



4 工作心得及研究報告

基礎補強與鋼管靜壓下沉工法心得報告

一、前言：

有關橋梁耐震補強工程，主要分為（1）橋梁防落設施補強（2）橋墩帽梁墩柱補強（3）橋墩橋台基礎補強（4）地盤改良補強等四大方面；設計時需視各橋梁之現況分別作各種不同的組合，以達成最佳的改善方案。

在橋墩橋台基礎補強工法中，有（1）擴大基礎工法（2）增補基樁工法（3）排樁連續壁工法（4）托底換底工法等。對於樁構架深基礎補強方式，以採用鋼管包覆之靜壓下沉工法最為常用，因其具有低淨空施工環境及產生低噪音、振動環境影響低等優點。

基礎補強鋼管靜壓下沉工法之設計考量要點、施工步驟流程、設備需求、緊急應變措施及安全防護等作較深入的探討，並就目前中山高速公路員高段拓寬水上至新營段工程施工中的實例予以說明。

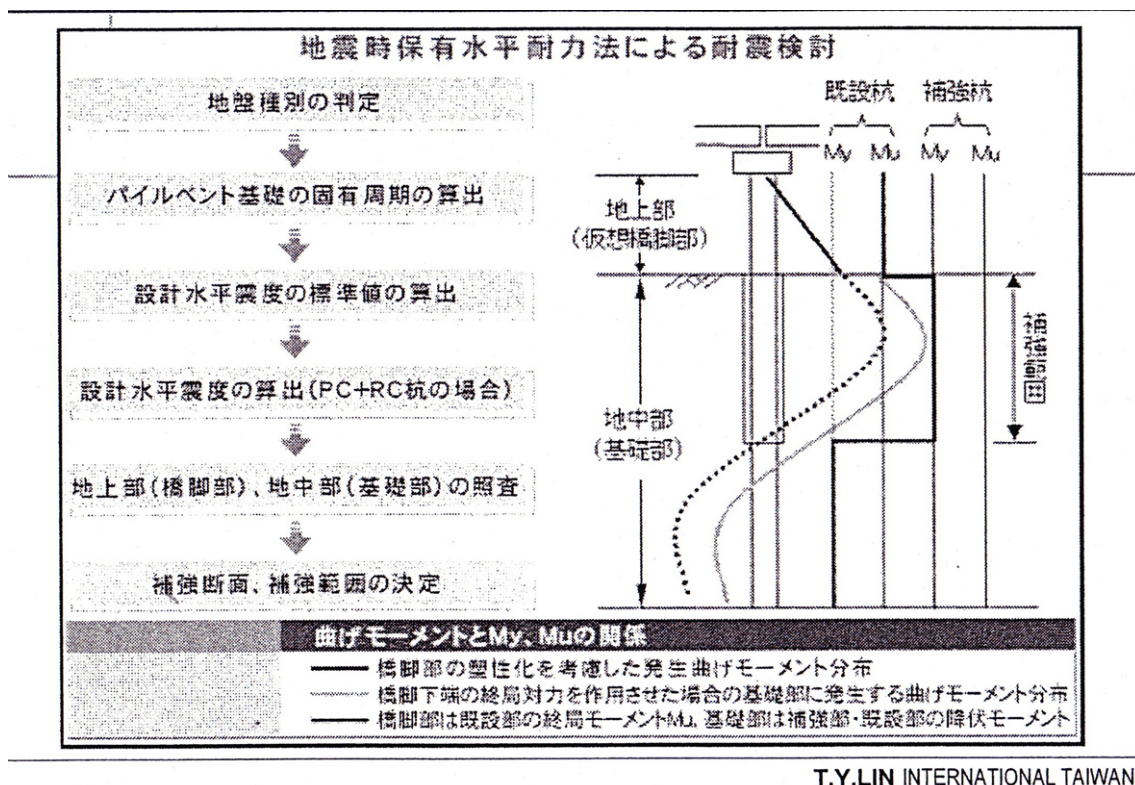


二、設計考量要點

樁構架深基礎補強方式中，鋼管靜壓下沉工法之設計主要考量在：

1. 塑鉸發生於地表以下
2. 圍束區範圍由樁之固定端開始往下三倍樁徑
3. 鋼板包覆補強須至地表下圍束區範圍
4. 為避免開挖造成影響高速公路邊坡穩定危及行車安全，及降低地方道路之交通衝擊，乃採用鋼管靜壓下沉工法
5. 利用現有帽梁為反力座將包覆鋼板壓入

依據日本學者研究分析，有關基礎補強鋼管靜壓下沉工法之地震抵抗力矩分析如下圖所示：





本次心得將探討在中山高速公路員林至高雄拓寬大林至新營段（第541標），中山高速公路里程277K+000至292K+500間五座穿越橋原有結構之耐震補強工程設計與施工。

本標之橋梁之下部結構皆為樁構架式橋墩，為使塑鉸產生於橋柱，而不發生於帽梁，故帽梁先進行補強其彎矩強度，以期使塑鉸產生於橋柱上。而帽梁之補強係以RC包覆工法於帽梁之左右兩側及下方加大混凝土斷面，新舊混凝土間以植筋使其成為一合成斷面，以增加其強度。

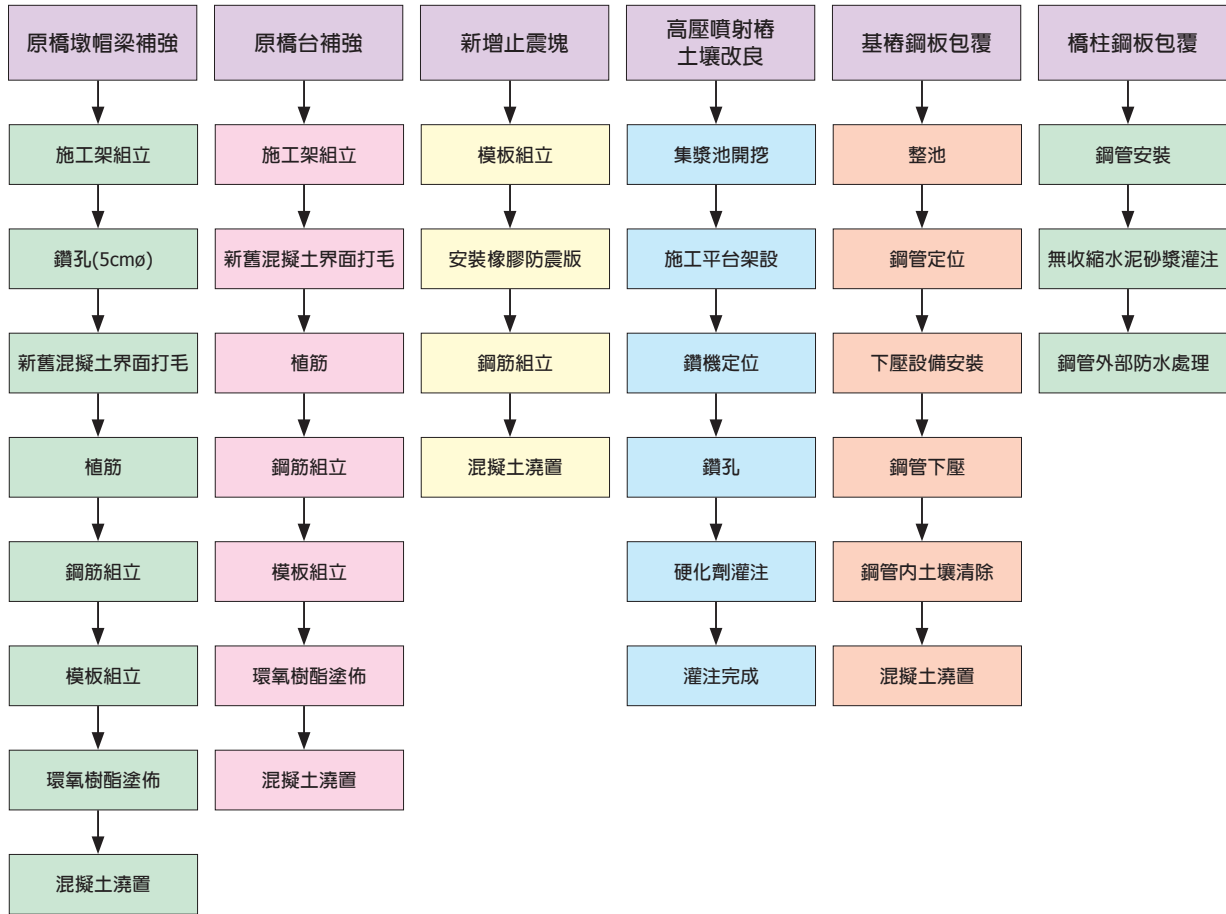
本標穿越橋之原有橋墩柱係以鋼板包覆工法來提升耐震能力，墩柱部分是將原有RC橋柱做表面處理，外表包覆鋼板，其間（間隙約4cm）注入無收縮水泥砂漿，基樁部分係以鋼管下壓方式包覆原有基樁頂部以下6公尺範圍，鋼管與基樁間（間隙約15cm）灌注細粒料混凝土。基樁鋼板包覆注意事項為包覆鋼板之控制精度、現場焊接及壓入工法之要求，依包覆鋼板吊裝及焊接、利用帽梁為反力座將包覆鋼板壓入、高壓水刀清理夾縫土石、無收縮水泥混凝土灌注及防水或防蝕處理等順序施工。

由於樁構架式橋墩橋柱於地表至地表下5m~6m以鋼板包覆，而鋼板與土壤之摩擦力較原RC樁與土壤之摩擦力為小，故補強後造成基樁承載力之下降，且帽梁採RC包覆工法，所增大之斷面增加重量亦需由基樁承受，故採高壓噴射樁（JSG）改良地盤，以增加原基樁之承載力。地盤改良時，沿原基樁周邊施作高壓噴射樁，每支樁周邊施做4支，每支直徑1m，改良深度範圍為樁底以下1D，樁底以上3D，合計4D。（D為原樁樁徑）

穿越橋防落橋設施係於帽梁及橋台補強之RC包覆上方增設止震塊，以符合新規範耐震能力要求。



三、耐震補強施工程序

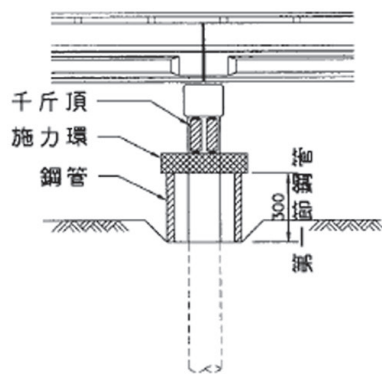


穿越橋耐震補強施工程序圖



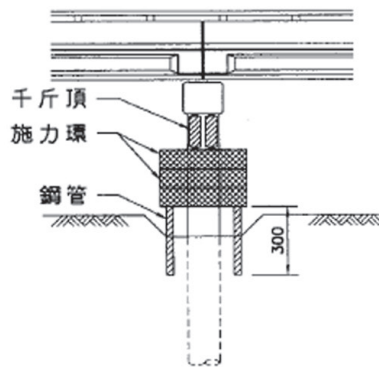
四、施工步驟

原設計圖中基礎補強鋼管靜壓下沉工法之施工步驟有示意圖簡潔的說明
以下各施工步驟：



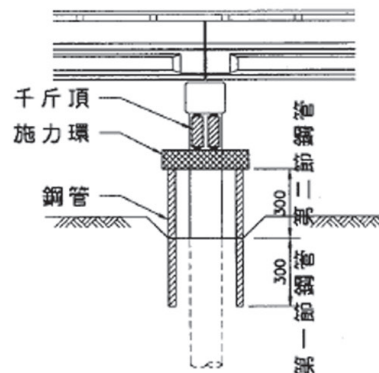
步驟一

1. 基樁四週地盤改良(詳見圖 SR-10).
2. 於地面放樣定位第一節 3m 長鋼管予以組合。
3. 將千斤頂與施力環組合並固定前組合鋼管。



步驟二

1. 藉千斤頂以帽梁為反力座,配合水沖鑽方式將鋼管壓入地面下。

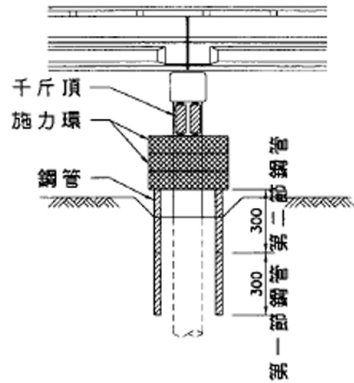


步驟三

1. 將第二節 3m 長鋼管予以組合,並與第一節鋼管銲接。
2. 將千斤頂與施力環組合並固定前組合鋼管。

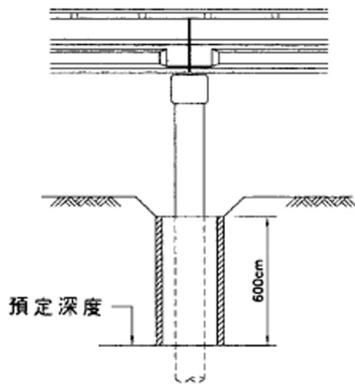


4 工作心得及研究報告 / 基礎補強與鋼管靜壓下沉工法心得報告



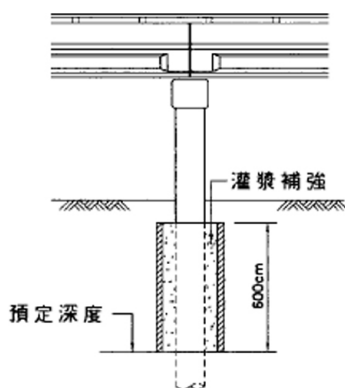
步驟四

1. 將千斤頂以帽梁為反力座, 配合水沖鑽方式壓入鋼管至預定位置。



步驟五

1. 於基樁週圍至少四處放下鑽桿及沖鑽頭至預定深度後由下而上以正循環水沖方式清除鋼管與舊基樁間之殘餘土壤。



步驟六

1. 澆置水泥砂漿或工程司代表核可之材料, 作為封底層。
2. 待迴水顏色清淨後抽乾, 開始第一次灌漿補強作業。



本標實際施作時即依據前章之施工流程，一步步實施；首先進行南82穿越橋實際試挖，結果墩柱實際直徑與設計圖示墩徑相符，基樁實際較設計圖示樁徑大約6cm，鋼套管以基樁實際直徑+30cm作為鋼套管之內徑，鋼板厚度13mm，各穿越橋預定之鋼套管內徑如下，實際鋼套管內徑以實際試挖結果調整。

位置	里程	設計墩徑	設計樁徑	鋼套管內徑	數量
		cm	cm	cm	支
南82穿越橋	278k+684.106	94	102	135	12
菁寮大排	280k+123.709	127	127	160	6
下茄苳大排	283k+612.293	127	127	160	6
縣172穿越橋	288k+386.706	94	127	160	12
南72穿越橋	289k+861.638	94	127	160	12



(一)、鋼管下壓設備檢核

鋼管下壓機具設備配置如下：

項次	名稱	數量
1	100噸油壓千斤頂	4組
2	油壓幫浦	1組
3	鋼管下壓設備	1組
4	工作架	1組
5	灌漿機	1組
6	高壓沖洗機	1台

相關設備檢核如下：

1. 千斤頂

鋼管下壓時使用四座100t千斤頂，衝程70cm，本體高度約85cm。

根據地質鑽探資料，本標地表下10m內之土層，SPT N值最大約為11

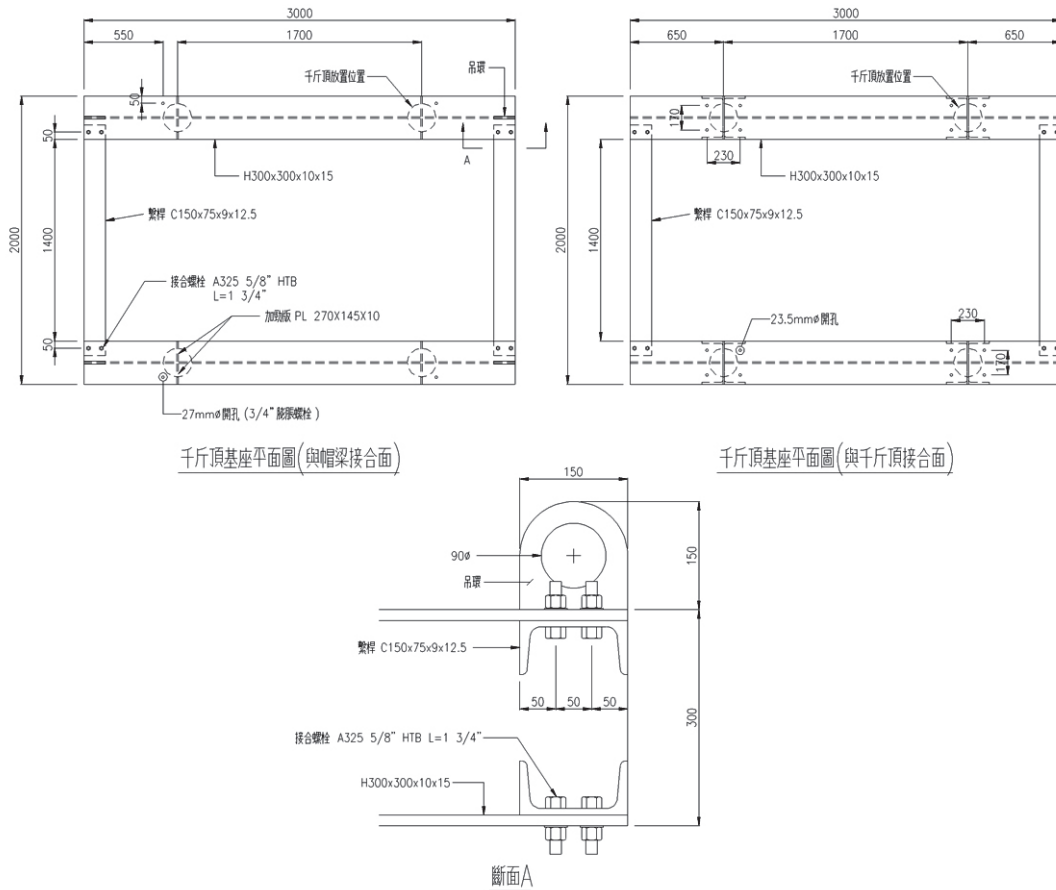
鋼管下壓之表面摩擦阻力 $F_s = N/3 = 11/3 = 3.7 \text{ t/m}^2$

四座千斤頂最大需求能量

$$P = F_s \times \pi \times D \times L = 3.7 \times \pi \times 1.6 \times 6 = 112t < 400t \text{ OK}$$



2. 千斤頂基座



檢核膨脹螺柱

3M鋼套管及下壓設備總重約 $W=4000\text{kg}$ ，膨脹螺柱使用4-3/4”（SH-660 或同級品），極限抗拉力約為 $T=5700\text{kg}$ ，安全係數採用 $FS=4$ 。
 $T/FS \times 4 = 5700/4 \times 4 = 5700\text{ kg} > W=4000\text{kg}$ OK

檢核腹板降伏

$0.66 \times F_{yw} \times t_w(N+5k) = 0.66 \times 2.5 \times 1 \times (30+5 \times (1.5+1.3)) = 72.6\text{ t} > 50\text{t}$
 可不設加勁版



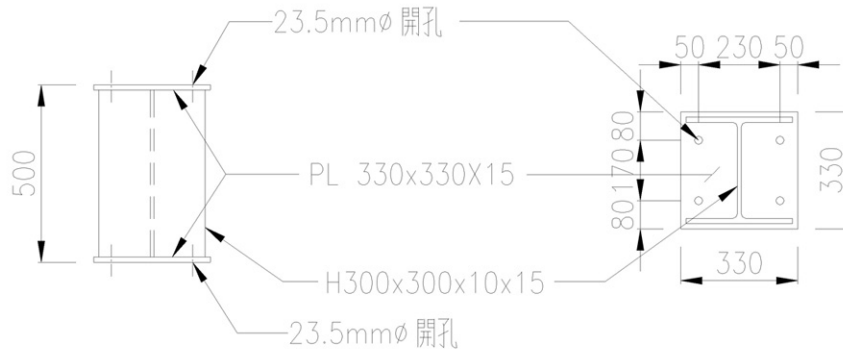
檢核腹板壓皺

$$18 \times t_w^2 \left(1 + 3 \left(\frac{N}{d}\right) \left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right) \sqrt{\frac{F_{yw} \times t_f}{t_w}} = 18 \times 1^2 \left(1 + 3 \left(\frac{30}{30}\right) \left(\frac{1}{1.5}\right)^{1.5}\right) \sqrt{\frac{2.5 \times 1.5}{1}}$$

$$= 91.8t > 50t \text{ 可不設加勁版}$$

3. 墊塊

墊塊使用H300×300×10×15型鋼，材質為ASTM A36，每段長度50cm，鋼套管總長度6m，為2截長度各為3m之套管連接，墊塊接合後最大總長度為3m，墊塊與千斤頂、墊塊間以及墊塊與鋼套管座間之接合均以4-7/8” A490 HTB 接合。



墊塊詳圖



檢核抗壓強度

墊塊與千斤頂之接合處視為鉸接端，墊塊與鋼套管座之接合處視為固定端

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{2500}} = 128.8$$

$$KL/r = 0.8 \times 300 / 7.56 = 31.75$$

$$Fa = \frac{(1 - \frac{(KL/r)^2}{2Cc^2})F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}(\frac{KL/r}{Cc}) - \frac{1}{8}(\frac{(KL/r)^3}{Cc^3})} = \frac{(1 - \frac{31.75^2}{2 \times 128.8^2}) \times 2500}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 31.75}{8 \times 128.8} - \frac{1}{8}(\frac{31.75^3}{128.8^3})} = 1379 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fa \times A = 1379 \times 118 = 163t > 50t \text{ OK}$$

檢核螺栓拉力

墊塊以4-7/8" A490 HTB接合，每支螺栓容許拉力為14.7t

H300×300×10×15型鋼弱軸容許最大彎矩 M

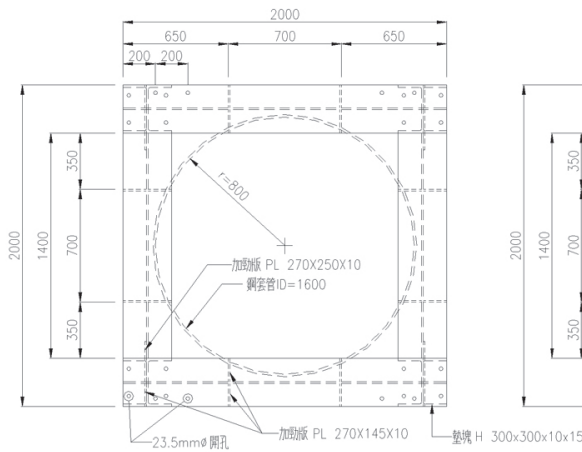
$$M = Fa \times S_y = 1500 \times 450 = 6.75 \text{ t-m}$$

螺栓最小拉力需求 T

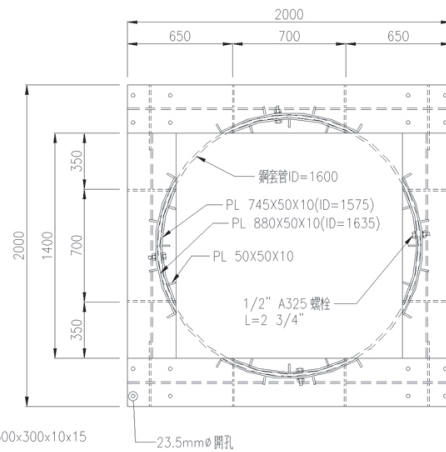
$$T = M/D = 6.75 / 0.25 / 2 = 13.5 \text{ t} < 14.7t \text{ OK}$$



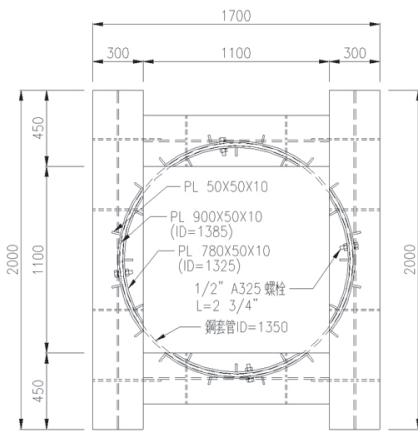
4. 鋼套管座



鋼套管座平面圖(與墊塊接合面)

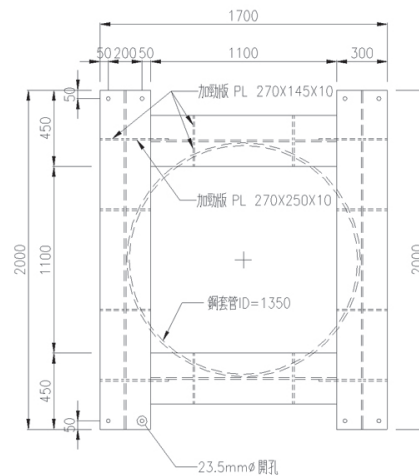


鋼套管座平面圖(與鋼套管接合面)



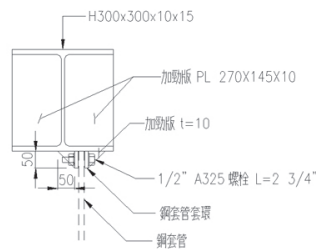
下鋼套管座平面圖(與鋼套管接合面)

僅用於南82 穿越橋



下鋼套管座平面圖(與鋼套管接合面)

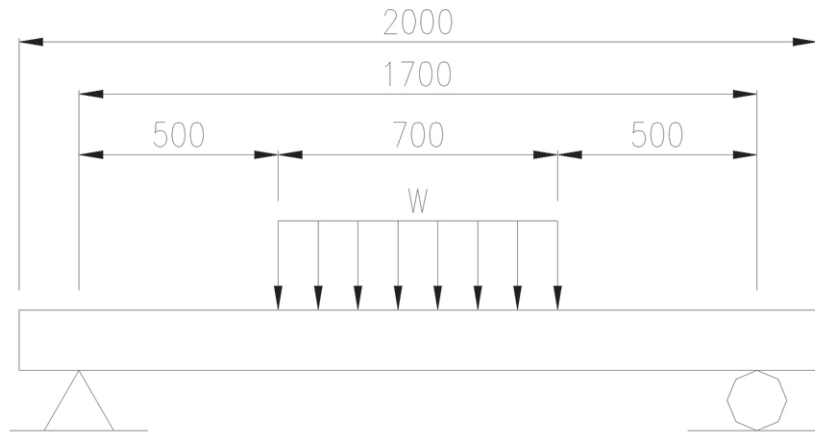
僅用於南82 穿越橋



鋼套管座斷面圖



檢核型鋼 H300×300×10×15



以簡支梁考慮

$$W=50/0.7=71.5 \text{ t/m}$$

$$M_{\max}=Wab/2+Wb^2/8=71.5 \times 0.5 \times 0.7/2+71.5 \times 0.7^2/8=16.9 \text{ t-m}$$

$$M_{\max}/S_x=16.9 \times 10^5/1350=1252 \text{ kg/cm}^2 < F_b=0.6F_y=1500 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

$$V_{\max}/(d \times t_w)=25000/(30 \times 1)=833 \text{ kg/cm}^2 < F_v=0.4F_y=1000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$



(二)、鋼管下壓施工步驟：

1. 整地：考量鋼管下壓設備需求空間，整地後，帽梁下方至地表面之淨高除南82穿越橋外，最少需4.8M，南82穿越橋淨高最少需5.1M。
2. 第一截鋼套管組裝：兩片鋼套管組合前先於下端焊接4個間隔器以及安裝高壓沖洗管，兩片鋼套管就定位後，先點焊臨時固定。
3. 安裝鋼套管座：當鋼套管套環套入鋼套管後，以4-1/2” A325螺栓接合，再將鋼套管依設計圖之要求焊接。
4. 安裝千斤頂：千斤頂吊放於鋼套管座之預定位置，每一千斤頂以4-7/8” A490 螺栓連接固定。
5. 安裝千斤頂座：依圖示位置先吊放千斤頂座之H型鋼底座，並以7/8” A490螺栓連接固定，其後再安裝C型鋼繫桿，以保持千斤頂之相對位置。
6. 鋼管下壓設備固定：利用手拉吊車將鋼管下壓設備及鋼套管拉起或以千斤頂頂昇至千斤頂底座碰觸到帽梁，於千斤頂底座預留孔處鑽孔，再以膨脹螺絲將設備懸吊固定於帽梁上，膨脹螺絲鎖固前調整鋼管之垂直度，待鋼管之垂直度調整完畢後，千斤頂底座與帽梁間之間隙以薄鐵片填塞，再鎖固膨脹螺絲，。
7. 鋼管下壓：鋼管下壓後之傾斜度依就地澆注混凝土樁之要求，容許傾斜度為1/100，每一千斤頂設置相對變位計作下壓時千斤頂伸長量的控制，相對變位計聯結至電腦顯示器上以讀數表示，控制千斤頂伸長量之最大差異在3mm以內，鋼管下壓時，於鋼管內配合高壓沖洗機將鋼管內之砂土洗出以減少下壓時之摩擦阻力，洗出之砂土經簡易沉澱後就地攤平或作為路堤填築材料，經簡易沉澱後之水則予以放流。



8. 裝設墊塊：千斤頂衝程為700mm，鋼管每下壓500mm後，於鋼套管座與千斤頂間放置墊塊，墊塊以螺栓接合固定，再進行鋼管下壓動作，如此反覆至第1截3M鋼管下壓完成。
9. 裝設第二截鋼套管：第一截鋼套管下壓 3m後，先將鋼套管座上設備移除後，再吊裝第2截3M鋼套管座，第1、2截鋼套管依設計圖規定焊接固定後，依步驟2、3安裝鋼套管座，再將千斤頂伸出至鋼套管座後以螺栓接合固定。
10. 鋼管下壓：依步驟7、8將鋼管下壓至預定深度。
11. 設備移除：將膨脹螺栓鬆開後，將整組設備降至地面後逐一分離。
12. 鋼管內積水抽除：管內封底後，以真空泵浦將管內積水全部抽除後即可進行混凝土澆注。
13. 第一次灌漿：第一次灌漿以280kg/cm² 之細粒料混凝土澆置至鋼管頂下方約6cm處。
14. 第二次灌漿：第二次灌漿待橋墩柱鋼管包覆完成後，以350kg/cm² 之無收縮水泥砂漿一同灌注。

(三)、緊急應變措施

1. 下壓深度以每50cm為一檢查點，若鋼管超過容許傾斜度時，則由鋼管最高處下壓至鋼管完全垂直後再繼續同步下壓。
2. 由於試挖深度最多達地面下2m，且每座橋僅試挖一處，無法全面得知鋼管下壓範圍內之基樁表面情況，若遇原基樁因坍孔而超打之混凝土塊或黏附於基樁之大石塊等無法排除之障礙物而無法下壓至預定深度時，則暫停施作，待會商解決後再行施作。若遭遇孤立大石塊時，則以機械或人工方式破碎移除之；若為基樁灌漿造成之擴大樁徑時，則須加大鋼管直徑以方便通過。
3. 在菁寮大排及下茄苳大排穿越橋施作時，由於橋下淨高不足，無法以圍堰方式施作，只能趁枯水期將河水改道後施工，施作期間需密



切注意氣象預報，若遇突發之洪水，以人員疏散為第一優先，無法搶救之機具設備則待洪水消退時再行檢修。

4. 在菁寮大排及下茄苳大排穿越橋墩基樁周圍地下障礙物範圍太大，加大樁徑已超出所能施作範圍。經設計單位建議於外端增加基樁，再以RC地梁加以連結，達到耐震補強之功能。

(四)、安全防護

1. 施力前之壓力錶、千斤頂須經檢驗校正。
2. 每日施工前、後皆須檢查油壓千斤頂系統管線，油壓表等功能正常。
3. 用電
 - (1) 裝設漏電斷路器。
 - (2) 電氣設備必須接地措施。
 - (3) 各種電氣設備應有定期檢查設備。
 - (4) 減低電路對地電壓。
 - (5) 適當地使用絕緣防護器具及工具。
 - (6) 電線的配置位置宜架高為主避免人員觸及。
 - (7) 非接地配電方式。
 - (8) 電線不超過其安全電流，即沒有過載情形發生。
 - (9) 導線與器具的連接應確實。
 - (10) 電線不可超載使用。
 - (11) 電氣開關周圍不得放置易燃物品。
 - (12) 電氣開關應張貼警告標誌並加鎖、防止外人隨便開啓。如有變壓器電氣設備應加防護柵欄以策安全。
 - (13) 電氣開關應放置滅火器。



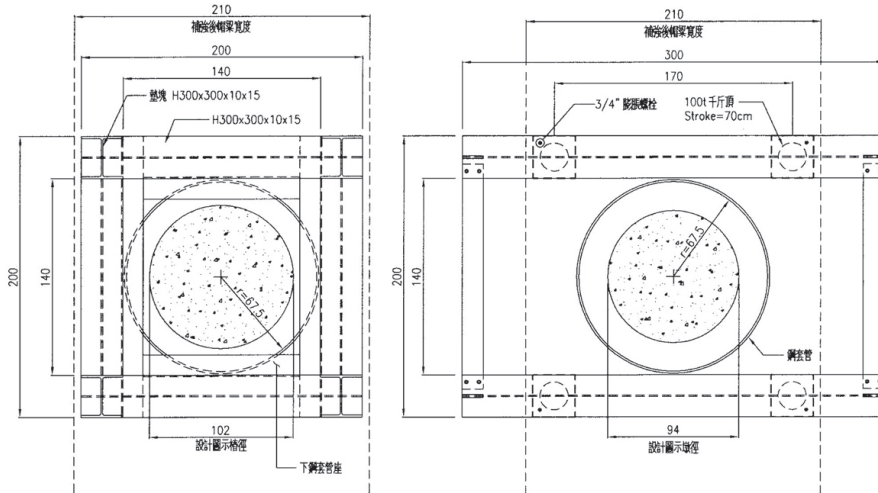
五、結語

橋梁耐震補強工程是延續橋樑使用壽命措施之一，其工法的選擇必須依施工環境及橋樑現況特性來作最經濟最有效的組合，方能產生最有效益的補強結果，鋼管靜壓下沉工法適用於受限低淨空、噪音及振動等環境，施工過程的經驗分享，敬祈各位工程先進，不吝指正。

- **何漣** 林同棧工程技術顧問股份有限公司員高段拓寬工程嘉義監造計畫辦事處副理
- **方水連** 高速公路局拓建工程處斗南工務所主任
- **梁順典** 高速公路局拓建工程處斗南工務所工程員

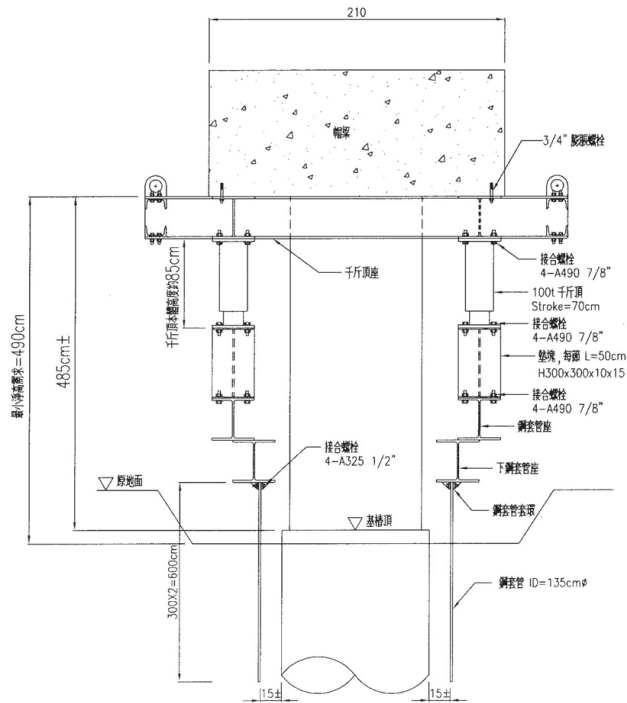


附件1：穿越橋鋼管下壓設備配置圖



南82穿越橋鋼管底座配置平面圖

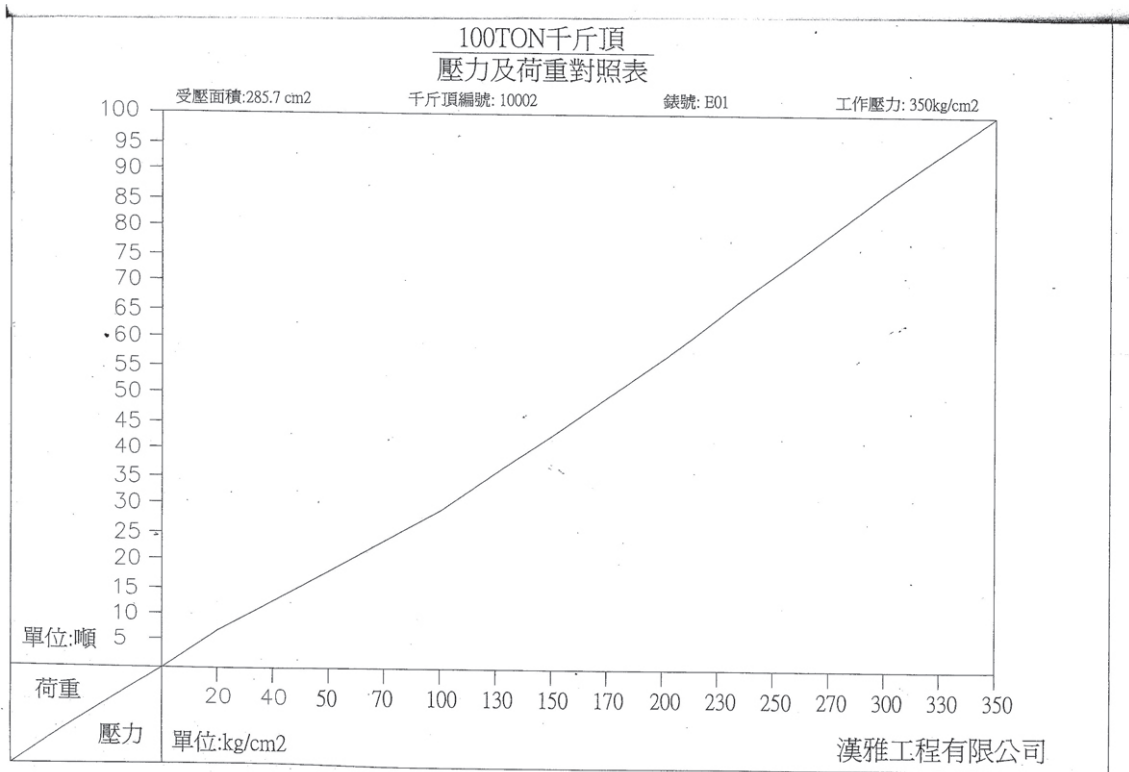
南82穿越橋千斤頂配置平面圖



南82穿越橋鋼管下壓設備配置立面圖



附件2：千斤頂壓力及荷重對照表





附件3：基樁鋼板包覆自主檢查表

工程名稱	中山高速公路員林至高雄拓寬大林至新營段第541標工程	標別	541	編號	
里程樁號		承包商	泛亞工程建設(股)公司		
施工位置		檢查日期			
項目	檢查細項	結果	檢驗標準	備註	
下壓前	基樁實際直徑 (cm)				
	基樁頂實際高程 (m)				
	原地面高程 (m)				
	施工區域淨高是否足夠				
	簡易沉澱水池或水槽是否設置妥當				
	鋼套管總長度是否足夠?		長度 \geq 6m		
	鋼套管實際厚度是否足夠?		厚度=15mm		
	鋼套管實際內徑是否足夠?		實際樁徑+30cm		
	鋼套管外觀是否變形、受損?				
	焊材是否符合規定?		AWS A5.1 E70 \times \times		
	焊道是否符合規定?		非破壞檢驗合格報告		
	開槽角度是否符合規定?		開槽角度55 $^{\circ}$ ~70 $^{\circ}$		
	背墊板是否符合規定?		墊板 t \geq 3mm		
	焊接面是否符合規定?		粗糙度 100S以下		
備註	○：合格 △：部分合格 ×：不合格				

工地代理人：

工程師：



基樁鋼板包覆自主檢查表 (2/2)

工程名稱	中山高速公路員林至高雄拓寬大林至新營段第541標工程	標別	541	編號	
里程樁號		承包商	泛亞工程建設(股)公司		
施工位置		檢查日期			
項目	檢查細項	結果	檢驗標準	備註	
下壓前	電焊工及電焊機具是否符合規定？				
	鋼套管定位是否正確？				
	下壓變位控制器是否已安裝？		變位計量測範圍 >60cm		
下壓時	千斤頂加壓時，相關下壓設備是否有鬆脫、斷裂或過大變形發生？		下壓設備無鬆脫、斷裂或過大變形發生		
	千斤頂加壓時，安全監測是否發現有異常情形？		相鄰結構體無任何變位		
	鋼管傾斜度是否在容許範圍內？		傾斜度1/100以內		
	千斤頂實際最大施力大小 (t)		<100t		
	鋼管下壓時帽梁混凝土表面是否有新裂紋產生或破壞？		無新裂紋產生		
	鋼管下壓時是否有配合管內沖洗？				
下壓後	鋼管頂面是否與基樁頂平齊？				
	管內深度是否足夠？		管內深度 $\geq 6m$		
	管內積水是否已抽除？				
	管內是否以細粒料混凝土填充？		$f_c' = 280kg/cm^2$		
	混凝土完成面離管頂是否有6cm？				
備註	○：合格 △：部分合格 ×：不合格				

工地代理人：

工程師：



百噸油壓千斤頂及測微計



同步油壓衝程監視



預裝高壓沖洗



套管內沖洗



管底無收縮砂漿封底



灌漿



附件4：現場施工照片



試挖



鋼管安裝焊接



焊道超音波檢驗



防銹漆膜厚



靜壓下沉



靜壓下沉