

## Q 與 A 專欄

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之一些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾。本欄歡迎名讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見。有鑑於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視為唯一方案，以免造成施工或尋求解決方法之錯誤。

歐 晉 德\*

Q39：如何由地質調查資料，於設計階段決定噴凝土厚度、鋼支保型式與間距？（中聯工程顧問公司章致一、黃維仲先生提出）

A：隧道支保系統之設計可分為(1)經驗設計法，以岩體分類法進行隧道支撐設計；(2)觀測設計法，即一面開挖，一面根據觀測結果進行設計。主要為新奧隧道工法(NATM)；(3)分析設計法，包括數學理論分析、數值分析及模型試驗等。

由地質調查資料進行支保設計時，一般先用岩體分類設計法來決定噴凝土厚度、鋼支保型式與間距等。俟岩石力學試驗提供更詳細的岩石參數後，再以分析方法，如有限元素法或岩石一支保互制分析法，求得所需之支保數量。復將上述方法之設計結果互相比較，再決定較適當的支保系統。

四種較通用的岩體分類設計法包括：Deere(1964)之岩石品質指數(RQD)法，Bieniawski(1973)之地質力學岩體評分(RMR)法，Barton(1974)之岩體品質(Q)評分法，以及Wickham(1972)之岩體構造評分(RSR)法。因篇幅所限，上述各種評分標準暨支保型態請參閱“岩體分類法在隧道工程之應用”，現代隧道工程技術之研究，研究報告TR-7203(1983)，台灣營建中心。

茲簡述其使用上應注意事項：

(1)地質力學分類法(RMR)對於隧道拱圈與

側壁之噴凝土、岩栓、鋼支保以及仰拱閉合均詳細定出。唯此法僅適用於直徑10M之馬蹄型隧道，且其垂應力在25MPa以下，即覆蓋1000公尺以下。

- (2)岩體品質Q設計法包含38種支保範疇，可用來設計各種斷面所需之支保數量。
- (3)岩體構造評分法(RSR)較適用於傳統鋼支保工法之設計，不適用於噴凝土與岩栓之設計。
- (4)岩石品質指數(RQD)法受限於未風化或不含薄層軟泥夾心之岩石隧道。

Q40：對於膨脹性軟泥頁岩，隧道施工應注意那些事項？(科學工業園區管理局曾敬亂、傅金門先生提出)

頁岩為具葉理的細粒泥質岩石，其層面相距極近，具薄層狀或頁狀結構，其裂開常與層面成平行，一般呈灰黑色至黑色。葉理為頁岩的特徵，亦是頁岩的易裂面，頁岩性脆易裂，主要為受葉理影響。除了葉理及破碎帶外，新鮮的岩層為不透水層，在垂直葉理方向的單軸抗壓強度多在20kg/cm<sup>2</sup>以下，屬於弱岩，葉理為一相當之弱面，其抗剪強度很小，且容易受水下滲作用，不僅使岩體吸水膨脹，增加本身的重量，更因水的潤滑，使抗剪強度減至更低，頁岩抗風化的能力很小，受風化後，岩體變得鬆軟，其強度更形低弱。

\* 榮民工程事業管理處總工程司

於軟泥頁岩中開挖隧道，首先應就先期探勘所得資料決定開挖方法及其相應之保護措施，如支保、岩釘、噴凝土及混凝土等施工方案。其次對於隧道施工中可能產生的地質影響，如隧道口周圍的邊坡穩定問題，隧道開挖進行中遭遇斷層、湧水、沼氣及支保基脚下陷，支保因側壓而變形的對策問題，預作規劃。對於重要，大斷面或有嚴重變形的隧道施工，並應於開挖後實施隧道內之空間變位測定與頂部沉陷測定等，以判斷岩體之安定性。

在膨脹性軟泥頁岩中從事開挖，不但受頂拱之土壓，尚會受側壁甚至底盤來之偏壓影響，岩層自立性較差，應儘量以人工開挖或使用隧道開挖機。需要開炸時，則以勻滑爆破，減少爆震，開挖後隨即組立支保或襯砌，以免因斷面分割增加部份偏壓，或已安定之土壓受開挖干擾而再度增加。

隧道開挖後，為防止地下水的侵入及岩面與空氣長時期接觸而風化，應採用噴凝土保護。噴凝土不但覆蓋軟弱層，防止湧水洗刷軟弱層的微小顆粒，還可以防止凹凸不平的開挖面，在角隅產生應力集中現象，引起龜裂，進而誘發岩體鬆動現象。

開挖後之支保設施，除了噴凝土與鋼支保，也可合併使用岩釘。假使岩體的節理、裂隙非常發達或破碎，其支保可用噴凝土施噴數次，再以系統岩釘以減輕噴凝土面之不均勻載重，但當岩石品質指標(R.Q.D)與弱面組數之評分(Jn)比值小於1.5或出現很多泥土時，上述系統岩釘須先灌漿再施預力，否則無效，在這種極端惡劣的岩體，應使用長度足夠的岩釘，並用速凝樹脂來錨固。必要時仰拱並應儘早閉合，以產生薄殼效應，增加安全性。對於此類膨脹性岩體，若使用傳統剛性支保如重型鋼支保或厚層混凝土襯砌，則支保有被破壞的危險，此時可使用可伸縮支保，其優點在於支保的軸向力達某一值後，其重疊接頭滑動使斷面縮小，由於岩體變位，地壓減輕，支保不致破壞。

在膨脹性地層，隧道坑壁之變形達某種

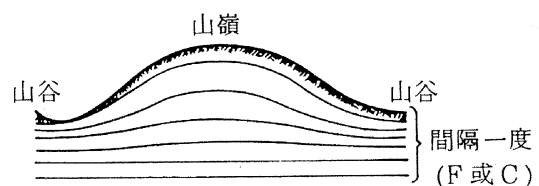
程度時土壓及支保抗力並互為平衡，此時應該是包含仰拱在內的最後一次閉合式襯砌工作完成之時期，襯砌後也應隨即展開背填灌漿，以封堵空隙。

為掌握膨脹性岩體於開挖後之行為，應實施隧道內變位測定，即於隧道內壁放置測點，利用變位計、水準點，測定隧道斷面之縮小量及頂拱之絕對下陷量，由計測結果得知斷面變形狀態，變位收斂狀況，變位速度。根據這些資料判斷岩體之安定性、岩釘長度與支數，以及種種補救措施，如增加岩釘或再施噴凝土，以防止岩盤崩落。

**Q41：長隧道施工如何解決地熱與通風問題？（中華工程公司吳文隆先生提出）**

通風設備的選擇，依隧道內岩石溫度及可能排出的氣體量而定。地溫按每深100m增高1.8~3°C，即地溫梯度(Geothermal Gradient)約為30~33m。在同一地區之內，地熱梯度並非各處一樣，而是受到很多因素的影響。這些因素包括局部地形起伏的大小，岩石導熱性能的不同，以及和火山或溫泉距離的遠近等。

圖一表示一組等地熱線(Geotherms)分佈的情形。從圖中可以看出，在山嶺下方的地熱度數距離較在山谷下面的大，這是因為山嶺所暴露的表面積較大，溫度自然較低，反之在山谷的地方，則情形恰好相反。



圖一 等地熱線在山嶺與山谷下面的分佈

此外，岩石中如果含有大量的裂縫、孔隙和節理，當中充滿着空氣或冷水（如冷泉），則地熱傳導能力將減低，而等地熱線的距離增大；反之，若裂縫中充滿熱水（如熱泉），則等地熱線的距離便減小。

測量地溫時，可以將包裹的或以容器盛着的溫度計，按預定的各個深度，逐次放入鑽孔內，待它的溫度和周圍岩石溫度相同之

後再予以記錄。溫度計每次停留的時間，在乾井中約需五小時，在有水的井中，約需30分鐘。利用這種方式，即可以測得隧道縱剖面各點地熱度數的變化，從而作成等地熱線，以供施工參考。

長隧道無法獲得自然通風，應有機械式之通風設備，以是高能見度及具衛生之工作環境。此種通風方式計有送風式、排氣式及混合式三種，採用何種方式端視隧道斷面、長度、通風量、開挖及襯砌方式以及使用機具等而定。混合式較適用於長隧道，即在開挖工作面採用送風，而在其他工作地區則採用抽風。隧道內通風之良好與否，雖與通風方式及通風量有關，但最為重要還在風管之維護管理。

為保護工作人員之健康及安全，除應將開炸後之有害氣體排出之外，隧道內溫度須保持 37°C 以下。欲使通風有效，新鮮空氣必需使用壓力送入，所需送風壓力應以吹風阻力為計算根據。壓力損失計有三種因素：阻力 ( $h_s$ )，彎頭與閘之阻力 ( $h_k$ )，維持送風固定速度 ( $v$ ) 之壓力 ( $h_d$ )，其計算式如下：

$$h = h_s + h_d + h_k = \frac{v^2}{2g} \nu \left[ \frac{\lambda L}{D} + 1 + \epsilon \right]$$

式中  $\lambda$  為摩擦係數， $\lambda = 0.026 + \frac{0.028}{\sqrt{D}}$

(設為圓型斷面風管)

$\nu$  : 空氣比重， $\nu = 1.1255 \text{ kg/m}^3$

L : 送風管長度

D : 風管直徑

$\epsilon$  : 因局部阻力(彎頭等)需額外增加長度之因數

$v = Q(\pi D^2/4)$ ，Q 為所需新鮮空氣量。

為估計新鮮空氣之需要量，應考慮下列

諸因素：

1. 隧道內作業人數，每人每分鐘約需 2.0m<sup>3</sup>。
2. 運輸系統。柴油機運輸系統每一匹馬力每分鐘需要空氣 2.3m<sup>3</sup>。
3. 炸藥種類與用量。毒煙主要為 CO、CO<sub>2</sub> 及 NO<sub>2</sub>，通風量視允許濃度而定，例如 CO 無害濃度量為 0.02%。
4. 施工方法。
5. 地質條件(地溫、瓦斯量等)