

地工技術

岩體分類RMR與Q法之延伸

張晉任 侯秉秋 李民政 李怡德 張博翔

地工工程顧問公司

摘要

山岳隧道之力學機制相當複雜，隧道支撐設計常以經驗設計法為主，力學分析法為輔。而岩體分類法提供一個簡單快速之評估方法，可將眾多影響隧道穩定性因子納入考量，進而輔助隧道支撐設計，為隧道工程中不可或缺之工具。台灣地區自從1970年代開始大量採用新奧工法以來，多採用南非RMR系統與挪威Q系統進行岩體分類，在累積了幾十年的經驗後，有必要對前述岩體分類的適用性加以重新檢討，並建立適用於本地區的岩體分類系統。

本文就現行岩體分類系統使用情形加以探討，包括岩盤隧道工程與固結不良地盤隧道工程之應用現況，進而依據地質材料特性，參考地質年代、對水的敏感性以及相關強度特性，將台灣全區之地層劃分為A、B、C、D四種岩類（rock type），並據此建立各岩盤類別之岩體分級標準（rock mass classification），作為台灣地區制定隧道支撐系統之依據。

關鍵字：岩體分類、隧道工程。

EXTENSION OF RMR AND Q-SYSTEM IN TAIWAN

CHANG C. T. HOU P. C. LEE M. C. LEE Y. T. CHANG P. H.

SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD., TAIPEI R.O.C.

ABSTRACT

The mechanism of mountainous tunnels is quite complicated. At present, empirical methods are basically used in tunnelling design and analytical or numerical methods are adopted as a supplementation. While using empirical methods, rock mass classification is a vital tool because it embraces many factors that affect the stability of a tunnel. It also provides a simple and useful design means of tunnel supports. Since 1970's, New Austrian Tunnelling Method (NATM) has been widely used in Taiwan. Moreover, Q-system of Barton et al. and RMR-system of Bieniawski are commonly used to classify the rock mass. However, local geologic characteristics have never been taken into considerations in these systems. It is necessary to review the suitability of these systems and extend them on the basis of the domestic experience accumulated in last several decades.

This paper begins at discussing the applicability of existent rock mass classifications in Taiwan, including the applicability in rock tunnels and unconsolidated weak ground tunnels. Moreover, this paper develops a new classification system, which classifies rock formations in Taiwan into four types: A, B, C and D. The above system is on the basis of local geologic material properties, geologic age, sensitivity to water and relevant strength characteristics. It also formulates the criteria, which are regarded as the bases of designing tunnel-support systems, for rating various rock types in Taiwan

KEY WORDS : rock mass classification, tunnel engineering.

地工技術

一、前言

南非 RMR 系統與挪威 Q 系統為現今台灣隧道工程最常用之岩體分類系統，已由國外引入多年，且已大量應用在台灣隧道工程中，但如以應用之實績而言，仍有許多未盡理想之處。究其原因，主要是因為台灣地質年較輕，且板塊衝撞帶，無論就岩石種類及強度、隧道覆蓋深度及挖掘跨度、或地下水等方面均迥異於目前應用之岩體分類系統起源地區。此外，西部麓山帶卵礫石層及砂泥岩等地層，更超出目前岩體分類系統之適用範圍，故實有必要建立適用於台灣本土之岩體分類系統。

本資料係引自公共工程委員會「台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立」計畫（張吉伍等人，2000~2003），該計畫主要研發成果之一即在延伸 RMR 與 Q 法之岩體分類系統，並考量台灣地區年較多變之地質，建置適用於台灣地區之「台灣岩體分類與隧道支撐系統（Public Construction Commission Rock Mass Classification System，以下簡稱 PCCR-System）」。

此計畫由中興工程顧問公司負責辦理，協辦單位包括中華顧問工程司、聯合大地工程顧問公司、亞新工程顧問公司及其他學術單位。

二、現行岩體分類系統使用情形

綜觀世界各主要之岩體分類系統，最早可回溯至 1940 年代中期，即由 Terzaghi 所提出之岩盤荷重分類法（rock load method），至於台灣開始進行岩體分類並據以進行隧道支撐設計，則是在 1950 年代後期以後，主要係沿用上述岩盤荷重分類法，以定性方式將隧道周圍岩體分為九個不同荷重等級，並據此進行所謂之剛性支撐系統設計，設計時採用的是傳統的結構力學分析模式，屬於半經驗法。一般而言，岩盤荷重分類法較適用於淺覆蓋區域。隨時代演進，台灣隧道工程於 1970 年代後期引進新奧工法之施工觀念，此一方式現已成為台灣地區隧道工程之主流。

台灣地區山岳隧道工程所採用之岩體分類

系統可大致區分為定性與定量分類兩種，其中定性分類以 Terzaghi 之岩盤荷重分類法與奧地利習用之岩體分類法較為普及，定量分類則以南非 RMR 系統與挪威 Q 系統屬之。惟隨著技術演進與經驗累積及各案例之個別差異，現今台灣所採用之岩體分類標準或岩體級別已有別於原始系統。舉第 III 類岩體所對應之 RMR 值為例，北部第二高速公路本棚隧道為 56~65 分，新武界引水隧道則為 44~56 分，並非原始 RMR 系統所建議之 41~60 分；此外，北二高隧道群所採用之岩體類別亦已由原先之 III 類增加至 VI 類（第 I 類~第 VI 類）。

此外，隨著台灣地區經濟之蓬勃發展，於西部麓山帶進行隧道工程建設案例亦隨著增加，如南部第二高速公路之蘭潭隧道與中寮隧道、東西向快速道路漢寶草屯段之八卦山隧道、高速鐵路工程等重大隧道工程建設皆通過此區，其地質狀況以卵礫石層及砂泥岩等地層為主。此類地層因成岩作用尚未完成或因地質材料組成之因素，普遍具有 (a) 地盤完整且少有節理發育、(b) 地盤強度偏低、以及 (c) 遇水易弱化等特性，因此較不適合採用偏重於岩體構造弱面之 RMR 系統與 Q 系統等方法進行分類。目前台灣地區針對此類地層，多採定性岩體分類系統予以分類，其執行狀況一般而言尚稱良好。惟各案例遭遇地質材料特性互異，彼此間無法互相援用。

三、PCCR-SYSTEM 之建立

3.1 基本架構擬定之考量因素與應用限制

綜覽台灣現行岩體分類系統之使用情形，茲將所擬訂之 PCCR-System 其基本架構與理由，及未來應用與限制分述如下：

(a) 目前台灣岩盤隧道工程普遍採用南非 RMR 系統與挪威 Q 系統等定量分類法，卵礫石層及砂泥岩等地層則採用定性分類法。PCCR-System 之基本架構亦比照此一模式建構。此外，由於岩體因素影響程度係隨個案特性而異，故不列為岩體分類評估因子，於支撐建議時再視需要作適當考慮。

(b) 定量分類法方面, 經比較南非 RMR 系統與挪威 Q 系統之異同, 基於 RMR 系統之評分及計算較簡易, 且當不同人員對同一岩體進行評分時, 一般以採用 RMR 系統評分之結果差異性較小。故 PCCR-System 係以 RMR 系統之定量分類法為基, 並輔以 Q 系統。

(c) 定量或定性分類法之選用, 係依據隧道工程將面對之地質材料特性而訂定。故首先依據地質材料特性, 參考地質年代以及相關強度參數之異同, 將台灣全區之地質材料劃分為不同岩類 (rock type), 藉以區隔適用定量分類者與適用定性分類者。而各種岩類之岩體品質, 則藉由定量或定性之岩體分級標準 (rock mass classification) 進行良窳分類, 並標示為不同岩體級別 (rock mass class)。

(d) 上述岩類劃分及後續岩體良窳分級係皆基於地質因素考量, 可供台灣地區未來公路、鐵路以及水利等隧道工程應用。另各工程可基於上述獲知之隧道沿線岩體良窳分級, 進一步考量該工程隧道跨度及岩覆等工程因素之影響, 進行隧道支撐設計。

(e) 由於地質背景特殊, 台灣地區隧道工程於過去廿年, 多次遭遇斷層帶、大量湧水、擠壓、膨脹、高岩爆潛能、高地溫、含有害氣體等特殊地質狀況, 而現行岩體分類系統能否適用於前述狀況常遭受質疑。經評估隧道遭遇此等特殊地質狀況時, 實無法從岩體分類系統著手加以根本解決, 而需研擬相對應之特殊開挖工法與輔助工法。因此, 本文所擬訂之 PCCR-System, 係適用於非屬上述特殊地質狀況之一般岩體, 至於特殊地質狀況之開挖工法與支撐設計則應視個案特性加以特別考量。

3.2 分類系統之建構

3.2.1 岩類劃分原則

依據前節所述之岩體分類法基本架構, 首先將台灣全區之地質材料, 劃分為不同岩類, 藉以將適用於定量分類者及適用於定性分類者加以區別。

一般而言, 在不考慮斷層、褶皺構造及風化因素之前提下, 單一地層均概略具有其可預估

之岩性、強度等工程地質特性; 因此於規劃階段尚缺乏詳細地質調查與試驗資料之狀況下, 隧道沿線所通過之地層類別, 可能是藉由資料蒐集而得之唯一地質資訊。故本系統之岩類劃分係採用地層為基本劃分單位。

本文蒐集台灣地區各重大公共工程案例之岩石力學試驗成果 (目前包含單壓強度試驗資料約 2230 組, 三軸試驗資料約 250 組), 經彙整得到台灣各地層之岩石力學性質概況後, 再進一步參考地質年代、地質材料組成以及岩體弱面發育特性等因素, 將台灣地層劃分為 A、B、C、D 四種岩類。彙整台灣地區各地層之岩類歸屬如表 1, 其分布範圍如圖 1 所示。各岩類之劃分原則如下:

(a) A 岩類: 大致可對應於 ISRM 地質材料強度分級中 (詳表 2) 強度高於或等於中強岩石之地質材料, 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。

(b) 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產生發達之節理, 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且固結岩層, 多位於西部麓山帶西緣丘陵區。

(c) 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, 亦涵蓋所有粗顆粒 (粒徑大於 4 號篩者, 詳表 3) 含量少於 50%, 力學行為受控於細粒料之複合材料地層。C 岩類之膠結程度遠低於 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。包括台灣南部晚上新世至更新世, 東部海岸山脈地質區膠結不良之沉積岩或混同層。

地工技藝

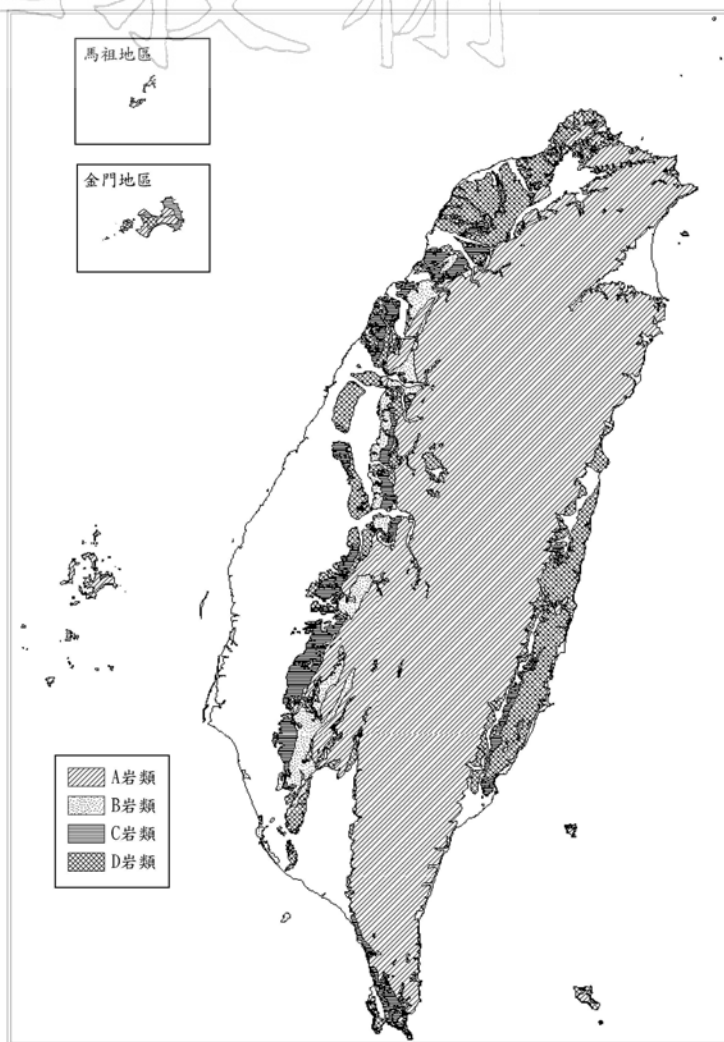
表一 台灣地區岩盤類別建議表

年代	區域				西部麓山帶及平原										雪山山脈	脊梁山脈及恆春平島	海岸山脈	外島地區													
	第四紀	新第三紀	中生代	古生代	北部	南部	六重溪		高嘴		錦水頁岩		卓蘭層						二圖		大埔		桂竹林		錦水頁岩		卓蘭層		六重溪		高嘴
	更新世	上新世	漸新世	白堊紀	晚漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世	漸新世
4	大板岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
5	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
24	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
30	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
36	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
54	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
60	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
248	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩
1350	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩	高砂岩

● A 岩類
 ● B 岩類
 ● C 岩類
 ● D 岩類

註：● 本表各岩類之建議區別則詳表 3-34 及 3-35。
 ● 原表則詳表 3-34 及 3-35。
 ● 原表則詳表 3-34 及 3-35。
 ● 原表則詳表 3-34 及 3-35。

地工技術



圖一 台灣地區A、B、C、D岩類分布示意圖

表二 ISRM地質材料強度分級表(ISRM, 1978)

級別	岩心單壓強度概值 (MPa)	描述性稱呼	地質師鑑定方法
R0	0.25~1	極弱岩石 (soil)	大拇指印僅能壓出凹痕
R1	1~5	甚弱岩石 (very low strength)	可以地質錘細端敲碎，可以小刀切削之
R2	5~25	弱岩 (low strength)	小刀難於切削；地質錘細端敲出淺痕
R3	25~50	中強岩石 (moderate strength)	小刀無法切削；地質錘敲擊一次可裂
R4	50~100	強岩 (medium strength)	地質錘敲擊多次以上始裂
R5	100~250	甚強岩石 (high strength)	地質錘敲擊多次以上始裂
R6	>250	極強岩石 (very high strength)	地質錘猛敲擊僅見小碎片跳出，極難於敲裂

(d)D岩類：係泛指以粗顆粒為主（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、火山角礫岩、火山集塊岩等等。D岩類之單壓強度變異範圍相當大，且因而影響弱面齒距的多寡；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。粗顆粒含量介於50%至75%時，岩體破壞行為主要受控於細粒料膠結程度；粗顆粒含量大於75%時，岩體破壞行為則由粗顆粒主控。

表一 所列各岩類之代表地層不包括全新世以來未固結之沖積及堆積材料。

表三 土壤粒徑與其分類對應表(ASTM D2487, 2000)

ASTM D2487							
	細粒土壤 (粉土或黏土)	細砂	中砂	粗砂	礫石 (Gravel)	卵石 (Cobbles)	巨石 (Boulders)
粒徑 (mm)	0.074	0.42	2	4.75	75	300	
標準篩 號碼	200#	40#	10#	4#			

3.2.2 岩體分級標準 (Rock mass classification standard)

經認定屬於A、B岩類之岩體，建議採用RMR系統之定量評級標準辦理定量評分，再依據評分結果辦理岩體分級（詳表四）。屬於C、D岩類之岩體，建議依據地質材料組成、粗細粒比例、膠結良窳程度等特性組成之定性評級標準辦理岩體分級（詳表五）。

3.3 隧道支撐建議與現地驗證

本文蒐集台灣地區公路、鐵路與水利等120個隧道工程案例資料(張吉伍等人, 2000~2001), 並透過案例推理、類神經網路以及案例比對等方法進行案例分析(張吉伍等人, 2001), 針對A、B、C、D岩類研擬隧道支撐建議(張吉伍等人, 2001~2002)。其中A、B岩類之隧道支撐建議如表六所示, 而C、D岩類之隧道支撐建議則如表七與表八所示。

上述岩體分級標準與隧道支撐建議之適用性, 藉由台灣現正施工或前完工之隧道監測資料加以驗證通過, 涵蓋A、B、C、D岩類等共866組隧道計測斷面資料。(其中包括A岩類620組、B岩類9組、C岩類55組及D岩類182組斷面)(張吉伍等人, 2002)。

四、結論

PCCR-System係依據台灣過去廿餘年所累積之隧道設計與施工經驗, 並考慮本地之地質年代、地質構造、岩體強度、地下水對岩體之影響、岩層組成材料等因素加以建立, 其間除針對各種地質狀況提出對應之岩體分類外, 並進一步研擬隧道支撐建議。本系統可供未來隧道工程於現設階段, 依沿線通過地層迅速判定為A、B、C

或D岩類, 進而選用合適之岩體分級標準來辦理岩體分級, 並據此設計隧道支撐。換言之, 本岩體分類系統應可作為岩體特性之評估及隧道支撐設計之依據。

表四 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}	RMR 80 ~ 61	RMR ≥ 81	B _{II}
A _{III}	RMR 60 ~ 41	RMR 80 ~ 61	B _{III}
A _{IV}	RMR 40 ~ 21	RMR 60 ~ 41	B _{IV}
A _V	RMR 20 ~ 11	RMR 40 ~ 21	B _V
A _{VI}	RMR ≤ 10	RMR ≤ 20	B _{VI}

表五 C、D岩類之岩體分級標準表

岩體級別	分類標準			
	膠結程度	地質材料組成		
C 岩類	C _I (G)	膠結程度良好或尚可 (大拇指無法壓出凹痕)	粉土、黏土含量 > 50%	
	C _I (MX)		砂、粉土、黏土、礫石交雜個別含量均未超過50%	
	C _I (S)		砂含量 > 50%	
	C _{II} (G)	膠結程度不良或疏鬆 (大指指可壓出凹痕)	粉土、黏土含量 > 50%	
			C _{II} (MX)	砂、粉土、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 (需用地質鎚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	
			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 (需用地質鎚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	
			塊石、粗顆粒(大於4號篩)之含量 50% ~ 75% 或相互不接觸	
	D _{III} (G)	膠結程度不良或疏鬆 (小指即可將塊石或礫石敲落)	塊石、粗顆粒(大於4號篩)之含量 > 75% 或相互接觸	
			塊石、粗顆粒(大於4號篩)之含量 50% ~ 75% 或相互不接觸	

附註：1. 鑑於含水量之多少對C、D兩岩類之工程施工影響甚鉅, 故本C、D岩類岩體分級標準須需由地下水預先排除至可施工之前提下方能使用。

2. 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。

地工技術

表六 台灣地區A、B岩類隧道標準支撐建議表

(16m ≥ 隧道跨距 ≥ 10m, 最大覆蓋 ≤ 400m)

A岩類	B岩類	岩體級別		開挖工法	噴凝土厚度 (cm)	鋼支撐		岩柱		
						尺寸	間距(m)	長度(m)	縱距(m)	橫距(m)
RMR ≥ 81		I	優級	台階工法	5 ~ 10	-	-	4	-	-
RMR 80~61	RMR ≥ 81	II	良級					(視需要)		
RMR 60~41	RMR 80~61	III	普級	台階工法	15	H100x100 (視需要)	-	4~6	1.5~2.0	1.5~2.0
RMR 40~21	RMR 60~41	IV	劣級	台階工法	15~20	H125x125	1.2~1.5	4~6	1.2~1.5	1.5~2.0
RMR 20~11	RMR 40~21	V	甚劣	台階工法或側導坑工法	25	H125x125	1.0~1.5	6~9	1.0~1.5	1.5~2.0
RMR ≤ 10	RMR ≤ 20	VI	極劣	台階工法或側導坑工法	25	≥ H150x150	0.8~1.2	6~9	0.8~1.2	1.0~1.5

(隧道跨距 ≤ 10m, 最大覆蓋 ≤ 400m)

A岩類	B岩類	岩體級別		開挖工法	噴凝土厚度 (cm)	鋼支撐		岩柱		
						尺寸	間距(m)	長度(m)	縱距(m)	橫距(m)
RMR ≥ 81		I	優級	全斷面開挖或台階工法	5	-	-	4	-	-
RMR 80~61	RMR ≥ 81	II	良級					(視需要)		
RMR 60~41	RMR 80~61	III	普級	全斷面開挖或台階工法	10	H100x100 (視需要)	-	4	1.5~2.0	1.5~2.0
RMR 40~21	RMR 60~41	IV	劣級	台階工法	15	H125x125	1.5~2.0	4~6	1.5~2.0	1.5~2.0
RMR 20~11	RMR 40~21	V	甚劣	台階工法	20~25	≥ H150x150	1.0~1.5	4~6	1.0~1.5	1.2~2.0
RMR ≤ 10	RMR ≤ 20	VI	極劣							

附註：表中噴凝土及鋼支撐，均得依個案評估結果，視需要以鋼纖維噴凝土或桁架鋼支撐替代。

表七 C岩類隧道標準支撐建議表 (最大覆蓋≤100m)

16m ≥ 隧道跨距 ≥ 10m

岩體級別	支撐型式		開挖工法	噴凝土厚度 (cm)	鋼支撐		岩柱		
					尺寸	間距(m)	長度(m)	縱距(m)	橫距(m)
C _{I(e)}	I	先撐保護工(視需要) 鋼支撐某腳保護工、 先撐保護工(視需要)	台階工法	20~25	H125x125	1.0~1.5	4~9	1.0~1.5	1.0
C _{I(mix)}									
C _{I(s)}									
C _{II(e)}	II	鋼支撐某腳保護工、 先撐保護工	台階工法或側導坑工法	25~30	≥ H150x150	0.8~1.2	視需要 (見附註)	-	-
C _{II(mix)}									
C _{II(s)}									

隧道跨距 < 10m

岩體級別	支撐型式		開挖工法	噴凝土厚度 (cm)	鋼支撐		岩柱		
					尺寸	間距(m)	長度(m)	縱距(m)	橫距(m)
C _{I(e)}	I	-	台階工法或全斷面工法	15	H100x100 或 H125x125	1.0~1.5	4~6	1.2~1.5	1.2~1.5
C _{I(mix)}									
C _{I(s)}									
C _{II(e)}	II	鋼支撐某腳保護工、 先撐保護工(視需要)	台階工法或全斷面工法	15~20	H150x150	0.8~1.2	視需要 (見附註)	-	-
C _{II(mix)}									
C _{II(s)}									

附註：表中噴凝土及鋼支撐，均得依個案評估結果，視需要以鋼纖維噴凝土或桁架鋼支撐替代；岩柱則建議選用傘狀支撐式成效較佳。當此類岩盤中，岩柱具有內應力功效、拱的形成功效及地盤改良功效，可對隧道穩定提供相當之貢獻。

表八 D岩類隧道標準支撐建議表 (隧道跨距≤12m)

岩體級別	最大覆蓋≤100m		100m<最大覆蓋≤290m		支撐類型	開挖工法	噴凝土厚度 (cm)	鋼支撐		岩柱		
								尺寸	間距(m)	長度(m)	縱距(m)	橫距(m)
DI(G)	I				I	短台階工法	15	H100x100	1.5~2.0	-	-	-
DI(M)												
DII(G)												
DII(M)	II		II		II	短台階工法	20	H125x125	1.2~1.5	4; (H>100m) 視需要; (H≤100m)	1.2~1.5	1.5~2.0
DIII(G)	III + 鋼支撐某腳保護工(視需要)	IV + 鋼支撐某腳保護工(視需要)										
DIII(M)	III + 先撐保護工 鋼支撐某腳保護工	IV + 先撐保護工 鋼支撐某腳保護工	III	短台階或微台階工法	25	H150x150 或H175x175	1.0~1.2	4或6	1.0~1.2	1.0~1.5		
	III + 先撐保護工 鋼支撐某腳保護工	IV + 先撐保護工 鋼支撐某腳保護工										
			IV	短台階或微台階工法	25~30	H150x150 或H175x175	0.8~1.0	6	0.8~1.0	1.0		

附註：表中噴凝土及鋼支撐，均得依個案評估結果，視需要以鋼纖維噴凝土或桁架鋼支撐替代。

地工技術

致謝

本研究承公共工程委員會支持研究經費，公路總局、水利署、台灣電力公司、高速鐵路局、國道新建工程局、鐵路改建工程局車部工程處等機關單位協助辦理現地驗證，聯合大地顧問股份有限公司、財團法人中華顧問工程司、亞新工程顧問股份有限公司、財團法人中興顧問社、台灣大學、中央大學、台灣科技大學、台北科技大學等單位協力合作，以及洪如江、黃燦輝、李建中、梁昭雄、謝玉山、黃南輝等工程會諮詢顧問提供寶貴意見得以完成。謹此誌謝。

參考文獻

- 張吉伍、刁丕通、孫荔珍、黃南輝等人（2000），台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立（第一期）—工作項目D：台灣岩體分類與隧道支撐系統之建立，公共工程委員會。
- 張吉伍、林銘郎、孫荔珍等人（2001），台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立（第二期）—工作項目D：台灣岩體分類與隧道支撐系統之建立，公共工程委員會。
- 張吉伍、侯秉承、李民政等人（2002），台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立（第三期九十九年度）—工作項目D：台灣岩體分類與隧道支撐系統之建立，公共工程委員會。
- 張吉伍、侯秉承、李民政等人（2003），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）—工作項目D：台灣岩體分類與隧道支撐系統之建立，公共工程委員會。
- I.S.R.M.(1978)“Suggested Methods for the Quantitative Descriptions in Rock Masses”, Intl. J. Rock Mech. & Mining Sc. 15: 6: 319-368
- ASTM D2487-00 (2000) Standard Classification of Soils for Engineering Purposes.