

交通技術標準規範公路類公路工程部

公路隧道設計規範



交通部頒布

中華民國九十二年十二月

交通技術標準規範公路類公路工程部

公路隧道設計規範

交通部頒布

中華民國九十二年十二月

交通技術標準規範公路類公路工程部

公路隧道設計規範

出版者：交通部

編審者：交通部

地 址：台北市長沙街一段 2 號

網 址：<http://210.69.99.200/motc/Tstandard1.nsf>

電 話：(02)2349-2074

印刷者：聯成印務股份有限公司

地 址：台北市南京東路一段 102 號

經銷者：政府出版品展售門市部

出版日期：中華民國九十二年十二月

本書同時刊載於交通部網頁

定 價：每本新台幣 200 元

GPN：1009203288（平裝）

交通部技術標準規範

類：公路類

部：公路工程部

規 範：公路隧道設計規範

審查小組

召 集 人：廖慶隆

委託召集人：黃燦輝

審 查 委 員：方永壽 王慶一 朱 旭 李建中 李德河 李錫堤
林振基 林銘郎 林宜清 侯嘉松 倪至寬 孫荔珍
傅子仁 趙興華 蔡茂生 鄭富書 謝玉山

編訂小組

召 集 人：張吉佐

編 訂 委 員：侯秉承 陳志南 黃聖源

編 輯 人 員：李民政 李怡德 張博翔

(人名依姓氏筆劃順序排列)

前 言

台灣因位處歐亞板塊及菲律賓海板塊衝撞處，地質構造錯綜複雜，且由於板塊互相擠壓作用，島內山巒疊起，約有四分之三的面積為山脈、丘陵等山區，此種山多平原少的先天環境，造成工程建設多需涉及山岳隧道之興建。本部考量隧道設計規範確有及早訂定之必要，遂於民國 92 年 3 月委由中華民國隧道協會，以國道新建工程局委託中國土木水利工程學會所編「隧道工程設計準則與解說（民國 88 年）」為藍本進行複審，並編訂本規範。複審期間聘請 18 位產官學界之專家擔任審查委員負責審查，於民國 92 年 11 月始定案，並由本部頒布實施。

茲說明本規範之編訂原則如下：

- (1) 本規範適用於一般公路隧道之地質調查與土木工程設計之用。惟各項作業細節與設計標準之詳細特定要求，應視個案需要與工址條件，另為訂定；
- (2) 相較一般土木工程，隧道工程之不確定性及變異性較高，力學機制亦較複雜。本規範係依國內外長期累積之經驗，並參酌日本隧道工程標準規範及解說（山岳工法篇），將符合安全基本需求及一般工程實務認知之技術統一系列成規則，供工程師依循使用；
- (3) 本規範係提供原則性之設計規定，以保留適當彈性，俾免拘束工程師專業判斷空間，故依據本規範從事隧道相關工作之工程師仍有其應負之責任。
- (4) 本規範使用之單位以公制為主。

最後期盼本規範能被普遍接受和應用，進而對國家建設之推動有所裨益。

公路隧道設計規範

目錄

第一章	總則	1
1.1	通則	1
1.2	適用範圍	1
第二章	地質調查	2
2.1	通則	2
2.2	調查工作內容	2
2.3	成果整理暨評估	3
第三章	設計考量	4
3.1	一般說明	4
3.2	設計原則	4
3.3	設計考量因素	4
3.4	設計項目及流程	5
第四章	支撐設計方法	6
4.1	初期支撐	6
4.2	襯砌	6
4.3	仰拱	7
第五章	支撐構件	8
5.1	一般說明	8
5.2	噴凝土	8
5.3	岩栓	8

5.4	鋼支保	9
5.5	襯砌.....	9
第六章 洞口設計		10
6.1	一般說明.....	10
6.2	位置選擇.....	10
6.3	洞口段	10
6.4	洞門段	10
6.5	洞外銜接.....	11
第七章 特殊考量		12
7.1	地質特殊之處理	12
7.2	鄰近隧道.....	12
7.3	交叉段	12
第八章 排水與防水設施		13
8.1	一般說明.....	13
8.2	排水設施.....	13
8.3	防水設施.....	13
第九章 監測系統.....		14
9.1	一般說明.....	14
9.2	監測項目、儀器及配置	14
9.3	監測頻率.....	14

公路隧道設計規範解說

目錄

第一章 總則	1
C1.1 通則	1
C1.2 適用範圍	1
C1.3 專有名詞	2
第二章 地質調查	3
C2.1 通則	3
C2.2 調查工作內容	4
C2.3 成果整理暨評估	5
第三章 設計考量	7
C3.1 一般說明	7
C3.2 設計原則	7
C3.3 設計考量因素	8
C3.4 設計項目及流程	11
第四章 支撐設計方法	13
C4.1 初期支撐	13
C4.2 襯砌	15
C4.3 仰拱	16
第五章 支撐構件	17
C5.1 一般說明	17
C5.2 噴凝土	18

C5.3	岩栓	19
C5.4	鋼支保	20
C5.5	襯砌	21
第六章	洞口設計	22
C6.1	一般說明	22
C6.2	位置選擇	22
C6.3	洞口段	23
C6.4	洞門段	24
C6.5	洞外銜接	24
第七章	特殊考量	26
C7.1	地質特殊之處理	26
C7.2	鄰近隧道	29
C7.3	交叉段	30
第八章	排水與防水設施	31
C8.1	一般說明	31
C8.2	排水設施	31
C8.3	防水設施	32
第九章	監測系統	33
C9.1	一般說明	33
C9.2	監測項目、儀器及配置	33
C9.3	監測頻率	34
參考文獻	37

附 錄.....	39
附表 C4.1 A、B 岩類之岩體分級標準表	41
附表 C4.2 C、D 岩類之岩體分級標準表	42
附表 C4.3 隧道深度大於 $1.5(B+Ht)$ 情形支撐上方岩盤荷重 H_p	43
附圖 C3.1 隧道設計流程.....	2
附圖 C6.1 洞口段與洞門段範圍示意圖	2

公路隧道設計規範

第一章 總則

1.1 通則

本規範用於公路隧道工程之地質調查與土木工程設計之一般規定。各項作業細節與設計標準之詳細或特定要求，應視個案需要與工址條件訂定之。

1.2 適用範圍

本規範適用於以鑿挖方式建造之公路隧道。

第二章 地質調查

2.1 通則

- (1) 為辦理隧道規劃、設計、施工及完工後管理維護之需要，應進行地質調查。
- (2) 地質調查旨在瞭解施工影響範圍內之地形、地質及各種可能影響隧道工程之地質條件與工程特性。
- (3) 地質調查工作應配合隧道工程計畫之進行，於選線規劃、設計及施工期間等分階段辦理之。
- (4) 地質調查工作如受實質條件限制，未能一次達到整體要求時，得於各階段持續補充之。
- (5) 地質調查計畫應視隧道規模與工址條件，分別訂定調查及試驗之項目、數量、順序、方法、範圍、精度與期間。調查計畫宜保留適當彈性，配合現地情況，適度調整應變。

2.2 調查工作內容

- (1) 一般狀況應依 2.1 之原則，辦理下列調查工作：
 - 地層及構造
 - 地下水狀況
 - 力學性質
 - 物理性質
 - 化學性質

(2) 特殊狀況之地質調查工作應視個案需要與工址條件訂定，如：

- 地滑、土石流、崩坍等移動地盤及區域
 - 淺覆蓋隧道
 - 斷層破碎帶與褶皺擾動帶
 - 含水未膠結及卵礫石地盤
 - 膨脹地盤
 - 有高地熱、溫泉、有害氣體、礦脈與礦坑等之地盤
 - 岩爆地盤
 - 湧水地盤
- 偏壓地盤

2.3 成果整理暨評估

各階段調查工作完成後，應將其成果加以整理，並撰寫調查成果報告。成果報告內容至少應包括調查及取樣原始資料、試驗結果、地表地質測繪、地盤地層剖面圖、綜合評估與建議等。

第三章 設計考量

3.1 一般說明

- (1) 本章係隧道設計需考量之基本因素，其它如洞口設計、地質特殊處理、鄰近隧道與交叉段等特殊狀況則另依本規範相關章節辦理。
- (2) 隧道應依據線形與斷面需求設計，並符合「公路路線設計規範」規定，且滿足附屬設施所需空間。
- (3) 隧道之設計宜針對功能需求，充分考慮工址地質情況與周圍環境條件限制，以達到安全經濟之目標。

3.2 設計原則

- (1) 隧道設計宜考量隧道周圍地盤之自立性，使其與支撐系統共同形成適當之拱效應，以穩定開挖所造成之變形。
- (2) 支撐系統設計宜考量隧道變形寬容量，採用適當勁度之支撐構件。
- (3) 隧道設計宜保留適當施工彈性，並得依隧道監測資料回饋調整。

3.3 設計考量因素

隧道設計至少須考量下列因素：

- (1) 地盤特性—包括岩性、構造、地下水、弱面特性、隧道軸線與

地層位態關係、開挖面自立性與地盤行為等條件。

- (2) 斷面形狀—包括功能上必須之最小行車淨空與附屬設施空間，以及配合地盤、開挖工法及支撐等特性所需之形狀。隧道斷面之幾何形狀應力求圓滑平順，以避免應力集中。
- (3) 一般岩盤隧道設計可不考慮地震影響。但必要時，得視地形、地質及隧道覆蓋深度等條件考慮之。
- (4) 特殊荷重—包括淺覆蓋地形之上載荷重、膨脹及擠壓地盤之異常荷重以及鄰近邊坡地形之偏壓荷重等。
- (5) 施工方法與順序。
- (6) 地下水與地表水之影響。

3.4 設計項目及流程

- (1) 隧道設計之基本項目如下：斷面形狀、開挖方法、初期支撐型式及變形寬容量、襯砌、洞口、排水與防水設施、監測系統及其它特殊情況。
- (2) 隧道設計得分為初步設計及細部設計兩階段進行，施工期間並得依監測評估結果進行設計調整。

第四章 支撐設計方法

4.1 初期支撐

- (1) 隧道支撐包括初期支撐及襯砌，情況適合時可僅做初期支撐。
- (2) 隧道支撐設計應考量適當之變形寬容量。
- (3) 初期支撐設計方法可概分為經驗設計法和分析設計法等二種，應依據地盤特性、施工方法、支撐架設時間、支撐系統特性與使用經驗及熟悉度等條件，評估其適用性後選用。
- (4) 經驗設計法係套用以往工程經驗之方法，視地盤良窳分級，依據隧道之功能，評析斷面形狀與尺寸、覆蓋深淺、大地應力、開挖方法等因素之影響，再參考以往案例，設計各級地盤之支撐系統。
- (5) 分析設計法係利用數學解析或數值分析等方式，求得隧道開挖面周圍之應力與變形，以設計隧道支撐之方法。

4.2 襯砌

- (1) 襯砌係以提供隧道內部安全設施之裝設及短期或長期安全使用為目的。
- (2) 襯砌應依據短期或長期之可能荷重，設計其厚度、強度及加勁材。於洞口段、斷面幾何形狀變化段、交叉段、裝設通風與機電設施等處，應視襯砌應力大小，檢討增加襯砌厚度、強度及配筋。

4.3 仰拱

- (1) 當地質不佳，僅以頂拱之支撐可能無法控制地盤變形者，應考慮設置仰拱，將支撐系統閉合。
- (2) 仰拱形狀與厚度應符合構成仰拱構造之力學要求與施工需要。

第五章 支撐構件

5.1 一般說明

- (1) 初期支撐可分為半剛性或剛性支撐系統，支撐構件主要由噴凝土、岩栓、鋼支保等組成。
- (2) 支撐構件之選用宜考慮地盤特性與施工需要等因素。
- (3) 襯砌一般由混凝土或鋼筋混凝土構成之。

5.2 噴凝土

- (1) 噴凝土之厚度及強度，必須滿足作為支撐構材之要求，並具備適當之施工性。
- (2) 噴凝土得採用鋼線網或鋼纖維補強。
- (3) 噴凝土須與噴佈之地盤面緊密結合，必要時得分層施噴。

5.3 岩栓

- (1) 岩栓應視地質狀況採系統佈置或局部佈置，以構成整體支撐系統。
- (2) 岩栓之材質宜配合地盤條件及使用目的選定，並符合必要之強度及延展性。岩栓之承壓板，宜具備充分之面積與強度。
- (3) 岩栓之錨定型式宜依據岩栓之使用目的、地盤條件、施工需要及經濟性等決定。

5.4 鋼支保

- (1) 鋼支保之斷面形狀宜配合開挖斷面之大小、形狀、施工設備等條件，審慎評估選用。
- (2) 鋼支保宜具備充分之斷面尺寸，以發揮其功能。其材質宜為延展性佳、易於焊接與彎曲者。
- (3) 鋼支保之設置間隔宜依據地質條件、施工方法、使用目的以及施工輪進長度等條件調整。
- (4) 鋼支保如需接合，宜就應力大小與施工需要，評估其接合位置及接合段數。若需採可縮構件，宜充分檢討其效果。
- (5) 鋼支保應與周圍岩壁密合。

5.5 襯砌

襯砌混凝土應具備適當之強度、水密性、工作性及耐久性，並設置適當間距之接縫，以防縮裂。

第六章 洞口設計

6.1 一般說明

洞口一般包括洞口段、洞門段及洞外銜接結構物。

6.2 位置選擇

- (1) 洞口設計時宜考量隧道功能需求，並配合洞口附近地形、地質、地下(表)水等自然條件，以及周邊環境條件，檢討洞口完成後之坡面穩定性、引發自然災害之可能性、周邊景觀之調和性、鄰近結構物之相互影響與營運維護管理之需要。
- (2) 洞口方向宜考量線形條件，並儘量與坡面等高線垂直交叉。

6.3 洞口段

- (1) 洞口段之設計應考量地形與地質狀況，選擇適當之施工方法與順序，必要時應配以適當之輔助工法，控制隧道變形，避免誘發邊坡滑動或落石。
- (2) 設置洞口須儘量減少邊坡開挖。如有邊坡穩定之顧慮，須先穩定邊坡。

6.4 洞門段

- (1) 洞門型式宜考慮景觀，並儘量與周邊環境調和。
- (2) 洞門之設計除考量功能因素外，並應納入附設營運管理設施之

需要。

- (3) 洞門段結構須以維護洞口安全、減少變位或下陷等原則進行設計，並考慮超載荷重及地震等現象所造成之影響。

6.5 洞外銜接

隧道洞口如銜接橋樑、路堤及擋土結構等，宜評估不同結構物間相對位移與沉陷之影響，妥為因應防範。

第七章 特殊考量

7.1 地質特殊之處理

因地質特殊而無法以一般正常開挖支撐方式施工時，除對其特性及狀況設計外，應容許現場有調整變更之彈性。

7.2 鄰近隧道

- (1) 鄰近隧道須根據地盤特性，檢討適當之施工順序與支撐型式，並針對隧道周圍地盤研擬補強對策。
- (2) 隧道前方有既設或已先行施工之鄰近隧道，若隧道施工對其安全有所影響時，須進行安全監測，並予補強維護。

7.3 交叉段

- (1) 交叉段之設置儘可能避開地質不良區段，並以垂直交叉為宜。
- (2) 交叉段之設計，應力集中現象為考量重點，從而擬定適當之開挖步驟及支撐方式，並加強監測。

第八章 排水與防水設施

8.1 一般說明

- (1) 隧道之排水與防水設施，其設計須考量周圍環境、隧道功能需求及地下水質、水溫等。
- (2) 當周圍環境允許地下水排入隧道時，隧道內宜設置適當之排水設施，使地下水沿預設水路排放。
- (3) 當周圍環境不允許地下水排入隧道，或因地下水質具腐蝕性而不宜排入隧道時，隧道須設置防水設施因應，其襯砌設計應考慮地下水壓。

8.2 排水設施

- (1) 隧道之排水設施可分為入滲水排水及路面水排水兩系統。
- (2) 入滲水排水系統僅於周圍允許地下水排入隧道時設置。為使入滲水不致滯留於襯砌背面，應設適當之排水管路。
- (3) 路面邊溝需考慮隧道內清洗與車輛排放等路面水之收集。並視需要設置油水分離設施，經處理後再予排放。

8.3 防水設施

防水設施係為提供隧道襯砌內乾燥環境，避免滲水影響隧道襯砌耐久性及相關設施之功能。所採材料應具有足夠之水密性、耐久性、強度及韌性，並為不易燃材料。

第九章 監測系統

9.1 一般說明

監測系統之設計須包括監測之項目、儀器、配置與頻率，並具適當彈性，可供現地配合實況調整。

9.2 監測項目、儀器及配置

- (1) 監測系統應依隧道規模、沿線地形地質與周圍環境條件等因素，選定監測項目及儀器。
- (2) 監測儀器之性能、精度及測讀範圍應符合監測目的之需要，其配置宜考慮隧道規模、斷面形狀、地質條件、施工方法、施工對鄰近結構物之影響程度等因素。

9.3 監測頻率

監測頻率須於設計時預為訂定，以提供預警資訊，判定隧道與地盤穩定度，並得於隧道施工時視需要檢討調整。

公路隧道設計規範解說

第一章 總則

C1.1 通則

公路隧道所面臨之地質與環境條件因案而異，故僅就地質調查與設計等作業，定出基本之設計規範（specification），供設計者就個案需要進行考量，並作為擬定作業細節與設計標準之準繩。

公路隧道工程為一綜合工程，涵蓋土木、環控、消防、機械、電氣、通信及安全監控等各領域，但本規範僅針對隧道土木工程作一般之規定，其它功能設計應依相關規範辦理。

C1.2 適用範圍

公路隧道之建造方式甚多，包括採鑿挖方式、明挖覆蓋（cut-and-cover method）、隧道鑽掘機（tunnel boring machine, TBM）、潛盾機（shield machine）與沈埋管（immersed tube）施工等。本規範適用於以鑿挖方式建造之公路隧道，以其他方式興建之公路隧道非本規範適用範圍。

以鑽炸法（drill and blast）、懸臂式掘削機（roadheader）、破碎機（breaker）或反鏟挖土機（back-hoe）施工，以及利用隧道鑽鑿機鑿挖而不以環片作為支撐之隧道等均屬鑿挖方式之範圍。其歸屬同一類之理由，乃是開挖後地盤行為與後續處理方法均相類似。

豎坑與斜坑為自地面以垂直或較大斜率開挖之坑道，多作為主隧道之通風隧道等用途，其設計與施工得參考本規範辦理。

C1.3 專有名詞

(1) 頂拱(crown)

係指隧道頂部之拱狀部分。

(2) 仰拱(invert)

係指隧道斷面底部之拱狀部分。

(3) 台階(bench)

係指隧道分階開挖之平台。

第二章 地質調查

C2.1 通則

- (1) 隧道之設計及施工受工址地質條件與周圍環境之影響極大，因此規劃設計前必須辦理地質調查，以取得工法決定、安全確保、周圍環境維護、工程費與工期推估、以及完工後管理維護所需之地質基本資料。
- (2) 隧道工程地質調查之目的，主要在利用調查結果，研判隧道沿線及周遭可能影響範圍之工程地質問題，俾確保隧道安全。
- (3) 地質條件之調查，從隧道全線之概略調查，至個別局部之詳細調查，通常分數階段實施。概略調查(概查)以把握整體地質條件為原則，並針對隧道施工時可能造成問題之區段作為重點進行較詳細的調查；詳細調查以施工計畫所需基本資料，以及為檢討克服特殊地質之施工方法所需資料為調查重點。
- (4) 由於台灣地區地質條件之多變性以及隧道工程之複雜性，隧道工程執行之決策人員與相關從業人員須瞭解現今地質調查技術，係以有限數量之點狀或線狀、直接或間接實測資料為基礎，依據地質學相關理論，對隧道全線地質條件作合理之延伸推估，其評估結果與實際狀況之吻合程度，仍可能存有落差。故地質調查工作得視實際需求，於各階段持續補充調查之。
- (5) 擬定調查計畫時，首須從瞭解隧道計畫地區周圍之地形、地層分布以及地質構造等特性開始，蒐集附近地區以及地質類似之

其他地區的地質調查案例與其施工實績；並利用規劃隧道路線之踏勘、遙測技術及航照判釋以研判可能影響隧道規劃、設計與施工之工程問題後，再編擬調查計畫，內容包括調查及試驗項目、數量、順序、方法、範圍、精度與期間。調查計畫應具有適當彈性，以因應現地情況與先前獲得資料差異甚大時應變之需要。

C2.2 調查工作內容

- (1) 一般狀況之調查工作內容係包括地層、構造、地下水狀況、力學性質、物理及化學性質調查。
- (2) 針對隧道工程可能遭遇之斷層、湧水及有害氣體等特殊狀況，若未能適時適切地掌握並加以排除，可能造成工程進度延宕甚至完全停擺，導致大量資源之浪費。因此，隧道工程應視個案需要與工址條件，針對可能遭遇之特殊狀況訂定調查工作內容。茲說明各種特殊狀況之調查工作內容如下：
 - 針對可能產生地滑、土石流、崩坍等移動地盤及區域，應在規劃選線階段進行調查，提供選線與設計考量。凡影響隧道安全而需要施以穩定處理者，應另於隧道設計階段調查其範圍、深度與工程性質，供設計穩定措施之用。
 - 淺覆蓋隧道之地質調查，以提供上覆地盤穩定性檢討，及地表沉陷量與沉陷範圍推估所需資料為目的。
 - 針對斷層破碎帶與褶皺擾亂帶，宜以震測方法調查地質構造成因與其性質，必要時以鑽孔或其他適當方法補充調查。
 - 含水未膠結及卵礫石地盤之調查，應著重於查明不同透水層之界面與材料組成特性，以及隧道沿線各透水層之含水情

形、透水性與水壓。

- 含有大量粘土礦物之膨脹地盤，宜儘可能查明岩石之膨脹潛能及膨脹壓力大小。
- 隧道工程應於規劃選線階段蒐集各類文獻與工程紀錄，以瞭解隧道沿線可能遭遇之高地熱區、溫泉與有害氣體範圍與狀況；必要時進行鑽孔調查以供選線參考。經過礦區之隧道，可藉由資料蒐集、現地踏勘與鑽孔等方法，調查礦脈分佈、現有或廢礦坑分佈及其採掘範圍。
- 岩爆地盤之調查方法與一般隧道相同，惟此等地盤之覆蓋深度一般較深，不易精確推測隧道沿線地質狀況，必要時可以探查橫坑、水平鑽孔或深鑽孔進行詳查。
- 針對湧水地盤，宜辦理地下水文調查，俾提供隧道內湧水量估算，及地表水與地下水影響評估所需資料。施工期間亦需調查隧道內湧水實況與周圍水文環境所受影響，俾採取必要措施。
- 隧道洞口段之地質調查比照淺覆蓋隧道之調查方法辦理，另調查洞口邊坡之穩定性與產生偏壓之可能性，以供評估洞口之安全性。
- 其它地質條件複雜或具特殊重要性之隧道，可施作探查橫坑或水平鑽孔進行詳查。

C2.3 成果整理暨評估

各類地質調查實測成果，應相互比對校核，並依據隧道工程地質學觀點，對隧道全線地質條件作合理之延伸推估，據以研判隧道沿線之地質條件，並撰寫調查成果報告。

成果報告中，應將事實(調查、取樣與試驗結果等原始資料)和解釋(地表地質測繪與地盤地層剖面等綜合評估資料)資訊予以明確說明；各單項資訊若有數組實測資料，應明列其變化範圍及可能控制因子，避免僅呈現單一數值；俾令設計者在利用調查成果辦理設計工作時，能對資料之代表性及不確定性具有正確認知，進而決定如何使用。

第三章 設計考量

C3.1 一般說明

- (1) 本章針對隧道設計所需考量之基本因素，包括地盤特性、斷面形狀、地震、特殊荷重、施工方法與順序、地下水與地表水之影響等因素加以說明，至於洞口設計、地質特殊處理（斷層、湧水與有害氣體等）、鄰近隧道與交叉段等特殊狀況所需考量之因素，則另列第六章及第七章。
- (2) 隧道設計應考量線形佈置與斷面大小等功能需求，其平面線形與縱坡須符合交通部「公路路線設計規範」要求，斷面大小則應符合行車空間需求，並考慮通風、照明、消防、通信、緊急停車與維修等附屬設施所需空間。
- (3) 隧道設計宜針對上述線形與斷面等功能需求，充分考慮工址地質情況與周圍環境條件限制進行之。路線研選方面，需考慮隧道對周圍環境之影響，選擇影響較少之路線，同時將周圍環境條件及所需維護措施反映於隧道設計上；洞口位置與佈置應以地質為重點考慮因素，選擇地質較佳之洞口。

C3.2 設計原則

- (1) 在地盤中開挖隧道後，原呈平衡狀態之地盤應力將重新分佈，岩體亦隨之變形，有時甚至不用支撐亦可達到穩定，此一現象顯示隧道圍岩具有自立性。此一作用自應充分加以利用，以適量支撐加強圍岩性質，避免於變形中發生漸進破壞。

支撐設計宜充分考量地盤之自立性，以加強圍岩支撐強度並控制其變形為主要目的，而非僅考量以剛性支撐抑制岩盤變形或承擔岩楔脫離導致之全部荷重。

- (2) 隧道支撐系統之設計，宜考量隧道周圍岩盤之岩體類別、隧道寬度與覆蓋深度等條件，預留適當之變形量，並採用適當勁度之支撐構件。
- (3) 隧道雖與一般結構物同為工程建設，但因以性質複雜多變之地盤為施工對象，故設計時宜保留適當之施工彈性，賦予現地依據實際地質情形或困難情形而彈性變更施工方式之機制，俾及時採取必要措施以避免發生災害。

C3.3 設計考量因素

(1) 地盤特性

(a) 隧道軸線與地層位態關係

地層位態與隧道開挖及地盤之穩定性有極密切之關係，因此隧道路線之佈置宜考量隧道軸線與地層位態之方向關係，檢討開挖後可能產生之地盤破壞行為，選定較佳隧道路線，俾減少爾後需以工程技術克服之費用支出。

隧道路線宜儘可能避開谷地及側壁厚度不足處作為進洞地點，以免因隧道與坡面之距離過短發生偏壓，及地盤風化造成隧道開挖後抽心透空。隧道軸線與地形等高線之交角則宜大於 45° ，且以垂直交叉為佳。

(b) 開挖面自立性與地盤行為

開挖面自立性影響隧道安全甚鉅，主要取決於地盤強

度、不連續面位態、裂隙發達情形及開挖斷面與跨徑大小等因素。膠結不良之砂岩或砂性地盤，易因地下水影響而發生流砂現象，設計時須考慮因應對策。

隧道施工時，一般在開挖面進行岩體類別判定，惟隱藏於開挖面及側壁後之地質構造與剪裂帶，無法僅依目視或量化方式評估，故對有前述顧慮而未能掌握地盤行為之情況，基於維持隧道穩定需要，宜設計適當之支撐系統。

(2) 斷面形狀

(a) 隧道內空斷面之尺寸，需依其車道數，並配合交通部「公路路線設計規範」之規定，就各車道所需寬度與高度，以及隧道內所需之維修步道空間、通風、照明、消防、通信、緊急設施及標誌等進行有效佈置，並考量隧道穩定性及施工性後決定之。至於開挖斷面之尺寸，則應考量隧道內空斷面及支撐構件所需架設空間，並依隧道周圍岩盤類型預留適當之變形量。

(b) 隧道斷面之幾何形狀影響其結構穩定性，設計時應考量地盤條件、開挖工法及支撐等特性，以適應隧道開挖後產生之應力流及變形狀況。基於力學行為及施工性考量，斷面幾何形狀應儘可能平滑化，避免造成應力集中現象。公路隧道一般採多心圓斷面，必要時設置仰拱。仰拱應與側壁圓滑連接。

(3) 地震

針對一般岩盤隧道而言，因岩體變形模數較一般土壤為高，而地震波之波長一般以百公尺級計，其值遠大於隧道橫斷

面尺寸，故地震波對岩盤隧道之影響可以忽略不計。此外，由國內外之地震災害報告顯示，地震波對岩盤隧道較不具威脅，故一般岩盤隧道設計均未考慮地震力之影響，惟必要時得視地形、地質及隧道覆蓋深度等條件加以考量之。

(4) 特殊荷重

覆蓋較淺之隧道，地層一般風化程度較高，新鮮岩層厚度較薄，不易形成地拱。此類隧道之設計，宜考慮調整開挖順序，或輔以適當之地盤改良及其他輔助工法。若地表有超載可能，設計隧道支撐系統及分析襯砌結構時即應納入超載作用。此外亦須考量爾後隧道上方可能發生之開發行為，改變或破壞地表地貌，導致滲入之地下水增多，在地層中形成空洞並擴展，對隧道產生超出目前之荷重。如無法考量時，亦需對開發行為加以設限。

隧道經過膨脹及擠壓地層時可能遭遇異常荷重，此時除標準支撐系統外，宜採適當之輔助工法加以克服，並增大隧道之變形寬容量。

靠近邊坡地表之隧道，地形偏壓使隧道結構體受力不一致，易發生不均勻變形破壞。此時宜藉由回填或坡地保護等對策，以平衡土壓。

(5) 施工方法與順序

隧道施工方法影響隧道工程進度及經費甚鉅，並與隧道支撐設計息息相關，故應於設計前，仔細考量隧道斷面尺寸、工區長度與地質特性，並配合隧道工期及環境條件等加以選定之。其中，隧道工址之地形條件、工區進出便道之可及性與便

利性影響大型施工機具運用性甚鉅，需納入設計考量，藉以避免實際施工執行時窒礙難行或偏離原設計需求。

在開挖方式方面，目前可依斷面分割情形概分為下列類別，選擇時應考量隧道周圍岩盤拱效應與開挖面自立性地質特性，充分利用其支撐功能；原則上，在不影響隧道穩定性之前提下，宜盡可能採較大斷面之開挖。

(a)全斷面開挖

(b)上半斷面先進及台階開挖

(c)中壁開挖

(d)側導坑開挖

(e)環狀開挖

特殊條件之地質(如高壓湧水、斷層破碎帶、卵礫石地盤與淺覆蓋等)，往往無法僅藉改良施工方法與順序加以解決，此時必須採用輔助工法增強地盤強度或降低地下水位，方能進行開挖並控制變形量。

(6) 地下水與地表水之影響

其他可能因隧道施工而改變之現地情況，譬如地下水與地表水變動等，亦須於設計階段預為考量。

C3.4 設計項目及流程

(1)隧道設計之基本項目包括斷面形狀、開挖方法、初期支撐型式及變形寬容量、襯砌、洞口、排水與防水設施、監測系統及其它特殊情況，此為一般隧道設計所須考慮之主要項目，實務上

應不限於所列項目。

- (2) 隧道係屬細長之地下結構物，對於長達數公里且位於崇山峻嶺內之隧道，以現有之地質調查技術，仍難於施工前確實掌握沿線所有地質條件，常有一定幅度之變動，故考量隧道工程之經濟性及安全性，施工中宜依實際觀察與監測結果，適當調整設計。隧道設計流程參考附圖 C3.1。

第四章 支撐設計方法

C4.1 初期支撐

- (1) 隧道支撐包括初期支撐及襯砌二部份。一般情況下，初期支撐於隧道開挖後立即安裝，作為承力結構；襯砌則於初期支撐架設完成，且周圍岩盤變形穩定後再行施作，因此除本身自重及潛變因素外，理論上並不承受外力作用，惟亦有將其視為增強或作為全部承力結構之情形。在隧道沿線地質條件較佳，隧道安全無慮之前題下，可僅施作初期支撐。
- (2) 設計隧道時，為避免周圍岩盤向內變形過大致內空斷面不足，須訂定適當之變形寬容量。由於地質條件之變異性，且相關分析工具在應用上尚有限制，欲訂定標準之變形寬容量相當不易，宜依據以往類似條件之隧道設計與施工經驗加以訂定。
- (3) 影響隧道周圍岩體行為之因素眾多，然目前對此方面之瞭解仍不完整，且隧道沿線地質變異性大，故無標準之設計方法可資依循。目前常用之設計方法可概為經驗設計法和分析設計法二種，各有其適用範圍與限制條件，選用時必須充分瞭解之。初期支撐所受荷重及行為受下列因素影響，設計時應充分考量之。
 - (a) 地盤特性：隧道沿線地盤特性決定初期支撐所受荷重，亦影響初期支撐之適用性。
 - (b) 施工方法：施工方法不同，隧道周圍岩盤之擾動程度亦有

所差異，此將影響初期支撐所受荷重。鑽炸法之擾動程度最大，為避免擾動破碎區域過大致對初期支撐產生額外荷重，宜採用勻滑開炸。機械開挖對周圍岩盤之擾動甚小，支撐所受荷重將小於鑽炸法。

(c) 支撐架設時間：初期支撐須在岩體自立時間（stand-up time）內架設完成，以避免岩體持續鬆動破壞而導致額外之地盤荷重。岩體自立時間是指隧道開挖後，岩體不需支撐而能保持穩定之時間，期間周圍岩體將逐漸向內鬆弛變形至形成一穩定之地拱為止。

(d) 支撐系統特性：初期支撐應允許岩體產生適當之變形以形成地拱，同時也須具備足夠之強度以支撐地拱所無法承受之荷重，並阻止隧道持續向內變形。

(4) 經驗設計法：此法係由以往工程經驗歸納出經驗法則，並據以進行支撐設計。採用經驗設計法時，應充分瞭解其發展背景與資料內容，以掌握適用範圍。

岩體分類系統為經驗設計法之主要工具，其透過岩體分類將過去之工程經驗加以歸納分析，供後續隧道工程參考比較，據以設計初期支撐。岩體分類系統之種類相當多，包括南非之 RMR 系統、挪威之 Q 系統以及公共工程委員會「台灣岩體分類與隧道支撐系統（PCCR 系統）」所建議之岩體分類系統（附表 C4.1、附表 C4.2）等。

(5) 分析設計法：隨著電腦科技之快速發展，利用電腦從事相關分析之工程案例已愈來愈多。隧道工程中如交叉段支撐設計等複雜之三維問題，已非從經驗設計法即可獲得足夠之參考資料，此時宜採用分析設計法輔助支撐設計。惟岩體破壞機制複雜，

地質參數變異性大，故宜慎選分析模式與設計參數，以求安全適切之支撐設計。分析設計法依其性質可概分為三大類。

(a) 解析解法 (analytical analysis)：又稱公式解法，如岩盤—支撐互制曲線法等。

(b) 岩盤荷重法 (rock load analysis)：如 Terzaghi 之岩盤荷重法 (附表 C4.3) 等。

(c) 數值分析法 (numerical analysis)：本法需利用套裝電腦程式進行分析，可分為連續體分析與不連續體分析；前者包括有限元素法 (FEM)、邊界元素法 (BEM) 與有限差分法 (FDM) 等；後者則包括分離元素法 (DEM)、樺塊理論法 (block theory) 與不連續變形分析法 (DDA) 等。

C4.2 襯砌

(1) 所謂襯砌係指混凝土襯砌，設計時應考量下列需求。

(a) 裝飾性需求：當初期支撐足以支撐地盤荷重，無須再以襯砌補強時，襯砌以裝飾及改善照明、通風效能為目的。

(b) 結構性需求：包括本身自重、地盤荷重、水壓、設施荷重等需求。

無論係裝飾性或結構性需求，襯砌須提供隧道內部安全設施之裝設，以及短期或長期安全使用。為防混凝土龜裂剝落，得考慮適當之抗張加勁材。

(2) 隧道襯砌之厚度與強度應依據其使用目的，並考量短期或長期之可能載重、斷面尺寸與施工性等條件加以決定。針對洞口段、地質弱帶、交叉段、裝設通風與機電設施等處，考量襯砌可能承受較大荷重，可以增加襯砌之厚度或強度等方式因應。

C4.3 仰拱

- (1) 仰拱一般設置於地質不佳，僅以頂拱支撐可能無法控制地盤變形之區段。當隧道可能承受過大荷重以致產生大量變形，隧道下方岩盤承载力不足或可能因遇水或施工機具輾壓而產生弱化現象，以及隧道覆蓋深度較淺或鄰近有結構物需保護時，一般進行仰拱閉合，俾使隧道支撐系統形成一封閉結構，藉以提昇支撐功能，並有效抑制隧道周圍岩盤之變形，增加隧道穩定性。
- (2) 仰拱之形狀與厚度，應考量上部支撐構件之規格尺寸加以訂定，俾使隧道支撐系統形成一閉合結構，並具有足夠之強度、剛度和耐久性。

隧道之仰拱材料，一般係以噴凝土或混凝土為主，其強度、剛度和耐久性應符合其使用目的，必要時得採用鋼筋混凝土、鋼線網混凝土或鋼纖維混凝土等予以補強，藉以提升其支撐能力。

第五章 支撐構件

C5.1 一般說明

- (1) 現今隧道工程所用之初期支撐，基本上可概分為半剛性支撐與剛性支撐系統兩種，所採支撐構件包括噴凝土、岩栓與鋼支保等。由於上述兩種系統所能達成之功能並不相同，各有不同之應用，設計理念亦相異，故設計前須先決定採用何種支撐系統。

隧道開挖後周圍岩體將發生變位，剛性支撐系統係利用高勁度之重型剛性支撐以抑制隧道變形，而半剛性支撐系統則充分利用隧道周圍地盤之自立性，將其視為主要承力結構，至於所設計施作之任何人為支撐僅提供約束作用，使周圍岩盤形成一承受應力之地拱，以調適開挖造成之岩盤變形與應力變化，維持隧道之穩定與安全。

針對一般岩盤隧道，目前國內多採用半剛性支撐系統進行設計，至於通過淺覆蓋且膠結不良地盤之隧道，因無法將圍岩視為主要承力結構，故晚近許多案例之處理多偏向取用剛性支撐系統。

- (2) 選用支撐構件時，應考量隧道周圍地盤特性，並配合隧道斷面尺寸及覆蓋深度，判斷隧道周圍岩盤之破壞機制究屬構造破壞亦或材料破壞，並配合噴凝土、岩栓與鋼支保等各支撐構件所具功能加以選定之；必要時得藉由先撐工法、排／止水工法或地盤改良等輔助工法以增加隧道穩定性。

鑽炸法與機械開挖法所採用之支撐構件不盡相同，故支撐構件應配合施工需求加以選用，確保其功能得以充分發揮。此外，當地盤自立性不佳採小斷面逐步擴挖、台階開挖或縮短輪進等方法掘進時，支撐構件之設計須考慮各步驟間之支撐銜接、完成全斷面開挖前各步驟支撐之獨立安全以及臨時支撐拆除方便性等問題。

- (3) 襯砌材料多為現場澆置之純混凝土或鋼筋混凝土，其厚度、強度及配筋需求均應滿足設計載重之要求。

C5.2 噴凝土

- (1) 噴凝土之設計厚度宜就隧道之斷面形狀、斷面大小、施工方法及地盤特性等詳加考慮後決定，其設計抗壓強度（以 28 天為準）一般多在 210 公斤／平方公分至 280 公斤／平方公分，至於配比須滿足設計抗壓強度及施工性要求。
- (2) 噴凝土一般採用鋼線網或鋼纖維予以補強，以改善噴凝土與岩盤間之黏著效果，並提高噴凝土之抗彎強度與韌度，進而減輕或防止噴凝土因隧道周圍岩盤變形過大而產生龜裂或剝落現象。
- (3) 噴凝土能否達到設計目的，端賴其與周圍岩體之緊密結合，故岩盤表面與噴凝土間，或各層噴凝土間不能有空隙。若噴凝土設計厚度較厚，無法一次施噴完成時，宜分層施噴，以避免剝落。

C5.3 岩栓

(1) 岩栓之佈置，原則上以能補強因隧道開挖而受到影響之區域為宜。若岩栓係以固定可能滑動岩楔為目的時，則應依岩楔所在位置、規模及節理位態佈置局部岩栓，其長度須能達到鬆動範圍外，藉以將端頭錨定於穩定岩盤中以固定岩楔；至於以抑制塑性區產生及發展為目的之岩栓，則一般進行系統佈置，即將岩栓呈放射狀地佈設於隧道周圍岩盤內，其佈設間距應能確保足夠之岩栓數量，並使鄰近岩栓發揮共同作用，而長度則應足以提供岩栓所需錨定效果。

(2) 岩栓一般被視為承受拉力之支撐構件，故岩栓材質應具有足夠之強度，同時為防止隧道周圍岩盤突然崩坍，亦應具有良好之延展性。岩栓材質可為鋼棒、鋼管、薄殼或玻璃纖維（FRP）等，當地質條件不良致產生較大變形時，可採用高拉力鋼筋或增加其截面積予以補強。

岩栓之承壓板除需有足夠之面積與強度以傳遞岩栓軸力至其它支撐構件或岩盤外，亦應具有足夠延展性，俾使現場人員得以由其變形狀況判斷岩栓是否承載過大。

(3) 目前岩栓錨定型式大致有前端錨定、全面錨定及摩擦錨定等不同類型，設計時宜考量各自特性後採用之。其中前端錨定類型岩栓因僅錨定岩栓前端部份，錨桿較易銹蝕，長期穩定性差，所以僅於節理、層理發達之堅硬岩盤中用以局部固定可能滑動之岩楔。全面錨定類型係利用水泥砂漿或樹脂等錨定材料，將錨桿全長錨定於周圍岩盤，俾增加隧道周圍岩盤之約束作用，因此適用範圍相形較廣，不論堅硬岩盤或軟弱岩盤皆可適用，為目前常用之岩栓類型；惟在軟弱岩盤中為避免產生坍孔現

象，可考量以泡沫取代一般用水進行施鑽以穩定孔壁，或改採自鑽式岩栓。近幾年，摩擦錨定類型岩栓之應用案例漸增，其主要利用岩栓錨桿與周圍岩盤之摩擦力進行錨定，可進一步細分為開縫管岩栓與膨脹管岩栓兩種；前者係將大於鑽孔孔徑之岩栓錨桿強制插入而錨定，後者則利用高壓水幫浦使薄殼錨桿膨脹而錨定，一般具有高初期強度、高韌性及與岩盤緊密附著等特性。

C5.4 鋼支保

- (1) 鋼支保類型依斷面形狀可分為 H 型鋼支保、U 型鋼支保及桁型鋼支保等不同類型，選用時宜配合開挖斷面大小、形狀、施工設備等條件，並配合各型鋼支保所具功能加以選定。
- (2) 鋼支保主要用於提供初期支撐、提高支撐系統之強度與勁度、以及作為先撐工法所採支撐構件之支承點，故其斷面尺寸應具備足夠之強度以發揮其支撐功能，其材質、製作及結構強度亦須符合設計要求。鋼支保宜具有足夠延展性，以防止整體支撐系統在承受過大荷重下產生急劇破壞現象；另需考量其加工性與施工性，以易於焊接與彎曲者為佳。
- (3) 鋼支保之設置間隔，宜從力學與施工需要考慮之。就力學考量，鋼支保須提供足夠之支撐力，因此須就地盤條件、施工方法及使用目的等加以評估；通常地質條件較佳者其設置間隔較大。如就施工考量，鋼支保間距需配合施工輪進長度加以訂定，其目的在於維持工作面之安全性、作為先撐材料之支承點、導引開炸孔佈設及控制開挖外形。
- (4) 鋼支保需配合開挖斷面之尺寸與形狀，以及施工設備等條件進

行製作與組裝，故構件之接合通常無法避免，此時宜就承受荷重與施工需要，評估鋼支保之接合位置及接合段數。其中接合段數宜配合開挖順序（如台階開挖或側導坑開挖等）加以訂定，不宜過多。

當預期隧道變形較大時，鋼支保可考慮採用可縮構件，惟變形將趨大，故須特別評估隧道之安定性，並注意變形收斂時間之增長。採用可縮構件時需預留適當之變形寬容量。

- (5) 為確保鋼支保之支撐功能，組立時除儘量與隧道周圍岩壁密合外，亦需與其他支撐構件充分結合。

C5.5 襯砌

襯砌設計應依據其使用目的，並將隧道周圍岩盤特性及初期支撐系統之強度及架設時機等因素納入考量。襯砌之強度應能長期承受設計荷重，不致發生龜裂、變形及崩坍等情況，並具所需之抗風化及抗腐蝕能力，不致發生強度降低及漏水等情況，必要時應配合防水膜安裝；襯砌若於現場澆置，應具有良好之工作性，並儘可能抑制水化熱之產生；此外，應設置適當間距之接縫以防縮裂。完成表面應平順光滑，以維持較佳之通風與照明效果，並利觀瞻。

第六章 洞口設計

C6.1 一般說明

根據以往施工經驗，洞口可概分為洞口段、洞門段及洞外銜接結構，視地形條件略有不同。其中洞口段係指臨時洞口至可開始採用標準斷面施工處，亦即覆蓋深度約 1~2 倍隧道開挖跨度之區段（參考附圖 C6.1）；洞門段係指臨時洞口至永久洞門段，視地形條件加以設置（參考附圖 C6.1）；至於洞口前後路線銜接之結構物，如橋樑、路堤或擋土結構等之設計，宜納入洞口設計一併考慮，以求銜接完全。

C6.2 位置選擇

- (1) 正確之隧道洞口位置能減少因不良地形與地質在施工期間所造成之困擾，例如影響工期及增加施工成本；在營運期間亦能增加行車之安全，並減少隧道洞口邊坡維修之成本。洞口設計時須考量下列事項：
 - (a) 隧道洞口應儘可能遠離崩塌地、崖錐或沖積扇，以減少洞口開挖所導致之邊坡穩定問題；若無法避開時，必須針對邊坡作適當保護，其支撐亦須相互配合。
 - (b) 由於洞口曝露於外，必須注意因氣象因素所引起之自然災害，如土石流、落石及雪崩等，並加以防範。
 - (c) 選擇洞口位置時亦須考慮洞口完成後與周邊景觀之調和性，以及未來維護管理所需。
 - (d) 洞口週邊若有建物或結構物，須檢討洞口開挖對其影響，

必要時得採用輔助工法或補強結構物等保護對策。

- (e) 洞口位置宜考量隧道斷面與通風等功能需求，並儘可能避免眩光。
 - (f) 隧道多數施工機具、設備與材料須佈置於洞口附近施工場地，因此選擇洞口時宜考慮通達道路、施工場地與設備佈置之需求。接近河川之洞口，其標高應考量洪泛水位。
- (2) 洞口方向宜考量線形條件，儘量與坡面等高線垂直交叉以減少洞口段長度並降低偏壓現象，即使發生問題亦較易解決。如不能垂直交叉，隧道軸線與坡面等高線之交角亦宜在 45° 以上，否則需考量以設計方式克服之。

C6.3 洞口段

- (1) 洞口段之設計，宜就地形與地質條件，選用適合之施工方法與順序；原則上應儘量縮小洞口開挖規模，以減少開挖影響範圍，如採用台階開挖或側導坑開挖等工法。此外，亦須對洞口開挖所可能引發之邊坡滑動或落石等問題擬定對策，採用合適之輔助工法以輔助開挖作業。

洞口段之地盤覆蓋較薄，且常年受風化與侵蝕作用影響，故支撐設計時須考量地盤承载力不足之問題，而地形不對稱所引發之偏壓問題亦不能忽視。針對上述問題，可採用剛性較高之支撐構件或鋼筋混凝土襯砌以支持上方地盤荷重，必要時可施作仰拱以閉合斷面，控制隧道變形。

- (2) 隧道洞口之開挖勢必影響邊坡，若無適當保護措施，可能會引起邊坡穩定問題，故應於洞口施工前，針對洞外坡面施作穩定

措施，待邊坡安全無虞後再進行洞口開挖，此時亦須於洞內施作合適之輔助工法以控制隧道變形，避免岩體鬆弛範圍擴大，危及邊坡穩定。此外，洞口須設置足夠之邊坡與隧道監測系統，俾於施工中一旦發生異常，可據以擬定對策。

C6.4 洞門段

- (1) 隧道洞門宜配合當地景觀，並考量造型視覺效果，儘量減少洞門壁面，此除可減輕壓迫感，亦可降低輝度，獲得較好之視覺感。
- (2) 隧道洞門除功能因素考量外，亦需滿足營運管理需求。例如設置適當之排水設施以防止坡面逕流流入隧道內，並得視需要設置防落石設施以防止落石掉落公路上，亦須考慮駕駛者之視覺效應，在視野較開闊之地形中採用壁面較少之洞門，壁面亦宜儘量選用反射率較低之裝飾材料，以降低反射光，避免駕駛者眼睛適應不良。
- (3) 隧道洞門結構係為防止洞口段發生邊坡滑動、落石及滲水等現象，故其本身結構應具有力學上之安定性，不容有坍塌及下陷等現象。隧道洞門應配合不同之型式，考慮相關之靜載重、土壓力、超載荷重、地震力、落石載重、車輛載重、水壓力、溫度變化及混凝土收縮之影響等。

C6.5 洞外銜接

隧道洞口與橋樑、路堤或擋土結構等銜接時，宜評估銜接結構物與隧道間相對位移與沉陷之影響，即依據地形與地質條件，並配合銜接結構物型式、形狀、施工方法及隧道洞門型式等，檢討銜接結構物

與隧道間之相互影響程度。必要時可考慮銜接結構物與隧道共構之可能性。

第七章 特殊考量

C7.1 地質特殊之處理

當隧道沿線地質特殊，無法以一般開挖支撐方式施工時，應針對其特有之地盤特性及施工條件，參考過去之施工經驗，並依據專業技術上之判斷，設計適當之處理對策；由於地盤特性之不確定因素較多，不易於事前充分掌握，因此處理對策應具適當施工彈性，容許現場依據實際狀況進行調整。茲說明各種特殊狀況所需考量之因素如下：

(a) 淺覆蓋

隧道覆蓋深度不足，易導致隧道周圍地盤之自立性不佳，設計時應考量開挖面穩定性、地表沉陷及對鄰近構造物之影響等問題，必要時可採用適當之輔助工法，並加強監測；淺覆蓋隧道宜視地質特性，於必要時檢討地震之影響。

(b) 破碎地質

所謂破碎地質一般係指斷層破碎帶與褶皺擾動帶，其一般夾有斷層泥或混雜土、砂與石塊，宜先改善地盤自立性，並檢討地下湧水之可能性；若有湧水可能，應先依照 (i) 之對策處理後，再進行開挖。

(c) 擠壓

凡隧道開挖後發生顯著變形，致內空縮小並使支撐荷重持續增加之現象，可視為擠壓。針對可能發生擠壓之區段，應辦

理適切之調查與量測，以掌握擠壓特性並推測範圍，進而檢討適當之處理對策；開挖時應避免造成應力干擾，減少地盤進一步破壞，致使內縮變形與支撐荷重增大；其支撐系統應視變形與地盤荷重之大小而選用適當類型，並宜儘早施作，必要時儘早完成閉合。

(d) 卵礫石

卵礫石隧道可依卵礫石之組成特性進行分類（參考附表 C4.2），並據此進行設計；設計重點在於隧道開挖面穩定及地下水處理，所選用之開挖方式應避免造成地盤鬆動。

(e) 高地熱與溫泉

行經高地熱與溫泉區之隧道設計，宜考量地熱對隧道功能、開挖及襯砌之影響。開挖方面可採用下列處理對策：

- 採用機械開挖；若採鑽炸法開挖，宜採用耐熱炸藥及耐熱雷管
- 施作導排熱水或灌漿止水措施
- 充分之通風降溫措施，其通風斷面必須足夠

隧道襯砌方面，可考慮採用特殊水泥及混凝土配比，並施作隔熱材料。

(f) 缺氧及有害氣體

缺氧：地層中含有鐵質等礦物成份時，浸潤在地下水中呈穩定狀態，一旦隧道開挖，地下水排出後，該等岩盤暴露於空氣中有吸收氧氣使還原呈三氧化二鐵（ Fe_2O_3 ）之狀況。如於瞬間發生，如挖到地下水庖（water pocket），地下水快速流出後，應慎防發生此一狀況。

有害氣體：分為毒性，如一氧化碳與硫化氫等，及可燃氣體，如甲烷，有引致人員中毒或發火爆炸之慮。

隧道穿過可能出現缺氧或有害氣體之區域時，宜於地質調查時先予研判其種類及成分，並推估其湧出型態、湧出量及範圍，據此擬定適當之處理對策。處理方式可考慮下列原則：

- 充分之通風
- 採用防爆型施工設備與機具
- 設置氣體偵測設備以測定氧氣濃度、有害氣體類別及濃度，並應設警告設施
- 必須在缺氧及有害氣體環境下施工之作業人員應配備氧氣面罩等防護設施
- 施作前進排氣鑽孔以導除有害氣體
- 儘早完成襯砌施工

(g) 礦脈與礦坑

隧道路線如遭遇礦脈與礦坑且無法避免時，設計前宜充分瞭解其分佈、特性及其對隧道之影響，並研擬處理對策。若可能危及隧道安全時，宜考慮採用灌漿固結、封面處理、打設岩栓或回填空洞等方式加以處理，初期支撐亦應適時調整並補強；如遇有害氣體，則須依照 (f) 之對策處理。

(h) 岩爆

高覆蓋隧道之規劃設計，宜根據地質調查結果評估岩爆發生之可能性，以資因應。具較高岩爆潛能之隧道，可考慮採下列處理對策：

- 釋放隧道周圍地盤應力
- 加強支撐

(i) 地下湧水

規劃設計時，應依據沿線地下水之調查結果，推估隧道可能湧水區段，研擬妥適之處理對策，其應以維持開挖面自立性、減少施工障礙與維護施工安全為目的；若無須顧慮地下水枯竭與地盤沉陷時，宜以降壓排水為優先，堵水為輔，必要時可輔以壓氣工法。

(j) 偏壓

隧道兩側地形若不對稱時，應檢討隧道受偏壓而造成破壞之可能性。針對可能發生偏壓之隧道，基本上可考慮以下二種處理對策：

- 消除偏壓產生機制
- 採用抑制偏壓之措施

C7.2 鄰近隧道

(1) 兩隧道若過於鄰近，可能互相影響而危及彼此安全，甚至崩壞，故相鄰隧道須保持適當之間距，惟其應有間距視地質條件及其它相關條件而定。原則上，鄰近隧道可根據周圍地盤特性，考慮採下列對策因應：

- 儘可能加大隧道間距
- 加強支撐
- 加強監測
- 既有隧道之補強

(2) 針對先行施工隧道，其周圍應力分佈可能受後續隧道施工影響而有所改變，初期支撐及襯砌荷重亦有加重可能，致影響安

全。此時須針對先行施工之隧道進行安全監測，並研擬合適之補強對策。

C7.3 交叉段

- (1) 交叉段為兩隧道開挖相交區段，如避難所、聯絡隧道與機電設施裝設場所等處，其因開挖斷面增大而減弱圍束作用，並可能有應力集中現象，致影響隧道行為，故設置時宜儘可能避開地質不良區段，並以垂直交叉為宜。
- (2) 交叉段宜針對三維應力之影響作必要之對策，例如斷面形狀可考量採用能減少應力集中者等；並適當補強支撐系統，例如將交叉段鄰近區域之岩栓長度加長、噴凝土厚度增厚及採用較大尺寸之鋼支保等措施，必要時可施作預力鋼腱；此外，交叉段之監測亦須加強。

第八章 排水與防水設施

C8.1 一般說明

(1) 若地下水位高於隧道，則地下水將因與隧道間存在之水頭，而有入滲隧道之趨勢，此時須視隧道周圍環境、隧道功能需求、地下水質與水溫等實際狀況，決定是否允許地下水滲入，進而設計不同之排水與防水設施。

(2) 若允許地下水滲入隧道時，隧道內宜設置適當之進水管道及排水通路，以利地下水排放；此外，宜配合適當之防水措施，拘限地下水從預設管道進入隧道，並沿預設水路排放。

(3) 凡地下水位對周遭環境之影響較具敏感性時，隧道可採防水設計，將地下水隔絕於襯砌之外，並考慮地下水壓之影響。

C8.2 排水設施

(1) 隧道所需排放之水，一為滲入隧道之地下水，一為路面清洗與車輛排放之路面水。

(2) 入滲水係沿初期支撐與防水膜間之透水材料匯集，此時若採獨立排放系統，則可於隧道兩側設置透水管，並於固定間隔設置橫向排水管，俾將所匯集之入滲水引入隧道排水系統，不致滯留於襯砌背面。入滲水量較大處，宜增設橫向排水管。

(3) 車道側方須佈設收集隧道內清洗與車輛排放等路面水之排水管

(溝)，並可於適當距離設置虹吸式清潔手孔或人孔，避免邊溝成為火苗傳遞途徑。此外，可視需要設置油水分離設施，將收集所得之路面水進行處理後再予排放。

C8.3 防水設施

隧道完成後之可能滲水途徑包括襯砌混凝土本身裂隙、蜂巢、接縫、預留孔與凹槽等；為避免入滲水影響隧道襯砌之耐久性及相關設施之功能，應設計合適之防水設施。

防水設計包括提高混凝土本身之水密性、於混凝土內面塗敷及外部包覆等，所採用之防水設施一般有下列不同方式：

- 於襯砌混凝土外側包覆防水膜，其除可防水，更可作為襯砌與噴凝土間之滑離層，有利於減少襯砌收縮裂縫
- 於混凝土接縫處另設止水帶
- 水密性混凝土施作襯砌以減少收縮龜裂及蜂巢
- 於混凝土內面塗敷水泥系材料或其它防水塗料

為達到防水目的，防水設施所採用之材料必須兼顧水密性與耐久性，並須有足夠之強度與韌性以承受可能發生之機械衝擊力與水壓力等外力；此外，須為不易燃材料以確保施工安全。

第九章 監測系統

C9.1 一般說明

隧道設計時須妥善規劃監測系統，包括監測項目、儀器、配置與頻率，俾供施工期間進行隧道周圍地盤與支撐監測工作之用，並可用以評估隧道安全與襯砌施作時機。監測系統應具備適當之施工彈性，容許現場依據實際狀況進行調整；監測系統宜儘早裝設以配合隧道開挖進行監測。

C9.2 監測項目、儀器及配置

- (1) 監測項目須依據隧道規模、沿線地形地質與周圍環境條件等因素加以研選，使監測資料足以掌握隧道周圍地質狀況、支撐構件行為及異常現象，並可藉由隧道安全評估與回饋分析工作，進行必要之設計調整，以維護隧道自身與鄰近結構物之安全。監測項目大致可區分為以下四類：
 - (a) 因應日常施工管理所需，於同一隧道斷面上監測其內空變位與頂拱沉陷。
 - (b) 針對隧道洞口段、淺覆蓋段、地表有結構物、周圍地質條件較差、可能發生擠壓或偏壓等區段，宜監測其地表與地中沉陷、底部隆起及中心線位移。
 - (c) 為有效掌握支撐構件行為，可針對鋼支保應力、岩栓軸力與襯砌應力等項目進行監測。
 - (d) 若隧道洞口邊坡附近之地形與地質條件較差、地質構造複

雜或地下水較為豐沛時，為確切掌握邊坡開挖及護坡設施之安全性，宜針對邊坡之位移、地下水位或水壓等項目進行監測。

(2) 監測儀器須依據監測項目加以選定，其性能、精度及測讀範圍應符合各項監測目的，並依據下列原則進行配置：

(a) 一般岩盤隧道之內空變位、頂拱沉陷、地表與地中沉陷等監測項目其儀器配置間隔如下；至於洞口、地質特殊、鄰近隧道與交叉段等特殊區段，可視需要調整之。

<u>覆蓋深度 (h) 與隧道開挖跨度 (D) 關係</u>	<u>測點間隔</u>
$h \geq 2D$	<100公尺
$h < 2D$	< 20 公尺

(b) 隧道底部隆起及中心線位移之監測點，主要配置於有擠壓或偏壓狀況之地盤，其間隔宜視擠壓及偏壓程度訂定。

(c) 地中變位、岩栓軸力及襯砌應力等監測項目，一般配置間隔建議採 200~500 公尺，惟仍須按隧道規模或地質條件妥適研訂之，且以佈置於代表性地質區間之初始施工段為原則。為安全管理需要，發生特殊問題或異常現象處，宜額外裝設。

C9.3 監測頻率

監測頻率須視監測值對地質條件與施工條件等之時效敏感度，於監測系統設計之同時預為訂定，並得於隧道施工時，視隧道開挖面、周圍地盤與支撐系統等實際行為，以及監測分析結果，適度調整監測頻率。

參考文獻

1. 中國土木水利工程學會，*隧道工程設計準則與解說*，1999。
2. 中華民國隧道協會，*山岳隧道工程設計與實例手冊*，1999。
3. 中華民國隧道協會，*隧道工程用語辭彙*，2000。
4. 行政院公共工程委員會，*台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立（第三期九十二年度）—附冊二：山岳隧道工程技術準則及解說（草案）*，2003。
5. 交通部台灣區國道新建工程局，*國道東部公路蘇澳花蓮段工程設計準則（暫行版）*，2002。
6. 交通部台灣區國道新建工程局，*隧道二次襯砌功能、設計理念與混凝土設計規範之研究與建議對策*，2000。
7. 財團法人中興工程科技研究發展基金會，*日本隧道工程標準規範及解說（山岳工法篇）*，2001。
8. 財團法人中興工程科技研究發展基金會，*山岳隧道之輔助工法*，2001。
9. 榮工處，*隧道工程(上)(下)*，1988。
10. 榮工處，*隧道工程之理論與實務*，1995。
11. 國立台灣科技大學，*隧道工程實務*，1998。
12. 汪燮之，*實用隧道工程學*，國立編譯館，1984。
13. 日本土木學會，*地質調查 岩盤計測*，1988。
14. 日本土木學會，*調查・計測 評價 利用*，

- 1988。
12. 日本土木學會，*NATM 工法 調査・設計 施工*，1986。
 13. The British Tunnelling Society and the Institution of Civil Engineers, *Model Specification for Tunnelling*, 1997.
 14. Geotechnical Engineering Office of Hong Kong Government, *Guide to Cavern Engineering. (Geoguide 4)*, 1992.
 15. Bieniawski, Z.T., *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, 1984.
 16. Brady, B.H.G. and Brown, E.T., *Rock Mechanics for Underground Mining*, 2nd ed., Chapman & Hall, London, 1993.
 17. Franklin, J.A. and Dusseault, M.B., *Rock Engineering*, McGraw-Hill Publishing Company, Toronto, 1989.
 18. Hoek, E. and Brown, E.T., *Underground Excavations in Rock*, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1982.
 19. Megaw, T.M. and Bartlett, J.V., *Tunnels : Planning, Design, Construction*, Ellis Howood Ltd., Vol. 1 & 2, 1982.
 20. O'Rourke, T.D., *Guidelines for Tunnel Lining Design.*, ASCE, New York, 1984.
 21. Terzaghi, K., *Rock Defects and Loads on Tunnel Supports, Rock Tunnelling with Steel Supports*, Commercial Shearing and Stamping Co., Youngstown, 1946.
 22. Whittaker, B.N. and Frith, R.C., *Tunnelling : Design, Stability and Construction*, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1991.

附 錄

附表 C4.1 A、B 岩類之岩體分級標準表

岩體級別	A 岩類 RMR 值範圍	B 岩類 RMR 值範圍	岩體級別
A_I	RMR ≥ 81	----	----
A_{II}	RMR80~61	RMR ≥ 81	B_{II}
A_{III}	RMR60~41	RMR80~61	B_{III}
A_{IV}	RMR40~21	RMR60~41	B_{IV}
A_V	RMR20~11	RMR40~21	B_V
A_{VI}	RMR ≤ 10	RMR ≤ 20	B_{VI}

- 附註：1. A 岩類大致可對應於 ISRM 地質材料強度分級中，強度高於或等於中強岩之地質材料，岩質堅脆，易因大地應力影響而產生發達節理；岩體破壞機制屬受節理、劈理等弱面控制之構造破壞。包括台灣地區所有的變質岩類及亞變質岩類，火成岩類中除火山角礫岩的岩層，沈積岩類中岩化程度高、具高強度者。
2. B 岩類大致可對應於 ISRM 地質材料強度分級中相當於弱岩之地質材料。岩質不如 A 岩類般堅脆，在大地應力作用下並不容易發生發達節理，且因膠結較差，會因含水量提高而產生不容忽視之強度降低現象。岩體破壞機制包含構造破壞以及材料破壞。本岩類泛指沈積岩中之較軟弱已固結岩層，多位處西部麓山帶西緣丘陵區。

附表 C4.2 C、D 岩類之岩體分級標準表

岩體級別		分級標準	
		膠結程度	地質材料組成
C 岩類	C _{I(C)}	膠結程度良好或尚可 (大拇指無法壓出凹痕)	沉泥、黏土含量>50%
	C _{I(MIX)}		砂、沉泥、黏土、礫石交雜 個別含量均未超過 50%
	C _{I(S)}		砂含量>50%
	C _{II(C)}	膠結程度不佳或疏鬆 (大拇指可壓出凹痕)	沉泥、黏土含量>50%
	C _{II(MIX)}		砂、沉泥、黏土、礫石交雜 個別含量均未超過 50%
	C _{II(S)}		砂含量>50%
D 岩類	D _{I(G)}	膠結程度極佳 (需以地質錘用力敲 方能將塊石或礫石敲落)	塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量>75%或相互接觸
	D _{I(M)}		塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量 50% ~ 75%或相互不接觸
	D _{II(G)}	膠結程度良好或尚可 (需以地質錘方能將 塊石或礫石敲落)	塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量>75%或相互接觸
	D _{II(M)}		塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量 50% ~ 75%或相互不接觸
	D _{III(G)}	膠結程度不佳或疏鬆 (以手即可將塊石或礫石剝落)	塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量>75%或相互接觸
	D _{III(M)}		塊石、粗顆粒(大於 4 號篩)之 含量 50% ~ 75%或相互不接觸

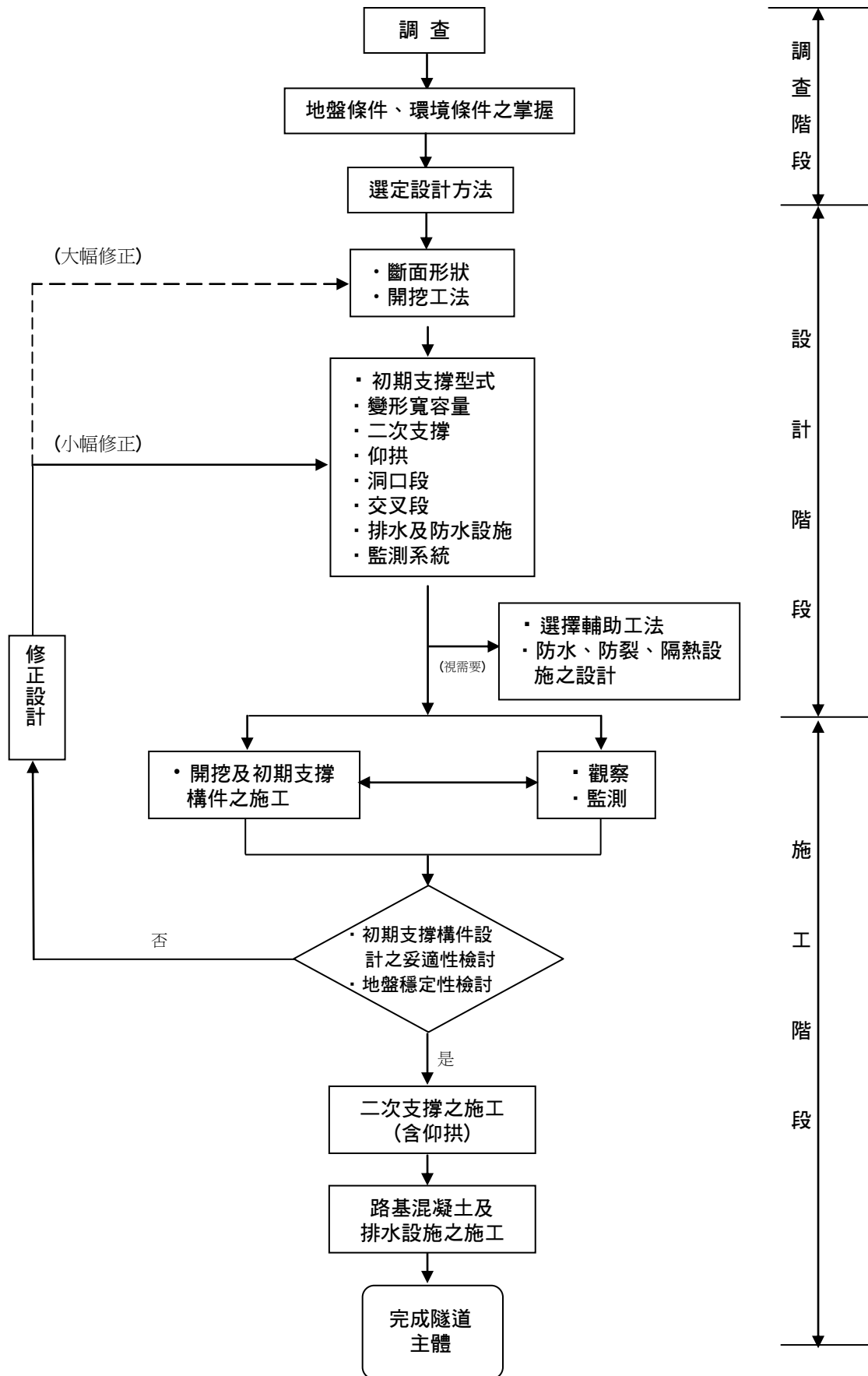
- 附註：1. C 岩類涵蓋所有大致可對應於 ISRM 地質材料強度分級中，強度小於或等於甚弱岩之地質材料；此外，亦涵蓋所有塊石或粗顆粒(粒徑大於 4 號篩大小)含量少於 50%，力學行為受控於細粒料之地質材料。膠結程度遠低於 A 岩類及 B 岩類，遇水軟化現象極明顯，岩體少有明顯的地質弱面，破壞機制以材料破壞為主。岩盤強度的決定因素主要為組成材料性質、膠結程度與含水量高低。包括中南部西部麓山帶晚上新世至更新世，東部海岸山脈帶膠結不佳之沉積岩或混同層。
2. D 岩類係泛指以塊石或粗顆粒為主(含量超過 50%)，夾有細粒料之複合地質材料，包含一般所謂之礫石層岩體、火山角礫岩、火山集塊岩等等。單壓強度變異範圍相當大，且因而影響弱面產生的多寡；此外，含水量高低對於整個岩體強度所造成的影響程度大小，亦係視個案而異。塊石或粗顆粒含量小於 75%時，岩體破壞行為主要受控於細粒料膠結程度；塊石或粗顆粒含量大於 75%時，岩體破壞行為則由粗顆粒主控。
3. 鑑於含水之多寡對 C、D 兩岩類之工程施工影響甚鉅，故本 C、D 岩類岩體分級標準表需在地下水已預先排除至可施工之前提下使用。
4. C、D 岩類隧道可能遭遇砂層與礫石層混合斷面，其中砂層出露位置影響開挖面穩定性甚鉅，需選用適當之輔助工法加以克服。

附表 C4.3 隧道深度大於 $1.5(B+H_t)$ 情形支撐上方岩盤荷重 H_p
(以開挖寬度 B 與高度 H_t^1 表示)

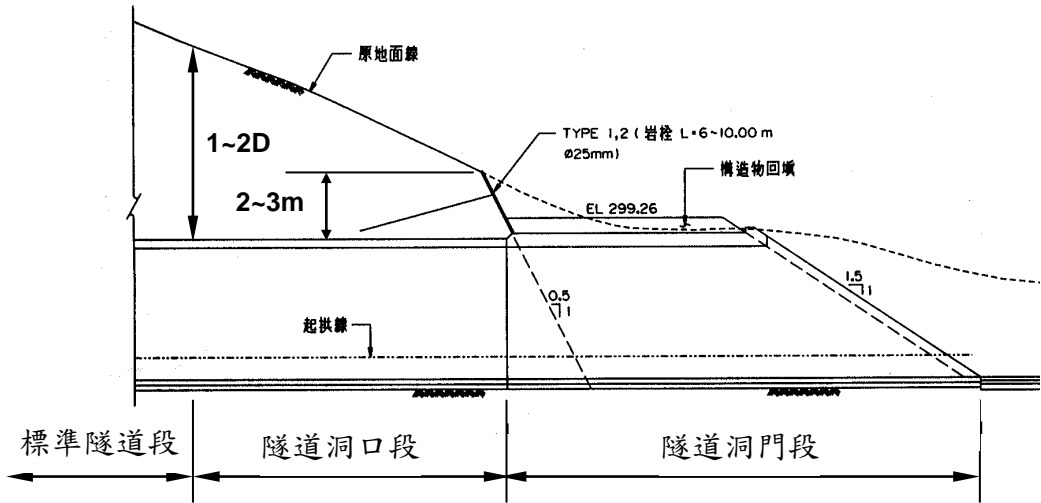
岩盤狀況	岩盤載重 H_p (呎)	附註
1.硬與完整	0	如發生剝落或爆脫，僅需輕度襯砌
2.硬層狀或片狀 ²	0 至 0.5B	輕度支撐，主要為防護剝落
3.渾厚、中度節理	0 至 0.25B	不同位置之荷重可能急遽變化
4.中度塊狀與夾薄層	0.25 B 至 0.35(B+H _t)	無側壓
5.高度塊狀與夾薄層	(0.35 至 1.10)(B+H _t)	少許或無側壓
6.完全破碎但化學性質未變	1.10(B+H _t)	有相當之側壓，滲水對隧道底部之軟化作用導致鋼支撐下部需要連續支撐或採用圓形支撐
7.擠壓岩盤，中度深度	(1.10 至 2.10)(B+H _t)	高度側壓，需要仰拱支撐。建議採圓形支撐
8.擠壓岩盤、大深度	(2.10 至 4.50)(B+H _t)	
9.膨脹岩盤	至 76m 與(B+H _t)值無關	需要圓形支撐、極端情形使用可縮短之支撐

註：1.隧道拱頂在地下水位以下之荷重。如拱頂永遠在地下水位以上，則岩盤狀況 4 至 6 所給之數字可減少 50%。

2.部份常見之岩層常夾有頁岩。未風化之真頁岩不比其他層狀岩層差，惟「頁岩」一詞常指不具岩石性質之夯實緊密之粘土沉積物，此類所謂「頁岩」在隧道內行為有如擠壓甚或膨脹岩層。如岩層中含一系列之水平層狀砂岩或石灰岩與未成岩頁岩，則隧道開挖常使兩側岩層逐漸受壓而使拱頂下陷。再者，由於所謂之「頁岩」與岩層界面上抗滑阻力較低，有大量減少拱部岩層架橋能力之趨勢，因此在此種岩層中，拱頂壓力或許與高度塊狀及夾薄層之岩盤相同。



附圖 C3.1 隧道設計流程



附圖 C6.1 洞口段與洞門段範圍示意圖

GPN : 1009203288

工本費：200 元