

# 捷運系統建設中大地工程科技之應用整合型研究(I) 子計畫五

## 台北捷運中和線潛盾隧道施工引致之地盤沉陷 Ground Settlement due to Tunneling of Chungho Line of Taipei Rapid Transit Systems

計畫編號: NSC89-2211-E-009-023

執行期間: 88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人: 方永壽 國立交通大學土木工程研究所教授

### 一、中文摘要

本研究蒐集國內外潛盾隧道施工沉陷監測資料進行分析整理。考慮不同土層,不同型式、不同直徑潛盾機,於不同深度下開挖,所引致隧道中心線上方之地表最大沈陷量( $S_{max}$ )。配合 Peck (1969) 之沉陷槽寬度參數( $i$ ),以常態分佈曲線合理的預估隧道施工造成之地表沉陷槽。本研究並依據台北捷運中和線之地表沉陷監測資料,以經驗方法估算其潛盾隧道開挖造成之地表沉陷。分析結果顯示監測沉陷值大都落在預測範圍內,顯示本論文所建議經驗方法之可用性。

關鍵詞: 經驗方法、監測、地表沉陷、沉陷槽

### 英文摘要

Base on field monitoring data, this study investigates the range of the maximum surface settlements by statistics of the field data. Combining settlement-trough width parameter "  $i$  " suggested by Peck in 1969, a more reasonable empirical method is proposed to predict the ground surface settlement troughs. In this method, the effects of tunnel depths and tunnel diameters on settlement are included. The construction of shield tunnels for Chungho Line of Taipei Rapid Transit Systems (TRTS) is discussed. The empirical method is used and compared with the monitored settlement data. The estimated troughs are in fairly good and agreement with field monitored data for tunnels at different depths.

Keywords: empirical method, monitoring, surface settlement, settlement trough

### 二、緣起與目的

隨著台北市捷運系統的開工興建,在潛盾隧道施工過程中,為使工程順利完成,對施工時可能遭遇之問題,宜事先予以了解;潛盾隧道施工中,潛盾機開挖過程,由於隧道開挖面之應力改變、盾尾間隙閉合、擾動土壤之壓密、襯砌環片變形等因素,可能造成隧道周圍土層變位,因而引致地表隆起、沉陷及土層的側向位移等,對鄰近結構物之安全構成威脅,此問題為潛盾施工最引人關注之議題。過大之土層變位若未經適當之預估及處理,可能造成巨大損害。

近年來國內外已有多位學者對潛盾機施工所造成之地盤變位進行多種經驗判斷與數值分析,其中經驗方法較少論及施工深度( $Z$ )與潛盾機直徑( $D = 2R$ )對地表沉陷量之影響。一般說來,相同深度之隧道,隧道直徑較小者,其地表沉陷槽量之影響範圍將比直徑大者小;相同直徑之隧道,隧道深度較大者,其地表沉陷槽量之影響範圍將比深度小者寬而淺。

台北捷運中和線 CC276、CC277 標施工,因必須配合中永和地區街道狹窄且人口、交通密集之因素,故潛盾隧道須由左右平行排列式漸變為上下重疊,隧道通過不同深度。為了解不同深度之潛盾機施工對地表沉陷所造

成之影響，本研究藉由收集分析以往國外施工案例與台北市捷運施工已有之相關監測資料，和已發表之經驗公式或理論模式相互比較，建議一套簡單而實用之方法，以期能預估不同型式潛盾機，在不同直徑(D)與深度(Z)下開挖所引致之最大地表沉陷，以提供施工時對鄰近結構物保護之參考依據。

### 三、以經驗方法預估施工引致之地表最大沉陷

對土壓平衡式潛盾機於凝聚性土壤及非凝聚性土壤中施工而言，Fujita (1982)建議之地表最大沉陷值( $S_{max}$ )分別為35 mm~85 mm及10 mm~30 mm，與本研究蒐集之監測結果有良好吻合。但Fujita僅依潛盾機之型式及土壤的種類加以分類，並未考慮隧道深度與潛盾機直徑之影響。本研究蒐集各國潛盾施工案例進行( $S_{max}$ )的歸納分析，找出不同型式、不同直徑(D)潛盾機於各土層、不同深度(Z)施工所造成地表最大沉陷量( $S_{max}$ )之範圍。分析結果發現，對於土壓平衡式潛盾機於凝聚性土壤施工，當 $Z/D > 2$ ，最大沉陷量將隨深度遞減之趨勢；對土壓平衡式潛盾機於非凝聚性土壤中施工而言，最大沉陷量亦隨深度Z之增加而略減，且發生之最大沉陷量較於凝聚性土壤內之 $S_{max}$ 小許多。

Peck根據觀測資料研究，發現以傳統潛盾施工法開挖隧道，施工所引致之地表沉陷槽，可以用誤差函數 (Error function) 或常態分佈曲線 (Normal distribution curve) 來模擬，沉陷槽可以下列方程式表示：

$$S(y) = S_{max} \exp(-y/2i^2) \quad (1)$$

式中

$S(y)$ ：距隧道中心水平距離  $y$  處的地表沉陷量

$S_{max}$ ：隧道中心線上方的地表最大沉陷量

$i$ ：隧道中心到反曲點 (Inflection point) 的水平距離 ( $i$  為代表沉陷槽寬度之參數)

本研究依 Peck 所提出之經驗方法配合不同深度、不同潛盾機型式及直徑所得之地表最大沉陷量( $S_{max}$ )之範圍來預估地表沉陷槽，以期能得到更合理的單隧道施工造成之地表沉陷槽。

## 四、臺北捷運中和線潛盾隧道施工造成之沉陷

### 4-1 地層狀況

中和線沿線的地層分佈相當複雜，由北往南大致的地層狀況為台北盆地淡一區之松山層、永和新沖積層及中和舊沖積層，上述三種沖積層之下方是由景美礫石層及岩盤所組成。

### 4-2 工程概述

中和線全線地下化，主要使用的工法包含明挖覆蓋工法及潛盾工法，潛盾工法主要使用於車站間的隧道。上下行隧道在 CC275 標及 CC276 標水源街口以北為左右平行，水源街口以南漸轉變成上下疊架進入永安市場站。CC277 標長隧道的部份上下行隧道是呈上下疊架進行，並以上下疊架方式進入景安站。在 CC277 標短隧道的部份則由上下疊架的情形，慢慢轉變成左右平行的狀態進入南勢角站。

中和線採用之潛盾機為德國 HERRENKNECHT 公司製造之土壓平衡式潛盾機，其外徑為 6.27 m，長度 6.19 m，設有 20 組推力千斤頂。使用環片之外徑為 6.1 m，內徑為 5.6 m，寬 1.0 m，厚度 0.25 m，六片環片 (3A+2B+1K) 以弧形螺栓組成一環。

### 4-3 監測系統

地表沈陷釘為潛盾隧道監測系統中，最簡單且最經濟之一種監測設備，可用以監測潛盾隧道縱斷方向及橫斷方向之地表沉陷行為。其監測原理如同一般之水準測量，利用各測點高程的變化，得知因潛盾隧道施工所造成之地表隆起或沉陷。中和線所設置之地表沈陷釘主要有二種：

#### 1. 地表沉陷釘

地表沈陷釘主要沿著潛盾開挖進行方向設置在隧道中心線上方地表，其設備乃是將長100 mm之鋼釘，直接打入道路鋪面，並加金屬標籤作為辨識。

#### 2. 淺層沉陷計

主要是沿著隧道橫斷面方向，成一陣列佈置。將長度大約1.7 m之I型鋼棒打入土壤中，頂部並加套筒及鐵蓋保護，套筒外之空隙以混凝土回填，以固定套筒。

#### 4-4 中和線 CC277 標地表沉陷

本研究蒐集中和線 CC277 標工程部份斷面(SM302~316、SM318~325 及 SM353~364)地表沉陷量實測值，並與經驗方法預估值之比較如圖 1~圖 3 所示。結果顯示，本研究提出之以經驗方法預測隧道施工所引致之地表沉陷槽為一實用且可靠之方法。

## 五、結論

本研究蒐集國內外潛盾隧道施工案例予以整理分析，並與已有之經驗公式及理論模式相比較，並依據台北捷運中和線CC277標潛盾隧道監測資料進行分析討論，獲得以下數點結論。

1. 提出於不同土層，在不同隧道深度( Z ) 使用不同型式與直徑( D )之潛盾機開挖隧道所造成地表最大沉陷量之建議範圍，此範圍較Fujita (1982) 僅以開挖土層、有無輔助工法及潛盾機型式分類而提出之更為合理。以此結果配合Peck (1969)所建議之沉陷槽寬度參數(1) 能更合理的預估隧道施工造成之地表沉陷槽。
2. 本研究於分析台北捷運中和線CC277標上下疊架隧道間開挖引致之地盤沉陷之實測地表沉陷發現，可分別模擬個別潛盾施工造成之地表沉陷線，再以疊加方式預估其總地表沉陷線槽。而實際監測直接落在預估沉陷範圍內，顯示本研究所提出經驗方法之適用性。

## 六、參考文獻

1. Fang, Y. S., Lin, S. J. and Lin, J. S, (1993), "Time and Settlement in EPB Shield Tunneling, "Tunnels and Tunneling, November, 1993, pp.26~27.
2. Fang, Y. S., Lin, J. S. and Su, C. S., (1994), "An Estimate of Ground Settlement due to

Shield Tunneling by the Peck-Fujita Method, "Can. Geotech. J. Vol. 31, No. 3, pp. 431-443.

3. Fujita, K. (1982), "Prediction of Settlements by Shield Tunneling," Proc., Int. Conf. of Soil Mech., Mexico, Vol. 1, pp. 239-246.
4. Peck, R. B. (1969), "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground," (State-of-the-Art Report) Proc., 7th Int. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, pp. 225-290.

圖 2. CC277 標 SM318~SM325 斷面地表沉陷槽分析

圖 3. CC277 標沉陷槽分

圖 1. CC277 標 SM302~SM316 斷面地表沉陷槽分析

