

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：隧道長破碎湧水帶安全處理施工技術

頁數 43 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡進發/台電萬松施工處/基礎組/基礎經理/04-2982105 轉 581

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：99 年 12 月 12 日至 99 年 12 月 21 日 出國地區：日本

報告日期：100 年 2 月 5 日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

- 一. 台灣地質多變，各水力發電計畫興建之隧道施工為工程能否按計畫(包括工期、成本及安全)完成之主要關鍵；其中尤以破碎、湧水帶處理最為重要，亦為施工團隊投注最多資源之項目；各種施工工法、技術、機具及材料等之檢討規劃、研定及正確採行，已成為每一隧道工程安全、經濟及迅速完成之主要課題。
- 二. 萬大電廠擴充暨松林分廠水力發電計畫為台灣電力公司奉核定實施中之水力發電工程，預算及工期均十分緊澀，須確實控制工程之施作金額及事先預防可能造成延宕之各種風險。計畫中土木工程之松林頭水隧道為重點項目，由於地質探查工作僅能於局部、特殊區域辦理，隧道施做時則須按實際遭遇地質情況現場評定及隨時採擇最適工法；本隧道預計並將遭遇多處剪裂、破碎地段及可能之湧水帶，為本計畫艱鉅任務之一，須設法加以克服。
- 三. 日本地質與台灣相似，已有諸多隧道不良地質處理施工經驗案例及發展成熟之各種新工法、技術、材料等。本次前往研習觀摩並至工地現場觀摩實習，同時收集各種資料加以彙總可做為萬松計畫隧道工程施工及經驗傳承之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

## 隧道長破碎湧水帶安全處理施工技術

服務機關：台灣電力公司 萬松施工處

姓名職稱：曾輝真（基礎經理）

派赴國家：日本

出國期間：99年12月12日～12月21日

報告日期：100年2月10日

# 目 錄

壹、目的與過程

貳、隧道長破碎、湧水帶安全處理施工技術

參、心得、感想與建議

肆、參考文獻及資料來源

附錄一：各工地觀摩實習情形照片

附錄二：日本各類隧道岩體評估及標準支保類型

附錄三：補助工法分類表

## 壹、 目的與過程

### 一、 萬大電廠擴充暨松林分廠水力發電計畫簡介

萬大電廠擴充暨松林分廠水力發電計畫包括萬大電廠#4 機組、松林分廠兩部分，主要工程設施內容如表 1。

表 1

萬大電廠擴充暨松林分廠水力發電計畫主要工程設施			
(一) 萬大電廠擴充(#4 機組)			
結構物名稱	型式	尺寸	相關設施
進水口	鋼筋混凝土結構物	寬12.705m， 高48.5m	開閉門：直提式，2.7m 寬，2.7m 高 制水閘門：直提式，2.7m 寬，2.7m 高
頭水隧洞	壓力式，圓型 斷面	61.1m，內徑2.7m。	
壓力鋼管	地下式	全長283m長，內徑 2.4~1.96m	
#4 機組廠房	半地下式鋼筋 混凝土結構物	長25m，寬14m，高33m， 設計流量22cms。	水輪發電機組：乙台，豎軸去蘭西斯式，裝置容量 20,103 瓩； 吸出管閘門：5.6m 寬，2.9m 高； 起重機：乙台，主吊機容量80 噸，輔吊機容量20 噸及5 噸各乙組。
尾水隧洞	重力式，馬蹄 型斷面	全長763.178m， 內徑3.6m	尾水出口閘門，孔寬高均為3.6m。
(二) 松林分廠			
攔河堰	混凝土 重力壩	高9.0m，堰頂長37.7m	排砂閘門：直提式，10.2m 寬，6.2m 高 河道放水管：長37.7m、內徑0.40m。
進水口	鋼筋混凝土喇叭 型結構	寬16.4m，高18.5m	擋水閘門：三座，5.1m 寬，5.5m 高； 制水閘門：乙座；直提式，5.1m 寬，5.0m 高。
頭水隧洞	重力式，馬蹄 型斷面	全長4,680m，內徑4.6m	含穿越蜀水溪段倒虹吸水路；圓形斷面，全長 210.6m，4.0m(ID)。
前池	鋼筋混凝土結 構物	36m長，21m寬， 有效水深10m， 有效容量約7,200m <sup>3</sup>	側溢首排砂閘門：2.0m 寬，2.0m 高， 排砂兼餘水道：長約345m； 進水閘門：3.80m 寬，4.55m 高。
壓力鋼管	地下式	128.4m長，3.8~1.1m(D)。	
松林分廠	半地下式鋼筋 混凝土結構物	長36.10m，寬14.7m，高 32.8m； 設計流量46 cms	水輪發電機組：二台，豎軸去蘭西斯式，裝置 容量18,639 瓩及2,806 瓩。 吸出管閘門：7.60m 寬，3.80m 高，及 3.28m 寬，3.40m 高。 起重機：乙台，主吊機容量80 噸，輔吊機容 量20 噸及5 噸各乙組。
開關場	GIS	戶外式；長35m，寬30m	六氟化硫(SF <sub>6</sub> )氣體絕緣開關設備
尾水隧洞	壓力式圓型及 重力式馬蹄型 斷面	圓型：31m長，4.5m(D)； 馬蹄型：165m長，5.0m(D)。	尾水閘門：5.0m 寬，5.0m 高。

## 二、關鍵項目—松林分廠頭水隧道

本計畫土木工程之松林頭水隧道全長 4,680m 內徑 4.6m 為重力式馬蹄型斷面並包括由河床底部穿越濁水溪之溪底段；為工程能否按計畫(包括工期、成本及安全)完成之主要關鍵；該隧道預計並將遭遇多處剪裂、破碎地段及可能之湧水帶，任務十分艱鉅須傾全力克服困難加以完成；其安全處理施工技術之適當採行最為重要，亦為施工團隊投注最多資源之項目；各種施工工法、技術、機具及材料等之檢討規劃、研定及正確採行為工程人員之主要課題。

## 三、出國研習目的

日本地質與台灣相似，已有諸多隧道不良地質處理施工經驗案例及發展成熟之各種新工法、技術、材料等。本次前往研習觀摩並至工地現場觀摩實習，同時收集剪裂、破碎地段及可能之湧水帶安全處理施工技術之各種資料加以彙總，可做為萬松計畫隧道工程施工及經驗傳承之參考。

## 四、研習行程

本次研習透過日本鐵建建設株式會社之協助、轉介及引導，計劃行程如表 2 所示；期間安排至六個不同業主及承攬團隊之隧道工程工地現場觀摩實習，汲取相關隧道工程施工經驗，及蒐集所提供地下工程各種剪裂、破碎湧水地段處理工法之相關技術資料，收穫豐碩。

表 2--計劃行程

項次	起始日	迄止日	詳細工作內容
1	12/12	12/12	往程(埔里 - 台北松山 - 東京羽田 - 東京)
2	12/13	12/15	Linear、新倉、身延、高尾山等四隧道工程工地觀摩實習
3	12/16	12/18	大万木隧道工程島根及廣島工地觀摩實習
4	12/19	12/20	俵坂隧道工程工地觀摩實習
5	12/21	12/21	返程(福岡空港 - 桃園機場 - 埔里)

## 五、至現場實習之隧道工程

### (一) Linear 工地(御坂作業所)

爲日本山梨磁浮 Linear 實驗線某隧道工程標。其湧水量達 19t/min.，採排水孔鑽孔方式及設置揚水設備排除湧水。

### (二) 新倉工地

爲日本山梨縣國道某隧道工程標。

### (三) 身延工地

爲日本中部橫斷自動車道某隧道工程標。

### (四) 高尾山工地

爲首都圈中央連絡自動車道某隧道工程標。其中一段以地盤止水及構造止水雙重止水方案形成水密隧道，確保工程目標--避免對上方地表環境造成影響之達成。

### (五) 大万木工地 (島根及廣島二分標)

爲日本尾道・松江自動車道某隧道二工程分標，工地分別在島根及廣島二地。

### (六) 俵坂工地

爲日本九州新幹線(西九州)某隧道工程標。

在各工地觀摩實習情形照片如附錄一。

## 貳、隧道破碎、湧水帶安全處理施工技術

### 一、隧道施工人員之重點工作

台灣山岳隧道之開挖，已由傳統工法轉變，目前主要採用新奧工法理念施工；該工法考量及利用岩體之自持能力，配合薄型柔性支撐（如噴凝土、鋼線網、岩栓及輕型鋼支保等）的適時施設，在適當之變形下讓周圍岩體應力重新分配，由岩體本身及支撐二者共同承載周圍岩壓達到平衡之狀態；並以計測儀器監測變形、收斂、沈陷之情形，於需要時可立即調整支撐內容，及辦理回饋檢討原設計之適合性，達到安全及經濟之目標。

薄型柔性支撐之內容、數量由岩體分類法評定岩體分數後按設計圖選定；台灣目前使用之岩體分類法以 RMR 及 Q 法最多。因台灣地質複雜多變與上二分類法發展之地區之地質情況與台灣並不相同，故公共工程委員會於 92 年提出「台灣地區岩體分類與隧道支撐系統」(PCCR) 供台灣之隧道工程使用參考。萬松施工處監造工程迄今配合設計單位所訂，岩體分類仍採用 RMR 及 Q 法。

日本亦有其自行建立之水路、道路、新幹線、高速公路等之岩體分類系統（地山分類、等級），並建立對應的標準支保類型，如附錄二日本土木學會隧道標準示方書內有關各表供參。

新奧工法隧道成功之基礎在於岩體自持能力之維持不喪失並可以發揮，以及施設之支撐能及時提供支撐力，故該二者成爲一般隧道進行施工時講求的重點，亦即支撐施做時效及施工品質須能依設計要求的標準完成。

不過因爲岩體的複雜多變及先期地質探查規模有其侷限，以及工程環境、條件等諸限制，隧道施工中不可避免的會遭遇特殊岩體狀況，包括岩體自持力不足或無法形成，薄型柔性支撐因某些因素不能有效提供支撐力，工作面施工困難(如湧

水、瓦斯等)、周圍環境不容許(如都市、河底等)等情況，一般支撐工法不能克服時，則須先期充分準備預防對策、方案，即時反應處理，方能達安全穩定狀態。故隧道開挖施工除前述一般正常情形下進行施工時應予注重者外，在遭遇該特殊岩體地段時，各種補助工法之充分準備、檢討訂定及適當之採行時機並能即時正確採用，對隧道之順利完成及預算之妥適控制，最具挑戰。

後續新建隧道施工在地形、地質等環境條件受限下，及隧道路線配合其建設目的不能彈性調整等，致局部地段須特殊處理亦已不可避免頻率並漸次增加，如何在遭遇特殊狀況時，在工期、成本多方壓力下合宜適時採行正確之輔助工法為工程師今後主要之課題。

本次研習收集剪裂、破碎地段及可能之湧水帶安全處理施工技術之各種資料加以彙總，做為萬松計畫隧道工程施工及經驗傳承之參考。

## 二、日本特殊地山隧道之補助工法

日本隧道工程針對特殊地山地段依其處理目標，建立各種適合之對應補助工法彙總列表，如附錄二摘錄自土木學會標準示方書、鐵道建設・運輸設施支援機構之設計施工標準・同解說以及日本東中西高速公路株式會社設計要領第三集隧道編內之補助工法分類表供參考。

有關特殊地山隧道中破碎湧水地段之各種補助工法介紹如下。

## 三、破碎湧水特殊地山隧道補助工法介紹

隧道施工時破碎湧水地段可能造成之現象或狀況包括開挖面之崩壞、土砂流出、土壓變大、潛變持續發生，併發噴凝土及岩栓附著力不良、隧道積水、湧水施工

困難，施工品質亦受影響；並衍生後續營運、管理、維護之問題。

針對各種問題及狀況之處理對策(補助工法)如前述分類表內概略彙總，各主要補助工法說明如下。

#### (一) 開挖面安定之補助工法

可分為加強頂拱、開挖面、支保腳等安定之補助工法。

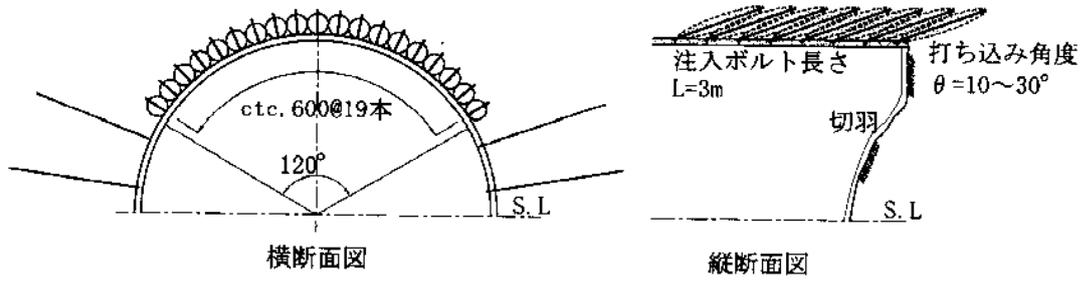
##### 1. 頂拱安定之補助工法

###### (1) 先撐工

包括 5m 以下充填、非充填式、注入式先撐鋼(管)(Foreboring)、2~3m 壓入式短尺先撐鋼管等，可以原有施工設施機具施工；以及 5m 以上長尺先撐(Forepiling)，須有專用機械施工。各先撐工配合充填、注入材料，達到提高頂拱剪斷強度、減少變位程度、抑制先行變位以及改良地質等。

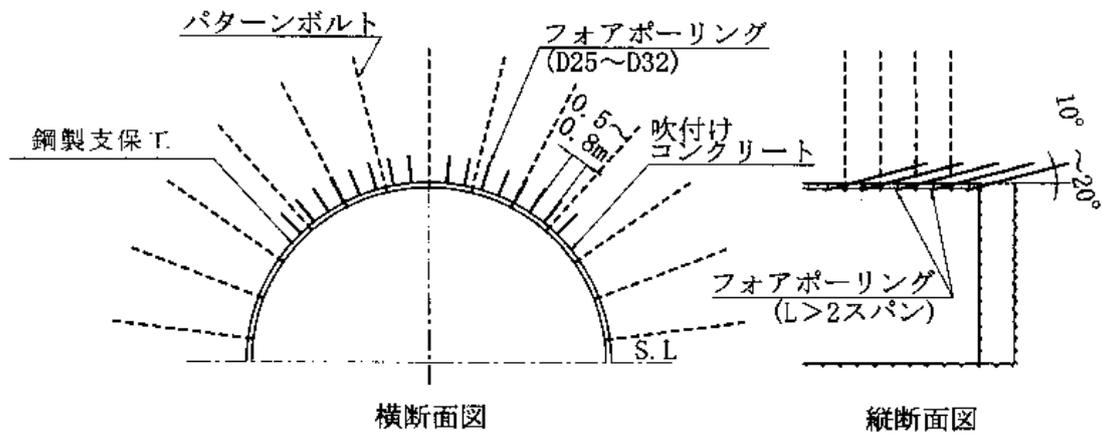
其施工例如圖 1~3。

圖 1(摘録自土木學會標準示方書)



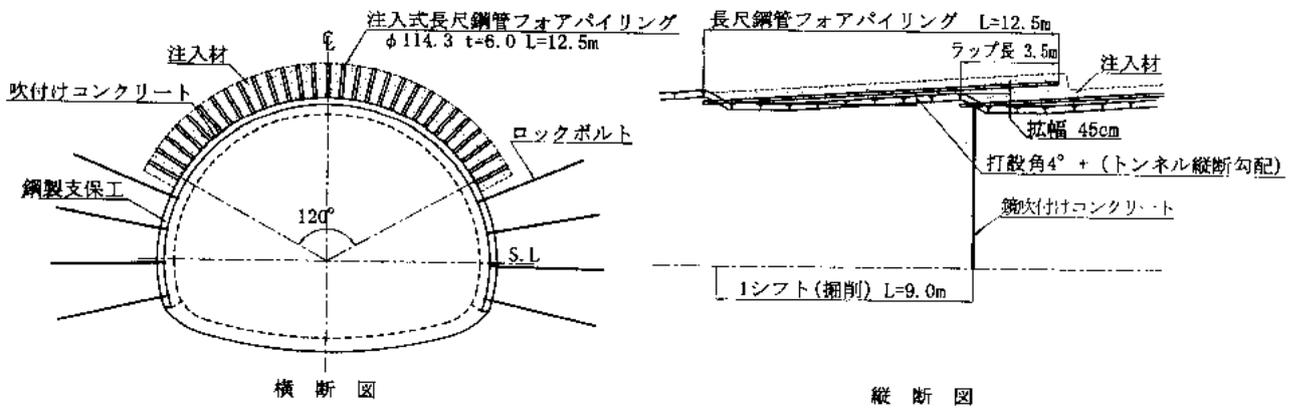
解説 図 5.3 注入式フォアポーリングの施工例

圖 2(摘録自土木學會標準示方書)



解説 図 5.3 充填式フォアポーリングの施工例

圖 3(摘録自土木學會標準示方書)



解説 図 5.4 長尺フォアパイリングの施工例

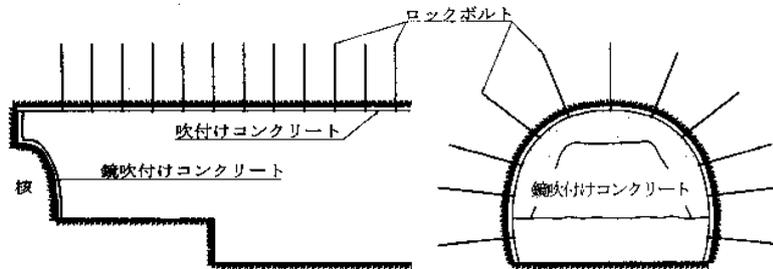
## (2)開挖面安定対策

包括封面噴凝土、開挖面短尺及長尺玻璃纖維或塑膠錨栓。各先撐工配合充填、注入材料，達到開挖面補強、抑制變位等之功效。

注入工法亦為開挖面安定對策之一，係將水泥漿或水玻璃等藥液等地盤改良材注入地盤中，抑制、減少湧水量以及安定地山。

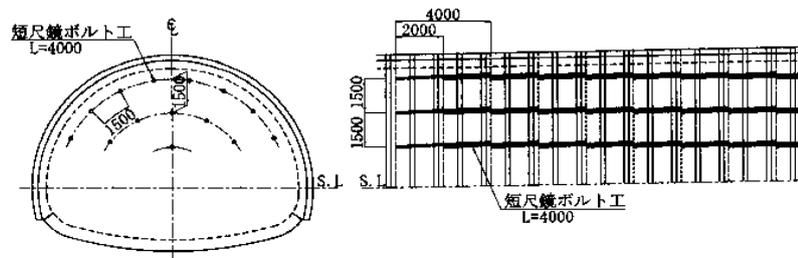
其施工例如圖 4~6 。

圖 4(摘錄自土木學會標準示方書)

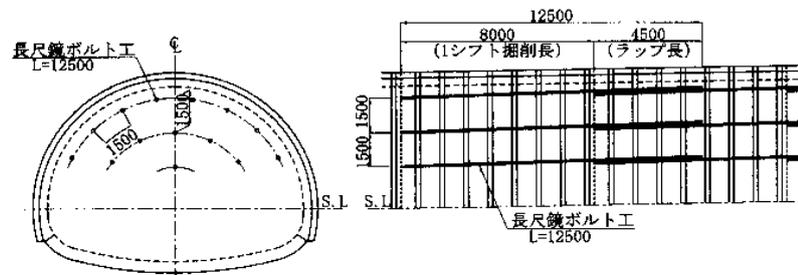


解説 図 5.5 鏡吹付けコンクリートの施工例

圖 5(摘錄自土木學會標準示方書)



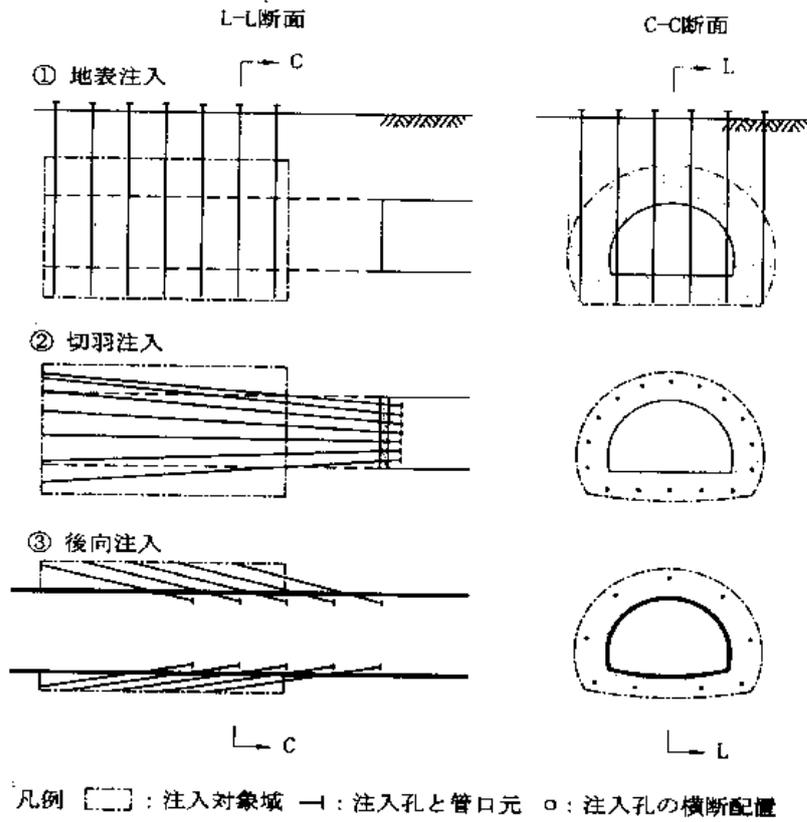
(a) 短尺鏡ボルト



(b) 長尺鏡ボルト

解説 図 5.6 鏡ボルトの施工例

圖 6(摘錄自土木學會標準示方書)



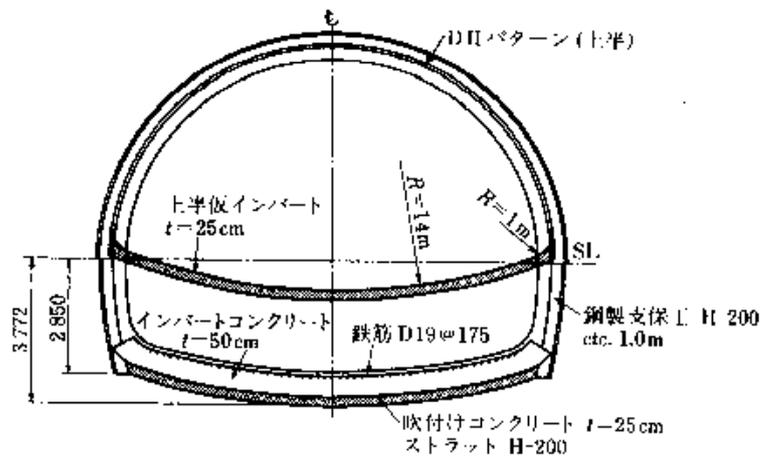
解説 図 5.7 注入工法の施工例<sup>1)</sup>

### (3) 支保脚安定対策

包括分階開挖以及腳部補強錨栓、鋼樁等，並以噴凝土暫時閉合。提高地盤地耐力、減少腳部沈下現象，以確保足夠地盤支持力及降低沈陷。

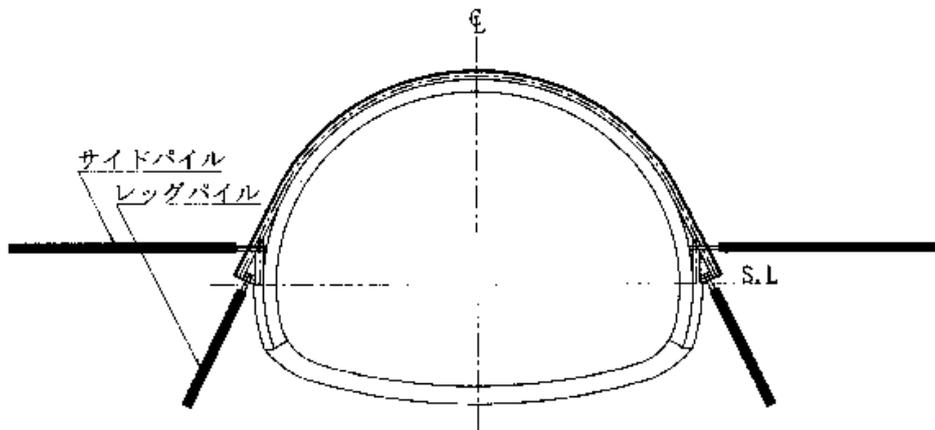
其施工例如圖 7.8。

圖 7(摘錄自土木學會標準示方書)



解説 図 5.8 上半仮インバートの施工例

圖 8(摘錄自土木學會標準示方書)



解説 図 5.9 脚部補強パイルの施工例

## (二) 湧水対策之補助工法

隧道開挖階段遭遇湧水之情況，可能造成開挖面安定性降低，開挖困難、開挖面崩落，噴凝土施工不佳、岩栓品質不良無法提供支撐力，以及隧道施工效率低下等。其補助工法可分為排水工法及止水工法二類。

## 1. 排水工法

包括排水孔鑽孔、排水廊道、點井、深井等對策。

排水工法須考量周邊環境如地表狀況、地下水量、及地下水位等，選擇適當之方案。

### (1) 排水孔鑽孔

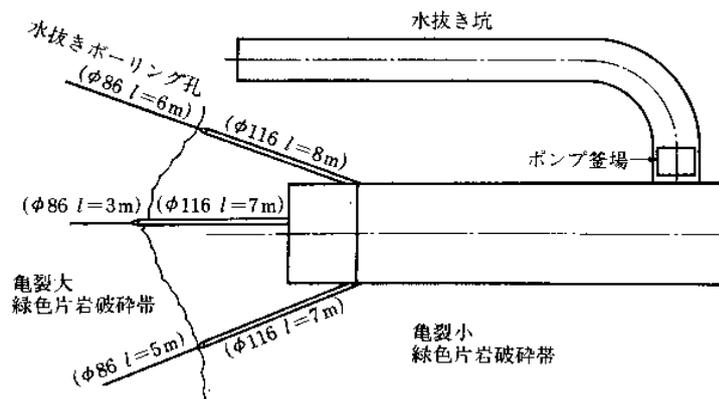
為最常採用者，唯在未固結地盤場合須注意土砂細顆粒隨水流失之情形。

### (2) 排水廊道

湧水量較大之場合以小斷面先進導坑作為排水廊道進行排水，多與上述排水孔鑽孔併用；高壓、鉅量湧水之含水地層亦可以多條排水廊道處理。

排水孔鑽孔與排水廊道併用施工例如圖 9。

圖 9(摘錄自土木學會標準示方書)



解説 図 5.10 水抜きボーリングと水抜き坑を併用した例

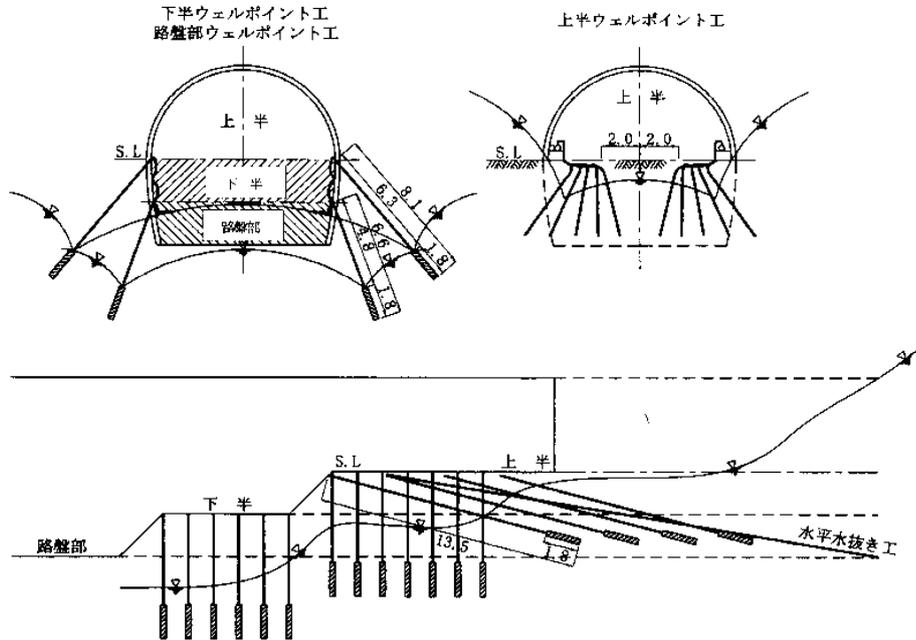
### (3) 點井

以點井收集地下水，降低地下水位(最大 5~8m)以供施工。是否適用須

考量粒度分佈、透水係數、揚程、排水量等。

施工例如圖 10。

圖 10(摘錄自土木學會標準示方書)



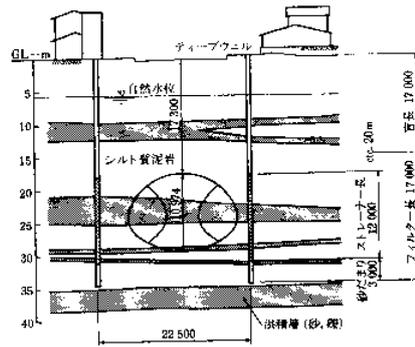
解説 図 5.11 坑内からウェルポイントを施工した例 (麦生田トンネル)

#### (4)深井

在淺覆蓋地段以先行鑽設深井(直徑 300~600mm)，利用沈水式抽水機抽排降低地下水位或含水層水量以供施工。須考量粒度分佈、透水係數、揚程、排水量等；另外外圍地下水維持管理亦應一併檢討。

其施工例如圖 11。

圖 11(摘錄自土木學會標準示方書)



解説 図 5.12 ディープウエル施工例

## 2. 止水工法

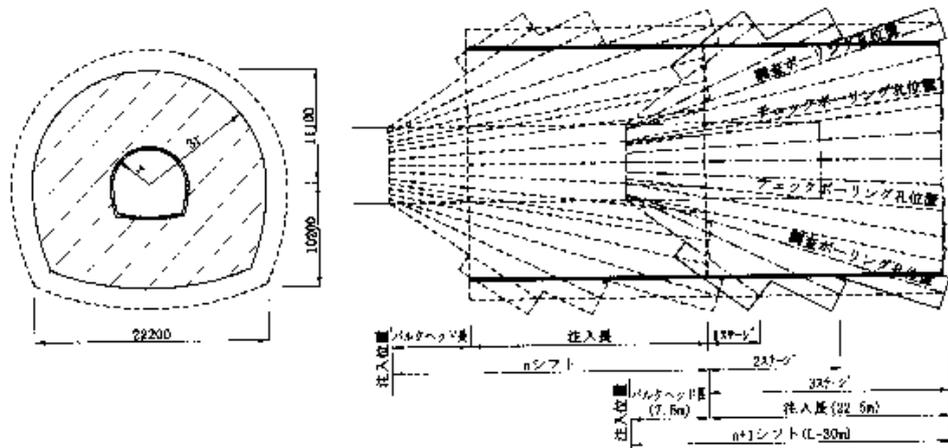
排水工法可用於地下水排出及地表下陷許可之場合，在地下水位下降及枯渴受周邊環境限制無法容許之情況，隧道施工之湧水處理就必須以止水方式進行；因其費用較高須詳細檢討配合採行。

在開挖面前方周邊地盤中注入水泥漿液或水玻璃等化學藥液，阻塞地盤龜裂或者孔隙以降低透水性，達到止水的目的。湧水量低減亦有助於改良地盤，提高開挖面安定性；山岳隧道中對大量湧水亦可與排水工法併行實施。

採用注入工法須考量地盤性質、地下水狀況，以及注入方式、注入材料、注入範圍、注入率、注入量、注入孔間隔、配置、孔數、孔徑、孔深、注入壓力、注入速度、注入順序等之設定。

其施工例如圖 12。

圖 12(摘録自土木學會標準示方書)

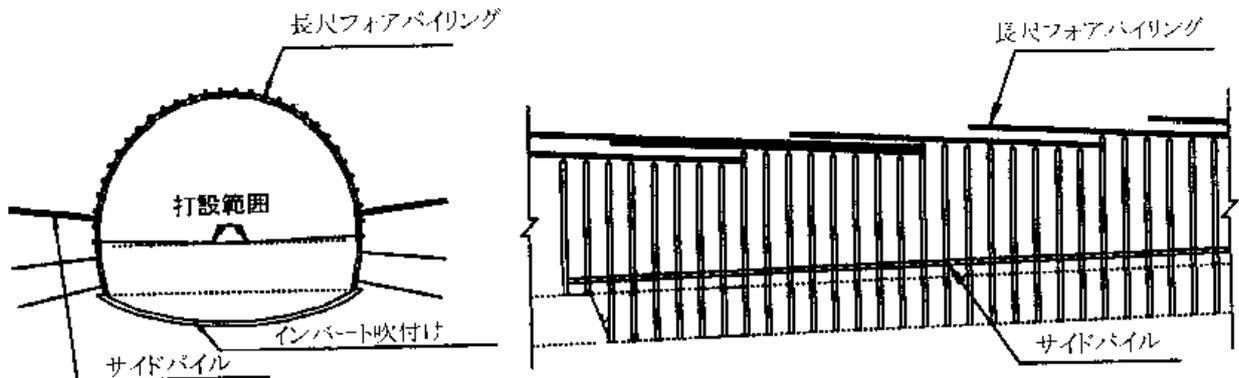


解説 図 5.13 坑内からの注入施工例 (舞鶴発電所放水路トンネル)

(三) 週邊環境保全之補助工法

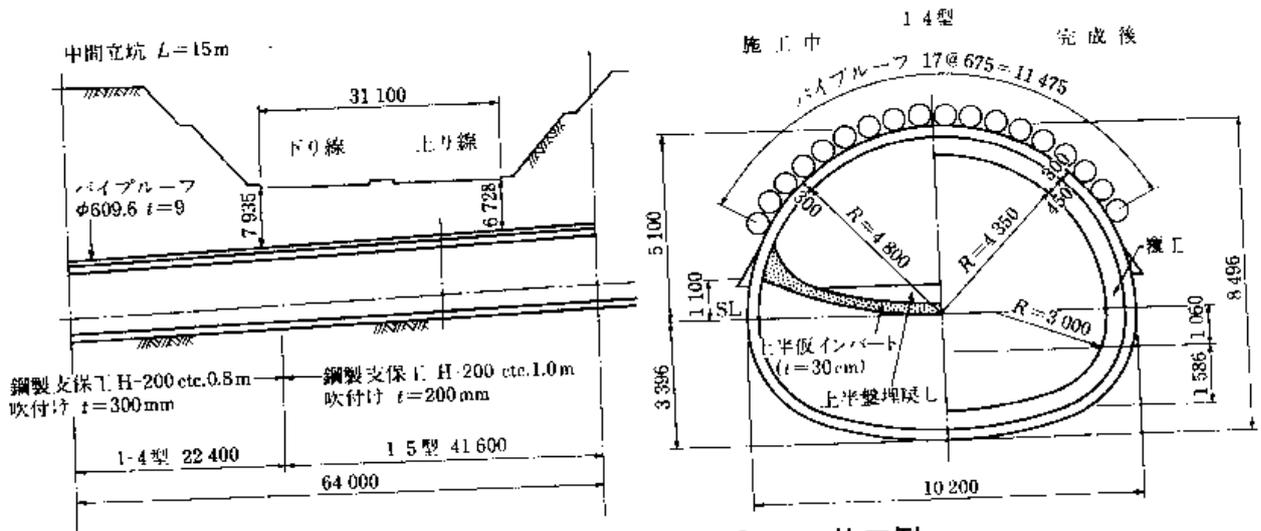
隧道施工對週邊環境可能產生之影響有上方地表沈陷及建築物近接施工等；可採用的補助工法有長尺先撐鋼樁、管幕、噴射灌漿、垂直縫地、注入工法等，其施工例如圖 13~17。

圖 13(摘録自土木學會標準示方書)



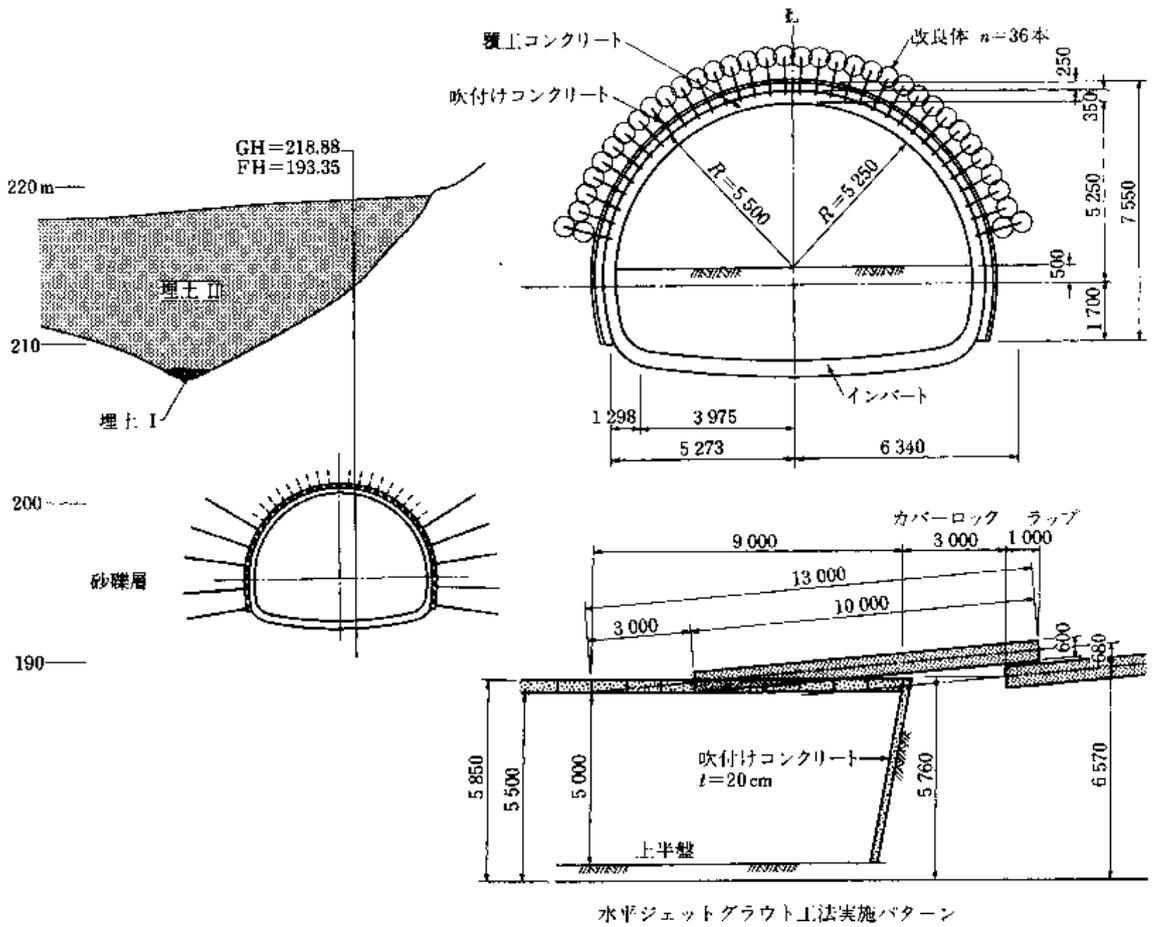
解説 図 5.14 長尺フォアパイルの施工例 (オランダ坂トンネル)

圖 14(摘録自土木學會標準示方書)



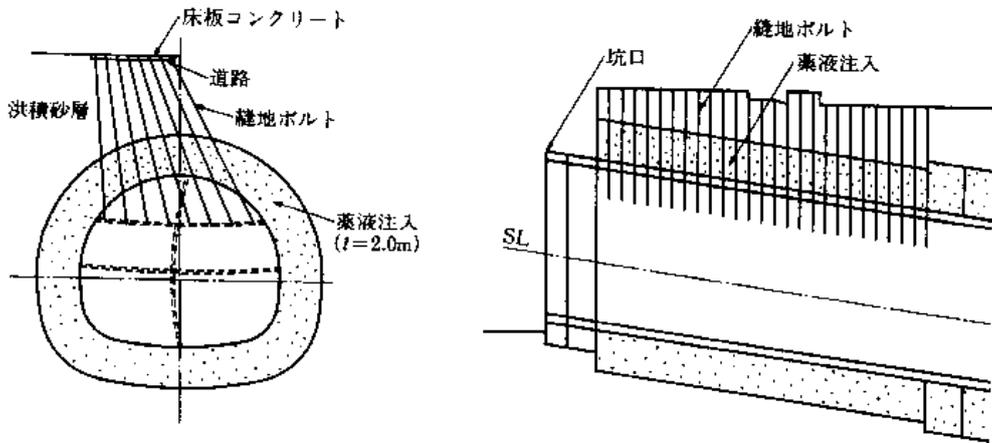
解説 図 5.15 大口径パイプルーフ施工例

圖 15(摘録自土木學會標準示方書)



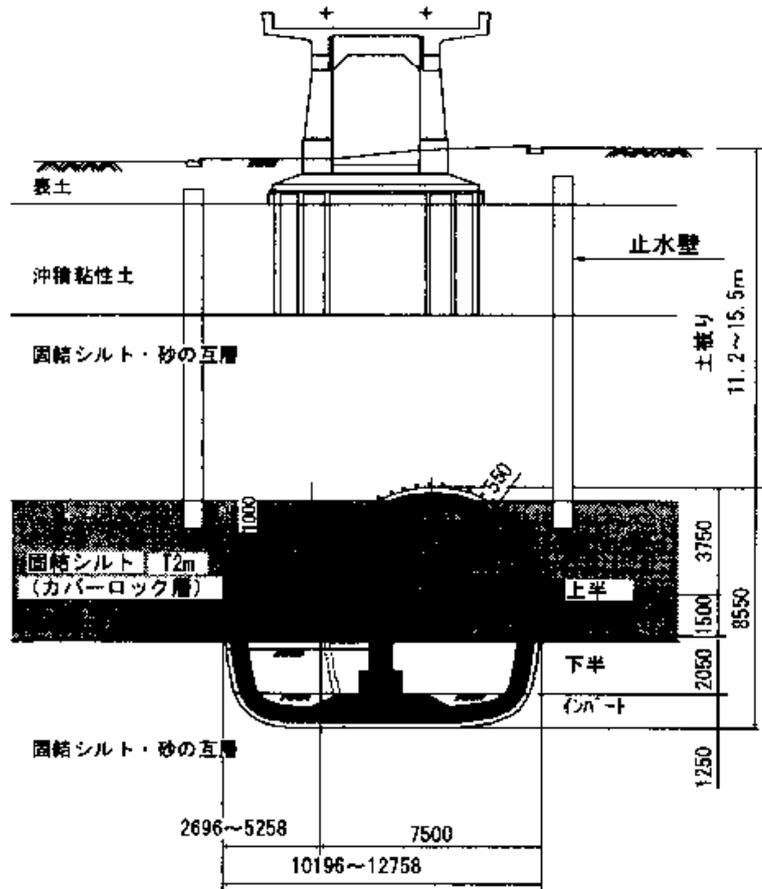
解説 図 5.16 水平ジェットグラウトの施工例 (網代第1トンネル)

圖 16(摘録自土木學會標準示方書)



解説 図 5.19 垂直縫地と注入工法を併用した施工例

圖 17(摘録自土木學會標準示方書)



解説 図 5.20 止水を主目的とした遮断壁の施工例

## 參、心得感想及建議

- 一、本次觀摩研習的各種補助工法可作為萬松計畫隧道工程長破碎湧水地段施工處理之參考。
- 二、日本施工團隊進行隧道施工時，各項作業包括工程施工技術、工法、施工管理、施工機械、臨時設施、安全衛生及環境保護等，各項軟、硬體上均有可借鏡之處；各工程工地均展現其成績，看得見其落實辦理之用心，工程成果較可觀其來有自；亦為值得台灣工程施工同仁學習努力效法之處。
- 三、台灣隧道工程引進新奧工法，目前主要仍以 CSIR 及 Q 法辦理岩體分類評估，唯該二系統為南非及挪威所發展者，台灣地質複雜多變與上二分類法發展之地區並不相同。日本已發展建立其適用之岩體分類系統及隧道支撐標準，我國公共工程委員會亦於 92 年提出「台灣地區岩體分類與隧道支撐系統」(PCCR) 供台灣之隧道工程使用參考。本公司隧道工程如何檢討統一採用 PCCR 同一評估系統，俾能妥適反應台灣岩體特性適切評估，及據以採用最適支撐，為本公司及委辦之設計單位可以檢討努力之目標。
- 四、各項補助工法台灣大部分已引進並於有關工程採用唯缺乏有系統之統整分類，日本於補助工法之分類運用已有系統化之指引，值得學習。又新工法、新材料、新技術引進後，其成果之宣導及統整分類建議予以加強，建立例如資料庫或指引等供參考，俾發揮其最大效益。
- 五、各項臨時設施之建置都十分完整，如廢水處理設施、室內噴凝土拌和場、室內碴料轉運場、洞口防護鋼門等，已成標準化；值得要求工程同業見賢思齊提高國內營造業之競爭力。
- 六、本次觀摩實習之日本隧道工程同一隧道均予分段分標，工程承攬廠商則均為日本國內廠家以 JV 組成之施工團隊，可參考研究其成功之道。

七、日本隧道工程各種機械運用十分廣泛，重要程度不能忽視，對施工、工期之貢獻很大；如何有效將各種高效率之施工機械在台灣隧道工程中採用，有賴業主、設計單位及營造工程同業共同努力。

八、依據規定，工程不得列有預備項目；檢討現階段隧道工程標約，因地質情況在開挖前未能確實掌握致十分困難，亦造成執行之困擾及爭議。參考日本隧道工程各地段之支撐型式均於設計圖內明示，岩體評估有變化不符原預估時再依規定調整，值得參考及加重設計單位的合理專業權責。

九、下列為本次研習所發現隧道工程其他新材料、新設備、新作法，提供規劃設計及施工參考。

(一)新材料：SN 岩栓如附錄一內型錄。

(二)新設備：混凝土澆置之振動搗實設備如附錄一內型錄。

(三)新作法(如附錄一內照片)。

- 1.SN 岩栓不用藥包、不施預力，僅於 24 小時後鎖緊(非施預力)，於變位時漸增支撐力，十分符合新奧工法之理念。
- 2.系統岩栓均佈鑽設不必交錯，現場施工標準化亦不影響系統岩栓之功效。
- 3.襯砌作業不待貫通，與開挖分段前後同時施工，縮短工程工期。合適斷面之隧道可以參考檢討可行方案加予採用。

#### 肆、參考文獻及資料來源

- 一、日本土木學會隧道標準示方書
- 二、鐵道建設・運輸設施支援機構之設計施工標準・同解說
- 三、日本東中西高速公路株式會社設計要領第三集隧道編

## 附錄一：各工地觀摩實習情形照片



路線



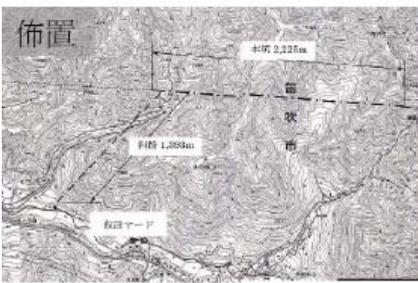
工區



洞口



磁浮(1)



佈置



電視



磁浮(2)

Linear工地(御坂作業所)



襯砌



中途



洞口



襯砌設備



開挖面

新倉工地(一)



進行表

12/3 日 10-1230

C1	日進	累計	残数	日進	累計	残数
上半	6.0m	59.0m	6.92.0m			
下半		38.0m				
合計		97.0m				
残工		1.0m				

新倉土庫JV

進度



新倉工地(二)



進入



防水



洞口



開挖面



噴漿

身延工地(一)



現場工務所  
及碴料轉運



噴漿廠



濁水處理

身延工地(二)



管制



菱鏡



材料



護欄



支撐(1)



支撐(2)



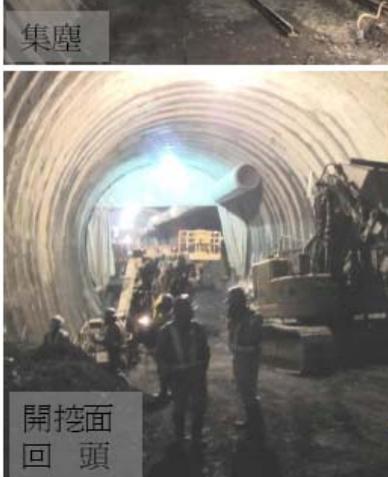
### 身延工地(三)



集塵



接近



開挖面  
回頭



洞口

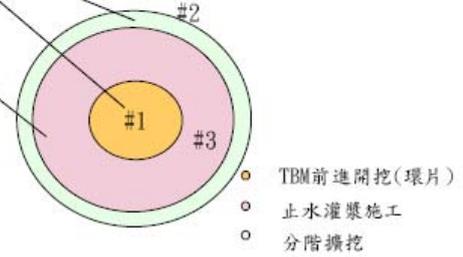


開挖面

### 高尾山工地(一)



透水係數改善目標  
 $5 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$



一. 地山止水構造施工步驟

1. RC環片組裝
2. 無收縮砂漿注入

二. 覆工止水構造施工步驟

對敏感地區不惜成本，  
 保守因應，不容絲毫差  
 錯，態度值得參考。

### 高尾山工地(二)



### 高尾山工地(三)



大万木工地(一)



大万木工地(二)



討論

17/12/2010 13:45



鑽堡

17/12/2010 14:47

廣島側



開挖面

17/12/2010 14:38



避難坑

17/12/2010 14:46

大万木工地(三)



洞外

17/12/2010 14:30



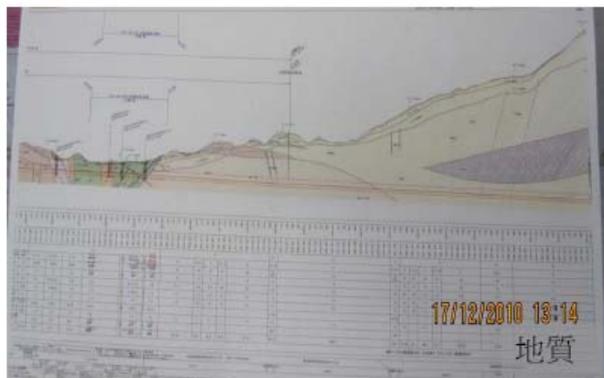
連絡道

17/12/2010 14:47



噴漿

17/12/2010 14:29



地質

17/12/2010 13:14

大万木工地(四)



俵坂工地(一)



俵坂工地(二)

# SN TWIST BOLT

ねじり梅鋼ロックボルト

## SNツイストボルトの表面形状



モルタルで充填されたボアホールにSNツイストボルトを挿入すると、スパイラルリブとねじりボアホールを回転させ、挿入性を高めます。結果としてリブ、フタの背面にボイドが発生するのを防ぎ、ボルト全長に渡って良好な付着が得られます。

## SNツイストボルト諸元表

呼称	ネジ部		薬材部		引張	引張	単位
	呼び	断面径	断面積	断面積			
<b>TD24</b>	M24	353	180 (18.4ff)	244 (24.9ff)	227 (23.2ff)	308 (31.4ff)	3.5

※引張(鋼材) σ<sub>y</sub>-510N/mm<sup>2</sup>以上 ※引張 σ<sub>u</sub>-600N/mm<sup>2</sup>(σ<sub>y</sub>70kgf/cm<sup>2</sup>以上)

## 付属品

### ■角ワッシャー

品番	寸法
<b>P-9015</b>	150×150×9t
<b>P-9020</b>	200×200×9t

### ■ベアリングプレート(山型プレート)

品番	寸法
<b>BP-9015</b>	150×150×9t
標準ワッシャー	50×25

### ■ナット

品番	寸法
<b>M24</b>	36×41.6×19ff

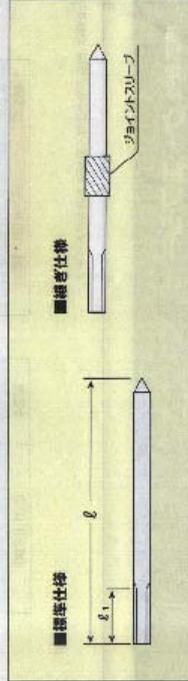
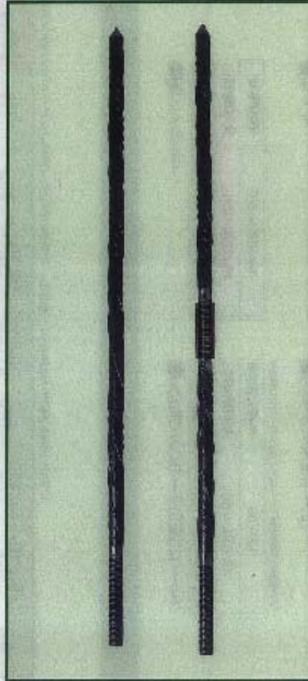
### ■ジョイントスリーブ

品番	寸法
<b>M24</b>	φ31.8×90

※上記仕様は、同品の色が色むく発着する場合があります。

## SN ツイストボルト

- 専用で製造した高強度異形棒鋼に冷間ねじり加工を施し、さらに強度アップを行っています。
- 独特のフタ形状を備えた異形棒鋼をねじり加工することによって、モルタルで充填されたボアホールに対して挿入しやすき表面形状を形成しています。
- モルタルとの付着性は、異形棒鋼より優れています。
- JIS-B-0205Cに基づくメートル並目ネジを転造加工しています。



## KPC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京都江東区東船場4-5 タイムズビル 135-8073 TEL.03-3570-5223 FAX.03-3570-5233  
 大阪上本町事務所 大阪市北区東天満3-2-17 1530-0047 TEL.06-6363-1884 FAX.06-6313-0755  
 札幌営業所 札幌市東区北24条東9-1-1 007-0894 TEL.011-751-4681代 FAX.011-751-4682

©2007 KPC



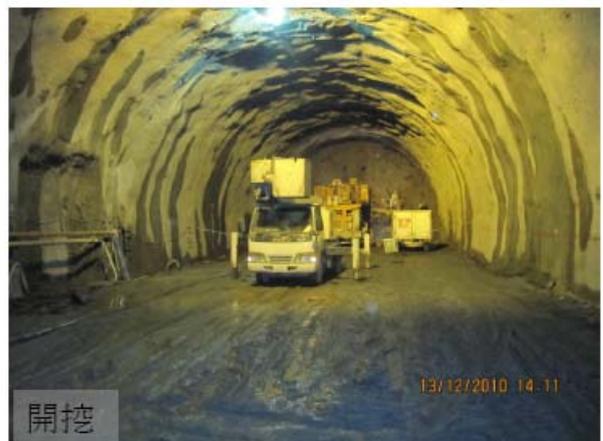
系統岩栓均佈鑽設不必交錯，現場施工標準化亦不影響系統岩栓之功效。

### (3)其他 i)岩釘



襯砌作業不待貫通，與開挖分段前後同時施工，縮短工程工期。合適斷面之隧道可以參考檢討可行方案加予採用。

### iv)襯砌、開挖 分段併行



## 附錄二：日本各類隧道岩體評估及標準支保類型

【参考資料】国内各機関における地山等級

1. 鉄道トンネルの地山等級 (日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針, pp.37-42, 1996)  
 鉄道トンネルの地山等級を付表1に、この表に用いる地山の種類を付表2に示す。

付表1 鉄道トンネルの地山等級 (計画段階における地山分類基準)

地山 種類 等級*	硬岩			中硬岩	軟岩**	土砂	
	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F・G岩種	
						粘性土	砂質土
V <sub>N</sub>	Vp ≥ 5.2		Vp ≥ 5.0	Vp ≥ 4.2			
IV <sub>N</sub>	5.2 > Vp ≥ 4.6		5.0 > Vp ≥ 4.4	4.2 > Vp ≥ 3.4			
III <sub>N</sub>	4.6 > Vp ≥ 3.8	Vp ≥ 4.4	4.4 > Vp ≥ 3.6	3.4 > Vp ≥ 2.6 かつ Gn ≥ 5	2.6 > Vp ≥ 1.5 かつ Gn ≥ 6		
II <sub>N</sub>	3.8 > Vp ≥ 3.2	4.4 > Vp ≥ 3.8	3.6 > Vp > 3.0	2.6 > Vp ≥ 2.0 かつ 5 > Gn ≥ 4	2.6 > Vp ≥ 1.5 かつ 6 > Gn ≥ 4		
I <sub>N</sub>	3.2 > Vp ≥ 2.5	3.8 > Vp ≥ 2.9	3.0 > Vp ≥ 2.5	2.6 > Vp ≥ 2.0 かつ 4 > Gn ≥ 2 あるいは 2.0 > Vp ≥ 1.5 かつ Gn ≥ 2	2.6 > Vp ≥ 1.5 かつ 4 > Gn ≥ 2	Gn ≥ 2	80 ≤ Dr かつ 10 ≤ Fc
I <sub>s</sub>	2.5 > Vp	2.9 > Vp	2.5 > Vp	1.5 > Vp あるいは 2 > Gn ≥ 1.5	1.5 > Vp あるいは 2 > Gn ≥ 1.5	2 > Gn ≥ 1.5	—
I <sub>L</sub>				—	—	80 ≤ Dr かつ 10 > Fc	
特S				1.5 > Gn	1.5 > Gn	1.5 > Gn	—
特L				—	—	—	80 > Dr

Vp: 弾性波速度 (km/s), Gn: 地山強度比, Dr: 相対密度 (%), Fc: 細粒分含有率 (%)

\* 一般的な地山の等級 I ~ V については、N のサフィックスをつける。

特殊な地山のうち標準支保パターンが示されているものは等級の後に塑性化地山についてはs、木質結地山についてはLのサフィックスをつける。

これらの標準支保パターンでは、不十分と考えられる地山に対する等級は特S、特Lとする。

\*\* E岩種でVp ≥ 2.6の場合にB岩種として評価する。

注1 この表に土盛り500m > H > 2D (D: トンネル幅) 程度のトンネルの計画に用いるものとする。ただしI<sub>L</sub>については0.5D以上のものを適用できるものとするが、適用にあたっては十分に検討のうえ計画するものとする。

2 幅の広い断層破砕帯、偏圧地形や偏圧を及ぼす地質の地山、また、トンネル断面が著しく小さいか大きい場合、作業に支障する湧水があると考えられる場合、あるいは、水圧を設計に考慮しなければならぬ場合、および市街地、重要構造物下、近接、併設トンネルなどについては、十分に検討のうえ適用するものとする。

3 Vp: 地山の弾性波速度 (P波): km/s

Gn: 地山強度比 ( $\sigma_c / \gamma H$ )

Dr: 相対密度 (%)

Fc: 細粒分含有率 (%)

$$\left( \begin{array}{l} \sigma_c: \text{地山の軸圧縮強度 (kN/m}^2\text{)} \\ \gamma: \text{地山の単位体積重量 (kN/m}^3\text{)} \\ H: \text{土盛り高さ (m)} \end{array} \right)$$

なお、地山の軸圧縮強度は亀裂等の存在が無視できる地山においては、試料の軸圧縮強度を適用できるが、準岩盤強度  $\sigma_c$  (kN/m<sup>2</sup>) を用いてもよい。

$$\sigma_c = (Vp/vp)^2 \cdot qu$$

vp: 試料の超音波 (弾性波) 速度 (km/s)

qu: 試料の軸圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)

なお、軟岩でVp > vpとなることもあるが、その場合には (Vp/vp) = 1とする。

4 岩種の区分は、付表2の岩種分類による。

5 F・G岩種の砂質土と粘性土の土質区分は、以下を目安とする。

砂質土: 細粒分 (粒径75μm以下の土粒子) 含有率が30%程度未満の土

粘性土: 細粒分含有率が30%程度以上の土

解説表 3.3 水路トンネル（小断面）の標準的な支保パターンの例<sup>3)</sup>

(掘削径2.7m以上約3m以下)

トンネル タイプ	地質状況		吹付け、ロックボルト工法による場合					ライニング
			吹付け 厚 (cm)	ロックボ ルト長さ (cm)	ロックボルト間隔		鋼製支保工 建込間隔 (m)	
					周方向 (m)	延長方向 (m)		
A	亀裂のない新鮮な岩		0または 5	--	-	-	-	無筋コンクリートまた は吹付けコンクリート
B	B <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	亀裂のあるやや風化した岩、また は軟岩	5	0.4De	1.5	2.0	-	無筋コンクリート
			10					
C	風化岩、破碎帯、硬土		10	0.5De	1.2~1.0	1.2	1.2 (H-100程度)	無筋コンクリート
D	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	著しい風 化岩、断 層、破碎 帯、軟質 土砂等	切羽が自立する地山	15	0.6De	1.0以下	1.0	1.0
			切羽が自立しないた めに鏡止めが必要と なったり、支保工が 沈下したり、押し出 しがあるような地山					

- 注: 1) 圧力トンネルについては、内外水圧を考慮してライニングの種類を決定する。  
 2) Deはトンネル掘削断面の直径である。  
 3) 吹付けコンクリートの厚さは設計平均厚で示し、余吹き厚さは含まない。  
 4) ロックボルトは、表から計算した長さの直近の市販品を使用する。  
 5) タイプAでは、ロックボルトと鋼製支保工の採用是非の判断を行い、タイプDでは両方を採用する。  
 6) タイプD<sub>2</sub>は地山条件に応じて、剛な支保工の採用や変形余裕量を考慮するものとする。

解説表 3.4 道路トンネル（小断面）の標準的な支保パターンの例<sup>4)</sup>

(小断面トンネル 内空幅3.0~5.0m程度)

地山等 級	支保 パターン	標準 -掘 進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工		吹付け厚 (cm)	覆工厚 <sup>*</sup> (cm)	掘削 工法
			長さ(m)	施工間隔		施工範囲	種類	建込 間隔 (m)			
				周方 向 (m)	延長 方向 (m)						
B	B	2.0	なし	-	-	-	なし	-	5	20	全断面 工法
CI	CI	1.5	2.0	1.2	1.2~ 1.5	上、下半	なし	-	5	20	
CII	CII	1.2									
DI	DI	1.0	2.0	1.0	1.0	上、下半	H-100	1.0	10	20	
DI	DI	1.0	2.0~ 3.0	1.0 以下	1.0	上、下半	H-100	1.0	10~12	20	

\*1 当該トンネルの利用状況および地山状況などを考慮し、覆工の省略を検討する必要がある。

解説表 3.5 新幹線トンネル(中断面)の標準的な支保パターンの例<sup>1)</sup>

新幹線複線断面(掘削直径10~11m程度)

標準支保パターン	支保部材	ロックボルト			吹付けコンクリート厚(cm)		鋼製支保工 種類
		配置	長さ×本数 (m) (本)	掘削間隔 (m)	アーチ, 側壁	インバート	
IV <sub>0</sub>	—	—	—	—	5 (平均)	—	—
III <sub>0</sub>	アーチ	2×0~6	(随意)	—	10 (平均)	—	—
II <sub>0</sub>	アーチ	3×10	1.5	—	10 (平均)	—	—
I <sub>0</sub>	アーチ, 側壁	3×14	1.0	—	15 (最小)	—	(125H) <sup>2)</sup>
I <sub>0</sub>	アーチ, 側壁	3×8 4×12 <sup>3)</sup>	1.0	—	15 (最小)	15 (最小)	150H
I <sub>0</sub>	アーチ, 側壁	3×12	1.0	—	20 (最小)	—	125H

\*1 4mのロックボルトはSL付近(アーチ脚部および側壁)に再設置する。

\*2 鋼製支保工を用いる場合には、( )内の種類とする。

(その他) 標準支保パターンの分類記号は、地山等級と対応するためP(Pattern)のサフィックスをつけた。

解説表 3.6 道路トンネル(中断面)の標準的な支保パターンの例(文献<sup>1)</sup>を一部加筆修正)

(通常断面トンネル 内空幅3.5~12.5m程度)

等級 地山	支保パターン	標準掘進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形 余裕量 (cm)	掘削 工法
			長さ (m)	施工間隔		施工範囲	上半部 種類	下半部 種類	建込 間隔 (m)		アーチ, 側壁 (cm)	インバ ート (cm)		
				周 方向 (m)	延長 方向 (m)									
B	B	2.0	3.0	1.5	2.0	上半 120°	—	—	5	30	0	0	補助ベンチ付 全断面 工法ま たは上 部半断 面工法	
CI	CI	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	—	—	10	30	(40)	0		
CII	CII-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上, 下半	—	—	10	30	(40)	0		
	CII-b						II 125	—						1.2
DI	DI-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上, 下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45		0
	DI-b		4.0											
DII	DII	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上, 下半	H-150	H-150	1.0 以下	20	30	50	10	

注1) 支保パターンのa, bの区分は、地山等級がCII, DIの場合はbを基本とし、トンネル掘削に伴う変位が小さく、切羽が安定すると予想される場合はaの適用を検討する。

注2) インバートについて

- ① ( )内に示した地山等級範囲において、第一紀の泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘土化しやすい岩、および風化した結晶片岩、温泉余土などの場合は( )の厚さを有するインバートを設置する。
- ② 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上, 下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ, 側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ③ 地山等級がDIであっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注3) 金網について

- ① 地山等級がCIにおいては、一般に上半部に設置する。なお、DIIにおいては、上, 下半部に設置するのが通例である。
- ② 鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は、金網を省略できる。

注4) 変形余裕量について

地山等級がDIIにおいては、上部半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上, 下半部に变形余裕量として10cm程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注5) 地山等級A, EIについては、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注6) 通常断面の適用範囲であっても、大断面との境界付近で上半三心円などの扁平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

解説表 3.7 道路トンネル（大断面）の標準的な支保パターンの例<sup>1)</sup>

(大断面トンネル 内空幅2.5～14.0m程度)

地山等級	支保パターン	標準掘進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形余裕量 (cm)	掘削工法
			長さ (m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔 (m)		アーチ側壁 (cm)	インバート (cm)		
				周方向 (m)	延長方向 (m)									
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	-	-	10	40	-	0	補助ベンチ付全断面工法， 上半断面工法， 中壁分割工法， 中央導坑先進工法	
C I	C I	1.5	4.0	1.2	1.5	上， 下半	-	-	15	40	(45)	0		
C II	C II	1.2	4.0	1.2	1.2	上， 下半	H-150	-	1.2	15	40	(45)		0
D I	D I	1.0	6.0	1.0	1.0	上， 下半	H-150	H-150	1.0	20	40	50		0
D II	D II	1.0 以下	6.0	1.0	1.0 以下	上， 下半	H-200	H-200	1.0 以下	25	40	50		10

解説表 3.8 高速道路トンネル（大断面）の標準的な支保パターンの例<sup>2)</sup>

三車線高速道路断面（掘削断面積150～200m<sup>2</sup>程度）

(注 先進導坑を伴う場合は表中の一掘進長が変わる)

地山等級	支保パターン	標準掘進長 (m)	ロックボルト				吹付け コンクリート (高強度)	鋼アーチ支保工		覆工 (cm)		変形 余裕 (cm)
			長さ (m)	耐力 (KN)	周方向 (m) [㎡/本]	延長 方向 (m)	厚さ (cm)	上半 サイズ	下半 サイズ	アーチ側 壁	イン バート	
上半先進工法												
B	B	2.0	上半4.0 下半4.0	上半170*1 下半170*1	2.0 [3.8]	2.0	10 (上半のみ繊維補強)	-	-	40	-	0
C I	C I	1.5	上半6.0 下半4.0	上半290*2 下半170*2	2.0 [2.9]	1.5	15	HH-154*3	-	40	55	0
C II	C II	1.2	上半6.0 下半4.0	上半290*2 下半170*2	1.6 [1.8]	1.2	15	HH-154*3	HH-154*3	40	55	0
D I	D I	1.0	上半6.0 下半6.0	上半290*2 下半170*2	1.5 [1.4]	1.0	20	HH-154*3	HH-154*3	50*4	70	0
	D II	個別に設計										
	D III	坑口部の設計										

\*1 ロックボルトの充てん材は早強モルタルを採用する。

\*2 ロックボルトの設計耐力は、上半断面では290KNを採用しているが、計測結果により耐力的に問題ないと判断される場合は、170KNにすることができる。また、ロックボルトは、変位が大きい場合にはねじり棒鋼を採用し、さらに耐力が不足する場合は本数を増す等の検討を要する。

\*3 高規格鋼アーチ支保工

\*4 D I パターンの覆工内鉄筋については、単鉄筋を標準とする。

\*5 千鳥配置とする。

解説表 3.9 道路トンネル坑口部 (中断面) の標準的な支保パターンの例<sup>9)</sup>

(通常断面トンネル 内空幅8.5~12.5m程度)

掘削工法	掘進長 (m)	ロックボルト (フォアボーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚 (cm)		
		長さ (m)	施工間隔		上半部 種類	下半部 種類	建込間隔 (m)		アーチ、 側壁 (cm)	インバー ト (cm)	
			周方向 (m)	延長方向 (m)							
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	35	50	
側壁導坑 先進工法	本坑	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	--	1.0以下	25	35	50以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	--	--

注) ( ): フォアボーリングを示す。

注1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは4mを標準とする。

注2) フォアボーリングは、天端120°の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質および工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。

注3) 金網は、上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上、下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合はこの限りではない。

解説表 3.10 道路トンネル坑口部 (大断面) の標準的な支保パターンの例<sup>9)</sup>

(大断面トンネル 内空幅12.5~14.0m程度)

掘削工法	掘進長 (m)	ロックボルト (フォアボーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		
		長さ (m)	施工間隔		上半部 種類	下半部 種類	建込間隔 (m)		アーチ、 側壁 (cm)	インバー ト (cm)	
			周方向 (m)	延長方向 (m)							
上部半断面工法	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	45	50	
上半中壁 分割工法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	45	50
	中壁	1.0	3.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-150	--	1.0	15	--	--
側壁導坑 先進工法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0以下 (1.0以下)	H-200	--	1.0以下	25	45	50以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	--	--
中央導坑 先進工法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0以下 (1.0以下)	H-200	H-200	1.0以下	25	45	50以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125	H-125	1.0	10	--	--

注) ( ): フォアボーリングを示す。

注1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは6mを標準とする。

注2) 中壁分割工法での先進坑施工時に中壁に設置するロックボルト、中央導坑先進工法での導坑施工時に設置するロックボルトは、後進坑、本坑の掘削を考慮して、ファイバー補強プラスチック棒 (FRP) のロックボルトなど撤去、切断しやすいものも使用できる。

注3) フォアボーリングは、天端120°の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質および工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。

注4) 一次支保状態での断面閉合効果が期待出来るように、吹付けコンクリートの脚部はインバートで受けるものとする。

注5) 金網は、上部半断面工法、上半中壁分割工法、中央導坑先進工法の場合は上、下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合はこの限りではない。

注6) 断面の大型化に伴って、坑口部においては入念に偏圧対策を検討する必要がある。

注7) 面壁型坑門を用いる場合、面壁の厚さとトンネル覆工の厚さの差を十分考慮して、面壁との接合箇所の覆工厚さを決定しなければならない。

## 附錄三：補助工法分類表

解説 表 5.1 補助工法の分類表

工 法	目 的							対象地山			摘 要	
	施工の安全確保				周辺環境の保全			硬 岩	軟 岩	土 砂		
	切羽安定対策			地下 水 対 策	地表面 沈 下 対 策	近 接 構造物 対 策						
	天端の 安定	鏡面の 安定	脚部の 安定									
先 受 け 工	フォアボーリング (充填式、注入式)	○						○	○	○		
	長尺フォアパイリング	○					○	○		○	*2	
	パイプルーフ	○					○	○		○	*1	
	水平ジェットグラウト (噴射攪拌)	○	○	○			○	○		○	*1	
	スリットコンクリート	○					○	○		○	*1	
鏡 面 の 補 強	鏡吹付けコンクリート		○					○	○	○		
	鏡ボルト		○					○	○	○		
	長尺鏡ボルト		○				○	○	○	○		
脚 部 の 補 強	脚部補強ボルト			○			○		○	○		
	脚部補強パイル			○			○		○	○	*2	
	仮インパート			○			○		○	○		
地 下 水 位 対 策	排 水	水抜きボーリング	○	○	○	○			○	○	○	*2
		ウェルポイント	○	○	○	○					○	*1
		ディープウェル	○	○	○	○					○	*1
		水抜き坑	○	○	○	○			○	○	○	*1
	止 水	注入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*1
		遮断壁				○	○	○	○		○	*1
地 山 補 強	注入	○	○				○	○		○	*1	
	垂直縫地	○	○				○			○	*1	

注) ○: 比較的良好に採用される工法

\*1: 通常のトンネル施工機械設備, 材料で対処が困難な対策

\*2: 適用工法によって, トンネル施工機械設備, 材料で対処が異なる工法

表-5.16 補助工法の分類表

工 法	採用目的と効果									摘要
	施工の安全確保						周辺環境保全			
	切羽の安定						地下水位 低下対策 湧水対策	地表面沈下対策 近接構造物対策		
	天端の 安定	鏡の 安定	脚部沈下 の抑制	地下水 対策	先行変位 の抑制	掘削後の 変位抑制		先行変位 の抑制	掘削後の 変位抑制	
先 受 け 工	充填式・非充填式フォアボーリング	○								
	注入式フォアボーリング	○								
	圧入式短尺鋼管先受工	○								
	鋼管鋼欠板先受工	○								
	フォアパイル工	○	※		★	○	○	○	※	
	パイプラフ	○	※			○	○	○	○	
	水平ジェットグラウト	○	※			○	○	○	○	
	スリットコンクリート	○	※			○	○	※	○	
鏡 の 補 強	リングカット・核残し		○							
	鏡吹付け		○							
	短尺鏡ボルト		○							
	長尺鏡ボルト・長尺鏡補強工	○	○		★	○	※	○	※	
脚 部 の 補 強	補強ボルト			○			○		○	
	補強パイル			○			○		○	
	脚部注入			○			○		○	
	水平ジェットグラウト			○		○	○	○	○	
	仮インバート			○			○			
	根固めコンクリート			○			○		○	
	サイドパイル			○			○		○	
湧 水 対 策 ・ 地 山 補 強	水抜き坑	○	○	※	○					
	水抜きボーリング	○	○	※	○					
	ディープウェル	○	○	※	○			◎		
	ウェルポイント	○	○	※	○					
	止水注入	※	※	※	○	※	※	○	※	※
	地山改良	○	○	○	※	○	○	○	○	○
	垂直縫地	○	○	※		○	※		○	○
	遮断壁	※	※	※	○	○	○	○	○	○

評価の表示;○:採用の主目的、※:地山条件によっては効果のある項目または、主要目的から発生する副次的効果、★:地下水位の確認や突発湧水対策としての探り穿孔の効果、◎:リチャージウェル工法との併用、いずれも効果の大きさを示すものではない

印を記した目的でも地山条件によっては効果の乏しい場合があり、同じ工法の範疇にあっても、個別の工法によって効果に差が生じる場合があるので、選定にあたっては適用条件を十分に検討する必要がある

表 6.1.2 補助工法の選定 (2006 年制定トンネル標準示方書山岳工法・同解説を一部加筆修正)

工 法	目的							対象地山			区分	摘要	
	施工の安全確保			周辺環境の保全				硬岩	軟岩	土砂			
	施工の安全確保			地下水位 対 策	地表面 沈 下 対 策	接 近 構 造 物 策							
	天端の 安定	鏡面の 安定	脚部の 安定										
先 受 け 工	フォアボーリング (充填式、注入式)	○						○	○	○	A		
	長尺フォアパイルング	○					○	○		○	B	※1	
	パイプルーフ	○					○	○		○	B		
	水平ジェットグラウト (噴射攪拌)	○	○	○			○	○		○	B		
	プレライニング	○					○	○		○	B		
鏡 面 の 補 強	鏡吹付けコンクリート		○					○	○	○	A		
	鏡ボルト		○					○	○	○	A		
	長尺鏡ボルト		○				○		○	○	A		
脚 部 の 補 強	脚部補強ボルト			○			○		○	○	A		
	脚部補強パイル			○			○		○	○	B	※1	
	仮インバート			○			○		○	○	A		
地 下 水 位 対 策	排 水	水抜きボーリング	○	○	○	○				○	○	B	※1
		ウェルポイント	○	○	○	○					○	B	
		ディープウェル	○	○	○	○					○	B	
		水抜き杭	○	○	○	○				○	○	B	
	止 水	注入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	B	
		遮断壁				○	○	○	○		○	B	
地 山 補 強	注入	○	○				○	○		○	B		
	垂直縫地	○	○				○			○	B		

注) ○：比較的好く採用される工法，区分欄のA、Bは補助工法の区分を表す。

※1：適用工法によって，トンネル施工機械設備，材料で対処が異なる工法