

# 設計例

## 潛盾隧道聯絡通道地盤改良設計實例

廖惠菁 李維峰\*

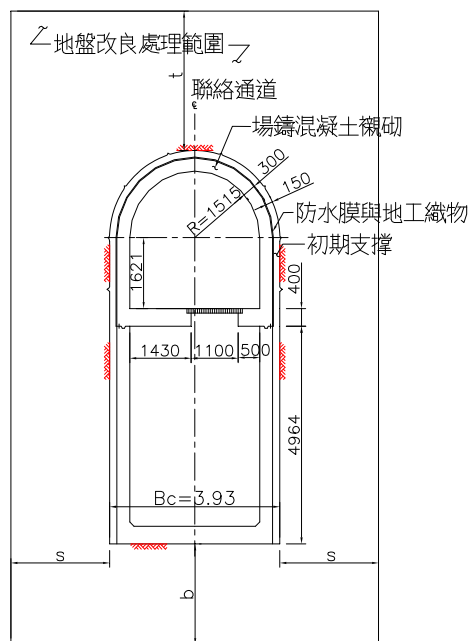
### 一、工程概述

#### 1.1 聯絡通道基本資料

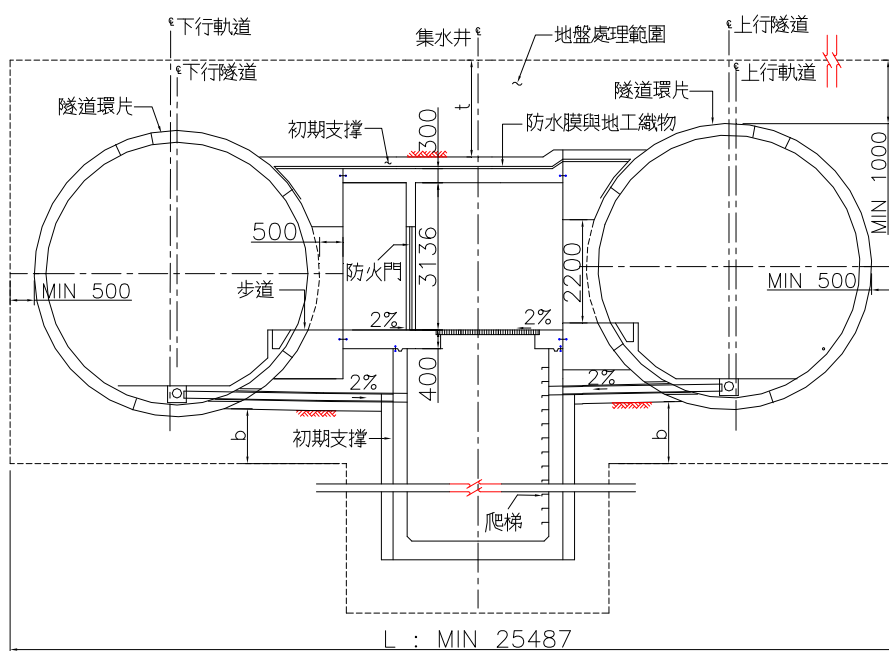
某一潛盾隧道聯絡通道（含集水井）斷面圖如圖一、圖二所示，聯絡通道之內徑為151.5cm，襯砌厚度為30cm，底版厚度為40cm，初期支撐厚度約為15cm，其相對於地表之高程如表一所示。其中，本設計例僅針對聯絡通道地盤改良範圍進行設計，不含集水井之設計。

表一 潛盾隧道及其聯絡通道相對高程

		相對高程 (m)
地表		0
潛盾隧道 主線軌頂	上行線	-27.8
	下行線	-28.0
聯絡通道	頂部	-23.6
	中點	-25.6
	底部（不含集水井）	-27.2

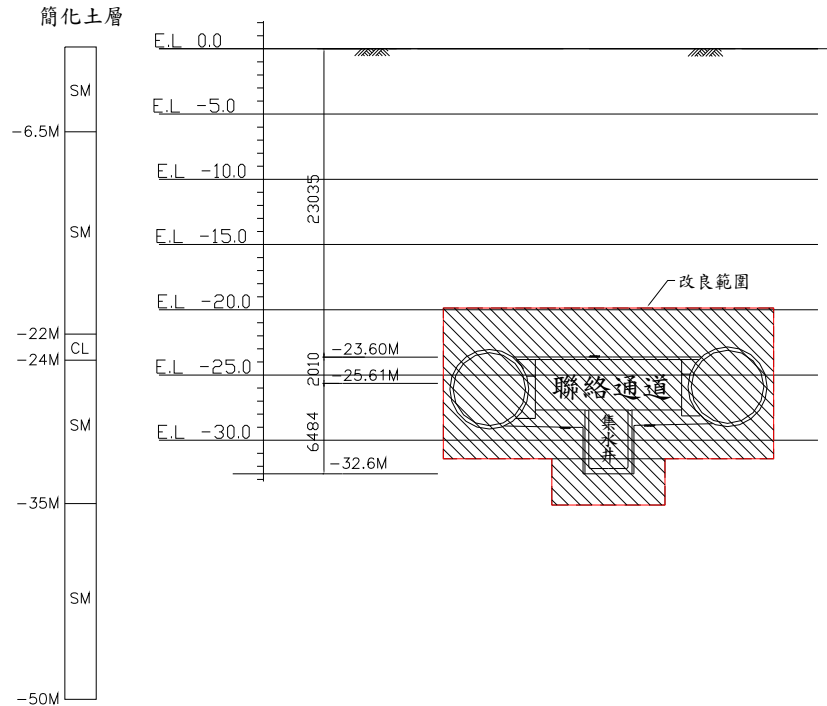


圖一 潛盾隧道聯絡通道（含集水井）縱斷面圖



圖二 潛盾隧道聯絡通道（含集水井）橫斷面圖

\* 台灣營建研究院



圖三 聯絡通道及其簡化土層圖

1.2 地質狀況

潛盾隧道聯絡通道所在地之地質簡化土層如圖三所示，由圖三可得，聯絡通道之地盤改良範圍約位於第二至四層，即跨越SM、CL、SM三層，其簡化土層參數如表二所示。

二、地盤改良分析計算

2.1 設計外力

由聯絡通道相對高程表（如表一）及聯絡通道簡化土層參數表（如表二）所示，並假設地表載重 $q_1$ 為 $1.5 \text{ t/m}^2$ ，安全係數F.S.為2.0，可得表三之設計外力參數。聯絡通道地盤改良設計，並無相關設計基準，其設計安全係數值之大小應與工程經驗及地質狀況相關，本文使用之安全係數僅為參考值，實際安全係數之選用應考量現地土質水文狀況、改良工法與現地品質控管等因素。

2.2 地盤改良區參數

依據JET GROUT設計手冊，地盤改良體之強度參數與土層種類相關，單壓強度大小應與黏著力（凝聚力）相關，其中，黏土層 $q_u = 100 \text{ t/m}^2$ ， $C = 30 \text{ t/m}^2$ ，砂土層 $q_u = 300 \text{ t/m}^2$ ， $C = 50 \text{ t/m}^2$ 。

表二 聯絡通道簡化土層參數

土層編號	土層深度 (m)	土層分類 (USCS)	土層厚度 $h_t$ (m)	單位重 $\gamma_t$ ( $\text{t/m}^3$ )	N 值	IP (%)	$\phi'$ (deg)
1	6.5	SM	6.5	1.96	8		31
2	22	SM	15.5	1.94	13		32
3	24	CL	2.0	1.93	10	11	32
4	35	SM	11.0	1.98	24		33
5	50	SM	15.0	1.97	32		33

表三 設計外力參數

地下水位深度	hw	4.0	m
土層摩擦角 (砂土)	$\phi$	33	deg
土層摩擦角 (黏土)	$\phi$	0	deg
覆土厚度 (至隧道頂部)	H1	23.60	m
覆土厚度 (至隧道中心)	H2	25.61	m
地表載重	$q_1$	1.5	$\text{t/m}^2$
安全係數	F.S.	2.0	

1. 上部改良區：位於砂／黏土互層  
 單軸抗壓強度 $q_u = 100 \text{ t/m}^2$   
 黏著力  $C = 30 \text{ t/m}^2$   
 （為保守計，單軸抗壓強度 $q_u$ 值與黏著力C值採用黏土層之參數）
2. 側部及底部改良區：位於砂土層

單軸抗壓強度  $q_u = 300 \text{ t/m}^2$

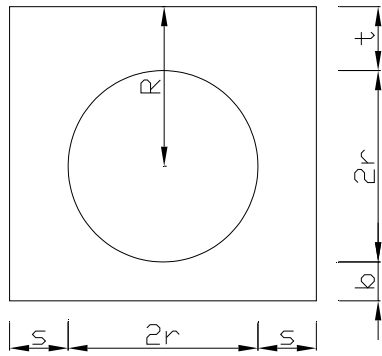
黏著力  $C = 50 \text{ t/m}^2$

3. 聯絡通道等值半徑 (r)

由聯絡通道等面積（不含集水井）換算得聯絡通道等值外徑  $D = 4.223 \text{ m}$ 。

取  $r = 2.112 \text{ m}$

2.3 地盤改良斷面計算



圖四 地盤改良斷面示意圖

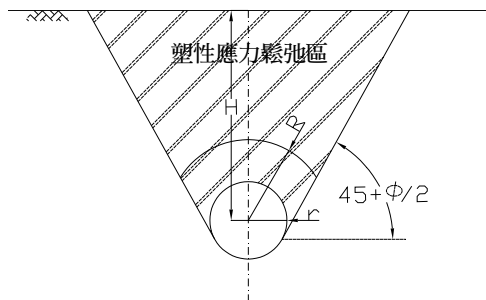
1. 改良長度 (L)

由圖二，包含上下行隧道兩側各至少0.5 m 之距離，則改良長度至少25.49 m。

取  $L = 25.49 \text{ m}$

2. 上部改良厚度 (t)

由日本Jet Grout協會之Jet Grout技術工法資料，以鑽掘時所可能引致之「塑性應力鬆弛區」為考量，其計算示意圖如圖五所示。



圖五 上部改良厚度計算示意圖

$$\ln R + \frac{R\gamma_t}{2C} = \frac{H\gamma_t}{2C} + \ln r$$

$$t' = F.S. \times (R - r)$$

其中，H：聯絡通道中心深度

R：塑性區域外徑

C：改良體之不排水強度

$H\gamma_t$ ：聯絡通道總荷重，含地表載重

亦即  $H\gamma_t = \sum h_i \gamma_i + q_1$

$$\begin{aligned} \ln R + \frac{R \times 1.94}{2 \times 30} &= \frac{6.5 \times 1.96 + 15.5 \times 1.94 + 2.0 \times 1.93}{2 \times 30} \\ &+ \frac{(25.61 - 24) \times 1.98 + 1.5}{2 \times 30} + \ln 2.112 \end{aligned}$$

$$\ln R + 0.032R = 0.856 + 0.748$$

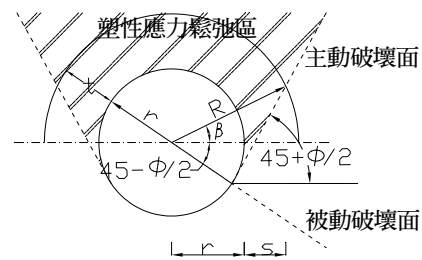
由試誤法求得  $R = 4.32 \text{ m}$

$$t' = 2 \times (4.32 - 2.112) = 4.42$$

取  $t = 4.5 \text{ m}$

3. 兩側改良厚度 (s)

由日本Jet Grout協會之Jet Grout技術工法資料，以引致之「塑性應力鬆弛區」外圍及主動破壞面夾角 ( $\theta = 45^\circ + \phi/2$ ) 之交叉點為改良範圍，其計算示意圖如圖六所示。



圖六 側邊改良厚度計算示意圖

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{r}{r+t'} \right) - \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$s' = (r+t') \times \cos \beta - r$$

其中， $\beta$ ：破壞線延伸至上部改良範圍交點與水平線之夾角

$\phi$ ：原土壤內摩擦角

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{2.112}{2.112 + 4.42} \right) - \left( 45^\circ - \frac{33^\circ}{2} \right)$$

$$= 42.6 \text{ (deg)}$$

$$s' = (2.112 + 4.42) \times \cos \beta - 2.112$$

$$= 2.69$$

取  $s = 2.7 \text{ m}$

(由於  $s' = (r+t') \times \cos \beta - r$ ，此式之  $t'$  已含安全係數 F.S.，因此， $s'$  之計算不再取安全係數 F.S.)

4. 底部改良厚度 (b)

底部改良厚度通常以考慮止水性為主，一般至少1.0 m以上，但水壓力較大時則適當加大。

如圖一所示，聯絡通道底寬 $B_c = 3.93$  m，假設底部改良厚度為 $b$ ，水單位重 $\gamma_w$ 為1.0，改良區底部單位面積之水的上浮力為 $U$ ，改良區底部單位面積之土重為 $W$ ，改良區底部單位長度土體之上浮力為 $S$ ，改良區底部土體之剪力強度為 $\tau$ （計算示意圖如圖七所示），則

$$S = (U - W) \times B_c$$

$$\tau = C$$

$$\begin{aligned} \text{其中，} U &= (27.2 + b' - 4.0) \times \gamma_w \\ &= 23.2 + b' \quad (\text{t/m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= b' \times \gamma_t \\ &= 1.98b' \quad (\text{t/m}^2) \end{aligned}$$

（由表一、表三，聯絡通道底部高程為-27.2 m，地下水位位於地表下4.0 m）

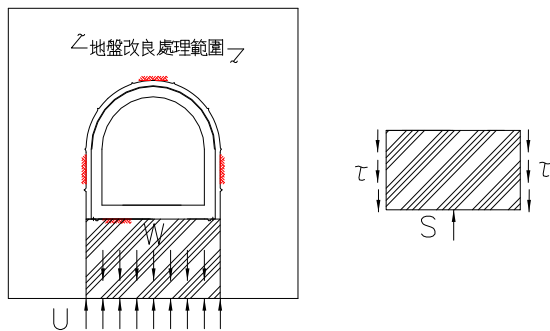
又此設計例之 $C = 50$  t/m<sup>2</sup>

$$\text{令 } F.S. = \frac{2\tau b'}{S}$$

$$\text{則 } 2 = \frac{2 \times 50 \times b'}{((23.2 + b') - 1.98b') \times 3.93}$$

$$b' = 1.69$$

為保守計，取  $b = s = 2.7$  m



圖七 底部改良厚度檢核示意圖

### 5. 最小改良厚度檢核

地盤改良設計主要參照JET GROUT協會之JET GROUT技術工法資料，並至少符合JET

GROUT協會所建議之最小改良厚度，如表四所示。

依據表四之最小改良厚度及由本設計例之聯絡通道等值半徑 $r = 2.112$  m，得 $3.0 \leq 2r < 5.0$

$$t = 4.5 \text{ m} > 2.0 \text{ m}$$

$$s = 2.7 \text{ m} > 1.5 \text{ m}$$

$$b = 2.7 \text{ m} > 1.0 \text{ m}$$

檢核確認計算所得之地盤改良厚度皆大於JET GROUT協會所建議之最小改良厚度。

表四 最小改良厚度（單位：m）

	$2r \leq 1.0$	$1.0 \leq 2r < 3.0$	$3.0 \leq 2r < 5.0$	$5.0 \leq 2r < 8.0$
s	1.0	1.0	1.5	2.0
t	1.0	1.5	2.0	2.5
b	1.0	1.0	1.0	1.5

## 三、地盤改良設計斷面

依上述計算結果得聯絡通道地盤改良之相關尺寸如表五所示。

表五 本設計例之地盤改良尺寸

地盤改良	尺寸 (m)
改良長度 (L)	25.49
上部改良厚度 (t)	4.5
兩側改良厚度 (s)	2.7
底部改良厚度 (b)	2.7

參考資料：

日本JET GROUT協會(1993)，JET GROUT技術工法資料。