

高速公路橋梁耐震補強工程技術研討會

直接基礎座落於 液化潛勢土層之補強案例

TYLin

林同棧工程顧問股份有限公司

郭國振(土木大地技師/大地博士) 112/05/05

1 工程範圍與地質概況

2 直接基礎設計

3 直接基礎液化補強原則

4 地質改良工法

5 地質改良之檢核

6 監測計畫

7 地質改良試灌成果





1

工程範圍與地質概況

M38B標工程範圍

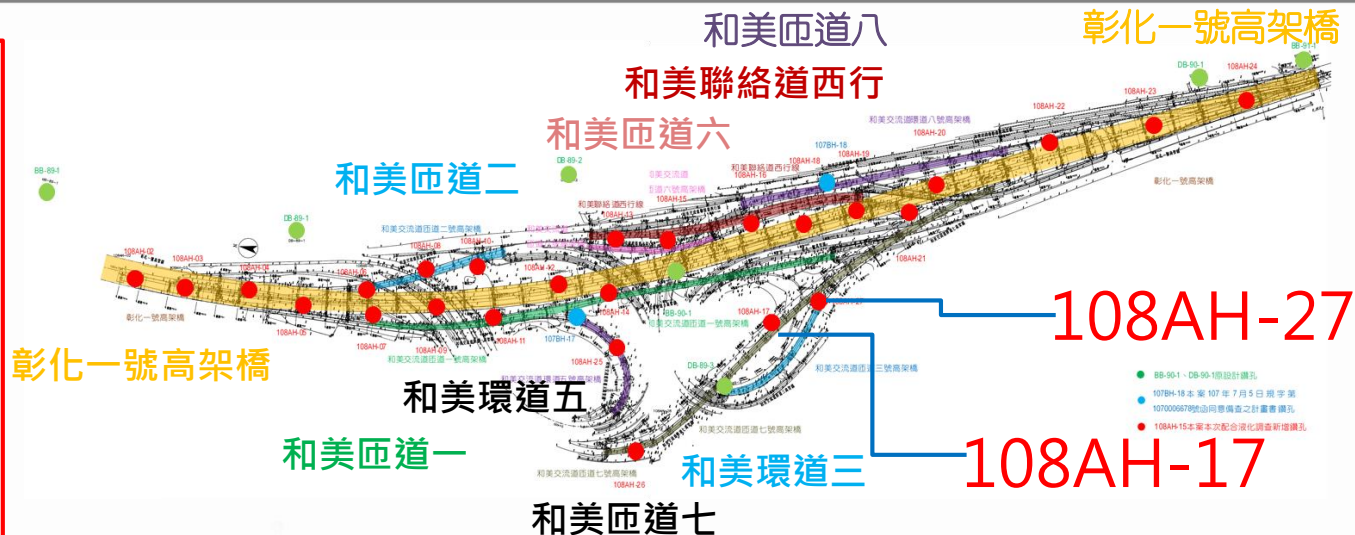
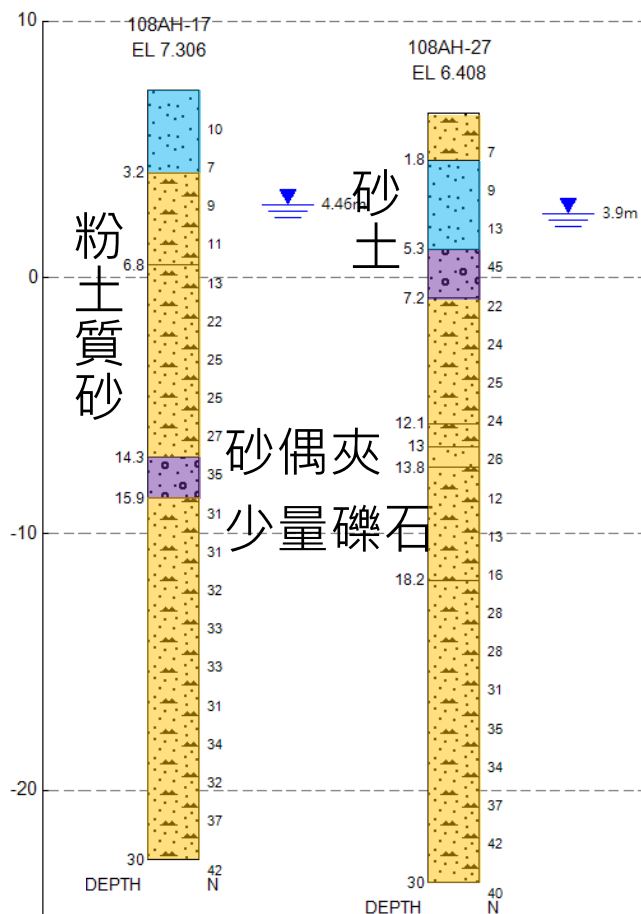
- 國道3號：190K+700~207K+600
- 橋梁總數：51座（南北向分別計算）
- 直接基礎液化範圍：190K+700~192K+600





液化之補充鑽探(和美交流道)

本次鑽探108AH-17及27



- 原設計階段鑽孔 (7)
- 初設初稿階段補充鑽孔 (2)
- 配合液化補充調查鑽孔 (26)

- 原設計：921大地震後，依據國工局要求，對於當時已發包之本工程提高地表加速度值為0.33g。
- M38B地表加速度設計值為0.368g。



2

直接基礎設計



The February 27, 2010, the Mw=8.8 Chile earthquake

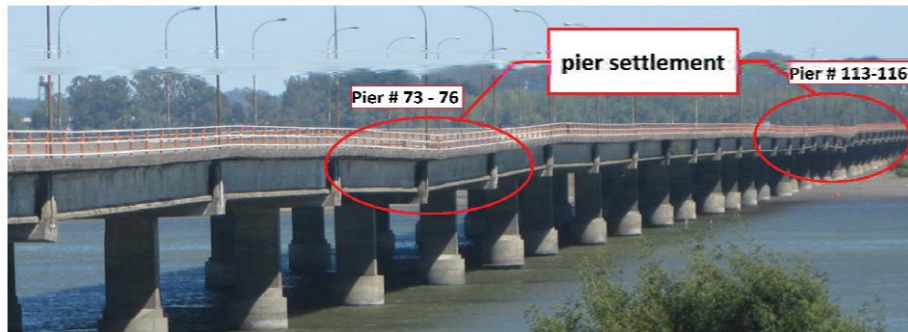


Figure 9.13. Juan Pablo II bridge – Pier settlements (S36.815122° W73.084369°; 1453 hrs on 3/15/2010)

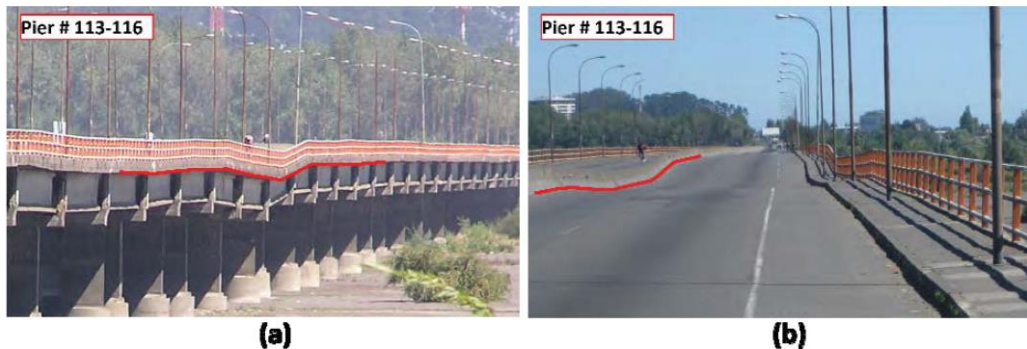


Figure 9.14. Juan Pablo II bridge (a) View of bridge bent settlement (S36.826596° W73.094345° on 3/15/2010)(b) View of bridge deck settlement (S36.826596° W73.094345° on 3/15/2010)

液化引致橋梁沉陷案例

- 50~70cm
- 側潰



Figure 9.9. Juan Pablo II Bridge (a) Google Earth view of northeast Approach with schematics of observed damage (S36.815864° W73.083674°) (b) Typical bridge bent configuration (S36.828181° W73.095850°; 1636 hrs on 3/15/2010)

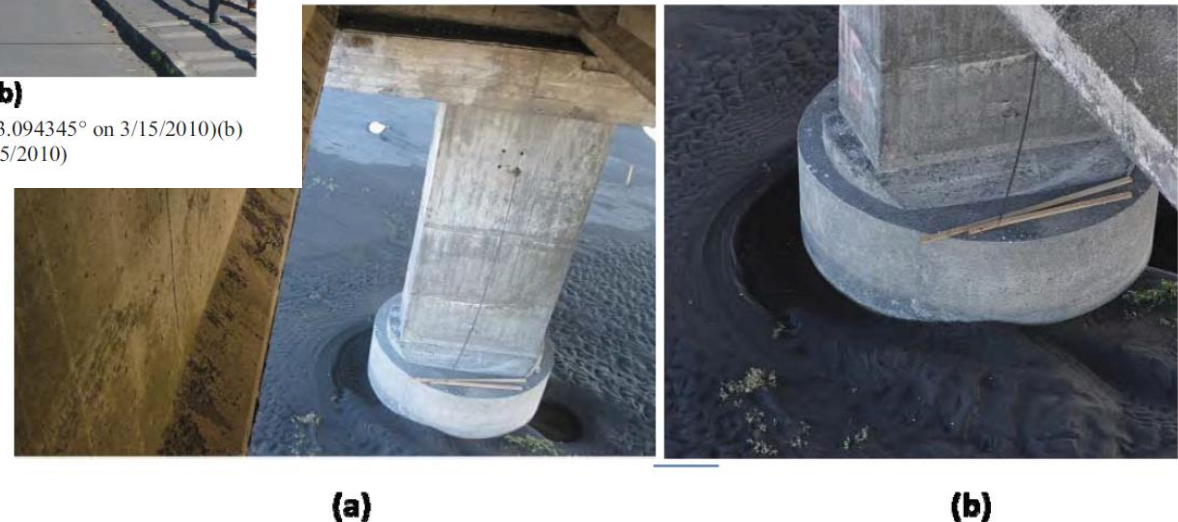


Figure 9.15. Juan Pablo II bridge–Evidence of liquefaction at piers subjected to settlements.(a)column and pier, (b) detail of pier and surrounding soil. (S36.826596° W73.094345° on 3/15/2010)



直接基礎液化補強原則

- **橋樑耐震規範**：直接基礎承載土層液化恐導致前後墩柱**差異沉陷**或歪斜，影響上部結構安全及通行(直接基礎不宜設置於高液化潛能地層)
- 液化指數 $PL \leq 5$ 屬**低度液化**，考量其液化風險相對較低，不進行補強
- 容許差異沉陷量參考AASHTO LRFD(2020) 第10.5.2.2節：差異沉陷量為**0.004rad**(不限連續梁或簡支梁)

液化潛能指數 PL	液化等級
$PL \leq 5$	低度液化
$5 < PL \leq 15$	中度液化
$PL > 15$	高度液化

Iwasaki et al., 1982

建築物基礎構造設計規範 (2001)

損壞程度	沉陷量 (cm)	地表現象
輕至無損壞	0~10	微小裂痕
中度損壞	10~30	小裂縫、砂滲出
廣泛損壞	30~70	大裂縫、砂噴出、地盤流動

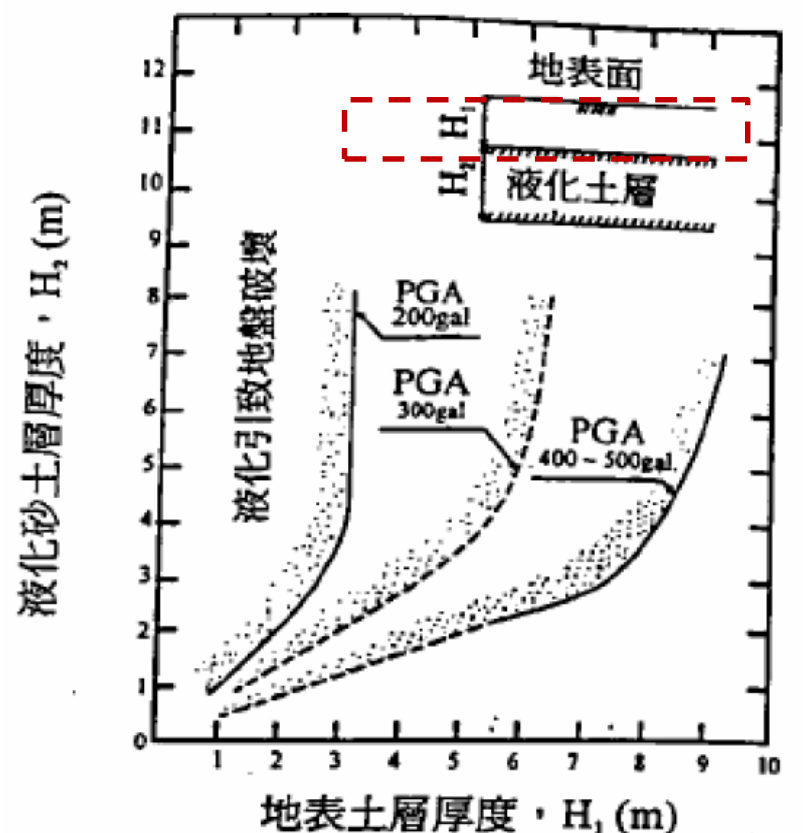
建築物基礎構造設計規範(草案,2018)



建築物基礎構造設計規範之修正研擬(2018)

- 建築物基地若具有高液化潛能之土層，應評估其受地震作用時之可能損害程度，可以下列三種指標進行評估，即

- ❖ (1) 相對厚度
- ❖ (2) 液化潛能指數(PL)
- ❖ (3) 液化後地盤沉陷量





2011年日本311大地震_千葉浦安市道路下陷與PL值關係

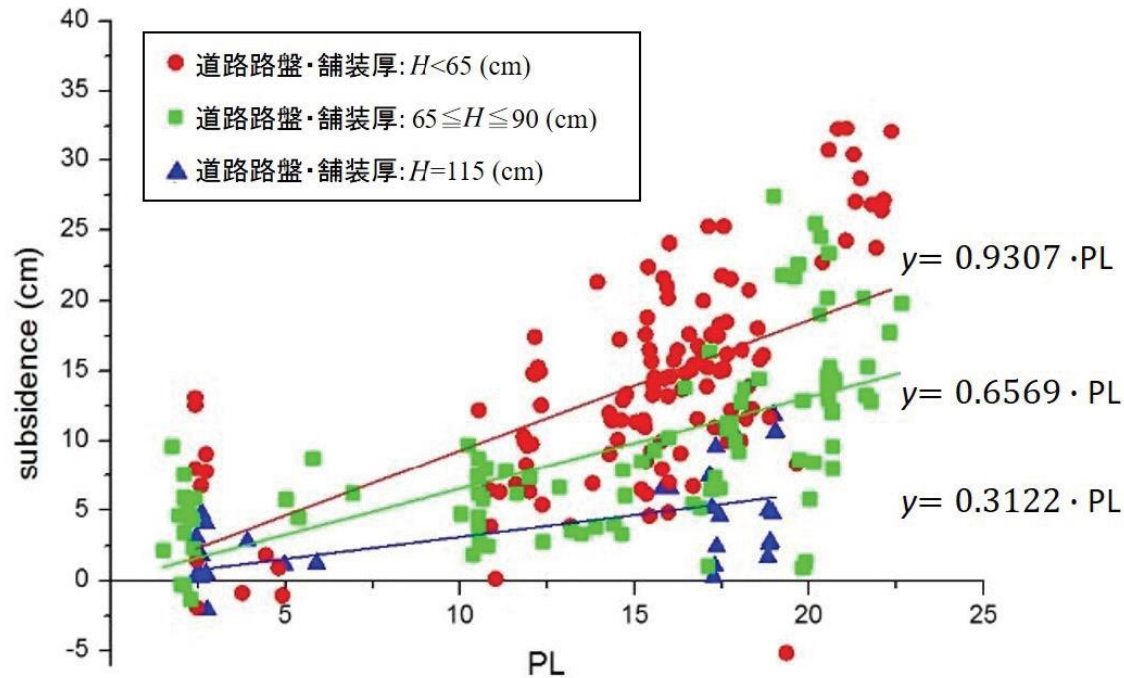


図-12 道路の平均沈下量と PL 値の関係

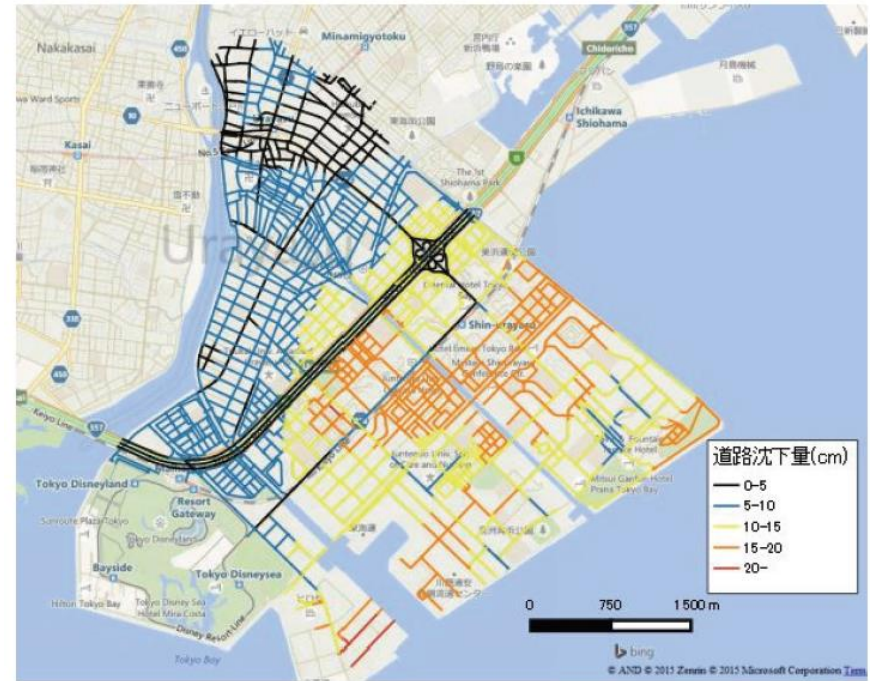


図-13 道路沈下量を予測する新たな液状化危険度マップ

$PL=2 \sim 5$ 亦有 $2 \sim 10\text{cm}$ 之地層下陷



格子狀地中壁成功案例

■ 1995.1.17阪神・淡路大地震



- 建築工地位於神戶市中央區 (1995.1接近完工階段)，毗鄰碼頭的14層頂層公寓兼酒店
- 鄰近碼頭向大海水平移動了約2m，並下沉了約50至70cm
- 觀察完工後格子梁內的地面完好無損

■ 2011.3.11日本東北大地震



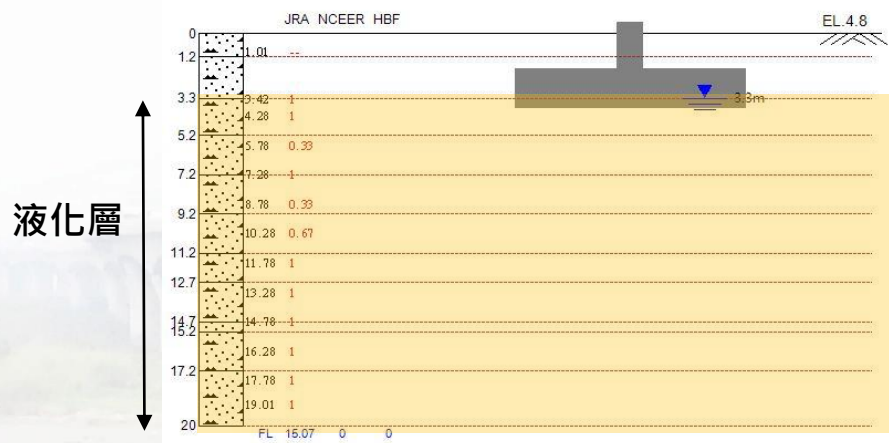
- 浦安市的四層SRC停車場 (2011.3.13攝影)：震後觀察無地面變形
- 裝設之土水壓計，地震前後後數值沒有明顯變化



直接基礎液化評估結果

■ 液化橋梁：

主要發生在基礎底下方之砂土層，
直接基礎底共9座坐落於液化土層(167墩)



橋墩淺基處液化層示意圖

項次	橋梁名稱	基礎型式	墩柱數目
1	彰化一號高架橋	淺基	79
2	和美交流道匝道一高架橋	淺基	20
3	和美交流道匝道二高架橋	淺基	5
4	和美交流道環道三高架橋	淺基	7
5	和美交流道環道五高架橋	淺基	7
6	和美交流道匝道六高架橋	淺基	6
7	和美交流道匝道七高架橋	淺基	20
8	和美交流道匝道八高架橋	淺基	11
9	和美交流道聯絡道西行線	淺基	12
合計			167

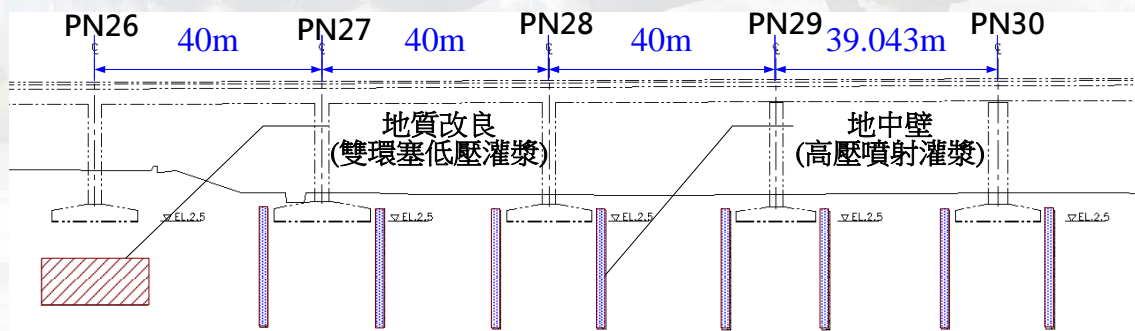
橋梁基礎為淺基礎者且具液化潛勢者(PL>5)
震陷量約5.2~29 cm



直接基礎液化補強原則

- 由於液化屬於可能潛勢，無法確認各墩間之**差異沉陷量**，本案採各墩**絕對沉陷量**評估

墩	(1)跨徑 (cm)	(2) 容許沉陷量 (cm) (跨徑 X 0.004)	(3) 震陷量 (cm)	檢核 (詳說明)	(4)抗液化設計 後震陷量(cm)	
					地中壁	地質改良
PN26	4000	16.0	17.0	NG.	—	9.61
PN27	4000	16.0	19.3	NG.	6.89	—
PN28	4000	16.0	19.5	NG.	6.76	—
PN29	3904.3	15.6	19.4	NG.	6.49	—



和美交流道彰化一號高架橋為例

橋梁名稱	需補強墩數
彰化一號高架橋S	16
彰化一號高架橋N	15
和美交流道匝道一高架橋	14
和美交流道匝道二高架橋	0
和美交流道環道三高架橋	7
和美交流道環道五高架橋	2
和美交流道匝道六高架橋	6
和美交流道匝道七高架橋	13
和美交流道匝道八高架橋	7
和美交流道聯絡道西行線	7
合計	87



3

直接基礎液化補強原則

補強工法	連續地中壁 -無筋全套管基樁	連續地中壁 -高壓噴射樁	雙環塞低壓灌漿	增樁托底
示意圖				
適用性	橋下淨高 $\geq 8\text{m}$	橋下淨高 $< 8\text{m}$	基礎位於既有路堤下方或橋台	液化震陷量較大
說明	樁徑1m(無筋)	有效壁厚1m	改良GL.-9~17m	連續單元同時補強，以避免差異沉陷
型式	TYPE 3	TYPE 2	TYPE 1	—



直接基礎液化補強-地中壁

■ 方案一：地中壁

■ 於基礎外圍增設(無筋全套管基樁/高壓噴射樁)

- ❖ 維持直接基礎行為
- ❖ 僅控制沉陷低於容許值
- ❖ 工程經費較低

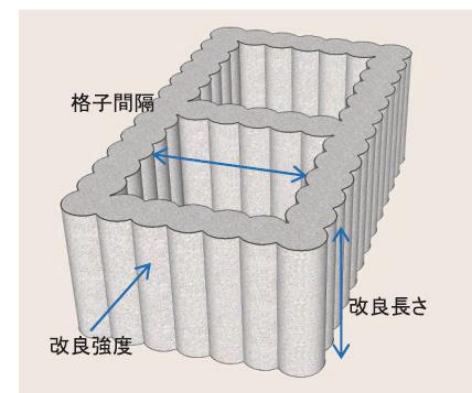
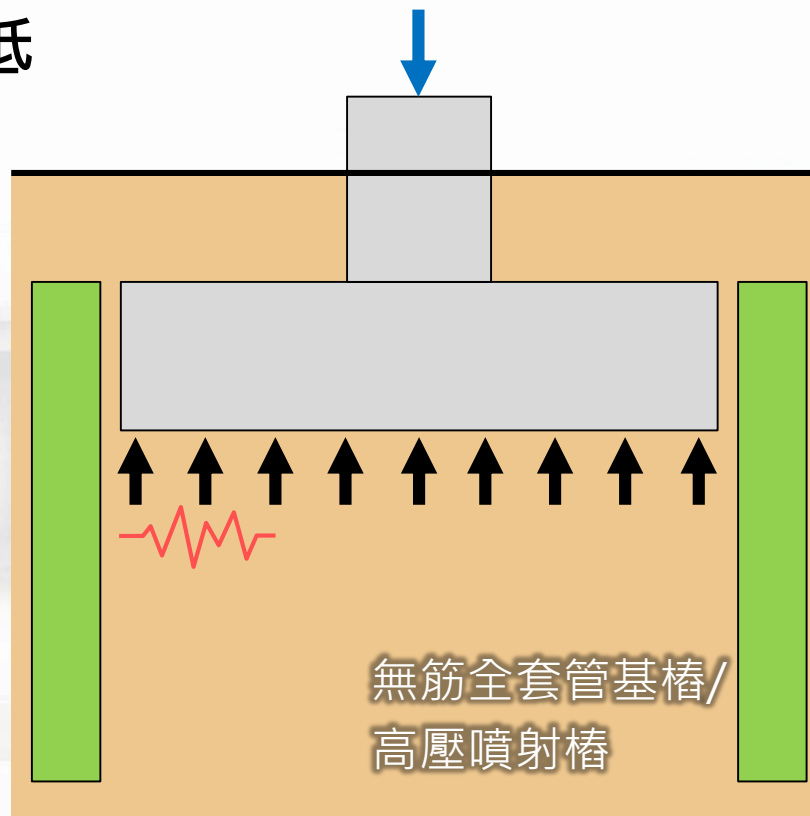
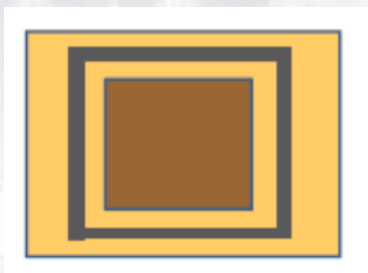
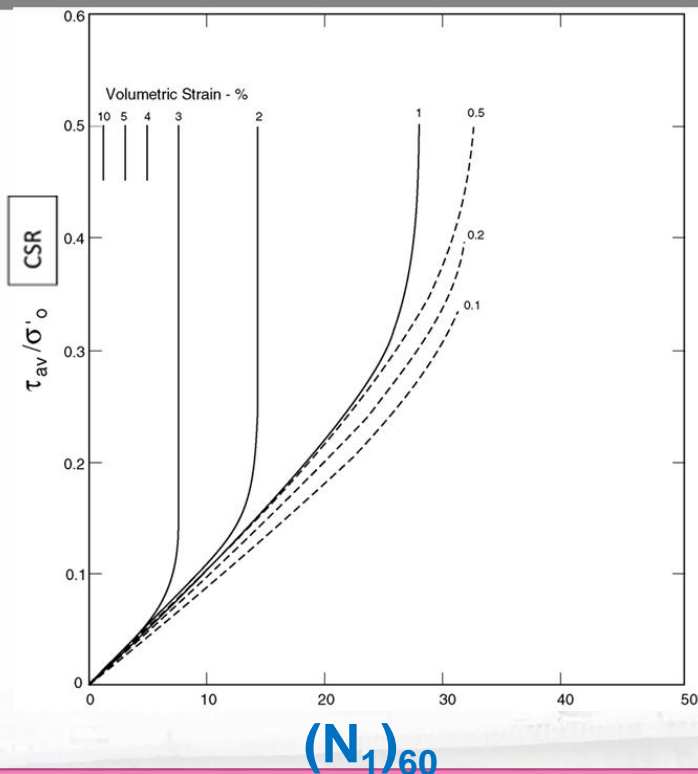


Fig. 1 格子狀地盤改良工法



液化震陷評估方法



$$CSR = \left(\frac{\tau_d}{\sigma'_z} \right) = \gamma_n \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \gamma_d$$

$$\gamma_n = 0.1 (M - 1)$$

□ 求得Volumetric strain計算得震陷量

依據建築物耐震設計規範及解說

(2022)11.1.3節解說：

標準貫入試驗採用拉索式落錘，落槌能量以60%分析

Tokimatsu and Seed
(1987) (註1、註2、註3)

註 1. Seismic Retrofitting Manual (FHWA, 2006)

註 2. Remedial measures against soil liquefaction (Japanese Geotechnical Society, 1998)

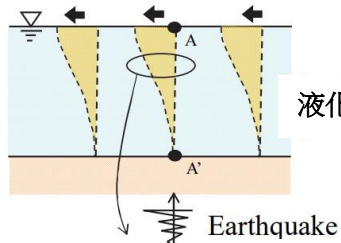
註 3. 建築物基礎構造設計規範(草案, 2018) ,



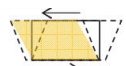
地中壁改良效果之理論與試驗

未改良地盤

液化引致地盤
剪力變位



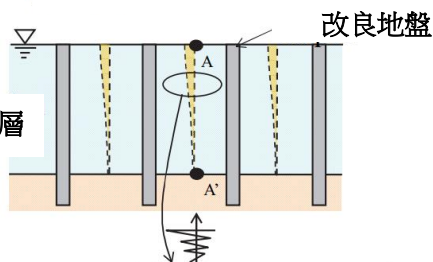
地震引致之反覆剪力



地盤的大剪力變形

格子狀改良地盤

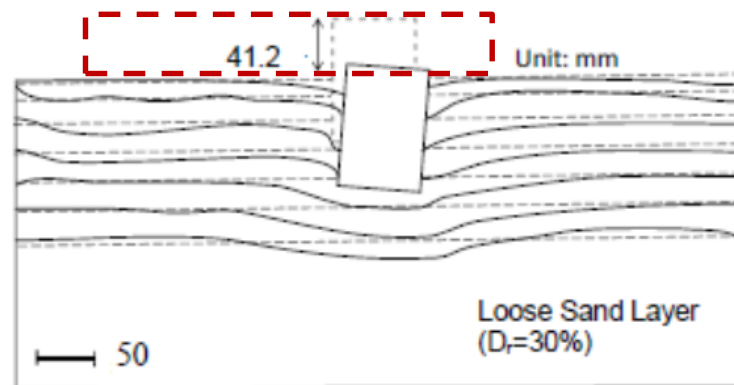
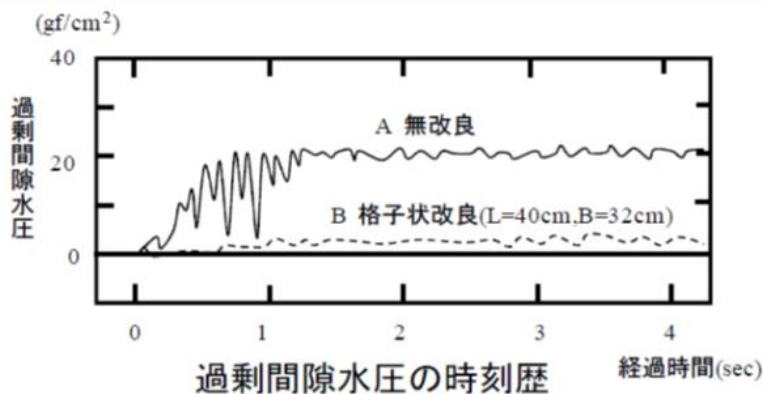
剪力集中於格子梁且在
未改良地盤中變小



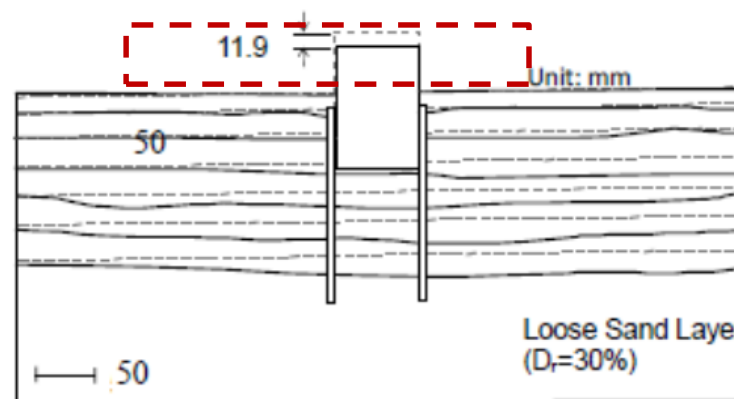
地震引致之反覆剪力



地盤的小剪力變形



(a) With no sheet piles



(b) With 150 mm sheet piles without cohering

TAKENAKA TECHNICAL
RESEARCH REPORT
No.74 (2018)

(Japanese Geotechnical Society Special
Publication, Motohashi, 2016)



格子狀地改簡易設定法

(日本國土交通省液化對策指針(2019年)及內田明彥博士(2018年))

$$FL(L) = 0.29 \log_e(L) - 0.12 \quad 4 \leq L(m) \leq 20 \quad (2)$$

$$FG(G) = -0.45 \log_e(G) + 3.94 \quad (L \leq 9m)$$

$$= -0.33 \log_e(G) + 3.16 \quad (9m < L \leq 19m)$$

$$= -0.21 \log_e(G) + 2.38 \quad (19m < L \leq 20m)$$

$$13.6 \text{kgf/cm}^2 \leq q_u \leq 54.3 \text{kgf/cm}^2$$

$$350 \leq G(\text{N/mm}^2) \leq 1400 \quad (3)$$

$$G = 258 q_u$$

$$FH(H) = 0.87e^{0.01H} \quad H(m) \leq 20 \quad (4)$$

$$\gamma_d' = 1 - 0.026z \quad z(m) \quad (5)$$

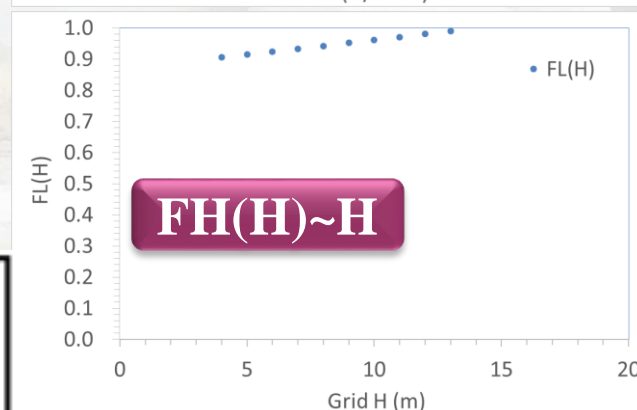
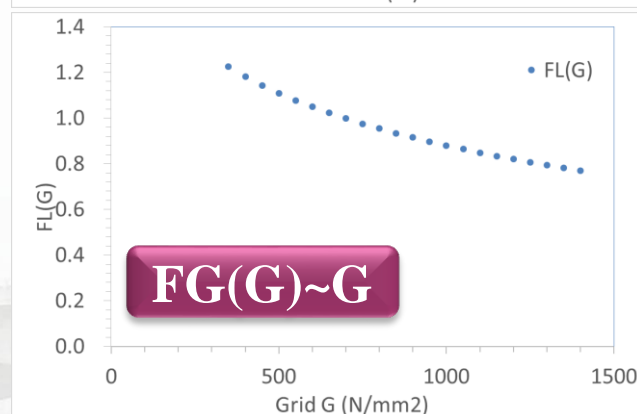
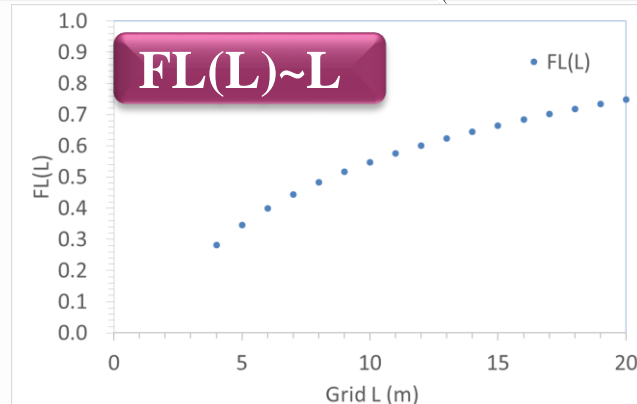
$$\left(\frac{\tau_d}{\sigma_z'} \right) = \gamma_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_z'} \cdot \gamma_d \quad (1)$$

$$\left(\frac{\tau_d}{\sigma_z'} \right)_{\text{Grid}} = \gamma_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_z'} \cdot \gamma_d' \cdot [FL(L) \cdot FG(G) \cdot FH(H)]$$

$$\gamma_n = 0.1 \quad (M - 1)$$

抗液化安全係數

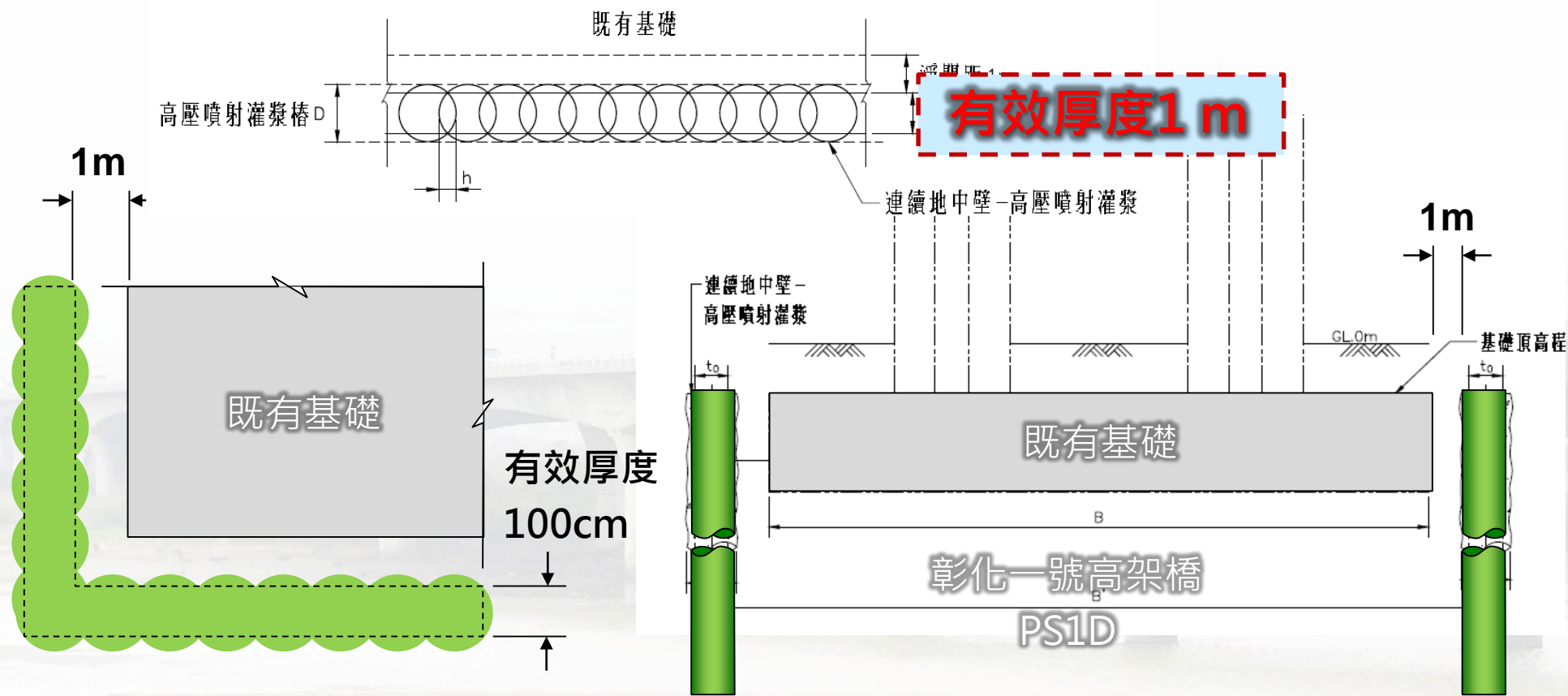
$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$





地中壁-高壓灌漿(TYPE2)

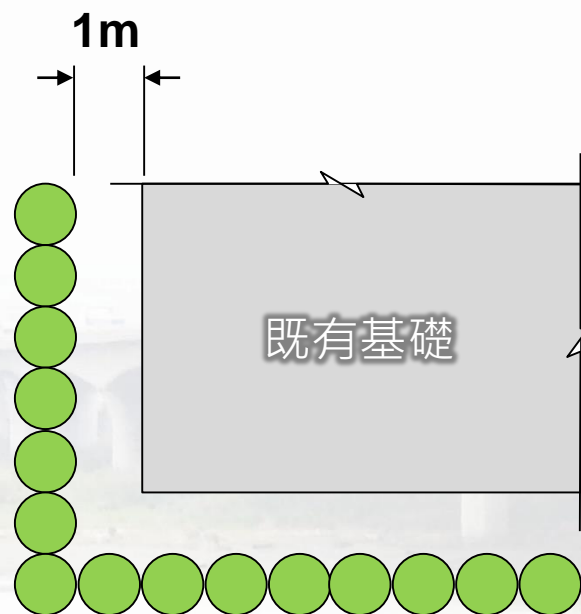
- 距既有基礎1m外增設有效厚100cm之高壓噴射樁
- 施工淨高限制少(約鑽機高度)



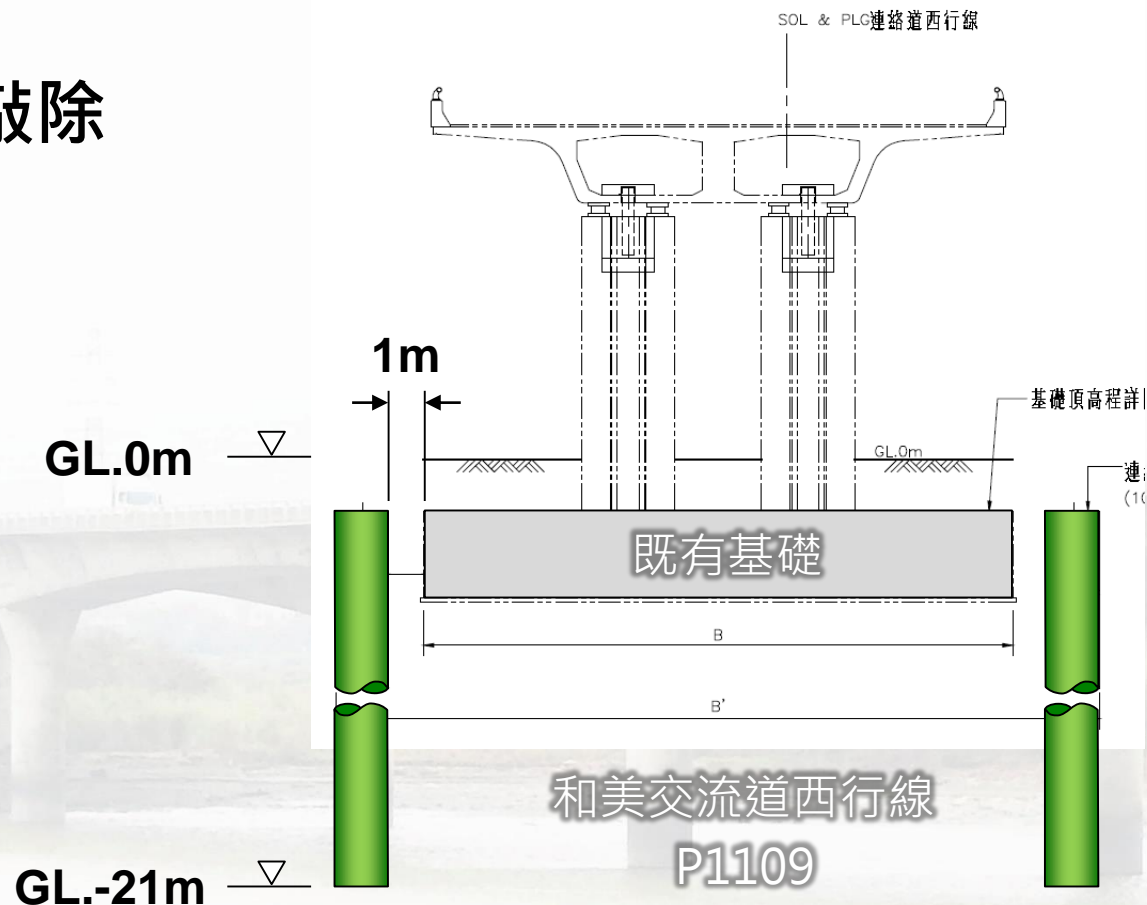


地中壁-無筋全套管樁(TYPE3)

- 距既有基礎1m外增設100cm ϕ 無筋全套管基樁
- 施工淨高需大於8m
- 樁頭之劣質混凝土無須敲除



樁心間距 1 m





直接基礎液化補強-地質改良體

➤ 基礎坐落於匝道下方：

地中壁



地質改良體



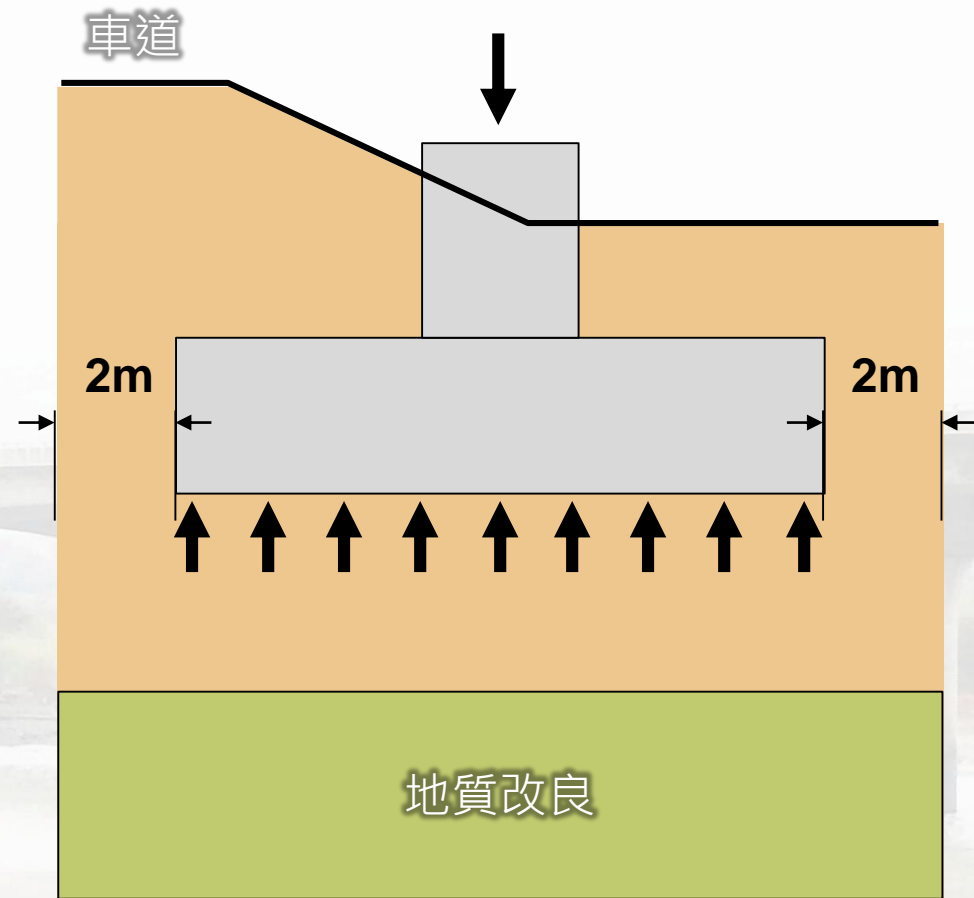
- 地中壁工法須進行匝道封閉，並於匝道上施工
- 地中壁-高壓灌漿斜灌不易形成理想的圓柱改良樁體

直接基礎液化補強-地質改良體(低壓灌漿)

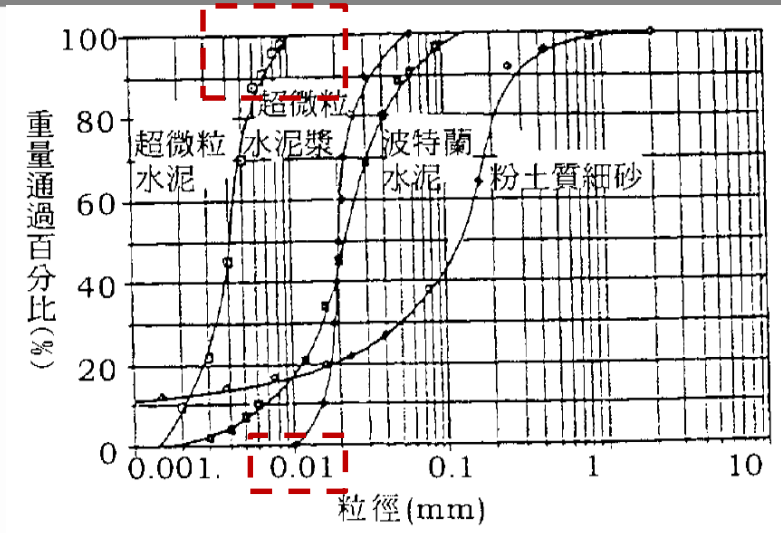
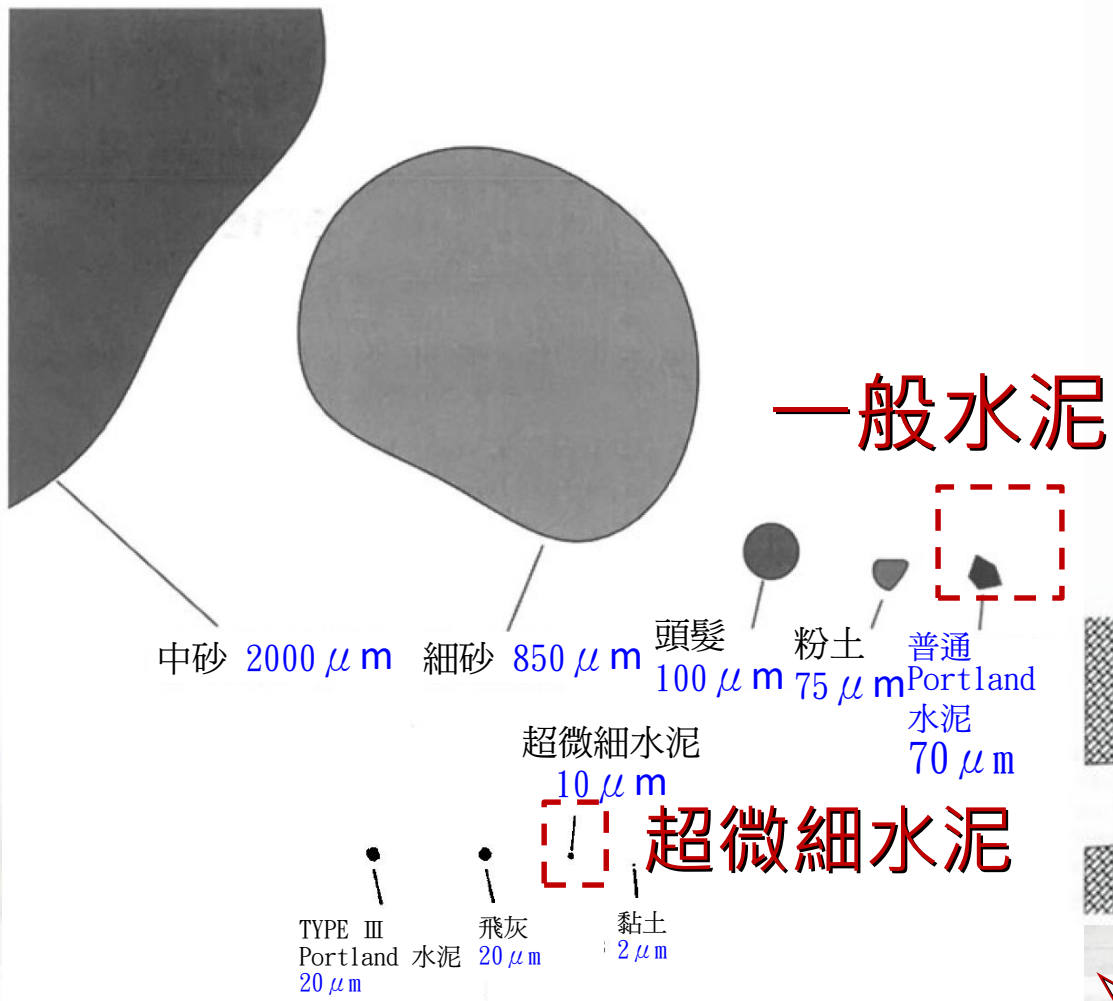
■ 方案二：地質改良體(低壓灌漿) (TYPE1)

■ 於基礎下方斜灌方式將基礎下方進行地盤改良

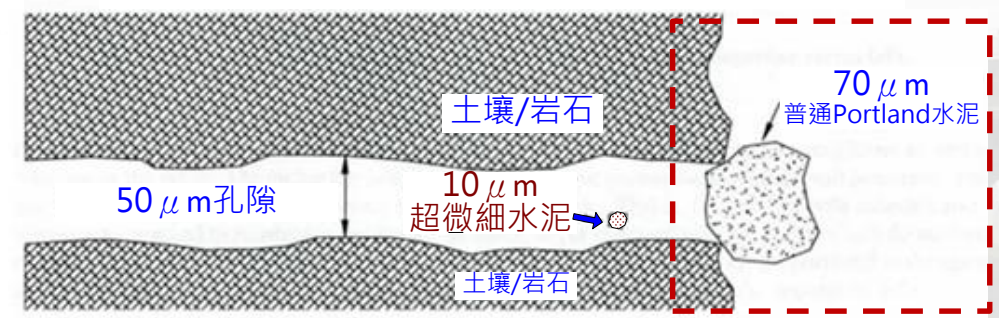
- ❖ 維持直接基礎行為
- ❖ 僅控制沉陷低於容許值
- ❖ 不破壞既有基礎
- ❖ 工程經費較高
- ❖ 無交維需求
- ❖ 施工空間不受限



0.01mm=10μm



圖一 水泥系灌漿材料和土壤之粒徑分佈比較圖



- 一般水泥 70μm
- 超微細水泥 10μm

(改繪自Ultrafine cement in pressure grouting, Raymond et al., 2010)

材料需具可灌性、具恆久性

- 依ACI Committee 552(ACI, 2000)：最大粒徑 $D_{max} < 15\mu\text{m}$
- 歐規灌漿標準 (EN 12715)： $D_{95} < 20\mu\text{m}$ (本標 $D_{max} < 20\mu\text{m}$)
- 本標 $D_{max} = 2.9\mu\text{m}$ (MF-80)、 $D_{max} = 1.6\mu\text{m}$ (Ultra Fine)
- 黃建霖等人(2007)：建議水灰比(W/C)大於3 (本標W/C=4~5)
- 水泥細度 (比表面積) $\geq 8,000\text{cm}^2/\text{g}$ (CNS 2924之規定)
- Krizek et al.,(1992)研究建議：

◆ $(D_{15})_{\text{soil}} / (D_{85})_{\text{grout}} > 15$

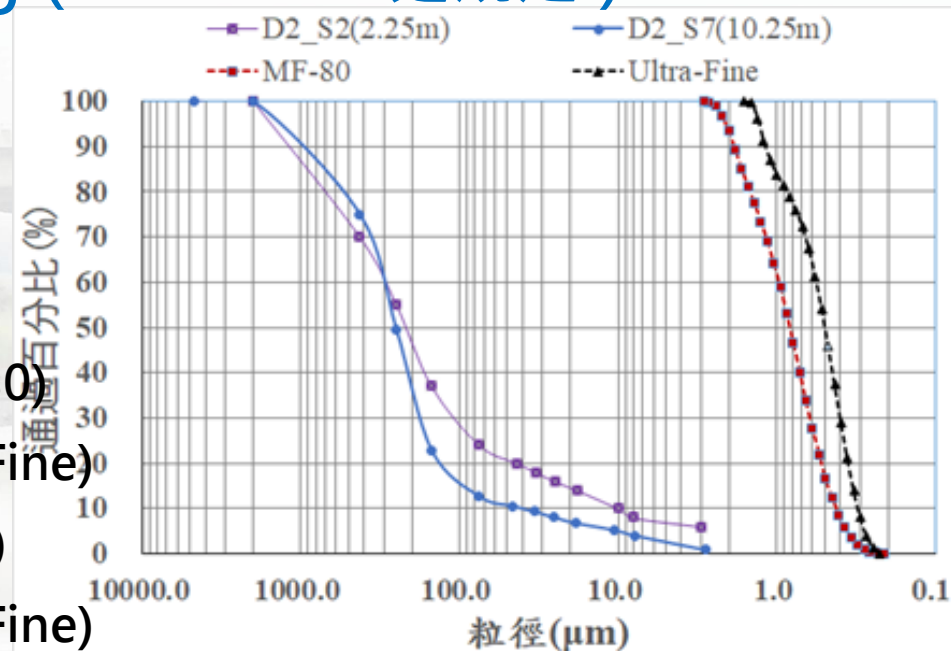
◆ $(D_{10})_{\text{soil}} / (D_{95})_{\text{grout}} > 8$

□ 本標 $(D_{15})_{\text{soil}} / (D_{85})_{\text{grout}} = 24.0$ (MF-80)

□ 本標 $(D_{15})_{\text{soil}} / (D_{85})_{\text{grout}} = 38.1$ (Ultra Fine)

□ 本標 $(D_{10})_{\text{soil}} / (D_{95})_{\text{grout}} = 8.6$ (MF-80)

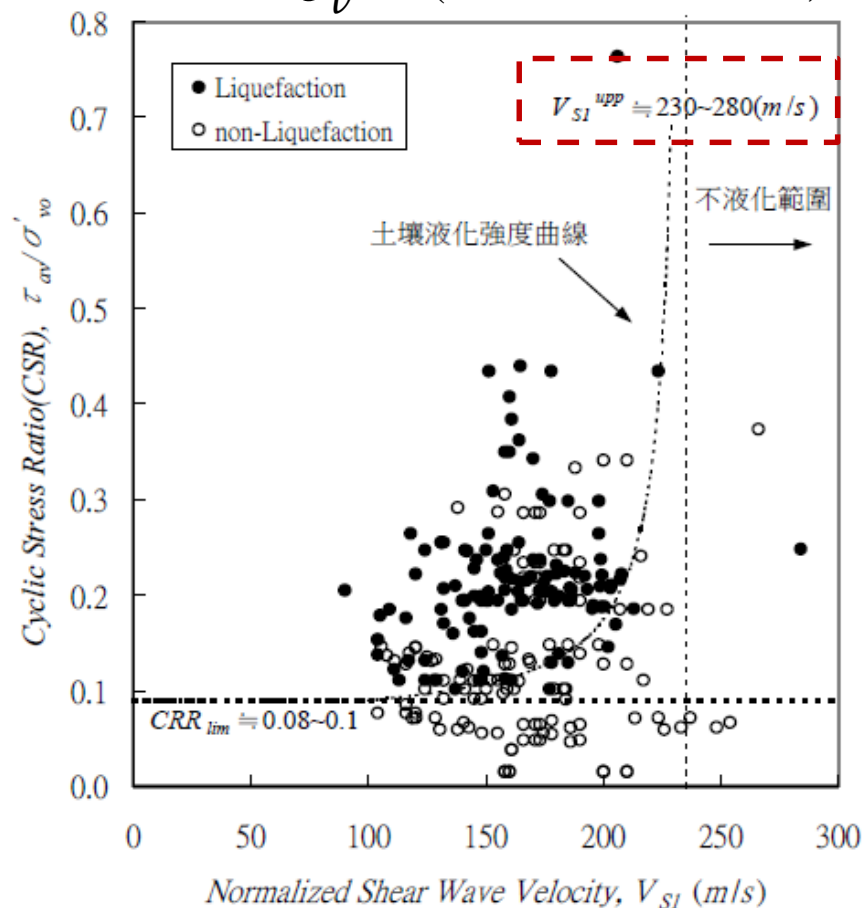
□ 本標 $(D_{10})_{\text{soil}} / (D_{95})_{\text{grout}} = 14.6$ (Ultra Fine)





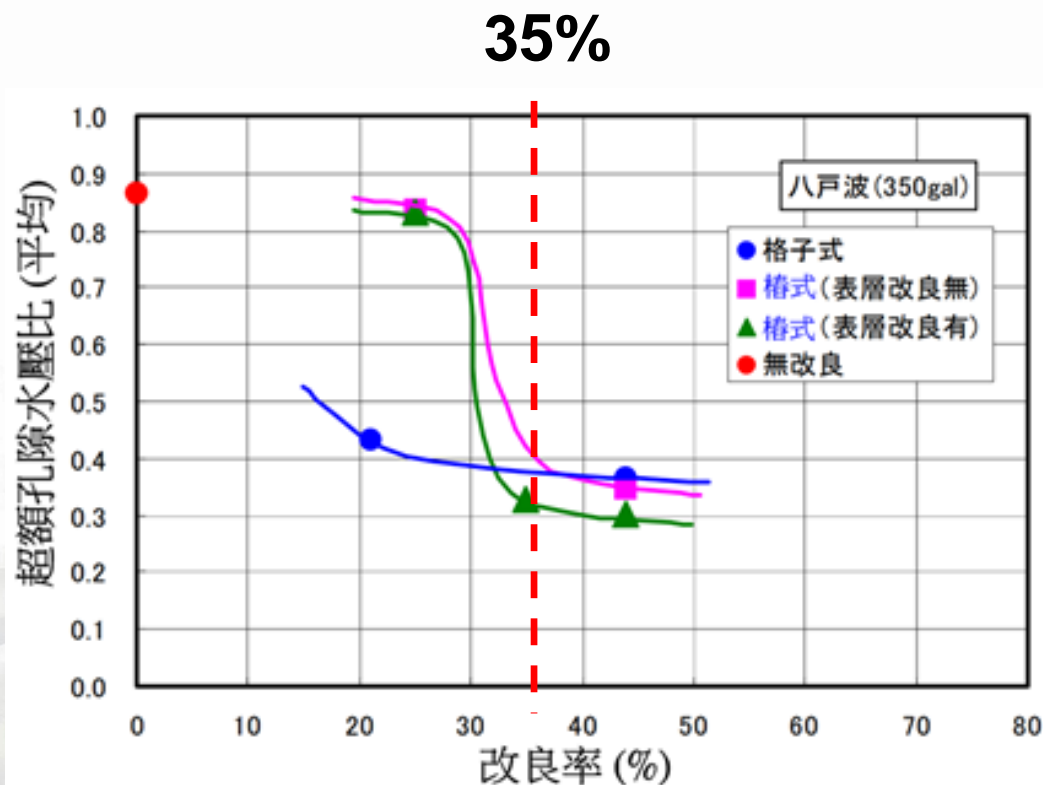
剪力波速與改良率

$$V_{s1} = V_s \times \left(\frac{1}{\sigma'_v}\right)^{0.25} \quad (\text{Andrus and Stroke, 2000})$$



國內外案例資料 CSR 對 V_{s1} 之關係圖(黃俊鴻等人,2005)

改良注入率(柱樁式)



土壤改良注入率與超額孔隙比水壓比較(山本楊一等人,2006)



地質改良體-範圍

地盤改良寬度—基腳+1.00m

地盤改良部安全率 $F_s = \tau_f / \tau_{\max}$

τ_f : 改良土壤之剪力強度

τ_{\max} : 發生的最大剪應力

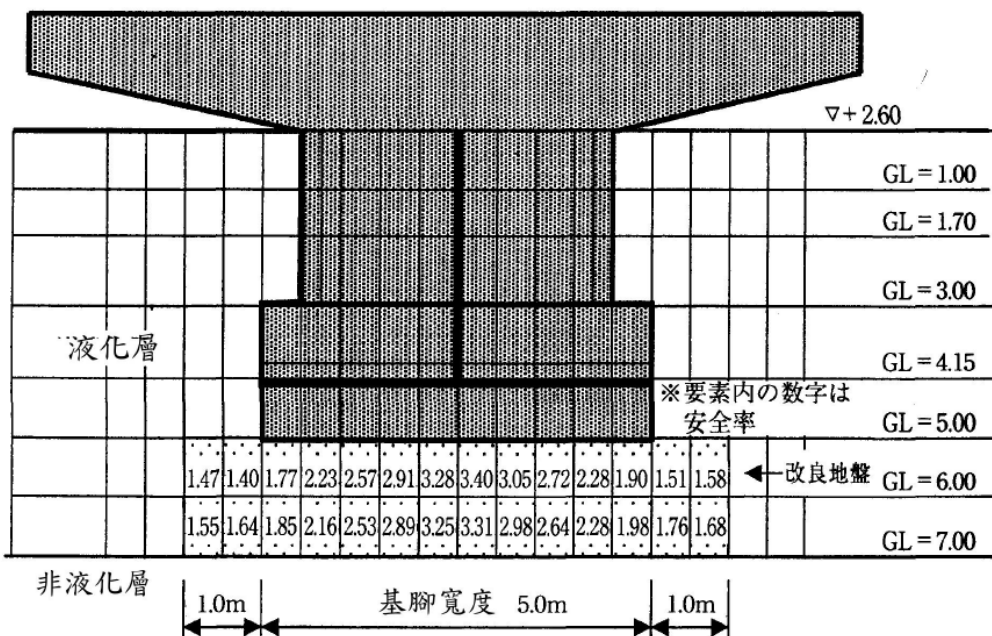
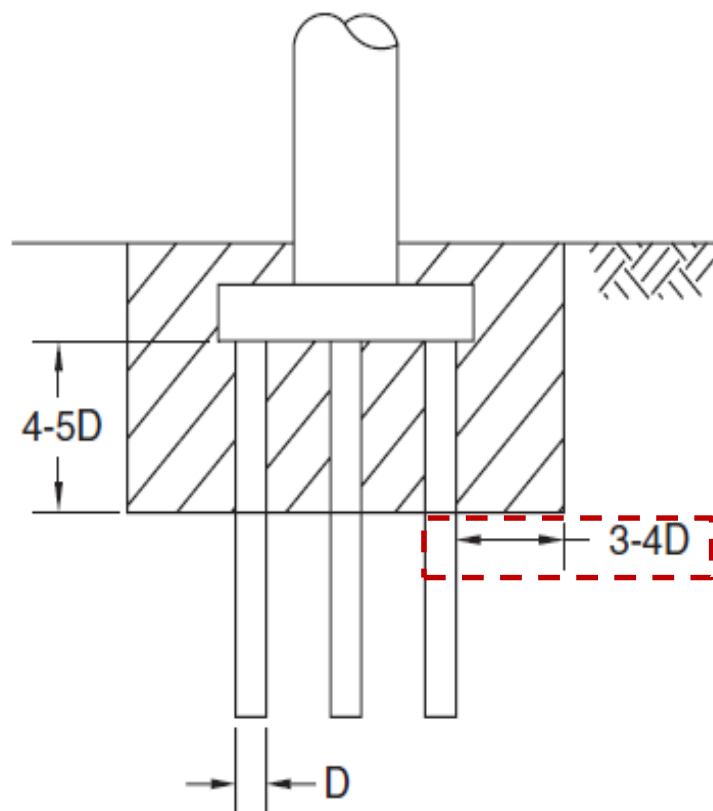


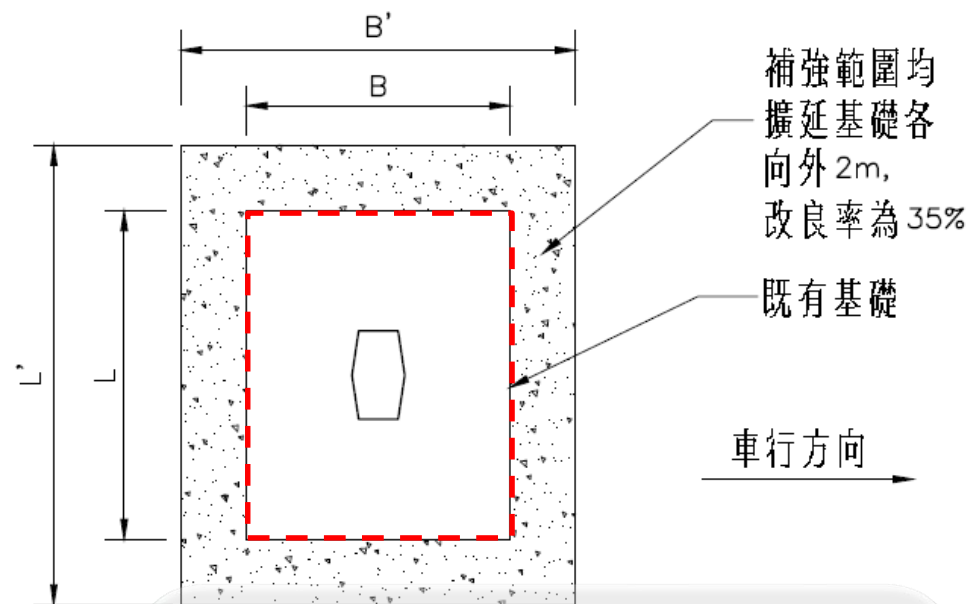
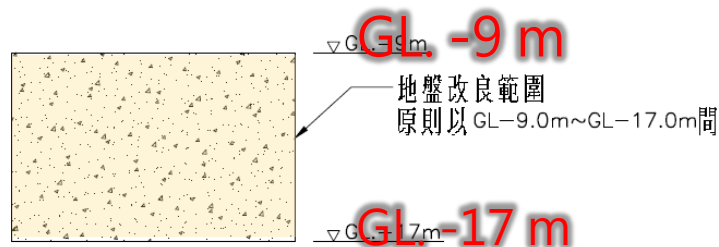
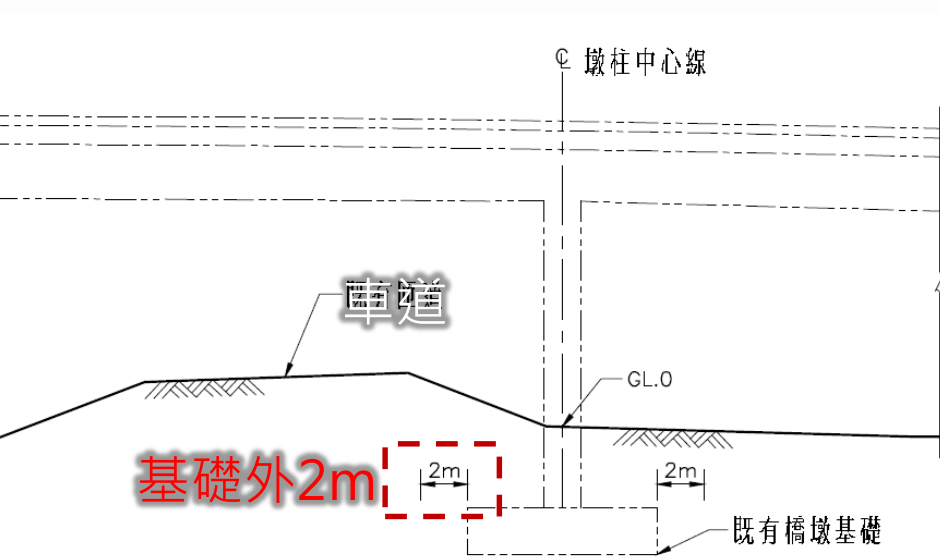
圖 3-22 p6 橋墩檢討結果【47】



既有建築物地盤改良抗液化
(內政部建築研究所,2001)

美國交通委員會複合土體改良範圍建議
(USA,TRA,2011)

地質改良體-雙環塞低壓灌漿(TYPE1)



- 改良注入率至少 35%
- 第二階段超微細水泥漿液至少 25%

容許差異沉陷量參考AASHTO LRFD(2020) 第10.5.2.2節：
差異沉陷量為**0.004rad**(連續或簡支梁)



直接基礎液化補強-增樁托底補強

■ 方案三：若以增設連續地中壁或地盤改良均無法降低震陷量至容許值，於基礎外增設全套管基樁

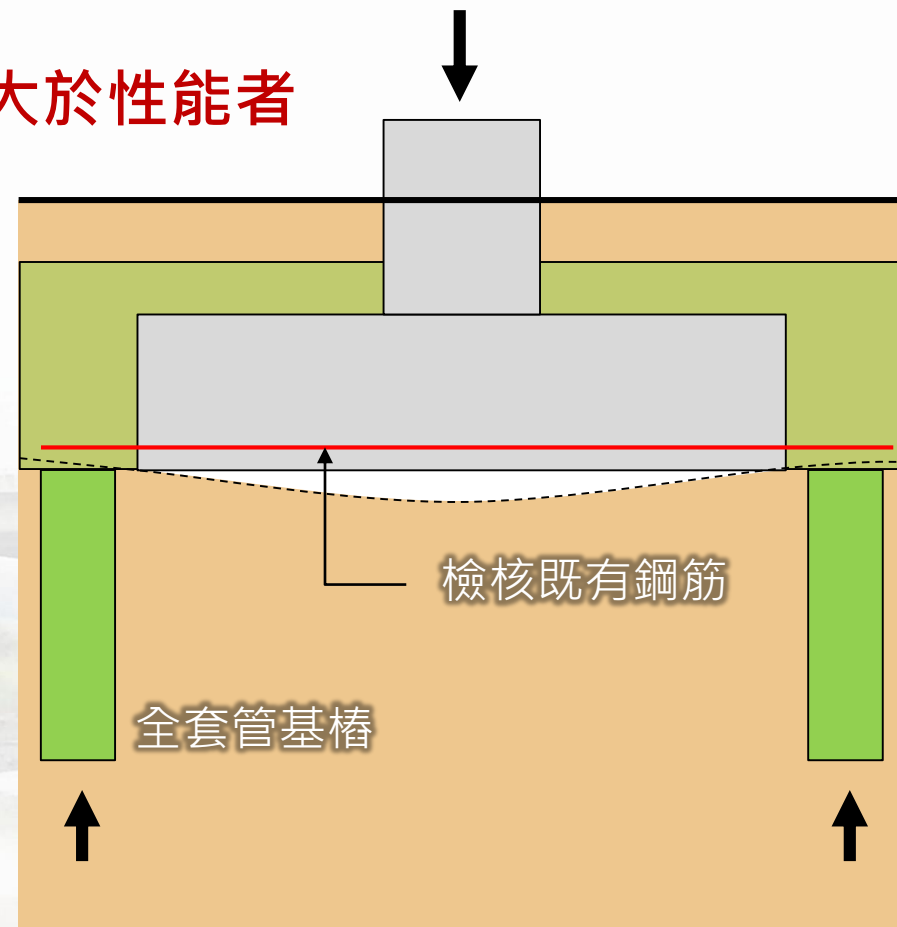
❖ 針對以地質改良，沉陷量仍大於性能者

❖ 結構行為變成樁基礎

❖ 有效控制液化沉陷

❖ 既有基礎破壞較少

❖ 工程經費略高

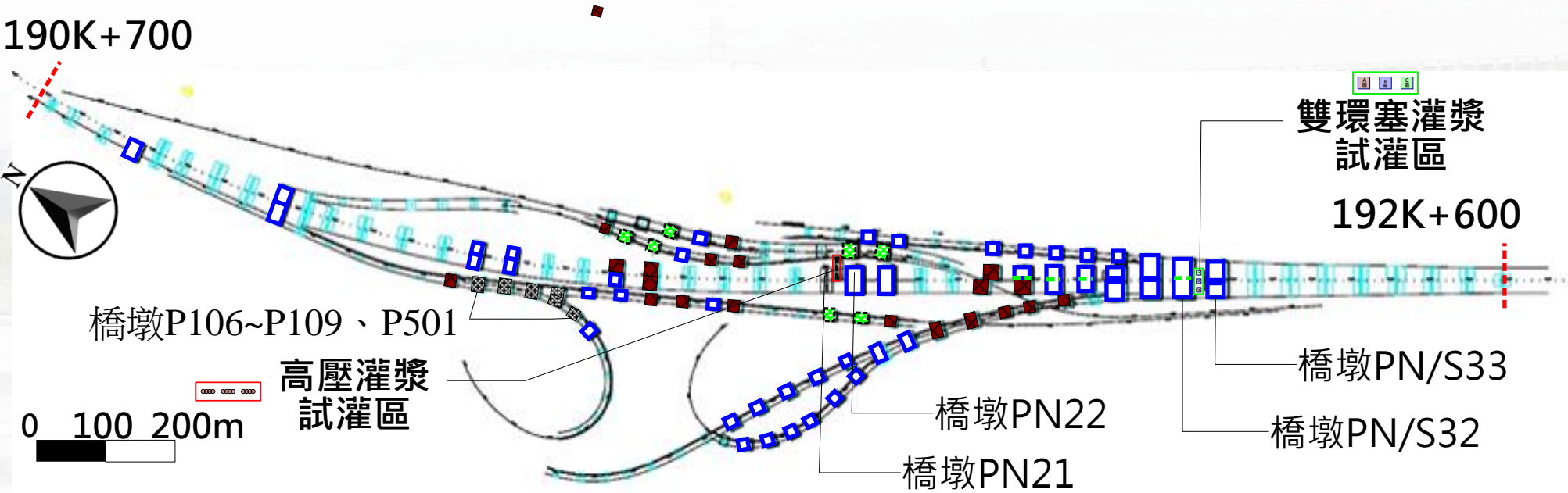




地質改良工法平面配置圖

橋梁名稱	地中壁- 高壓灌漿	地中壁- 無筋全套管樁	地盤改良體 雙還塞低壓灌漿	增樁托底補強
合計	9	51	22	5
	87			

■ 雙環塞灌漿 (TYPE 1) ■ 高壓灌漿 (TYPE 2) □ 全套管無筋樁 (TYPE 3) ■ 增樁托底





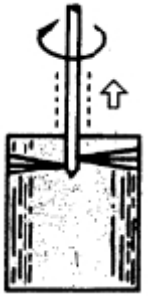
4

抗液化工法

- 高壓噴射灌漿
- 低壓灌漿
- 無筋全套管樁

□ 高壓噴射灌漿(jet grouting)

以高壓噴射水或灌漿液切削、攪拌土層至預定深度，被切削之土壤與灌漿液攪拌混合而膠凝硬化，或是將被切削之土壤排出地面，以灌漿液取代被排出之土壤。



□ 脈狀灌漿(低壓灌漿：雙環塞灌漿)

漿液侵入土層內，形成樹枝狀、礦脈狀或手指狀之改良體，以達到壓擠及加勁之效果。





4.1

高壓噴射灌漿



國內常用高壓噴射樁工法

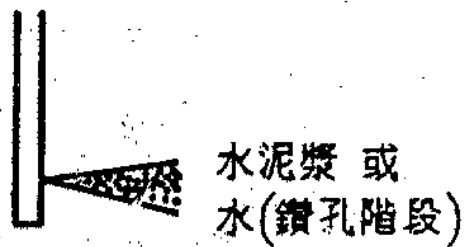
工法/簡稱	Chemical Chuming Pile /CCP	Jumbo Special Pile /JSP	Jumbo-Jet Special Grout /JSG	Columm-Jet Grout /CJG
常用壓力 (kgf/cm ²)	180~200	180~200	200~250	400
水泥吐油量 (L/分)	20~40	40~100	40~100	140~180
鑽桿型式	單管	雙重管	雙重管	三重管
空氣	不使用	視情況	7 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
成形直徑	30~50cm	60~100cm	80~180cm	100~250cm
排泥量	無	少量	約原體積 (40~70%)	約原體積 (60~90%)
施工深度	20m	20m	25m	40m

高壓噴射灌漿 應以雙重管工法或三重管認定

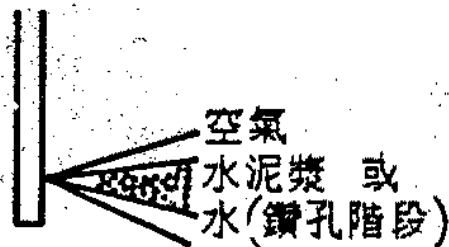


三種高壓噴射工法

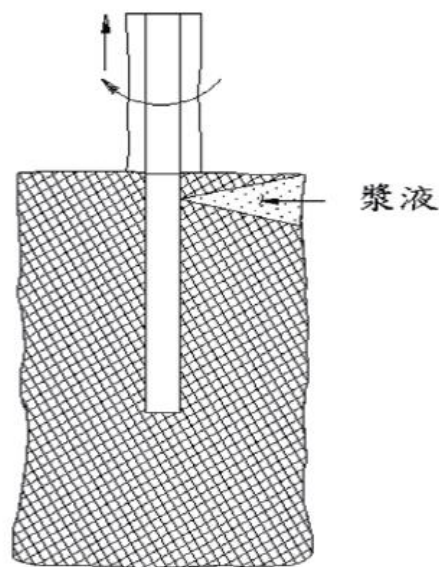
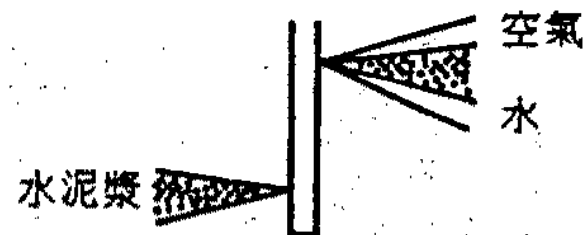
單重管



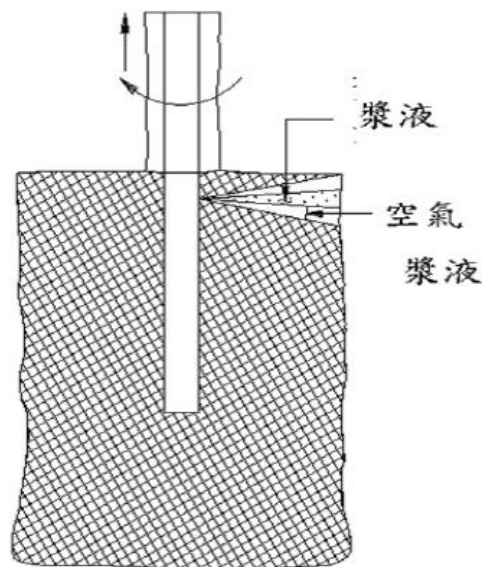
雙重管



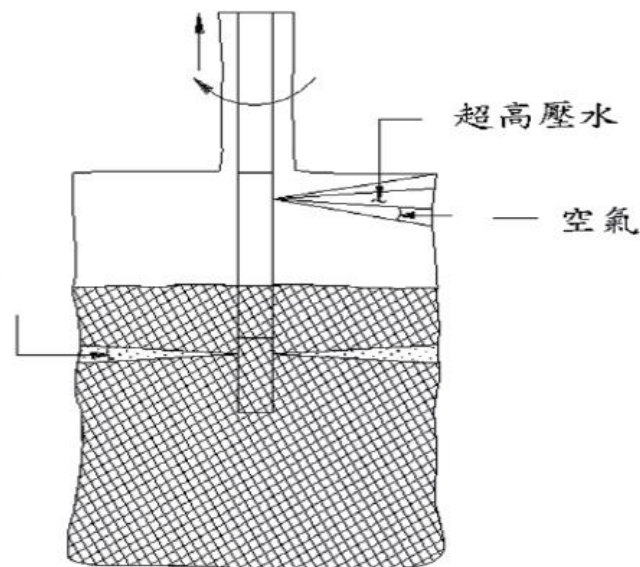
三重管



(a)單管工法
(CCP 工法)



(b)雙管工法
(JSG、SJ-midi 工法)



(c)三重管工法
(CJG、RJP、SJ 工法)

地盤改良設計及施工案例(廖洪鈞等, 2006)

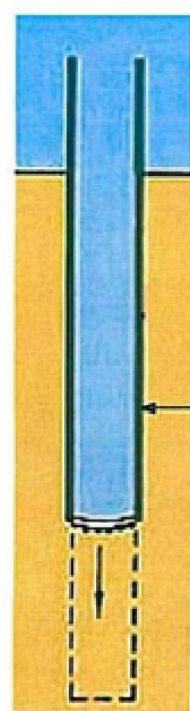


4.2

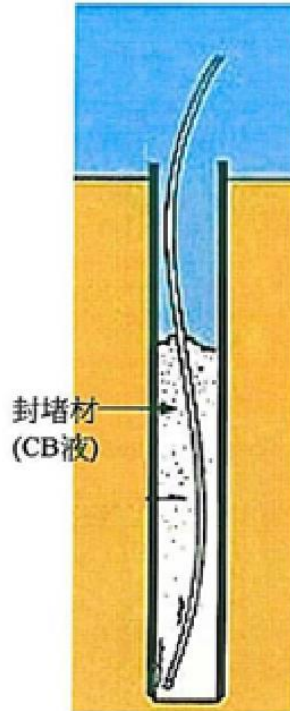
低壓灌漿：雙環塞灌漿



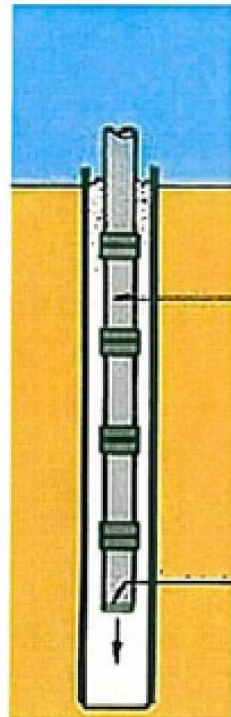
雙環塞灌漿(Double Packer)工法施工步驟



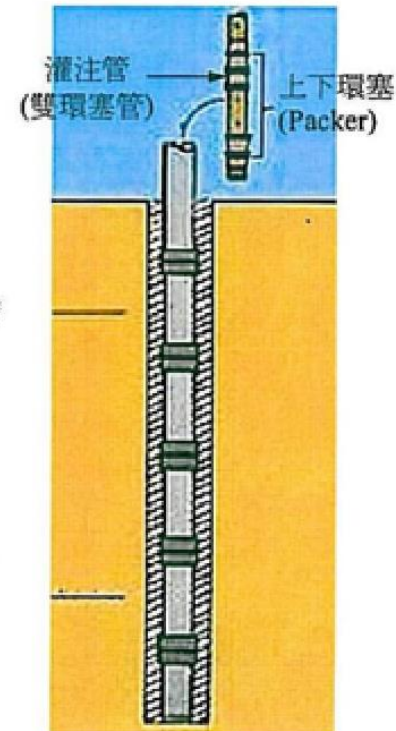
1 鑽機定位



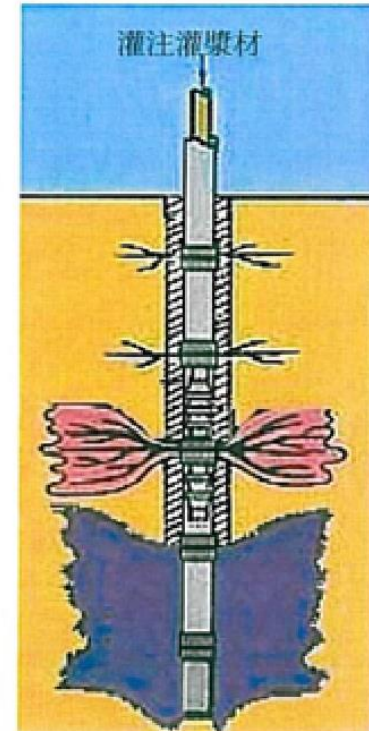
2 灌注封堵材



3 埋設外灌漿管



4 植入內灌漿管



5 灌注灌漿材



M38B雙環塞低壓灌漿施工



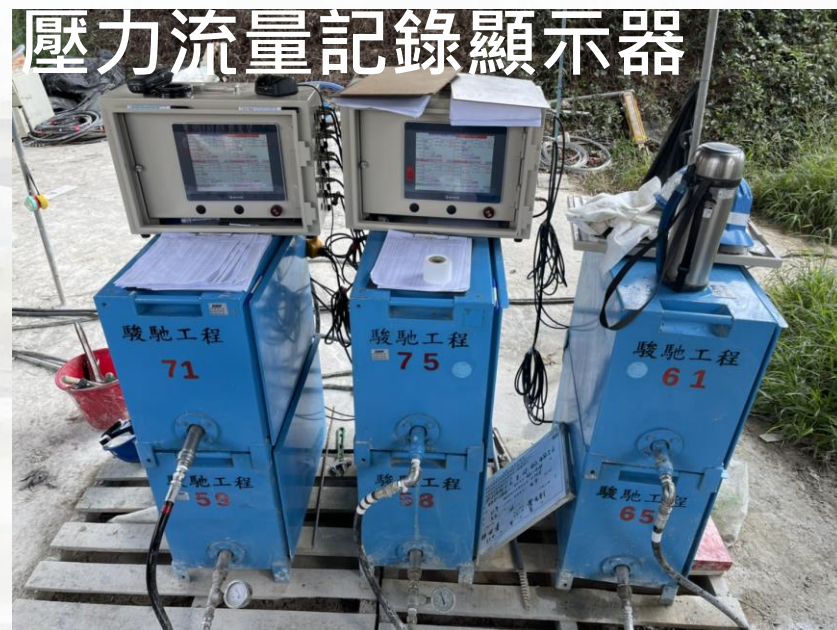
馬歇爾管



鑽孔過程



灌漿管配置



壓力流量記錄顯示器



超微細水泥漿液

- 水泥細度（比表面積） $\geq 8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$
- 抗壓強度： 350 kgf/cm^2 (7天)、 500 kgf/cm^2 (2天)
 - ❖ $W/SC/S=0.485/1.0/2.75$
 - ❖ 最大粒徑不得大於 $20\mu\text{m}$
- 真比重： 3.0 ± 0.1
- 頻率：1次/300噸
- 水漿體攪拌應採用高速攪拌機(至少1000RPM)，
以使漿液成分均勻並達良好滲透土壤之功效





4.3 全套管無筋樁(地中壁工法)



- 橋下淨空 > 8m
- 無筋混凝土



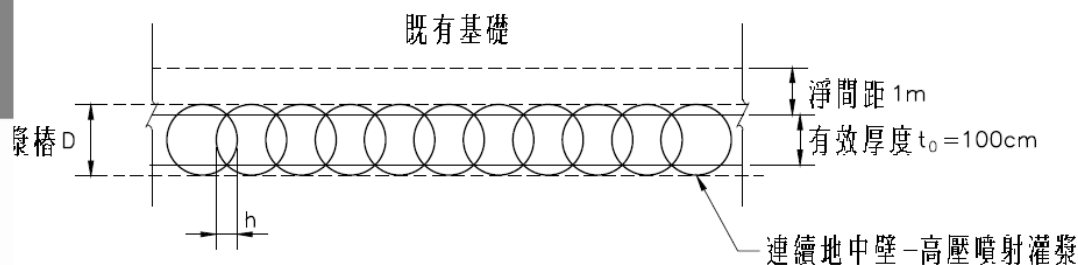
5

地質改良之檢核



高壓灌漿效果

02354高壓噴射灌漿



■ 鑽心取樣

- 取樣率 **> 85%**
- **每20支取樣一支**、且至少該補強基礎每1邊應取樣一孔
- 樁體中心至有效徑邊緣之中心點。如樁體設計有重疊部分則在重疊部分取樣。

■ 單軸壓縮強度試驗

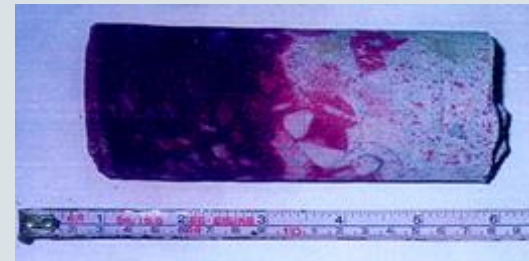
- **> 20kgf/cm²**
- 每一孔3組，取上中下
- 試灌(施工前)：施作至GL.-1 ~ - 21 m

■ 試挖(施工前)：挖掘至GL.-6 m(可開挖範圍)

低壓灌漿效果(02341雙環塞低壓灌漿)

■ 鑽心取樣

- 3%、且至少3孔、均勻分布在改良體
- 酚酞指示劑噴灑
- 孔隙率試驗，原則上每孔至少5組，求得平均孔隙率，該平均孔隙率以不大於28%為原則

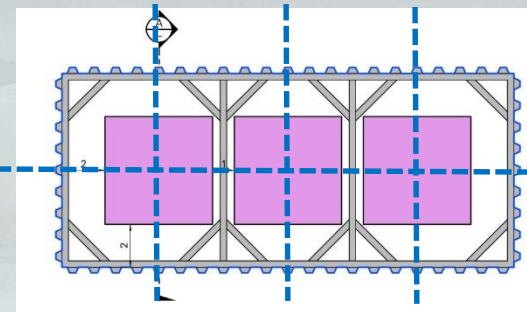


■ 剪力波速量測

- 地改前： V_{s1} 已達230m/s 以上，則該墩不需進行低壓灌漿
- 地改後： V_{s1} 達230m/s 以上為合格

■ 試灌取樣

- 每試灌分區至少 3孔(其餘同鑽心取樣)
- 標準貫入試驗、一般物性試驗
- 地盤改良前後，三分區進行四條測線之量測，以取得改良前後之參考剪力波速





低壓灌漿效果

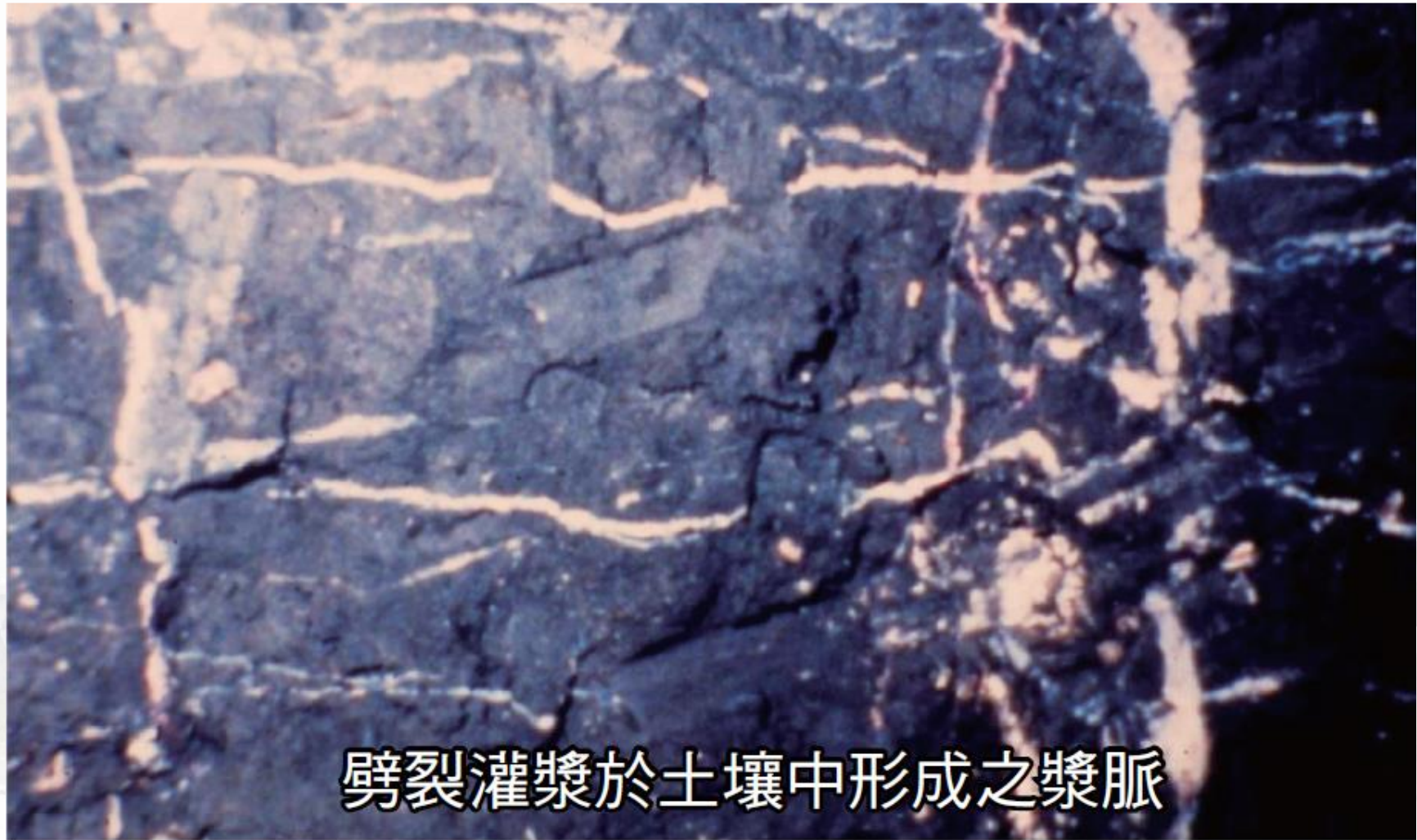
02341雙環塞低壓灌漿

$$V_{s1} = V_s \times (1/\sigma_v)^{0.25}$$

■ 表面波震測法試驗

- 地盤**改良前**(每墩)進行至少2條測線之量測，以取得改良前之參考剪力波速(V_{s1} 已達230m/s 以上)
- 地盤**改良後**(每墩)應至少施測2條測線
- 每條測線量測有效深度應至少達地下20公尺，承商需考慮試驗儀器之限制及邊際效應影響，配置所需測線展距

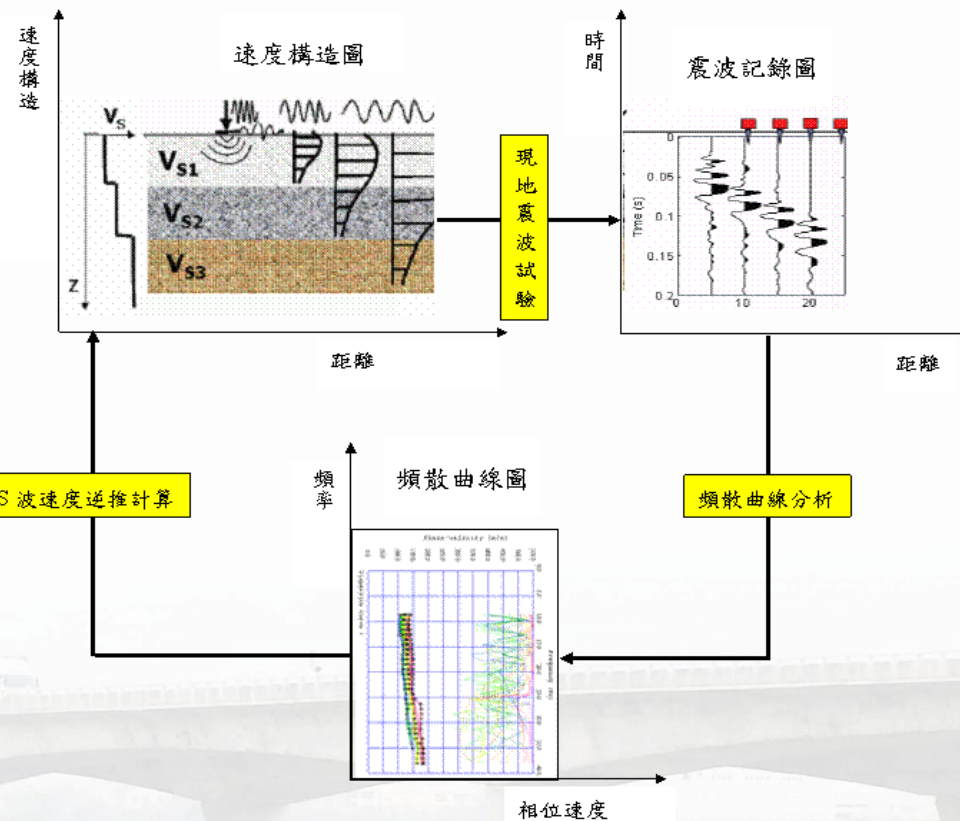
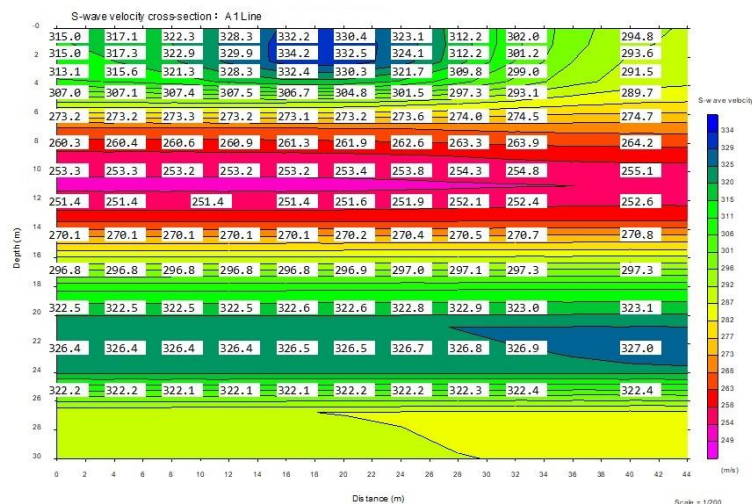
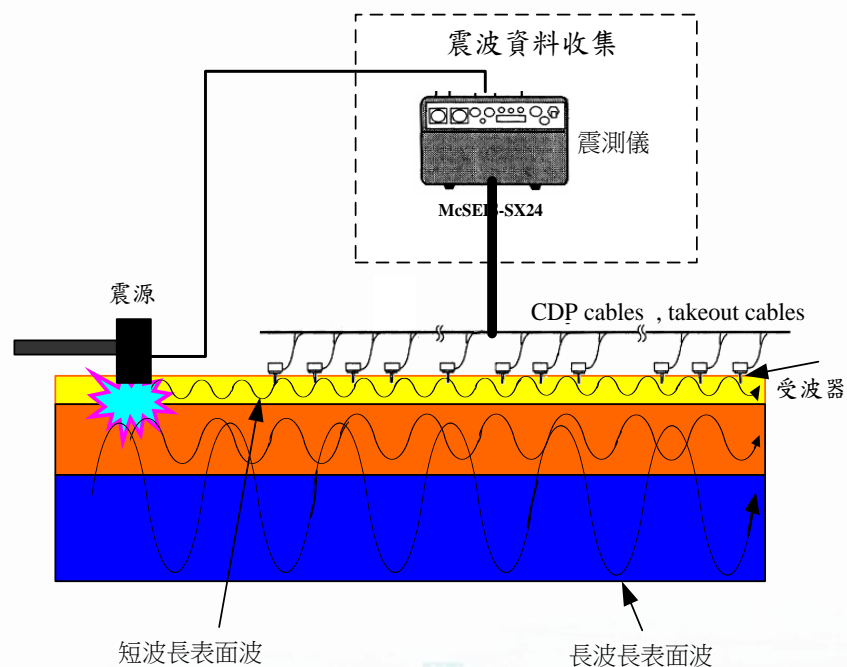
脈狀灌漿(低壓灌漿)土壤中形成之漿脈



台灣地區地盤改良技術之發展(廖洪鈞等, 2008)



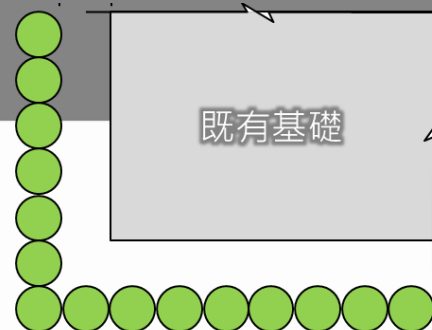
表面波譜剪力波速試驗



- 5.3公斤之鐵槌打擊地面之鐵板產生震波
- 分數次錘擊震源產生信號經由疊加完成
- 經由震波資料處理軟體分析得頻散曲線
- 再進行逆推處理得剪力波速度層構造



02451基樁



■ 鑽心取樣

- 取樣率**100%**
- 取樣數量為樁數**5%**(且至少每一邊取1支)
- 原則：樁體中心至有效徑邊緣之中心點。

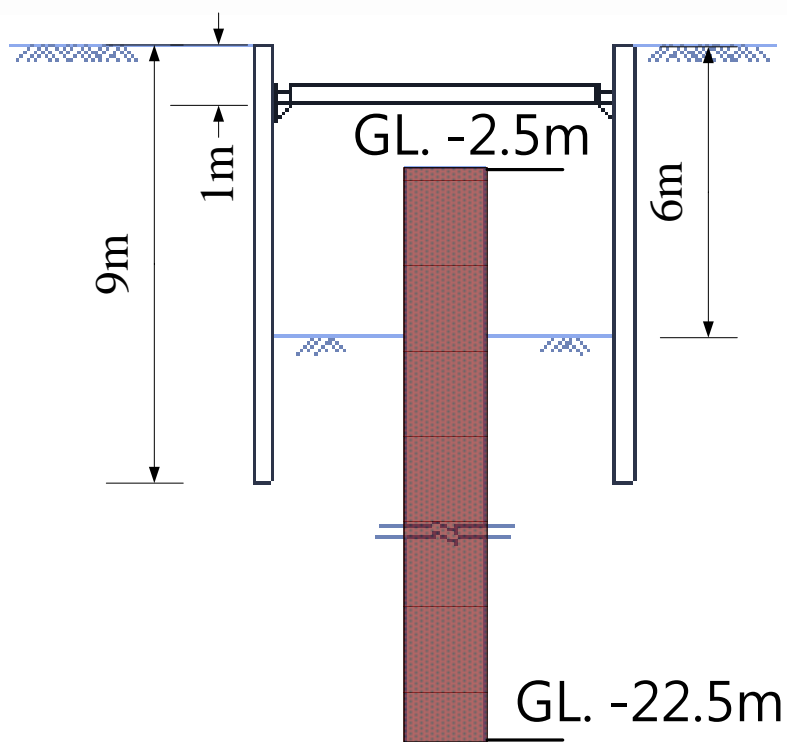
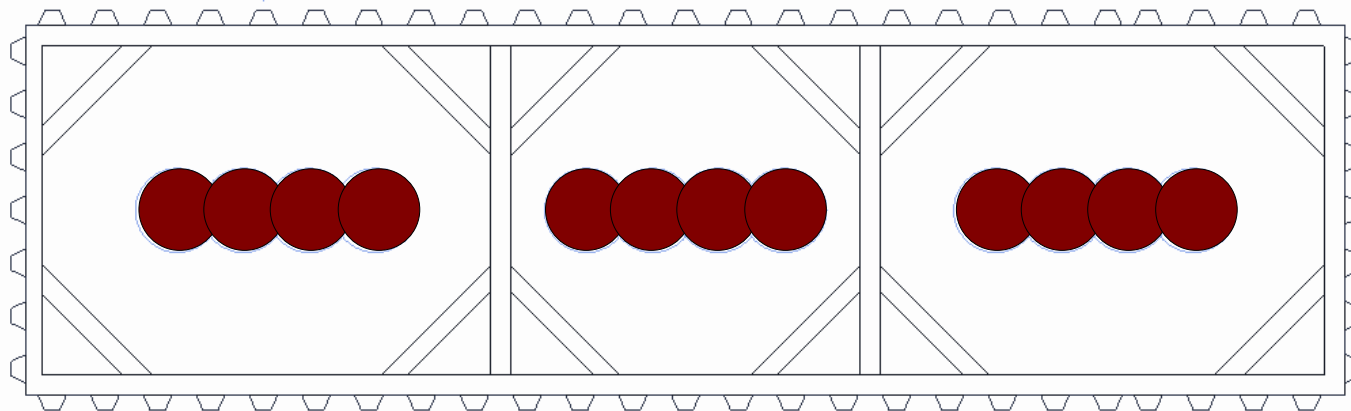
■ 單軸壓縮強度試驗

- **>280 kgf/cm²**
- 每一孔三組
- 每一孔取上中下

■ 不合格：提出補灌計畫，費用由承商自行負擔



高壓灌漿試灌試挖剖面示意圖



試灌：施作至GL.-2.5 ~ - 22.5 m
試挖：挖掘至GL.-6 m(可開挖範圍)

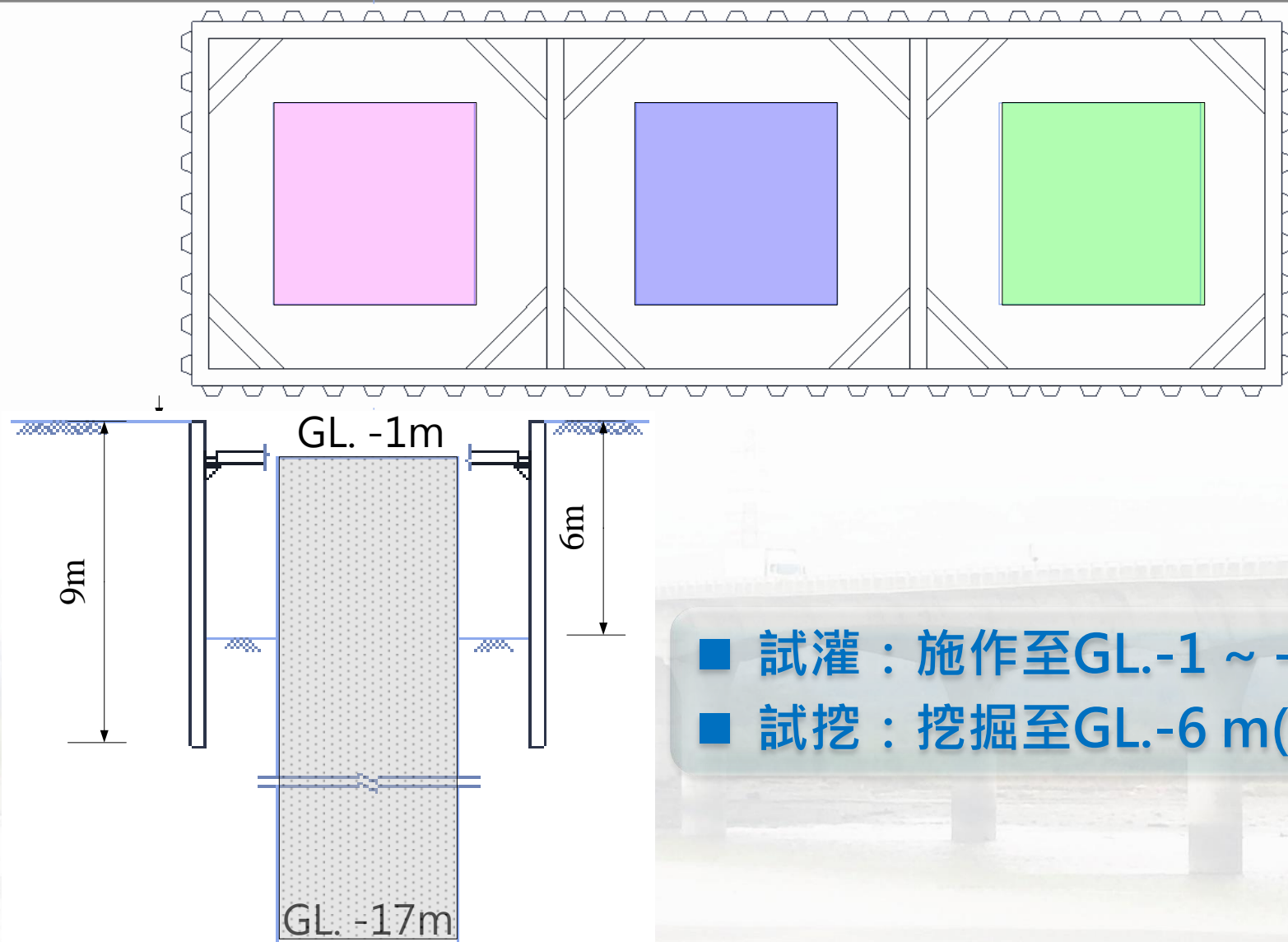


高壓灌漿試灌試挖平剖面示意圖

- 彰化一號橋下PN28~PN33墩位間
- 每區5m × 1m，3區
- 至少三組試驗資料
 - 配比(W/C)(0.93/1)
 - 噴漿時鑽桿之迴轉速度 (15 ± 2 圈/分鐘)
 - 噴漿泵送壓力($250 \pm 20 \text{kgf/cm}^2$)
 - 鑽桿提昇速度($10 \pm 2 \text{cm/min}$)
 - 漿液每分鐘灌注量($150 \pm 10 \text{L/min}$)
- 開挖後灌漿體應具有有效厚度1公尺，且重疊性良好，且取樣率及強度均符合相關規定



低壓灌漿試灌試挖剖面示意圖



- 試灌：施作至GL.-1 ~ -17 m
- 試挖：挖掘至GL.-6 m(可開挖範圍)



低壓灌漿試灌

- 彰化一號橋下PN21~PN22墩位間
- 每區5m × 5m · 3區
- 至少三組試驗資料
 - 第一階：配比(W/C/B)
 - 第二階：配比(W/SC)(4.5~5.0/1)
 - 改良注入率至少**35%**
 - 注漿泵送壓力與時間之關係($6 \sim 7 \text{ kgf/cm}^2 \pm 0.5 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$)
 - 注入孔之升幅間距(33cm)
 - 漿液每分鐘灌注量($10 \pm 2 \text{ L/min}$)



6

監測計畫



□ 地表及結構物變位

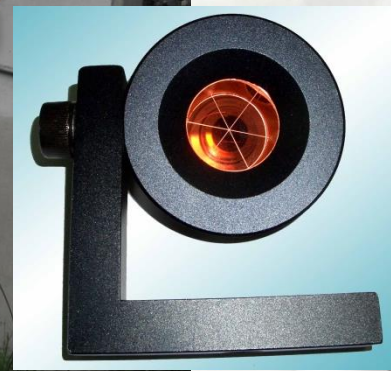
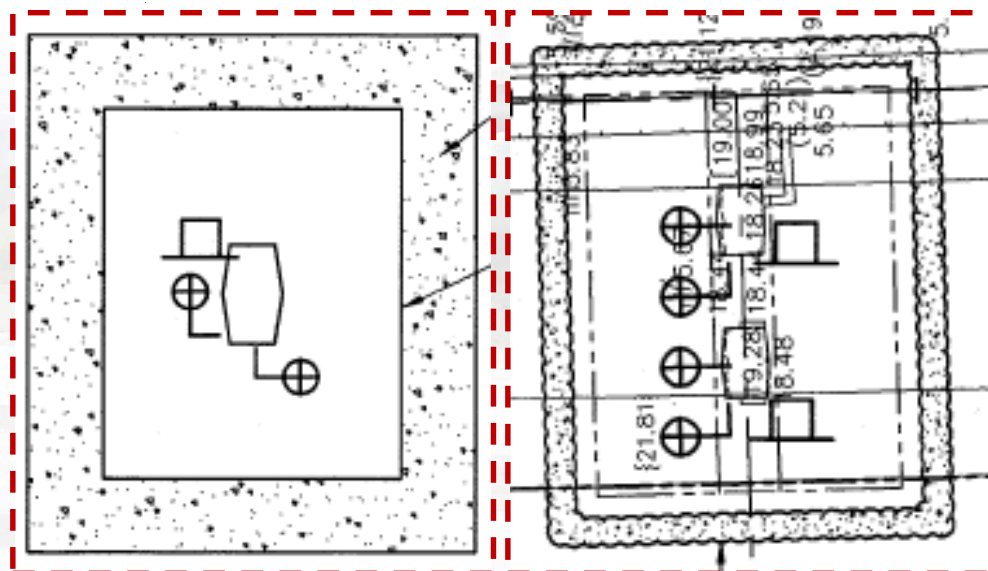
- 02495 監測儀器
- 自動化監測系統（依施工面配置組數）
- 自動化監測軟體及資料庫：工程司及其指定單位
 - 電子式傾斜計：1處/柱
 - 全測站測沉系統：2處稜鏡/柱
- 人工監測系統
 - 結構/地面 沉陷觀測點：提出配置計畫



監測管理值

儀器項目	符號	縮寫	觀測頻率	警戒值	行動值	危險值
墩柱電子式傾斜計		TI	不大於 5min	1/1000	1/750	1/500
反光菱鏡		PM	不大於 5min	5mm	8mm	10mm
地表沉陷點		SG	每天一次	15mm	20mm	25mm

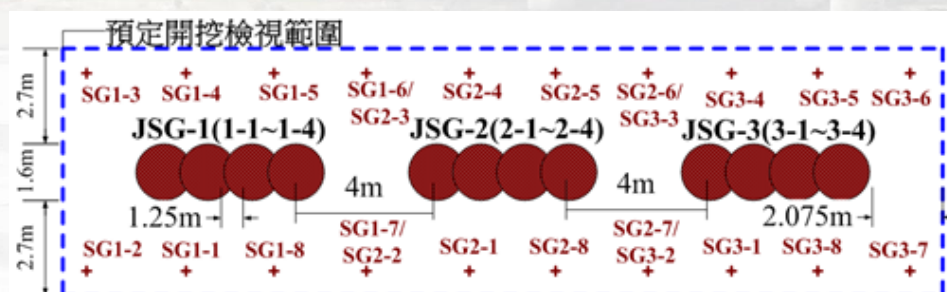
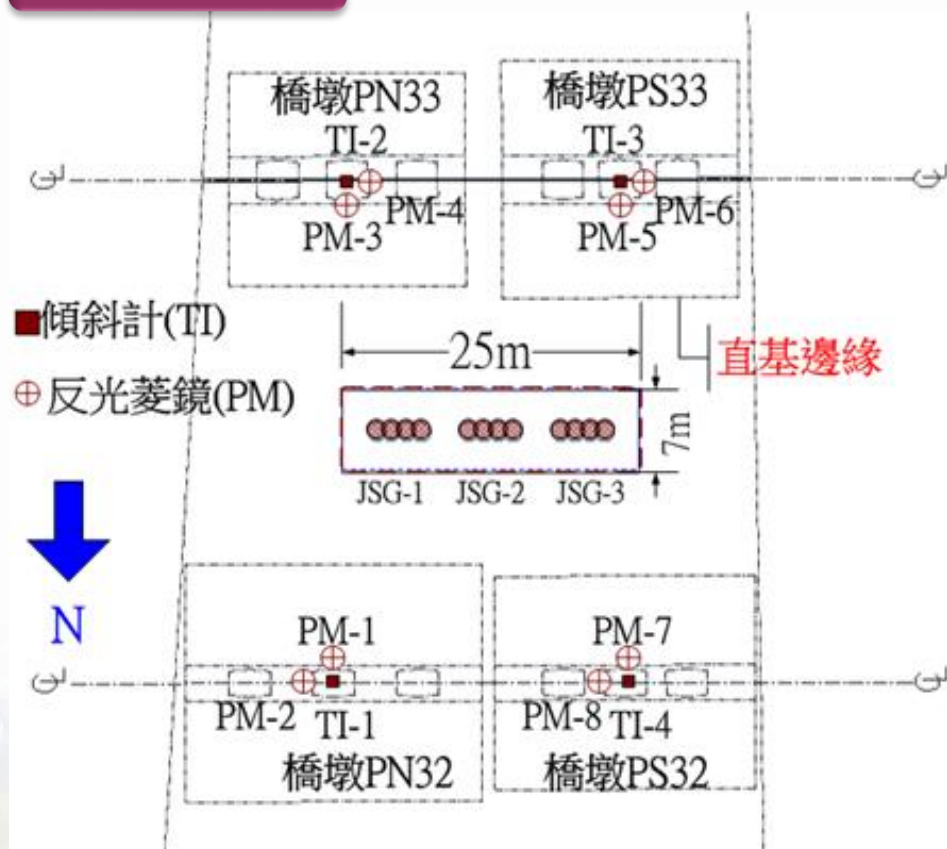
註：地表沉陷點為橋墩(橋台)以外之地表監測設置，非屬自動化監測項目。



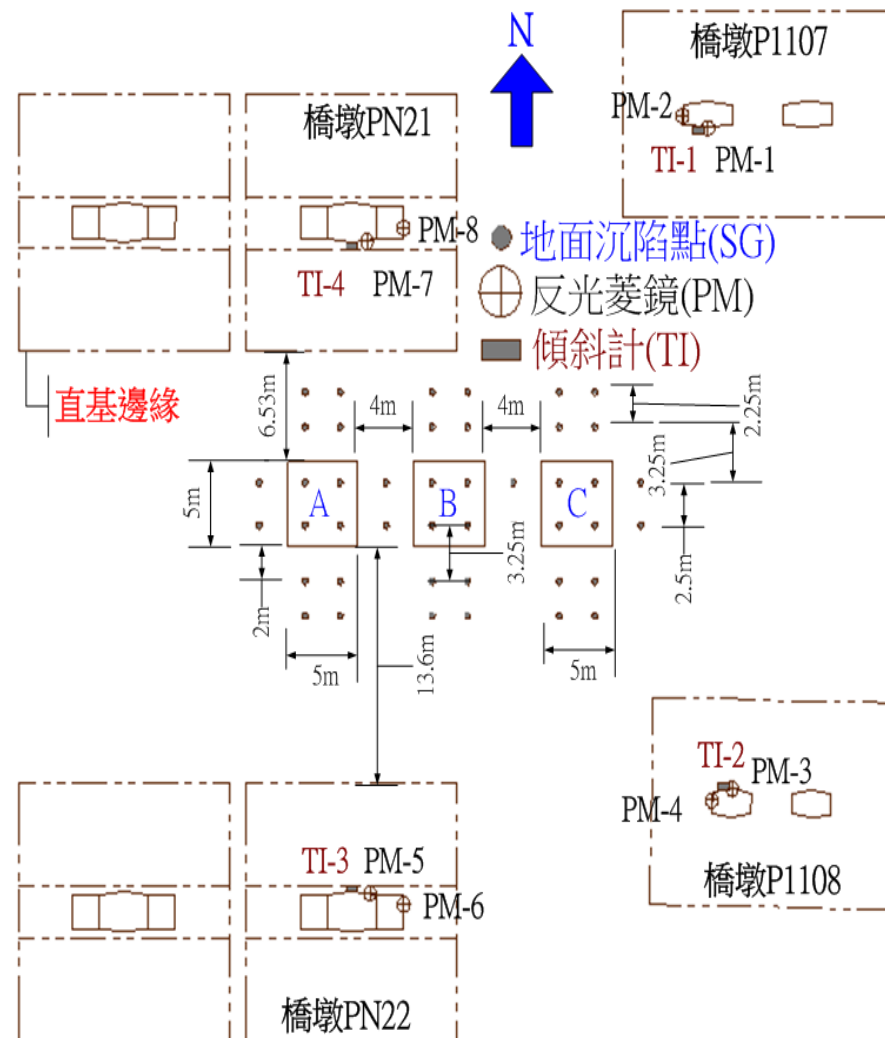


平面位置與監測儀器配置

高壓灌漿



低壓灌漿





監測結果

□ 高壓噴射灌漿

- 三種配比分區之地面沉陷點監測(離灌漿區約2m)
- 變化範圍均約在 $\pm 2\text{mm}$ 之內，平均約在 $\pm 0.7\text{mm}$ 之內，顯然對地面沉陷量變化影響不大

□ 低壓雙環塞灌漿

- 配置之地面沉陷點離灌漿區約2~4.5m
- A區約在 $\pm 5\text{mm}$ 之內，B區約有5~10mm之隆起，C區約有5~15mm之隆起
- 各灌漿區先後施作順序為A、B、C之順序，因屬滲透灌漿，灌漿壓力在地層內逐漸累積，故愈後灌漿之區域累積壓力愈大，則地面隆起愈多。

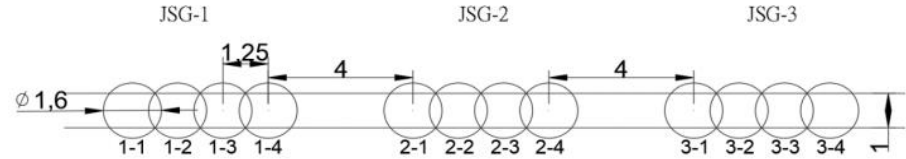


7

地質改良試灌成果



高壓試灌成果





高壓試灌成果

JSG-1

深度(m)	提取率%	鑽心描述	鑽心照片
(-2.5~3.5)	82	格頂為 GL-2.72m	
(-3.5~4.5)	91	上段(3.8m 20cm)	
(-4.5~5.5)	93		
(-5.5~6.5)	98		
(-6.5~7.5)	97		
(-7.5~8.5)	93		
(-8.5~9.5)	98		
(-9.5~10.5)	96	中段(-10m 23cm)	
(-10.5~11.5)	97		
(-11.5~12.5)	93		
(-12.5~13.5)	91		
(-13.5~14.5)	93		
(-14.5~15.5)	95		
(-15.5~16.5)	94		
(-16.5~17.5)	96		
(-17.5~18.5)	96		
(-18.5~19.5)	96		
(-19.5~20.5)	94	下段(-20.17m 13cm)	
(-20.5~21.5)	95		
(-21.5~22.5)	96		
20m	94.2		

JSG-2

深度(m)	提取率%	鑽心描述	鑽心照片
(-2.5~3.5)	73	格頂為 GL-2.83m	
(-3.5~4.5)	96		
(-4.5~5.5)	93		
(-5.5~6.5)	96		
(-6.5~7.5)	97	上段(-7m 18cm)	
(-7.5~8.5)	96		
(-8.5~9.5)	98		
(-9.5~10.5)	95		
(-10.5~11.5)	97		
(-11.5~12.5)	87		
(-12.5~13.5)	94		
(-13.5~14.5)	95		
(-14.5~15.5)	97	中段(-15.1m 23cm)	
(-15.5~16.5)	94		
(-16.5~17.5)	99		
(-17.5~18.5)	95	下段(-17.81m 17cm)	
(-18.5~19.5)	96		
(-19.5~20.5)	98		
(-20.5~21.5)	93		
(-21.5~22.5)	96		
20m	94.25		

JSG-3

深度(m)	提取率%	鑽心描述	鑽心照片
(-2.5~3.5)	78	格頂為 GL-2.72m	
(-3.5~4.5)	95		
(-4.5~5.5)	96		
(-5.5~6.5)	96		
(-6.5~7.5)	93		
(-7.5~8.5)	93		
(-8.5~9.5)	92	上段(-9.32m 23cm)	
(-9.5~10.5)	95		
(-10.5~11.5)	97		
(-11.5~12.5)	94		
(-12.5~13.5)	98		
(-13.5~14.5)	92		
(-14.5~15.5)	97		
(-15.5~16.5)	96	中段(-16.23m 12cm)	
(-16.5~17.5)	99		
(-17.5~18.5)	98		
(-18.5~19.5)	95		
(-19.5~20.5)	98	下段(-20.12m 21cm)	
(-20.5~21.5)	97		
(-21.5~22.5)	97		
20m	94.8		

組別 (水灰比)

JSG-1 (746:800)

JSG-2 (730:850)

JSG-3 (760:760)

平均取樣率

94.90 %

96.00 %

93.19 %

平均單壓強度

66.47 kgf/cm²

57.13 kgf/cm²

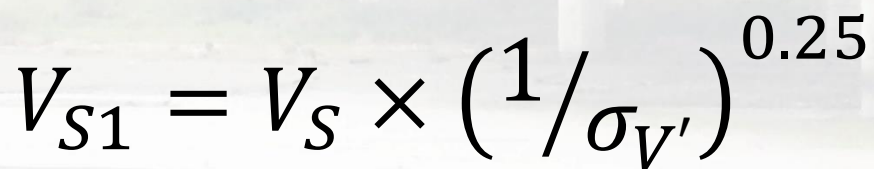
57.77 kgf/cm²

有效厚度

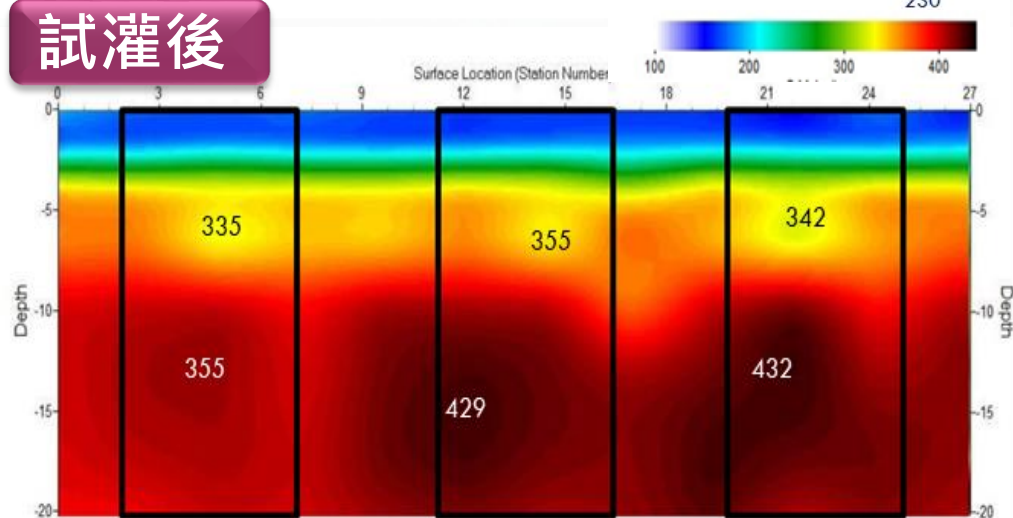
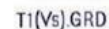
1.23 m

1.26 m

1.01 m



$$V_{s1} \geq 230 \text{ m/s}$$

A B 

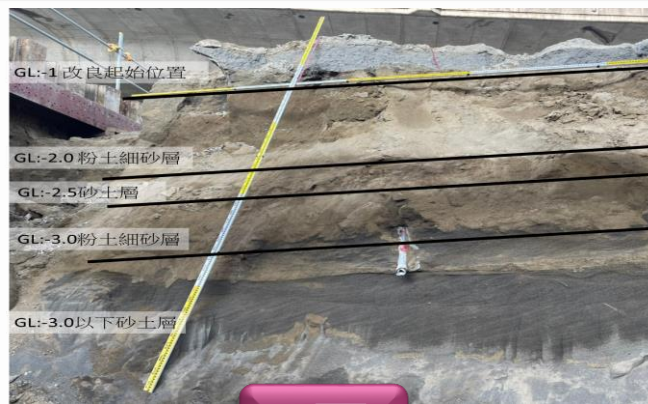
C 11



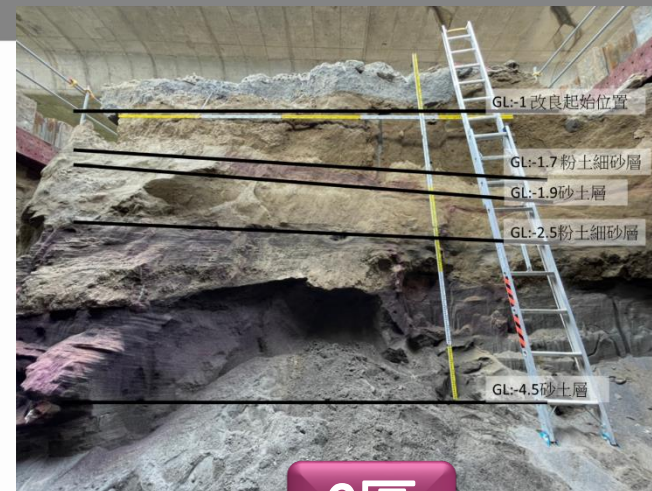
低壓試灌成果



A區



B區



C區



組別 (水:超微細水泥)	平均正規化剪力波速 V_{s1} (GL-9m~-17m)	酚酞有反應面積
A (931:207=4.5)	308 m/s	84 %
B (933:199=4.7)	348 m/s	80 %
C (937:188=5.0)	368 m/s	88 %

C組/不同深度	V_{s1}	$V_{s1}/230$
GL. -1~3m	268 m/s	1.17
GL. -3~9m	335 m/s	1.45
GL. -9~17m	368 m/s	1.60



簡報完畢
敬請指教

