

# 捷運系統建設中大地工程科技之應用整合型計畫(II) 子計畫五

## 於混合地層開挖潛盾隧道引致之地盤沉陷 Ground settlement due to shield tunneling in mixed ground

計畫編號: NSC89-2211-E-009-093

執行期間: 89年8月1日至90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

本研究探討於含礫石層混合地盤內之潛盾隧道設計及施工,廣泛蒐集國內外含礫石之混合地層潛盾開挖案例,並介紹台北捷運新店線 CH222、CH223 及 CH224 標之施工經驗,分析於卵礫石混合地盤施工導致地表沉陷沉陷槽寬度與隧道半徑、隧道深度及潛盾機型式之關係,並獲得以下結論。(1) 當隧道深徑比越大,造成地表沉陷槽寬度越寬。(2) 和 Clough 與 Schmidt 所提出於黏土層開挖隧道造成地表沉陷槽寬度經驗公式相比較,可知經驗沉陷槽寬度曲線落在本研究蒐集案例資料中央附近。(3) 本研究蒐集到不同案例沉陷槽寬度差異頗大,  $n$  值範圍約從 0.1 至 1.5 (4) 若以 O'Reilly 與 New 所建議之簡化經驗公式評估所蒐集到之沉陷槽寬度監測值可知,  $k$  介於 0.2 至 0.7 間。

關鍵字: 沉陷、卵礫石、隧道、潛盾

### 英文摘要

This paper investigates the problems encountered during the construction of shield tunnels through gravelly soils. Case histories reported in the literature are studied and recommendations are made regarding how to solve the tunneling difficulties. The tunneling experience obtained for the construction of lot CH222, CH223 and CH224 of the Taipei Rapid Transit Systems have been collected, and the following conclusions are drawn. The deeper the tunnel centerline would result in a wider surface settlement trough. By comparing the monitored

data with the empirical equation ( $i = kZ$ ) suggested by O'Reilly and New (1982), it is found that the  $k$  value varies from 0.2 to 0.7 for tunneling through gravelly soils with shield machines.

**Keywords:** settlement, gravel, tunnel, shield

### 二、緣起與目的

在都市土地有限情況下,都會區工程如鐵路、捷運系統、衛生下水道等,都逐漸往地下發展。地下隧道施工所採用的工法主要可分為明挖覆蓋工法和潛盾隧道工法。隧道工程採用潛盾施工,則可日夜進行,不受天候交通之影響,並可對周遭環境衝擊減至最低。

台北捷運系統工程,主要在松山層內進行,施工土層以黏土及砂土為主。隨著隧道往新店、南港、景美、中和一帶推進,潛盾隧道開挖開始遭遇礫石層。在礫石層內施作潛盾隧道,除了考慮礫石本身高硬度、粒徑大,使潛盾機難以將其順利切削成適合螺運機通過之尺寸問題外,高透水性及高地下水壓都可能造成開挖面不穩定。為了克服卵礫石之高硬度、大粒徑的問題,除必須在潛盾機切刃盤上加設切削輪與切削齒以破除大直徑之卵礫石,螺運機的設計也必須對隧道沿線鑽探資料所得最大卵礫石尺寸加以考量。由於卵礫石透水性高,若採密閉式潛盾機施工,雖然潛盾機本身設計足以抵抗高地下水壓的情況,但也必須特別加強環片之強度及水密性。

### 三、地表沉陷槽寬度

Peck (1969) 依據現地觀測資料之研究結果指出, 潛盾機施作潛盾隧道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) 來加以模擬。沉陷槽上各點的地表沉陷量可用常態分佈公式計算:

$$S(y) = S_{\max} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right) \dots\dots\dots(1)$$

Clough 與 Schmidt (1981) 針對黏土層內潛盾隧道施工造成之地表沉陷進行研究, 發現沉陷槽寬徑比 ( $i/R$ ) 與隧道深徑比 ( $Z/2R$ ) 有下列關係。

$$\frac{i}{R} = \left(\frac{Z}{2R}\right)^{0.8} \dots\dots\dots(2)$$

O'Reilly 與 New (1982) 蒐集 19 個黏土層及 16 個砂土層潛盾施工案例的地表沉陷監測值, 以沉陷槽的反曲點寬度  $i$  對隧道中心軸線深度  $Z$  進行線性回歸分析, 得知砂性土層內有以下關係:

$$i = 0.28 \cdot Z - 0.12 \dots\dots\dots(3)$$

為適用於實際施工前的先期評估, O'Reilly 與 New 將上式關係式進一步簡化為:

$$i = k \cdot Z \dots\dots\dots(4)$$

#### 四、於含礫石地盤開挖隧道引致之地表沉陷槽寬度

##### 4-1 與 Peck 方法之比較

以本研究所蒐集, 於含礫石混合地盤潛盾隧道施工之國內外案例監測值和 Peck 之建議範圍相比較, 其結果如圖 1 所示。由結果可知, 由於所蒐集各案例之混合地盤, 土體本身差異甚大 (土體組成成分、礫石含量、砂土鬆緊程度), 因此圖 1 中監測值會呈現散佈在 Peck 建議於各種土層開挖造成的沉陷槽寬度建議範圍內。不同型式潛盾機在含礫石混合地盤施工, 導致之沉陷槽寬度並無特定的關係, 即開放式、泥水式及土壓平衡式潛盾機三者所造成之沉陷槽寬度差異並不明顯。

##### 4-2 和 Clough 與 Schmidt 公式比較

Clough 與 Schmidt (1981) 提出於黏土層開挖隧道造成地表沉陷槽寬度的預測:

$$\frac{i}{R} = \left(\frac{Z}{2R}\right)^n, n = 0.8 \dots\dots\dots(5)$$

將上述公式與所蒐集到含礫石混合地盤沉陷槽寬度案例比較之結果如圖 2 所示。當隧道深徑比 ( $Z/2R$ ) 越大, 造成地表沉陷槽寬度越寬, 因而  $i/R$  越大。同時也發現沉陷槽寬度差異頗大, 可用不同  $n$  值評估沉陷槽寬度, 本研究所得的結果  $n$  值範圍約從 0.1 至 1.5。

##### 4-3 和 O'Reilly 與 New 公式比較

本研究依據所蒐集到的含礫石混合地盤施工案例之沉陷槽寬度資料, 和 O'Reilly 與 New (1982) 分析砂性土壤沉陷槽寬度資料, 以線性迴歸之直線公式相比較, 其結果如圖 3。當隧道中心線深度  $Z$  越大, 施工影響範圍越大, 因此地表沉陷槽越寬。O'Reilly 與 New 對砂性土壤預測之沉陷槽寬度, 較含礫石混合地盤潛盾施工造成之沉陷槽寬度為窄。若以 O'Reilly 與 New (1982) 的簡化經驗公式評估所蒐集到之沉陷槽寬度監測值可知,  $k$  介於 0.2 至 0.7 間。就本研究所得之案例而言, 在相同隧道中心線深度  $Z$  施工, 所造成之沉陷槽寬度差異頗大, 其原因可能為混合地盤本身地質條件差異大, 加上不同施工機具以及施工品質, 導致於混合地盤開挖隧道造成沉陷寬度的差異。

#### 五、結論

本研究探討於含礫石層混合地盤內之潛盾隧道設計及施工, 獲得以下各項結論。

1. 由所獲得的監測資料分析後可知, 當隧道深徑比 ( $Z/2R$ ) 越大, 造成地表沉陷槽寬度越寬。
2. 和 Clough 與 Schmidt (1981) 提出於黏土層開挖隧道造成地表沉陷槽寬度經驗公式相比較, 可知 Clough 與 Schmidt 迴歸所得之沉陷槽寬度曲線 ( $n = 0.8$ ) 落在本研究例資料中央附近。本研究到蒐集到案例沉陷槽寬度差異頗大,  $n$  值範圍約從 0.1 至 1.5。
3. 若以 O'Reilly 與 New (1982) 建議之簡化

經驗公式評估所蒐集到之沉陷槽寬度監測值可知， $k$  介於 0.2 至 0.7 間。

173-181, London: IMM, 1982.

- Peck, R.B., "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground," (State-of-Art Report) Proc., 7th Int. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, pp. 225-290, 1969.

## 六、參考文獻

- 亞新工程顧問公司，「台北市都會捷運系統新店線 CH222、CH223、及 CH224 標大地工程專業顧問總結報告」，1997。
- Clough, G. W. and Schmidt, B., "Design and Performance of Excavations and Tunnels in Soft Clay," A State-of-the-Art Paper, International Symposium on Soft Clays, Bangkok, 1981.

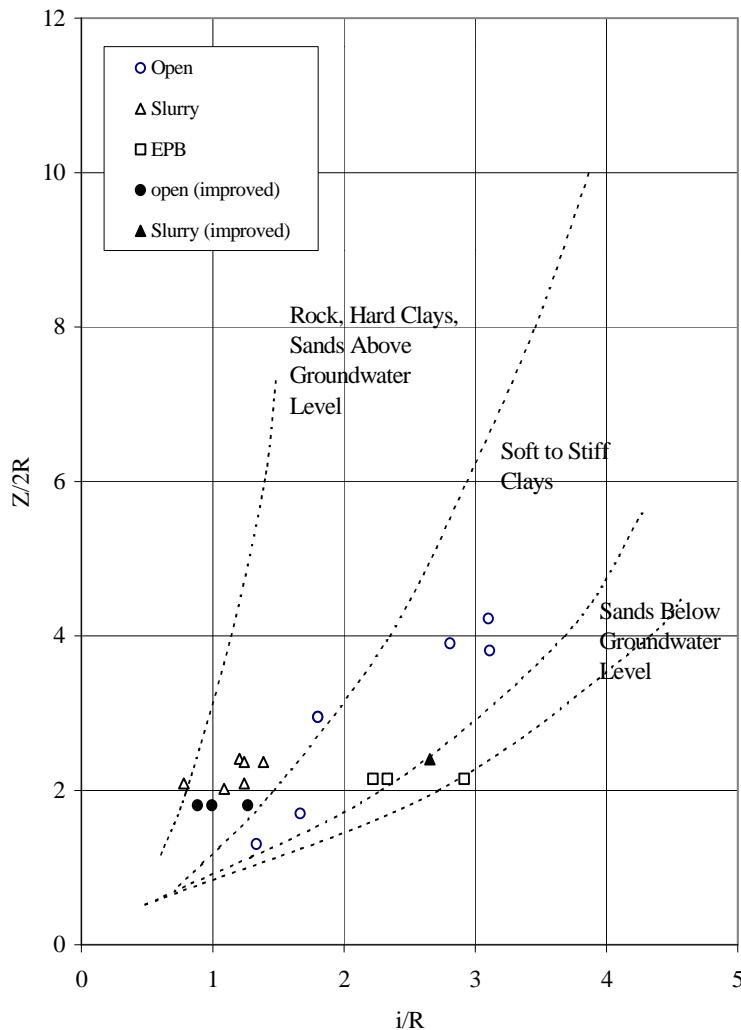


圖 1. 礫石層地盤施工造成之沉陷槽寬度參數  $i$  與 Peck 方法之比較

- O'Reilly, M. P. and New, B. M., "Settlement above Tunnels in The United Kingdom-Their Magnitude and prediction," Tunneling 82, pp.

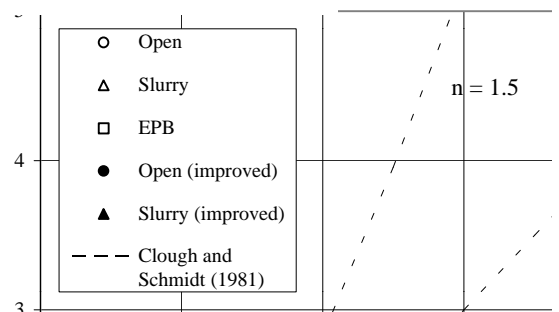


圖 2. 礫石地盤之沉陷槽寬度參數與 Clough and Schmidt 公式之比較

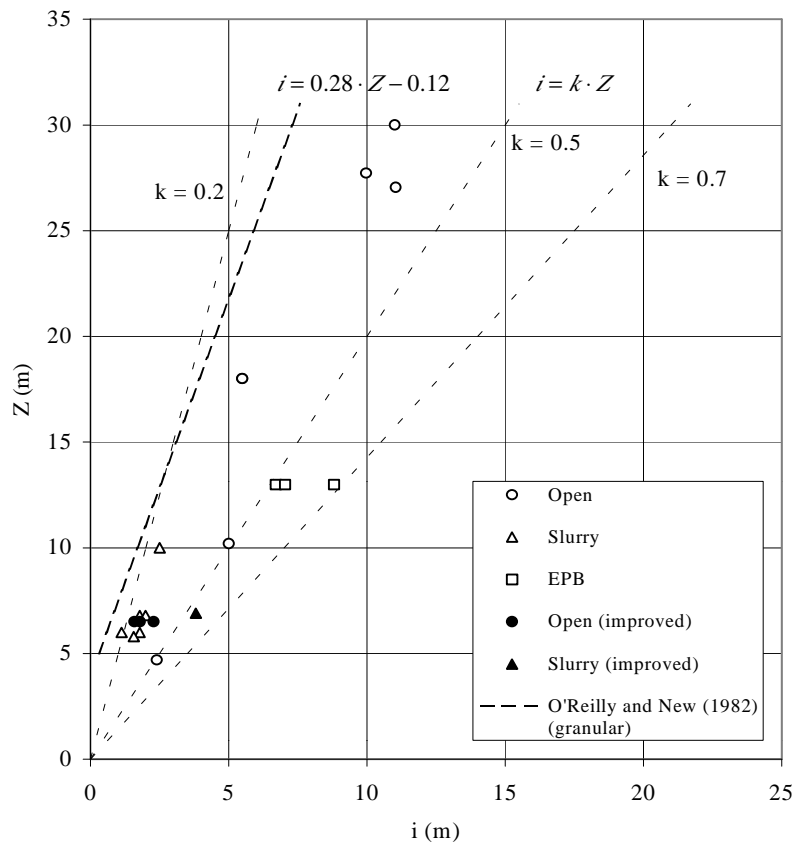


圖 3. 礫石地盤之沉陷槽寬度參數與 O'Reilly and New 公式之比較