



# 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





# 工程範圍與地質概況

1



# 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

190K+700

207K+600







2

# 直接基礎設計



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

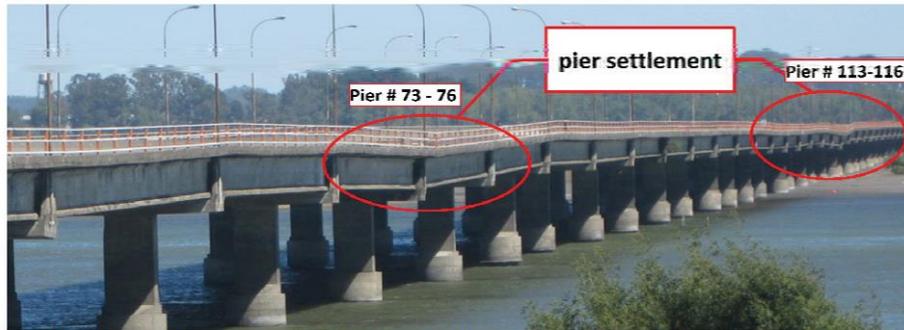


Figure 9.13. Juan Pablo II bridge – Pier settlements (S36.815122° W73.084369°; 1453 hrs on 3/15/2010)



Figure 9.9. 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 9.14. 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 9.15. 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

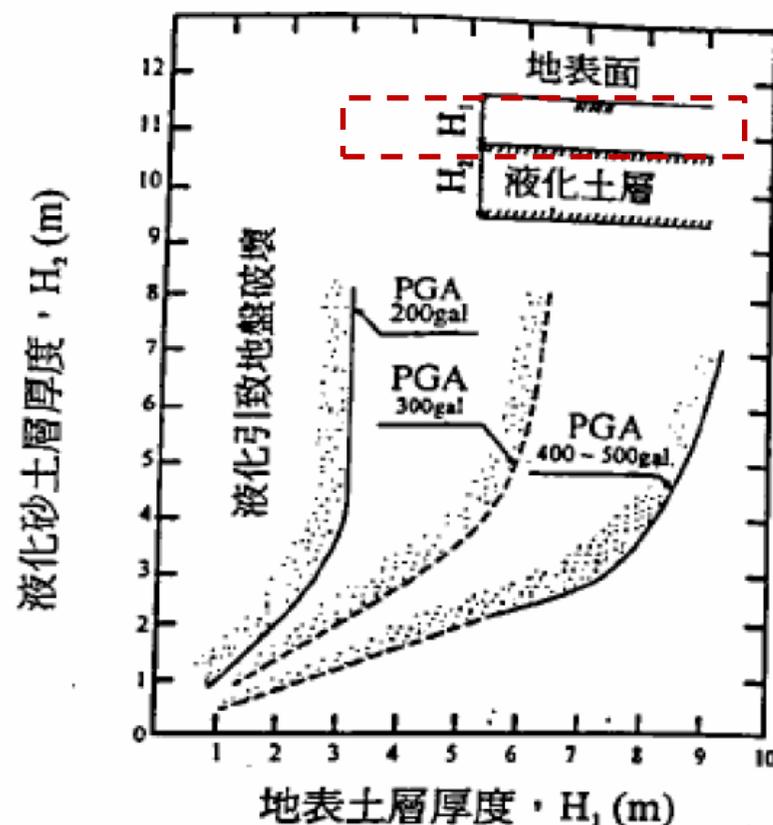
建築物基礎構造設計規範(草案,2018)



# 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

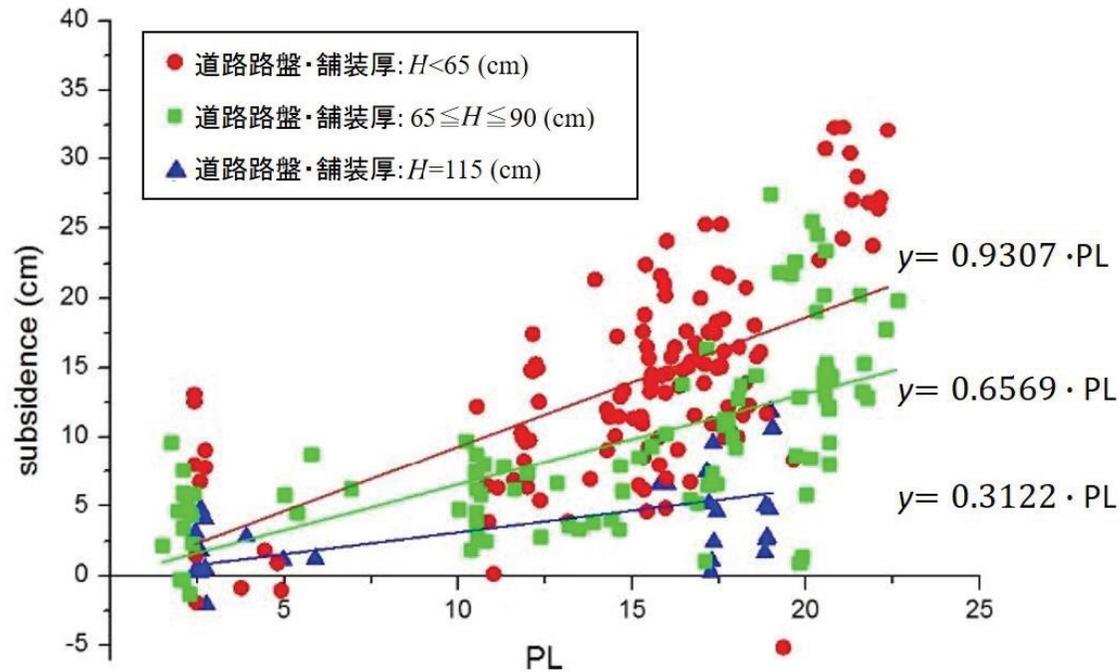


図-12 道路の平均沈下量と PL 値の関係

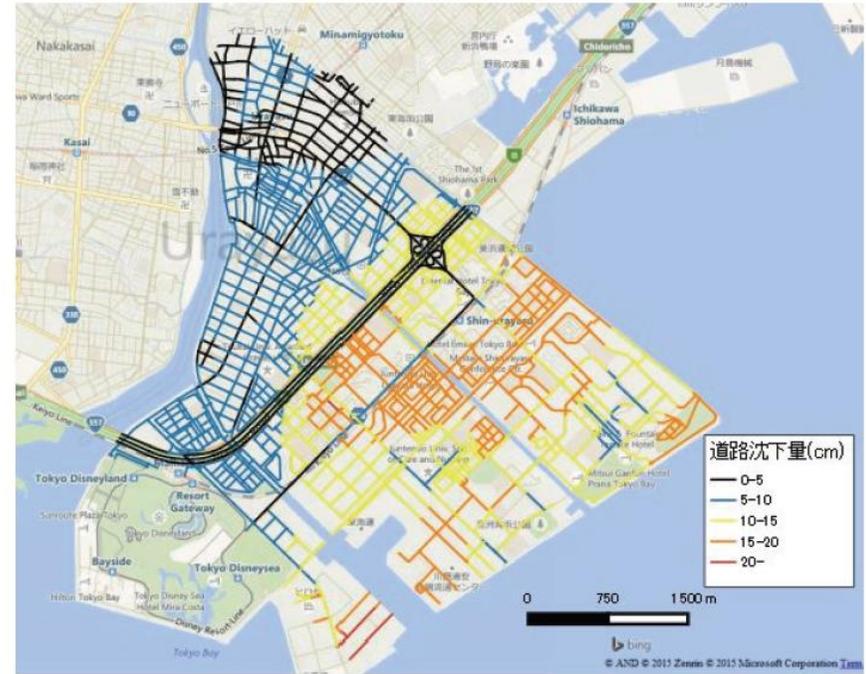


図-13 道路沈下量を予測する新たな液状化危険度マップ

**$PL=2 \sim 5$  亦有  $2 \sim 10$ 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



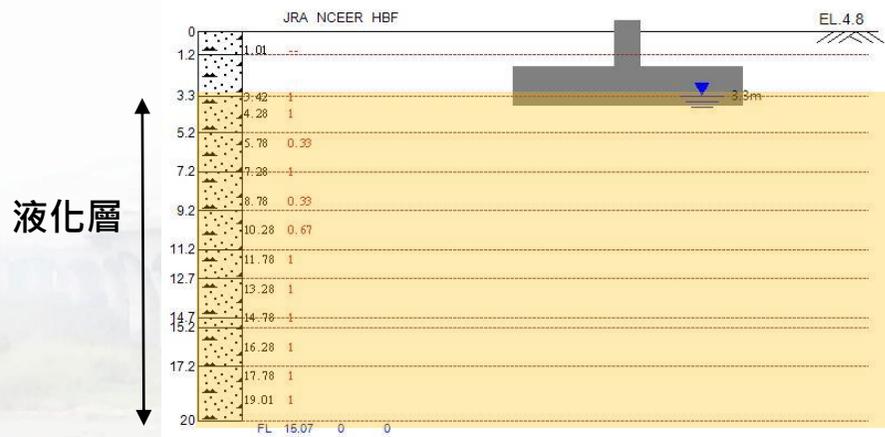
- 浦安市的四層SRC停車場 (2011.3.13攝影)：震後觀察無地面變形
- 裝設之土水壓計，地震前後後數值沒有明顯變化



# 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

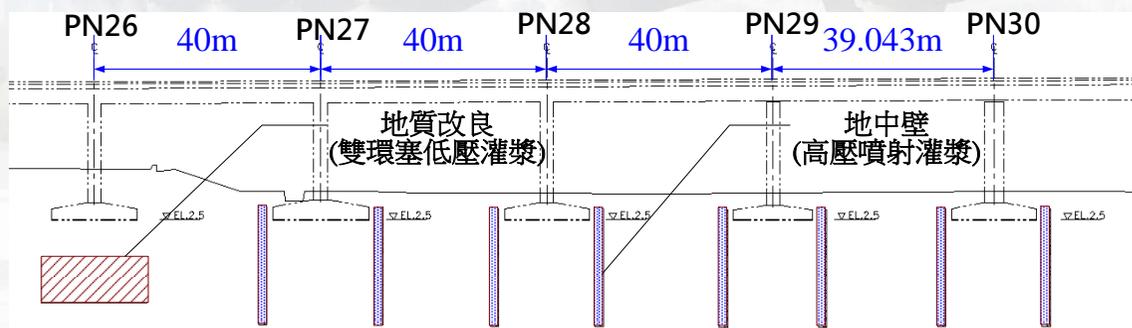
橋梁基礎為淺基礎者且具液化潛勢者(PL>5)  
震陷量約5.2~29 cm



# 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
<b>合計</b>	<b>87</b>



# 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)

(TYPE3)

(TYPE2)

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

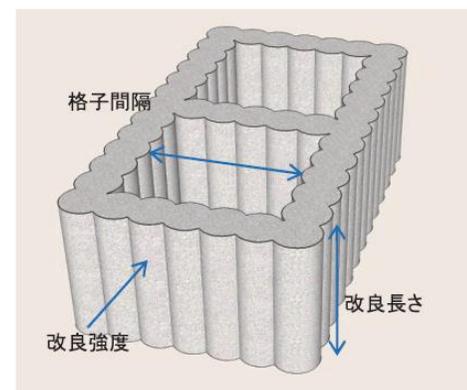
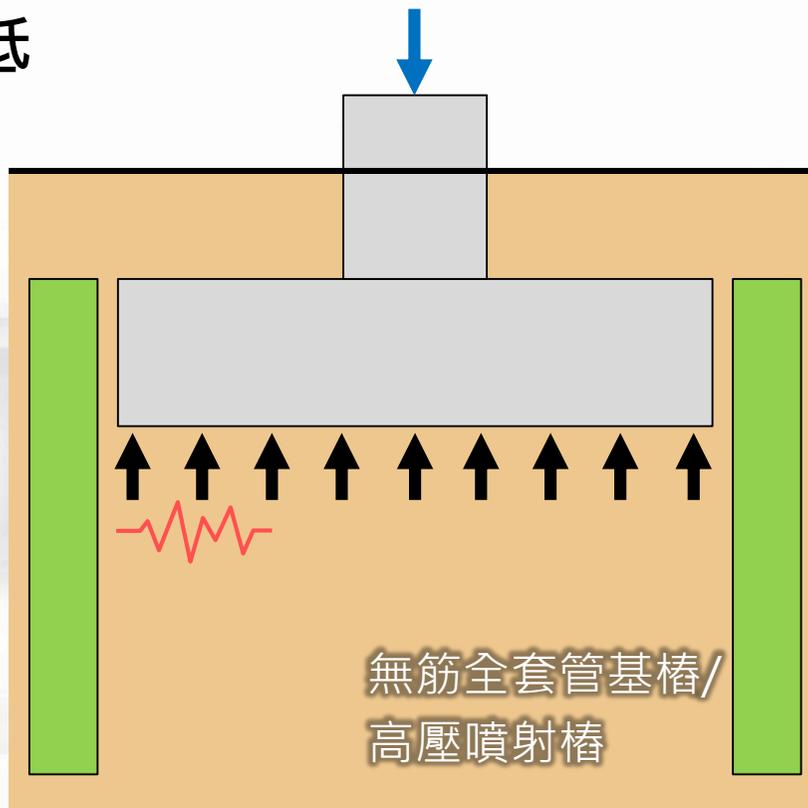
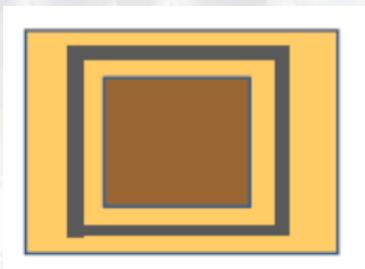
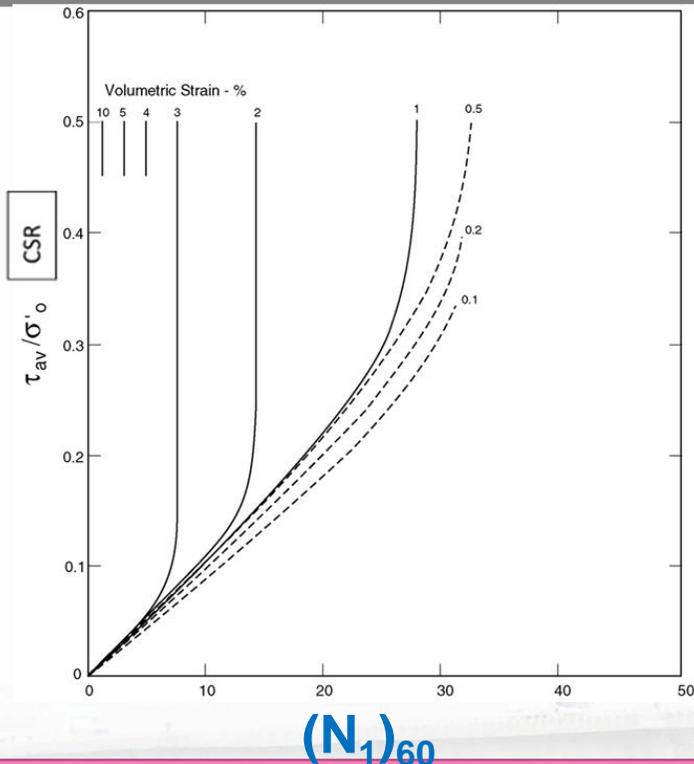


Fig. 1 格子狀地盤改良工法



# 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)

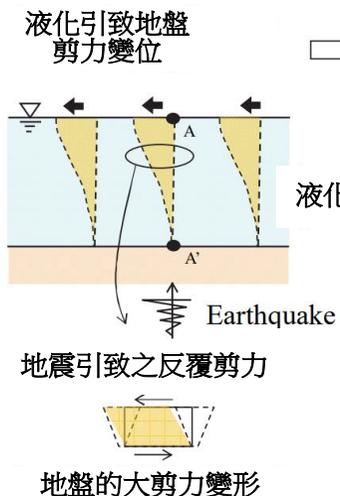
註 2, Remedial measures against soil liquefaction (Japanese Geotechnical Society, 1998)

註 3, 建築物基礎構造設計規範(草案, 2018),

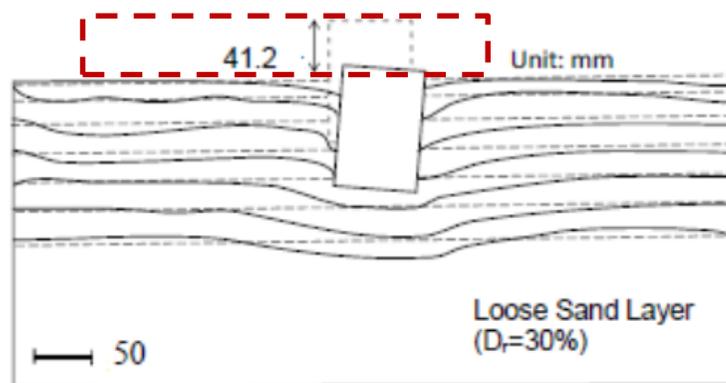
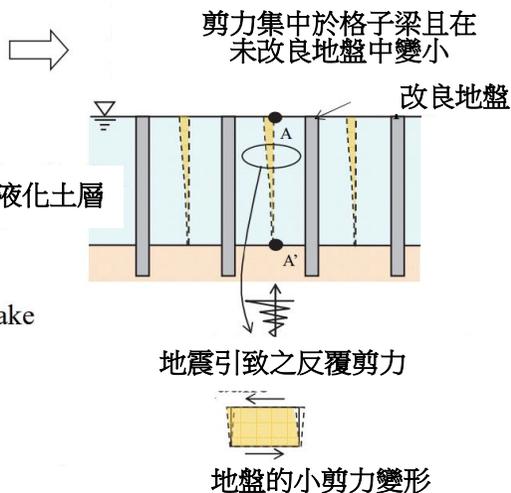


# 地中壁改良效果之理論與試驗

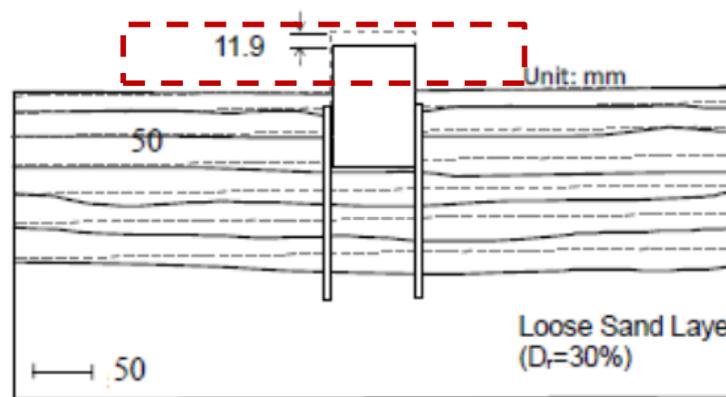
## 未改良地盤



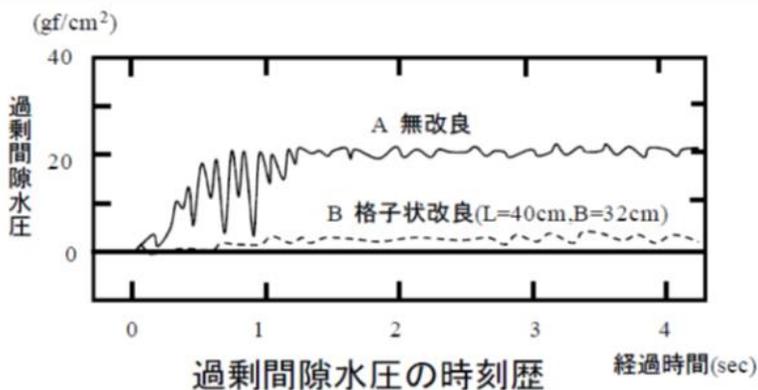
## 格子狀改良地盤



(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))

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

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

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

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

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

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

$$G = 258q_u$$

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

$$\gamma_{d'} = 1 - 0.026z \quad z(m) \quad (5)$$

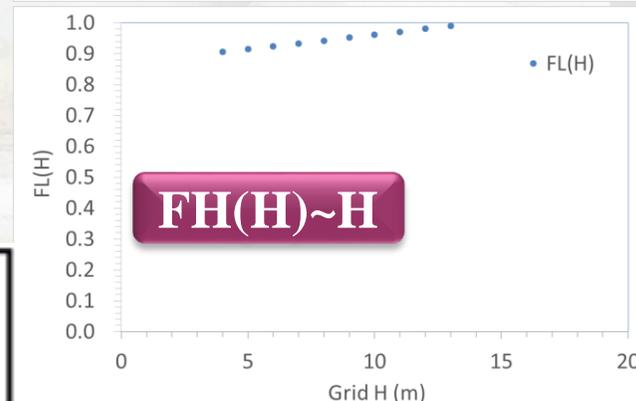
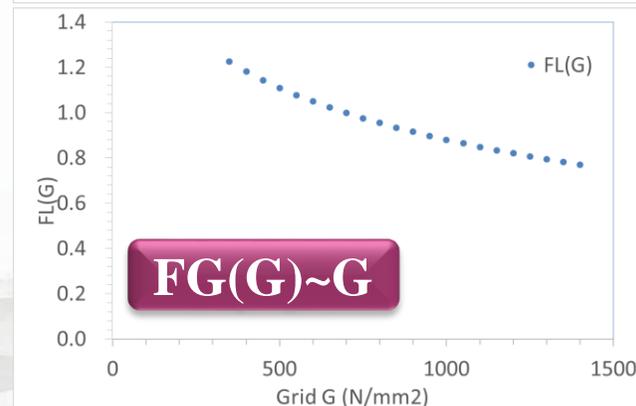
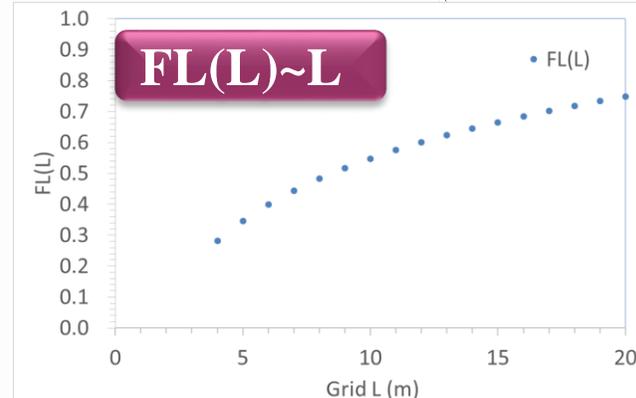
$$\left(\frac{\tau_d}{\sigma_z'}\right) = \gamma_n \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_z'} \cdot \gamma_d \quad (1)$$

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

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

抗液化安全係數

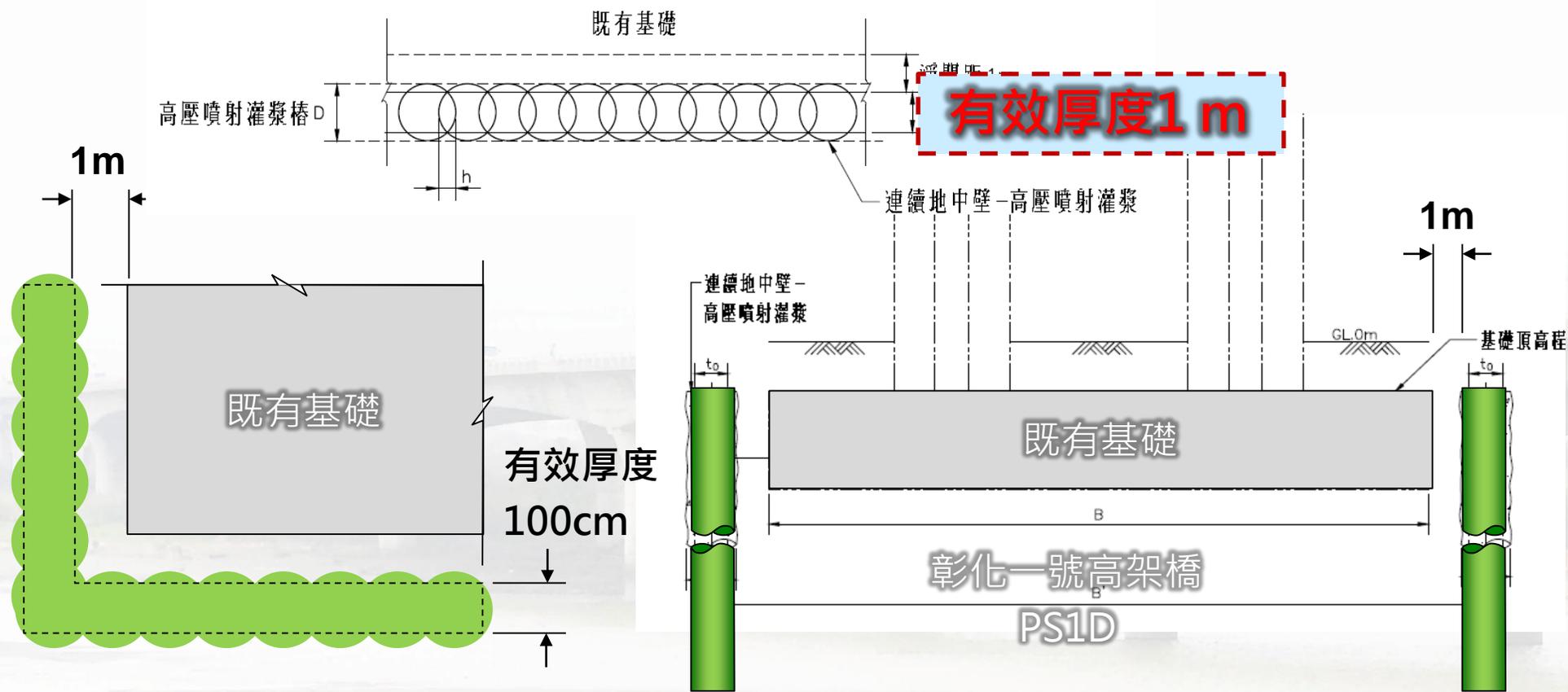
$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$





# 地中壁-高壓灌漿(TYPE2)

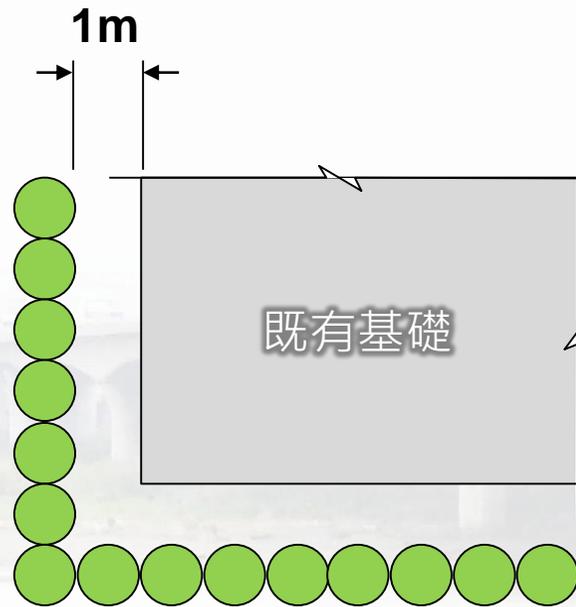
- 距既有基礎1m外增設有效厚100cm之高壓噴射樁
- 施工淨高限制少(約鑽機高度)



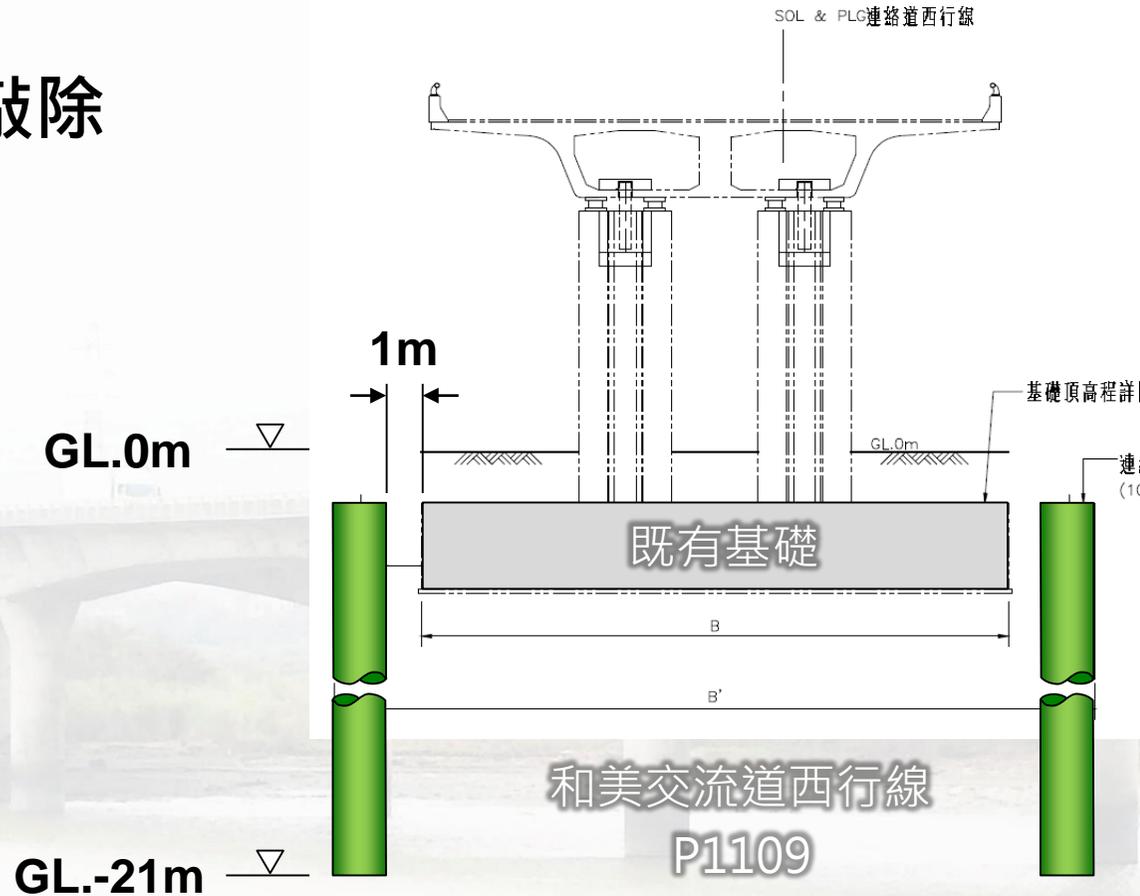


# 地中壁-無筋全套管樁(TYPE3)

- 距既有基礎1m外增設100cm $\phi$ 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



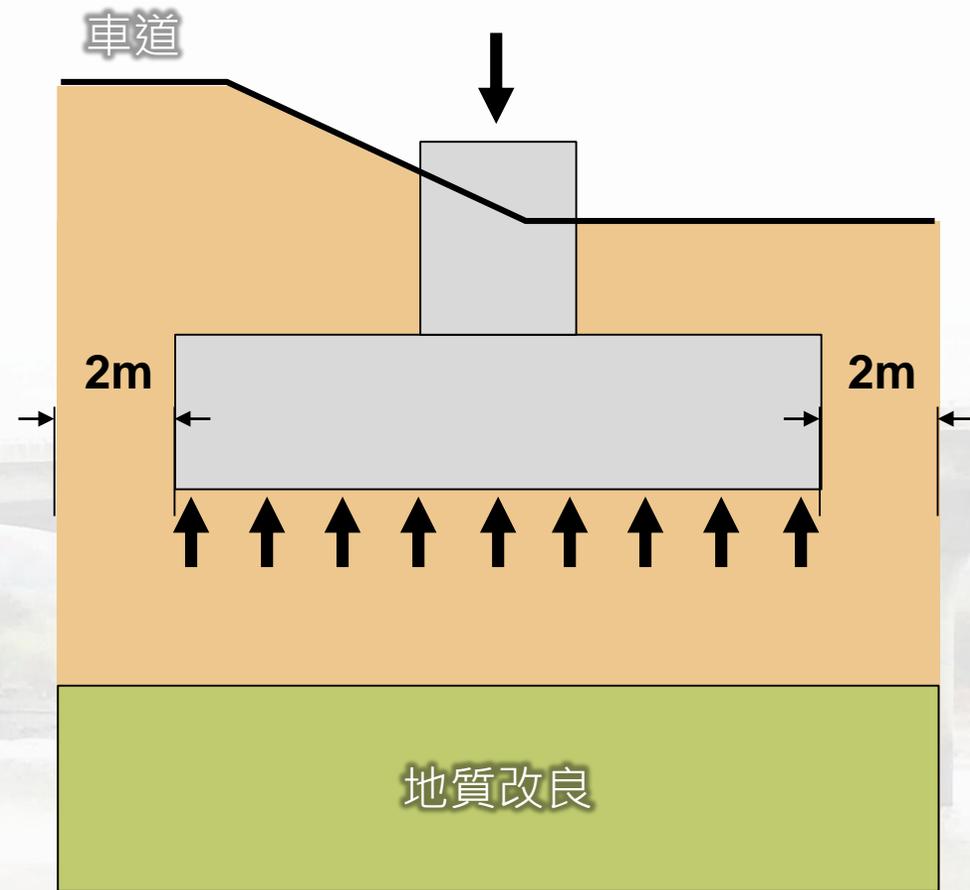
- 地中壁工法須進行匝道封閉，並於匝道上施工
- 地中壁-高壓灌漿斜灌不易形成理想的圓柱改良樁體

# 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)

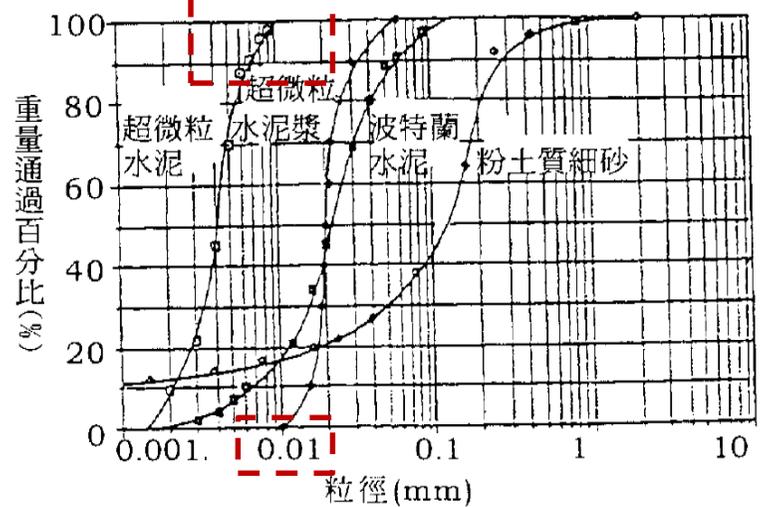
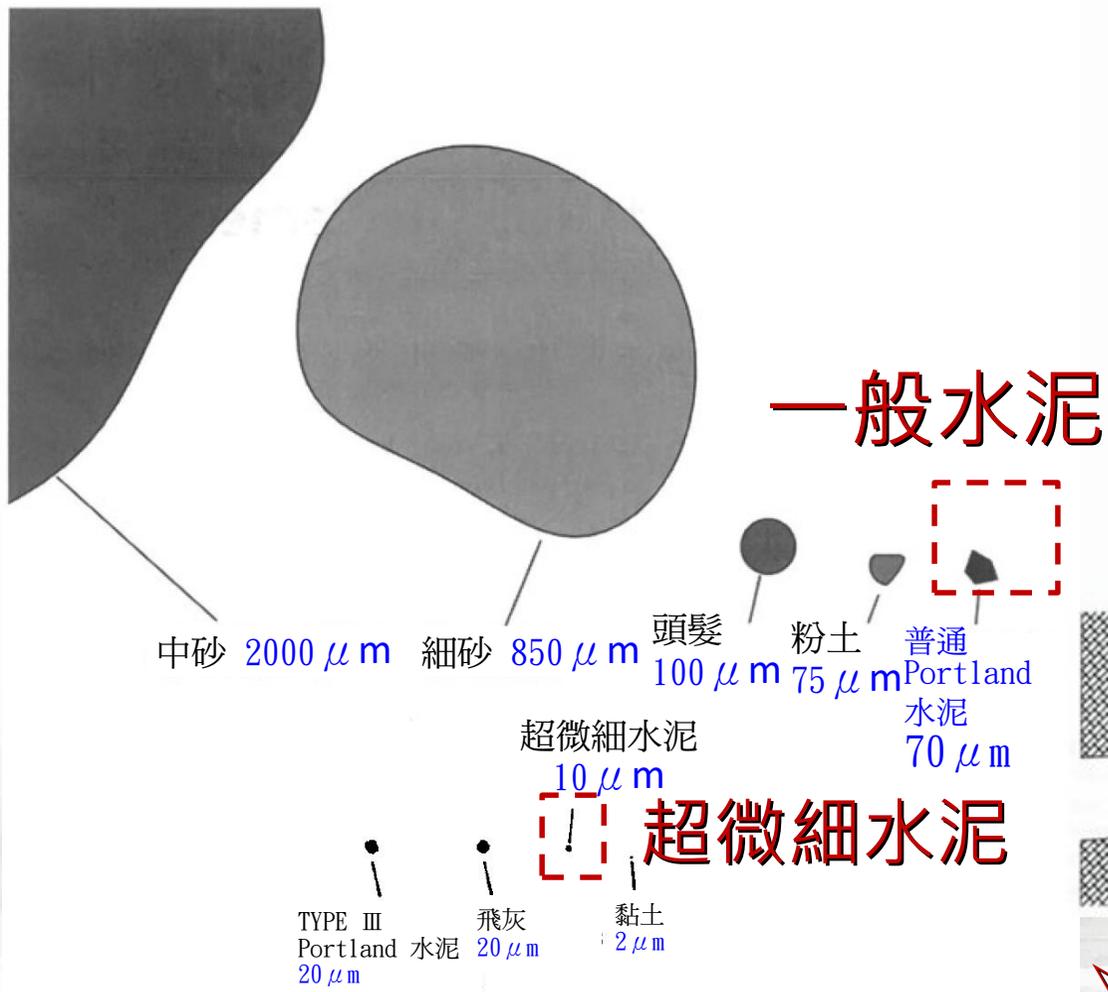
### ■ 於基礎下方斜灌方式將基礎下方進行地盤改良

- ❖ 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

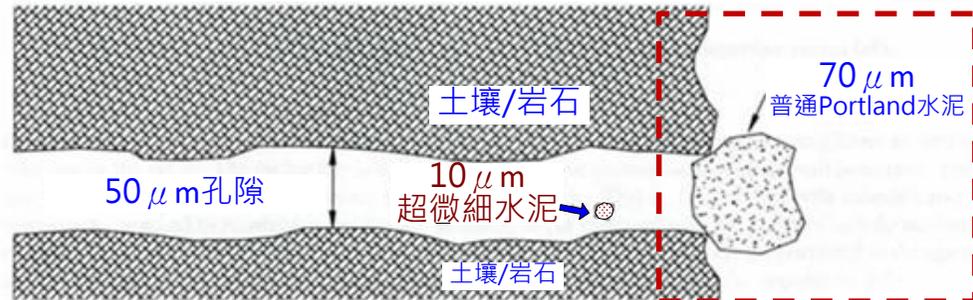


# 超微細水泥

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)

# 超微細水泥

## 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：

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

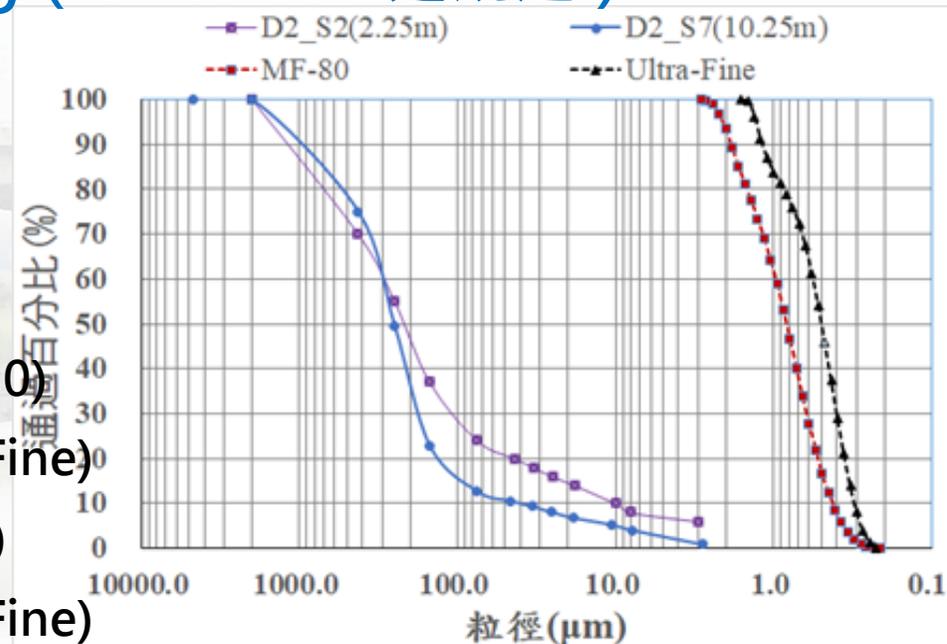
◆  $(D_{10})_{\text{soil}} / (D_{95})_{\text{grout}} > 8$

□ 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)

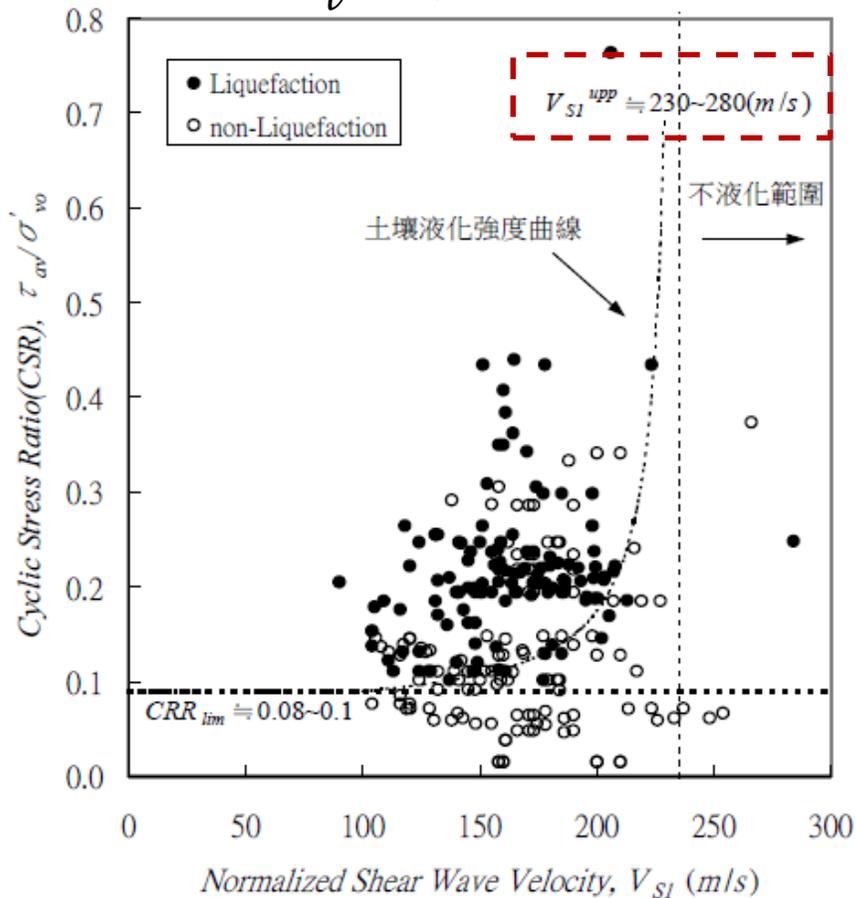
□ 本標  $(D_{10})_{\text{soil}} / (D_{95})_{\text{grout}} = 14.6$  (Ultra Fine)





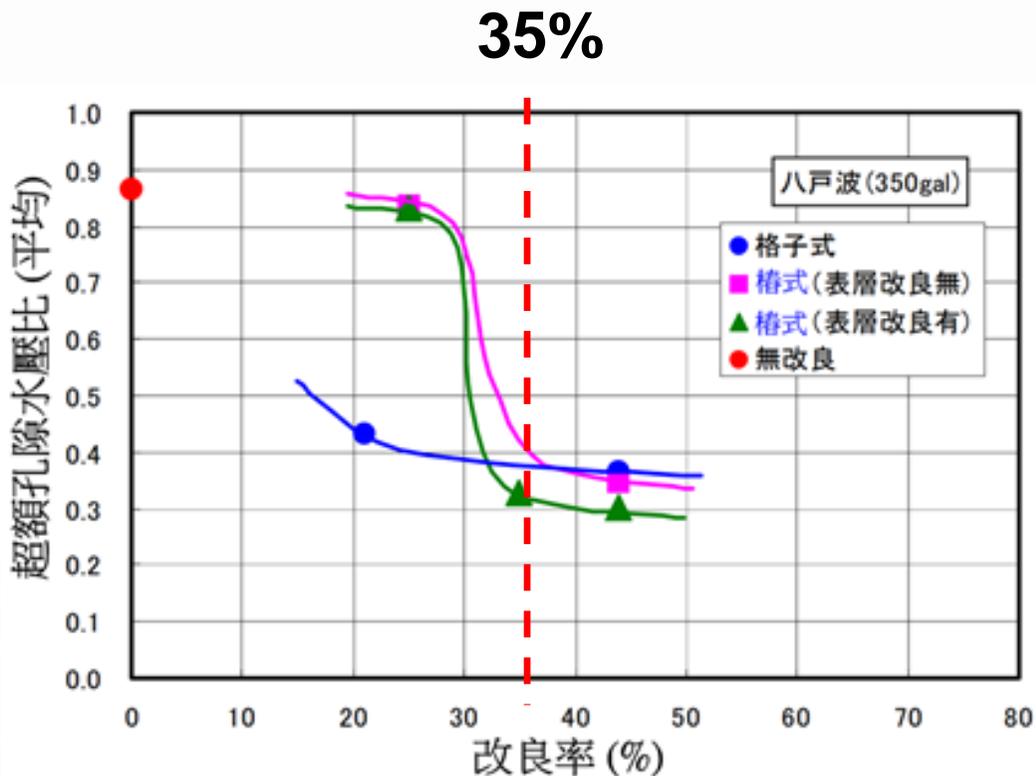
# 剪力波速與改良率

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



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)

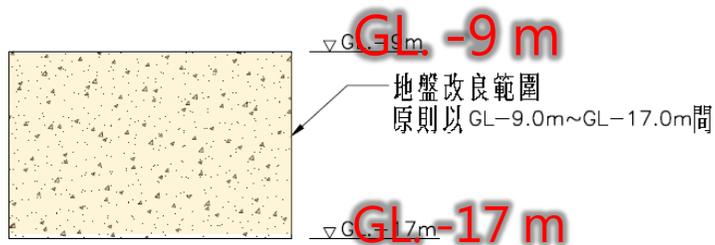
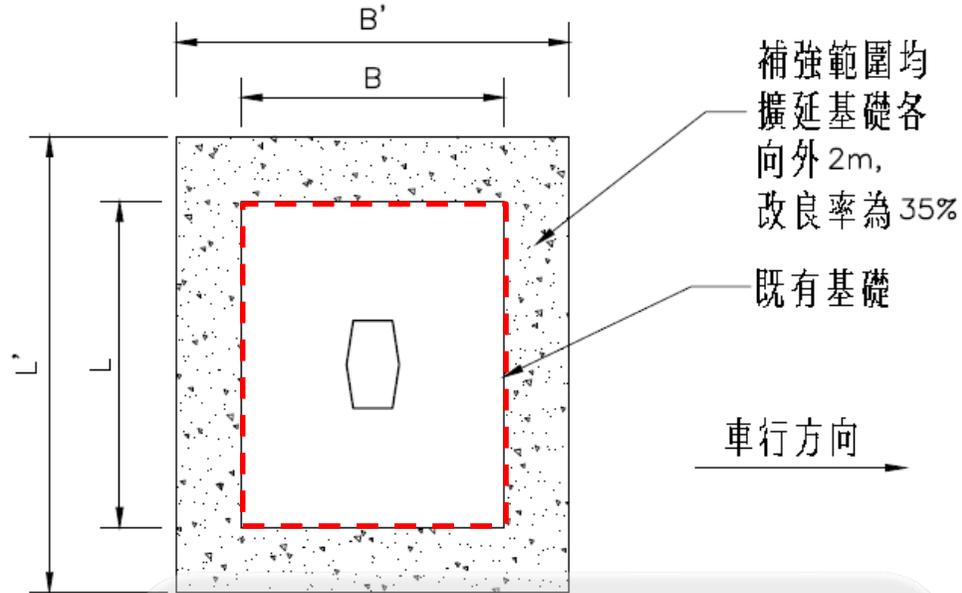
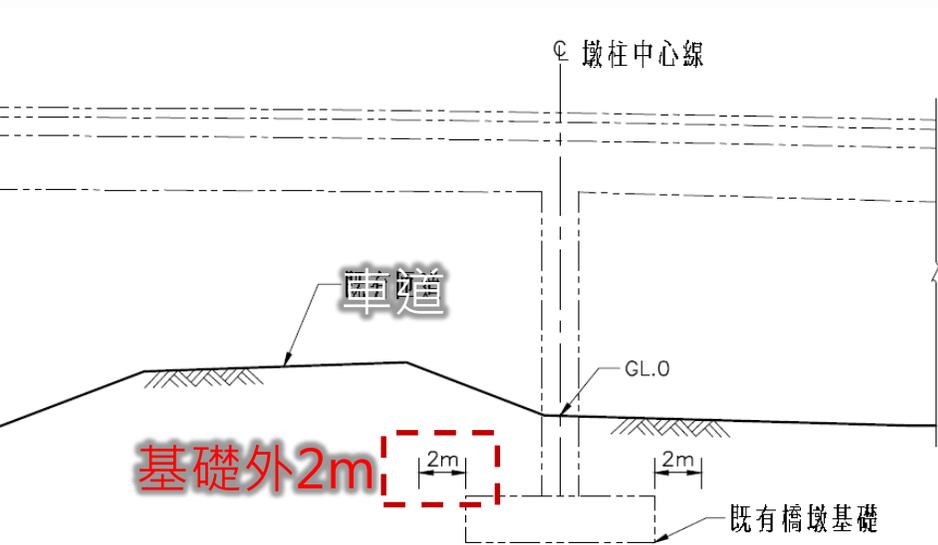


土壤改良注入率與超額孔隙比水壓比較 (山本楊一等人, 2006)





# 地質改良體-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

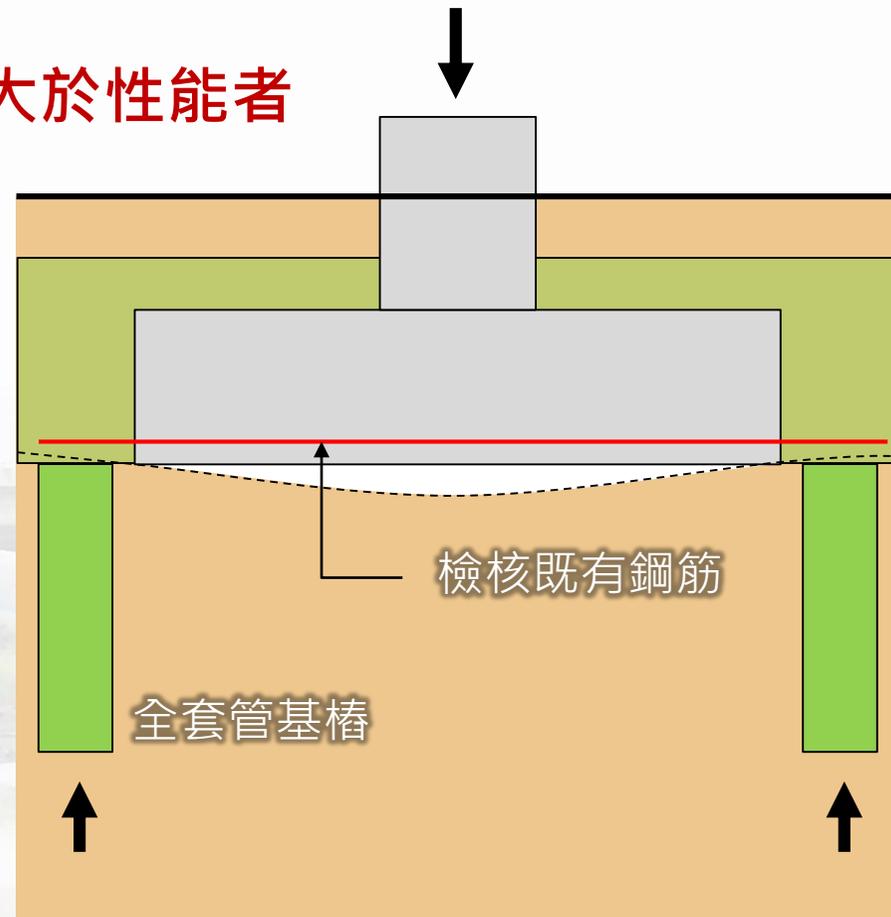
❖ 針對以地質改良，沉陷量仍大於性能者

❖ 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

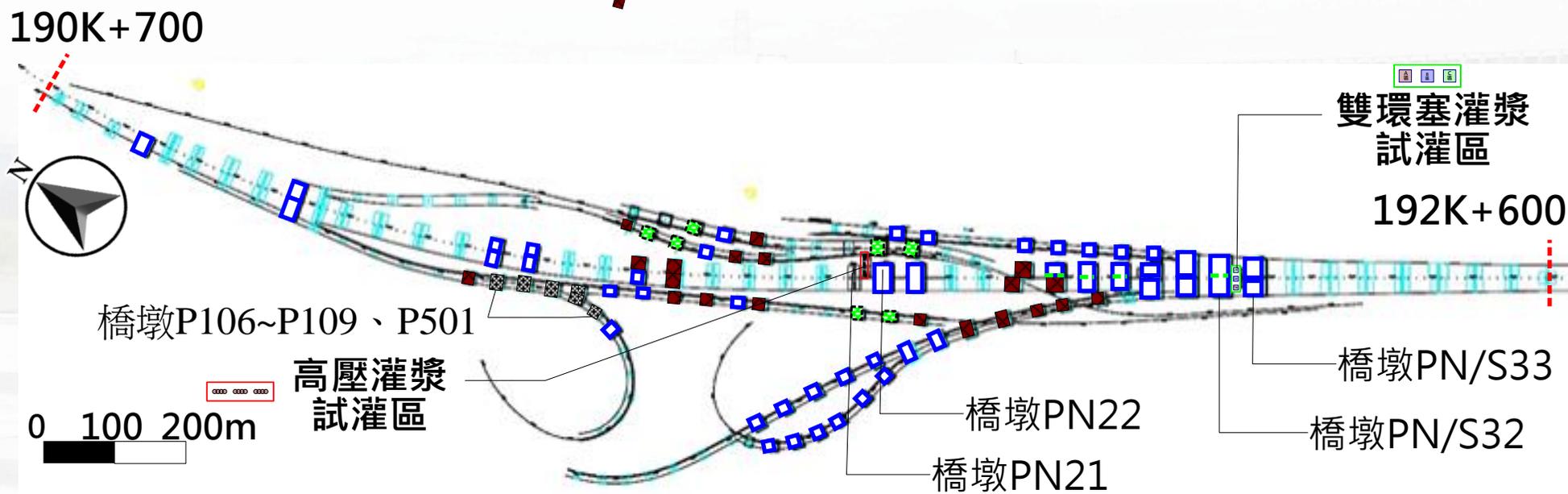




# 地質改良工法平面配置圖

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 雙環塞低壓灌漿	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





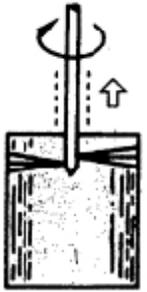
4

# 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

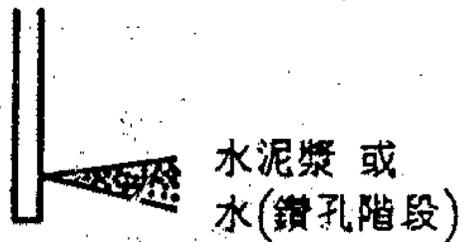
工法/簡稱	Chemical Chuming Pile /CCP	Jumbo Special Pile /JSP	Jumbo-Jet Special Grout /JSG	Columm-Jet Grout /CJG
常用壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	180~200	180~200	200~250	400
水泥吐油量 (L/分)	20~40	40~100	40~100	140~180
鑽桿型式	單管	雙重管	雙重管	三重管
空氣	不使用	視情況	7 kgf/cm <sup>2</sup>	7 kgf/cm <sup>2</sup>
成形直徑	30~50cm	60~100cm	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

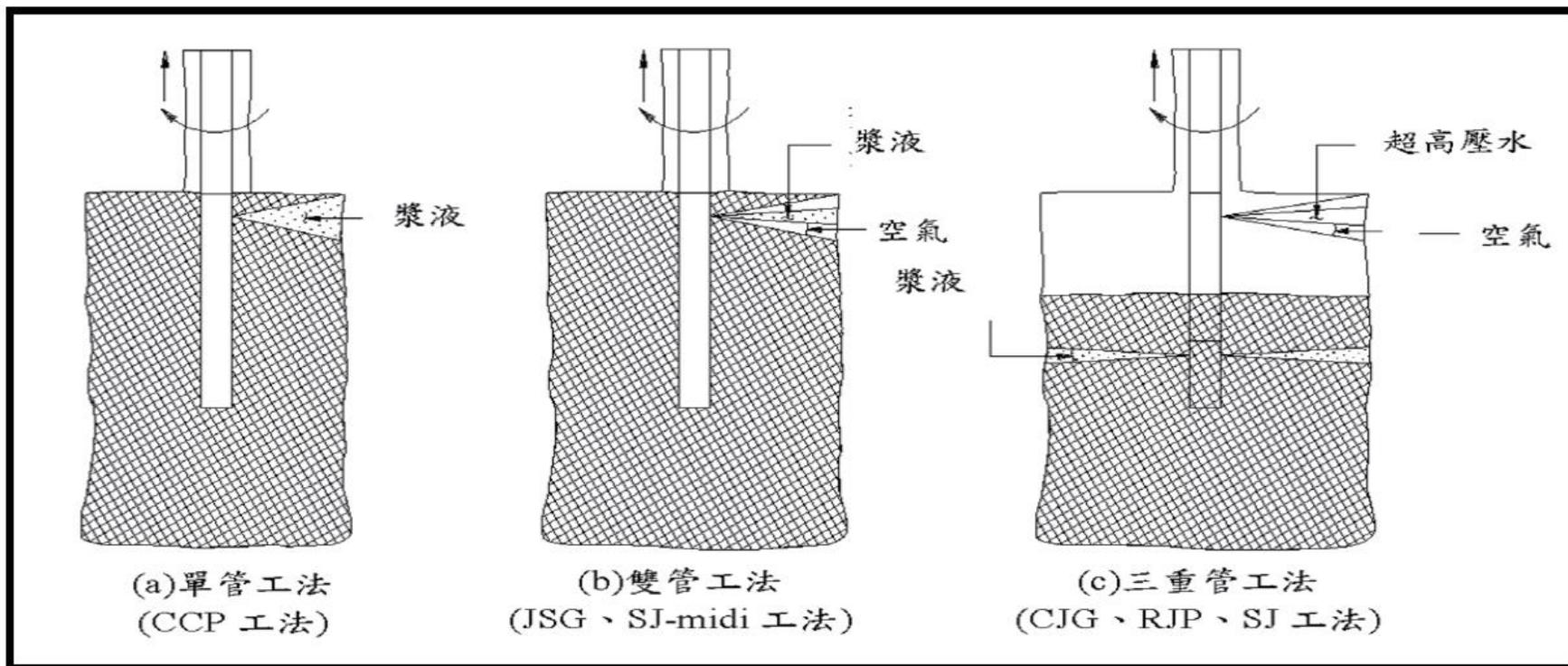
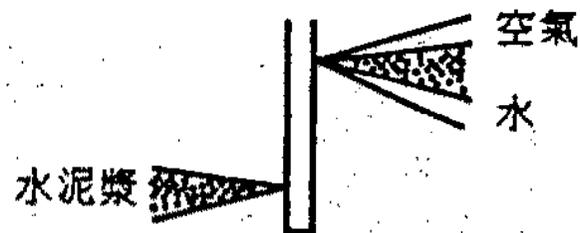
### 單重管



### 雙重管



### 三重管



地盤改良設計及施工案例(廖洪鈞等, 2006)

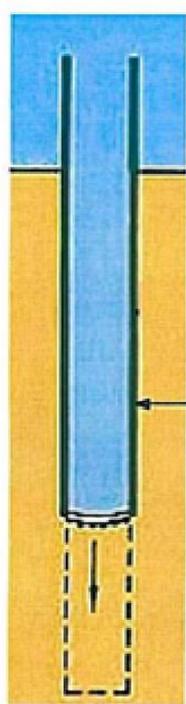


4.2

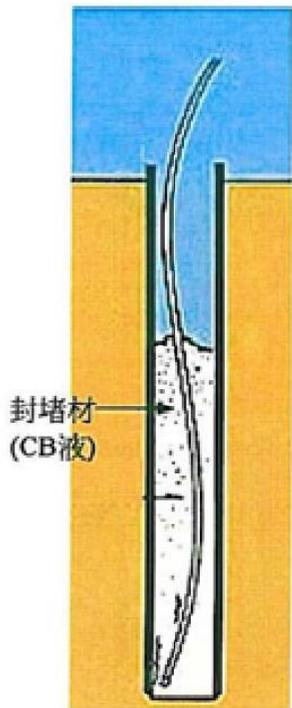
# 低壓灌漿：雙環塞灌漿



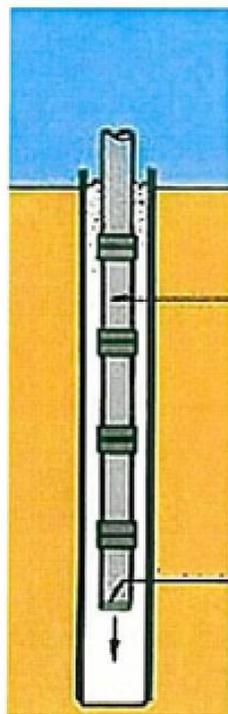
# 雙環塞灌漿(Double Packer)工法施工步驟



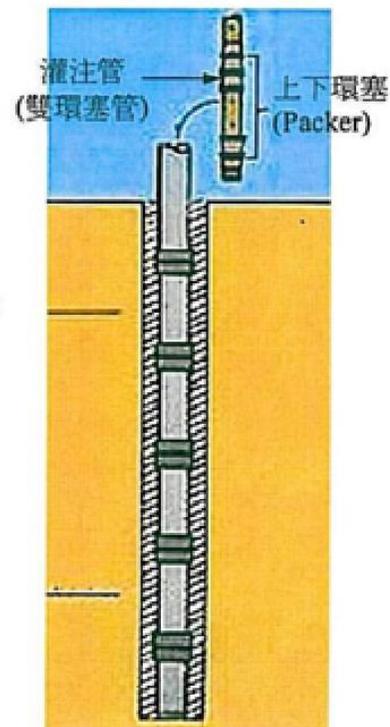
1 鑽機定位



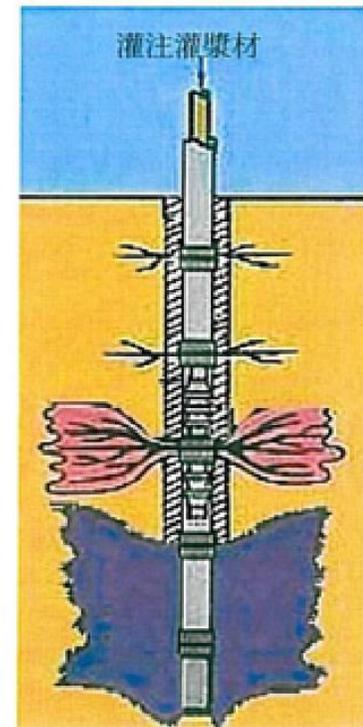
2 灌注封堵材



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： $350 \text{ kgf/cm}^2$  (7天)、 $500 \text{ kgf/cm}^2$  (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： $3.0 \pm 0.1$
- 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



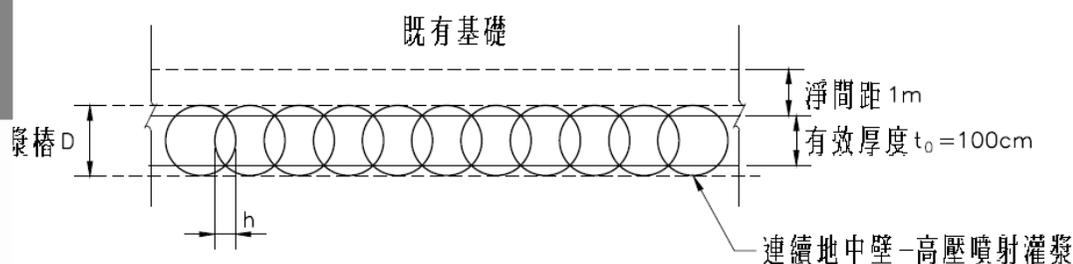
5

# 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

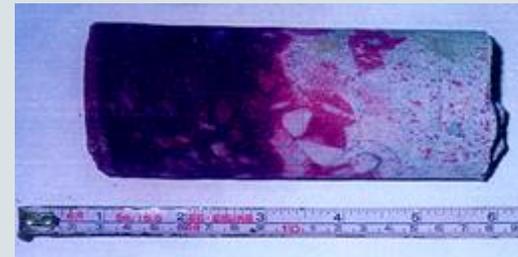
- **> 20kgf/cm<sup>2</sup>**
- 每一孔3組，取上中下
- 試灌(施工前)：施作至GL.-1 ~ - 21 m

### ■ 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

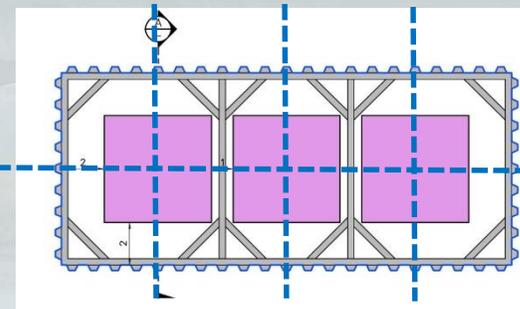


## ■ 剪力波速量測

- 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

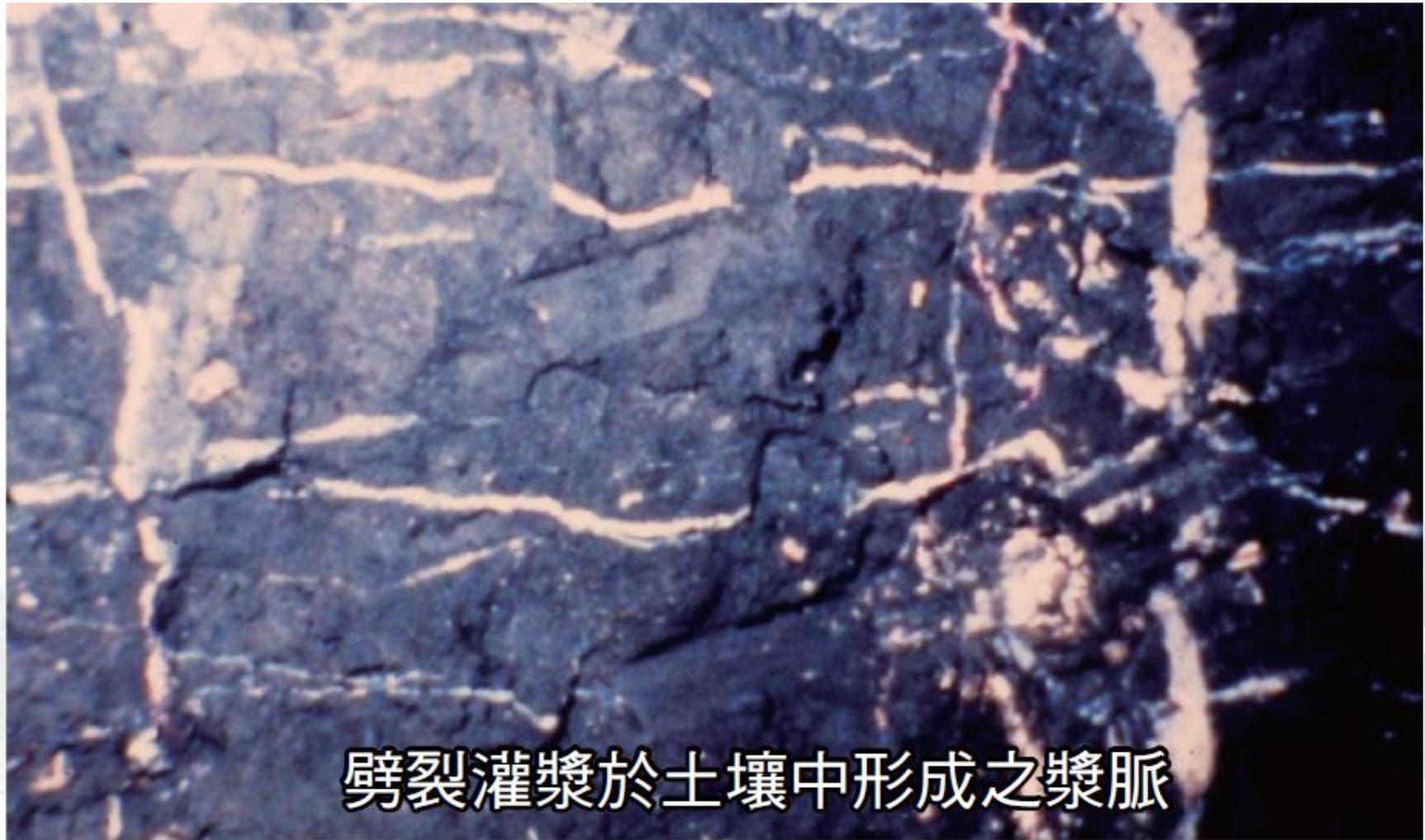
## 02341雙環塞低壓灌漿

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

### ■ 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，承包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

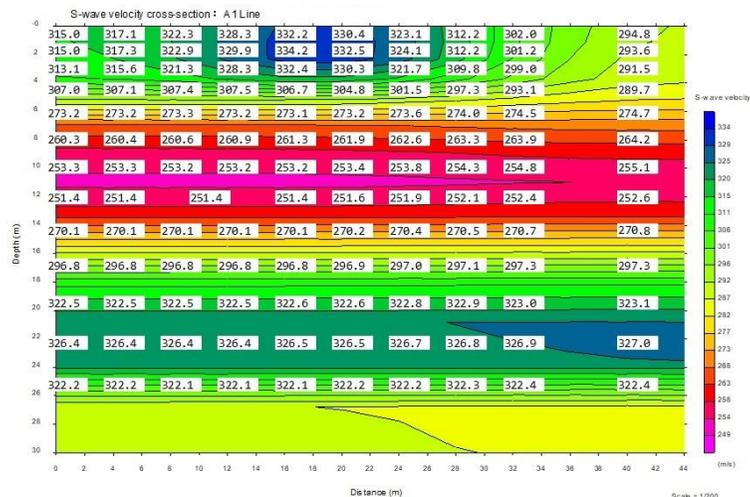
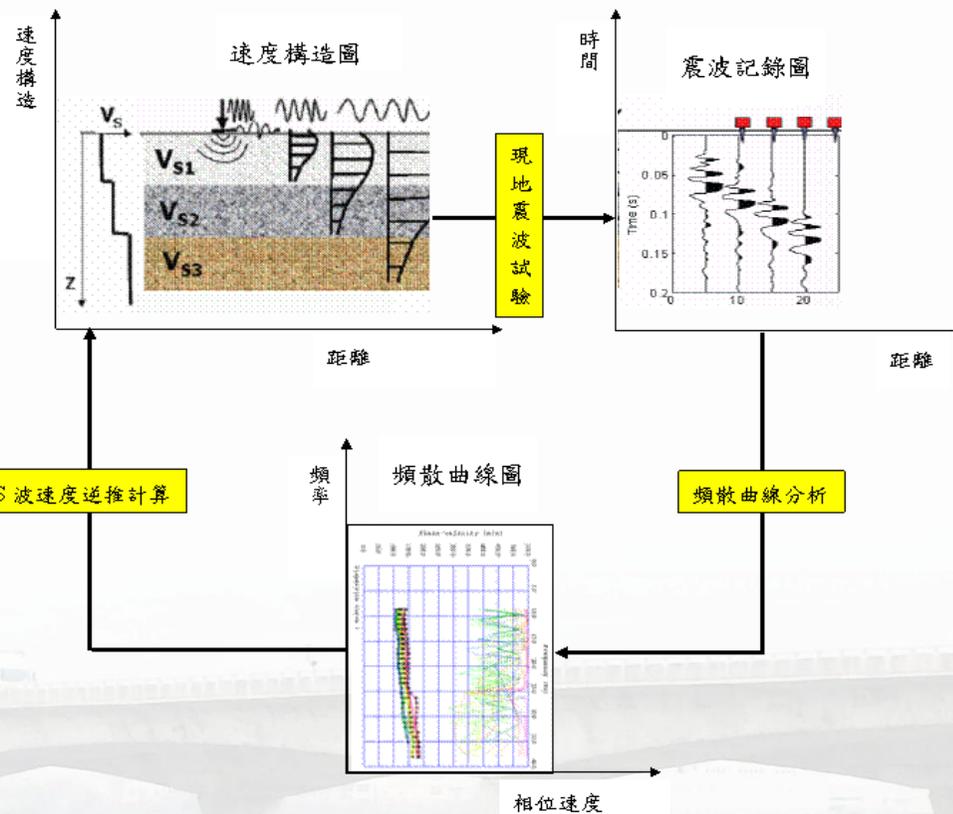
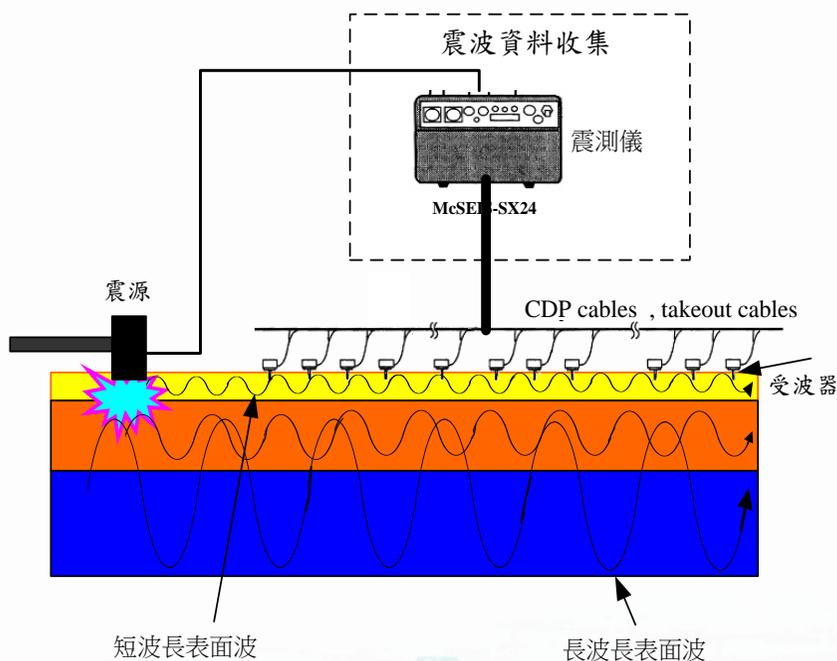
# 脈狀灌漿(低壓灌漿)土壤中形成之漿脈



台灣地區地盤改良技術之發展(廖洪鈞等, 2008)



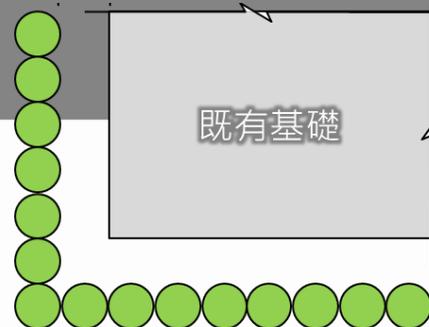
# 表面波譜剪力波速試驗



- 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。

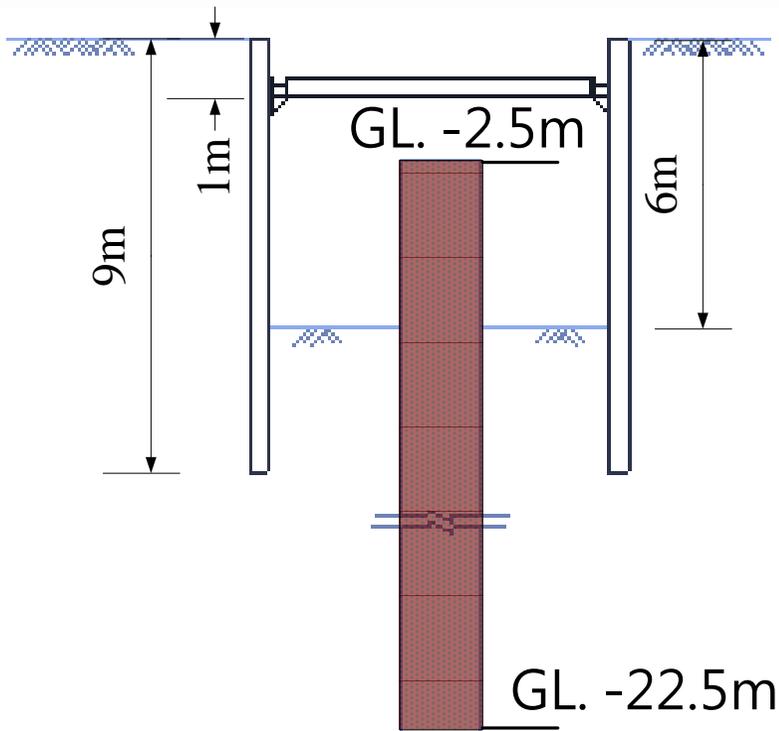
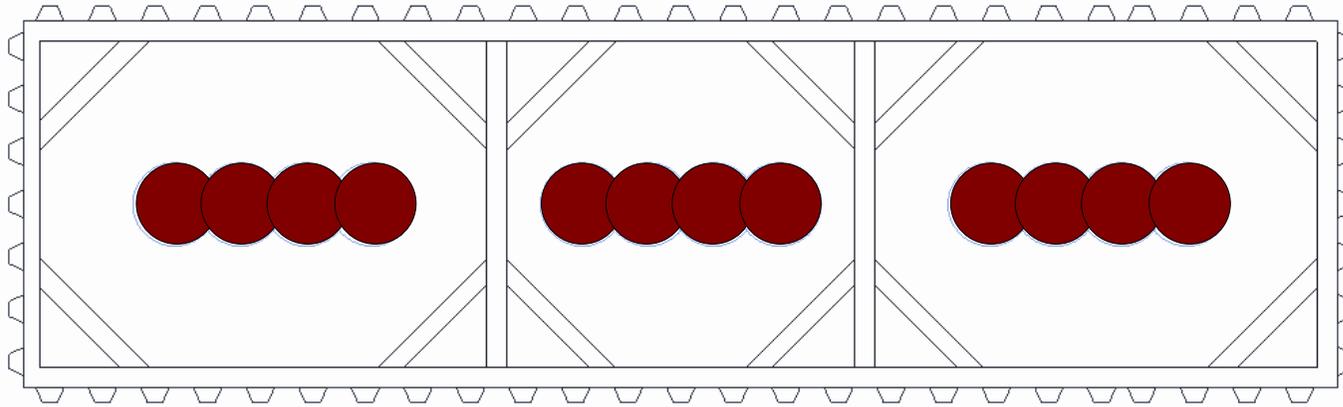
### ■ 單軸壓縮強度試驗

- **>280 kgf/cm<sup>2</sup>**
- 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



# 高壓灌漿試灌試挖平面示意圖



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

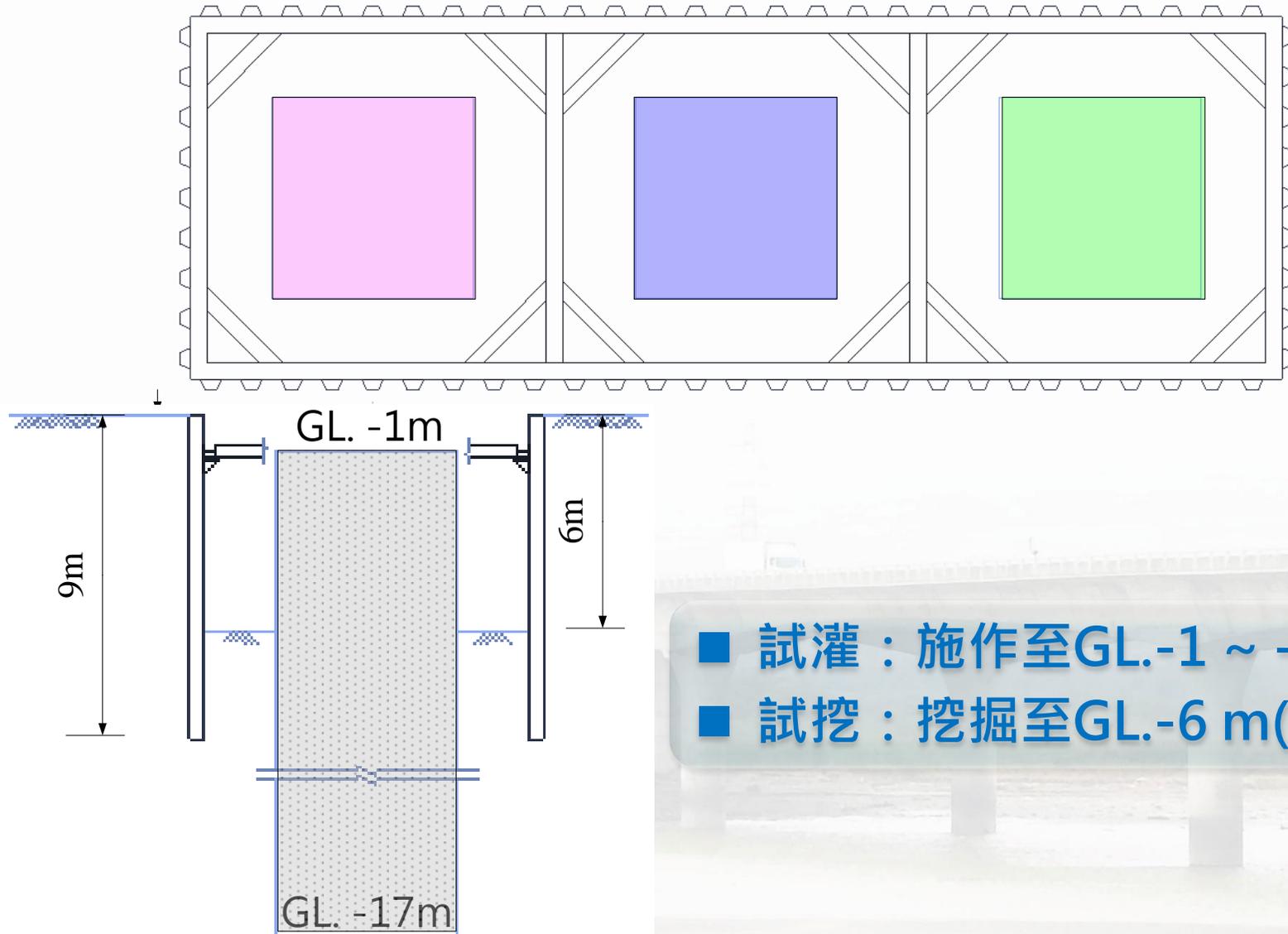


# 高壓灌漿試灌試挖平剖面示意圖

- 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 ( $15 \pm 2$ 圈/分鐘)
  - 噴漿泵送壓力( $250 \pm 20$ kgf/cm<sup>2</sup>)
  - 鑽桿提昇速度( $10 \pm 2$ cm/min)
  - 漿液每分鐘灌注量( $150 \pm 10$ 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



# 低壓灌漿試灌試挖平面剖面示意圖



- 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(6~7 kgf/cm<sup>2</sup> ± 0.5~2.0 kgf/cm<sup>2</sup>)
  - 注入孔之升幅間距(33cm)
  - 漿液每分鐘灌注量(**10 ± 2 L/min**)



6

# 監測計畫



## □ 地表及結構物變位

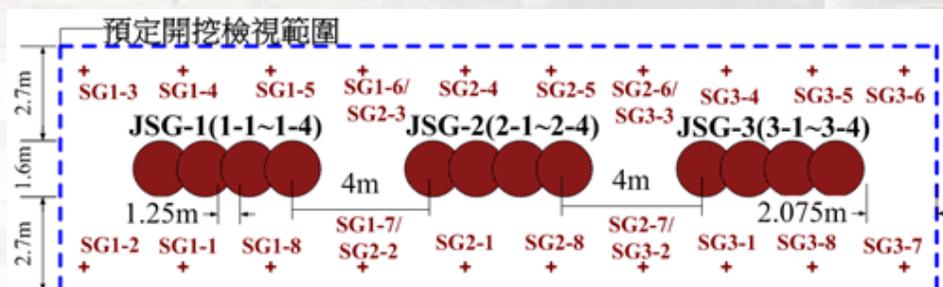
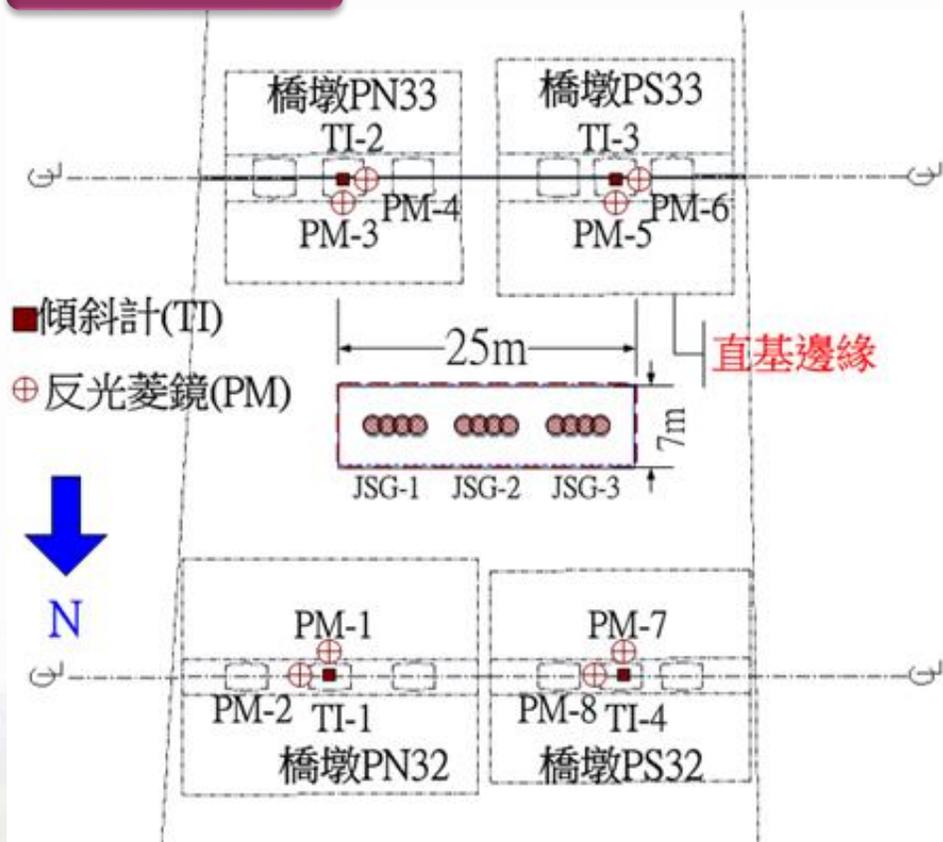
- 02495 監測儀器
- 自動化監測系統 ( 依施工面配置組數 )
- 自動化監測軟體及資料庫：工程司及其指定單位
  - 電子式傾斜計：1處/柱
  - 全測站測沉系統：2處稜鏡/柱
- 人工監測系統
  - 結構/地面 沉陷觀測點：提出配置計畫



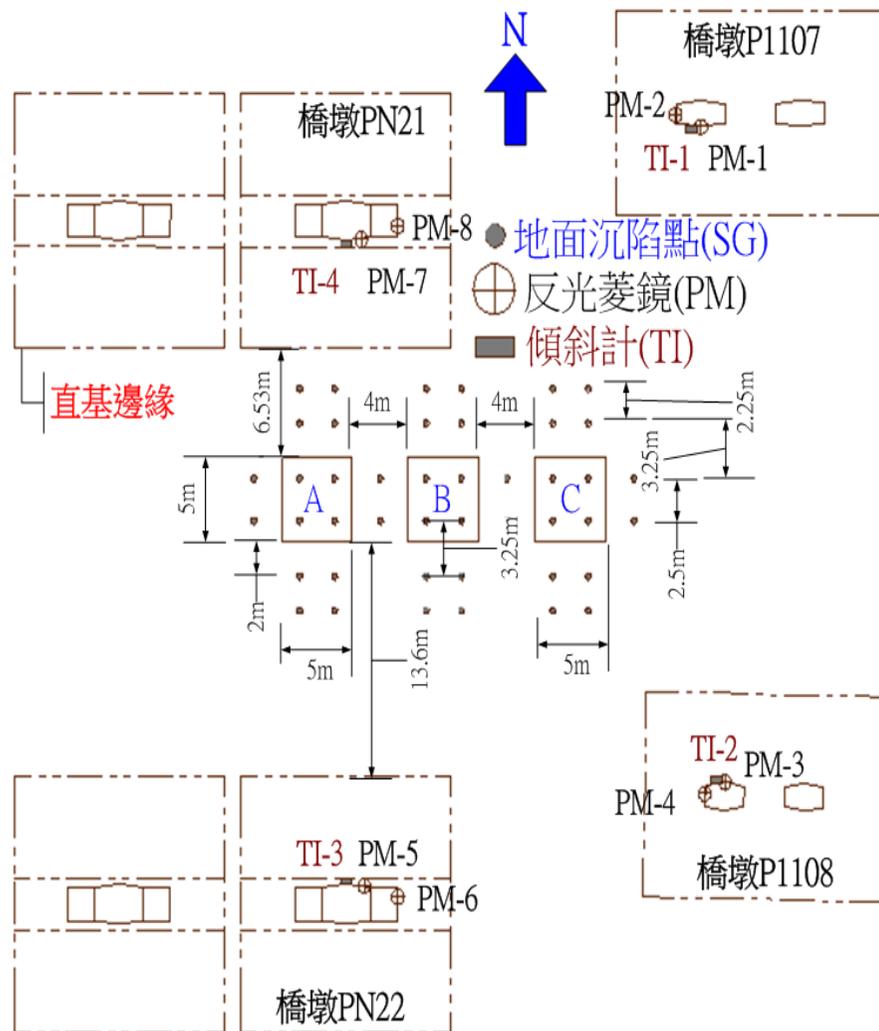


# 平面位置與監測儀器配置

## 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。

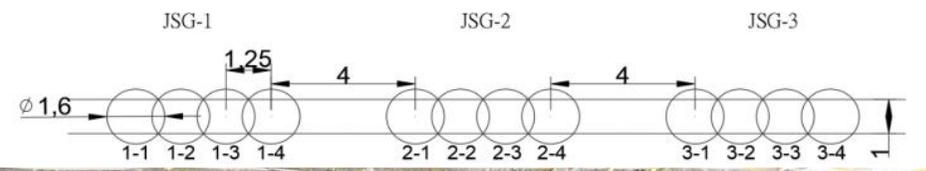


7

# 地質改良試灌成果



# 高壓試灌成果



JSG-1

JSG-2

JSG-3





# 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 23cm)	
(-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/cm<sup>2</sup>

57.13 kgf/cm<sup>2</sup>

57.77 kgf/cm<sup>2</sup>

有效厚度

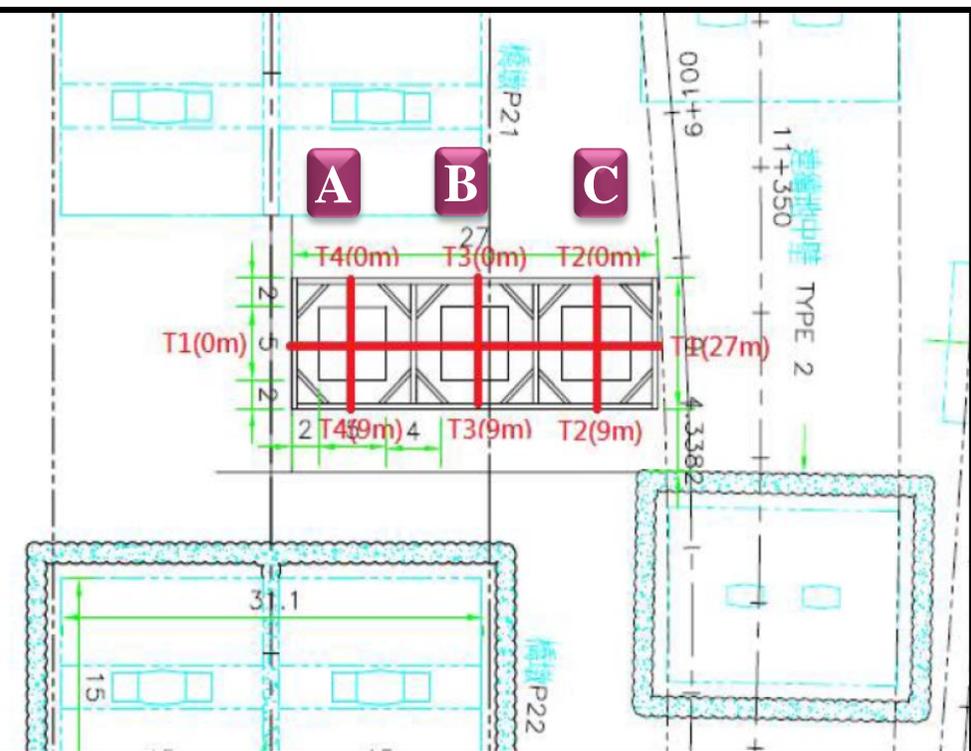
1.23 m

1.26 m

1.01 m



# 低壓試灌成果(表面波譜剪力速度檢測)

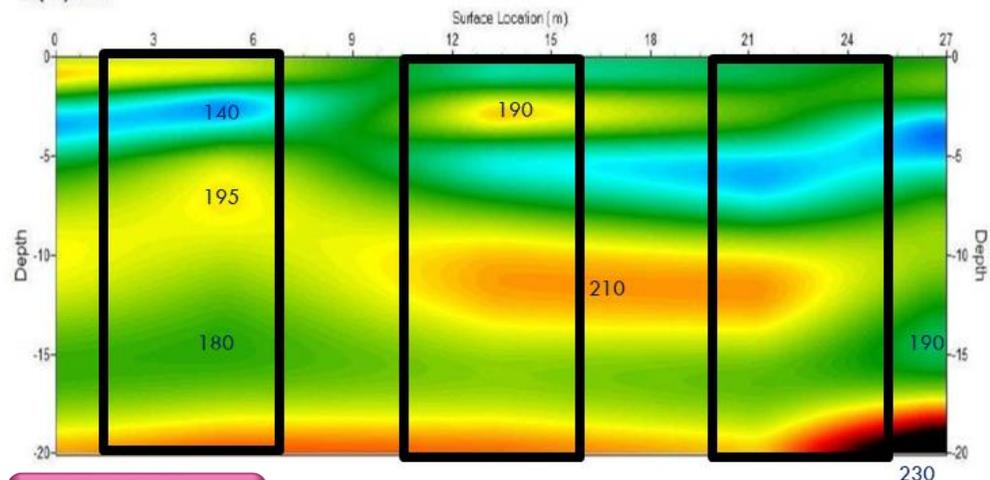


$$V_{S1} = V_S \times \left(1/\sigma_{V'}\right)^{0.25}$$

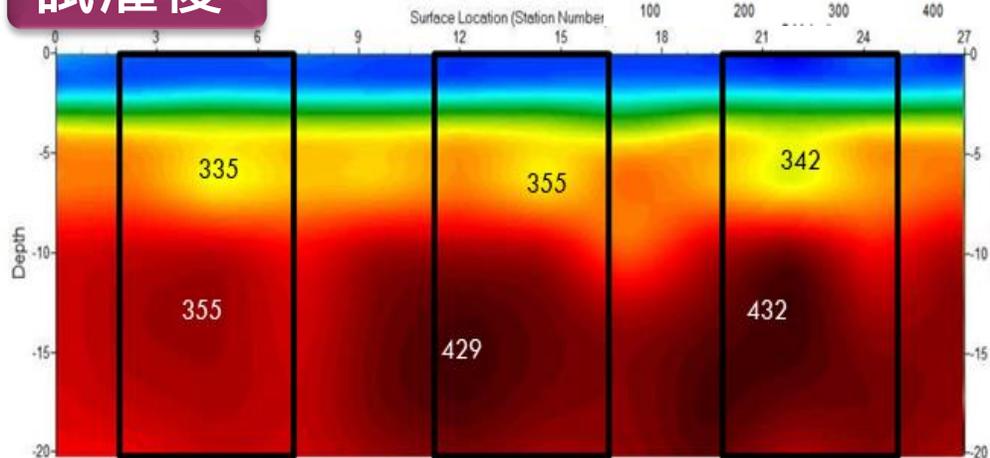
$$V_{S1} \geq 230 \text{ m/s}$$

試灌前

T1(Vs).GRD



試灌後



A區

B區

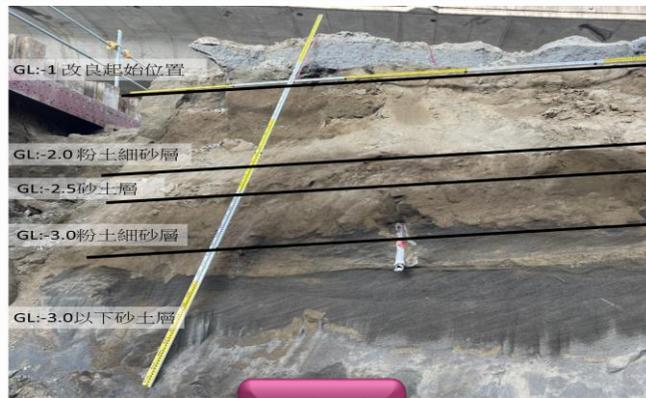
C區



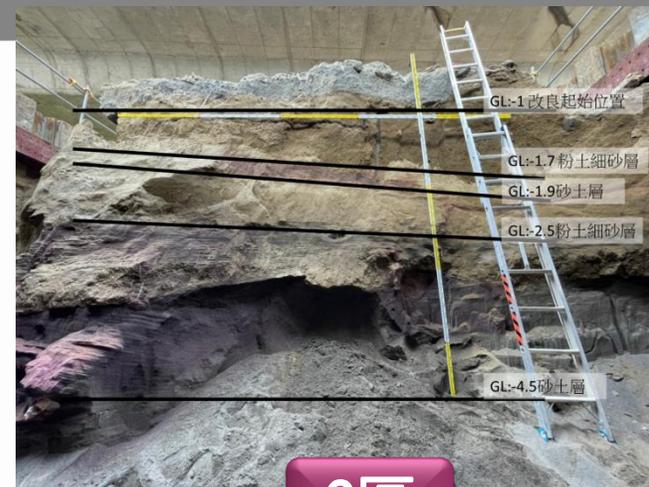
# 低壓試灌成果



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 %
<b>C (937:188=5.0)</b>	<b>368 m/s</b>	<b>88 %</b>

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

