

台北市忠孝橋托底工程案例介紹
**UNDERPINNING FOR PIER A15
OF CHUNGHSIAO BRIDGE OF TAIPEI**

蘇信淵，彭嚴儒，朱旭，陳鴻濤
S. Y. Su, Y. R. Peng, H. Ju and H. T. Chen

原著載於地工技術雜誌第 53 期
1996 年 2 月, 第 55~64 頁

*Reprinted from Sino-Geotechnics,
Taipei, Taiwan
February, 1996, No. 53, pp.55~64*

台北市忠孝橋托底工程案例介紹

蘇信淵、彭嚴儒
亞新工程顧問公司

朱旭、陳鴻濤
台北市政府捷運工程局中工處

關鍵詞：托底，地盤改良，荷重轉移。

摘 要

台北市忠孝橋橋墩 A15的基礎原係由 16 支直徑 0.5公尺、長度35公尺之鋼管樁支撐，由於捷運隧道路線通過該橋墩下方，必須於潛盾隧道通過前對橋墩先進行托底工程及切除北側之 6 支鋼管樁。托底作業期間橋墩之容許沉陷量為 10公厘。主要工程項目包括設置直徑 1.2公尺、長度50公尺之基樁 5 支及深 2公尺、寬 1.5公尺之支承梁。並於新設之托底支承梁之樁及帽梁施作時，開挖深約 8公尺。橋墩荷重轉移作業期間採用自動監測系統即時監控轉移過程。監測項目計有基樁、帽梁、千斤頂及橋墩之位移量，千斤頂荷重及以鋼筋計監測基樁荷重。觀測結果顯示轉移期間千斤頂最大總荷重 達483 噸，最大衝程約 3公厘，基樁最大沉陷約0.2公厘。整個荷重轉移過程中，橋墩隆起約 1.5公厘。而捷運南港線下行線潛盾通過期間，橋墩僅產生約 1公厘之沉陷。

UNDERPINNING FOR PIER A15 OF CHUNGHSIAO BRIDGE OF TAIPEI

SU S. Y., PENG Y. J.,
Moh and Associates, Inc.
JU H., CHEN H. T.

Dept. of Rapid Transit Systems, Taipei Municipal Government

KEY WORDS: UNDERPINNING, SOIL IMPROVEMENT, LOAD TRANSFER.

ABSTRACT

Pier A15 of Chunghsiao Bridge is founded on 16 steel pipe piles with a diameter of 500mm. Six of these piles were in the way of two stacked tunnels of the Taipei Rapid Transit Systems and had to be removed before the shield machine passed under the pier. The bridge structure is a continuous prestressed beam. The settlement of the pier was limited to 10mm. A pit was made first to expose the pile cap and to provide sufficient headroom for subsequent operations. Five cast-in-place concrete bored piles were installed and cast into a load-transfer slab. The load from the bridge was transferred to these new piles by

jacking the pile cap against this transfer slab before the cutting of the old piles. A total jacking force of 483 tones was applied. After all these six piles were cut, the transfer slab was structurally connected to the pile cap to form a composite cap and the operation was then completed. Instrument readings indicate that the pier heaved up by an insignificant amount of 1.5mm during underpinning. The settlements of new piles were only 0.2mm. The lower tunnel has been completed and the settlement of the pier during the passing of the shield machine was only 1mm.

一、前言

台北都會區近年來人文、經濟突飛猛進，平面構造物已擁擠到不敷使用程度，而逐漸往立體方面發展，向上興建之高層樓結構物如雨後春筍般地出現，立體橋梁交織層數愈來愈多；向下構築之地下街、站體愈挖愈深，面積愈來愈大；潛盾隧道亦大規模建造，使得使用空間受到相當限制，甚至在整體條件、環境考量下，不得不從既有結構物下方通過。為不妨礙原有構造物之功能及不影響安全之原則下，托底(underpinning)工程乃因應而生。托底工程顧名思義即以其他輔助措施托承原有上部結構物，將妨礙工程施作之下部結構物所承受之荷重轉移至已完成之新設構造物上。目前國內並未大量使用托底工法，能改線或拆除者，皆予以優先考慮，因此完成之托底案例並不多見，本文內容即針對台北都會區大眾捷運系統南港線 CN253B 標，施工中所採行之托底工法為例，詳細介紹整個工法之作業流程、施工狀況及荷重轉移階段之自動化監測系統配置目的與結果探討，以供爾後類似工程設計及施工之參考。

二、工程概況

台北市忠孝西路西端的忠孝橋為連絡台北縣市間之主要橋梁之一，共有17座橋墩，主橋面為六線快車道及兩線慢車道，至忠孝西路上下坡段則為四線快車道，本案例之 A15 橋墩係位處忠孝西路及博愛路口，與西、東兩側相鄰之橋墩A14及A16各相距約為31.5公尺，基地概況如圖一所示。橋墩北、南二側為 2 至 4 層建物，與橋墩相距 15 至 30 公尺。此外橋墩基座樁帽正下方有一寬約3.8公尺，高約3公尺之馬蹄型涵管通過且橋面下垂直淨空有限，周邊平面交通量甚大，在在都增加了托底工程施工的困難度。

忠孝橋 A15 橋墩基座長、寬為 8.5 公尺，厚度 1.8 公尺，基礎由 16 支長 35 公尺，樁徑 0.5 公尺之鋼管樁組成，其中北側 6 支鋼管樁位於捷運潛盾隧道路線上，為使潛盾機得以通過，需將上述鋼管樁之荷重先行移轉至附近新設 5 支樁徑 1.2 公尺之反循環基樁，並將該鋼管樁切斷及拔除。為達上述目的，除了施作反循環基樁外，尚須於橋墩周圍進行明挖工作，以提供足夠的空間構築支承梁、版及進行原有基樁切除作業。明挖工作最大開挖深度達 8 公尺，其擋土措施係採鋼板樁及兵樁橫板條。

補充鑽探孔 B-4 資料顯示，A15 橋墩下方約有 0.8 公尺之表層覆土，其下則為松山層之各次層，相關之土壤性質如表一所示，地下水位面在地表下 3~4 公尺。

三、托底工法步驟介紹

本托底工程係移除橋墩下方與捷運潛盾隧道相互衝突之基樁，前置作業包括既有管線遷移、車道縮減、明挖作業、擋土結構施作、軟弱土層之地盤改良及新設基樁施作。其施工步驟分述如下：

3.1 擋土結構打設

配合各區開挖深度不同，本基地擋土鋼板樁打設深度計有 6 公尺及 18 公尺二種，其佈設位置如圖二所示。其中基地東北側部份鋼板樁受限於橋面下方之淨空高度無法打設，改以 10 公尺深之兵樁橫板條，配合開挖底面下方之地盤改良作為其擋土措施。

3.2 反循環基樁施作

為承載原有鋼管樁切除後所移轉之橋墩荷重，於原有橋墩四周新設 5 支樁徑 1.2 公尺，樁長約 50 公尺之反循環基樁，平面配置如圖二所示。5 支基樁中 1，4，5 號樁則因橋面下基樁施工作業所需之淨高不足，改採地面先行降挖方式，以克服基樁施工機具作業淨空不足之問題。

3.3 地盤改良

本基地施作地盤改良之目的主要為阻絕松山層之松五透水層內地下水、增強開挖面土壤之自立性、保護馬蹄型涵管及增加兵樁橫板條被動側土壓，共計施作 JSG 高壓噴射灌漿樁 2 公尺樁徑者 37 支、1.2 公尺樁徑者 56 支及 SL 低壓灌漿 48 孔，相關之平面配置及改良深度如圖三及表二所示。其中 SL 低壓灌漿係改良馬蹄型涵管下方土壤，以避免其因開挖變形而受損。

3.4 開挖、支撐及承梁版構築

為執行荷重移轉及原有基樁切除工作，於 A15 橋墩下方進行明挖作業，共分三階開挖及架設兩層支撐，開挖最大深度達 8 公尺。

當第二階開挖工作完成後，隨即進行轉承結構體構築，使其與已完成之反循環樁結成一體。第三階開挖至預定深度後，另朝欲切除之鋼管樁方向挖掘一長、寬、高分別約 12 公尺、4 公尺及 3.5 公尺之橫坑，以利鋼管樁切割及拔除工作。

3.5 荷重轉承

荷重移轉為托底工程之成敗關鍵，其作業程序須謹慎處理。茲將設計規劃考量及荷重移轉階段預力荷重加載流程分別詳加說明於后。

3.5.1 設計規劃考量

本項托底工程執行重點在移轉妨礙潛盾隧道施工之基樁荷重於新設樁基礎上，基於此項原則設計階段考量之項目包括：

- (1) 既有結構體評估。

- (2) 托底結構體基礎評估。
- (3) 土壤承载力調查。
- (4) 托底結構設計評估。
- (5) 荷重移轉加載過程之監測系統評估。

為確保荷重轉承階段橋梁結構體之安全，須精密控制橋墩之絕對沉陷變化。為達此目的，於新設基樁底部設置絕對變位計。此變位計底部埋設於景美礫石層中(可視礫石層為不動點)，頂部引伸至樁帽高程，以便據此推估各監測點之絕對變位。

3.5.2 預施荷重加載流程

本計劃採用每組容量 300噸之托底用萬向球座油壓千斤頂／荷重計組體 5 組，供作支承反力系統，以進行荷重轉移。每只千斤頂最終加載荷重為90噸。承梁完成後，架設千斤頂／荷重計組體於指定位置，將油壓管連接至分流器與油壓幫浦。轉移荷重時分 5 階段同步施加，每階段荷重維持約 15 分鐘，並檢核監測系統變位計變化量是否已趨於穩定，再進行下一階段加載，直至每只千斤頂荷重達 90噸為止，並持續觀測結構沉陷量達 24 小時之久，若沉陷量低於管理值，且呈穩定狀態，則進行鋼管樁切除工作，否則先行解壓再檢討。

3.6 原有基樁切除

原有 A15 橋墩基樁為鑽掘式鋼管樁，長 35 公尺、外徑 0.5 公尺，壁厚 12 公厘之鋼管樁，內部於樁頂高程下方 0 至 3 公尺段以鋼筋混凝土回填，3 至 6 公尺段以無筋混凝土回填，深度 6 公尺以下則以砂回填。荷重轉承後隨即進行原有基樁外部鋼管切除，及混凝土敲除工作，俟 6 支基樁切斷後，荷重移轉程序即告全部完成。

原鋼管基樁切斷後，隨即進行拔除作業，以清除潛盾隧道路線上的障礙。圖四為潛盾斷面與原鋼管基樁相關位置圖。其中地面高程(EL)約為104.03公尺，鋼管樁於高程 81 公尺處切斷後，並進行其上段鋼管之拔除作業，至於高程 81 公尺以下之鋼管，因已不影響潛盾隧道，則仍棄置原地，不予處理。此外切除前須先行將樁

內回填砂清除以利機具置入切割。並為防止鋼管樁切斷、拔除時地下水由管內或遺留之樁位空洞上湧，於切斷處內外側施作 SL 二重管灌漿改良。

拔樁作業時首先預拔 20 至 30 公分以破壞樁壁與土壤間之握裹力，爾後鋼管每拔升 50 公分即切除之，其管內遺留之空隙則以 1:3 乾拌水泥砂回填。實際拔樁記錄顯示，各樁拔升時最大拉拔力約 300 至 330 噸，遠大於預估之摩擦力 250 噸（考慮安全係數 $FS=2$ ），研判較可能之原因為場鑄鋼管樁外側與土壤間之空隙過去曾以水泥砂漿回填所致。此外，地盤改良施灌壓力可能對鋼管樁外側土壤產生壓實作用，增加了管壁之摩擦力。另外，曾於拔除 3 號樁時，因鋼管接縫焊接處斷裂，經採地盤改良及以鋼襯環作臨時擋土措施，開挖直徑 2 公尺工作井至高程約 85 公尺之斷樁處，重新焊接後恢復拔樁作業。

四、儀器監測結果

4.1 儀器配置

本項托底工程關係到後續潛盾工程之進行，在不影響忠孝橋安全之前提下，施工期間於橋墩本體及附近建物上密集佈設監測儀器，以掌握各項資訊。配置儀器包括橋墩本體上之傾斜儀、相對變位計、承梁非接觸式變位計、墩基變位計、千斤頂荷重計、新設基樁絕對變位計及鋼筋計等，其平面配置如圖五所示，上述儀器均採自動化測讀，其配置數量、目的、量測頻率及管理值，如表三所示。

有關上述各項變位計之量測原理以圖六說明如下，首先假設新設深達礫石層之基樁底部為不動點，以基樁變位計測得各基樁之絕對變位量，接著以固定於 P3 及 P4 基樁上之非接觸式變位計，測得承梁特定點（測點 SN4, 5, 6）之變化量，此變化量須根據 P3, P4 基樁之絕對變位量來修正非接觸式變位計測線高程，以決定上述特定點之絕對變位量。假設兩測點間為線性變化則可推估承梁各部位之變化情形。根據同一原理再以另一條相互垂直之非接觸式變位計，配合相對變位計推估墩基及承版之絕對變位量。此外於附近建物上亦配置一般沉陷點及房屋傾斜儀，平面配置如圖一所示，量測頻率於荷重轉承階段則大致為每天 1 次。

4.2 結果分析

整個托底工程施工要項包括鋼鉸樁打設、反循環樁施作、地盤改良、開挖支撐、荷重轉承、原有基樁拔除及回填復舊等。茲先以距 A15 橋墩最近之二層樓磚造結構物與人行地下道上之監測儀器為例，其沉陷及傾斜觀測結果如圖七至九所示，資料顯示荷重移轉前各沉陷點變化約在±7公厘內。沉陷點 SB166 在地盤改良期間呈隆起現象，隆起量約 4至5公厘，傾斜變化則在 3 分內。A15 橋墩傾斜儀 TI14 在地盤改良期間於 CD 向(平行橋梁軸線，正值表朝西傾斜)有約1分傾斜量。荷重移轉至回填復舊期間各項儀器讀值變化皆於管理值允許範圍內。民國 84 年 3 月底，各項儀器測讀值均有明顯變化，研判可能與鋼鉸樁拔除之振動及拔後剩餘孔隙回填不實有關。各施工階段儀器變化整理如表四所示。此外在潛盾下行線通過期間橋墩約有 1公厘之沉陷變化及朝西向約16秒之傾斜量。

為更精確及密集監控施工狀況，除上述監測儀器外，另於荷重移轉前在 A15 橋墩四周佈設多種自動化監測系統，荷重移轉階段於新設基樁預載期間、原有基樁切斷期間及靜置期間各儀器之變化詳述如下：

- (1) 預載期間：新設基樁預載階段分 5 階段施加，每階段各只千斤頂加載 18 噸，累積總預載力達 455 噸，滿足 450 噸之設計總力要求，新設基樁完成預載後 24 小時內預載力呈穩定狀態。在施加载重過程中墩基與承版間之相對變位計 (RD) 有約 2.23公厘至2.63公厘之伸張量。新設基樁處之絕對變位計 (PS) 讀值變化在 -0.05公厘至0.16公厘之間，顯示加載階段反循環樁無顯著變動，而相對變位計之伸張現象應係墩基被頂起所致，與橋墩傾斜儀測得朝西南向傾斜現象相吻合。
- (2) 基樁切斷期間：隨著原有基樁逐一切斷，新設基樁之總預載力值呈下降現象，惟於中央部份預載力微幅增加 (LJ2, LJ3)，兩側部份則減少 (LJ1, LJ4, LJ5)，研判可能為預載後，因預載力略較作用於原有基樁之荷重為大，使得橋墩微量隆起，原有基樁之樁身摩擦力改向，以致當基樁逐一切斷時，該反向摩擦力所產生之牽制效應逐漸減少或消失，因而造成預載力下降。為避免總預載力值損失過多，在總值低於 440 噸時，即行補加載，整個切斷期間總預載力值維持在 440 噸至 483 噸間。同期間相對變位計及其餘儀器皆無顯著變化，顯示切樁對橋梁及附近建物無影響。

- (3) 靜置期間：基樁切斷三日後進行墩基與承版間空隙無收縮混凝土澆置作業，此時部份儀器必須先行拆除，包括相對變位計及承梁非接觸式變位計，而千斤頂因被混凝土包覆無法再施載，僅能量測讀值而已。當無收縮混凝土澆置及養護期間監測系統曾發生當機，以致漏失二日之資料，當再度恢復監測時部份儀器讀值則有明顯變化，譬如千斤頂荷重計總噸數由 461 噸增為 572 噸，墩基絕對變位計 PD2 由 1.42 公厘增為 4.69 公厘（正值表隆起）。此後連續觀測二週各儀器讀值呈穩定狀態且變化量均在警戒值內。

五、結論

台北市忠孝橋為因應捷運系統潛盾隧道施作，所進行之托底工程在相關單位協力下，得以圓滿完成，且未對附近交通造成衝擊。茲僅就本案例綜合歸納下列結論：

- (1) 荷重移轉為整個托底工程之關鍵，精確之預載程序控制及結構物反應行為密集量測，皆有賴配備完整之自動化監測系統，否則難盡其功。
- (2) 掌握既有結構物之構造及其基礎型式，將可準確估計新設基樁之預載力，本案例施工結果顯示總預載力與預估值頗為接近。
- (3) 整個托底工程的施工過程中，對橋墩影響較大之作業程序為地盤改良階段，造成最大 66 秒之傾斜變化及 4.2 公厘之隆起量，顯見地盤改良之工法選擇、壓力研訂及作業細節等等事項，皆是托底工程中值得深入探討之課題。
- (4) 監測結果顯示荷重轉承階段橋墩約隆起 1.5 公厘且朝西南向傾斜，基樁最大沉陷量僅約 0.2 公厘。各儀器測讀值皆控制於管理值允許範圍內，未對橋墩及鄰近建物造成不良影響。

誌謝

亞新工程顧問公司受台北市政府捷運工程局聘為大地工程專業顧問，參與本工程之設計審查及施工諮詢。本文承蒙台北市政府捷運工程局惠准發表，並承清水/太平洋聯合承攬提供詳盡資料，使本文得以順利完成，在此謹誌謝忱。

參考文獻

清水/太平洋聯合承攬(民國83年)，CN253B標A15托底工程PART(I)~(V)施工計劃書。

表一 A15橋墩基地簡化土層與土壤參數表

層次	土壤分類	厚度 (m)	平均 N值	r_t kN/m ³	\bar{C} kN/m ²	$\bar{\phi}$ Deg.
6	CL	4.2	6.0	19.35	0	30
5	SM	9.8	8.4	19.92	0	33
4	CL	8.5	6.0	19.33	0	32
3	SM	19.0	22.0	20.75	0	32
2	CL	4.7	25.0	20.00	0	33
礫石層	GM	—	>50	22.1	0	45

註：本表參數除 \bar{C} 、 $\bar{\phi}$ 摘自設計圖說外，其餘均為額外工區調查 B-4孔試驗結果。

表二 托底工程地盤改良相關數據一覽表

施灌方式及樁徑	施灌目的	編號	施灌高程	施灌時間 (年、月、日)
JSG高壓噴射灌漿 φ1200mm	阻絕透水層及鋼板樁 缺口處止水性補強	101~154, 200,201	EL: 100.5m~86m	83.5.25~83.6.22
JSG高壓噴射灌漿 φ2000mm	增加土壤被動土壓	1~13	EL: 96m~93.5m	83.5.25~83.6.22
	增強開挖面之自立性	14~37	EL: 99.5m~94.5m	83.5.25~83.6.22
SL二重管複合灌漿	保護既有馬蹄型涵管	1~48	EL: 99.5m~96m	83.6.28~83.7.6

表三 自動化監測儀器數據一覽表

儀器名稱及 編號	數 量 (組)	管 理 值		目 的
		警 戒 值	行 動 值	
橋墩傾斜儀 TI	2	2分	4分	量測施工過程中橋墩所可能產生之傾斜變化量
相對變位計 RD	5	5mm	10mm	量測每階段油壓加載及荷重轉移中墩基與承樑之相對變位量與荷重之關係
非接觸式絕對變位計 SN	6	5mm	10mm	量測支承梁X、Y軸之絕對變位量
墩基絕對變位計 PD	4	5mm	10mm	量測荷重轉移時墩基之絕對變位量
千斤頂荷重計 LJ	5	*	*	量測每一支承點所承受之荷重
新設基樁絕對變位計 PS	5	5mm	10mm	量測新設基樁因載重所引起之絕對沉陷量
鋼筋計 RB	10	2500 kg/cm ²	3500 kg/cm ²	量測荷重轉移階段實際傳遞至每支新設基樁之應力

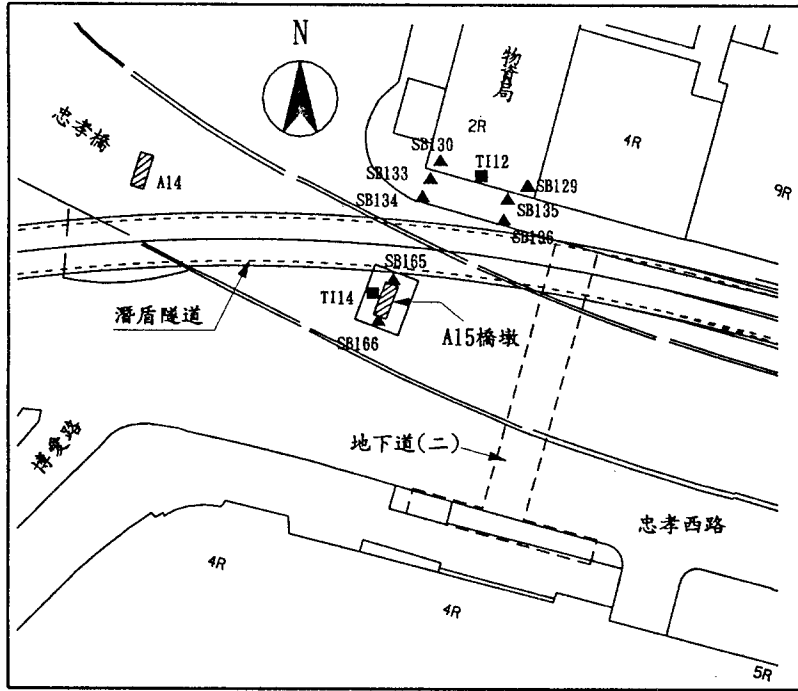
*配合階段預載及沉陷量測值調整千斤頂荷重

**量測頻率自5分鐘至1小時不等

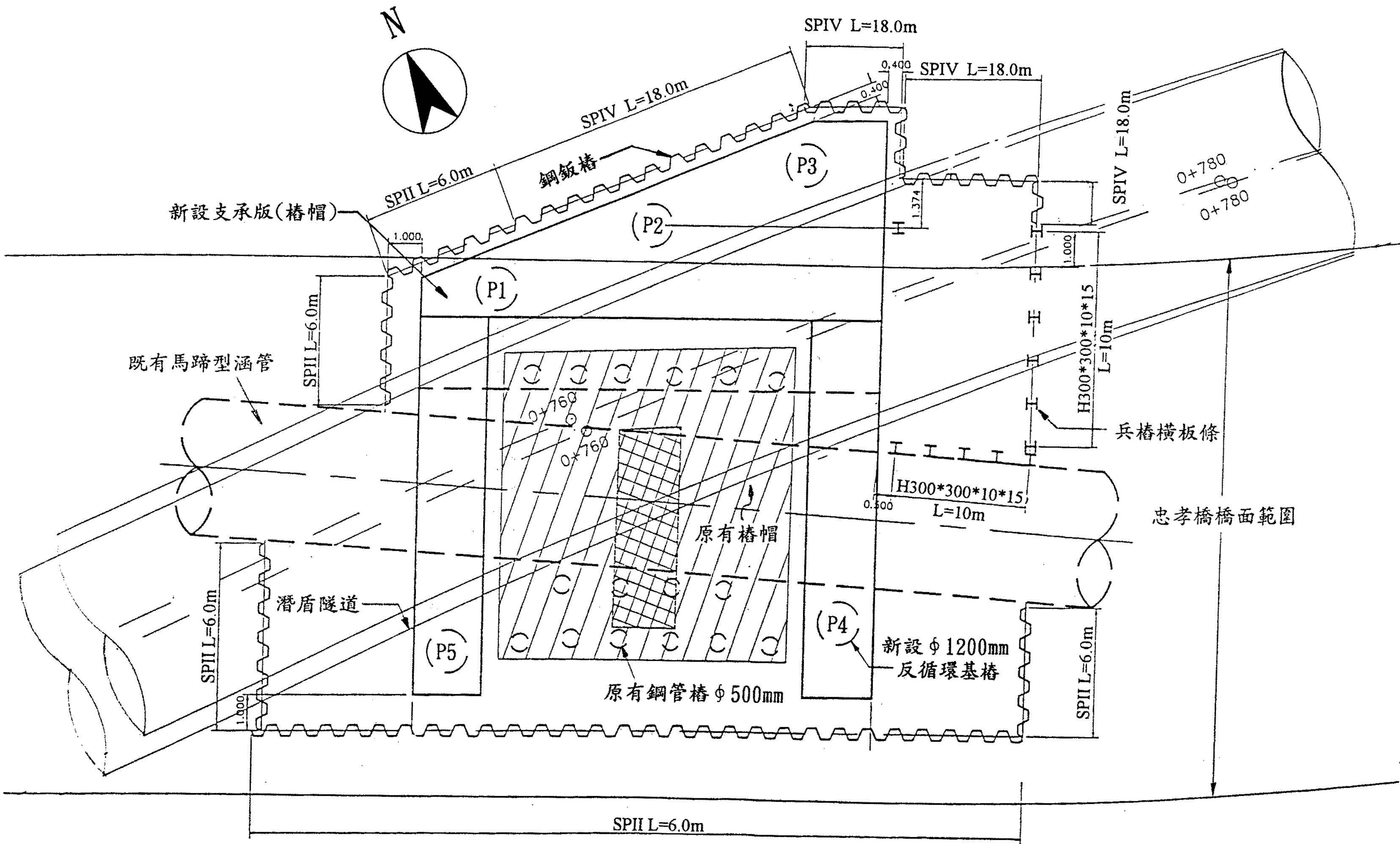
表四 A15橋墩附近一般性監測儀器於各施工階段之測讀值變化一覽表

儀器編號	儀器位置	鋼板樁打設 82.12.22~83.2.2	反循環樁施作 83.4.15~83.5.2	地盤改良 83.5.25~83.7.6	開挖支撐 83.7.13~83.9.24	應力轉承 83.9.27~83.9.29	鋼板樁拔除 84.3.25~84.3.29
TI12AB*	忠孝西路物資局騎樓	-4秒	25秒	0秒	-8秒	-17秒	-33秒
TI12CD*	忠孝西路物資局騎樓	4秒	-17秒	-8秒	-8秒	8秒	0秒
TI14AB*	A15 橋墩	-4秒	-17秒	17秒	-4秒	-4秒	4秒
TI14CD*	A15 橋墩	-4秒	25秒	66秒	33秒	4秒	21秒
SB165	A15 橋墩北側	0mm	-0.8mm	1.4mm	0.2mm	0.4mm	-2.7mm
SB166	A15 橋墩南側	0.2mm	-0.7mm	4.2mm	0.4mm	-0.9mm	-1.6mm
SB129	忠孝西路物資局騎樓	-1.5mm	0.3mm	-0.1mm	-0.4mm	0.1mm	-1.6mm
SB130	忠孝西路物資局騎樓	-0.9mm	-0.6mm	-0.1mm	1.0mm	-1.2mm	-1.1mm
SB133	地下道(二)建物上	-0.9mm	-0.9mm	0mm	0.1mm	0.3mm	0.6mm
SB134	地下道(二)建物上	-1.1mm	-2.0mm	0.3mm	0.2mm	0.5mm	-1.6mm
SB135	地下道(二)建物上	-1.7mm	-1.8mm	0mm	-0.4mm	0.3mm	-1.0mm
SB136	地下道(二)建物上	-1.4mm	-2.3mm	-1.9mm	0.7mm	-0.2mm	-2.4mm

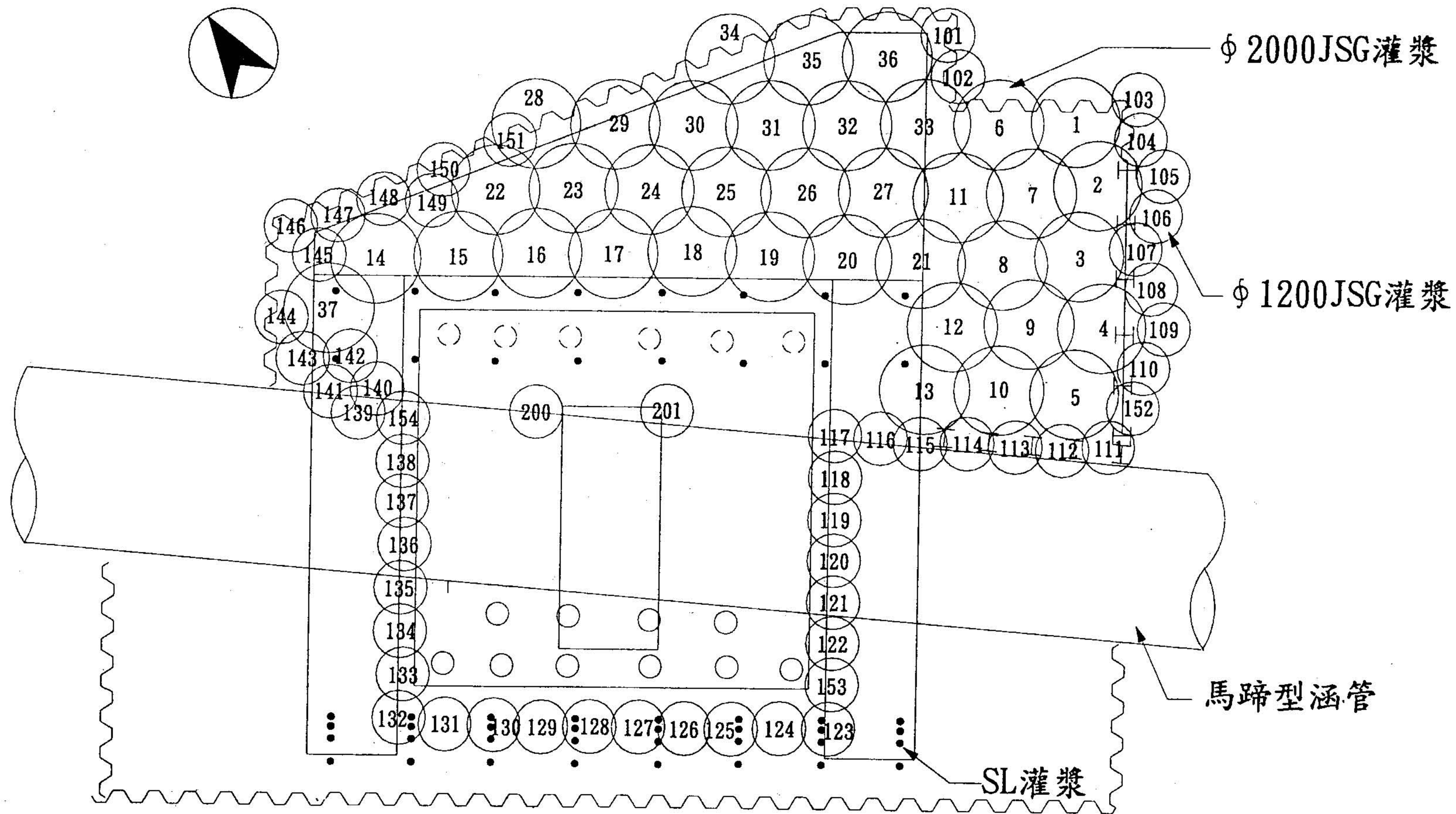
*註：TI12AB正號表朝南向，CD正號表朝東向
TI14AB正號表朝北向，CD正號表朝西向



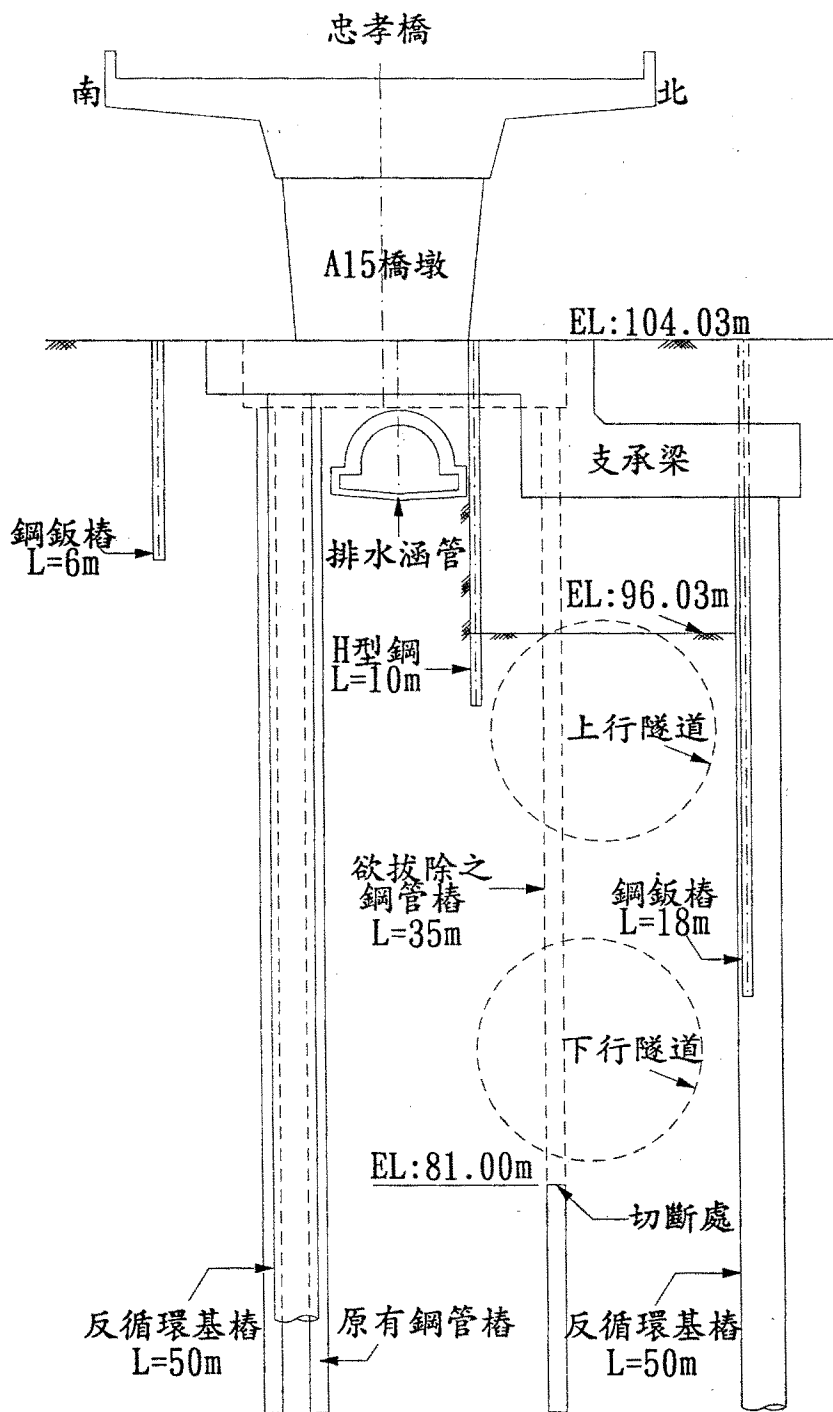
圖一 台北市忠孝橋A15橋墩基地概況圖



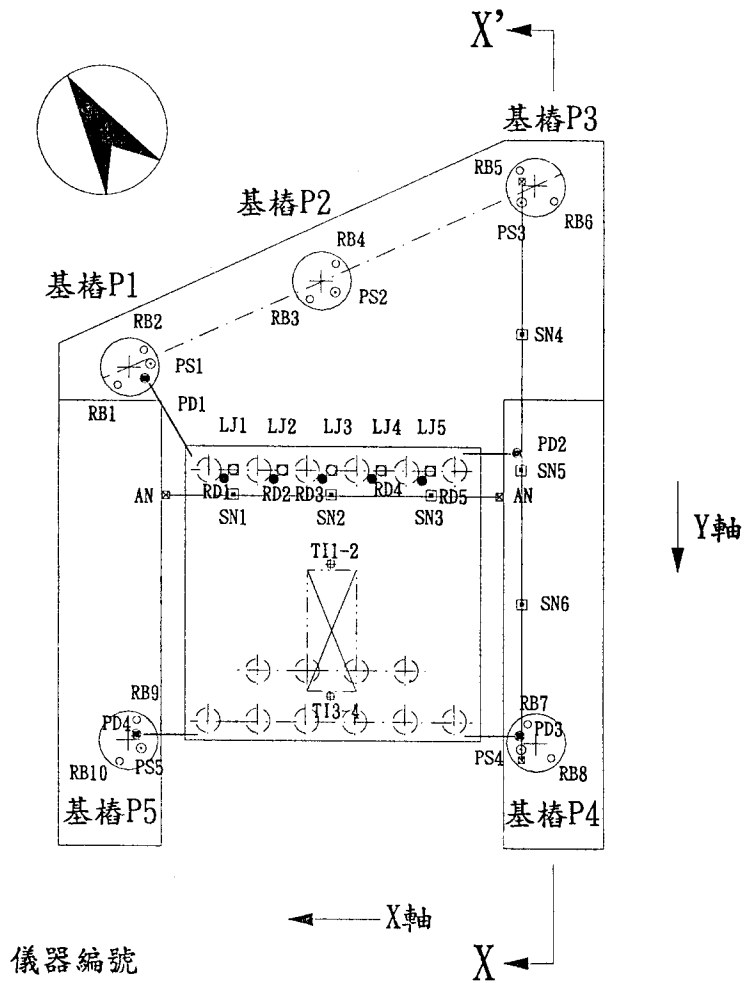
圖二 鋼板樁平面配置及新舊基樁位置圖



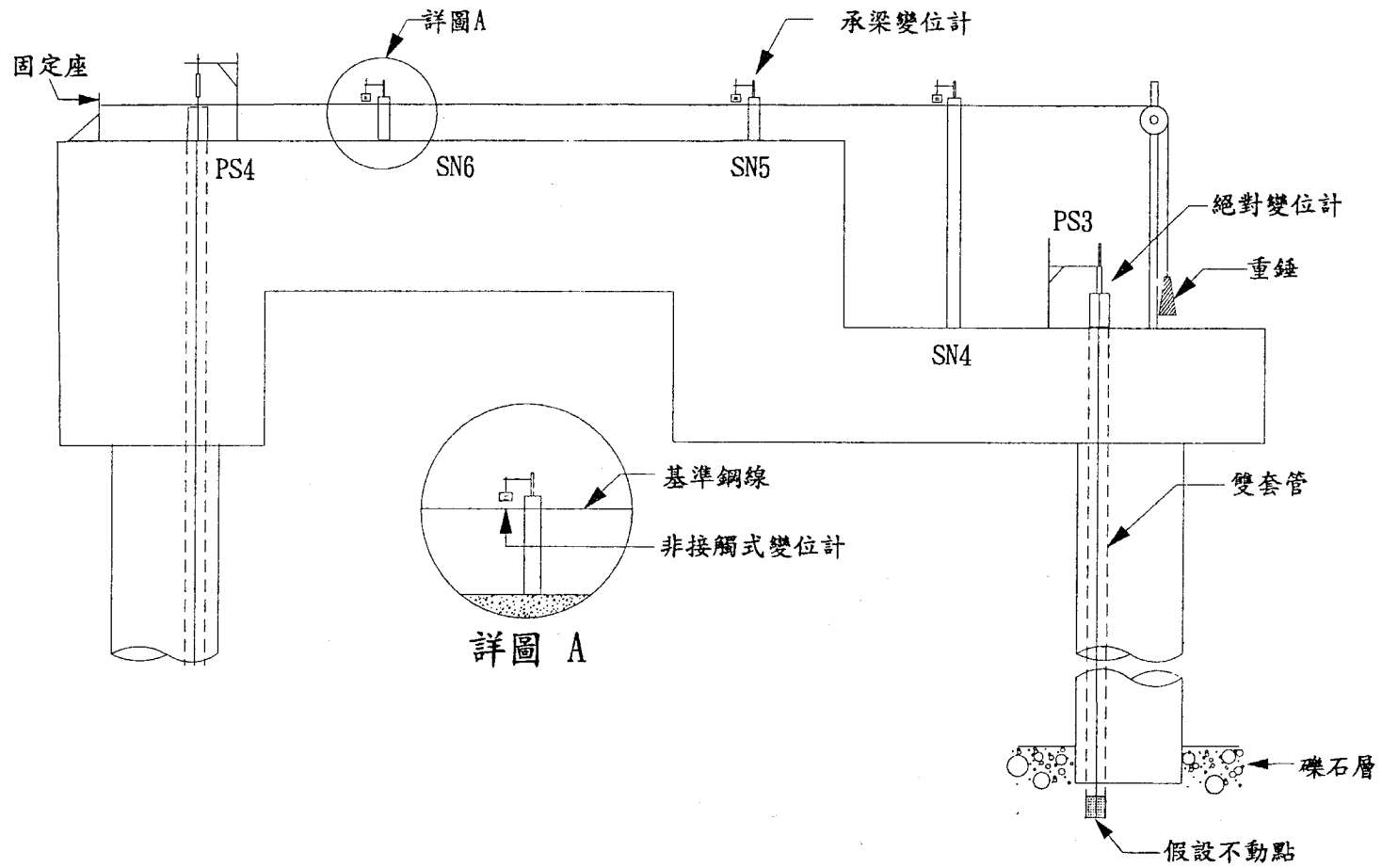
圖三 地盤改良平面配置圖



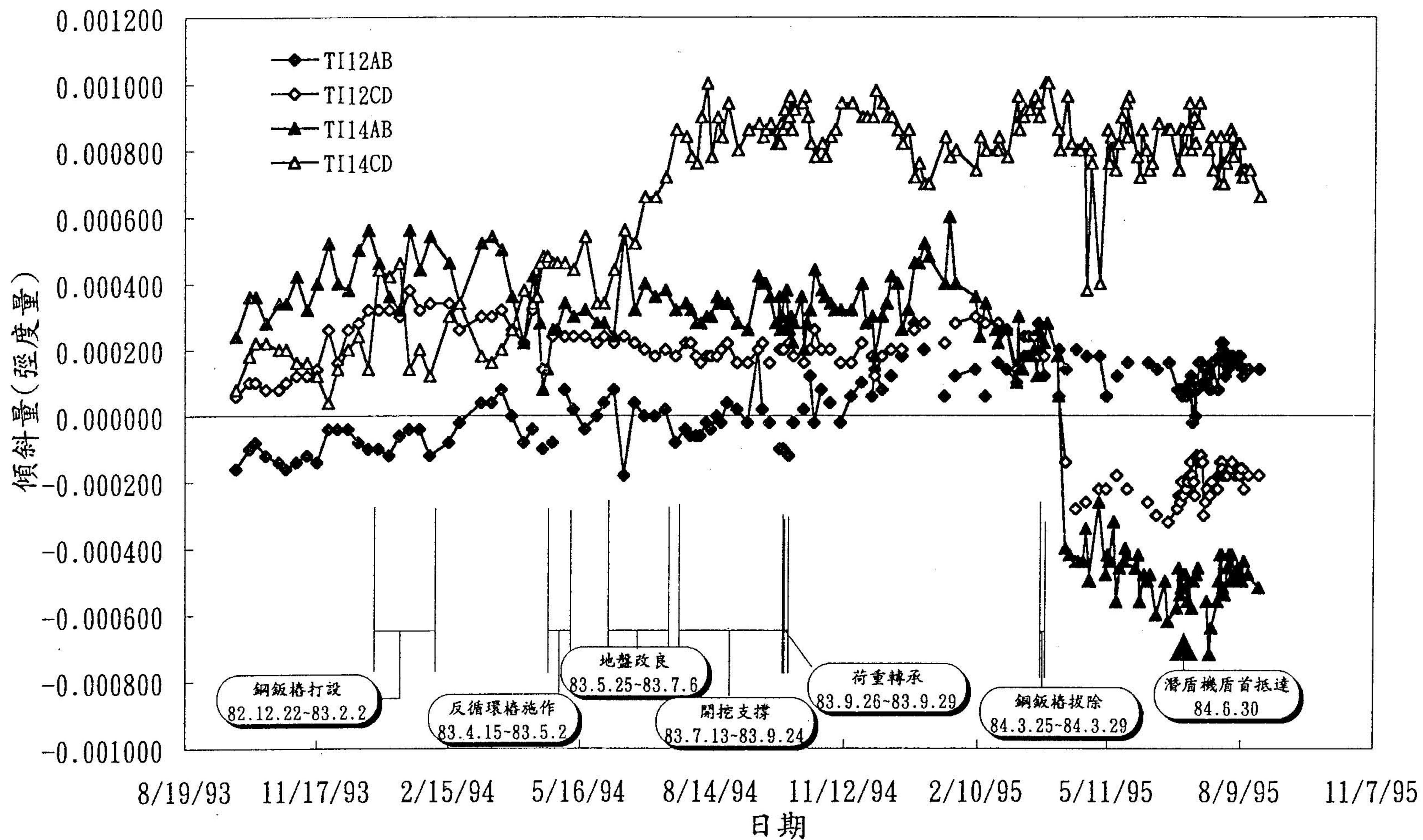
圖四 潛盾隧道斷面與原鋼管基樁相關位置圖



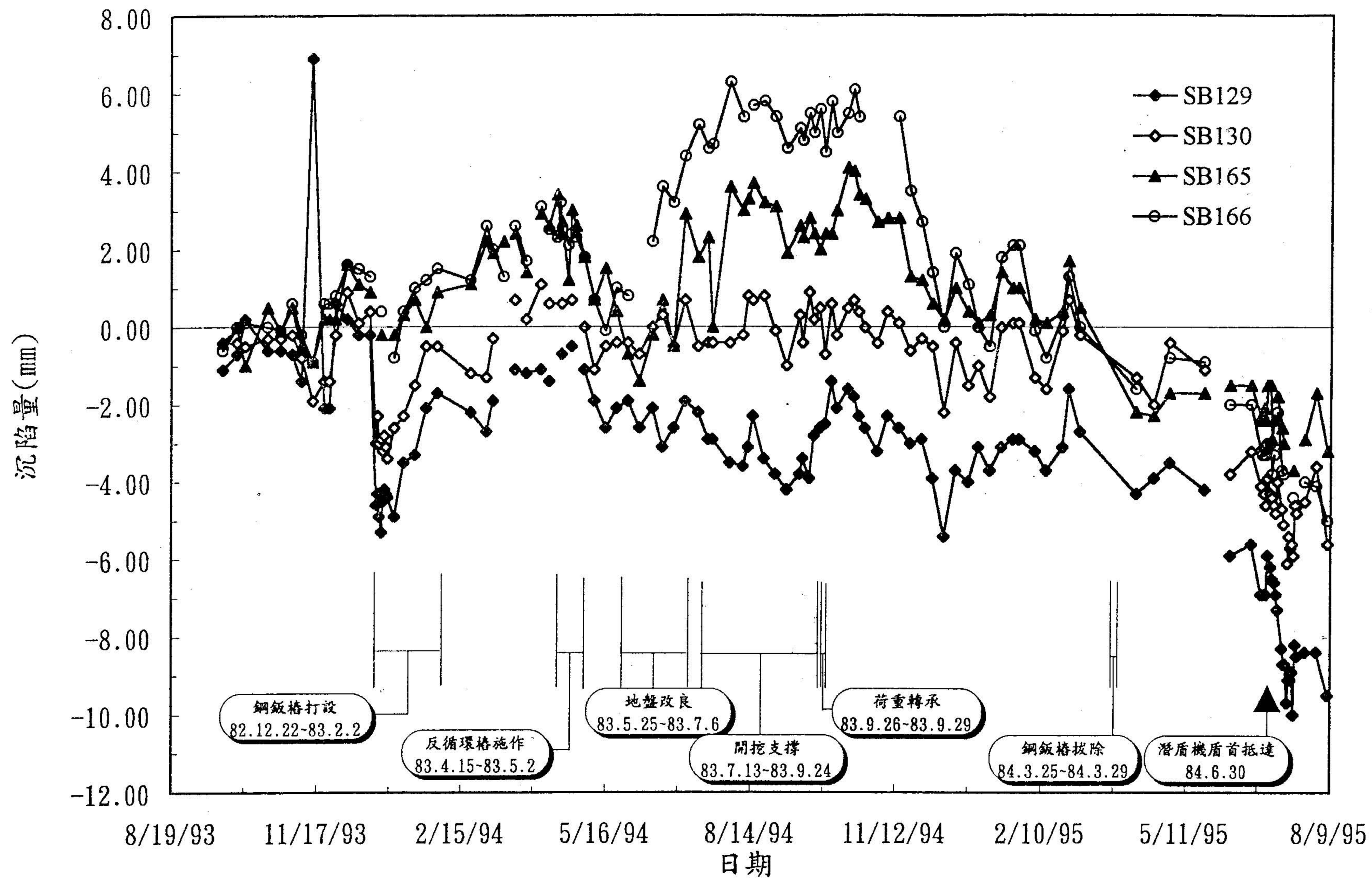
圖五 自動化監測系統平面配置圖



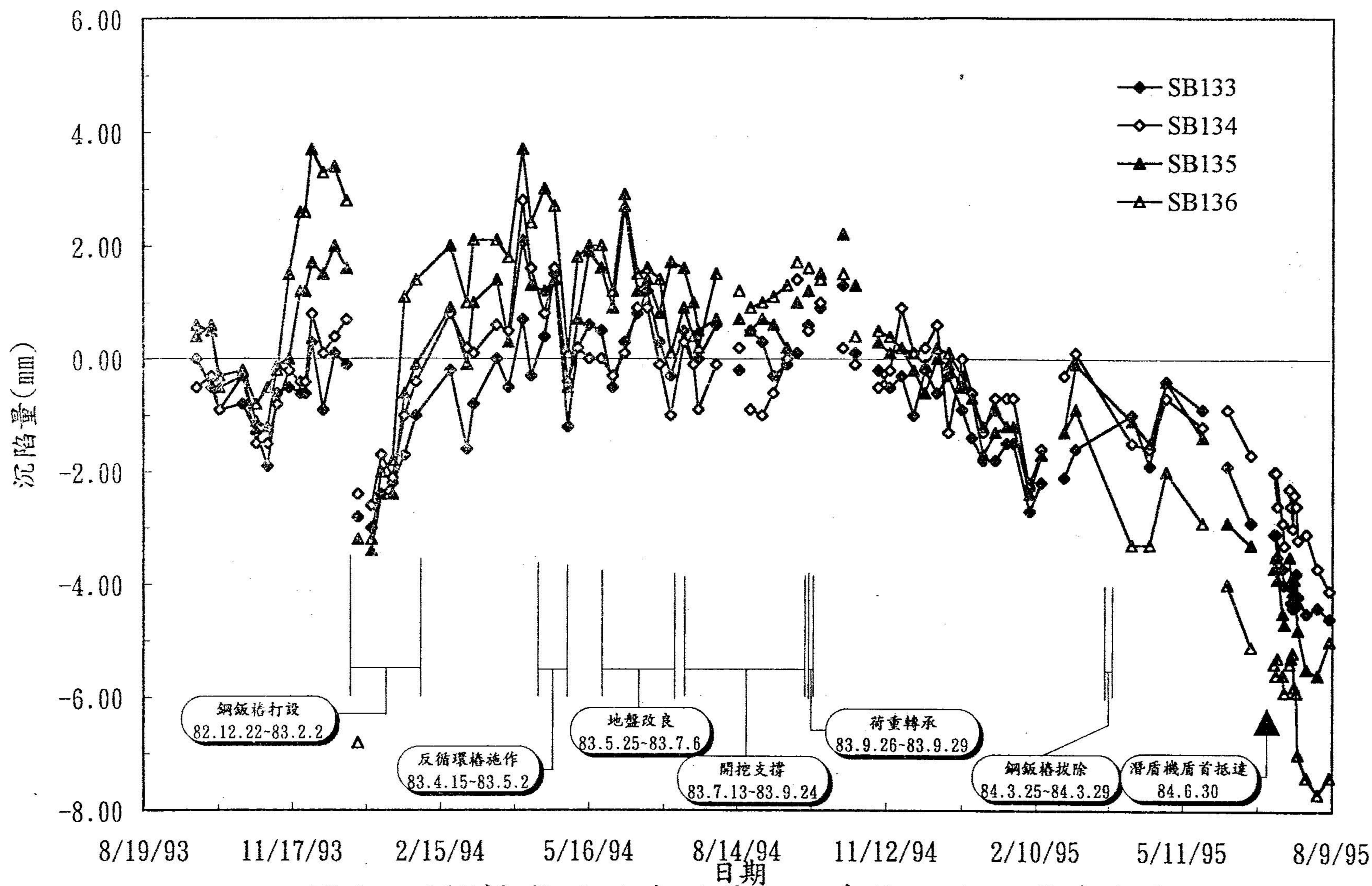
圖六 監測儀器配置斷面示意圖(X-X' 斷面)



圖七 A15橋墩本體及附近建物傾斜儀歷時曲線



圖八 A15橋墩本體及附近建物沉陷點歷時曲線



圖九 A15橋墩附近地下道入口建物沉陷點歷時曲線