

## 名詞解說

# 箱涵推進工法

賴慶和\*

箱涵推進工法是經常被應用於既有道路下方構築穿越該道路之結構體如地下道、排水箱涵等之施工方法。其施工程序是在計劃路線的兩端先構築與路線相同深度之工作井，並於工作井內製作構造物涵體或利用預鑄涵塊，一面將涵體推入土層內，一面挖掘排出土壤並將涵體接合，以設置構造物的一種施工方法。一般箱涵推進工法有下列三種：

### 1. 刃口推進工法

本工法係於涵體前端設置刃口作為前導體，利用裝置在出發工作井內涵體後端之千斤頂推力，一面將涵體推進壓入土層內，一面挖掘刃口處之土砂，逐步將箱涵接合、推進。

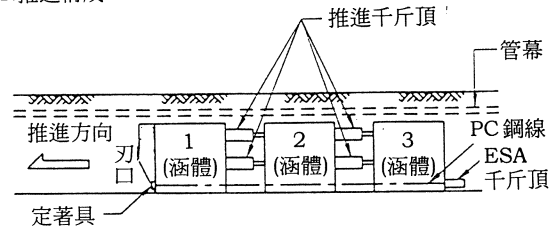
### 2. 無限自走前進工法(Endless Self Advancing - ESA工法)

ESA工法乃是將3個以上之預鑄涵體以PC鋼線貫穿，並以定著具將PC鋼線固定在第1個預鑄涵體的前端，最後一個預鑄涵體之末端即裝置兼具牽引及推進功能之ESA千斤頂。而第1、第2及第3個預鑄涵體間皆裝置推進千斤頂。工法之原理是以後部涵體之自重為反力，推進前端之涵體。最後，尾部之涵體係以方涵體之自重為反力，使用PC鋼線牽引前進。推進程序如圖一所示。

### 3. 滑動箱涵工法(Sliding-Culvert - SC工法)

本工法係在涵體設置預定位置上部，預先壓入防護用箱型管幕，箱涵推進

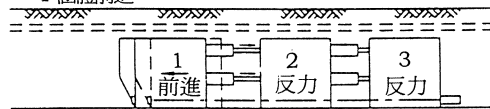
#### 1. 推進構成



#### 2. 第 1 涵體推進

(1)ESA 千斤頂與 PC 鋼線間放鬆，1 ~ 2 涵體間之推進千斤頂施加推力。

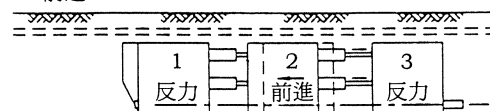
(2)以 2, 3 涵體之自重及涵體與土壤間之摩擦力為反力，促使 1 涵體前進。



#### 3. 第 2 涵體推進

(1)ESA 千斤頂與 PC 鋼線間固定。

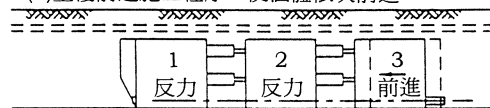
(2)2 ~ 3 涵體間之推進千斤頂施加推力。以 1, 3 涵體之自重及涵體與土壤間之摩擦力為反力，促使 2 涵體前進。



#### 4. 第 3 涵體推進

(1)ESA 千斤頂施加推力。以 1, 2 涵體之自重及涵體與土壤間之摩擦力為反力，牽引 3 涵體前進。

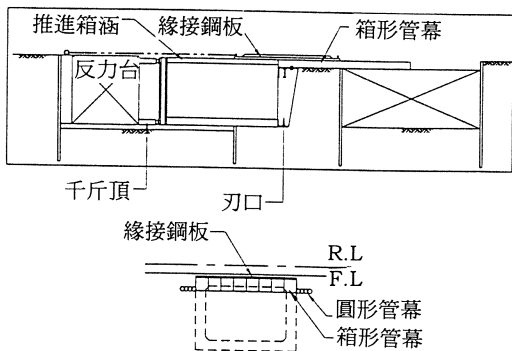
(2)重複前述施工程序，使涵體依次前進。



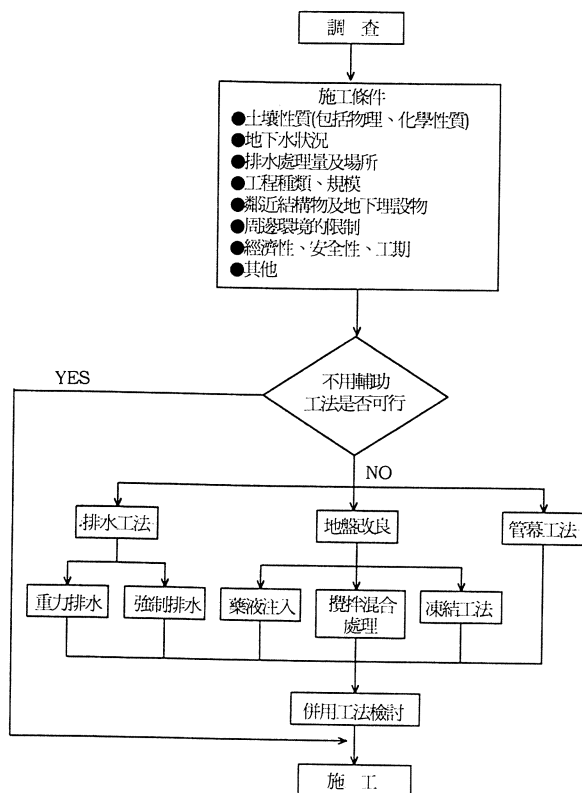
圖一 ESA 工法推進程序

時亦同時將箱型管幕推向到達端，此法與以往箱涵推進配合管幕工法比較上，可應用在較淺之覆蓋層之工程上。而且，為防

止箱涵推進時，其上之土砂移動，可在箱型管幕上方設置緣接鋼板。SC工法之施工方式如圖二所示。



圖二 SC 工法掘削推進方式



圖三 輔助工法之檢討

各種箱涵推進工法有其不同適用性，一般可依表一評選適合之工法。但其中除了土壤性質及地下水狀況外，以周遭環境及鄰近建物狀況影響施工最大，若施工中稍有不慎將致使周圍地盤大量沈陷，危及箱涵本身及鄰近結構物之安全。因此慎選輔助工法就成了箱涵推進作業成功的首要之務。圖三所列即為施工之條件及輔助工法之檢討項目，由圖中可依工程特性及環境條件評估適當之輔助工法。箱涵推進工法在國內已有多起施工案例，如湖口擴大工業區區外排水幹線穿越中山高速公路工程、台北市雙溪C2主幹管第一標工程及台北市愛國西路排水箱涵推進工程。近期的台北松山機場復興北路地下道穿越工程亦將採用前述的無限自走前進工法。有關各工法的適用性及施工例，讀者可參考下列文獻。

## 參考文獻

- 小山幸則、林雅博(1986)，“線路下橫斷構造物之設計施工及び國鐵における線路下橫斷工法”，基礎工，第14卷，第2號，第9-16頁。
- 土井博己(1994)，“路線下橫斷構造物施工法の選定”，基礎工，第22卷，第4號，第8-13頁。
- 小山幸則(1994)，“路線下橫斷構造物施工法の課題と新技術”，基礎工，第22卷，第4號，第3-7頁。
- 山添喬等人(1991)，“近畿自動車道松原海南線榎尾工事”，土木施工，第32卷，第2號，第17-28頁。
- 井上壽男、金田一政次、加藤讓慈、高橋治夫、橋本康俊(1995)，“箱型ル→(S.C)工法による軌道直下大断面掘削工事”，土木施工，第36卷，第10號，第4-9頁。

(續 103 頁)

表一 各種箱涵推進工法之適用性

條件		工法				
		刃口推進	ESA	SC		
地形 地質	開挖 面地層	粘性土	非常軟弱 N 值小於 2	△(a)	△(a)	△(a)
			軟弱 N 值 2~4	△(a)	△(a)	△(a)
			中等 N 值 4~8	○	○	○
			堅硬 N 值 8~15	○	○	○
			非常堅硬 N 值 15 以上	△	△	△
	(1)	砂質土	非常疏鬆 N 值小於 4	△(a)	△(a)	△(a)
疏鬆 N 值 4~10			△(a)	△(a)	△(a)	
中等 N 值 10~30			○	○	○	
緊密 N 值 30~50			○	○	○	
		非常緊密 N 值 50 以上	△	△	△	
		岩層	△	△	△	
		均勻砂層 (2)	△(b)	△(b)	△(b)	
		礫石層 (3)	△	△	△	
		地下水位於開挖面下方(包括開挖前,可將水位下降)	○	○	○	
		地下水位於開挖面上方(水位無法下降)	△(a)	△(a)	△(a)	
構 造 物	單數 一長 涵度	10m 以下	△(c)	○	○	
		10~15m	×	△	△	
		15m 以上	×	×	×	
	橫 斷 面 寬	20m 以下	○	△	○	
		20~30m	○	△	○	
		30m 以上	○	○	△	
	覆 土 厚	0~0.5m		×	○	
		0.5~1.0m	1.5H 以下	△	○	
		1.0~1.5m	△(a)	○	○	
1.5~2.0m		1.5H 以上	○	○		
2.0~3.0m		○	○	○		
3.0m 以上			○	○		

註：○:適用 △:必須詳細檢討相關施工問題 ×:不適用 H:箱涵斷面高度

(1)須另行評估地下水之影響。

(2)細粒含量少(10%以下)均勻係數(通過 60%和 10%-之粒徑比)小於 5 之砂層,容易發生砂湧,地盤容易因抽水而崩落。

(3)礫石直徑小於 30 公分以下。

(a)必須採用有效之輔助工法。

(b)必須詳細檢討開挖面穩定性。

(c)最大 3~5 公尺。

王明祥(1983),“湖口擴大工業區區外排水幹線工程  
穿越高速公路 5.8M × 3.6M 箱涵推進工法介  
紹與檢討”,現代營建,第 44 期,第 12-19 頁。

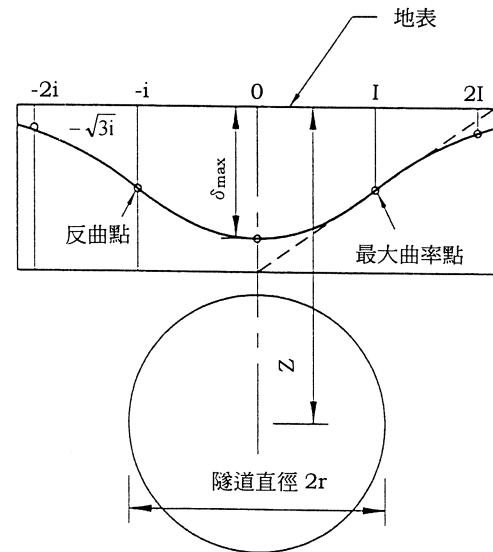
蕭文祥(1992),“使用滑動箱涵工法的車站月台下地道  
施工”,現代營建,第 145 期,第 13-20 頁。

## 土壤漏失與地表沈陷

當潛盾隧道挖掘時，該處之土壤應力即開始改變，並相對應產生土層之應變及位移；因潛盾施工引致之單位隧道長度之土體損失量稱為土壤漏失 (Ground Loss)。單位長度隧道之土壤漏失，一般以其與隧道全斷面之百分比表示。要正確估計土壤漏失量並非易事，目前大都係依據過去施工經驗定出參考值，估算時可針對 (1)開挖面土壤漏失 (2)盾身四週土壤漏失 (3)盾尾土壤漏失與 (4)長期沈陷等四項漏失來源進行評估及預測，其總合即為潛盾機施工時之土壤漏失量。

潛盾施工引致之土壤漏失將逐漸由土層中往上及四週傳遞，而發展成地表沈陷。由於土壤本身拱效應之支撐作用及應力解除後土壤體積膨脹結果，地表沈陷槽體積會小於土壤漏失。由Peck(1969)統計資料顯示地表沈陷槽體積約為土壤漏失的60%~70%，Segastea & Oteo(1974)以理論解析求得之比例介於65%~80%之間，與Peck之建議值甚接近。對於潛盾施工造成地表沈陷之估算，Peck(1969)假設土質隧道施工造成隧道橫斷面之地表沈陷槽 (Settlement Trough) 為常態機率曲線 (Normal Probability Curve) 狀態，如圖一所示。圖上顯示沈陷槽之 (常態機率) 曲線有標準偏差 (Standard Deviation)  $i$  的性質。即距離地表沈陷槽一個標準偏差  $i$  處，其沈陷量為最大沈陷量之0.61倍，而此標準偏差點即為常態機率曲線之反曲點。

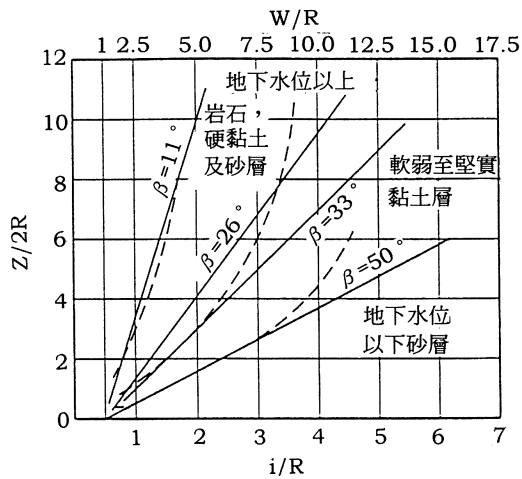
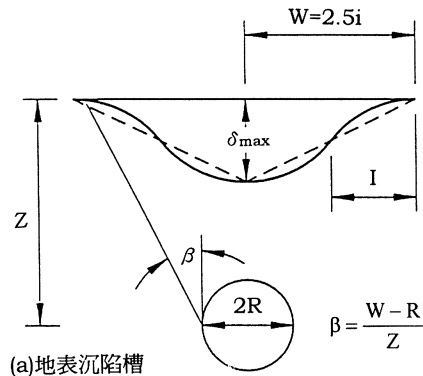
針對常態機率曲線之反曲點  $i$  值可依



註：反曲點沉陷量為  $0.61 \delta_{\max}$   
 最大曲率處點沉陷量為  $0.22 \delta_{\max}$   
 沉陷槽體積  $\cong$  為  $2.51 i \delta_{\max}$   
 $\delta = \delta_{\max} \cdot \exp(-X^2/2i^2)$

圖一 以常態機率曲線表示隧道上方地表沈陷示意圖

Cording和 Hansmire(1975)歸納出地表沈陷槽外緣與隧道外側形成之角度，如圖二(a)之  $\beta$ ，與土壤強度之關係估算，如圖二(b)。以土壤漏失估算潛盾施工地表沈陷之方法，自從1969年Peck與Schmidt提出後，許多學者及工程先進皆陸續沿襲這類方式提出研究報告。有關土壤漏失之研究及機制，可參考下列文獻。



圖二 Cording 和 Hansmire(1975)修正之沉陷圖

參考文獻

PECK, R.B (1969), "Deep Excavations and

Tunneling in Soft Ground", *Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico City, State-of-the-Art.*, pp.225-290.

SCHMIDT, B (1969), *Settlements and Ground Movements Associates with Tunneling in Soil*, Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois.

CORDING, E.J. and HANSMIRE, W.H. (1975), "Displacements Around Soft Ground Tunnels", *Proc. 5th Panam. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Buenos Aries.*

CLOUGH, G.H. and SCHMIDT, B. (1981), "Design and Performance of Excavation and Tunnels in Soft Clay", in *Soft Clay Engineering*, Elsevier.

ATTEWELL, P.B. and WOODMAN, J.P. (1982), "Predicting the Dynamics of Ground Settlement and its Derivatives Caused by Tunnelling in Soil", *Ground Eng.*, vol.15, No.8, pp.13-20.

ATTEWELL, P.B. and YEATES, John (1984), "Tunnelling in Soil", in *Ground Movements and Their Effects on Structures.*

FANG, Y.S., LIN, J.S. and SU, C.S. (1994), "An Estimation of Ground Settlement due to Shield Tunnelling by the Peck-Fujita Method", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 31, No.2, pp.431-443.