八棟建築二樓 01 室（Building 8-201）報到，然後在 Building 3-343 上課。比起長長的大樓名字，數目字的確是既簡單又明瞭呢，或許這也是科學化的一部分。

由於住宿地方
（Brookline city）與校
區相當遠，每天均須依靠
地鐵或市區公車去上課，
在到搭地鐵途中會經過跨
越 Charles 河的哈佛橋，
發現該橋兩側人行道上固
定距離會標示幾個
Smoots，靠 MIT 端橋頭則
標示 364.4 個 Smoots 外加

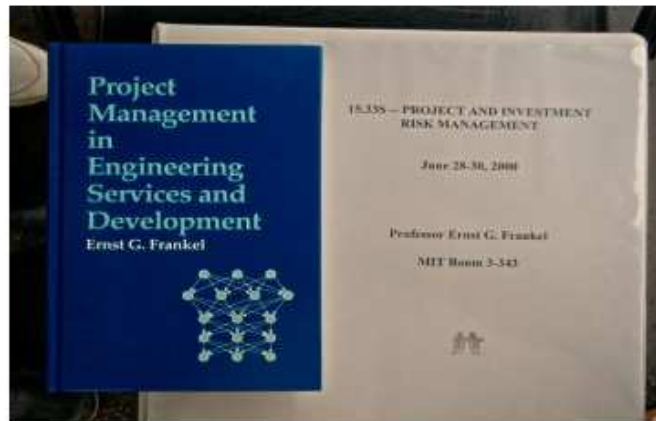


照片三 哈佛橋之長度註記

一隻耳朵，不知標示意義為何，猜應和該橋長度有關，後經查詢確認該數目字代表哈佛橋的長度。據說這個數據是由 MIT 校方所公佈的官方資料，測量時間是 1958 年，測量單位來自於一名 MIT 學生 Oliver Smoot 的身高，即 Smoot 利用自己的身高躺測橋梁長度，這個數據後來被校方承認了，還以彩色油漆在欄杆及橋面上做標記，見照片三，由此亦可證實麻省理工學院非常重視學生的創新精神。除此之外，該橋雖緊臨麻省理工學院卻命名為哈佛橋，據說是麻省理工學院學生認為哈佛橋建造相當粗劣，因此故意命名為哈佛橋，由此亦可知兩校可是明爭暗鬥。

三、課程訓練

課程訓練為期三天，自6月28日至30日，每天上課時間從AM9:00至PM5:00，中午休息一小時為午休時間，教材講義名稱為『Project And Investment Risk



照片四 課程教材

Management』，見照片

四，講授者為麻省理工學院 Prof. Ernst G. Frankel，學員計有20人，除了13名來自於美國本土各大公司，其餘學員分別來自於巴西、印度、德國、義大利、墨西哥、荷蘭及台灣。

上課方式採教授主講，學生發問並進行討論，由於課程涵蓋範圍相當廣泛，又授課時間僅有三天，因此教授以約400張投影片提示相關主題之概念，對於重點部分，再以自己多年在世界銀行及各國政府機構從事管理顧問工作所得之經驗作進一步說明。除此之外，另規劃於第三天課程結束前進行專案管理軟體程式操作說明，包含 Expert choice 及 SLAM II，但此一部份因時間不足並未實施，惟教授答應依學員所留下之地址寄上相關軟體（學生版，非商業版）以供演練。

Prof. Ernst G. Frankel 對於課程內容之規畫，主要是針對具有經驗之專案管理人，提供專案管理人較先進及完整的專案管理資訊，包含專案的內容、執行、方法、技術及經濟性，以及影響專案執行的因素。全部課程約可分為四個主題，分別為專案管理的內容、專案管理的執行、發展計畫的管理及專案管理的環境因素。

課程首先簡述專案管理的內涵，包括專案的範圍、種類及發展，並解釋專案的形成、特性及影響因素，再來介紹專案的組成及結構性。由於專案組織常為臨時性，且會隨著時間改變，因此專案組織的形成應以工作特性為主，而不受專案外之階級所影響，並且須避免專案運作受人員調動的影響。對於專案執行流程而言，其順序與專案大小並無直接關係，步驟依

序為專案需求的確認、專案的執行至專案的完成，惟其作業項目則具有許多變異性。另外，一個有效的專案管理方案常須依規劃流程逐步評估各個作業項目，每個項目應都有許多替代案，如果所有替代案均無法得到較理想的結果，則維持原有工作項目，這個重要作業步驟稱為 Do-Nothing Alternative。

對於專案管理的職責（Project management functions）主要在於有效地應用時間及預算去滿足專案的需求，並在維持一定品質範圍內去完成專案的目的，其間包含專案的規劃、具有機動性與積極性專案團隊的組成及專案的實現。第一個主題的結束前亦提到採購（Procurement）及協調（Negotiation），採購為專案管理的最基本責任，採購的型式有很多種，可為統包，也可分包，由於採購方式會影響預算、時程及成效，故須規範有效的採購流程於合約中。另外，考量專案執行期間因意見不同而產生爭執將是無法避免，如何經由協調機制化解爭執，進而達到共識亦是專案管理目的的一部分。一般而言，成功的協調常是能快速的解決爭執點，並且使所有參與者皆能認為自己是贏家。

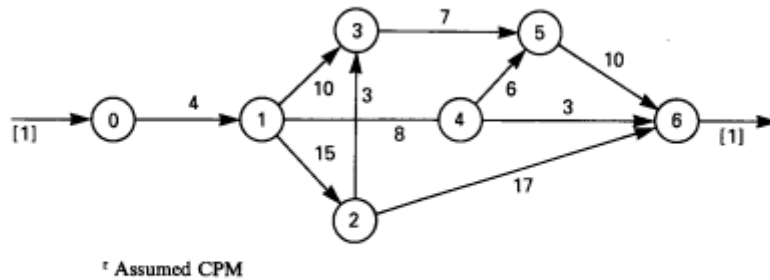
專案管理課程的第二個主題主要敘述專案管理的步驟及方法，首先提及專案的起源可能來自於一個簡單的想法、一種需求或政府政策，也可能是突發奇想，但專案的形成與選擇應須依其需求而定，不可有偏見及私心，並且在執行專案之前，可行性的研究是不可或缺的，其研究須同時包含專業的評估及未來科技的預測，以避免所採用方法因專案執行時間過長而不切實際。Prof. Frankel 引用一個正在施工的工程案例來說明專案形成的重要性，案例為美國麻州的交通改建計畫『Big Dig Project』，該計畫於1991年開工，預算約3億美金，預計於1997年前完成。然而截至目前為止，該計畫已耗費約12億美金，完工日期修訂為2004年。由於該計畫施工動線穿越波士頓市區，工期一直展延已造成百姓相當程度的反彈，又預算不斷地膨脹已引起聯邦政府的關注，準備凍結對該計畫的補助。Prof. Frankel 分析該計畫在管理上有兩個嚴重錯誤，首先是計畫的形成受政治所左右，並未就計畫本身需求做最佳選擇，其次是計畫擬訂不夠彈性，且沒有隨時進行風險管理，因此造成時間及預算皆浪費在處理施工所遭遇的問題上。

由 Big Dig Project 可知風險管理的重要性，但這一點卻常常被管理者所忽略。以往為簡化專案擬訂的過程，最佳化的評估常常只是在時間、預算及品質之間作分析及交換，然而這對於較具有規模之專案規劃是不足夠的，為確認預算及工期之適用性，風險管理是必備的，風險管理包含有風險因素的確認、風險的分析與量化及風險的轉移。Prof. Frankel 提到印尼的一個工程案例，該計畫是由世界銀行資助，而 Prof. Frankel 為世界銀行所聘請的管理顧問，因此需要對該計畫進行定期評估。該計畫進行期間，全球正值金融風暴，印尼幣值變動非常大，為避免因印尼幣貶值影響工程進行，Prof. Frankel 建議印尼政府購買金融期貨（Futures），以轉移印尼幣貶值的風險。

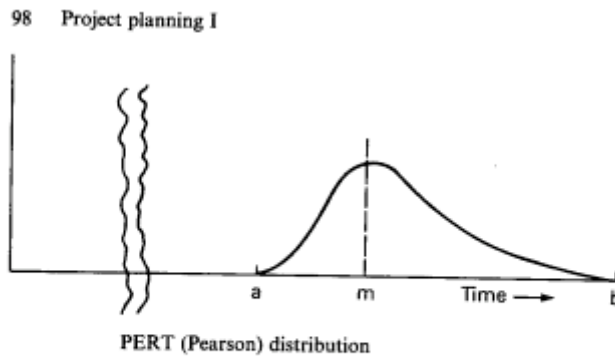
專案可行性的評估（Project appraisal）須事先設定標準，標準須依據專案需求而定，並可轉化成數量型因素或質量型因素，如財務、經濟及品質等項目，以利於專案的選擇。一般而言，參加評估的方案約 2 至 6 個較適當，這與專案大小有關。經由可行性研究後進行評估，再選擇適當方案進行細部規劃設計。而後付諸於實施。一如前述，專案的評估須以需求為標的，不可偏心或定見，同時評估各項因素時須考量風險的影響。而其前置作業可行性研究的範圍應儘可能含蓋所有可能的方案，甚至一些技術已臻成熟，但不曾被採用過。由於方案可能很多，考量因素也很複雜，一般而言，要作出最佳決定並不容易。現階段針對較複雜的問題，可利用階級性結構（Hierarchical Structure）的概念，將問題分離成為幾個層級的影響因素，而後依據每個因素的權重計算出最佳方案。

對於專案規劃管理的方法，Prof. Frankel 說明幾個現階段較常被採用的模式，如要徑法（Critical path method；CPM）及計畫評核術（Program evaluation research task；PERT），以及未來的應用趨勢，如圖形評核術（Graphical evaluation and review technique；GERT）及 SLAM II 模擬法。CPM 及 PERT 方法發展於六〇年代，目前已成為最常用之管理工具，CPM 的優點在於方法簡易有效，可清楚地描述專案的內容，進而達到管理的目的，除此之外，亦可協助人力的管控及資源的分配，如圖一所示。其缺點則在於並不適用於所有專案及有太多的假設條件，同時無法評估專案的可行性。PERT 與 CPM 之差異則在於前者除了考量各作業項目之邏輯關係外，亦導入作業項目之不確定性，針對作業項目所需時間的不確定性，

以機率觀念加以考量，如圖二所示，計算專案可能完成時間，作為評估如期完工之可能性。其優缺點與 CPM 方法約略相同，唯作業要徑不易判斷。

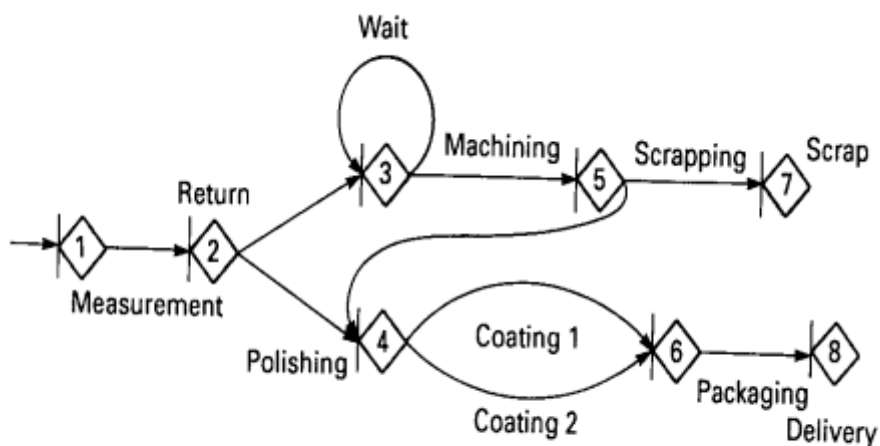


圖一 要徑法範例



圖二 機率分配模式

GERT 主要是針對 CPM 及 PERT 模式的缺點，導入條件因素，即決策的觀念，結合 PERT 及決策樹的特性，對專案的不確定性有較合理的描述。GERT 模式除了擁有 PERT 模式的優點外，其網圖允許迴路的存在，可增加網圖的功能。另外，其作業時間的機率分配模式涵蓋較廣，使 GERT 模式在理論上較嚴謹，在網圖節點定義上，GERT 可有較多重選擇，以符合作業項目不確性的特性，如圖三所示。GERT 模式分析常採 SLAM II 模擬法，SLAM II 是一種以 FORTRAN 語言為基礎的分析程式，它可以模擬 GERT 模式的特性。



圖三 圖形評核術範例

最後，Prof. Frankel 提到如何評估專案的成效，專案的預期成果常可轉化為成本 (Cost) 及效益 (Benefit)，如此則可利用適當方法進行分析。然成本及效益均包含財務 (Financial) 及經濟 (Economic) 兩個層面，其項目又與專案性質有關，並不容易確認。一般而言，成本包含直接成本與間接成本、實際成本與虛擬成本、可量化成本與不可量化成本、數量型成本與質量型成本等；效益除了收入外，也包含直接效益與間接效益、實際效益與虛擬效益、數量型效益與質量型效益等。成本與效益分析的目的主要在於經由成本與效益的交換，進而確認專案的可行性。分析一般是決定成本與效益在財務與經濟兩方面的成效，較常被採用之分析方法有 Net present value、Internal rate of return、Benefit/Cost ratio 及 Payback period 等。為確保財務分析的可靠性，財務的評估須廣泛及完整，且須進行風險評估及轉移或分擔風險，尤其是在國際匯率波動劇烈期間。

課程結束前，Prof. Frankel 提到專案的管理與執行時須重視風險因素，然而風險主要來自於許多的不確定因素，如何定義不確性的範圍及型式常是專案管理所需克服的問題。

四、結語與建議

為期三天的管理訓練課程在學員相互再見聲中結束，在離開前由 Prof. Frankel 頒發訓練合格證書，學員並互相交換名片。回顧三天的訓

練課程可說相當充實，由於課程內容相當多，Prof. Frankel 均採跳躍式教學法，投影片停留時間僅是幾秒鐘，為能了解課程內容，上課時須十分專心，但由於尚有時差障礙，每當下午聽課時常須跟自己的眼皮作戰，只有不斷地喝咖啡，以刺激自己保持清醒。

雖說由於課程緊湊，以致於上課壓力相當大，但三天的課程不只讓我對另一門專業課目有更深一層的瞭解，同時也給我重新體驗當學生的心情，當然能在畢業八年後重回美國也是另一種喜悅。除此之外，藉著三天相處的機會，也認識許多國外管理階層的友人，由於學員來自於不同的領域，在午餐閒聊中也增加不少見識，可說收穫良多。同時，也藉此機會推銷本司，Prof. Frankel 及各國學員亦相當稱讚本司的員工培訓政策。

此次行程除了正式課程外，另為調整時差的困擾，乃規劃提前三天即抵達波士頓，同時利用三天的時間去適應當地生活，並且熟悉波士頓及 MIT 校園的環境。波士頓可說是全美最古老的城市，也擁有全美最早的地下鐵系



照片五 地下鐵出口

統，全市處處都有史蹟可尋，雖說目前因 Big Dig 計畫影響市容景觀，也造成部分地區交通擁塞，但就整體而言，城市依然古典優雅。波士頓的交通一如其他大城市，一般亦以地下鐵為主，輔以市區公車，地下鐵共分五線，並與周圍城市相連接，地下鐵由於歷史悠久，車站及鐵路系統均相當老舊，然其出口仍能與週遭建築物融為一體，見照片五。相對於波士頓市區的建設，國內的相關建設給人的感覺就只有 適用 兩個字而已，感覺不到特別內涵，不只缺乏整體的特色，建築本身的美感亦相當缺乏。為提昇公司產品的競爭力，未來應朝向董事長指示的產品多元化，設計規劃時不只考量產品的功能性，美學、區域，環境保護及安全應也是考量的重點。

課程結束後
另有三天行程，
原規劃利用這段
時間在 MIT 圖書
館收集資料，但
由於所使用的學
生證只適用於上
課期間，因此，
課程結束後也無
法查詢或借讀該



照片六 哈佛大學

校各圖書館的相關資料。為此，即更改原有計畫，利用一天的時間參觀 MIT 附近的著名學府哈佛大學，見照片六，另外時間則收集 Big Dig Project 的相關資料。一如前述，由於該計畫使用的經費已超過預算甚多，且工期不斷的向後展延，因此，不只造成波士頓居民的反彈，也引起白宮的注意，甚至考量停止聯邦補助。對於一個工程人員而言，這是一個值得探討及借鏡的工程範例，又該計畫亦建造一座斜張橋，對於曾從事斜張橋設計及監造工作的我更具有吸引力。原希望能參觀斜張橋及地下開挖工地，但由於沒有適當管道可與 Big Dig Project 的施工單位聯繫，見照片七，另外，該計畫因進行不甚

理想，對於這類的
參觀並不樂見，最
後也只能遠望而
無法近看，好在該
計畫已上網，即計
畫內容可由網站
尋找所需資料。建
議公司未來可利
用適當管道聯繫



照片七 Big Dig Project

該計畫管理單位或施工單位，並派遣相關人員進行參觀或學習，以作為公司未來營建管理及施工的借鏡。

對於這次課程的內容及安排，我有一些感想及建議，或許可給大司作為參考。由於我在美國博士學位所專攻的是地震影響的數值分析方法，對於專案管理課程相當陌生，雖說在屏東路段執行監造計畫時，因工作緣故而有所接觸，但仍只是針對工程進度管理而已。事實上，專案管理的範疇相當廣，雖然管理的精神可能是一致，但管理重點及方法卻因案而異。在短短三天的課程中，特別令我專注的是風險的管理，個人覺得這是專案管理最重要的一環，但在國內並不被重視，或許是因風險管理常須涉及統計及機率的複雜數學問題，令人望之生畏。例如國內監造單位對工程進度的管理幾乎皆採用要徑法（CPM），雖說要徑法可清楚描述專案內容及要徑所在，但卻無法評估專案如期完工的可能性，以致於對於承包商所提之施工網圖只能判斷其規劃是否合理，卻無法掌握其風險程度，進而判斷該規劃是否為最佳方案。對於現階段監造單位之工作性質，或許研判施工規劃是否合理已足夠，但對於未來的 BOT 案，不論為業主或廠商的營建管理顧問，對於工程規劃的判斷不只要合理，而且要是最佳方案，如此才能提供業主最佳的服務以達到最大效益之目的，因此要徑法的管理模式有必要進行檢討。

在本次課程中曾提及的專案管理方法，除了要徑法外，另有已發展近 30 年的計畫評核術（PERT）及較新的圖形評核術（GERT）。不同於要徑法，這兩種方法均考慮作業時間的不確定因素，因此除了可計算專案的完成時間，並且可提供如期完成的機率，進一步評估專案的可行性。相對於計畫評核術，圖形評核術在專案管理的執行上又更加嚴謹，不只在作業時間機率分配採用較多種分配模式，同時考量專案架構上的不確定因素，使得專案在執行路徑上具有選擇性，並允許網圖迴路存在，可進行回饋作業，此特性將大大的增加專案的彈性。

為因應進入 WTO 後市場的挑戰，建議大司在專案管理時可引進計畫評核術及圖形評核術，以增強專案管理的能力，進而提升專案管理的品質，以滿足業主的需求。當然圖形評核術因涉及較複雜的數學問題，在處理上較計畫評核術困難，因此對於一般的監造工作之進度管理可以計畫評核術配合 P3 套裝軟體進行管理。但對於未來可能接觸的大型 BOT 案，如高速鐵路計畫及高雄捷運計畫，應逐步建立圖形評核術的管理模式，並引進 SLAM II 套裝軟體程式，以達到同時管理時間、成本及成果的目的。對

於專案管理方法的提昇，或許本司可邀請 Prof. Frankel 來演講，並商討合作的可能性。據 Prof. Frankel 告訴筆者，因工作關係，他定期會到新加坡，筆者曾詢問他到本司演講的可能性，他說如果有適當安排，他樂意拜訪本司。

最後，有鑑於此次訓練課程或行程不只對本人可說受益良多，同時藉著學員間的溝通也可間接讓來自不同國度的學員對本司有初步的認識，因此建議公司應持續推動類似的員工國外培訓政策，且應擴大參與層面，或許對於未曾在國外讀書的碩士或學士，能有機會到國外名校受訓將是一項重要的資歷。基於本次行程在時間上的規劃相當不經濟，往返旅行時間幾乎和上課時間一樣長，或許可於課程開始前先至相關公司機構進行實務訓練，如此也可有較長時間調整時差，以適應密集的課程訓練，唯此類實習工作應由公司統一安排較為適當。另外，為適應國外的上課方式，培訓人員的英文能力應加強，公司應持續辦理外語訓練及考試。