台灣公路工程　第三十一卷第三期
民國九十三年九月
Taiwan Highway Engineering
Vol.31 No.1 Sep. 2004.pp11-22

地工加勁材料在基礎工程應用之探討

陳逢源*　徐景祥**

摘 要

利用地工合成材料具有抗拉強度的特性，設置於軟弱地盤中，使土壤與加勁材間產生互制作用，束制土體的側向變形以強化土體，增進基礎底部土壤之承載能力。以國內而言既已利用各種土壤搭配織物及格網進行平鈑載重試驗；就單一土層搭配一層格網或織布而言，試驗結果顯示格網與織布之埋設深度(D)與基礎寬度(B)存在某個比例關係，當 D/B≒0.28~0.42 左右時具有相當高之加勁效益，當 0.42＜D/B≦0.66 時加勁效果較不顯著，而當 D/B≧0.84~1 時則無加勁效果；使用 2 層以上至 5 層以下之加勁材，其加勁效果大於使用一層織布及格網，於此將藉由國內外學者之試驗數據予以佐證其加勁效益。惟於國內地工合成材料試驗規範尚不完整、工法之設計尚待研議、工法實際應用上之經驗仍待嘗試，因此就設計與施工上均有相當值得研究及探討的價值。

一、前言

傳統上本局對於軟弱地層之橋台及橋墩之設計均以沉箱或樁基為設計考量，然而近年來由於高分子材料生產技術提高、產量逐漸增加、價格亦有大幅度降低之趨勢，故於軟弱地層中設置地工合成材料，將可適時的增加軟弱地層之承載強度，設計應用上對於軟弱地盤設計深基礎之構思提供另一種選擇。一般基礎工程設計上需利用加勁材料增加土壤承載能力之時機為：(1)設置基礎之工址處於軟弱地層上、(2)覆土深處均為軟弱地層，設計樁基礎因承載層過深經費過高、(3)實施地盤改良工法之費用過高且成效卻十分有限的條件下，可考慮以該方法設計。雖然樁基有其設計上之優點：如(1)防止沖刷，(2)避開具有膨脹傾向之土壤，及(3)防止側向位移。然而亦有其缺憾：(1)相較於格網設計則費用太高，(2)舊有橋址清除不易，(3)施工易造成噪音與環境污染，(4)屬深基礎施工愈深則工程品質愈不易控制。

二、地工加勁材料及機制

地工加勁材依其種類可分為地工織布、地工格網及地工蜂巢結構。就基礎底部土壤加勁而言，地工格網及地工蜂巢結構較工地織布具有較佳之加勁效益，其主要因素在於織布容易因粒料阻塞而影響加勁效果，工地織布一般應用於排水、濾水及因素在於織布容易因粒料阻塞而影響加勁效果，工地織布一般應用於排水、濾水及隔離功能較多。而地工蜂巢結構，國內對此材料之實驗資料極為有限，故本文中尚無加以介紹，僅就一般地工加勁格網予以探討。

* 公路總局第三區養護工程處處長
**公路總局第三區養護工程處規劃設計中心幫工程司

所謂加勁之意義就土壤而言，既在減少單位變形的條件下，增加複合體之強度，其原理如同混凝土材料中加入鋼筋具有相同的機制。於此將以學者所推導之理論數學式及試驗結果予以陳列，以宏觀角度歸納國內外學者的研究成果並於下節中予以討論。加勁格網用於土壤係藉由地中舖設格網與土壤間因互制作用產生張力與互鎖機制，束制土層之側向位移，以增加複合體的強度，依據學者們針對單一土層中，位於地面上施加點荷重，進行之理論分析的成果(如圖示 2-1)得知於土體中適當的給予配置加勁材以可減少側向變位，有助於增加土體的承載力，並可預知加勁材設置於較接近地表的某深度處，其加勁效益最佳。

Boussinesq(1885) 發表單一土層基於彈性、均質、等向性所發展之數學關係式，於地面上施加點荷重 Q，於距 P 某距離(r)、深度(z)處之應力增量(Δq)以承載舖面上輪胎之荷重 Q(Loading)所生之應力增量(Δq)，如式(1)。

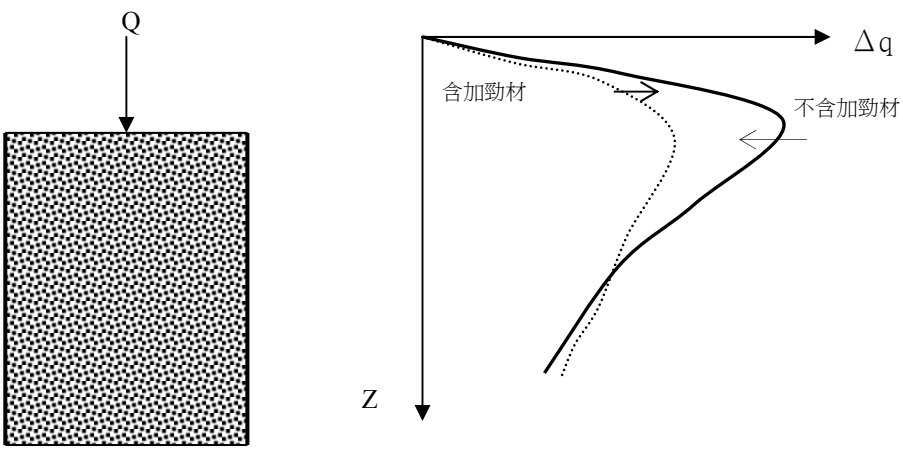
$$\Delta q = \frac{3Q \cdot z^3}{2\pi(r^2 + z^2)^{5/2}} \quad \text{……(1)式} \quad ；其中 \quad r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \ 。$$

式(1)土壤無柏松比 υ (poission's ratio)函數，係基於之前假設條件。

Westergaard(1938)發表在彈性固體層內交互使用細的鋼性加勁材，於地面上施加點荷重 Q，於距 P 某距離(r)、深度(z)處之應力增量 Δq 。

$$\Delta q = \frac{Q \cdot \eta \cdot z}{2\pi}\left[\frac{1}{\eta^2 \cdot z^2 + r^2}\right]^{3/2} \quad \text{……....(2)式} \quad ；其中 \ \eta = \sqrt{\frac{1-2\upsilon}{2-2\upsilon}}$$

式(2)之土壤柏松比 υ (poission's ratio)函數=固體與加勁材間交互之柏松比。



圖(2-1) Boussinesq(1885)與 Westergaard(1938)
針對未加勁與加勁之應力分布圖

就試驗室所得出的結果國內外學者針對不同的土壤材料特性搭配織布與格網進行單層與多層之載重試驗舉例如下：

Sakti&Das(1987)利用飽和粘土 C_u=22.5kpa 搭配織物，在長條形基腳作用下評估未加勁之粘土與加勁後之粘土在不同加勁層數間的極限強度變化情形，其結果顯示在粘土地層中，極限強度隨著織物層數的增加而增高(如圖示 2-2)。

Guido(1985)利用鬆砂(Dr=50%)搭配不織布間距 d=5.5”、鋪設寬度 4B，於 B=22”之方形基腳作用下評估未加勁與不同加勁層數間的應力與沉陷情形，結果顯示位於鬆砂地層中，在三層以上之加勁效益，僅在最後發生適度的變形下較為明顯。這是可以預知的，因為變形發生在不織布與土壤系統之前而產生加勁效益，惟就本試驗之加勁效果最佳的加勁層數為三層。另一組係於(Drexel University) 所進行之試驗，利用飽和軟弱粘土搭配梭織布間距 d=1.5”、 鋪設寬度 4B，於 B=6”之圓形基腳作用下，評估未加勁與不同加勁層數間的應力與沉陷情形(如圖示 2-3)。

陳建宏(2003)使用#10~#40 粒徑之均勻石英砂(SP)相對密度 Dr=65%、(D_{50}=0.78mm)、承壓鈑直徑 B=17.9cm(7”)，與地工織物(GT)、材質(PP)搭配進行平鈑載重試驗，其試驗結果(如圖示 2-4,5,6)可歸納為：(1)當土壤為#10~#40 之均勻砂時，最適之加勁深度約位於圓形基礎 0.28 直徑處，D/B=1 時則無加勁效果。(2)D/B 於 0.42 及 0.84 時地工織布分成固定與未固定兩種情形，試驗結果顯示，當織布固定，D/B 在 0.42 時可提高承載力，D/B=0.84 時較無效果。該研究案亦針對相同加勁層數間 N=1~5 予以試驗，其結果顯示加勁層數 N=5 時，承載應力最高。

薛東裕(2004)使用三種粒料：第一種為均勻石英砂、土壤分類(SP)、D_{50}=0.78mm，第二種為山寶石、土壤分類(GP)、(D_{50}=5.2)、第三種為白卵石、土壤分類(GP)、(D_{50}=21)；相對密度均為 Dr=90%承壓鈑直徑 B=15.24cm(6”)，與地工織物(GT)、材質(PP)及地工格網(GG)、材質(PET)搭配進行平鈑載重試驗，其試驗結果(如圖示 2-7,8)可歸納為：(1)當土壤為均勻石英砂，不論使用織布或格網其最佳之加勁深度位於 D/B=0.33，當 D/B=0.98 時則無效果。(2)當加勁材為織布 D/B=0.66 時已無法與織布產生互鎖效應，但當加勁材為格網時仍有較佳之承載效益比$(BCR)_S$。

三、地工加勁材料之設置

地工加勁材設置於地盤上依其埋設深度與層數可分為四種破壞模式(如圖示 3-1)：

(1) 土壤承載之破壞區域位於基腳底部至加勁材上緣間(圖示 3-1-a)，其意義為加勁材的埋設位置過深，無法有效的截斷土壤之潛在破壞面，通常發生在第一層加勁材設置約落於 D/B≧0.66 之情形，該比值可由前節之試驗結果可茲參照。

(2) 通當為加勁材之埋設長度位於土壤之潛在破壞面內(圖示 3-1-b)，造成加勁材之拉出破壞，故加勁材之埋設長度 L_b 及 L_L 應顧慮錨定延伸長度或基礎寬度 4 倍以上兩者取大值。

(3) 加勁材之配置位置截斷潛在破壞面(圖示 3-1-c)，又埋設長度足夠使得加勁材足以發揮拉力特性，此種破壞型式為設置加勁材的主要探討模式。

(4) 由於上部荷重長期作用與加勁材鬆弛所導致(圖示 3-1-d)，加勁材應用於橋台與墩柱之設計時亦應注意此現象，於設計加勁材之容許拉力時應將潛變之安全因素列入考量。

為決定工址區土壤在未加勁與加勁之效益，必須辦理室內土壤之承壓載重試驗以求其承載能力比 $BCR=q_r/q_n$，其中 q_n =為某沉陷量之無加勁土壤承載能力，q_r=在相同沈陷量之條件下加勁土壤承載能力。惟在進行室內試驗時模擬基礎尺寸、入土深度、加勁材之間距、層數及埋設加勁材之幅寬等均應特別注意比例，粒料應使用現地土壤；加勁材之埋設層數。設計上應顧及土壤加勁後可承受上部荷重，同時考慮安全因素即可，而非一味的增加設計層數使得設計上偏於保守、浪費；Omar(1993) 針對加勁材埋設總深度(Γ)及加勁材設計幅寬(L_b&L_L)發表經驗關係式，他認為當 0≦B/L≦0.5 時$(\Gamma/B)_{cr}$=2-1.4(B/L)，當 0.5≦B/L≦1.0 時$(\Gamma/B)_{cr}$=1.43-0.26 (B/L)，且$(D/B)_{max}$≒0.9~1.0；設計幅寬之經驗式$((L_b/B)_{cr}=4-1.75(B/L)^{0.51}$、$(L_L/B)_{cr}$=1.75(B/L)+L/2B。

對於地工加勁材各層與各層間的埋設間距，通常取第一層格網與基礎寬度比(既 D/B)作為第二層以上各加勁材之間距(H/B)，配置原則為$(H/B)_N$=D/B 予以設置，故對於加勁材之配置(如圖示 3-2)予以說明：

(1) 第一層加勁材之設計位置，可由試驗數據或依據經驗法則設置，設計區間(D/B)≒0.28~0.42，第二

層以上之加勁材間距沿用第一層加勁之間距，原因可由荷重作用於土體之應力分布情形知悉。

(2) 配置之層數亦可由試驗數據或由經驗關係式(如 Omar 等..)推求而得。

(3) 設計加勁材之幅寬應避免落於土壤之潛在破壞面內而造成加勁材之拉出破壞，通常幅寬 L_b&L_L 至少為基礎長(寬)的 4 倍以上，或由經驗關係式、試驗數據推求而得。

四、加勁材料選擇及檢測

地工合成材料之種類繁多，設計者應依其用途慎選材料，避免錯用造成不必要的損失或浪費，就加強淺基礎底部土壤承載力特性之用途，使用之地工合成材料應選用地工加勁格網且具雙向加勁者，就材質檢測而言至少包括：物理特性(包含開孔率、幅寬)、機械特性格網之拉力強度(包含單肋條極限抗拉強度及單一結點強度、土體與格網之摩擦特性等)、耐久特性(潛變試驗)，以下以基礎底部土壤加勁應辦理試驗之項目及相關規範表列如下：

格網類別	試驗項目	試驗方法(ASTM)
硬式格網 或 柔性格網	極限抗拉強度	D6637A 法(GRI-GG1)
	單一結點強度	D6637A 法(GRI-GG2)
	延伸率	D6637A 法(GRI-GG1)
	開孔率	測微尺
	幅寬	測微尺
	摩擦特性	D5321 法
	潛變試驗	D5262-92 法

五、結論與建議

地工合成材料在國外已行之有年，然而在國內仍屬起步階段，本局對於公路擋土設施利用柔性設計法已有所著墨，在路基加勁部份亦已在台 23 線進行部份路段之試驗，而基礎底部土壤加勁仍具有研究及探討的空間，設計上之先決條件如前言所述三點，基於公路路線遭遇之地質條件變化甚大，基礎下部地盤因素宜研議各式方法以克服不良地質問題，期能以本文與工程同仁分享。

六、參考文獻

1.陳建宏，「地工合成材加勁砂土工程特性之研究」，碩士論文，國立屏東科技大學,(2003)

2.薛東裕，「承載鈑試驗評估地工合成材於路基加勁特性分析」，碩士論文，國立屏東科技大學，(2004)。

3.Koerner,R.M.,「Construction and Geotechnical Method in Foundation Engineering」,(1984)

4.Koerner,R.M.,「Design with Geosynthetics」,(1998),pp.224-226.

5.DAS,B.M.,「Principles of Geotechnical Engineering」,(1993),pp.221-223.

6.DAS,B.M.,「Principles of Foundation Engineering」,(1998),pp.204-209.

7.ASTM Standards on Geosynthetice,(2000),America Society for Testing and Materials.

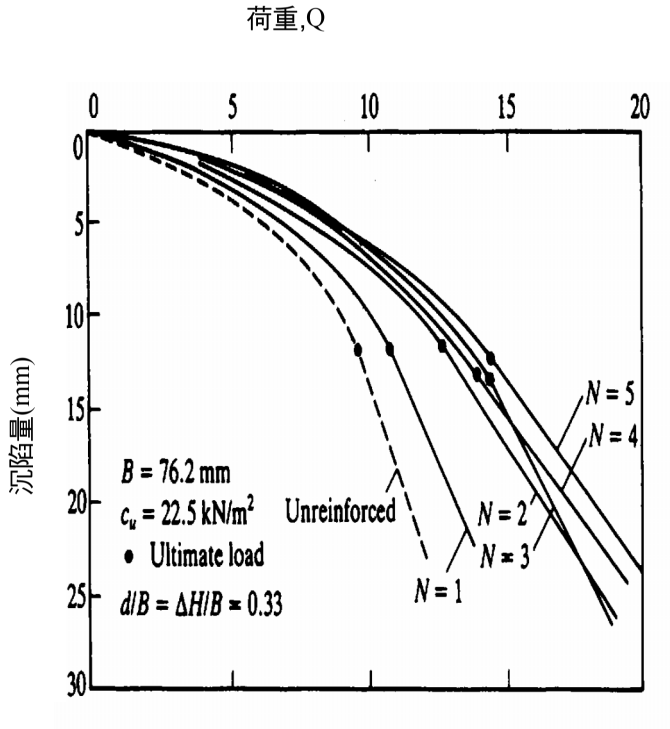


圖 2-2 飽和粘土搭配地工織布長條型基腳之承載能力試驗 N=加勁層數
Sakti&Das(1987)

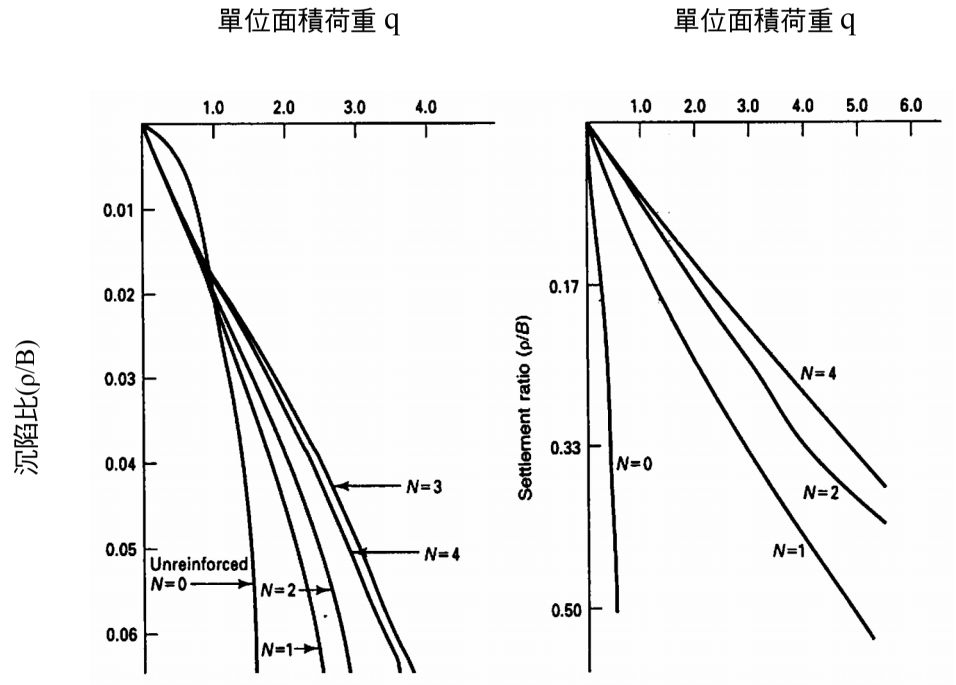


圖 2-3 土壤使用地工不織布之承載力發展曲線。ρ=基腳沉陷量,B=基腳寬度。(a)使用方型基腳 B=22”,x=5.5” (Guido1985)
土壤使用地工梭織布之承載力發展曲線。(b))使用圓型基腳 B=6”, x=1.5” 。 N=加勁層數 (Drexel University)

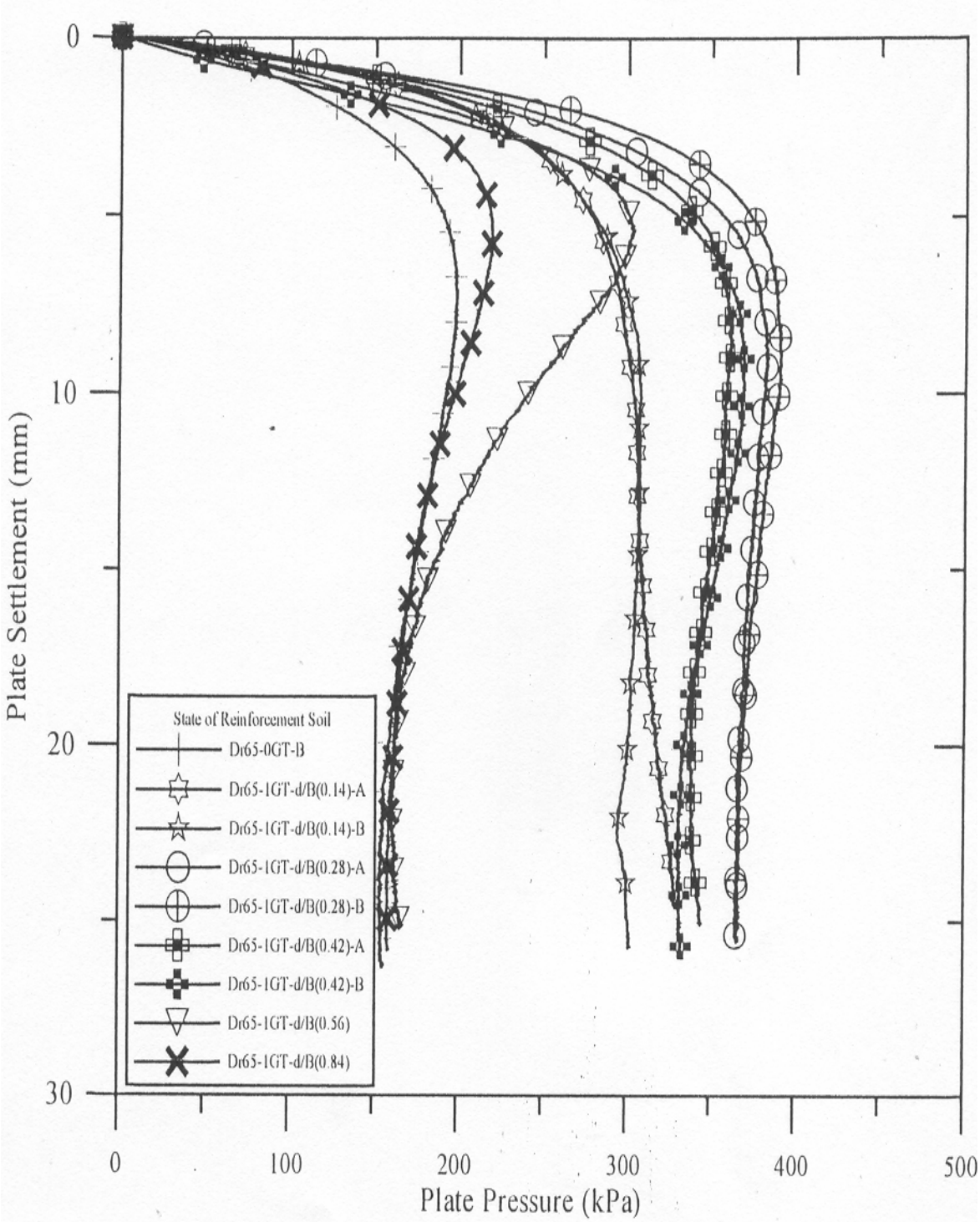


圖 2-4 #10~#40 之均勻砂與單層織布之應力&沉陷量分布圖
(陳建宏 2003)

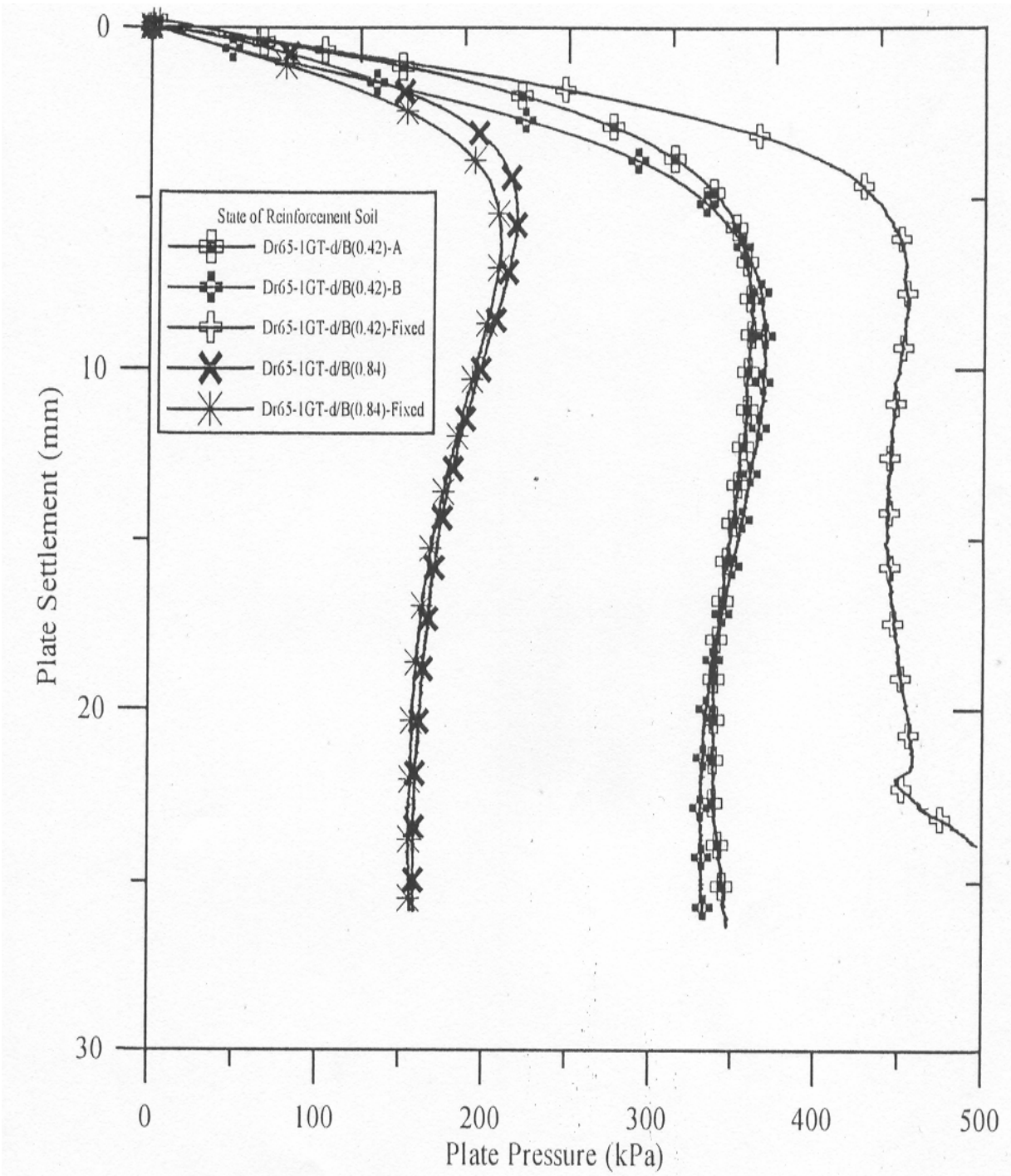


圖 2-5 #10~#40 之均勻砂與單層織布週邊固定與未固定之應力&沉陷量分布圖 (陳建宏 2003)

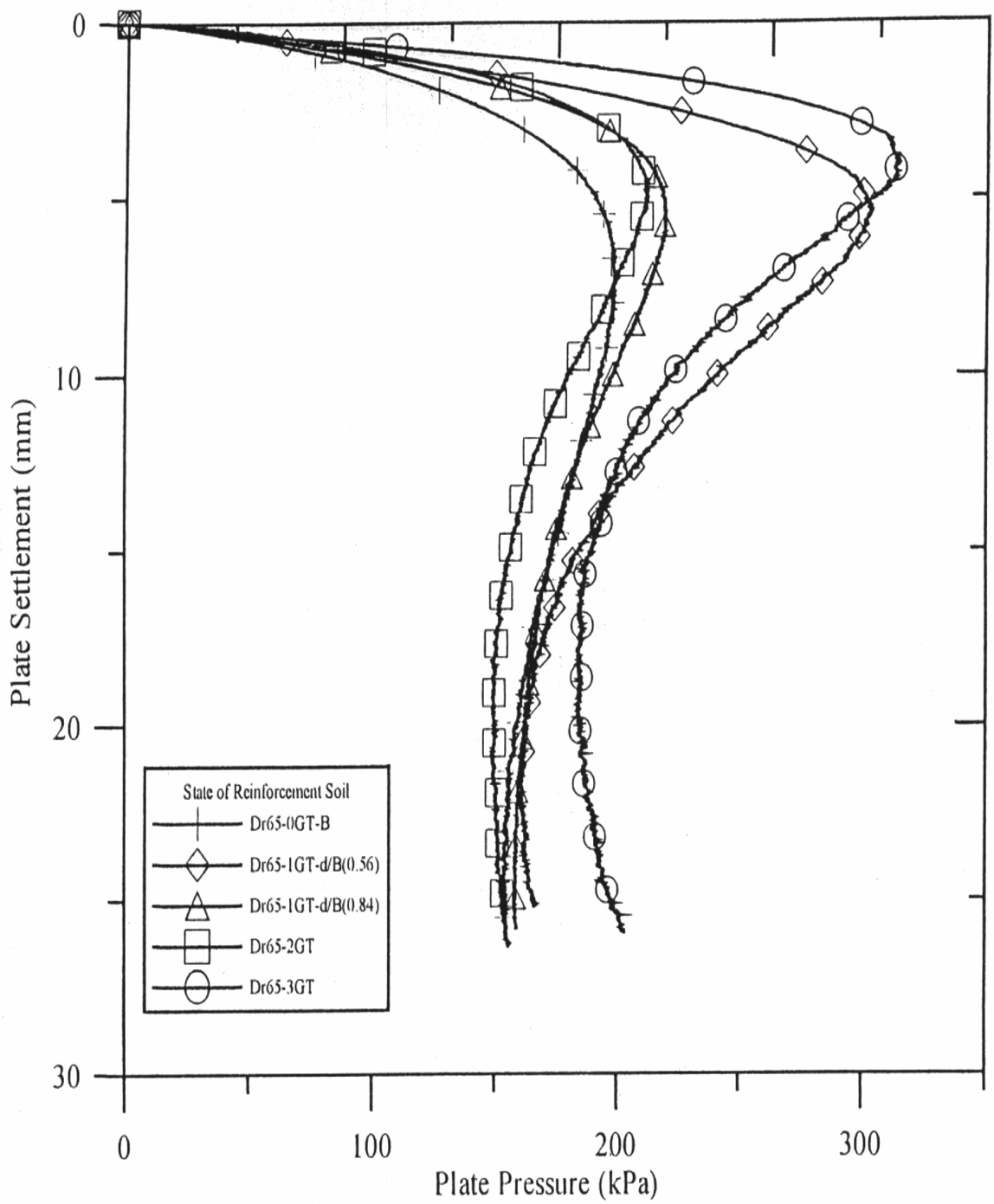


圖 2-6 #10~#40 之均勻砂與單層及多層織布之應力&沉陷量分布圖(薛東裕 2004)

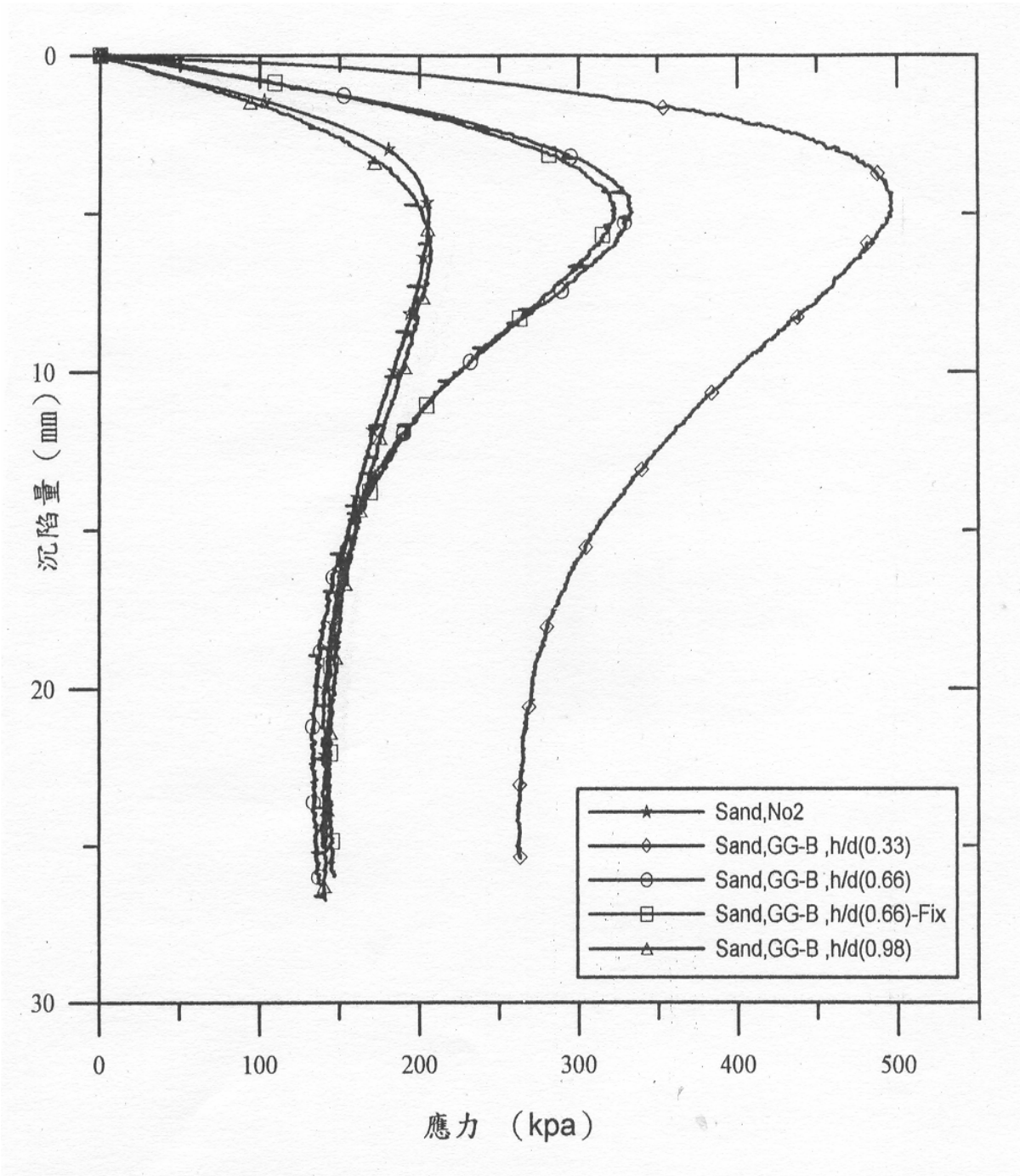


圖 2-7 石英砂與單層格網之應力&沉陷量分布圖(薛東裕 2004)

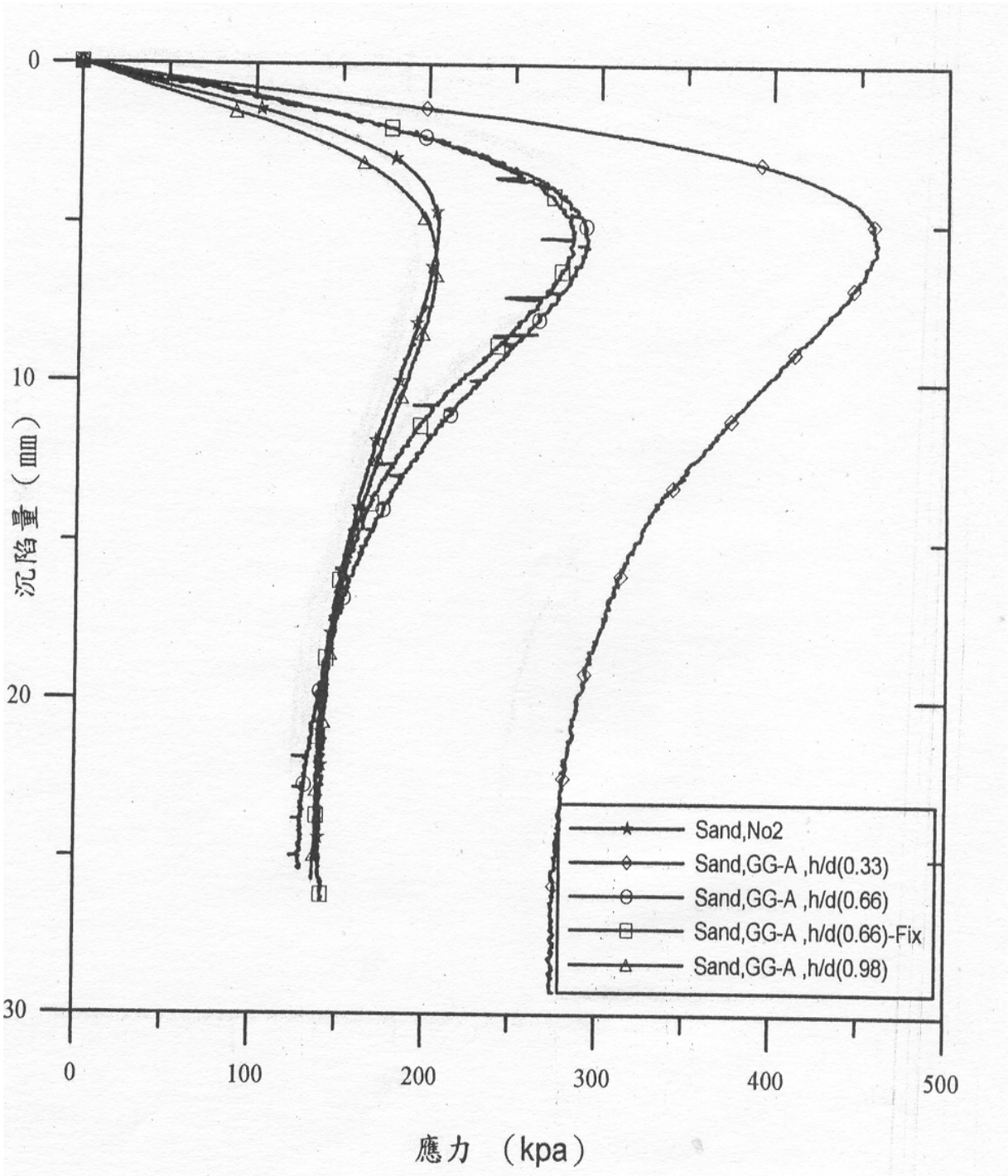


圖 2-8 石英砂與單層織布之應力&沉陷量分布圖

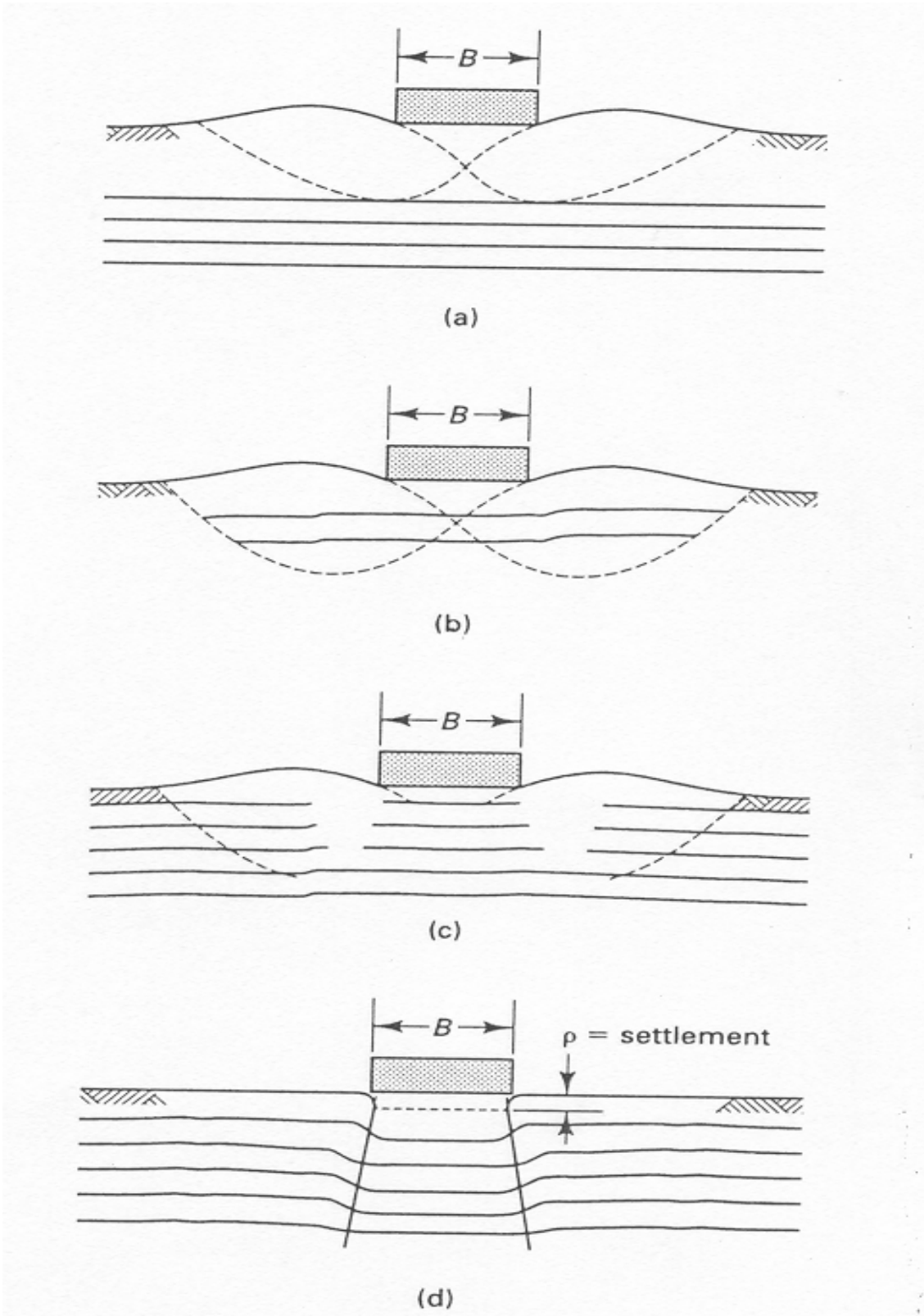


圖 3-1 加勁材埋設於地盤依其埋設深度與層數之四種破壞模式

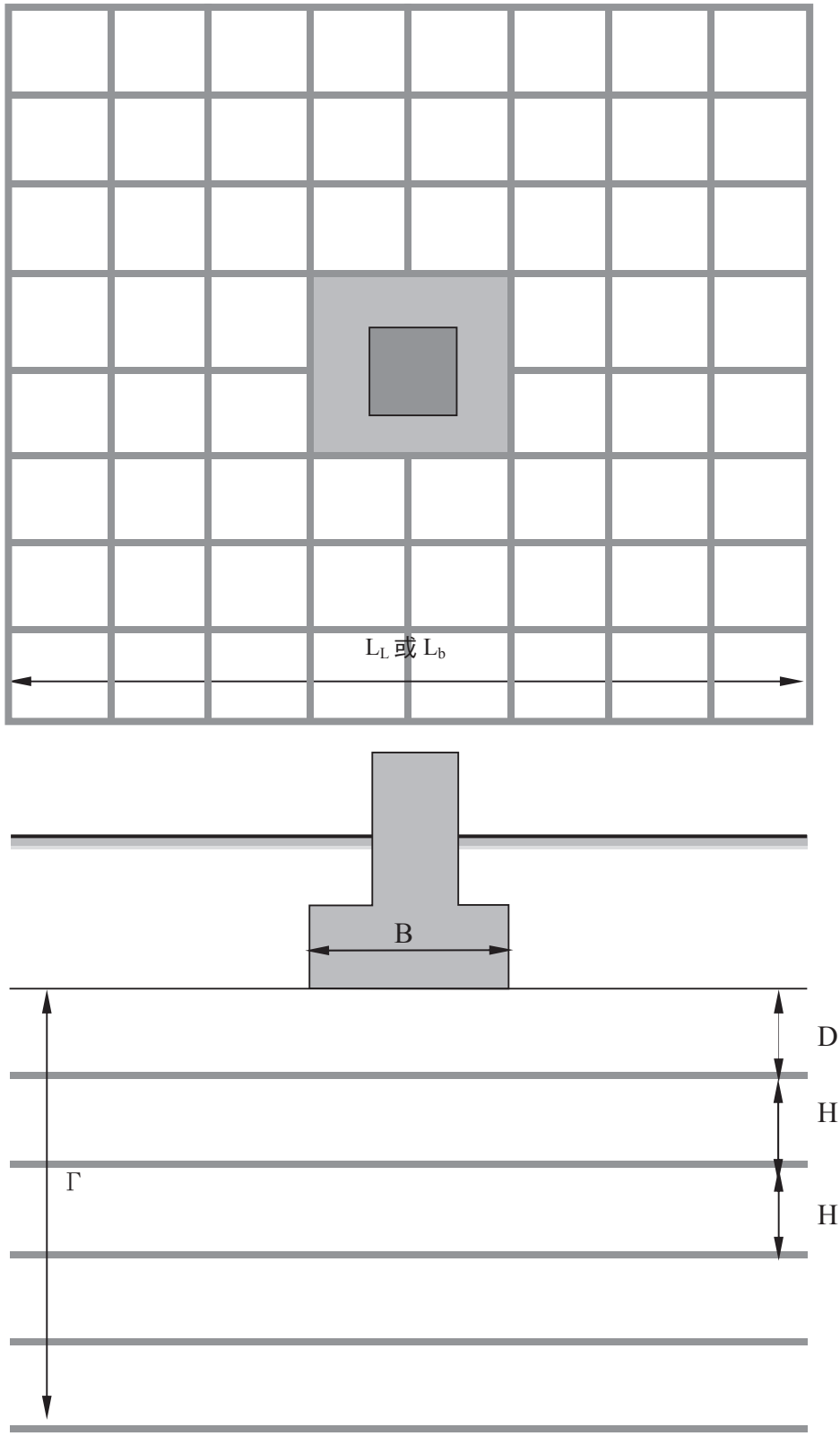


圖 3-2 加勁材之配置圖

台灣公路工程　第三十一卷第三期
民國九十三年九月
Taiwan Highway Engineering
Vol.31 No.1 Sep. 2004.pp23-31

營運隧道結構損傷之檢測及評估

吳耀焜*　羅國峰**

摘要

台灣地區諸多鐵公路隧道已達設計年限，特別是隧道歷經惡劣天候、反覆溫、濕度之影響，甚而地震之劇烈震動，均將使得隧道結構產生結構或非結構性之損傷及損壞，定期及非定期之專案檢測，必然不可少。除此之外，當老舊隧道面臨修復時，基於最低功能以上之需求，予以維修補強或全面更新。一般維修補強之費用及工期較全面更新為低，故老舊隧道於維修補強設計及施工前，亦應先進行隧道檢測調查工作。本文將著重於隧道營運後，隧道結構體之檢測內容及初步的評估及檢測人員的基本要求作一檢討，以作為日後養護單位檢測人員進行檢測之參考及評估依據。

關鍵字: 檢測、隧道損傷、評估

一、前言

台灣之隧道工程始自劉銘傳開闢之獅球嶺隧道，目前隧道已完工總長度據統計已逾 300 餘公里，為數眾多之鐵公路隧道，大部分已有二、三十年（甚至四、五十年者亦不在少數）的營運歷史。所有的土木結構物均具生命週期，由新建至營運老化過程，均需要藉由維護管理來確保其穩定與安全，尤其一般之交通幹線多肩負著重大頻繁的運輸重擔。隨著時間的增長，部分隧道結構體或因氣候反覆作用，或因大地應力作用、或因結構本身之材料不佳，亦或是受激烈地震作用力之影響，而於隧道壁體上將陸續產生“警訊“。由於處於營運中，能否確保其運輸功能之正常（特別是長大型隧道），進而保障百姓之生命財產，定期、非定期之檢測有其重要性。因此檢測人員於檢測過程中，能否檢查及判別結構性之損傷或裂縫，並做出適當之處置至為重要；必要時得採取封閉措施，以確保營運之正常及安全。

二、隧道損傷型態

隧道襯砌長期受土壤或岩石內分解之化學成分影響，易造成材料腐蝕或趨於脆弱，以致襯砌發生裂縫、剝落、漏水、游離石灰滲出等現象；另因為施工不良(如襯砌背面空隙回填不足、模板不整齊使混凝土施工縫欠佳等)、常年風化、受地震及冰凍等外力作用，致使襯砌因裂縫、剝落、漏水等而造成損壞之現象。以下就各類型之損傷扼要說明如下：

* 交通部公路總局東西向中工處第五工務段段長
**交通部公路總局西濱南工處工務員
國立成功大學土木工程學系博士候選人

一、剝落(scaling)

1.輕微(minor)-混凝土表面水泥漿剝落，深度小於 6mm。

2.中等(moderate)-混凝土表面剝落，開裂深度約 6-25mm，其中已隱約可見粗礫料。

3.嚴重(severe)-混凝土粗骨材顆粒已明顯外露，開裂深度大於 25mm。

二、裂縫（cracking）

由於結構所承受之張力已大於混凝土所能承受之抗張力所造成之線性破裂。裂縫型態可區分如下:

1.縱向裂縫(longitudinal cracks)-近乎直線之裂縫平行於隧道軸線，此類裂縫可能產生於頂拱、仰拱及側壁，如圖一所示。

2.橫向裂縫(transverse cracks) - 近乎直線之裂縫垂直於隧道軸線，此類裂縫可能產生於頂拱、仰拱及側壁，如圖二所示。

3.斜向裂縫 (diagonal cracks) - 近乎直線之裂縫於隧道軸線斜交，此類裂縫最多產生於側壁，如圖三所示。

4.不規則裂縫(random cracks) - 此類裂縫成不規則狀出現，難以量測及具體描繪。

5.仰拱開裂裂縫- 一般以裂縫平行於隧道軸線為主，示意圖如圖五。

上述各類裂縫難以立即判斷裂縫成因或評估其嚴重性，依據美國公路總署（FHWA, 2004），研究報告建議分級如下：

1.輕微(minor) -裂縫開裂寬度小於 0.8mm。

2.中等(moderate) -裂縫開裂寬度介於 0.8mm～3.2mm。

3.嚴重(severe) - 裂縫開裂寬度大於 3.2mm。

三、碎裂(spalling)

通常內襯碎裂為混凝土表面產生圓形或近似圓形之區域形碎裂，此種破壞通常大都已能看見內襯之加勁鋼筋，發生之位置請參考圖一及圖四。分類如下：

1.輕微(minor) - 碎裂區域約直徑 75mm ~ 150mm，碎裂深度小於 12mm，內襯加勁鋼筋已隱約可見。

2.中等(moderate) -碎裂區域約直徑大於 150mm 以上，碎裂深度介於 12mm ~ 25mm，加勁鋼筋已部分外露。

3.嚴重(severe) -碎裂區域直徑大於 150mm 以上，碎裂深度大於 25mm，且加勁鋼筋已完全外露清楚可數。

四、漏水(leakage)

此現象通常發生於混凝土表面之局部區域，產生滲水現象。分類如下：

1.輕微(minor) – 混凝土面有局部之潮濕現象，惟並未有水滴產生。

2.中等(moderate) –混凝土面水滴持續滴落，惟其滲漏頻率小於每分鐘 30 滴。

3.嚴重(severe) -混凝土面水滴持續滴落，其滲漏頻率大於每分鐘 30 滴。

三、隧道檢測

隧道襯砌材質老化或力學上之破壞等因素，導致襯砌產生龜裂變形等，通稱為「隧道異狀」，隧道安全檢測工作類似於身體健康檢查，其目的主要在於早期發覺異狀，或身體已感不適時進行檢查，並及早找出病因(調查)，以利對症下藥(評估及維修)，使身體恢復健康。事實上，完整的公路系統中，橋樑及隧道均位居運輸功能正常與否之樞紐地位。然而，由於各型橋樑為數眾多（相對於隧道），且歷史更為悠久，因此老舊橋樑之檢測早已系統化，並且已發展出一套檢測之準則。然而，隧道則因眾多之主客觀因素，遲至今日才被有系統的討論。1996 年至 1998 年間交通部委託國立台灣大學土木

系(黃燦輝、鄭富書，1997~1998)進行「老舊交通隧道之安全檢測、維修與補強技術」之研訂，並相繼完成「隧道安全檢測手冊」與「隧道維修與補強手冊」，該研究將隧道維護管理之實施步驟區分為檢查、安全檢測與修復等三階段進行，詳細內容請自行參閱，本文不再贅述、討論。

當老舊隧道面臨修復時，須依據安全檢測結果，基於最低功能以上之需求，予以維修補強或全面更新，一般維修補強之費用及工期較全面更新為低，但仍須依情況短期間進行，於結構物使用生命週期內之整體費用，仍可能較全面更新為高。基於上述理念，老舊隧道於維修補強設計及施工前，應先進行隧道檢測調查工作，其調查目的大致如下：

1.掌握隧道之現況，有效地進行日後維護管理工作。

2.及早發現對隧道安全性及使用機能有不良影響之問題。

3.獲得影響隧道安全原因及判斷依據。

4.獲得是否需要進行改善措施規劃設計之判斷依據。

5.獲得選擇改善措施方式及決定維修範圍及數量等所需之設計基本資料。

6.修復效果(維修補強或全面更新)之評估。

依初步檢查結果，若隧道有龜裂、滲漏等異狀，其持續發展程度不甚明顯，但由檢測所得鋼筋有腐蝕現象，襯砌厚度亦不足，而頂拱上方鬆弛岩體之岩壓會傳遞至襯砌結構。加以由檢測調查成果研判，隧道結構可能遭受偏壓，至於隧道兩側側壁與起拱線之交接位置龜裂情形明顯，經以水泥砂漿修補後，修補位置亦陸續有龜裂發生，加上混凝土襯砌材質劣化程度明顯，須考慮予以修復。

若以修復目標作為區分，基本上可就全面更新與局部補修兩方面進行檢討。全面更新之方式可提高並增加隧道之使用年限，大幅降低營運風險、減少維護管理頻率，有利於整體結構體強度之加強，但施工期之影響(時間較長)較修補方式為大。另局部補修對增加隧道之耐久性助益不大，僅可考慮增加其短期之穩定性，對原先之安全評估等級提升有限。

為達成上述之目標，隧道之檢測人員扮演相當關鍵之角色。因此，本節將對隧道之檢測人員及基本原則加以討論。

3.1 檢測員之任用

基本上，檢測員的素質對於隧道檢測之結果有絕對性之影響，因此檢測員的任用資格標準必須相當慎重。檢測工作時應以檢測小組編制為宜，檢測小組之成員應經過一定時數及課程內容之訓練、身心健康，且具有土木工程常識者，最好能有參與隧道施工之實務經驗。檢測小組領隊最好具有參與隧道設計及施工之經驗，能明確辨識缺陷之嚴重性及擅用各種檢測工具，並且明瞭鋼筋混凝土結構之工程特性。

檢測小組之成員亦應涵蓋較多之領域：土木結構、機械、電機消防等。如果，檢測成員受於制度之限制，亦應定期會同相關領域之成員進行局部或全面性之檢測。檢測之結果應有制式之報告及成果，並建立資料庫，以利日後之追蹤及維修。

3.2 檢測頻率

隧道之檢測頻率因其完成年代之遠近及隧道狀態之不同而有所不同；一般中、短隧道，大致上並無常設之檢測機構，因此應建立固定之檢測時程。新完成之隧道檢測週期建議為 2-3 年(FHWA, 2004)，而老舊隧道則建議 1-2 年為週期。而長大型隧道，通常因其用途、條件特殊而設有專責之養護單位。特別是長大型隧道，必定涵蓋各項不同之防災機制（如：照明、通風、消防等），除隧道結構體之檢測，亦應組派不同領域之專業人士，進行大規模之不定期專案檢測。隧道檢查的種類依檢查

內容及時機可分為平時檢查、定期檢查以及臨時檢查等三類。

平時檢查以行車安全為主要重點，發現影響行車安全之異狀時，須檢討實施交通管制等應急措施之必要性，如尚未達交通管制之程度，則檢討進一步實施臨時檢查或安全檢測(標準檢測等)，以掌握隧道之實態。

定期檢查則因各構件、設備之不同、用途及年限之區別而分別訂定之。其目的在維持構件、設備之功能得以正常運作並汰舊換新。必要時得進行隧道體損傷之追蹤及紀錄，以防止該現象持續惡化。

臨時檢查之運用時機，乃針對個別之突發狀況，非人為因素，如地震等天然災害；人為因素：車禍撞擊、隧道內火災等，對各構件之損傷情況進行檢查及紀錄。

3.3 檢測報告

檢測方式一般分為目視檢測（Visual Inspection）及非破壞檢測（Nondestructive Testing, NDT）。所有外露部分之隧道壁體，均應進行檢查，而被註記之缺陷區域應紀錄所在位置（里程）、部位（頂拱側壁及仰拱），並應詳細量測及描述；嚴重的內襯混凝土碎裂應量測紀錄其長、寬及深度。而若有鋼筋外露鏽蝕，應量測其鏽蝕之長度、寬度及深度。各種缺陷亦應依狀況之不同，進行分級（嚴重、中度、輕微）。本文擷取美國聯邦公路總署（FHWA）「鐵公路隧道檢測手冊」中之檢測表格，如圖六及圖七，以供參考。

另外，針對不同之隧道襯砌構造及覆土條件，除了一般定性之描述，並將其做定量之分類，如圖八及圖九。其評分分佈，大致由 0-9；其中評分越高者，則代表其狀況越佳，反之則狀況越差。再者由於隧道施工條件之改變，亦將明挖覆蓋或混凝土內襯之隧道與軟弱土層之隧道襯砌、岩石隧道襯砌及木質襯砌等不同，予以分類評比。

3.4 檢測結果處理

當檢測結果判定該隧道處於輕微以上之狀況，應即刻向上級反映進行適當之處置：

1.封閉隧道直至隧道之嚴重損傷被移處或修復，並確認開放後不致有危險之虞，方可結束封閉措施。
2.若嚴重損傷屬局部，而封鎖線外仍屬安全者，則必須進行適當之警戒及引導，直至確認隧道之嚴重損傷已移除或修復為止。

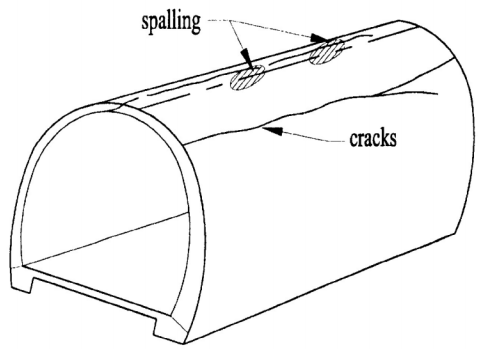
四、結論

營運中隧道常發生之異狀種類很多，即使異狀型態類似，但有無伴隨其他不同異狀出現，對於隧道之安全性與耐久性即可能截然不同。舉例而言，當隧道襯砌表面有龜裂發生時，襯砌背面地盤有無空洞、襯砌厚度足夠與否、龜裂有無進展性等，其對結構物之安全性有決定性之影響。因此，隧道異狀發生初期所需之處理對策較為簡易，如異狀持續擴大至具有延展性時，即需大規模之處理對策始可善後，因此，在進行隧道維護管理之過程中，除了追求力學上之定量判定因素外，更應考慮異狀原因之各種不確定因素，以確保隧道之安全。

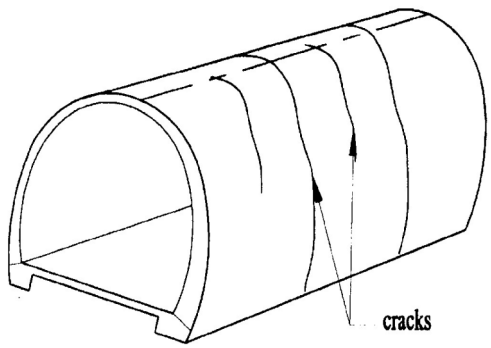
未來，針對隧道進行人為方式之檢測調查，若因時間限制及檢測數量甚大的情況，以人工表面目視觀察記錄方式進行相關檢測調查及維護管理，不僅耗時，且所獲得之調查成果記錄易疏漏。因此亦應積極研究如何縮短現地檢測時間、減少大量人力日常調查、提高維護管理效率、及降低營運衝擊等，均為維護管理單位之重要需求。

參考文獻

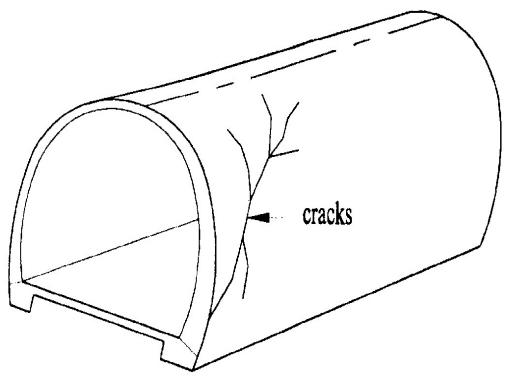
1. Arnoult, J. D., *Culvert Inspection Manual FHWA – IP – 86 – 2*, Federal Highway Administration, 1986.
2. Bickel, J.; E. King, and T. Kuesel, *Tunnel Engineering Handbook, Second Edition* Chapman & Hall, New York, 1996.
3. Federal Highway Administration, Federal Transit Administration, *Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual*, March, 2003.
4. U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration – Office of Safety, *Code of Federal Regulations, Title 49, Track Safety Standards Part 213, Subpart A to F,Class of Track 1-5*, Simmons-Boardman Books, Inc., Omaha, NE, 2001.
5. U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration – Office of Safety, *Code of Federal Regulations, Title 49, Part 236, Rules, Standards, and Instructions Governing the Installation, Inspection, Maintenance, and Repair of Signal and Train Control Systems, Devices, and Appliances*, 2001.
6. W.L. Wang, T.T. Wang, J.J. Su, C.H. Lin, C.R. Seng, T.H. Huang, *Assessment of damage in mountain tunnels due to the Taiwan Chi-Chi Earthquake*, Tunnelling and Underground Space Technology 16, pp.133-150, 2001.



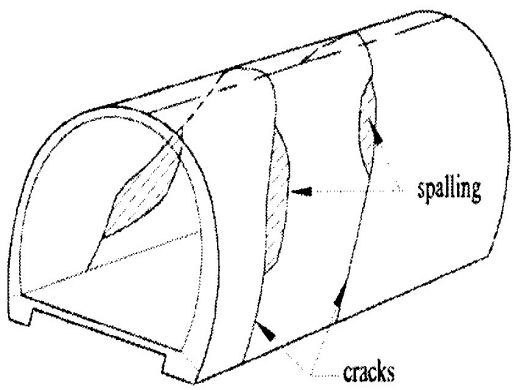
圖一　隧道之縱向裂縫示意圖



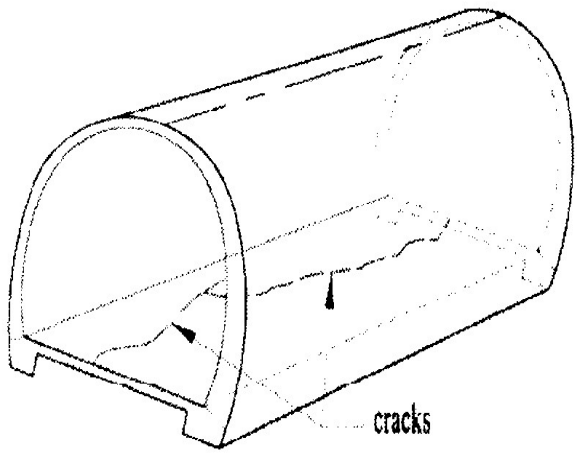
圖二 隧道之橫向裂縫示意圖



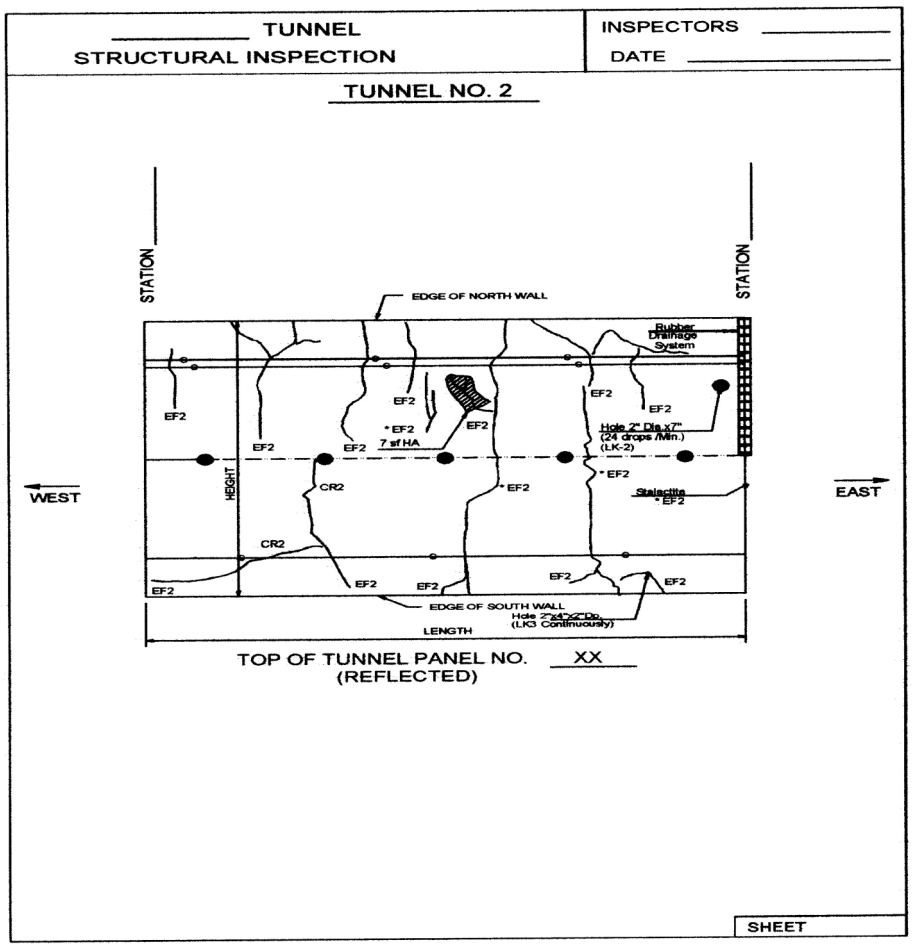
圖三 隧道之斜向裂縫示意圖



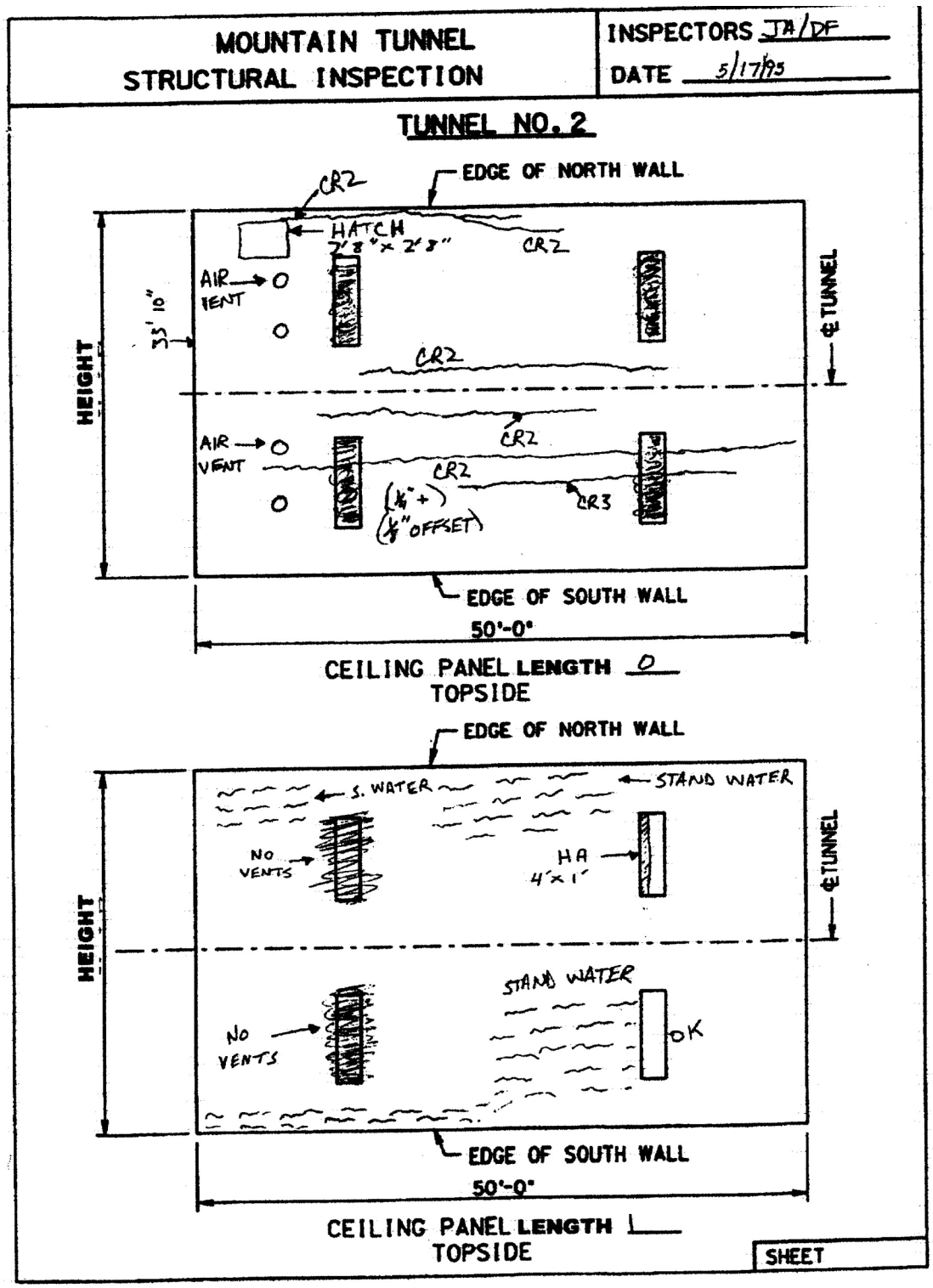
圖四　隧道側壁產生碎裂示意圖



圖五　隧道仰拱開裂示意圖



圖六　隧道檢測參考記錄表（一）



圖七　隧道檢測參考記錄表（二）

Rating	General Description	Cut-and-Cover Box Tunnels and Concrete/Shotcrete Inner Liners	Soft-Ground Tunnel Liners	Rock Tunnel Liners	Timber Liners
9	Newly completed construction.	Newly completed construction.	Newly completed construction.	Newly completed construction.	Newly completed construction.
8	**Excellent condition** – No defects found.	**Excellent condition** – No defects found.	**Excellent condition** – No defects found.	**Excellent condition** – No defects found.	**Excellent condition** – No defects found.
7	**Good Condition** – No repairs necessary. Isolated defects found.	**Good condition** – No repairs necessary although certain elements contain isolated minor deficiencies and minor presence of efflorescence. No delaminations or spalls are present.	**Good condition** – No repairs necessary. Steel, precast concrete, cast iron, and masonry liners have isolated minor defects. Steel plates, shapes, and liners have isolated locations of minor surface corrosion but with no section loss. Precast concrete liners and safety walk panels contain not more than one minor crack. Masonry exhibits a minor presence of efflorescence with only minor cracks at greater than 3 m (10 ft) intervals. Connection bolts are discolored, and minor leakage is occurring through the gaskets between liners.	**Good condition** – No repair necessary. Concrete/shotcrete liner contains minor circumferential cracks at greater than 3m (10 ft) intervals with a minor presence of efflorescence.	**Good condition** – No repair necessary. Timber exhibits isolated locations of minor checks, minor decay, and minor water leakage.
6	Shading between "5" and "7."	Shading between "5" and "7."	Shading between "5" and "7."	Shading between "5" and "7."	Shading between "5" and "7."
5	**Fair condition** – Minor repairs required but element is functioning as originally designed. Minor, moderate, and isolated sever defects are present but with no significant section loss.	**Fair condition** – Minor repairs required but element is functioning as originally designed. Concrete elements contain moderate cracks at 1.5 m (5 ft) to 3 m (10 ft) intervals with moderate presence of efflorescence and minor to moderate active leakage. Minor delaminations, spalls, map cracking, and staining exist on the concrete but no reinforcement steel is exposed.	**Fair condition** – Minor repairs required but liner is functioning as originally designed. Steel, precast concrete, cast iron, and masonry liners have numerous minor defects. Steel plates, shapes, and liners are surface corroded throughout but with no significant section loss. Precast concrete liners and safety walk panels have moderate spalls and more than two minor cracks. Masonry contains moderate cracks at 1.5 m (5 ft) to 3 m (10 ft) intervals with moderate presence of efflorescence and minor to moderate active leakage at isolated locations. Connection bolts (not more than one for every two liner segments) require replacement or retightening. Moderate leakage is present between liners.	**Fair condition** – Minor repairs are required but element is functioning as originally designed. Concrete/shotcrete lining contains moderate circumferential cracks at 1.5 m (5 ft) to 3 m (10 ft) intervals, not more than one longitudinal moderate crack, moderate presence of efflorescence, and minor to moderate active leakage. Minor delaminations, spalls, map cracking and staining are present but no reinforcement is exposed.	**Fair condition** – minor repairs required but liner is functioning as originally designed. Timber exhibits numerous minor defects and isolated moderate decay, checks, and moderate leakage. Isolated timber members contain splits.
4	Shading between "3" and "5."	Shading between "3" and "5."	Shading between "3" and "5."	Shading between "3" and "5."	Shading between "3" and "5."

圖八　不同襯砌構造及覆土條件之隧道狀況評分表（一）

Rating	General Description	Cut-and-Cover Box Tunnels and Concrete/Shotcrete Inner Liners	Soft-Ground Tunnel Liners	Rock Tunnel Liners	Timber Liners
3	**Poor condition** – Major repairs are required and element is not functioning as originally designed. Severe defects are present.	**Poor condition** – Major repairs are required and element is not functioning as originally designed. Concrete elements contain numerous moderate cracks with extensive efflorescence, severe leakage, and staining. Delaminations and spalls are present over 50% of the concrete surface and exposed reinforcement steel has up to 15% section loss.	**Poor condition** – Major repairs are required. The precast, steel, and cast iron liner elements exhibit extensive severe deterioration such that the liners can no longer achieve the full original design capacity, although still retaining some degree of their load-carrying capacity. Masonry contains numerous moderate cracks with extensive efflorescence, leakage, and staining. Delaminations of the masonry layers, slight dislocation of certain masonry units, and loose or missing mortar are prevalent at isolated locations. Severe active leakage is occurring through the masonry or between adjacent liner segments at isolated locations. Connection bolts are deteriorated with up to 15% section loss and are loose or missing at isolated locations.	**Poor condition** – Major repairs are required and element is not functioning as originally designed. Concrete/shotcrete lining has extensive longitudinal and circumferential cracks with extensive efflorescence, leakage, and staining. Delaminations and spalls are present over 50% of the lining surface and exposed reinforcement steel has up to 15% section loss.	**Poor condition** – Major repairs are required and liner is not functioning as originally designed. Liner elements have numerous moderate defects of decay, checks, splits, and leakage over 50% of the liner area.
2	**Serious condition** – Major repairs required immediately to keep structure open to highway or rail transit traffic.	**Serious condition** – Major repairs required immediately to keep structure open to highway or rail transit traffic. Concrete elements contain extensive severe cracks, delaminations, spalls, and leakage. Exposed reinforcement steel has up to 40% section loss.	**Serious condition** – Major repairs required immediately to keep structure open to highway or rail transit traffic. The liner elements have extensive, serious material deterioration and are severely deflected such that the elements can no longer support the design loads without immediate repairs. Masonry contains extensive severe cracks, delaminations, and missing masonry units. Severe active leakage is occurring at numerous locations within the tunnel segment. Connection bolts are deteriorated with up to 50% section loss and are loose or missing at several locations.	**Serious condition** – Major repairs required immediately to keep structure open to highway or rail transit traffic. Concrete/shotcrete lining has extensive severe cracks, delaminations, spalls, and active leakage. Exposed reinforcement steel has up to 40% section loss.	**Serious condition** – Major repairs required immediately to keep structure open to highway or rail transit traffic. Timber contains extensive severe decay, checks, splits, and leakage over 50% of the timber surface. Numerous timber members are completely deteriorated.
1	**Critical condition** – Immediate closure required. Study should be performed to determine the feasibility of repairing the structure.	**Critical condition** – Immediate closure required. Study should be performed to determine the feasibility of repairing the structure.	**Critical condition** – Immediate closure required. The liner elements have major deterioration and have lost all capacity to sustain the original design loadings. The masonry is severely deteriorated such that major sections are missing and can no longer support the design loading. Connection bolts are deteriorated in excess of 50% and are loose or missing at several locations.	**Critical condition** – Lining has extensively cracked and deflected significantly. The lining has lost all capacity to sustain design loads.	**Critical condition** – Lining has extensively cracked and deflected significantly. The lining has lost all capacity to sustain design loads.
0	**Critical condition** – Structure is closed and beyond repair.	**Critical condition** – Structure is closed and beyond repair.	**Critical condition** – Structure is closed and beyond repair.	**Critical condition** – Structure is closed and beyond repair.	**Critical condition** – Structure is closed and beyond repair.

圖九　不同襯砌構造及覆土條件之隧道狀況評分表（二）

台灣公路工程　第三十一卷第三期
民國九十三年九月
Taiwan Highway Engineering
Vol.31 No.1 Sep. 2004.pp2-10

交通建設公共工程品質查核概況

楊朝平*　尤文祥**

摘 要

近年，政府為順利推動公共工程及提昇工程品質，於 1996 年頒行「政府採購法」，賡續辦理「公共工程施工查核」。截至 2003 年底，交通部共辦理 105 件查核標案，其查核缺失數於品質管理制度類佔 48.71%，於施工品質類佔 51.29%；惟其缺失多為執行未盡落實，表示各單位皆已能瞭解查核機制並執行之，只是落實程度待加強。另一方面，截至 2003 年底，交通部所執行之工程進度落後標案約佔全部之 7.58%；其原因依序為承包商體質不良 32.7%、施工作業程序 27.5%、相關單位配合度不佳 8.4%、社會因素 7.1%、不可抗力因素 5.6%、行政作業延誤 5.2%、土方問題 5.1%、設計不完善 4.7%、用地取得延誤 3.7%。

一、前言

公共工程品質之提昇，有賴主辦機關、設計單位、監造單位、承包商等的整體品質要求。近年，政府為順利推動公共工程及提昇其品質，所推動之策略為：

1.1990 年起定期召開「公共建設督導會報」。
2.1991 年成立「公共建設督導會報」機構。
3.1993 年頒行「公共工程施工品質管理制度」。
4.1994 年試辦第一次「公共工程施工品質評鑑」，1995 年全面推廣。
5.1995 年正式成立「公共工程委員會」（略稱工程會）。
6.1996 年頒訂「政府採購法」。
7.1996 年頒行「公共工程施工品質評鑑作業要點」。
8.1997 年頒行「公共工程施工品質管理作業要點」，廢除「公共工程施工品質評鑑作業要點」，賡續辦理「公共工程施工查核」。
9.2002 年頒行「工程施工查核小組組織準則」

於上述之「公共工程施工品質管理作業要點」，其內容除規定「整體」與「分項」品管計畫外，更進一步施工規範品質計畫之內容，應包括管理責任、施工要領、品質管理標準、材料及施工檢驗程序、自主檢查表、不合格之管制、矯正與預防措施、內部品質稽核、文件紀錄管理等系統。即明確規範出公共工程之主辦、設計、監造、承包商各單位，於品質管理上所應負之責任與工作，即所謂的「三級品管」制度。

* 中華大學土木工程系所副教授
**交通部重大工程督導會報工程司（中華大學碩士）

1.第一級品管
為承包商之自主品質管理，是公共工程品質管理的主要關鍵，承包商應建立施工品質管制系統，應依工程之特性與契約要求，擬定施工計畫，設立品管組織，俾於施工階段確保工程品質能符合設計及規範。

2.第二級品管
此級之品質管理扮演著把關工程品質之角色，其保證工作系屬工程主辦機關及設計或監造單位應辦事項，應建立施工品質保證系統、設立監造組織、訂定監造計畫等。二級品管機關得視工程需要，設置工程督導小組，隨時進行施工品質查核工作，發現缺失時應通知監造單位督促承包商限期矯正，並要求採取預防措施。

3.第三級品管
各工程主管機關應成立查核小組，以確認工程品質管理工作執行之成效。

「公共工程施工品質管理作業要點」意涵「提昇公共工程品質」的作業，包括採購制度、品質檢查、品質管理、品質保證、人員管理、財務管理等項。即品質管理不單只是工程人員的工作，司責制度、財務等人員也需擔負責任，因而衍生出交錯複雜的影響因素。為瞭解政府近年所施行工程查核之情形，本文先歸納「監察院調查公共工程品質案」之調查意見[1]，續彙整工程會查核各主管機關之缺失項目[2]，最後切入交通部之工程查核執行情形[3]，俾供相關單位參考。

二、監察院對公共工程品質之調查意見

監察院交通及採購委員會，針對行政院暨所屬機關歷年來辦理之公共工程施工品質進行調查，羅列以下調查意見：

1. 公共工程施工品質管理制度推行迄今已近十年，卻遲未構建完整資訊系統，隨時掌握全國公共工程進度實況，影響施工品質考評時效；允宜加速建構完整之全國公共工程管理資訊系統，以利隨時掌握工程執行實況，增進整體工程品質考核效能。
2. 公共工程主辦機關及廠商執行第一、二級品管作業未見落實，礙因各主辦機關於招標文件內編列品管費用之比率偏低，導致承包商在支出成本及工期考量下，對於施工品質管理制度之推行，多採敷衍虛應態度，相關作業程序自難落實。
3. 未達查核金額之小型公共工程，其施工品質管理制度未臻健全，工程會應重新檢討修正現行小型工程之施工品質管理制度設計，以求改進。
4. 各機關對於施工品質查核成績不佳之工程，多未依規定確實懲處監造、承包商及主辦機關違失人員，督考成效難以彰顯，導致承包商及主辦機關未能重視施工品質，工地人員有恃無恐，自難彰顯督考成效。
5. 公共工程施工品質良窳影響公共安全至鉅，而承包商工地現場所僱用之技術工素質則扮演極為重要的角色，現今工地現場技術工人大多未經技能檢定合格，致公共工程施工品質難以提升，應檢討改進。
6. 部分承包商不合理削價搶標公共工程，劣幣驅逐良幣，嚴重影響工程施工品質，此一危及公共工程施工品質之陳痾，工程會應即針對問題癥結，積極突破解決。
7. 部分中央機關對於補助或委託辦理工程，顯未善盡施工品質督導查核之責，應依「工程施工查核小組組織準則」，將各機關補助或委託其他機關、法人或團體辦理之工程，納入各級查核小組查核範圍內。
8. 現今國內公共工程三級品管制度之設計，未能涵蓋工程前段規劃、設計作業及後段使用管

理維護之品管功能，允宜將工程前段及後段之品管功能納入公共工程品管制度。

9. 為徹底改善公共工程施工品質管理之積弊陳痾，行政院應健全所屬各級政府工程施工查核體制，持續落實施工品質查核工作，以竟事功。
10. 為期發揮審計機關監督政府採購預算執行與考核財務之效能，審計部應轉知所屬持續加強公共工程施工品質稽察，並密切追蹤各機關後續改善處置情形，以督促政府健全工程管理體制與管理，提昇工程施工品質。
11. 監察院履勘發現竣工圖說與現場完工情形明顯不符之工程，各缺失機關應查究相關失職責任。

三、工程會查核各主管機關之缺失項目

工程會彙整各主管機關自 2002 年起辦理之工程查核，共計查核「查核金額以上標案」360 件、「未達查核金額之標案」481 件，合計查核 841 件。其主要品質查核缺失如下：

一、主辦機關缺失

1. 契約內未依「公共工程施工品質管理作業要點」規定，訂定相關品管規定，並編列相關品管費用。
2. 督導機制不健全，對重要檢查點未進行查核，現場督導亦未留督導紀錄。
3. 對缺失改善未有效追蹤。
4. 未確實要求監造單位落實監造。
5. 對隱蔽部分未要求監造單位製作查核紀錄等。

二、監造單位缺失

1. 監造計畫未依契約規範及工程特性製作，且未落實執行監造。
2. 對承包商之品質計畫書及施工計畫書，未確實審核。
3. 監工人員未依契約規定長駐工地，落實監造作業。
4. 對各項試驗報告及證明文件未落實查證及判讀。
5. 對施工未落實查核，隱蔽部分缺乏完整查核紀錄。
6. 對查核缺失未辦理改善追蹤。
7. 監工日報表填寫不確實等。

三、承包商缺失

1. 品質計畫書未能符合工程需求，錯誤引用其他工程資料。
2. 專任工程人員未確實至工地執行督導，致未發揮應有功能。
3. 自主檢查表不符合工程需求，無法發揮自主檢查效果。
4. 承包商未能落實施工自主檢查，致流於形式。
5. 缺乏矯正與預防措施，導致缺失一再重覆發生。
6. 無不合格品之管制措施。
7. 工地安衛管理不良。
8. 施工日報表填寫不確實等。

四、交通部之工程查核

4.1 查核重點及工程選取原則

交通部為提昇整體交通建設公共工程之品質，賡續辦理交通部工程施工查核。其查核重點如下：

1. 工程主辦機關之品質督導機制、施工品質查驗紀錄、缺失改善追蹤之執行、施工進度管理措施及障礙處理等。
2. 監造單位之監造組織、監造計畫、施工計畫、品質計畫之審查紀錄，材料設備抽驗及施工品質查核紀錄，品質不符處置及施工進度監督執行情形。
3. 承包商之品管組織、品質計畫、材料及施工檢驗，施工自主檢查、不合格品管制及矯正、預防措施，施工進度管理、趕工計畫、安全衛生及環境保護措施之執行情形等。
4. 品管制度執行之落實度、施工期限及重大事件掌握度，施工障礙之排除與對策合宜性。

查核工程之優先順序選取原則為：

1. 各主管機關推薦獎勵之優良工程（依金質獎相關規定辦理）。
2. 部次長相關指示。
3. 施工進度已落後之工程。
4. 部內各相關單位建議查核之工程。
5. 工程承包商之實績與財務狀況不佳之工程。
6. 人民陳情暨影響民生較鉅之案件。
7. 立法委員相關質詢案件。
8. 媒體有關工程缺失之相關報導。
9. 督導會報於督導過程中發現品質欠佳之工程等。
10. 工程得標價低於核定底價 65%之工程。
11. 擴大公共建設計畫所屬工程。

4.2 品質管理制度查核缺失檢討

截至 2003 年 11 月止，交通部共辦理 105 件查核標案，其中查核金額（5,000 萬元）以上之工程有 98 件。茲將各查核委員所提送之缺失彙整於表 1，於品質管理制度類之缺失數佔 48.72%（主辦機關及專業管理廠商 1.91%、監造單位 15.60%、施工廠商 31.21%）。由表 1 知曉，普遍存於品質管理制度類之查核缺失多為執行未盡落實，表示各級品管負責單位皆已能瞭解查核機制並執行之，只是落實程度有待加強。

茲說明品質管理制度類之查核缺失，並檢討其原因如下：

一、主辦機關及專業管理廠商

發生於主辦機關及專業管理廠商之品質管制查核缺失佔 1.91%，其項目為工程查驗紀錄或內容不實 1.27%、缺查核缺失改善紀錄 0.64%。此類缺失係因交通部所屬非工程專責機關管轄下之工程，受限機關為行政單位、工程人員缺乏、工址位於偏遠山區等，致未能充分督導。解決之道，除增加工程人員員額外，並應加強專業能力訓練。

二、監造單位

監造單位之品質管制查核缺失佔 15.60%，其項目為未落實執行監造計畫 5.73%、未落實執行施工品質查核 3.82%、缺失改善未落實執行 2.55%、材料抽驗紀錄未判讀原因 2.23%及監工日報表未落實填寫 1.27%。究其原委，乃非工程專責機關都委外辦理監造，而顧問公司之人力仍嫌不足。故主辦機關應依契約規定加強督導監造單位之駐場人力，強調「施工品質保證系統」觀念，以降低缺失率。

表 1 交通部建設工程查核缺失統計表

項次	類別	類別	項目	缺失數	百分比(%)	小計(%)
1	品質管理制度	主辦機關、專案管理廠商	查驗紀錄或內容不實	4	1.27	1.91
2			缺查核缺失改善紀錄	2	0.64	
3		監造單位	未落實執行監造計畫	18	5.73	15.60
4			未落實執行施工品質查核	12	3.82	
5			缺失改善未落實執行	8	2.55	
6			材料抽驗紀錄缺失未判讀原因	7	2.23	
7			監工日報表未落實填寫	4	1.27	
8		施工廠商	施工計畫未符合且未落實	10	3.18	31.21
9			缺施工查核紀錄或未落實執行	12	3.82	
10			自主檢查表未落實執行	25	7.97	
11			材料檢驗項目未落實執行	7	2.23	
12			矯正預防措施未落實執行	15	4.78	
13			專任工程人員未落實執行	6	1.91	
14			文件紀錄管理未妥善	14	4.46	
15			不合格管制未依約處置	5	1.59	
16			其他	4	1.27	
17	施工品質	混凝土施工品質	有冷縫、蜂窩或孔洞產生	18	5.73	14.01
18			養生不確實、有裂縫收縮	6	1.91	
19			完成面有修飾痕跡或殘留雜物	12	3.82	
20			其他	8	2.55	
21		鋼筋施作常見缺失	綁紮未固定確實或間距不足	7	2.23	4.14
22			表面生銹、油污、混凝土殘碴	6	1.91	
23		模板施工	模板不緊密、漏漿	5	1.59	2.86
24			模板表面殘留雜物	4	1.27	
25		工地勞工安全衛生	防墜等安全措施不足	14	4.46	10.82
26			高空作業未使用安全防護	4	1.27	
27			現場警告措施不足	6	1.91	
28			施工圍籬防護網不足	10	3.18	
29		環保生態保育	現場施工放流水未妥善處理	4	1.27	5.09
30			廢棄物未處理妥當	6	1.91	
31			其他	6	1.91	
32		土方工程	回填土未分層夯實或未紀錄	3	0.96	1.92
33			回填土含有雜物	3	0.96	
34		結構體	排水不良或漏水現象	8	2.55	3.51
35			橋梁支承基座平整度不良	3	0.96	
36		裝修雜項工程	內牆或外牆施工不整度不佳	7	2.23	4.15
37			門窗裝設不良	3	0.96	
38			其他	3	0.96	
39		工地管理	工進落後未妥適改善	5	1.59	3.51
40			工地雜亂、垃圾未處理	3	0.96	
41			現場材料未妥善處理	3	0.96	
42		材料檢驗紀錄	混凝土抗壓強度試驗頻率不足	4	1.27	1.27
合計				314	100	100

三、承包商

承包商之品質管制查核缺失佔 31.21%，其項目為自主檢查表未落實 7.97%、矯正預防措施未落實 4.78%、文件紀錄管理未妥善 4.46%、缺施工查核紀錄或未落實 3.82%、施工計畫未符合且未落實 3.18%、材料檢驗項目未落實 2.23%、專任工程人員未落實 1.91%、不合格管制未依約處置 1.59%及其他 1.27%（見表 1）。顯示尚有些許承包商體質未改變，有待加強其品質管理制度素養。

4.3 施工品質查核缺失檢討

施工品質缺失係指工地現場施作工程時所發生之瑕疵，或不符合圖說規範之缺點，本項屬工程技術面的問題。見表 1，於施工品質類之缺失佔 **51.28%**（混凝土施工品質 14.01%、鋼筋施作 4.14%、模板施工 2.86%、安全衛生 10.82%、生態保育 5.09%、土方工程 1.92%、結構體 3.51%、雜項 4.15%、工地管理 3.51%、材料檢驗紀錄 1.27%）。

交通建設之工程類別繁多，其機能亦為複雜，各種施工之缺失屢屢於工地發生，其主要缺失出現於混凝土施工品質（冷縫、蜂窩、養護不確實、收縮縫、表面雜物）、勞工安全衛生（防墜措施不足、警告措施不足、圍籬不足）兩大項。承包商已能瞭解查核機制並執行之，只是落實程度待加強，特別是於安全衛生、材料管理、完成物外觀處理上等細節處。欲改善施工品質之缺點，上級單位宜加強施工界面整合及落實查核、缺失追蹤；承包商亦應提升自主檢查能力，並負起缺失改善及預防矯正措施之責。

4.4 進度落後原因

交通部暨所屬單位執行之工程標案，截至 2003 年底總計 3,911 件（含完工標案計 1,089 件，賡續執行標案計 2,822 件），契約總金額約四千三佰億元。經彙整統計交通部暨所屬單位填報於工程會網頁上之分月進度，截至 2003 年 11 月底止，工程進度落後之標案共計 214 件，約佔全標案之 7.58%。表 2 為工程進度主要落後原因類別及工程件數統計，以下就各原因類別說明之。

一、設計不完善

因「設計不完善」而造成進度落後之比率為 4.7%。常因顧問公司未能掌握現址地質狀況，設計未符現址需求或錯誤，導致工程延滯及後續變更緩慢，進而引發仲裁之情事發生，造成業主無謂之損失。

二、行政作業延誤

因「行政作業延誤」而造成進度落後之比率為 5.2%。其原因可歸納為主辦機關項及承包商項。於主辦機關之原因為工程執行中辦理變更設計緩慢、新增項目協議不成、公共設施管線施工配合問題、用地取得延誤等，於承包商之原因為土方取得及棄方困難、財務危機作輟無常、職災及施工災害等。

三、用地取得延誤

因「用地取得延誤」而造成進度落後之比率為 3.7%。工程規劃設計時，通常概估拆遷項目與數量，細部設計時再依法定標準計算拆遷及用地取得費用，但在實際需求面，常因民眾抗爭導致用地無法取得，造成工程延誤及增加承包商成本。

四、土方問題

因「土方問題」而造成進度落後之比率為 5.1%。土方處理問題，原則上依內政部頒佈之「營建剩餘土石方處理方案」辦理，惟受限於合法土資場數量不足、剩餘土石方無法多元化處理及運距關係無法交換再利用等因素，造成南部取土難、北部棄土難之問題，致延誤工期。

表 2 工程進度落後原因統計（交通部,2003）

項次	類別	項目	件數	百分比(%)	合計(%)
1	設計不完善	規劃未妥善	1	0.5	4.7
2		設計疏失	1	0.5	
3		現地地質未事先瞭解	5	2.3	
4		設計前勘查不實	2	0.9	
5		設計錯誤	1	0.5	
6	行政作業延誤	新增項目議價不成	1	0.5	5.2
7		變更設計延誤	10	4.7	
8	用地取得延誤	地方政府查估緩慢	2	0.9	3.7
9		地上物漏估	2	0.9	
10		民眾抗爭	3	1.4	
11		用地撥用尚未完成	1	0.5	
12	土方問題	取（借）土不易	6	2.8	5.1
13		棄土不易	5	2.3	
14	不可抗力因素	颱風	2	0.9	5.6
15		豪雨	10	4.7	
16	承包商體質不良	財務困難	5	2.3	32.7
17		人力機具不足	48	22.4	
18		管理不佳	6	2.8	
19		違約	10	4.7	
20		材料上漲	1	0.5	
21	相關單位配合度不佳	管線單位未配合施作	17	7.9	8.4
22		河川公有地申請延誤	1	0.5	
23	施工作業程序	施工動線不佳	9	4.2	27.5
24		施工作業困難（含海上作業）	28	13.1	
25		受主體、鄰標或其它工程影響	11	5.1	
26		施工計畫尚未核定	8	3.7	
27		材料檢驗未完成	3	1.4	
28	社會因素	計畫內容變更	2	0.9	7.1
29		建照申請	7	3.4	
30		人民陳情需求變更	3	1.4	
31		工程災害	3	1.4	
合計			214	100	100

五、不可抗力因素

因「不可抗力因素」而造成進度落後之比率為 5.6%。工程進行中，遭受颱風、豪雨、地震或發生工安疏失，都將造成工程損失及進度嚴重落後，嚴重者會導致承包商倒閉，而影響整體工程計畫之推動，需加以防範，並藉由風險管理來分擔風險。

六、承包商體質不良

因「承包商體質不良」而造成進度落後之比率為 32.7%。此類因素所造成之進度延宕比例最高，尤以承包商人力、機具不足為最，層層契約承攬轉包者多，技術水平參差不齊；次為違約、管理不佳及財務困難，低價搶標者常會面臨嚴苛之履約、品質要求及管理制度之考驗。

七、相關單位配合度不佳

因「相關單位配合度不佳」而造成進度落後之比率為 8.4%。交通部所屬工程大多以鐵、公路為主，若任一配合單位工作延誤，勢將對整體計畫造成延宕，其中以管線遷移及河川地申請為最。這些單位之配合程度往往無法於事前掌握，僅能於工程進行中進行協調，或提送行政院公共工程督導小組，藉跨部會協商取得配合共識。

八、施工作業程序

因「施工作業程序」而造成進度落後之比率為 27.5%甚高。工程施工常隨工址而有所更迭，在都會區受限於施工場地、交通管制，在山區受限於道路狀況、天候、材料運送，在河海處受限於天候等因素；此外，相鄰工程界面之協調成效，亦會影響到工程之進展。

九、社會因素

因「社會因素」而造成進度落後之比率為 7.1%。工程進行中，常受政策、人民陳情而需辦理變更設計，另建照申請時效亦會影響整體工程進度，應加強與民眾溝通，地方政府互動事宜。

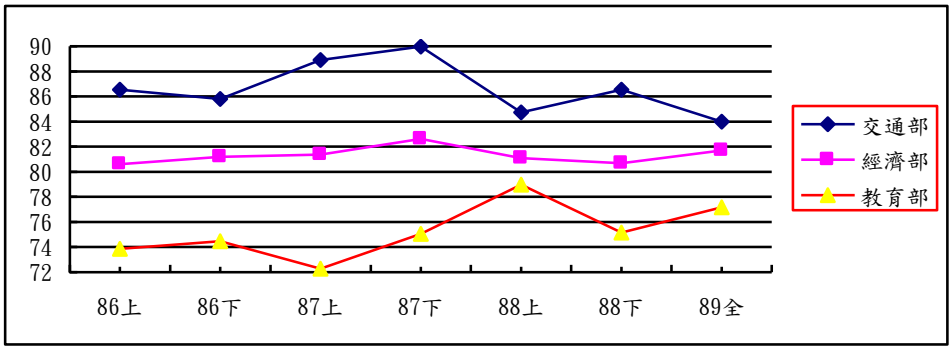


圖 1 交通部、經濟部及教育部之工程評鑑結果比較

最後，為比較交通部建設工程施工品質與他單位之差異性，茲將 1997~2000 年間交通部、經濟部及教育部，所主辦工程之評鑑結果整理於圖 1[曾義誠,2000]；知曉，交通部及經濟部所屬工程評鑑成績皆為 80 分以上，而教育部則普變低於 80 分。究其原因為交通部所屬工程大都為工程專責機關主辦，經濟部所屬工程則為國營事業機構主辦，一般設有工程專責單位；而教育部之校舍工程，則多委由顧問公司辦理設計暨監造事宜。顯示主辦機關如為專責單位，有較嚴謹之工程監督制度，且落實承包商須依照契約規定施工，其品質較佳。

伍、結論與建議

根據交通部辦理 105 件查核標案，所彙整之工程查核情形如下：

1. 於品質管理制度類之缺失佔 48.72%，其中主辦機關及專業管理廠商 1.91%、監造單位 15.60%、施工廠商 31.21%。
2. 於施工品質類之缺失佔 51.28%，其中混凝土施工品質 14.01%、鋼筋施作 4.14%、模板施工 2.86%、安全衛生 10.82%、生態保育 5.09%、土方工程 1.92%、結構體 3.51%、雜項 4.15%、工地管理 3.51%、材料檢驗紀錄 1.27%。
3. 查核之缺失雖普遍存於品質管理制度類及施工品質類裡，惟其缺失多為執行未盡落實，表示各級品管負責單位皆已能瞭解查核機制並執行之，只是落實程度待加強。
4. 截至 2003 年底，交通部暨所屬單位執行之工程進度落後標案計 214 件，約佔全標案之 7.58%。
5. 影響工程進度落後之原因類別依序為承包商體質不良 32.7%、施工作業程序 27.5%、相關單位配合度不佳 8.4%、社會因素 7.1%、不可抗力因素 5.6%、行政作業延誤 5.2%、土方問題 5.1%、設計不完善 4.7%、用地取得延誤 3.7%。
6. 主辦機關如為工程專責單位，有較嚴謹之工程監督制度與能力，且落實承包商須依照契約規定施工，其品質較佳。

參考文獻

1. 曾義誠（2001），「公共工程施工品質管理制度問題與對策之研究」，中央大學土木研究所論文。
2. 行政院(2002)，「監察院調查公共工程品質案」，（行政院 91.10.23 院臺工字第 0910054233 號函），台北。
3. 公共工程委員會（2003），「政府採購錯誤行為態樣」，（行政院公共工程委員會 92.6.5 工程企字第 09200229060 號函），台北。
4. 交通部重大工程督導會報（2003），「工程施工查核作業工作報告」，台北，交通部。

本園地公開，歡迎本局暨所屬各單位委託大專院校、學術機構及顧問公司辦理之研究或專案計畫成果報告，具參考或實用價值者，長稿予以節錄，請惠賜稿件，一經發表，按本社規定致酬。