

交通技術標準規範鐵路類工務部
鐵路明挖覆蓋隧道設計規範



交通部頒布
中華民國 105 年 12 月

交通技術標準規範鐵路類工務部
鐵路明挖覆蓋隧道設計規範

交通部頒布
中華民國 105 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

交通技術標準規範鐵路類工務部：

鐵路明挖覆蓋隧道設計規範／交通部「編」--初版.

-- 臺北市：交通部，民 105.12

面；公分

ISBN 978-986-05-1062-1 (平裝)

1. 鐵路工程 2. 隧道工程 3. 技術規範

442.55

105023048

交通技術標準規範鐵路類工務部

鐵路明挖覆蓋隧道設計規範

出版者：交通部

編審者：交通部

地 址：10052 臺北市仁愛路 1 段 50 號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/ctj?xltem=4932&ctNode=154&mp=1>

電 話：(02)2349-2072

出版年月：中華民國 105 年 12 月

印 刷 者：宏仁影印社

地 址：台北市新生南路 3 段 70 巷 1 號 1 樓

電 話：(02)2363-9407

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

定 價：每本新台幣 200 元正

本書同時刊載於交通部網頁

展售處：五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號

電話：(04) 2226-0330

國家書店松江門市：10485 臺北市松江路 209 號 1 樓

電話：(02) 2518-0207

GPN：1010502733

ISBN：978-986-05-1062-1 (平裝)

鐵路明挖覆蓋隧道設計規範

類：鐵路類

部：工務部

規範：鐵路明挖覆蓋隧道設計規範

複審作業小組

行政召集人：李泰興

委託召集人：陳正興

複審委員：呂新喜、宋裕祺、林三賢、林宏達、柯鎮洋、胡銘煌、
張惠文、陳俊宏、陳江淮、彭家德、黃俊鴻、黃崇仁、
黃炳勳、廖文義、葛宇甯、賴順政、蘇鼎鈞

(人名依姓氏筆劃為序)

工作人員：吳文隆、邱俊翔、徐雅涵、盧鑫宜

(人名依姓氏筆劃為序)

草案編訂小組

執行單位：社團法人中華民國結構工程學會

計畫主持人：蔡益超

共同主持人：宋裕祺

研究人員：何泰源、尹世洵、歐文爵、陳俊樺

工作人員：邱毅宗、粘晉銘、陳竑瑋

前 言

於都會區辦理鐵路地下化工程經常採用明挖覆蓋工法，其設計規範之訂定與頒布至為重要。交通部鐵路改建工程局(以下簡稱鐵工局)依本部 98 年 9 月 2 日召開之「研商部頒技術規範草案研擬作業之分工及機制會議」決議，研訂軌道類隧道及地下工程技術規範草案，該局爰於 100 年委託社團法人中華民國結構工程學會辦理，完成「鐵路明挖覆蓋隧道設計規範草案」之擬訂及初審。為使規範內容更臻完善，本部賡續於民國 105 年 4 月委託中華民國地震工程學會辦理「鐵路明挖覆蓋隧道設計規範複審工作」，邀集國內對明挖覆蓋隧道設計具專長之學者以及具實務經驗之專家，組成審查委員會進行複審工作。複審作業期間，召開多次分組工作會議，研議草案條文，並歷經十次審查會議，反覆討論，獲致共識，始克定案。

本規範包括「總則」、「調查」、「規劃」、「材料、載重與載重組合」、「結構工程」、「大地工程」、「防洪與排水工程」、「防水工程」等八章節及相關內容。本規範編訂原則敘明如下：

- 1、本規範依鐵路法第十九條之規定訂定，原則上適用於深度 40 公尺以內的明挖覆蓋隧道之調查、規劃與設計。
- 2、本規範係依據本部 92 年頒布之『公路隧道設計規範』、內政部營建署 102 年修正公告之『共同管道工程設計規範』、台北市政府捷運工程局 87 年修正公告之『台北都會區大眾捷運系統土木工程設計手冊』、中國土木水利工程學會 88 年出版之『隧道工程設計準則與解說』與日本社團法人土木學會 85 年出版之『日本隧道工程標準規範及解說-明挖覆蓋工法篇』為藍本進行修訂，並考量國內相關工程實務與研究成果，針對鐵路明挖覆蓋隧道工址之調查、規劃與設計訂定相關規範。
- 3、本規範採原則性之規定，實際應用時仍需依據學理及工程實務進行設計。本規範未規定者，得引用其他法規及相關規範等辦理。

規範條文目錄

第一章 總則	1
1.1 適用範圍	1
1.2 相關法令規定	1
第二章 調查	1
2.1 調查目的	2
2.2 工址條件調查	2
2.3 障礙物調查	2
2.4 地盤調查	3
2.5 環境保護所需之調查	3
第三章 規劃	3
3.1 基本原則	4
3.2 隧道設置位置	4
3.3 淨空斷面	4
3.4 工法選擇	4
3.5 隧道附屬設備	4
3.6 工程期程	5
第四章 材料、載重與載重組合	6
4.1 一般說明	6
4.2 材料	6
4.2.1 混凝土	6
4.2.2 鋼筋	6
4.2.3 鋼材	6
4.2.4 預力混凝土	6
4.3 載重	7
4.3.1 自重	7
4.3.2 覆蓋載重	7
4.3.3 列車活載重	8
4.3.4 衝擊力	8
4.3.5 離心力	8
4.3.6 煞車力及起動力	8
4.3.7 列車之水平側向力及車輪橫壓力	9
4.3.8 地面上之載重	9
4.3.9 施工時之載重	9

4.3.10	土壓力、水壓力	9
4.3.11	鄰近結構物造成之載重	9
4.3.12	溫度變化及乾燥收縮之影響	10
4.3.13	明挖覆蓋隧道之支柱衝擊力	10
4.4	耐震設計	10
4.4.1	地盤分類	11
4.4.2	工址最大水平地表加速度	11
4.4.3	設計變形效應	12
4.4.4	矩形隧道考量土壤結構互制效應之耐震設計基本原則	13
4.4.5	周邊地盤液化	14
4.5	載重組合	14
4.5.1	不含地震力作用下之載重組合	14
4.5.2	含地震力作用下之載重組合	14
第五章	結構工程	17
5.1	一般說明	17
5.2	設計考量	17
5.2.1	結構計算基本原則	17
5.2.2	結構主體之穩定性	17
5.2.3	結構主體之斷面力計算	18
5.2.4	斷面剛構架之設計	18
5.2.5	版之設計	19
5.2.6	梁之設計	19
5.2.7	柱之設計	19
5.2.8	牆之設計	19
5.3	利用地下連續壁作為部分主體結構物之設計	20
5.3.1	適用範圍	20
5.3.2	設計基本原則	20
5.3.3	結構型式之選定	20
5.3.4	載重及斷面力	20
第六章	大地工程	21
6.1	一般說明	21
6.2	設計基本原則	21
6.3	擋土設施	21
6.3.1	擋土設施之穩定性分析	21
6.3.2	擋土壁斷面之設計	22
6.3.3	橫擋之設計	22

6.3.4	支撐之設計	22
6.3.5	斜撐之設計	23
6.3.6	地錨設計	23
6.3.7	擋土壁及中間柱之支承力	23
6.3.8	擋土壁之變形及背面地盤變位之檢核	23
6.4	鄰近結構物及既有設施之變位控制	24
6.5	其他特殊考量	24
第七章	防洪及排水工程	25
7.1	一般說明	25
7.2	引道段排水	25
7.3	明挖覆蓋隧道段與地下車站排水	25
7.3.1	明挖覆蓋隧道與地下車站排水主要考量項目	26
7.3.2	設計注意要點	26
7.4	防洪保護設計	27
第八章	防水工程	28
8.1	一般說明	28
8.2	防水方法	28
8.3	防水等級	28
8.4	防水設計細節	28

規範解說目錄

第一章 總則	C-1
C1.1 適用範圍	C-1
C1.2 相關法令規定	C-2
第二章 調查	C-3
C2.1 調查目的	C-3
C2.2 工址條件調查	C-3
C2.3 障礙物調查	C-5
C2.4 地盤調查	C-6
C2.5 環境保護所需之調查	C-12
第三章 規劃	C-14
C3.1 基本原則	C-14
C3.2 隧道設置位置	C-14
C3.3 淨空斷面	C-15
C3.4 工法選擇	C-15
C3.5 隧道附屬設備	C-17
C3.6 工程期程	C-18
第四章 材料、載重與載重組合	C-20
C4.1 一般說明	C-20
C4.2 材料	C-20
C4.2.1 混凝土	C-20
C4.2.2 鋼筋	C-20
C4.2.3 鋼材	C-20
C4.2.4 預力混凝土	C-21
C4.3 載重	C-21
C4.3.1 自重	C-21
C4.3.2 覆蓋載重	C-22
C4.3.3 列車活載重	C-23
C4.3.4 衝擊力	C-25
C4.3.5 離心力	C-25
C4.3.6 煞車力及起動力	C-26
C4.3.7 列車之水平側向力及車輪橫壓力	C-26
C4.3.8 地面上之載重	C-26
C4.3.9 施工時之載重	C-28

C4.3.10 土壓力、水壓力	C-28
C4.3.11 鄰近結構物造成之載重	C-30
C4.3.12 溫度變化及乾燥收縮之影響	C-30
C4.3.13 明挖覆蓋隧道之支柱衝擊力	C-30
C4.4 耐震設計	C-31
C4.4.1 地盤分類	C-31
C4.4.2 工址最大水平地表加速度	C-32
C4.4.3 設計變形效應	C-33
C4.4.4 矩形隧道考量土壤結構互制效應之耐震設計基本原則	C-35
C4.4.5 周邊地盤液化	C-39
C4.5 載重組合	C-39
C4.5.1 不含地震力作用下之載重組合	C-39
C4.5.2 含地震力作用下之載重組合	C-39
第五章 結構工程	C-40
C5.1 一般說明	C-40
C5.2 設計考量	C-40
C5.2.1 結構計算之基本原則	C-40
C5.2.2 結構主體之穩定性	C-41
C5.2.3 結構主體之斷面力計算	C-43
C5.2.4 斷面剛構架之設計	C-48
C5.2.5 版之設計	C-49
C5.2.6 梁之設計	C-51
C5.2.7 柱之設計	C-51
C5.2.8 牆之設計	C-52
C5.3 利用地下連續壁作為部分主體結構物之設計	C-52
C5.3.1 適用範圍	C-52
C5.3.2 設計基本原則	C-52
C5.3.3 結構型式之選定	C-52
C5.3.4 載重及斷面力	C-53
第六章 大地工程	C-55
C6.1 一般說明	C-55
C6.2 設計基本原則	C-55
C6.3 擋土設施	C-56
C6.3.1 擋土設施之穩定性分析	C-56
C6.3.2 擋土壁斷面之設計	C-57
C6.3.3 橫擋之設計	C-57

C6.3.4	支撐之設計	C-60
C6.3.5	斜撐之設計	C-61
C6.3.6	地錨設計	C-62
C6.3.7	擋土壁及中間柱之支承力	C-62
C6.3.8	擋土壁之變形及背面地盤變位之檢核	C-65
C6.4	鄰近結構物及既有設施之變位控制	C-69
C6.5	其他特殊考量	C-69
第七章	防洪及排水工程	C-70
C7.1	一般說明	C-70
C7.2	引道段排水	C-70
C7.3	明挖覆蓋隧道與地下車站排水	C-71
C7.3.1	明挖覆蓋隧道與地下車站排水主要考量項目	C-71
C7.4	防洪保護設計	C-72
第八章	防水工程	C-74
C8.1	一般說明	C-74
C8.2	防水方法	C-74
C8.3	防水等級	C-75

參考文獻

表目錄

表 C2.1 地下管線等埋設物各階段調查概要	C-6
表 C2.2 地盤調查概要	C-11
表 C4.1 回填土的單位體積重量	C-22
表 C5.1 地盤反力的計算方法與分佈形狀	C-45
表 C8.1 防水等級建議	C-75

圖目錄

圖 C4.1 發生相對變位時，作用於隧道上方的垂直土壓	C-23
圖 C4.2 軌道上車輪載重之分佈寬度	C-25
圖 C4.3 覆土深度與載重示意圖	C-27
圖 C4.4 地下結構物之影響區示意圖	C-30
圖 C4.5 SH 波沿地下結構物軸向 θ 角方向作用	C-33
圖 C4.6 地下結構物變形分量計算	C-33
圖 C4.7 地下結構物剪力變形圖	C-34
圖 C4.8 地震強制變位之應用	C-37
圖 C4.9 設計地震時之結構型態	C-38
圖 C5.1 視結構物為剛體或彈性體的區分	C-47
圖 C5.2 縱斷面方向之應力	C-48
圖 C5.3 單向版的有效寬度(簡支承的情形)	C-49
圖 C5.4 懸臂版的有效寬度	C-51
圖 C5.5 利用地下連續壁作為部分主體的結構型式	C-53
圖 C6.1 銜接部份之補強	C-58
圖 C6.2 使用斜撐時橫檔有效跨徑的計算方法	C-59
圖 C6.3 端部的橫擋	C-59
圖 C6.4 使用地錨的鋼製橫擋	C-60
圖 C6.5 作用於斜撐的軸向力計算	C-62
圖 C6.6 中間柱的周長及底端面積的取法	C-64
圖 C6.7 擋土壁的周長及底端面積的取法	C-65
圖 C6.8 施工過程所造成背面地盤變位的示意圖	C-66
圖 C6.9 開挖過程所產生的擋土壁變形與背面地盤變位	C-67

規範條文

第一章 總則

1.1 適用範圍

本規範適用於鐵路工程明挖覆蓋工法建造隧道之調查、規劃與設計，如有未規定者，可參考其他相關規範辦理規劃與設計。

1.2 相關法令規定

明挖覆蓋隧道之調查、規劃與設計，應掌握工程施行之相關法令規定，以確認施工可行性。

第二章 調查

2.1 調查目的

調查之目的在獲得隧道規劃、設計、施工、營運及周邊環境保護所需資料。至少應包括下列調查項目：

- (1) 工址條件調查
- (2) 障礙物調查
- (3) 地盤調查
- (4) 環境保護所需之調查

2.2 工址條件調查

工址條件調查應針對下列主要項目施行：

- (1) 土地利用及權益狀況
- (2) 道路及交通狀況
- (3) 地形狀況
- (4) 工程用地狀況
- (5) 河流及湖沼等狀況
- (6) 區域排水狀況
- (7) 相關計畫

2.3 障礙物調查

障礙物調查應針對下列主要項目施行：

- (1) 地上及地下構造物
- (2) 地下管線等埋設物
- (3) 舊建物及臨時工程之殘留物

2.4 地盤調查

地盤調查應依工程階段進行初步調查與主要調查，於設計或施工階段，若發現調查結果不敷使用時，則應再辦理補充調查。地盤調查應針對下列主要項目施行：

- (1) 地層構造
- (2) 地層性質與參數
- (3) 地下水
- (4) 是否有缺氧空氣及有毒氣體存在

上述調查應適當使用資料蒐集、踏勘、地表地質測繪、地球物理探查、鑽探、試挖、現地試驗或室內試驗等方法施行。

2.5 環境保護所需之調查

針對隧道工程之周邊環境，應針對下列事項進行調查：

- (1) 噪音及振動
- (2) 地盤下陷
- (3) 地下水
- (4) 營建廢棄物之處理
- (5) 鄰近建築物之狀態
- (6) 古蹟及文化遺址

第三章 規劃

3.1 基本原則

明挖覆蓋隧道之規劃，應符合使用目的，達安全與經濟之要求，且隧道之建造應降低對周邊環境之影響。

3.2 隧道設置位置

隧道深度與平面位置之決定，應綜合考量工址條件、障礙物、環境條件、地盤條件、施工條件等，其完工後之營運維護所需條件也應納入考量。

3.3 淨空斷面

明挖覆蓋隧道淨空斷面之決定，除須考量功能上及維護管理上所需之空間外，亦應探討隧道內各項設備安裝之淨空需求。

3.4 工法選擇

工法之選擇應就安全性、經濟性、施工性及周邊之環境保護等因素加以綜合考量，並針對擋土、開挖及結構體建造等選定適當之工法。

3.5 隧道附屬設備

明挖覆蓋隧道，應視需要設置下列設備：

- (1) 通風設備
- (2) 排水設備
- (3) 防洪設備

- (4) 照明設備及標誌
- (5) 消防逃生設備及安全監控系統
- (6) 通訊設備

3.6 工程期程

工程之期程應考慮工程規模、順序及施工方法等，擬定安全且經濟之施工計畫。

第四章 材料、載重與載重組合

4.1 一般說明

本章規定明挖覆蓋隧道結構設計相關之材料、載重與載重組合。

4.2 材料

材料應符合「中華民國國家標準」(CNS)之標準，若無相關標準時得採用 ASTM 或其他國家相等之標準。

4.2.1 混凝土

混凝土應符合「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」之有關規定。

4.2.2 鋼筋

鋼筋應符合「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」之有關規定。

4.2.3 鋼材

鋼材應符合「鋼構造建築物鋼結構施工規範」及「道路工程（含共同性工程）施工規範」之有關規定。

4.2.4 預力混凝土

預力混凝土應符合「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規

範」之有關規定。

4.3 載重

結構之設計應考量自重、自隧道外部作用之載重、隧道內部之載重及由此所產生之地盤反力，應包含下列載重及作用力進行分析：

- (1) 自重
- (2) 覆蓋載重
- (3) 列車活載重
- (4) 衝擊力
- (5) 離心力
- (6) 煞車力及起動力
- (7) 列車之水平側向力及車輪橫壓力
- (8) 地面上之載重
- (9) 施工時之載重
- (10) 土壓力、水壓力
- (11) 鄰近結構物造成之載重
- (12) 溫度變化及乾燥收縮之影響
- (13) 明挖覆蓋隧道之支柱衝擊力

4.3.1 自重

隧道自重至少須包括下列各項：

- (1) 所有結構構件之靜載重
- (2) 鐵路道碴、道板及鋼軌靜載重
- (3) 公共管線、電力管線及其固定設施等靜載重

4.3.2 覆蓋載重

決定作用於明挖覆蓋隧道之覆蓋載重時，應考慮自地面至隧道上面之深度、回填土及地下水之重量等。

4.3.3 列車活載重

設計列車活載重時，應對於該路線區域所用之列車與車輛進行重量之評估，其中包括對於結構物或構材造成最大影響之列車與車輛，並根據所採用車輛系統之列車車軸配置、車輛實際重量與最大承載重量等予以訂定。

4.3.4 衝擊力

列車產生的衝擊力必須依照交通部頒「鐵路橋梁設計規範」計算。

4.3.5 離心力

依據「鐵路橋梁設計規範」，離心力之標準值取為車輛重乘以下式所示之離心力係數 α_c 所得之值。

$$\alpha_c = \frac{V^2}{127R} \quad (4-1)$$

其中， α_c ：離心力係數

V ：列車或車輛於曲線上之最高速度（ km/h ）

R ：曲線半徑（ m ）

4.3.6 煞車力及起動力

煞車力及起動力之作用高度取為列車或車輛之重心位置，水平作用於軌道方向。

4.3.7 列車之水平側向力及車輪橫壓力

鐵路列車之水平側向力及車輪橫壓力之作用高度為鋼軌面，作用方向為垂直於軌道方向。多股道時之設計，兩作用力應同時施加於某一股道上，但對於單股道之設計，車輪橫壓力或車輛側向力僅考慮兩者之一即可。

列車車輛側向力與車輪橫壓力之計算應依「鐵路橋梁設計規範」之規定辦理。

4.3.8 地面上之載重

作用於隧道地面上之載重，一般為路面交通載重、列車載重、建築物載重及填土載重，應針對目前及將來之狀態加以考慮後決定之。

4.3.9 施工時之載重

設計時應考慮施工機具設備載重。

4.3.10 土壓力、水壓力

設計結構物須考慮土壤與地下水所引起的土壓力、水壓力與上浮力。

4.3.11 鄰近結構物造成之載重

明挖覆蓋隧道結構物之設計，應足以承受來自既有或未來鄰近建築物或結構物之額外載重。若建築物整體或其中某部分基礎系統是位於明挖覆蓋隧道結構物的影響區之內者，則應被視為鄰近之建築物。

每一棟既有結構物應依現況個別考慮垂直載重及由垂直載重造成之側向壓力。

4.3.12 溫度變化及乾燥收縮之影響

一般之情況，明挖覆蓋隧道可不考慮受溫度變化及混凝土乾燥收縮之影響。

4.3.13 明挖覆蓋隧道之支柱衝擊力

明挖覆蓋隧道結構物之支柱可分為 A 類、B 類與 C 類等三種，各類支柱所受衝擊力規定如下：

(1) A 類支柱：不需考慮衝擊力。

(2) B 類支柱衝擊力的作用：

平行於軌道中心線方向 100 *tf*。

垂直於軌道中心線方向 50 *tf*。

在任何狀況下，衝擊力作用點的位置均假設在鋼軌面上方 2 公尺處。

(3) C 類支柱衝擊力的作用：

平行於軌道中心線方向 200 *tf*。

垂直於軌道中心線方向 100 *tf*。

在任何狀況下，衝擊力作用點的位置均假設在鋼軌面上方 2 公尺處。

對於 C 類支柱，亦必須針對支柱破壞的可能情況進行分析、計算。

計算時，平行及垂直於軌道中心線之衝擊力將不必同時作用於一支柱上。

4.4 耐震設計

本節之耐震設計適用於長條形之明挖覆蓋隧道。

明挖覆蓋隧道耐震設計應符合以下兩項條件：

(1) 考量中度地震作用時，結構體在第 4.5.2 節之載重組合下須維持

在彈性範圍內。

- (2) 考量設計地震作用時，結構體在第 4.5.2 節之載重組合作用下不得崩塌。

4.4.1 地盤分類

用於決定工址地盤放大係數之地盤分類，除臺北盆地區域外，依工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 \bar{V}_{s30} 決定之。其中， $\bar{V}_{s30} \geq 270$ m/s 者為第一類地盤（堅實地盤）； $180 \text{ m/s} \leq \bar{V}_{s30} < 270 \text{ m/s}$ 者，為第二類地盤（普通地盤）； $\bar{V}_{s30} < 180 \text{ m/s}$ 者，為第三類地盤（軟弱地盤）。

工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 \bar{V}_{s30} 依下列公式計算：

$$\bar{V}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n d_i / V_{si}} \quad (4-2)$$

其中， d_i 為第 i 層土層之厚度(m)，滿足 $\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m}$ 。 V_{si} 為第 i 層土層之平均剪力波速(m/sec)，可使用實際量測值，或依下列經驗公式計算：

粘性土層：

$$V_{si} = \begin{cases} 120q_u^{0.36} ; N_i < 2 \\ 100N_i^{1/3} ; 2 \leq N_i \leq 25 \end{cases} \quad (4-3a)$$

砂質土層：

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} ; 1 \leq N_i \leq 50 \quad (4-3b)$$

其中， N_i 為由標準貫入試驗所得之第 i 層土層之平均 N 值； q_u 為第 i 層土層之單壓無圍壓縮強度(kgf/cm^2)。有關土層剪力波速之求取亦可由現場試驗求得。

若非粘性土層與砂質土層者，土層之剪力波速可由現場試驗求得。

4.4.2 工址最大水平地表加速度

工址最大水平地表加速度 A_{max} 依不同地震等級，按下式計算：

$$A_{max} = \begin{cases} \frac{0.4S_{DS}g}{2.0} & (\text{中度地震}) \\ 0.4S_{DS}g & (\text{設計地震}) \end{cases} \quad (4-4)$$

式中， g =重力加速度、 S_{DS} =工址短週期之設計地震水平譜加速度係數，分一般工址、近斷層區域及台北盆地區域三種情況計算如下：

(1) 一般工址：

$$S_{DS} = F_a S_S^D \quad (4-5)$$

其中， S_S^D 為震區堅實地盤短周期之水平譜加速度係數， F_a 為反應譜等加速度段之工址地盤放大係數，隨地盤種類與震區短週期水平譜加速度係數 S_S^D 改變。

(2) 近斷層區域：

$$S_{DS} = F_a (S_S^D N_A) \quad (4-6)$$

其中， N_A 為反應譜等加速度段之近斷層近域調整因子。考慮斷層近域效應時，工址放大係數 F_a ，應以 N_A 調整後之譜加速度係數決定。

(3) 台北盆地：

$$S_{DS} = 0.6 \quad (4-7)$$

以上有關 S_S^D 、 F_a 、 N_A 之計算以及台北盆地區域之認定，依交通部「鐵路橋梁耐震設計規範及解說」或內政部「建築物耐震設計規範及解說」之最新規定辦理。

4.4.3 設計變形效應

(1) 撓曲及軸向合應變量

地下結構物受到與其軸向成 45° 交角傳播之水平剪力波作用時，所造成之撓曲及軸向合應變量 ε_a 應依下式計算之。

$$\varepsilon_a = \pm \sqrt{\left(\frac{V_{\max}}{2C_s}\right)^2 + \left(0.177D \times \frac{A_{\max}}{(C_s)^2}\right)^2} \quad (4-8)$$

其中，

A_{\max} ：不同地震等級之工址最大水平地表加速度(cm/sec^2)。

V_{\max} ：不同地震等級之工址最大水平地表速度(cm/sec)。

C_s ：明挖覆蓋隧道中心位置所在深度土層之剪力波速(cm/sec)，可使用實際量測值，或依公式(4-2)經驗公式計算。

D ：地下結構物之寬度(cm)。

(2) 橫向剪應變量

地下結構物受到垂直傳遞剪力波作用時，其周圍土壤之橫向剪力應變量 γ 可依下式計算。

$$\gamma = \frac{V_{\max}}{C_s} \quad (4-9)$$

其中， V_{\max} 、 C_s 之定義同上。

在第一、第二類地盤(堅實、普通地盤)之明挖覆蓋隧道，其設計之結構橫斷面剪應變量 γ' 可直接以上式之 γ 值取代；在第三類地盤(軟弱地盤)及台北盆地之明挖覆蓋隧道，其 γ' 值須由 γ 值及考慮土壤結構互制作用決定之。

4.4.4 矩形隧道考量土壤結構互制效應之耐震設計基本原則

地下結構物耐震設計應考慮下列兩種因地震波作用所產生之結構物變形：

- (1) 垂直傳遞剪力波所造成之結構物橫斷面剪力變形。
- (2) 與地下結構物軸向成 45° 交角傳播之水平剪力波所造成之撓曲變形與軸向變形。

欲分析上述兩種地盤運動所造成地下結構物的變形，應考慮周圍土壤原有的變形趨勢，將其強制加於結構物上，但須同時考慮兩者之相對勁度及其所造成之互制作用，以求得結構物之變形程度。

4.4.5 周邊地盤液化

對於地震時可能產生液化現象之沖積飽和砂土層，應進行液化潛能判定及土壤參數之折減。

4.5 載重組合

4.5.1 不含地震力作用下之載重組合

(1) 靜載重(D)

依照 4.3 節中所列舉之靜載重計算。

(2) 活載重(L)

依照 4.3 節所列之列車活載重、衝擊載重、離心力、煞車力及起動力、列車之水平側向力及車輪橫壓力、以及地面上交通載重等計算。

(3) 水壓力(F)

(4) 土壓力(H)

設計構材組合之原則採用極限強度設計法(U.S.D)，載重組合如下：

一般情況

$$U = 1.2D + 1.6L + 1.2F + 1.6H \quad (4-12)$$

$$U = 0.9D + 0.9F + 1.6H \quad (4-13)$$

洪水情況

$$U = 1.2D + 1.6L + 1.2F + 1.6H \quad (4-14)$$

$$U = 0.9D + 0.9F + 1.6H \quad (4-15)$$

4.5.2 含地震力作用下之載重組合

(1) 載重組合

使用於中度地震狀況下，結構設計須考量以下載重組合：

$$U=1.2D+1.0L+1.2F+1.4H+1.0E \quad (4-10)$$

$$U=0.9D+0.9F+1.6H+1.0E \quad (4-11)$$

使用於設計地震狀況下，結構設計須考量以下載重組合：

$$U=1.0D+1.0L+1.0F+1.0H+1.0E \quad (4-12)$$

式中，

U = 係數化組合載重

D = 靜載重 (含覆土載重)

L = 活載重 (考量設計地震與中度地震之組合載重，除供公眾使用之場所、停車場或活載重 L 超過 500 kgf/m^2 之區域外， $1.0L$ 可減至 $0.5L$ 。)

E = 地震力或變形效應

F = 地下水作用力

H = 土壓力作用力

(2) 設計細節

- A. 設計者應選擇適當之拉力鋼筋比(ρ)，以避免產生突然壓碎之破壞行為。
- B. 在中度地震下，可以依照「混凝土結構設計規範」規定將彎矩重新分配。
- C. 在設計地震下，可考慮塑性鉸之存在。結構之穩定問題於極限狀況下必須加以考慮。
- D. 地下結構物之耐震設計，應考量下列二種狀態之較嚴重者：
 - a. 採用靜態載重條件加地震時之變形效應。
 - b. 採用靜態載重加上動態土壓力增量。此動態土壓力增量應依下列公式計算求得：

$$\Delta P = 0.375(A_{\max} / g)\gamma_s h \quad (4-13)$$

其中，

ΔP =動態土壓力增量(tf/m^2)，此動態土壓力增量(ΔP)應平均作用於結構物深度範圍內。

γ_s =土壤單位重(tf/m^3)

h =結構物之深度(m)，此深度係由設計地表面量起至結構物之底部止。

第五章 結構工程

5.1 一般說明

本章規定適用於明挖覆蓋隧道之結構設計。

5.2 設計考量

5.2.1 結構計算基本原則

明挖覆蓋隧道之結構計算，應考慮隧道周圍之地盤狀態，進行彈性分析為原則。

5.2.2 結構主體之穩定性

1. 設計明挖覆蓋隧道時，應確認地盤之支承力是否足以支承隧道之載重。
2. 設置於地下水位以下之明挖覆蓋隧道，須具備足夠抵抗上浮力之安全係數。
 - (1). 隧道抗浮安全係數，必須滿足下列條件（不包含側牆表面摩擦力）：
 - A. 僅考慮結構靜重及隧道頂部回填材料重，但不考慮頂層 50 公分厚的回填材料重量時，安全係數不得小於 1.03，另軌道和道碴重量均不予考慮。
 - B. 當結構體靜重、軌道、道碴、回填材料等重量全部考慮時，安全係數不得小於 1.07。惟如明挖覆蓋隧道結構體抗浮安全係數小於 1.07 時，需考慮連續壁壁體重且應設計連續壁與主體結構間之妥適抗浮接頭，此狀況在不計連續壁與土壤摩擦力時，其施工完成後，結構物之最小安全係數可降至 1.0，若局部區域之抗浮安全係數不足

時，應對該區域之向上浮力所造成整體結構之應力影響加以檢核。

(2). 引道抗浮安全係數，必須滿足下列條件（不包含側牆表面摩擦力）：

- A. 在不計道碴、鋼軌重條件下，安全係數不得小於 1.05。
- B. 必須檢核洪水期間結構物抵抗上舉力的安全性。在此情況，引道結構靜重、軌道重及道碴皆考慮為抵抗力，其安全係數必須大於 1.0。

3. 設置於軟弱地盤之明挖覆蓋隧道，必須要考慮地盤沉陷之影響。

5.2.3 結構主體之斷面力計算

結構主體之斷面力應針對第四章規定之各項載重組合所引致者進行計算。

5.2.4 斷面剛構架之設計

- (1) 剛構架結構包含梁、柱、版與牆等構材，構架分析時應考慮各構材之勁度、載重狀態以及支承條件。
- (2) 剛構架之軸線，以使其與構材斷面之形心一致為原則。除托肩(haunch)特大者外，一般可不計托肩之形心變化。
- (3) 剛構架之結構分析，以在節點處考慮全剛域為原則。
- (4) 剛構架之結構分析，一般可僅考慮構材之撓曲變形。但構材深度與構材淨跨長度之比大於 0.25 時，則應考慮剪力變形。
- (5) 剛構架分析使用之撓曲及剪力勁度，一般可用混凝土之全斷面計算。
- (6) 梁柱接頭處梁構材之剪力取距柱端梁有效深度位置為準。若托肩斜率大於 1/3 時，僅可取斜率 1/3 作為有效斷面計算之依據。

5.2.5 版之設計

- (1) 版之彎矩、剪力、扭矩及支承反力，可依據薄板理論或認可之近似方法計算之。
- (2) 版之跨徑定為支承面之中心間距。若支承面之縱深較長時，則取為淨跨徑加上跨徑中央處之版厚度。
- (3) 作用於版表面之集中載重，其分佈範圍取為沿實際接觸面外圍加 $1/2$ 版厚之範圍，其形狀需與實際接觸面相似。若版上方設置有如混凝土或瀝青混凝土等之上置層時，則取為沿實際接觸面外圍加 $1/2$ 版厚與上置層之厚度。若上置層之材料為軟弱者，則取其厚度之 $3/4$ 做為上置層之有效厚度。
- (4) 版設計之相關細節，依據「混凝土結構設計規範」之規定辦理。

5.2.6 梁之設計

- (1) 梁之斷面力，考慮結構型式及載重狀態，依彈性分析求算之。梁斷面之彎矩強度、剪力強度及扭矩強度，可用鋼筋混凝土之全斷面算出。
- (2) 梁之設計，依據「混凝土結構設計規範」之規定辦理。

5.2.7 柱之設計

- (1) 根據結構分析計算所得出之軸向力、彎矩及剪力等，進行斷面設計。
- (2) 柱設計之相關細節，依據「混凝土結構設計規範」之規定辦理。

5.2.8 牆之設計

牆設計之相關細節，依據「混凝土結構設計規範」之規定辦理。

5.3 利用地下連續壁作為部分主體結構物之設計

5.3.1 適用範圍

明挖覆蓋隧道應為完整獨立之箱型結構物，原則上不與地下連續壁共構。惟若受限於特殊條件且無妥適處理方式，必要時方可將連續壁作為主體結構物之一部分。

5.3.2 設計基本原則

利用地下連續壁作為主體結構物之一部分時，應特別考慮施工條件、載重條件及結構型式等因素進行設計。

5.3.3 結構型式之選定

利用地下連續壁作為主體結構物之一部分時，應考慮可靠性、經濟性及施工性等，選擇適當結構型式。

5.3.4 載重及斷面力

- (1) 設計所用之載重，應分別針對施工階段及完成後之狀態加以考量。
- (2) 依據結構型式、施工條件及載重條件，選擇適當之斷面力計算方法。
- (3) 計算斷面力之結構分析以剛構架分析模式為原則。

第六章 大地工程

6.1 一般說明

本章大地工程主要適用於明挖覆蓋隧道擋土支撐工程之規劃與設計。如有未規定者，可參考「建築物基礎構造設計規範」辦理。

6.2 設計基本原則

設計開挖擋土支撐系統時，應考慮作用載重、地形及土壤、擋土設施之種類、開挖深度、毗鄰結構物及周邊環境等。為掌握現有土層與地下水狀況，應進行相關地質調查與試驗，作為選擇設計參數之依據。

6.3 擋土設施

明挖覆蓋工法施工時，為了防止土壤崩塌或過大變形，應針對開挖規模、開挖深度、施工程序、地盤性質與環境條件等，選擇適當之擋土型式與工法，並進行擋土設施之設計。

擋土設施之設計應仔細探討施工中之載重，並探討各施工階段之地盤穩定性，以及擋土設施各部位之應力狀態與變位。

6.3.1 擋土設施之穩定性分析

明挖覆蓋隧道開挖時，擋土設施之穩定性分析，至少包括下列各項：

- (1) 貫入深度
- (2) 塑性隆起
- (3) 砂湧
- (4) 上舉
- (5) 施工各階段之整體穩定性分析

上列各項分析方法可參考「建築物基礎構造設計規範」之規定辦理。

6.3.2 擋土壁斷面之設計

- (1) 擋土壁斷面應足以抵抗各開挖階段造成之應力狀態，並具備足夠的安全餘裕度。
- (2) 擋土壁應考量土壓與水壓之水平作用力，甚至承受來自地面加載與地錨之作用力，設計時應妥為考量。
- (3) 若擋土壁非屬主體結構時，其構材設計之容許應力可酌予提高。

6.3.3 橫擋之設計

- (1) 橫擋應具備足夠之勁度與緊密接合性，以使作用於擋土壁之載重可有效傳遞至支撐。
- (2) 橫擋之設計載重，採用各開挖階段及主體構築時，造成之最大載重。
- (3) 橫擋可視為簡支梁分析之，其支點為支撐或地錨之位置。接合良好時，亦可當作連續梁分析。
- (4) 橫擋間隔之決定應考慮作業空間性，以及載重、擋土構件之強度與勁度等。

6.3.4 支撐之設計

- (1) 支撐應具有足夠斷面與勁度不因軸向力而挫屈。若無支撐長度太長，則應使用中間柱或繫桿等加勁構件。
- (2) 原則上不可在支撐上加載，否則應當作軸向力與彎矩作用之構件設計支撐。
- (3) 支撐接合處應作適當之補強，使具有足夠之強度。
- (4) 橫擋與支撐之銜接部分，不得有鬆脫之行為。

6.3.5 斜撐之設計

斜撐設計應具備足夠強度與勁度，使可順利傳遞支撐之力量。

6.3.6 地錨設計

- (1) 設計地錨時，應考慮結構物之規模、形狀、地盤條件及環境條件等，使其具有足夠抗拉拔強度。
- (2) 地錨須錨碇於良好之地盤，其長度及配置之決定，須考慮土壤條件、施工條件、環境條件、有無地下埋設物存在、擋土壁之應力、變位及結構系統之穩定等。
- (3) 地錨之初始拉力應考慮地盤條件、擋土壁之結構、擋土設置期間及施工方法等因素加以決定。
- (4) 台座及承板應具備足夠之強度以抵抗地錨之拉力，且不得產生有害之變形。

6.3.7 擋土壁及中間柱之支承力

- (1) 作用於擋土壁及中間柱之垂直載重，一般採用作用於覆蓋梁或埋設物專用梁之載重所生之最大反力。
- (2) 為使作用於擋土壁及中間柱之垂直載重分散，必要時，應考慮梁座構件之補強或斜向構件之安裝等。
- (3) 擋土壁及中間柱之地盤容許支承力，採用其極限支承力除以所定安全係數之值。
- (4) 設計擋土壁及中間柱時，作用之垂直載重應不超過其容許支承力。

6.3.8 擋土壁之變形及背面地盤變位之檢核

擋土壁之設計應針對各施工階段引致之擋土壁變形及背面地盤變位進行檢核。

6.4 鄰近結構物及既有設施之變位控制

在永久性或臨時性擋土結構設計時，應配置合宜之開挖支撐系統以控制壁體之撓曲變形量，並評估因開挖施工造成既有鄰近結構物產生之變位量，再行判定是否須實施保護措施，以確保施工影響範圍內之所有結構物不致發生因施工而遭受無法負荷之損壞。施工時應配置適當之監測儀器以監測鄰近結構物及既有設施之安全，並訂定各項監測儀器之警戒值與行動值。

6.5 其他特殊考量

若遇特殊開挖情況，設計時應針對其特有之工址狀況及地盤特性，妥為設計適當且具調整彈性之處理對策。

第七章 防洪及排水工程

7.1 一般說明

本章係針對防洪及排水工程規劃、設計與施工之需求而訂，以作為細部設計與施工之參考依據。

- (1) 地下結構防洪與排水設施之設計應考量周圍環境及地下結構功能需求等決定之。
- (2) 當周圍環境不允許地下水排入地下結構或因地下水質具腐蝕性不宜排入地下結構時，地下結構應設置完全之防水工因應，在設計時應考慮地下水壓。
- (3) 當周圍環境允許地下水排入地下結構時，地下結構內應設置適當之排水工，使地下水沿預設之通路排放。

7.2 引道段排水

- (1) 引道段排水依考量之降雨重現期之降雨強度設計，其相關流量及水力計算依合理化公式(Rational formula)及曼寧公式(Manning formula)計算之。
- (2) 引道段應設計適當之防洪設施，其標準不得低於防洪保護高程。另於引道段兩端入口處，應視實際需要增設防洪閘門或防水隔艙閘門，以防止地面逕流水或洪水灌入地下結構內。
- (3) 為避免降雨直接由引道口流入地下結構內，於引道口應設置橫向截流溝，並設置適當縱向排水系統。

7.3 明挖覆蓋隧道段與地下車站排水

明挖覆蓋隧道及地下車站所須排放之水流來源如下列：

- (1) 結構體、管路及管道之滲流與漏水。

- (2) 經由通風井流入之雨水及由列車帶入之雨水等。
- (3) 明挖覆蓋隧道及車站清洗作業所產生之外來水流，自消防管路、灑水頭流出之水流，以及列車空調設備之冷凝水等。

該等水流先收集至位於明挖覆蓋隧道或地下車站內之集水坑，再泵送至地面既有區域排水系統中。

7.3.1 明挖覆蓋隧道與地下車站排水主要考量項目

明挖覆蓋隧道及地下車站排水系統係用以收集因滲水、漏水、降水、外來水流等所造成之水流。該等水流經明挖覆蓋隧道內之排水溝渠及車站內之地板排水系統收集後，再流至集水坑中予以排出。

7.3.2 設計注意要點

- (1) 設計時應考量各排水管路日後清潔維護之便利性。清潔口之設置位置應考慮維護時之可及性，務使清潔維護作業之干擾性減至最低，且儘量使其作業得以在不須拆解裝修材料之情形下順利進行。
- (2) 考慮結構體與其周圍之差異沉陷，排水管進出結構體處須裝置撓性管或節點，其位置須正好位於結構體之外側。
- (3) 埋在混凝土內之排水管如在每一結構單元間之接縫處裝有連接器，則可允許管線在結構單元間移動。
- (4) 車站內之排水系統不得有任何部位穿越電氣室上方。
- (5) 電梯電扶梯機坑，應視需要設置落水頭等排水設施。
- (6) 集水坑、抽水機及排水管之設計必須能容納地下結構物撲滅典型火災之滿載水流。
- (7) 集水坑原則上設置在工程結構物最低處。
- (8) 隧道及其水溝應設置適當之排水坡度。

7.4 防洪保護設計

防洪保護標準所考量之洪水迴歸期除法規另有規定外，由鐵路機構決定之。所有永久性設施之設計均應採取適當之防護措施，以確保其不致遭受洪水淹沒或因洪水而遭受任何損害。

第八章 防水工程

8.1 一般說明

本章係針對明挖覆蓋隧道之防水工程提出說明，使能達到地下車站及明挖覆蓋隧道防水之目的。

明挖覆蓋隧道設計應考量各方向之防水需求，防止地下水滲入明挖覆蓋隧道。

8.2 防水方法

為達到地下結構物具有良好品質的防水效果，端賴多種能互補的防水處理相互配合。

8.3 防水等級

在地下水中之明挖覆蓋隧道，建議應符合下列所述等級 A 或 B 之防水要求。

	防 水 等 級	
	A	B
防水要求	結構物表面應保持乾燥，且應無滲漏、滲透或潮濕痕跡等。	結構物表面允許有潮濕痕跡，但不允許有可見之漏水及水流等。

8.4 防水設計細節

明挖覆蓋隧道結構體設計時，應考量施工階段之水平施工縫、垂直施工縫與伸縮縫等處設置合宜的防水措施，確保防水功能。

規範解説

第一章 總則

C1.1 適用範圍

本規範係依鐵路法第 19 條訂定，原則上適用於深度 40 公尺以內的明挖覆蓋隧道之調查、規劃及設計。有關軌道設計與定線規劃設計等，則依照各鐵路管理機關之相關規定辦理。

明挖覆蓋工法係指自地表向下挖至設計深度，建造結構物後，再回填覆蓋土之施工方法。通常係先施作擋土壁體，然後在地面施作覆工板，再進行斷面開挖及支撐，建造箱型隧道。

本規範如有未規定者，可參考以下相關規範之最新版本辦理：

- (1) 公路隧道設計規範(交通部)
- (2) 公路橋梁設計規範(交通部)
- (3) 鐵路橋梁設計規範(交通部)
- (4) 鐵路橋梁耐震設計規範(交通部)
- (5) 建築物基礎構造設計規範(內政部營建署)
- (6) 共同管道工程設計規範(內政部營建署)
- (7) 混凝土結構設計規範(內政部營建署)
- (8) 建築技術規則建築構造編(內政部)
- (9) 台北都會區捷運系統工程-土木工程設計準則(台北市政府捷運工程局)
- (10) 隧道工程設計準則與解說(中國土木水利工程學會)
- (11) 地錨設計與施工準則暨解說(中國土木水利工程學會)
- (12) 地錨應用於邊坡工程設計與施工規範(草案)(交通部國道新建工程局)
- (13) 潛盾隧道設計及施工準則與解說(中華民國隧道協會)
- (14) 鐵道構造物等設計標準・同解說耐震設計(日本鐵道綜合技術研究所)

- (15) 共同溝設計指針(日本道路協會)
- (16) 道路橋示方書(日本道路協會)
- (17) 日本隧道工程標準規範及解說-明挖覆蓋工法篇(日本社團法人土木學會)
- (18) 地錨設計、施工基準及解說(日本地盤工學會)

C1.2 相關法令規定

在進行調查、規劃與設計前，應瞭解相關法令規定，針對工址環境，事先探討可能影響未來工程進行的相關因素及其影響程度，以確認施工可行性。並瞭解各政府主管機關或管理單位在工程進行中所需之程序及時程，以確實評估工期。

第二章 調查

C2.1 調查目的

調查之目的在於取得探討明挖覆蓋施工法之適用性、隧道線形、幾何斷面及結構物、開挖施工方法、環境保護對策、工程安全對策、工程進度及費用等所需的資料，以妥善進行隧道之規劃、設計、施工及保護周邊環境的工作。

依據過去的工程經驗，有時為節省時間與費用而忽略必要之調查，可能在未來施工時，遭遇非預期之工程困難或人為阻礙，甚至發生工程災變事故，造成工程延誤或停擺；或者因變更工程設計與施工方法，造成各相關單位的嚴重困擾，因此應周詳規劃與執行所需之調查工作。調查資料不僅為規劃、設計與施工時所需，未來完工後，亦可供隧道維護管理之用。

C2.2 工址條件調查

工址條件調查係調查隧道經過地區附近的狀況，用於決定隧道的線形、幾何斷面及結構物等設計要項，並據以判斷可否採用明挖覆蓋工法及選定相關施工方法。調查所得資料主要用於隧道之規劃與設計階段，但亦可供施工階段使用。

(1) 土地利用及權益狀況

土地利用狀況調查係為掌握都市用地、農地、林地、公園、河流及湖沼等的土地利用狀況。尤其都市用地的情況，必須調查都市計畫法上的限制、土地發展現狀及土地利用的未來計畫等。此外，亦須調查是否有被指定的自然紀念物、歷史遺跡及重要文化資產等；或是否有地權及水利權的物權狀況，例如地下水補注之地質敏感區。此項調查係為掌握隧道經過地區附近的一般性地表與地下的限制條件。

(2) 道路及交通狀況

隧道施工用地須以施工圍籬為界，施工用地界線會因鄰近道路寬度、車道數、重要性、交通量及有無路面反覆挖掘等條件受到限制。施工用地的大小與可否設置施工道路、以及施工車輛進出路線的管制，對開挖剩餘土石方或各種廢棄材料的搬運，以及整體工程進度有甚大影響。因此在規劃、設計或施工階段，對於鄰近道路與其狀況須進行調查，藉以掌握整體交通狀況與調整施工作業。

(3) 地形狀況

地形狀況調查係依據文獻或地圖等既有資料之蒐集整理，以及現地踏勘等，調查高低差等地表實際地形狀況，藉以初步瞭解地層構造係屬單純或複雜，是否存在不利的地層與地下水等整體性地盤狀況。據此調查，可初步選定隧道的路線。

(4) 工程用地狀況

採用明挖覆蓋工法時，重機械的施工場地與出入動線，以及土砂搬運設備的設置場地等空間需求，是影響施工條件的重要因素。因此需事前進行調查，以確保工程用地的可行性。尤其於都市中心地區附近，大多難以確保足夠的施工用地，所以應在隧道設計階段特別留意。此外，必須在事前確認施工用地周邊的供電設施與供水、排水設施的狀況，以避免特殊情況下，發生施工用電、供水或排水容量不足之情形。

(5) 河流及湖沼等狀況

在河流底下設置隧道時，須調查河流的水文、航運、水利、潮水漲落差等，檢討開挖底面的穩定性。在毗鄰河流利用明挖覆蓋工法建造隧道時，為防止河水流入，需要臨時佔用河道地段時，亦須辦理同樣的調查。在湖沼等的情況，亦須據此辦理。

(6) 區域排水狀況

隧道之排水設計相當重要，須確保在設計洪水與極端暴雨

作用下，隧道尚能維持其交通功能與安全性。因此須調查隧道所經區域之排水狀況與水文條件，內容至少包括排水系統尺寸、流向、集水分區及排放口等狀況。

(7) 相關計畫

隧道設置位置周邊，若有地上及地下構造物或有埋設物的現行或未來相關計畫，則應針對上述結構位置及設置時期進行調查，必要時，尚須調整隧道路線，以免產生相互間的障礙。

C2.3 障礙物調查

障礙物調查係指調查對於設置隧道是否有直接妨礙或間接影響範圍內的各種障礙物。在隧道規劃階段，首先必須辦理初步調查，其後，在設計與施工階段，須要辦理詳細調查，藉以取得設計與施工上所需的資料。此項調查，一般採用其管理單位或所有者所擁有的原始竣工圖與相關文件，與現地核對確認的方法。

(1) 地上及地下構造物

調查地上及地下構造物時，應針對隧道路線上或鄰近之建物、橋梁及設施等地上構造物，或針對地下停車場、地下商場及地下鐵路等地下構造物，蒐集其設計與竣工圖說及計算書，掌握其結構型式、基礎狀況及設施的利用狀況等資訊。

(2) 地下管線等埋設物

地下管線等埋設物調查係針對油氣、上下水道、電力、及通訊電纜等地下管路或共同管道等，調查其尺寸、位置、深度及材質等，並視需要調查其破舊程度。尤其是大型埋設物，會影響隧道計畫，其他埋設物亦會妨礙擋土壁及開挖等工程施作，為防止發生事故及減少超挖，有效控制挖土量，必須辦理此項調查。

因現地管線狀況變動，常與管線原始紀錄不一致，所以在設計及施工規劃階段，必須利用踏勘或試挖結果，與原始紀錄

核對。進而在施工時，尚須視所採用的施工方法，在現地藉由非破壞性檢測或試挖等，仔細確認對隧道工程是否有妨礙。

茲將地下管線等埋設物各階段調查之概要，列於表 C2.1 供參考。

表 C2.1 地下管線等埋設物各階段調查概要

調查階段	調查目的	調查方法	調查重點
初步調查階段	1.掌握地下管線的概略狀況 2.預測影響隧道工程的地中管線並確認應調查地點	1.根據平面測量圖，調查人孔位置 2.地下管線原始紀錄調查(各管理單位保管) 3.勘查確認	原始紀錄調查，可要求各地下管線管理單位提供資料。
設計及施工規劃階段	1.確認影響隧道工程的地中管線狀況，取得設計及施工規劃的資料 2.編製地下管線平面圖	1.洞道及人孔等內部調查 2.試挖 3.地電阻探查 4.透地雷達探查	要求各地下管線管理單位會勘。
施工階段	1.確認是否會妨礙施工	1.針對需要地點，辦理詳細試挖 2.確認洞道及人孔等位置及內部狀況	與各埋設物管理單位取得密切聯繫，要求會勘，對不明及老舊管線等處理方式，進行協商。

(3) 舊建物及臨時工程之殘留物

在建物拆除舊址或地下構造物及埋設物的臨時工程舊址，可能會有留下舊有基礎或供臨時施工用之擋土構造物；在河流、湖沼或濱海的回填地，亦可能會有舊護岸或橋墩等的一部份留置在地下的情形，所以應調查隧道路線上是否存在有殘留工程結構物或回填物。

C2.4 地盤調查

隧道設置地點與其周邊的地盤特性影響隧道的設計及施工甚鉅，必須進行地盤調查，以正確掌握其特性。由於地盤因地點的不同而有多種變化，應特別慎重進行調查。調查作業應依工程執行階段之需求，分階段進行調查。一般分為初步調查與主要調查，並應視實際需要，辦理各種補充調查。

初步調查係為掌握路線整體地盤狀況的一種調查，包括概略的地層構造與土壤狀況。由於初步調查的成果會影響後續主要調查之精度及經濟性，所以必須編列適當的項目及數量進行調查。原則上以蒐集資料與現地踏勘為主，調查範圍較大，精度較低，以掌握路線整體性為目標。

主要調查係以施行鑽探與試驗為主的調查，鑽探調查的內容(孔數、間距及深度等)應依地形條件與初步調查結果所推估的地質條件、環境條件及隧道的設置位置等加以決定。若初步調查與主要調查的結果不足以提供設計及施工所需的訊息，則須辦理補充調查，擴大調查的範圍與項目。

茲將地盤調查的概要列於表 C2.2 供參考。一般可依工程的規模或重要性，簡化或增加調查階段與內容。實施主要調查或補充調查時，應根據前階段的調查結果與工程需求，規劃調查位置、調查項目與調查內容等。

(1) 地層構造

應彙整既往的調查資料、現地踏勘、地球物理探查、地表地質測繪及鑽探等調查結果，掌握路線整體的地層層序、層厚及成層狀態(連續性及方向性)。地形大多反映地下的地層狀態，所以根據現地踏勘所掌握之地形狀況亦極為重要。於丘陵地或台地，除邊緣的沖積階地，或於低處的沖積平地，從觀察細微的地形變化及地形的沉積環境條件，亦能夠大致推測地下的地層構造狀況。

規劃平行或斜行於台地與低地邊界處的路線時，若隧道通過地形與土層性質急遽變化的地區，可能會有承受顯著偏壓之

虞，應特別留意。若隧道有可能設置在受震不穩定之地層中，則須擴大調查範圍至更大範圍或更深層之地盤。

(2) 地層性質與參數

地層的特性，因地質形成時代、沉積環境及組成材料等之不同，而具有其不同的特徵。一般可概分為砂質土、黏性土、礫石土與岩盤等，其物理性質、力學性質與透水性質等有顯著的差異，因此須掌握對象地盤的地層性質與各種參數，方可解決明挖覆蓋隧道的設計與施工問題。對明挖覆蓋隧道在設計與施工上，特別有問題的土層如下：

- A. 具有卵礫石及受壓水的砂礫土層，由於擋土設施的貫入及開挖等施工時，會有困難。所以應在事前充分探討擋土設施的種類與開挖的方法。有些情況需要施以地下水位降低工法等輔助工法，以順利進行開挖，並須注意擋土設施的止水性，以避免地下水及砂泥湧入開挖區內。
- B. 在地下水以下的砂層進行明挖覆蓋隧道開挖時，由於開挖區需進行抽水，擋土設施外的地下水位會較開挖底部的水位高，會引起地下水往開挖區滲流，可能造成開挖底部砂湧或因擋土壁破裂而湧砂的情形，而發生工程災變。所以調查與設計時，應特別留意砂湧的可能性，調查砂層的透水係數，探討擋土設施與輔助工法的適用性，避免砂湧災害。當地震作用時，隧道周邊飽和砂土地盤可能因液化而使隧道發生上浮或下沉，因此，調查時必須施行標準貫入試驗及土壤粒徑分析試驗等，進行地盤液化潛能評估，必須在事前探討隧道的抗液化穩定性與對策。
- C. 在極軟弱的粉土或黏土層施工時，會有因開挖而引起開挖底部發生隆起之現象，所以對於 N 值約為 1~2 以下的軟弱土層，調查時應掌握土層未擾動試體的無圍壓縮試驗強度及變形特性。隧道開挖時，若需降低地下水位，而有引發周邊地盤發生壓密沉陷之虞，則調查時須辦理土壤壓密試驗。為進

行隧道開挖時擋土與支撐系統之設計，調查時應辦理土壤一般物理性質試驗，包括含水量、土壤單位重、塑性及液性限度等試驗，以及無圍壓縮與三軸不排水剪力試驗，以求得不排水剪力強度參數與變形模數。這些土壤參數是設計擋土壁貫入深度與支承力，支撐間距以及開挖方法之重要資料。

- D. 在需要進行明挖覆蓋隧道受震反應分析之場合，調查時宜進行土層之剪力波速試驗與動力性質試驗，以求得隧道耐震分析所需之土層動力性質參數。

(3) 地下水

地下水位通常係於鑽探調查時量測，若在砂層或砂礫層中間夾有黏土或粉土層等不透水層，則該等含水層中的孔隙水壓，未必為對應於一般地下水位而呈靜水壓分佈，調查時必須分別以水壓計測定各含水層的孔隙水壓，此種水壓之水位稱為壓力水位，通常大於靜水壓水位，壓力水位對隧道之設計與施工影響很大，為必須調查的地下水項目。

地下水的調查應包括各含水層地下水的分佈(水位及變動狀況等)及透水特性等。

在山地、台地附近或沖積扇之砂礫層內，通常具有比一般地下水位高的受壓水頭，在此種狀況下，須仔細考慮設計上所採用的水壓。在高水頭差的情況，開挖施工可能相當困難，隨著開挖的進行，可能發生地盤砂湧等現象，所以會有需要抽取地下水，籍以降低水壓，或者利用化學灌漿等方法，藉以止水等情形。此時，必須調查含水層的滲透係數，藉以評估應採用何種止水方法，與所應抽出的水量及其影響範圍。滲透係數雖可依據顆粒粒徑分佈推測其概略值，但一般應在現地進行抽水試驗進行量測為宜。有限制抽取地下水的地區，區域地下水位有恢復升高的趨勢，所以水位變動對隧道設計與施工的影響，應特別留意。。

地下水位或受壓水頭會因降雨、融雪、潮位的變動而發生

時間性及季節性的變動或人為變動，調查時必須確認所量測的水頭，究竟係屬於何種條件下之水頭，隧道設計與施工上必須考慮這些變動對設計水頭之影響。

開挖底面下是否存在受壓地下水，對於深開挖的設計與施工的影響很大，此時，抽水工法或周邊環境保護，為設計與施工上的考量重點，故應嚴謹進行受壓地下水的調查，獲取完整可靠的資料，以妥善進行隧道之設計與施工。

(4) 缺氧空氣及有毒氣體的調查

無地下水或地下水較少的砂礫層存在於不透水層之下時，或含有機質的腐植土層存在不透水層所覆蓋的砂層或砂礫層之下時，在該等砂層或砂礫層的孔隙中，有充滿缺氧空氣或有毒氣體的可能。因此，應事先調查孔隙中的空氣組成及氣體的性質等。若經確認有缺氧空氣或有毒氣體存在，則在施工時，應採取通風，以換取新鮮空氣及量測坑內空氣的氧氣濃度等適當措施。

由於地盤性質直接影響隧道工程的進行，所以在工程施行時，必須依據所取得的地盤調查資料，繪製地層剖面圖，並仔細考慮隧道的位置與地層構造、土層性質以及地下水等之關係，然後妥善進行設計與施工。

表 C2.2 地盤調查概要

調查階段	初步調查		主要調查		補充調查
	資料調查	現地踏勘	概略調查	詳細調查	
調查目的	1.掌握概略的地層構造及土層狀況 2.預測會成為問題的土層及確認以後需要的調查工作		1.掌握路線整體的地層構造及土層狀況 2.選取土壤取樣位置 3.決定詳細調查的方針	1.掌握路線整體的地層構造及土層狀況 2.掌握地下水分佈 3.掌握大地工程上的各種特性、繪製地層剖面圖	1.補充土壤調查 2.針對設計、施工上有問題的土壤補充調查 3.不明處的追加調查 4.地震及其他特殊情況的設計資料
調查方法	1.既有資料的收集整理 2.文獻蒐集	1.地表地質調查 2.水井調查 3.探勘	1.鑽探 2.探測 3.物理勘査 4.取樣 5.室內調查	1.鑽探 2.取樣 3.孔內試驗 4.物理檢層 5.室內試驗 6.現地試驗 7.動力性質試驗 8.材料試驗 9.水質試驗 10.試挖調查	1.鑽探 2.取樣 3.室內試驗 4.現地試驗 5.物理檢層 6.平板載重試驗 7.施工試驗 8.地下水模擬
調查內容	1.概略地形 2.概略地質 3.周邊自然及社會環境的概觀 4.概略的水文氣象條件 5.掌握既往地盤災害	1.概略地形 2.概略地質 3.確認周邊自然及社會環境、軟弱地盤的分佈狀況 4.掌握既往地盤災害 5.選定以後調查地點	1.地層結構 2.土層的分佈狀態，尤其是軟弱地盤的分佈狀態 3.代表性的大地工程性質 4.地下水分佈狀況 5.設計施工上的疑慮點	1.詳細的地層結構與土層的分佈狀態 2.各層的工程性質(強度、變形、壓密及透水性質) 3.含水層的特性 4.地盤在地震時的行為 5.作為材料土的適宜性 6.設計、施工上的疑慮點	1.詳細調查的補充，設計數值的決定及確認 2.施工時的疑慮點

C2.5 環境保護所需之調查

環境保護所需之調查係針對因設置隧道而可能引起對周邊環境產生影響的事項，於施工前與施工中，甚至必要時於完工後，應進行之調查，俾作為設計及施工管理資料之用。

(1) 噪音及振動

市區內與施工有關的噪音及振動，已有各種環境法規限制，在學校及醫院等公共設施的周邊，限制特別嚴格。因此，事前應瞭解有無限制及限制的內容，同時應調查該等公共設施的狀況。在工程施工階段，應進行噪音及振動的監測，藉以掌握施工所發生的噪音、振動及其對周邊的影響。隧道通車後，若行車噪音及振動可能影響周邊的正常利用狀況時，則應在規劃、設計時，事先考慮噪音及振動之因應對策。

(2) 地盤下陷

事前應確認地盤現況，並根據地盤調查資料等，調查可能會因施工而引起地盤下陷的範圍、程度及影響。在工程的施工階段，必要時應進行地面或周邊構造物的變形量測，並注意因施工的影響而造成的地盤下陷，俾採取適當的措施。

(3) 地下水

工區降低地下水位會引起周邊地盤下陷及鄰近水井水位下降，甚至會影響地下水的流動。施工時若採用化學灌漿等工法止水時，亦會有影響地下水水質的情形。因此，必要時必須掌握地下水的流向及流速等。除了工區之地盤調查項目外，尚須於工區外，補充能夠評估該等影響範圍的調查。應在事前調查可能會受影響的範圍內之水井位置、深度、利用狀況、水位及水質等，並應留意施工中各水井之地下水狀況。依隧道的設置位置或規模，於隧道完成後，對地下水變動的影響亦須加以評估，有必要時，須於完工後持續監測。

(4) 營建廢棄物之處理

明挖覆蓋隧道施工所產生之營建廢棄物，主要是開挖的土方與擋土壁或基礎施工之淤泥與沉渣，應於事前瞭解相關法規，並預先調查最後處理土資場的位置與容量、運輸方法及處理方式等，妥善規劃如何處置營建廢棄物，以儘量減輕對環境的影響。

(5) 鄰近建築物之狀態

隧道開挖與抽水等施工作業，可能損及鄰近建築物。因此事前應調查蒐集鄰近工區之現有建築物與結構設施之竣工圖說與基礎型式等資料，以及進行建物調查，以作為後續鄰近建築物保護設計之參考。施工前亦應委託專業單位進行鄰房現況鑑定工作，俾對照施工前後鄰房鑑定結果，作為損鄰判定與賠償之依據。

(6) 古蹟及文化遺址

隧道定線或施工時，若遭遇被「文化資產保存法」指定為埋藏文化財產或預估出土的地點，應依據相關法令規定與相關主管機關協商，進行埋藏古蹟與文化遺址的調查與保護。

第三章 規劃

C3.1 基本原則

明挖覆蓋工法為興建都市隧道常採用的工法之一，適用於在平坦的地形設置較淺隧道的情況。採用明挖覆蓋工法時，易於將較複雜形狀的結構物建造於地下，而且能夠確保符合經濟需求的隧道斷面。當開挖深度較深時，若採用明挖覆蓋工法，則工程費及工期亦會隨之大量增加，規劃時應進行探討。

本工法因施工中須佔用地面，對沿線交通的影響較採用潛盾工法或山岳工法者為大，所以必須充分考量施工中的用地需求與環境保護。

規劃明挖覆蓋工法時，一般應探討的事項如下：

- (1) 與潛盾工法及其他工法比較後，決定明挖覆蓋工法的適用區間
- (2) 隧道線形、斷面及結構等
- (3) 施工方法，尤其針對擋土工法、開挖工法及隧道結構體構築方法等
- (4) 環境保護對策，尤其針對地面施工作業、作業時間、噪音、振動及工程車輛的交通對策等
- (5) 施工安全對策
- (6) 工期及工程費
- (7) 鄰近建築物保護

C3.2 隧道設置位置

決定明挖覆蓋隧道的設置深度及平面位置時，除探討經濟性之外，亦應考慮下列事項：

- (1) 工址條件

應針對現狀與未來的計畫，綜合考慮土地利用狀況、鐵公

路及交通狀況、都市計畫區域的類別及河川、湖沼等因素。

(2) 與障礙物(地下構造物、埋設物及地上建築物等)的關連

針對既有設施與預定設置位置，考慮該等障礙物與隧道的相互關連，並將施工方法一併加以考慮。決定地下構造物、埋設物及地上建築物等與隧道的隔離距離及該等的防護方法時，須考慮地盤條件及施工方法等。

(3) 環境條件

應考慮對周邊的影響，將設置隧道而產生噪音、振動及空氣污染等問題降至最低。

(4) 工程配合與空間利用

路線中若與規劃中之公共工程重疊或衝突，應將該工程一併納入設計考量；對開挖深度較深者宜考慮結構頂版上方之空間利用，使發揮最大之使用效益。

C3.3 淨空斷面

決定明挖覆蓋隧道淨空斷面的大小時，不僅須探討經濟性，而且須考慮各項設備的設置間隔及退縮空間等，俾能易於施工及維護管理。

決定淨空斷面時的因素，因使用目的的不同而有所差異，依各鐵路管理機關之相關規定辦理，茲將其主要者列舉如下：

- (1) 建築界限(或建築規定)
- (2) 視距
- (3) 軌道或鋪面構造
- (4) 裝修及隧道附屬設備
- (5) 維護管理空間

C3.4 工法選擇

明挖覆蓋工法的主要工程內容包括：擋土、開挖及結構體建造等三大部分，藉由選用組合各部分之施工方法，俾能決定最適合現地土壤狀況、施工環境及工程規模等的工法。

(1) 結構體建造工法的種類

結構體建造的順序，一般係從底部依次往上構築，亦即所謂的順築工法(順打工法)；開挖緊臨既設結構物下方時，可採用先構築側壁及中壁的槽溝開挖工法；毗鄰沿線建築物施工時或在軟弱地盤施工時，可採用先構築上面樓版，從地面依次往下構築，亦即逆築工法(逆打工法)。

(2) 擋土工法種類

擋土壁的種類，有 a.兵樁(主樁橫板條)、b.鋼板樁、c.鋼管樁、d.場鑄樁、e.連續壁及 f.土壤強化壁等。其中，a.~c.有直接打入地下的方法及預先鑽孔後建入的方法。d.可分預壘樁、鋼筋混凝土樁及摻土水泥樁。e.一般係使用鋼筋籠。f.土壤強化壁為使用固化劑與土壤拌合，強化土壤之方式，必要時，可採用 H 型鋼做為加勁材。

除開挖深度較淺，且能夠適用自立擋土設施的情況外，該等擋土設施的支撐方式有內撐及背拉兩種。

以上所述擋土工法之中，不論採用何者，均須依據開挖規模、土壤、地下埋設物、現地附近的環境、工程費及工期等條件，加以綜合判斷。

(3) 開挖工法的種類

明挖覆蓋工法若依開挖工法分類，大致可分為全區開挖與分區開挖兩類。全區開挖工法，係隨構築主體的需求，將全區同時向下開挖的方法；分區開挖工法，係受限於構築主體或工區條件，無法全區開挖，必須採用分區向下開挖的方法。不論何種工法，均有覆蓋式與無覆蓋式兩種。

(4) 輔助工法的種類

採用明挖覆蓋工法施工時，為使工程能夠安全且有效率，

可使用各種輔助工法，常用的有化學灌漿工法、祛水工法、冰凍工法、生石灰樁工法及噴射攪拌工法等，選擇該等輔助工法時，應充分掌握各種工法的特徵後，採用適合的工法。

明挖覆蓋工法的輔助工法，主要係用以改善地盤條件為目的，並藉由增強地盤的自立性與支承力，以防止開挖周邊的地盤或結構物的變形，使工程安全進行，同時藉由排水、脫水及固結處理等，改善開挖作業條件，利於機械作業與廢土的處理。

C3.5 隧道附屬設備

隧道除依使用目的設置應有的設備外，尚應設置隧道內因應衛生、維護管理及緊急應變計畫等目的所需之設備。

(1) 通風設備

隧道的通風，應考慮隧道內的發熱量與空氣污染的程度，算出所需的通風量，俾據以設置適當的通風設備。

隧道內的發熱源係來自旅客、列車及照明所發生的熱。至於空氣污染源，則有旅客的呼吸、土中沼氣及結構漏水等所造成的濕氣或臭氣及塵埃等。

通風方式有自然通風與機械通風兩種。自然通風因不確定因素較多，且有需要設置多處通風口等問題存在，所以必須配合隧道的使用目的，選定併用機械通風或僅用機械通風等通風方式。

通風設備的通風口，必須採用對空氣流動阻抗較少的構造，且應留意吸、排氣聲音不會對周邊環境造成影響。為防止自通風口落下等事故，亦應周詳考慮安全措施。

(2) 排水設備

隧道內應設置適當的排水設備，以免隧道內積水。為便於隧道內的水流順暢疏通，排水坡度設計應達 0.2%以上為宜。排

水溝或排水管，不僅須考慮排水流量，尚須考慮清掃及檢查的作業方便性，藉以確保足夠的斷面。

(3) 防洪設備

明挖覆蓋隧道為防止自開口處的淹水倒灌，應考慮地形、潮位以及河流的毗鄰程度，分析防洪設計水位高程，必要時，應設置防水閘門、防水牆板等防止淹水設備。

(4) 照明設備及標誌

在隧道應考慮結構物的使用目的、規模及重要性，整修及維護等作業或緊急時的疏散等，必要時應設置適當照明設備及標誌。

(5) 消防逃生設備及安全監控系統

(a) 防火、滅火設備：隧道內發生火災時，因可能造成重大災害，所以應設置可立即施行滅火及救助行動所需設備。為防止延燒，必要時應設置防火設備與排煙設備。

(b) 管理、檢查通路：為確保作業人員的安全，必要時，應在管理、檢查的通路，設置扶手及樓梯等，同時應在適當的間距設置退縮處。

(c) 安全監控設備的相關規定：依據鐵路管理機關之相關規定辦理。

(6) 通訊設備：

為防備火災及事故等災害，必須設置各種警訊、警報設備或電話等聯繫設備，俾能對災害提早因應。在大規模的隧道，有將此等功能設置集中、統籌監視設備的情形。

C3.6 工程期程

工程之期程應依據擋土設施、路面覆蓋、開挖、結構體、路面恢復原狀等主要工程的工程量、施工順序及施工方法，並考慮障礙物的處理及輔助工法等，擬定安全經濟之施工計畫。隧道的使用時期、用

地的使用期間，以及依使用條件及周邊環境的作業時間限制，與有無互競工程等外在條件，亦為決定工期的重要因素。

第四章 材料、載重與載重組合

C4.1 一般說明

本章規定明挖覆蓋隧道設計所需考量之材料、載重與載重組合，附屬結構可參考本章及相關章節之規定。

C4.2 材料

為確保地下結構之工程品質，使用之各種工程材料均應符合「中華民國國家標準」(CNS)之標準。CNS 若無相關標準時，亦可參考美國 ASTM 或其他國家之相關規定。

C4.2.1 混凝土

「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」對混凝土之材料、規定抗壓強度、彈性模數等方面已有詳細之規定，本規範不再重覆規定；設計時應符合以上所述規範之相關規定，但若無相關規定時，亦可參考美國 ASTM 或其他國家之相關規定。

C4.2.2 鋼筋

「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」對鋼筋之材質、強度限制、塗布、續接等方面已有詳細之規定，本規範不再重覆規定；設計時應符合以上所述規範之相關規定，但若無相關規定時，亦可參考美國 ASTM 或其他國家之相關規定。

C4.2.3 鋼材

「鋼構造建築物鋼結構施工規範」及「道路工程（含共同性工程）施工規範」對結構用鋼板及型鋼、接合與銲接材料、鋼板樁等方面已有詳細之規定，本規範不再重覆規定；設計時應符合以上所述規範之相關規定，但若無相關規定時，亦可參考美國 ASTM 或其他國家之相關規定。

有關耐震鋼材之衝擊韌性需求及降伏比上限，可參考「日本道路橋示方書・V 耐震設計編」與「美國鋼結構學會 AISC」等之規定。

C4.2.4 預力混凝土

「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」對預力混凝土之預力鋼腱、錨錠與續接材、灌漿液等方面已有詳細之規定，本規範不再重覆規定；設計時應符合以上所述規範之相關規定，但若無相關規定時，亦可參考美國 ASTM 或其他國家之相關規定。

C4.3 載重

章節列舉一般明挖覆蓋隧道設計時應考慮之載重，其他在本節中未提及之載重，可參考相關之規定。若遇特殊設計條件下，其相關載重亦應於設計時一併考量。

C4.3.1 自重

隧道自重包含隧道結構物之重量及其內部所有固定設施之重量，應按實際情況計算，下列各材料或構件之單位重量，可供為載重計算之參考。

- (1) 鋼軌、內側護軌及栓扣件：300 kgf/m/每股道。

- (2) 道碴，含軌枕： 1900 kgf/m^3 。
- (3) 鋼筋混凝土： 2400 kgf/m^3 。
- (4) 無鋼筋混凝土： 2300 kgf/m^3 。
- (5) 鋼材或鑄鋼： 7850 kgf/m^3 。
- (6) 鑄鐵： 7250 kgf/m^3 。
- (7) 鋁合金： 2800 kgf/m^3 。
- (8) 木材(未處理)： 800 kgf/m^3 。
- (9) 瀝青(防水用)： 1100 kgf/m^3 。
- (10) 瀝青混凝土鋪面： 2400 kgf/m^3 。
- (11) 預力混凝土： 2500 kgf/m^3 。
- (12) 碎石： 2100 kgf/m^3 。
- (13) 回填土(地下水位以上)： 1900 kgf/m^3 。
- (14) 回填土(地下水位以下)： 1000 kgf/m^3 。

C4.3.2 覆蓋載重

明挖覆蓋隧道的覆蓋載重，一般可用地面至隧道上面的深度，乘以土壤的單位體積重量求之。此時，對於地下水位以下的土壤，須考慮水的影響。

回填土的單位體積重量，若無確實的資料可資利用，則可依據解說表 C4.1 所列資料。

表 C4.1 回填土的單位體積重量 (kN/m^3)

地下水位以上	16~18
地下水位以下	20

在可能發生地盤下陷的軟弱地盤中，若隧道為樁基礎或改良地盤等所支承，且周邊地盤與隧道發生相對變位，則隧道上方會有正上方的載重及超越隧道寬度範圍的土載重作用的情況。此種

情況，作用於隧道上面的垂直土壓，可利用解說圖 C4.1 求算。

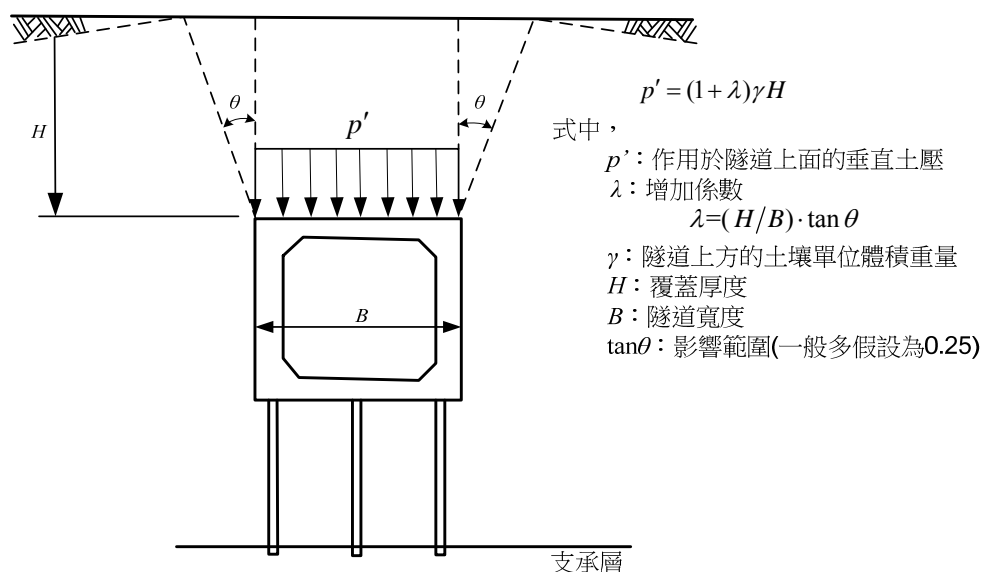


圖 C4.1 發生相對變位時，作用於隧道上方的垂直土壓

C4.3.3 列車活載重

(1) 傳統鐵路活載重：

傳統鐵路載重係採用軌距 1067mm 之 KS-16 標準活載重，惟其設計活載重仍應參考交通部頒「鐵路橋梁設計規範」之相關規定辦理。

(2) 高速鐵路活載重：

現有高速鐵路土建設計採 Modified UIC Loading，惟車輛系統採日本新幹線列車。若採用現有高速鐵路土建設計 Modified UIC Loading，作為未來維護作業及新建路線應用之設計載重時，得參考目前高速鐵路土建規範中所規定列車活載重及相關規定進行設計。

(3) 捷運系統活載重：

捷運鐵路活載重，可以參考各相關捷運系統標準電聯車活載重為準，惟仍須依實際採用車輛之實際重量與最大承載重量予以

設定。

(4) 軌道上車輪載重依下列規定處理：

A. 計算主梁彎矩及剪力時

- a. 軌道上車輪載重，一般縱向(平行於軌道方向)不考慮分佈，而以集中載重方式處理。
- b. 計算作用於板梁有效寬度上之車輪載重，其垂直於軌道方向的分佈寬度依照 C 規定計算。

B. 計算主梁之扭矩時

- a. 軌道上的車輪載重一般均須考慮軌道之縱向分佈(平行於軌道方向)及橫向分佈(垂直於軌道方向)。
- b. 軌道上的車輪載重之縱向及橫向分佈寬度，得依照 C 規定之計算。

C. 設計版式結構時

- a. 計算支撐道碴軌道或版式軌道之單向版或雙向版彎矩時，軌道上車輪載重均勻分佈在部份結構版的均佈載重(w)，以下列(C4-1)公式計算之：

$$w = \frac{P}{u \times v} \quad (C4-1)$$

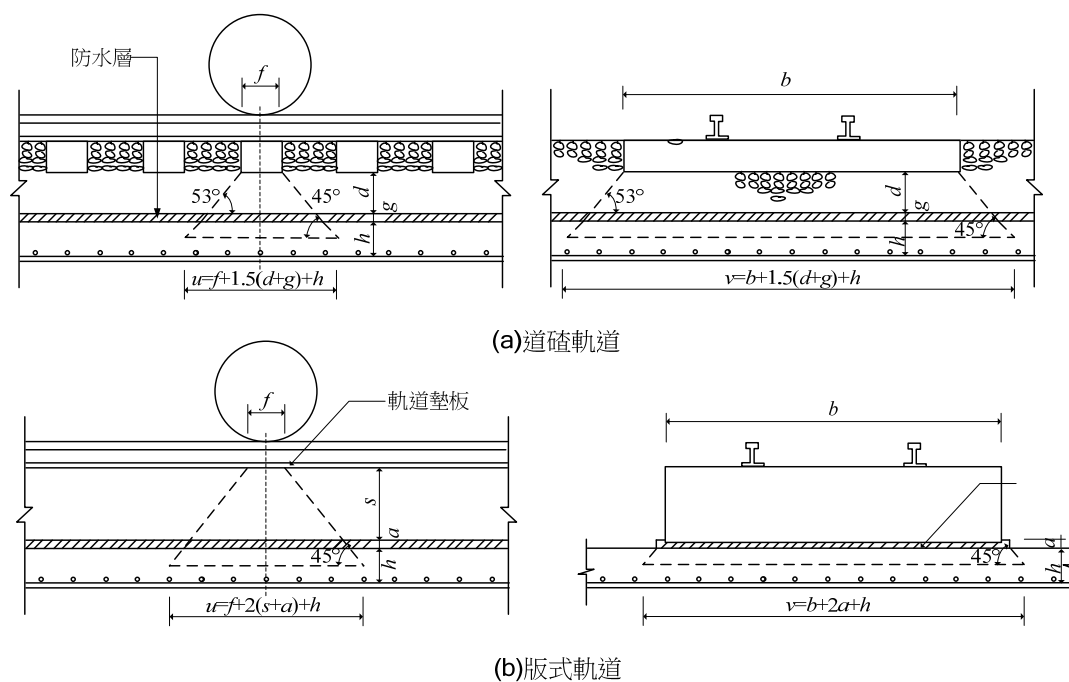
其中， w ：單位面積載重

P ：軸載重(車輪載重的兩倍)

u ：軌道上車輪載重在軌道方向的分佈寬度，如圖 C4.2 所示。 u 值不可大於車輪載重的軸間距。

v ：軌道上車輪載重在垂直於軌道方向的分佈寬度，如圖 C4.2 所示。

- b. 在特別需要檢討車輪載重分佈對版式結構影響的情況，依照軌道結構型式及圖 C4.2 所示之分佈寬度，並以部份均佈載重作用的方式處理。



其中， d ：道碴厚度
 f ：枕木或墊板寬度
 g ：防水層厚度
 h ：樓版厚度
 b ：道床寬度
 s ：道床厚度
 a ：瀝青砂漿厚度

圖 C4.2 軌道上車輪載重之分佈寬度

C4.3.4 衝擊力

衝擊力取為列車活載重乘以衝擊係數所得之值，為作用於軌頂之垂直載重，其分佈方式與列車活載重之分佈方式相同。

單股道之衝擊係數與雙股道衝擊係數之折減應參照「鐵路橋梁設計規範」之規定。

C4.3.5 離心力

離心力為作用於車輛重心之水平力。車輛重心之高度因車輛種類之不同而異，因此其值之訂定應採用較保守之值。理論上離心力之作用方向應取為相對於軌道之垂直方向。

列車或車輛於曲線上之最高速度隨著軌道構造（超高量等）與車輛性能等之不同而異，本節之公式(4-1)係依據「鐵路橋梁設計規範」之規定，計算對應於列車最高速度之離心力係數 α_c 。

目前台北捷運之土木工程設計手冊與高雄捷運之土木工程設計規範所採用離心力係數 α_c 所對應之速度，為電聯車在水平彎道上之最高速度 V （km/h）加計 10km/h，

$$\alpha_c = \frac{(V+10)^2}{127R} \quad (C4-2)$$

其中， α_c ：離心力係數

V ：列車或車輛於曲線上之最高速度（km/h）

R ：曲線半徑（m）

C4.3.6 煞車力及起動力

每一股道煞車力及起動力之計算應參照「鐵路橋梁設計規範」之規定辦理。

C4.3.7 列車之水平側向力及車輪橫壓力

車輛側向力起因於車行搖擺等之車輛振動，側向力大小與車輛單側橫向振動加速度有關。

車輪橫壓力係指台車行進間相對於軌道具有入射角時所產生之車輪橫壓。

C4.3.8 地面上之載重

路面交通載重係指包括行駛於道路的汽車、路面電車、自行車、及行人等在內的所有載重而言。路面交通載重須考慮衝擊，一般包括撞擊在內，可視為對應於隧道覆蓋的均佈載重。路面交

通載重須考慮撞擊，但隧道有覆蓋時，由於撞擊會因土的變形或振動而減小，故覆蓋土厚度大於 3m 時，其影響可予以忽略。

- (1) 列車載重係指鐵路通過隧道上方時所產生的載重，與路面交通載重的情況同樣需考慮衝擊載重。
- (2) 建築載重係由既存建築載重或建築規劃載重或依土地使用分區、建蔽率、容積率等組合所設定的載重。
- (3) 道路若有載重作用於天橋基礎等，則須考慮該等載重對隧道所造成的影響。
- (4) 通過覆土層之活載重的分佈
 - A. 覆土深度小於 0.6 公尺時，活載重應視為集中載重且直接傳遞作用在地下結構之頂版上。
 - B. 覆土深度大於 0.6 公尺時，集中活載重應分佈在一邊長為 1.75 倍覆土深度之正方形的區域內，但此正方形載重分佈之最大容許尺寸應限於 4.3 公尺×4.3 公尺。(如圖 C4.3 所示)

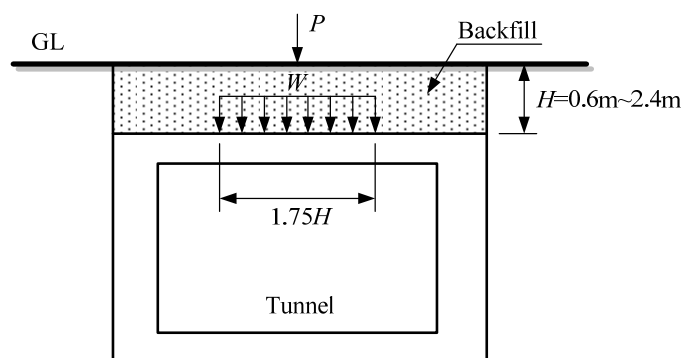


圖 C4.3 覆土深度與載重示意圖

$$W = \frac{P}{1.75H \times 1.75H} \quad (\text{C4-3})$$

- C. 覆土深度大於 2.4 公尺時，且大於單孔隧道之跨徑或多孔隧道之端支撐面間距時，其活載重可不予考慮。

- D. 當幾個集中載重的分佈範圍互相重疊時，則可以視為總載重均勻地分佈在由個別載重作用範圍的最外緣所界定之區域中，但分佈總寬度不得超過支承板的寬度。
- E. 版的底層須配置鋼筋，並配置在與主筋正交的方向，以便承受因集中活載重所產生之側向載重分佈，但頂版上覆土深度大於 0.6 公尺時不予考慮。鋼筋的配置方式應參照交通部頒「公路橋梁設計規範」。
- F. 隧道頂版覆土深度小於 0.6 公尺時，計算頂版應力時應考慮雙軸載重分佈。
- G. 當隧道頂版為多跨徑時，應考慮可能引起構材產生最大應力之載重情況。
- H. 當無道路交通載重作用在覆土上時，仍應考慮有 1.0tf/m^2 之超載，作為偶發性之交通載重。

C4.3.9 施工時之載重

施工載重之加載載重應被視為施加於地表上之靜止均佈載重，其於地表面下任一深度之垂直載重，應由以下公式計算之：

當 $x \leq 1.5$ 時， $S = 3.0$ 。

當 $1.5 < x < 6.5$ 時， $S = 3.0 - 0.6(x - 1.5)$ 。

當 $x \geq 6.5$ 時， $S = 0$ 。

其中， $S =$ 加載載重於深度 x 處之垂直載重(tf/m^2)

$x =$ 地表以下深度(m)

在填土至所需地面高程的過程中，以及在隧道結構上從事新道路之構築時，須特別考慮施工載重。

C4.3.10 土壓力、水壓力

作用於結構物之土壓力包含垂直土壓力及水平土壓力，其值

分別由下列之二式定義之。

(1) 垂直土壓力

作用於地下結構物之垂直土壓力以下式計算之。

$$q_v = \gamma' \times h_1 \quad (C4-4)$$

(2) 水平土壓力

作用於地下結構物之側面任一點之水平土壓力以下式計算之。

$$q_h = k_0 (\gamma' \times h + q_0) \quad (C4-5)$$

其中，

q_v ：垂直土壓力(t/m^2)

q_h ：水平土壓力(t/m^2)

q_0 ：加載載重(t/m^2)

γ' ：有效土壤單位體積重量(t/m^3)

h_1 ：覆土層厚(m)

h ：地表面下之深度(m)

k_0 ：靜止土壓力係數

地下結構物之設計應足以承受靜水壓力。靜水壓力之計算如下式計算之：

$$f_p = \gamma_w \times d \quad (C4-6)$$

其中， γ_w ：水單位重(t/m^3)

d ：設計水位至計算位置之深度(m)

f_p ：靜水壓力(t/m^2)

地下水位之高度除應考量平時觀測到之水位外，亦應考量在明挖覆蓋隧道結構設置當地之最高地下水位。此外，明挖覆蓋隧道結構設置時，也應考量隧道兩側地下水位變異之影響。

明挖覆蓋隧道設置於地下水位高之地層中時，應特別檢討其受上浮力之影響，以免產生上浮現象。

C4.3.11 鄰近結構物造成之載重

鄰近結構物之定義為在明挖覆蓋隧道結構體影響區範圍內之現有或未來之建築物或結構物。地下結構體應能承受來自上述鄰近結構物之額外載重。影響區之定義如圖 C4.4 所示。

對既有結構之加載載重不能低於 $5t/m^2$ ，且此載重應施加於地面上，若未來鄰近建物之樓層數已確定時，作用於預定基礎高程上，包括靜載重與活載重之最小垂直總載重為每一樓層 $1.2t/m^2$ 。

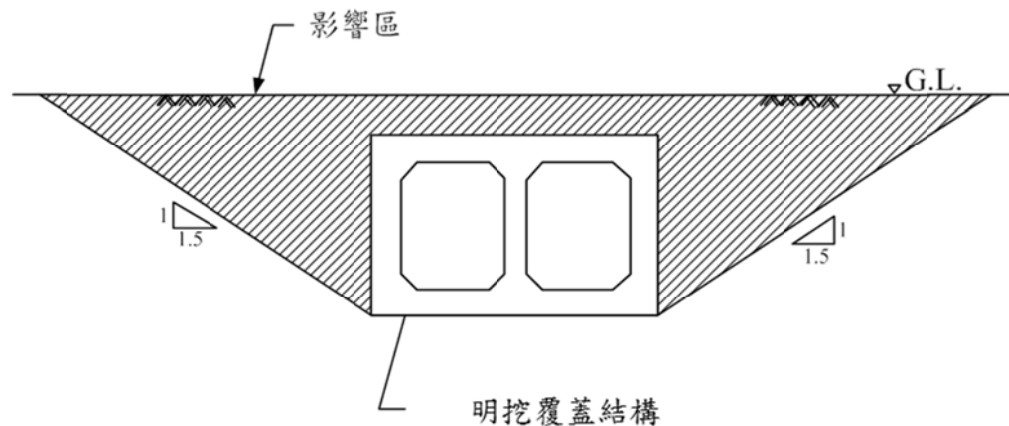


圖 C4.4 地下結構物之影響區示意圖

C4.3.12 溫度變化及乾燥收縮之影響

地面以下，至地下約 50m 的地中溫度，每天會發生變化，其變化量隨深度的增加而急遽減小，所以覆蓋 1m 以上的隧道，可忽略溫度變化的影響。但對於隧道上面外露於地面等，明顯會受影響者，則應考慮溫度變化的影響。此時，溫度變化以 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 為上限，並可視情況酌減。

在隧道縱向，超過 20m 不設施工縫時，或在大斷面多層結構的隧道等，必須考慮混凝土乾燥收縮的影響。此時，乾燥收縮的影響，以相當於溫度變化 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 者為上限，並可視情況酌減。

C4.3.13 明挖覆蓋隧道之支柱衝擊力

本節所規定之支柱衝擊力不需與其他載重組合，作為支柱設計斷面之檢核用。

支柱設計依照下列規定分為三類：

(1) A 類支柱：

支柱距軌道中心線之距離合乎下述規定者為 A 類。

- (a) 在直線或半徑 $R > 1000$ 公尺之曲線段，支柱與軌道中心線之距離 ≥ 3 公尺者；半徑 R 介於 300 公尺至 1000 公尺之曲線段，支柱與軌道中心線之距離 ≥ 3.2 公尺者；當支柱距鋼軌面至少 25 公分以上之位置設有堅固之出軌防撞設施，雖支柱與軌道中心線之距離小於 3 公尺，亦可視為已適當地保護而不受出軌車輛之影響。
- (b) 直線或半徑 $R > 1000$ 公尺之曲線段，在行車速度低於 40 公里／小時的地區，雖支柱與軌道中心線之距離小於上述規定，該支柱仍為 A 類。

(2) B 類支柱：

B 類支柱不受火車正面撞擊，僅承受出軌車輛之擦撞。例如一排支柱中除去最前及最後一根支柱外其他均為 B 類支柱。當兩支柱間之淨間距小於最短車輛之長度時，出軌車輛將受排列之支柱導引，並可阻止出軌車輛翻覆或橫轉，因此 B 類支柱所受衝擊力的大小，只需考量使支柱具有足夠之強度，以作為出軌車輛護欄之用。

(3) C 類支柱：

C 類支柱係指一排支柱中最前面或最後面一根支柱，或位於道岔附近之支柱。

C4.4 耐震設計

C4.4.1 地盤分類

臺灣地區之地盤，依其堅實或軟弱程度分為三類。此外，臺北盆地因性質特殊，另定其水平譜加速度係數。至於地盤軟硬如何界定的問題，參考 ATC-32(1996)及 IBC2000(2000)的作法及陳正興與黃富國教授(1997)之研究結果，根據土層性質，藉由地表面下 30 公尺之土層平均特性決定之，其判斷方式可採用依工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 \bar{V}_s 判斷，故將以工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 \bar{V}_{s30} 作為決定地盤分類之指標。

有鑒於許多場址都無法提供實際量測之土壤剪力波速值，亦可參照「日本道路橋示方書」之波速換算公式，規定土壤剪力波速除可使用實際量測值外，可利用 q_u 及 N 值換算而得。

C4.4.2 工址最大水平地表加速度

鐵路橋梁耐震設計規範中，工址最大水平地表加速度 A_{\max} ，在中度地震 $A_{\max} = 0.4S_{DS}g / 3.25$ ，考量明挖覆蓋隧道若在中度地震作用下，若造成結構物開裂，容易造成滲水情形，不利維修故對於中度地震酌予提高為 $A_{\max} = 0.4S_{DS}g / 2.0$ 。

不同之地表振動程度，將改變地盤週期，進而改變短週期與長週期結構之譜加速度放大倍率。因此，必須考量土壤非線性放大效應，依據地盤種類與震區水平譜加速度係數，訂定工址放大係數 F_a 。

本規範設計地震係考量 475 年回歸期地震，即 50 年超越機率 10% 來訂定，為配合行政院公共工程委員會之政策，欲適度提昇公共工程設計使用年限，則式(4-4)可比照鐵路橋梁耐震設計規範表 2-1 規定，乘上用途係數 I ，當高速鐵路或重要鐵路採 $I=1.2$ 時，應可有效提高使用年限。

C4.4.3 設計變形效應

式(4-8)與式(4-9)係考量強制變位，沒有考量土壤結構互制之結果。

(1) 撓曲及軸向合應變量

撓曲及軸向合應變量之公式推導如下(如圖 C4.5)：

假設條件：地下結構物之變形與地盤相同(強制變位)

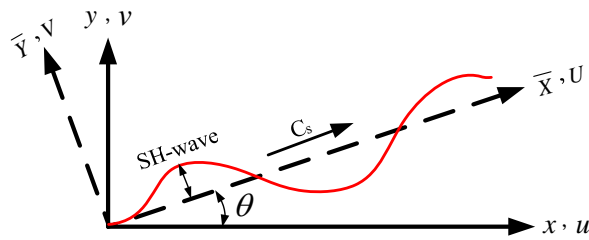


圖 C4.5 SH 波沿地下結構物軸向 θ 角方向作用

其中，SH 波沿地下結構物軸向 θ 角方向傳播，波速為 C_s 。

$V(\bar{X}, t) = f(\bar{X} - C_s t) = f(\alpha)$ ，令 $\alpha = \bar{X} - C_s t$

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}(\bar{X}, t) &= \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial t} = -C_s \frac{\partial f}{\partial \alpha} \quad \therefore \frac{\partial f}{\partial \alpha} = -\frac{\dot{V}(\bar{X}, t)}{C_s} \\ \ddot{V}(\bar{X}, t) &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left[-C_s \frac{\partial f}{\partial \alpha} \right] \frac{\partial \alpha}{\partial t} = C_s^2 \frac{\partial^2 f}{\partial \alpha^2} \quad \therefore \frac{\partial^2 f}{\partial \alpha^2} = \frac{\ddot{V}(\bar{X}, t)}{C_s^2} \end{aligned} \right\} \quad (C4-7)$$

由下圖所示，

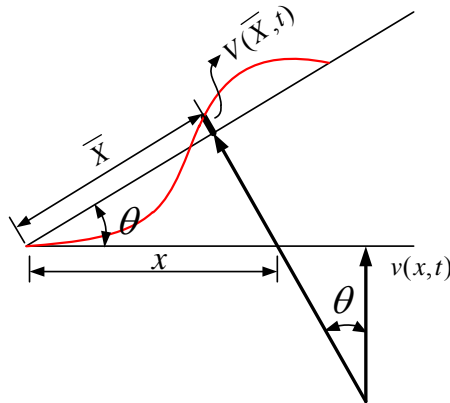


圖 C4.6 地下結構物變形分量計算

$$\begin{aligned}
u(x,t) &= -V(\bar{X},t) \sin \theta \\
&= -f(x \cos \theta - C_s t) \sin \theta = -f(\alpha) \sin \theta \\
v(x,t) &= V(\bar{X},t) \cos \theta \\
&= f(x \cos \theta - C_s t) \cos \theta = f(\alpha) \cos \theta
\end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} u(x,t) \\ v(x,t) \end{aligned}} \right\} \quad (C4-8)$$

軸向應變：

$$\begin{aligned}
\varepsilon_a(x,t) &= \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial x} = -\frac{\partial f}{\partial \alpha} \sin \theta \cos \theta \\
\therefore \frac{\partial f}{\partial \alpha} &= -\frac{\dot{V}(\bar{X},t)}{C_s} \therefore \varepsilon_a = \frac{\dot{V}(\bar{X},t)}{C_s} \sin \theta \cos \theta = \frac{\dot{V}(x \cos \theta, t)}{C_s} \sin \theta \cos \theta \quad (C4-9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{曲率：} \quad \kappa &= \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial \alpha^2} \cos^3 \theta \\
\varepsilon_b &= \kappa y = \kappa \times \frac{D}{2} = \frac{\partial^2 f}{\partial \alpha^2} \times \frac{D}{2} \cos^3 \theta \\
\therefore \frac{\partial^2 f}{\partial \alpha^2} &= \frac{\ddot{V}(x \cos \theta, t)}{C_s^2} \therefore \varepsilon_b = \frac{\ddot{V}(x \cos \theta, t)}{C_s^2} \frac{D}{2} \cos^3 \theta \quad (C4-10) \\
\varepsilon &= \varepsilon_a + \varepsilon_b = \frac{\dot{V}(x \cos \theta, t)}{C_s} \sin \theta \cos \theta + \frac{\ddot{V}(x \cos \theta, t)}{C_s^2} \frac{D}{2} \cos^3 \theta
\end{aligned}$$

取 $\theta = 45^\circ$ ， $\dot{V} = \dot{V}_{\max}$ ， $\ddot{V} = \ddot{V}_{\max}$ ，代上式可得(利用 SRSS)

$$\varepsilon_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\left| \dot{V}_g(t) \right|_{\max}}{2C_s} \right)^2 + \left(0.177D \left(\frac{\left| \ddot{V}_g(t) \right|_{\max}}{C_s^2} \right)^2 \right)} \quad (C4-11)$$

(2) 橫向剪力應變量，由下圖所示。

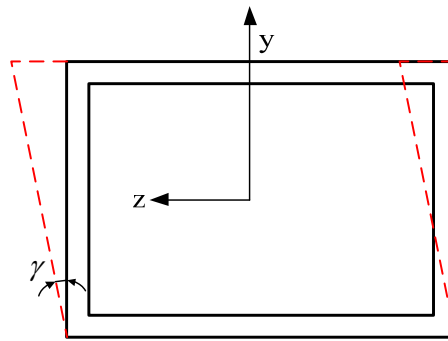


圖 C4.7 地下結構物剪力變形圖

$$\begin{aligned}
w(y,t) &= g(y - C_s t) = g(\beta) \\
\gamma(y,t) &= \frac{\partial w(y,t)}{\partial y} = \frac{\partial g}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial y} = \frac{\partial g}{\partial \beta} \\
\dot{w}(y,t) &= \frac{\partial g}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial t} = -C_s \frac{\partial g}{\partial \beta}
\end{aligned}$$

由上二式可得

$$\gamma_{\max} = \frac{\partial g}{\partial \beta} = \frac{PGV}{C_s} \quad (C4-12)$$

對地下結構物反應的基本概念乃為土壤比結構體更為堅硬，所以由地震產生的土壤變形會強制結構體作相同的變形。然而對台北盆地中普遍可見之較軟土壤而言，土壤與結構間的互制作用必須加以考慮。如果忽略此作用，對結構體將會產生較大的變形與應變，而為過於保守之設計。

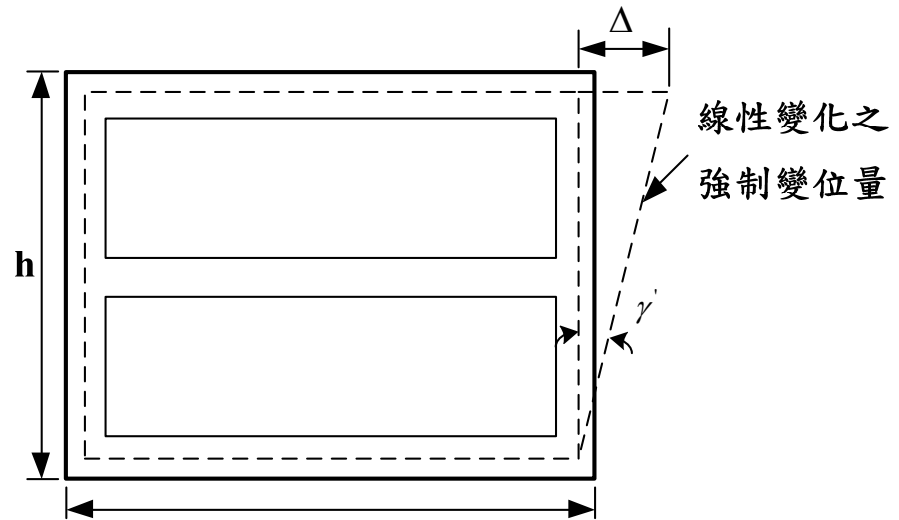
強制變位有彎曲及軸向二種型式，前者為土壤變形造成地下結構物之撓曲效應，後者為軸向效應。結構物應有能力吸收此二種組合在一起的變形效應。

C4.4.4 矩形隧道考量土壤結構互制效應之耐震設計基本原則

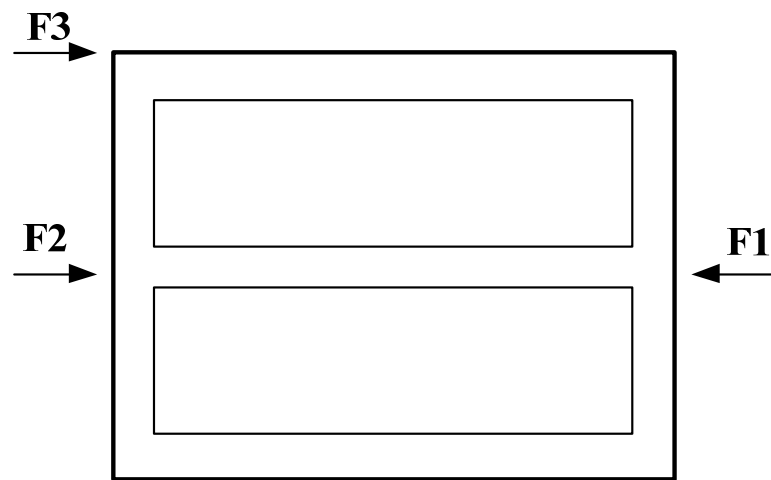
- (1) 地下結構物與地上結構物(如房屋、橋梁)所受地震力之考量方式不同。地上結構物所受到之地震力主要來自於結構物靜重受地表加速度作用產生之慣性力。地下結構物所受之地震效應則來自於周圍土壤因地震波作用產生變形，此種土壤變形亦會傳遞至結構物上並使結構物產生相同趨勢之變形。因此在計算地下結構體因地震作用產生之變形量時，須先求出土壤之變形量，再藉由土壤結構互制行為推求出結構物變形量。
- (2) 地下結構物耐震設計之一般程序
 - A. 應依地下結構之設計方法，配合結構體外圍之地質狀況，以靜載重及適當之強度需求為基準，訂定構件最初

尺寸。

- B. 依以上所定之尺寸再利用圖 C4.8 所示原則，在結構體上施加地震變形，該變形量之大小應依照結構橫斷面剪應變量(γ')訂定。此結構變形量造成結構物產生之內力(如軸力、剪力與彎矩等)，此即為式(4-10)、式(4-11)、式(4-12)中所使用之值。各構件之勁度應依照「混凝土結構設計規範」之規定計算。若為分析之方便，可在樓版處施以假設之水平力(如圖 C4.8(b))，以產生如圖 C4.8(a)所示等量的變形。但須特別注意所施加之假設水平力的調整，應依構件勁度之變化及周圍土壤對結構體變形造成之束制作用來進行。
- C. 評估於設計地震力時所可能產生之構架狀況如圖 C4.9 所示，說明如下：
- 當構架狀況如圖 C4.9(a)所示，於任一構件上最多僅產生二個塑性鉸，因為此狀況並不會使構架形成損壞(崩塌)機構，故此構架狀況是可接受的。
 - 當構件狀況如圖 C4.9(b)所示於構件上產生四個塑性鉸，雖然此構架狀況於地面結構可能產生崩塌，但地下結構因其四周被土壤所束縛住，並無崩塌之虞。故此構架狀況亦是可接受的。
 - 當構架中同時產生如圖 C4.9(c)中所示編號 1 至 5 塑性鉸中之任意三個時，因結構有崩塌之虞，是不能接受的。
 - 當土壤可能產生液化狀況時，圖 C4.9(b)中之構架亦將有崩塌之虞，因此此種構架狀況亦是不能接受。
- D. 如有必要，則修正結構型態以獲得可接受之結果。



(a) 水平強制變位



(b) 作用於結構體之假設水平荷重，以產生上圖之強制變位

附註： Δ (斷面之橫向變位)

γ' (設計之斷面橫向剪力應變量)

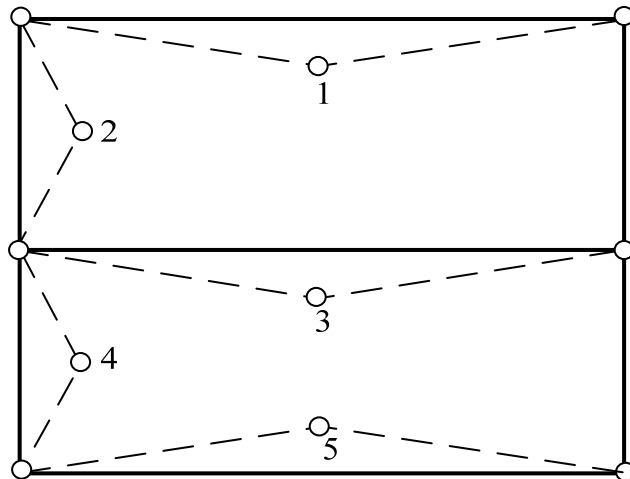
圖 C4.8 地震強制變位之應用



(a)可接受之型態—雙塑性鉸



(b)可接受之型態—4 個塑性鉸(非液化狀況)



(c)不可接受之型態—任何一根構件同時產生三個塑性鉸

圖 C4.9 設計地震時之結構型態

C4.4.5 周邊地盤液化

有關地盤液化之判定與計算依交通部頒「鐵路橋梁耐震設計規範」之規定。

C4.5 載重組合

C4.5.1 不含地震力作用下之載重組合

不含地震力作用下之組合載重，參考 4.5.1 節說明。一般情況下之地下水位係指常水位；洪水情況時，水壓力係考慮高水位所造成者。

C4.5.2 含地震力作用下之載重組合

有關地震力之組合載重，參考 4.5.2 節說明，需分別針對中度地震與設計地震之載重組合進行分析，地下水位可考慮常水位之情況。

第五章 結構工程

C5.1 一般說明

如本規範未規定事項或使用特殊工法時，須做適當之修正後使用或另參考相關規範。

C5.2 設計考量

C5.2.1 結構計算之基本原則

明挖覆蓋隧道之結構物與一般的地上結構物不同，結構物為地盤所束制。由於隧道結構物重量以輕於其挖除土方重量者居多，一般隧道結構物大多直接設置於開挖底面上。因此，進行結構計算時，應考慮隧道橫斷及縱斷方向的勁度、隧道結構物與地盤相對關係以及相連於隧道的地盤特性。

結構計算時，一般依據彈性分析進行斷面力的計算。地震時，推測可能發生地盤變位的特殊狀態，其安全係數核驗可依據塑性理論探討。

一般而言，計算超靜定力時，為簡化慣性矩的計算，可不計鋼筋的影響。但諸如彈性變形的計算且考慮鋼筋的影響時，彈性模數比 $n = E_s / E_c$ 可取最接近之整數(但不得小於 6)。鋼筋的彈性模數 E_s ，亦有因鋼筋的種類及製造方法的不同而有所差異，但因其差異小，故計算時該值可採用 $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 。

混凝土的彈性模數 E_c ，因抗壓強度不同而有所差異，若假設為一定值，則計算結果有產生較大誤差之虞，因此，混凝土的彈性模數 E_c 會隨著抗壓強度 f'_c 之值而變。

混凝土之柏松比，因抗壓強度及應力等的不同而有所差異。當柏松比採一般所用之值 $\nu = 0.2$ 時，混凝土的彈性模數與剪力彈性模數之比為 2.4。

C5.2.2 結構主體之穩定性

1. 由於明挖覆蓋隧道的自重與內部載重輕於其挖土重量，而且亦小於施工前的預載，因而地盤承载力在設計上成為問題者較為罕見。在隧道上面設置結構物時，因隧道底面的地盤承受隧道上方結構物與隧道的載重，所以計算地盤承载力時，應考慮隧道及其上載結構物的各項條件，並探討該值是否在容許承载力之內。若超過容許承载力，則須使用樁基礎。
2. 設置於地下水位以下的明挖覆蓋隧道，必須探討整體隧道抵抗上浮的能力，尤其是地下水位高，而覆蓋量小的情況時，需特別注意。浮力可以由結構體、回填材料、道碴及鋼軌等靜重來平衡。

明挖覆蓋段施工完成時之浮力計算，其地下水位應考慮回升至地表，引道結構物必須檢核洪水期間結構物抵抗上舉力的安全性。但若現況地下水位較低，且由長期水位觀測結果亦顯示其為穩定，則可依評估之合理設計水位計算。對有受壓水層存在之地盤，應另行考量其滲流壓力之影響。

當抗浮安全係數不足時，可於連續壁與主體結構間設計妥適之抗浮接頭後，考慮連續壁壁體淨重協助抗浮。

若局部區域之抗浮安全係數不足時，可取較大範圍進行檢核，該局部區域之向上浮力所造成整體結構之應力影響，應特別加以檢核。

抵抗上浮的其它可行參考對策方法如下：

- (1) 增加結構物的重量。
- (2) 利用樁的抗拉拔力。
- (3) 在側壁或下層底板打設地錨。

抗浮之結構物靜載重，可包含任何延伸至結構物底部的牆，但應確認該牆之強度及該牆與結構物底部之接頭足以抵

抗作用於牆上的所有力量。

本抗浮檢核條文主要用於設計初期之最小構材尺寸概估或結構系統研擬(如是否連結連續壁等)，以及施工完成後永久階段之抗浮安全檢核。至於在施工階段，基礎開挖與隧道構築期間，常採排水措施以控制開挖底面或結構物底板承受之水壓，以免發生上舉現象，施工階段在任何狀況下，其抗浮安全係數在不計連續壁壁體表面摩擦力下皆應大於 1.05。

計算抗浮力檢核計算相關靜重時應以材料之較小重量或密度來計算，相關數據如下：

- (1) 鋼軌及栓扣件：150 kgf/m/每股道(此時不考慮內側護軌)
 - (2) 道碴(含軌枕)單位重：1,800 kgf/m³
 - (3) 鋼筋混凝土單位重：2,300 kgf/m³
 - (4) 無筋混凝土單位重：2,200 kgf/m³
 - (5) 結構頂板以上之回填土總單位重：1,850 kgf/m³
3. 隧道設置於軟弱地盤之上，且隧道上方有設置其他結構物時，或隧道上方未來有可能增加填土，其載重高於目前地盤所承受時，以及地盤沉陷持續進行中時，必須針對地盤下陷進行探討。

因應地盤沉陷之對策如下：

- (1) 柔性方法：
 - A. 隧道斷面具備充裕的淨空，且具有吸收沉陷造成隧道縱向坡度變化的能力。
 - B. 接合處設置伸縮可撓接縫。
 - C. 使結構物具有充裕的變形能力。
- (2) 剛性方法：
 - A. 施築樁基礎。
 - B. 施行土壤夯實或灌漿、固結等地盤改良工法。
 - C. 利用壓密或排水工法，加速壓密沉陷之發生。

C5.2.3 結構主體之斷面力計算

明挖覆蓋隧道的結構主體，在橫斷面方向與縱斷面方向均形成連續。因此，不僅須針對橫斷面方向，必要時亦須針對縱斷面方向，探討結構主體的斷面力。

(1) 橫斷面方向的結構計算

明挖覆蓋隧道的橫斷面形狀，一般採用箱型剛構架型式。剛構架的構材斷面力計算，應依據第四章所述各種載重組合，進行彈性分析。

作用於明挖覆蓋隧道的各種載重，係經由隧道結構主體，傳遞於主體底面及側面的地盤。因此結構計算首先必須針對載重求算地盤反力，但該隧道周邊地盤反力的分佈狀態，會因地盤的狀態、結構主體的構造型式及施工方法等條件的不同，而有所差異。

一般而言，地盤反力的分佈與結構物的勁度有關。對於軟弱地盤而言，地盤反力的分佈較為均勻；對於堅硬地盤而言，地盤反力較為集中分佈於側壁、柱及版等支點附近。

對於以下狀況，需特別考慮地盤反力分佈的差異性：

- A. 若工址地盤之承載層有突變狀況時，在隧道下宜採用樁基礎。
- B. 因採用地下連續壁或逆築施工而設置樁基礎時，該等樁或地下連續壁因埋入處的不同，其支承條件與一般底板直接支承於土壤上的情況不同。

綜合以上所述，地盤土壤反力的計算有下列方法(如表 C5.1 所列)：

- A. 將隧道視為剛體，並考慮垂直載重、水平載重及傾覆力矩均由隧道底面的地盤反力承擔的方法。
- B. 將隧道各構材及地盤分別視為彈性體，並根據彈性理論分析，考慮所有載重可能造成的隧道各構材變形，據以

計算地盤反力的方法。

- C. 在隧道底面加樁及採用地下連續壁時，對於隧道底面亦屬集中的支承型式，其分析與方法 B.採用相同理論，考慮隧道各構材的變形，據以計算地盤反力的方法。

表 C5.1 地盤反力的計算方法與分佈形狀

諸元	結構物僅以地盤支承時		結構物以樁及地下連續壁支承時
	A. 視結構物為剛體時	B. 視結構物為彈性體時	C. 視結構物為彈性體時
反力形狀			
符號說明	w : 上方版的垂直載重 P : 壁、柱的載重 w' : 下方版的有效垂直載重 P_0 : 靜止土壓及水壓 w_w : 水壓 P' : 偏壓	w_r : 有效垂直地盤反力 P_r : 水平地盤反力 h_r : 底面抗剪力 v_r : 側面抗剪力 P_v : 樁及地下連續壁的垂直反力 P_h : 樁及地下連續壁的水平反力	κ_v : 垂直地盤反力係數 κ_h : 水平地盤反力係數 κ_{sv} : 側面抗剪地盤反力係數 κ_{sh} : 底面抗剪地盤反力係數 K_v : 樁及地下連續壁的垂直勁度係數 K_h : 樁及地下連續壁的水平勁度係數

諸元	結構物僅以地盤支承時		結構物以樁及地下連續壁支承時
	A. 視結構物為剛體時	B. 視結構物為彈性體時	C. 視結構物為彈性體時
平衡條件	$\Sigma V=0$	$\Sigma H=0$	$\Sigma M=0$
		$w_r = \kappa_v \cdot \delta_v$ $P_r = \kappa_h \cdot \delta_h$ $h_r = \kappa_{sh} \cdot \delta_h$ $v_r = \kappa_{sv} \cdot \delta_v$ 其中， δ_h ：水平變位量 δ_v ：垂直變位量	$w_r = \kappa_v \cdot \delta_v$ $P_r = \kappa_h \cdot \delta_h$ $h_r = \kappa_{sh} \cdot \delta_h$ $v_r = \kappa_{sv} \cdot \delta_v$ $P_v = K_v \cdot \delta_v$ $P_h = K_h \cdot \delta_h$ 其中， δ_h ：水平變位量 δ_v ：垂直變位量
適用條件	相對於地盤，構材勁度較大，且對剛構架底面的地盤支承力遠大於對側面支承力的情形	相對於地盤，構材勁度較小，且構材變形的影響不能忽視的情形	以樁或地下連續壁支承的情形

上述方法 A 為最簡單的計算方法，係考慮底面地盤為均勻，適用於隧道斷面的勁度大於地盤者，且隧道底面的地盤支承力，顯著大於隧道側面的地盤支承力時。通常利用此種計算方法，針對水平載重或傾覆力矩計算所得隧道斷面力較大，係屬於較保守的計算方法。若隧道斷面或地盤適合於上列條件，可利用此種計算方法。

方法 B 及 C，較能反映土壤與結構互制行為，但計算繁雜。

若隧道斷面規模較小且為單純的箱形斷面，可視為剛體結構，以利用方法 A 較為方便。若為斷面特別大的結構物(彈性體結構)、特殊形狀的結構物、隧道高度大於斷面寬度且承受偏心載重，或以地盤變位為考量重點時，則利用方法 B 或 C 進行分析。剛體結構與彈性體結構之判定參考圖 C5.1 所示之規定。

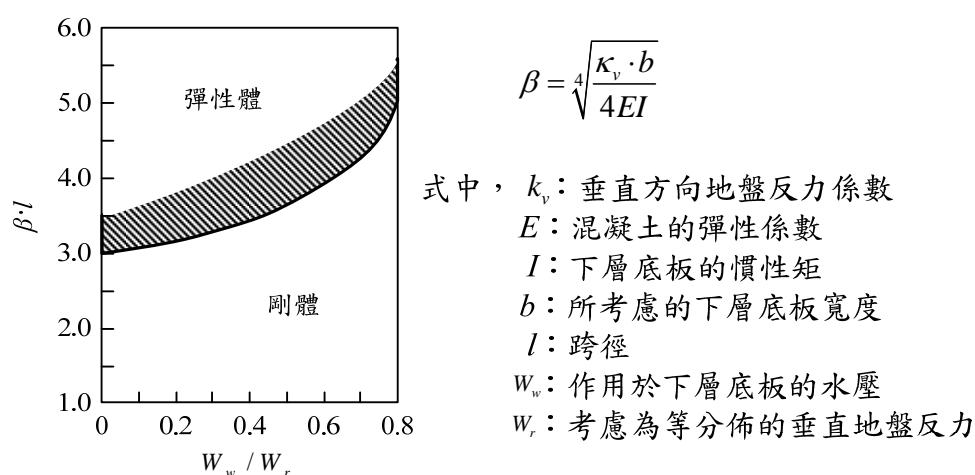


圖 C5.1 視結構物為剛體或彈性體的區分

(2) 縱斷面方向的結構計算

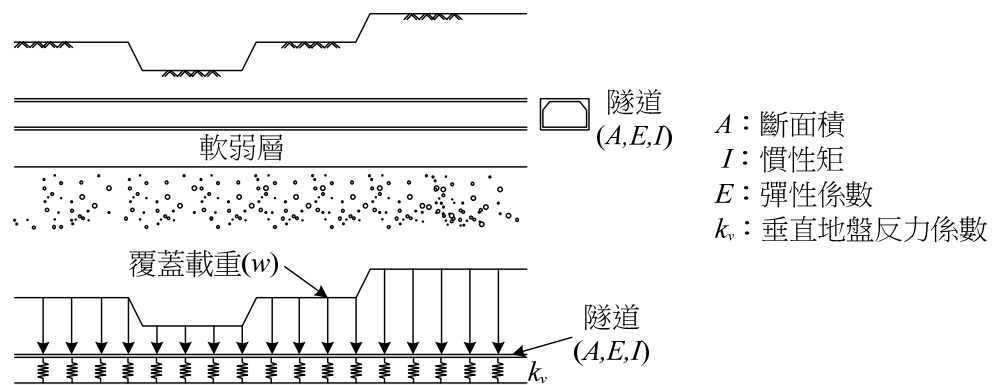
一般而言，有下列的情況時，必須探討縱斷面方向的應力：

- A. 地面有凹凸，且覆蓋載重因地而異的情況(如圖 C5.2 (a))。
- B. 橋墩等局部性的結構物載重或土壓作用於隧道的情況。

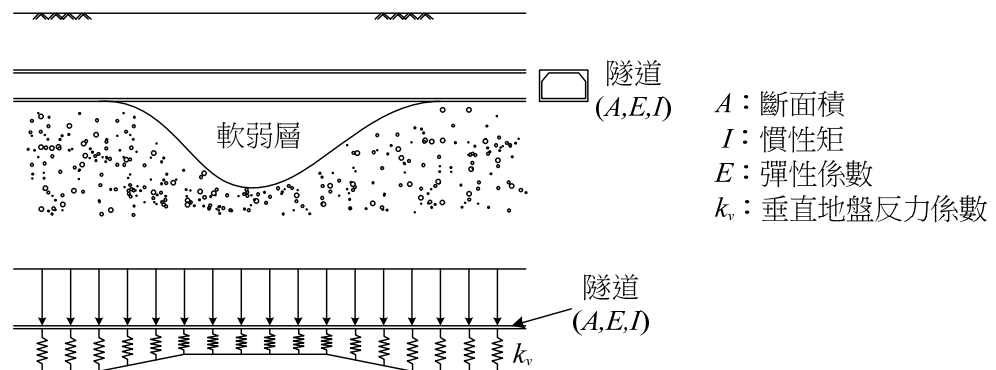
C. 地盤條件在縱斷面方向有不同的情況(如圖 C5.2 (b))。

D. 地盤變位而造成局部載重增加的情況。

探討隧道縱斷面方向的應力時，將隧道視為彈性體並以地盤彈簧支承之。縱斷面方向地盤彈簧發生變化或有局部載重作用時，可能引起地盤反力的增減，甚而影響橫斷面方向應力分佈，分析時應仔細考慮該等效應。



(a) 覆蓋載重因地而異的情況



(b) 支承地盤條件因地而異的情況

圖 C5.2 縱斷面方向之應力

C5.2.4 斷面剛構架之設計

托肩特別大時，將軸線定為折線，以變斷面考量之。變斷面構材軸線可採用通過以等間距劃分的各相鄰斷面形心所連接之直線近似之。

剛構架的結構分析，一般僅考慮構材的撓曲變形。若構材深

度與長度之比值較高時，則不能忽略剪力變形之效應。

為使剛構架之角隅處應力能夠順利傳遞，可在角隅處內側設置托肩並加大外側鋼筋的彎曲半徑，使角隅處內側的混凝土壓應力與角隅處外側的鋼筋拉應力順利傳達。

C5.2.5 版之設計

版的彎矩及剪力等斷面力，原則上可依據薄板理論或下列的近似方法求算之。若版的形狀複雜，則可利用有限元素法或差分法等數值分析方法求算斷面力。

(1) 單向版

- A. 承受均佈載重的單向版，其彎矩可以用單位寬度的梁求算。此時的分佈鋼筋量採用主鋼筋量的 1/6 以上，並配置於主鋼筋的垂直方向。
- B. 承受集中載重的簡支版，或兩端固定的單向版每單位寬度的最大彎矩，可將全跨徑的版視為具有以下列計算式求得的有效寬度的梁求算之。
 - a. 簡支版的情形(如圖 C5.3 所示)。

$$b_e = v + 2.4x(1 - x/l) \quad (c \geq 1.2x(1 - x/l) \text{ 時}) \quad (\text{C5-2})$$

$$b_e = c + v + 1.2x(1 - x/l) \quad (c < 1.2x(1 - x/l) \text{ 時}) \quad (\text{C5-3})$$

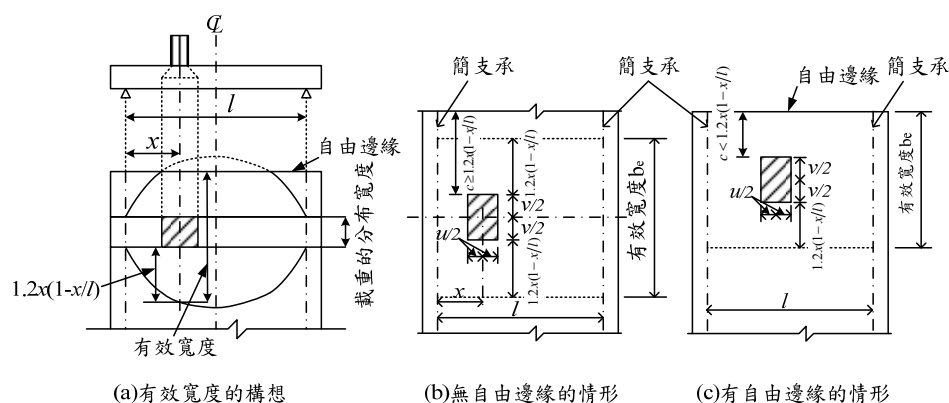


圖 C5.3 單向版的有效寬度(簡支承的情形)

b. 兩端固定的情形

$$b_e = v + x(1 - x/l) \quad (\text{對於跨距中央的正彎矩}) \quad (C5-4)$$

$$b_e = 0.5v + x(2 - x/l) \quad (\text{對於固定端的負彎矩}) \quad (C5-5)$$

式中， b_e ：有效寬度

c ：自集中載重分佈寬度的端點至版自由邊緣的距離

v ：載重的分佈寬度

x ：自集中載重作用點至最近的支點的距離

l ：版的跨徑

- C. 簡支承單向版的分佈鋼筋承受均佈載重時，該分佈鋼筋應採用每單位版面積中拉力主鋼筋斷面積的 1/6 以上。承受集中載重時，該分佈鋼筋應採用每單位版面積中鋼筋斷面積的 α 倍。此 α 值，可由下列計算式求得：

- a. 版中央載重的情形

$$\text{下側分佈鋼筋 } \alpha = 1 - 0.25l/b / (1 - 0.8v/b) \quad (C5-6)$$

當 $l/b > 2.5$ 時，可用 $l/b = 2.5$ 時的 α 值。

- b. 版緣端附近載重的情形

$$\text{上側分佈鋼筋 } \alpha = (1 - 2v/b)/8 \quad (C5-7)$$

式中， l ：版的跨距

b ：版的寬度

v ：載重的載重寬度

(2) 雙向版

依據「混凝土結構設計規範」之規定辦理。

(3) 懸臂版

- A. 承受均佈載重的懸臂版彎矩，可視為單位寬度的梁求算。此時分佈鋼筋量採用主鋼筋量的 1/6 以上，並配置於主鋼筋的垂直方向。

- B. 承受部分分佈載重的懸臂版，可利用下式求算有效寬

度，計算每單位寬度的彎矩 (如圖 C5.4 所示)。

$$\text{載重位於中間時， } b_e = v + 2x \quad (\text{C5-8})$$

$$\text{載重位於邊端時， } b_e = v + x \quad (\text{C5-9})$$

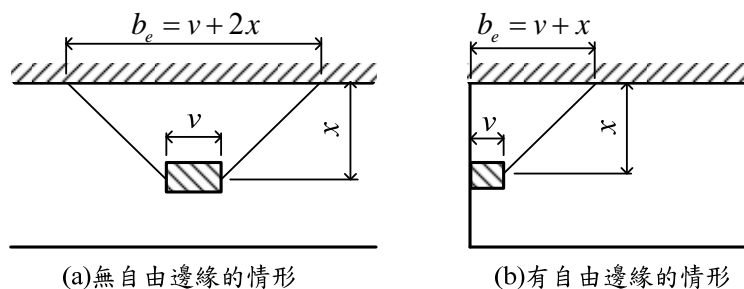


圖 C5.4 懸臂版的有效寬度

若版的形狀為非矩形或有開口存在，則版的應力分佈甚為複雜，可利用有限元素法或差分法求得彎矩，通常用正向應力的型式表示，上述狀態，最大彎矩未必與 M_x 、 M_y 一致。由於最大彎矩有可能大於 M_x 、 M_y ，因而必須確認在最大彎矩的發生方向具備抵抗降伏應力之能力。

設計者應考量各種載重組合引致之撓度，供為施工階段預拱計算之依據。

C5.2.6 梁之設計

基本上可用混凝土的全斷面，利用線性分析計算出斷面力進行設計。

C5.2.7 柱之設計

明挖覆蓋隧道之柱構材，若剪力破壞先行於撓曲破壞，結構物會發生脆性破壞，必須加以注意。

C5.2.8 牆之設計

牆之設計載重除考量垂直載重之外，也必須考量其它載重，如側向土壓、地下水壓等之面外載重。

C5.3 利用地下連續壁作為部分主體結構物之設計

C5.3.1 適用範圍

近年來地下車站等的明挖覆蓋隧道或豎井，施行深開挖的案例增多，由於承受較大的側壓，因而在擋土方面使用具有高勁度地下連續壁的情形亦增多。原則上，明挖覆蓋隧道應為完整之箱型結構物，不與地下連續壁共構，以避免滲漏水或連續壁局部施工不良與接續之問題。惟若受限於特殊條件且無妥適處理方式時，必要時可將地下連續壁做為永久結構物並作為部分隧道主體，藉以縮小結構物的寬度，減少開挖土量及節省工程費。對於地下連續壁與內牆或板之銜接，施工期間構材應力之檢核，均須特別加以考量。

C5.3.2 設計基本原則

利用地下連續壁作為主體時，於設計上應考量的事項如下：

- (1) 作為主體結構物的地下連續壁設計應使其在完成後不發生損壞，並從施工階段開始，不發生過大的應力或變形。
- (2) 作用於地下連續壁的載重，在施工階段時與結構物完成後顯然不同，因此應就各階段分別考量。
- (3) 載重條件即使相同，也會因結構型式不同而造成構材應力不同，因此應針對結構型式選擇適當的分析方法。

C5.3.3 結構型式之選定

銜接方法可分為雙牆型式、複合牆型式及單牆型式，如圖 C5.5 所示，並說明如下：

(1) 雙牆型式

為地下連續壁與內牆銜接面可互相自由滑動，由撓曲引起相等變位的結構。外牆為水中混凝土，分析設計時需加以考慮。

(2) 複合牆型式

地下連續壁與內牆的銜接面加裝剪力連結筋(dowel)，使其成為一體以抵抗載重者，但底板與牆的銜接及剪力連結筋等施工較為複雜，且不易確實。

(3) 單牆型式

利用地下連續壁作為主體結構的一部分，不設置內牆，而僅以地下連續壁抵抗載重者。太深時須增加壁厚，與複合牆型式相比較不經濟。且因不施作內牆，常有長期滲水問題，故須特別考慮防水。

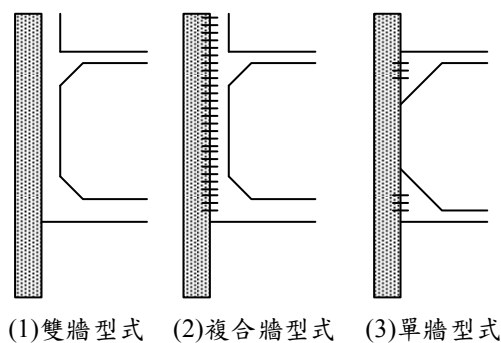


圖 C5.5 利用地下連續壁作為部分主體的結構型式

C5.3.4 載重及斷面力

(1) 施工時，由於載重的作用狀態會隨施工階段而異，因而設計所用的載重，應按各施工階段的情況加以考慮。

設計所用完成後的載重，係依據第四章的規定。

(2) 利用地下連續壁作為主體時，其斷面力的計算方法，可大致

分為下列兩種：

A. 依次計算法

自施工時的設計開始，繼續至結構物完成為止，依次進行設計的方法。亦即係自施工時至完成後，載重或結構發生變化時，將應力的變化量累加計算的一種方法。

B. 分開計算法

係將施工時的設計與主體結構物完成後的設計，分別進行的方法。

完全分開計算法，因計算容易，所以案例亦較多。但依施工條件或載重條件等的不同，此方法未必符合實際狀況。

綜合上述情形，不論使用何種計算法，均應考慮施工條件、載重條件及重要程度等決定之。

(3) 結構分析模式的設定應依不同的計算方法分別設定適當者。

第六章 大地工程

C6.1 一般說明

本章主要針對明挖覆蓋施工法之擋土開挖設計作原則性之說明，詳細之分析方法可參考「建築物基礎構造設計規範」之相關規定辦理。

C6.2 設計基本原則

設計開挖擋土支撐系統時，應考慮作用載重、地形及土壤、擋土設施的種類、開挖深度、毗鄰結構物及周邊環境等，俾使成為既安全又經濟的臨時結構物。

設計時，應探討開挖底面的穩定、擋土壁的變位及應力、擋土支撐構件的應力、擋土壁的垂直支承力、覆蓋板以及覆蓋梁的變位及應力等。並應確認所設定擋土壁的長度及斷面，或擋土支撐的結構等，在個別探討時均能滿足容許值。在大規模擋土設施的情況，亦有一面監測擋土壁變形及支撐應力等，一面變更原來設計的情形。

相關設計之考量至少應涵蓋下列各項：

- (1) 工址範圍內地層之變化、地下水位、土壤性質與剪力強度等特性。
- (2) 考量土壓力、地下水壓及其它載重(如地表超載、鄰屋載重)之長期、短期最大載重組合。
- (3) 永久性結構體與側向位移受限之擋土結構應以靜止土壓力作為設計考量。
- (4) 設計條件與施工工法之整合。
- (5) 土壤與結構互制作用，結構物容許之變位及不同建物保護工法之成效評估。

(6) 臨時工程如降水、地盤改良、建物保護等之分析。

臨時性和永久性工程之預期施作結果，除應由已施作地下結構物設施之成果作回饋分析外，應盡可能以類似構築條件之既有建築物量測結果作為設計參考比較。

C6.3 擋土設施

所謂擋土設施，包含直接與土壤接觸的擋土壁，與支承此擋土壁的支撐所構成的結構物；擋土設施有許多條件，亦有許多工法，採用擋土設施時，應考慮安全性、經濟性及環境保護等各種條件，藉以選擇最適合現地條件的擋土設施。尤其在市區進行擋土設施施工時，周邊的環境條件將成為選擇工法的一大要素，須針對施工引起的噪音、振動、地盤下陷及地下水變化等加以探討，才能選擇適合於周邊環境條件之工法。

擋土設施為直接與地盤關連的結構物，且隨著施工的進行，載重與結構系統均會發生變化，因而處於複雜的應力狀態居多。在市區施工時，對埋設物或周邊建築物的影響甚大。因此，應盡可能根據既有資料，在各施工階段確認下列各項的安全性：

- (1) 擋土設施之穩定性分析。
- (2) 擋土壁之應力及變位。
- (3) 擋土設施支撐之應力。
- (4) 擋土壁及中間柱之垂直支承力。

C6.3.1 擋土設施之穩定性分析

- (1) 基地在未開挖前之地層可視為處於平衡狀態。此平衡狀態在基地開挖後隨即改變，地層產生應力及變位。本節即利用地層參數及地下水壓分析基地在開挖過程中及最後階段之穩定狀況，以安全係數表示。

- (2) 本節所列之穩定性分析，只考慮地層之應力部份，並未考慮地層之變位。因此在開挖基地須要嚴格限制變位量時，其安全要求應提高。換言之，縱能符合穩定性之最低安全要求時，亦未必能達到變位量之安全要求。通常開挖土層之穩定性愈高或安全係數愈大，其變位量即愈小。
- (3) 下列為開挖穩定分析之最低安全係數要求
- | | |
|--------------------|-----|
| A. 抵抗因貫入深度不足所造成之破壞 | 1.5 |
| B. 抵抗因開挖面隆起所造成之破壞 | 1.2 |
| C. 抵抗因上舉所造成之破壞 | 1.2 |

C6.3.2 擋土壁斷面之設計

擋土壁之斷面計算，由於大多在開挖完成時的狀態為最危險的情況，故通常係針對此時的狀態進行計算，但依支撐垂直向的間隔或假想支點的位置，在開挖進行中支撐設置前的狀態，其應力亦有大於開挖完成時狀態者。開挖完成並構築隧道之主體時，或拆除或拆換會形成障礙的支撐時，應力亦有大於開挖完成時的狀態。因此，亦須針對此種情況，仔細確認擋土壁的安全性。此外，若擋土壁為臨時措施，設計時可考量其使用年限並著實考量其安全係數。

C6.3.3 橫擋之設計

橫擋通常使用 H 型鋼，有時亦使用鋼筋混凝土製者。橫擋與擋土壁之間若有縫隙，不僅無法使作用於擋土壁之載重均勻傳遞至橫擋，且會加大擋土壁的變形，並造成周邊地盤下陷，故橫擋與擋土壁之間應預先以混凝土充填，使二者緊密接合。

由於橫擋與支撐的銜接部分承受甚大的支承壓力，因而橫擋使用 H 型鋼時，腹板會有局部挫屈或翼板發生變形的情況。因

此，必要時須以加勁板或混凝土補強該部分(如圖 C6.1 所示)。

橫擋為避免因來自路面的振動、安全通路等的載重，自支撐傳達的垂直載重及地錨反力的垂直分力等而掉落，必須以托架等牢固支承之。

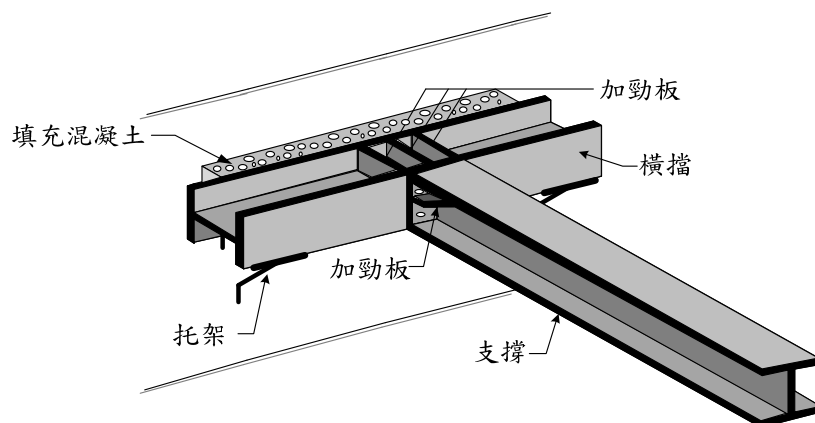


圖 C6.1 銜接部份之補強

考慮橫擋與支撐之間的接頭效益，橫擋接合部分若非完善，可視為簡支梁分析較為保守。若接合結構良好，且作為連續梁能夠將彎矩及剪力完全傳達，則可視為連續梁分析。

設有斜撐的橫擋如圖 C6.2(a)所示，可視為有效跨徑為 L 的簡支梁計算之。若斜撐角度在 60 度以上，橫擋之有效跨徑 L 如圖 C6.2(b)所示。若為設有二段以上之斜撐時，橫擋有效跨徑的計算如圖 C6.2(c)所示。

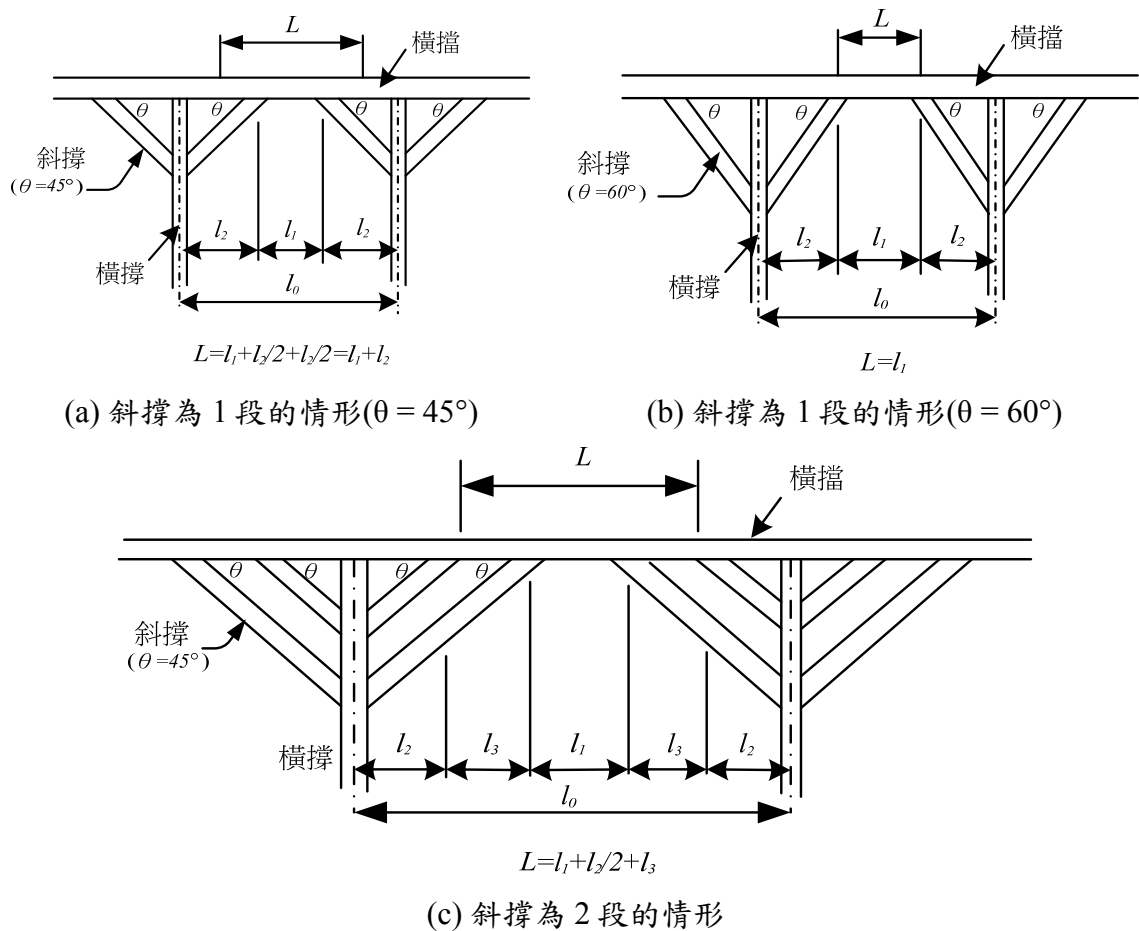


圖 C6.2 使用斜撐時橫檔有效跨徑的計算方法

再者，如圖 C6.3 所示，在端部兼作支撐的橫檔應考量為承受軸向力與彎矩聯合作用的構件進行計算。

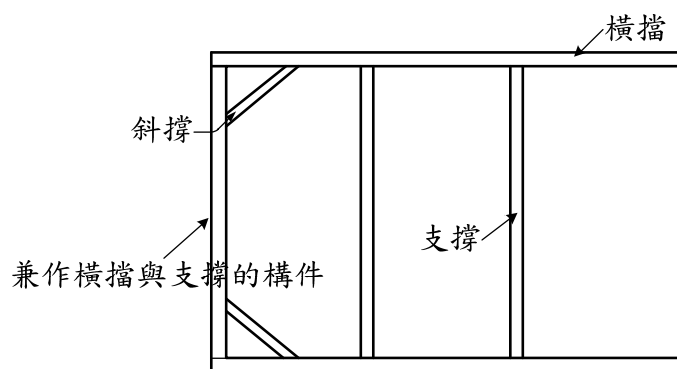


圖 C6.3 端部的橫檔

使用地錨時，其橫檔一般採用以 2 段重疊水平安裝的方法如

圖 C6.4 所示。此時，對於水平方向(強軸方向)，可考慮以地錨為支點的簡支梁或連續梁，求算彎矩及剪力以決定橫擋的斷面。對於垂直方向(弱軸方向)，因承受地錨軸力垂直分量之作用，可視為以托座為支點的簡支梁進行翼板斷面之檢核。再者，對於托座或與擋土壁銜接部分，亦應加以檢核。

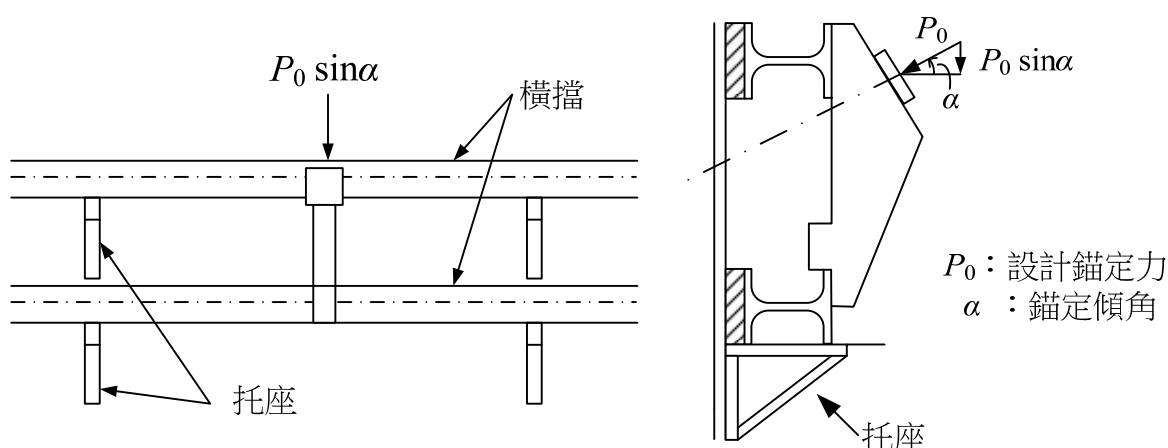


圖 C6.4 使用地錨的鋼製橫擋

C6.3.4 支撐之設計

支撐所受的軸向力，除來自橫擋的反力之外，也會因溫度差造成溫度應力，設計時必須考慮溫度變化的影響。

若開挖引起的回彈等使得中間柱的上浮量較大時，則應留意由此現象對支撐的影響。

若擬在施工時施加载重於支撐上，則應評估垂直載重之影響，並視為軸向力與彎矩作用的構件加以設計。

支撐與橫擋的銜接部分若有間隙或有鬆動，則支撐將不成為橫擋的支點。因而橫擋的跨徑將會變長，使得擋土壁的變形變大，造成擋土設施背面地盤下陷，故必須使用千斤頂等使支撐與橫擋緊密接觸，並以螺栓結合之。為防止背面地盤的下陷，亦可在支撐施以預壓，藉以抑制擋土壁的變形。

支撐與橫擋，以安裝成直角為原則。若安裝成斜角或安裝斜撐，則應以螺栓等緊密銜接於橫擋，以避免因水平分力而發生滑動，也需考慮其接頭效益。

C6.3.5 斜撐之設計

使用斜撐的目的係為加大支撐的水平間距及作為角隅部分的橫擋支點，藉以補強橫擋。斜撐連結橫擋與支撐成斜狀，銜接部分容易發生滑動，故銜接部分應具備足夠的抵抗滑動能力。將斜撐安裝於支撐時，應儘量左右對稱，避免支撐受偏心載重而產生彎矩。

一般而言，斜撐係以承受軸向力的抗壓構件設計，軸向力可利用下式(C6-1)求出(如圖 C6.5 所示)。

$$N = \frac{(l_1 + l_2)}{2} \cdot w \cdot \frac{1}{\sin \theta} \quad (\text{C6-1})$$

式中， N ：作用於斜撐的軸向力

l_1 、 l_2 ：支撐的跨徑

w ：作用於支撐的均佈載重

θ ：斜撐的安裝角度

安裝於支撐的斜撐，因構件較短，自重所產生的垂直載重，通常可以忽略不計。使用角隅部分的斜撐，以安裝成 45° 的角度為原則，若因支撐的配置，使得斜撐成為搭接接合時，對於接合螺栓應加以檢核。

斜撐斷面可依下式(C6-2)進行計算：

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \leq \sigma_{ca} \quad (\text{C6-2})$$

式中， σ_c ：壓應力

σ_{ca} ：容許軸向壓應力

N ：軸向力

A：斷面積

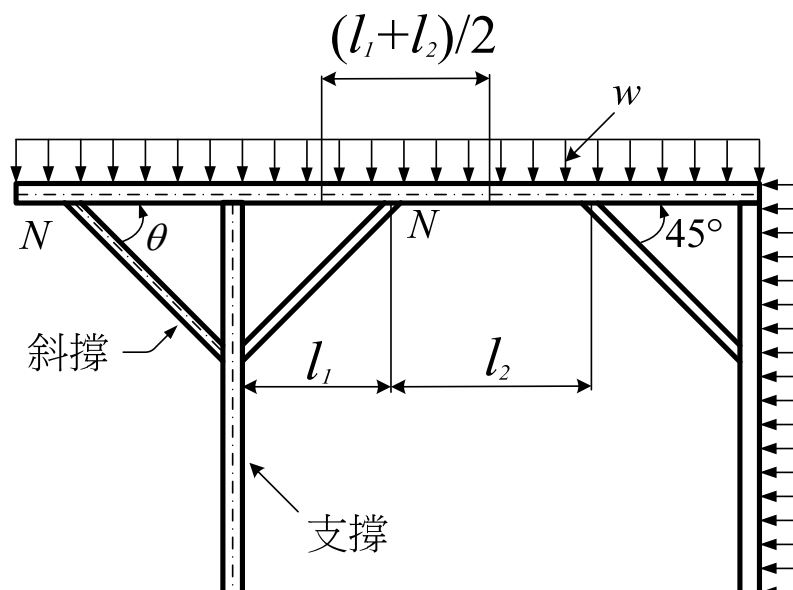


圖 C6.5 作用於斜撐的軸向力計算

C6.3.6 地錨設計

為使地錨具備足夠的錨碇力，地盤須具備足夠的抗剪強度，除有特殊情況，設計時應採用可回收式地錨。

地錨的抗拔力易受到下列因素之影響：

- (1) 孔壁因鑽孔受擾動，降低地盤之抗剪強度。
- (2) 灌注漿液的充填緊密程度，導致土壤抗剪強度的恢復狀況發生變化。

地錨設計應參照「地錨設計與施工準則暨解說」等相關規定辦理，並據以施行地錨抗拉拔試驗，藉以掌握地盤對地錨極限拉拔力及其行為之影響，並決定地錨所用的各項設計參數。

C6.3.7 擋土壁及中間柱之支承力

1. 擋土壁與中間柱，有承受垂直載重者與不承受垂直載重者兩

種，此處以敘述承受垂直載重者為主。

作用於擋土壁與中間柱的垂直載重，主要者如下：

- (1) 路面載重。
- (2) 路面覆蓋(覆蓋板及覆蓋梁等)自重。
- (3) 埋設物自重(含梁在內)。
- (4) 中間柱及擋土壁的自重，以及支撐的垂直載重。
- (5) 地錨的垂直分量載重。

一般而言，支撐擋土設施之設計應將(1)、(2)及(3)所產生的覆蓋梁的最大反力當作載重考慮。若中間柱的自重及支撐的垂直載重較大時，則須考慮(4)。若係地錨擋土設施的情況，則擋土壁的垂直載重，亦須將(5)的地錨垂直分量當作載重進行設計。

2. 支承力的計算方法

中間柱承受來自覆蓋板及支撐的垂直載重，同時與支撐連接，造成中間柱的挫屈長度減小。若中間柱下陷或水平移動，則擋土設施整體的穩定性將會受影響，故須慎重探討中間柱的支承力。

一般而言，擋土壁及中間柱的容許支承力，係採用極限支承力除以安全係數後的值，並利用下式(C6-8)求出：

$$R_a = \frac{1}{FS} R_u \quad (C6-8)$$

式中， R_a ：容許垂直支承力

FS ：安全係數 = 2.0

R_u ：由地盤決定的擋土壁或中間柱的極限支承力

極限支承力 R_u ，可利用下式(C6-9)求算：

$$R_u = q_d \times A_p + U \times l \times f_s \quad (C6-9)$$

式中， A_p ：底部面積

q_d ：底端地盤的極限支承應力

U ：周長

l ：貫入部分的樁長

f_s ：周面摩擦應力

考慮擋土壁會隨著開挖而在開挖側產生變形，因此，僅考慮貫入部分屬於有效的擋土壁周面摩擦力範圍。在 $N \leq 2$ 的軟弱層，須以試驗評估其凝聚力，作為是否考慮周面摩擦力之依據。

3. 計算支承力的注意事項

中間柱的周長(U)及底端面積(A_p)之計算公式依施作方式有所不同如圖 C6.6 所示。

中間柱的貫入深度較小時，或樁徑較大時，僅考慮底端支承力；在軟弱黏性土地盤或比較疏鬆的砂層土地盤，則不考慮底端支承力，而僅考慮摩擦力。

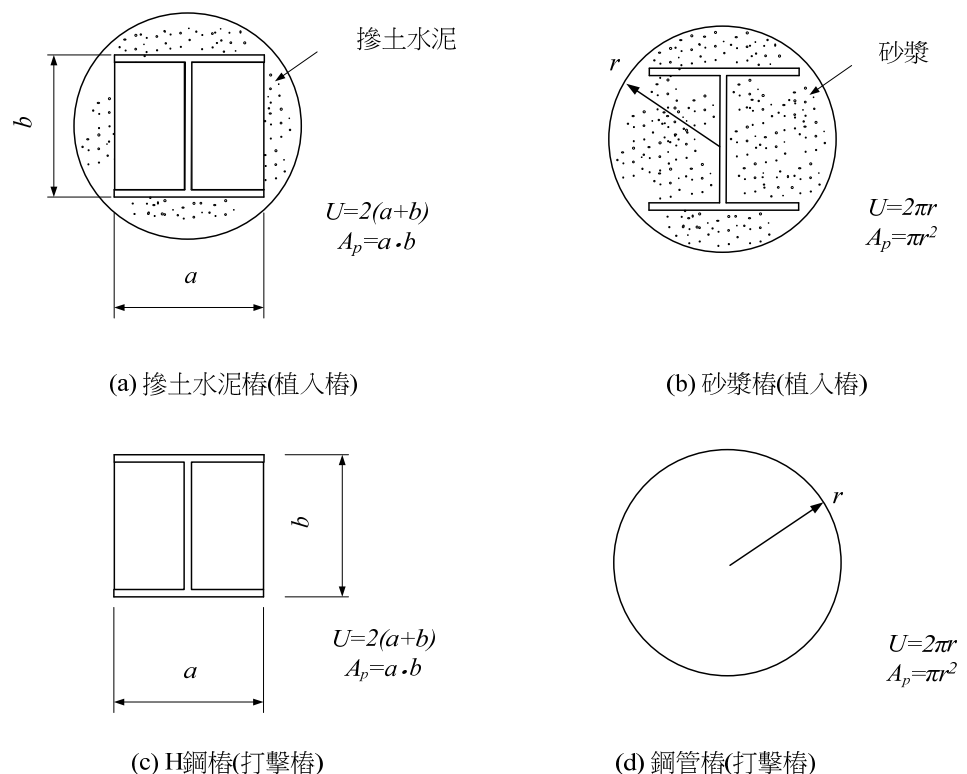


圖 C6.6 中間柱的周長及底端面積的取法

擋土壁的周長(U)及底端面積(A_p)，會隨擋土壁種類的不

同而有所差異，豎樁、鋼管樁以及柱列式擋土壁的周長(U)及底端面積(A_p)之計算方式如圖 C6.6 所示；地下連續壁之計算方式如圖 C6.7(a)所示。

一般而言，鋼板樁之堵塞效應(plugging effect)較難估算，其有效周長可考慮為與貫入部分的土壤接觸部分(忽略不規則部份)，且不考慮底端支承力，如圖 C6.7(b)所示。

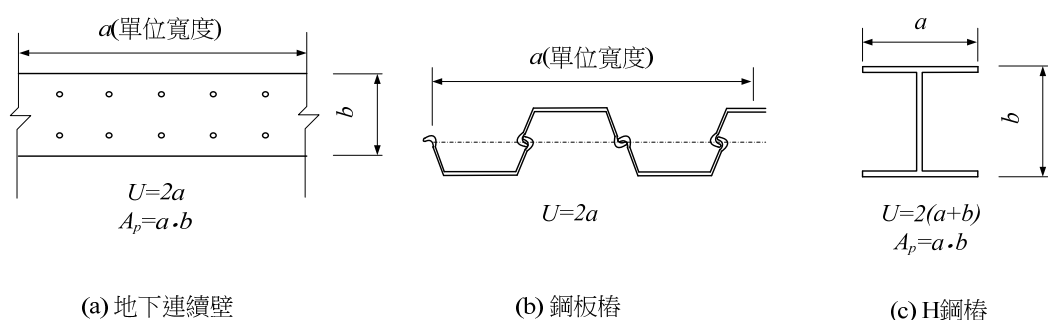


圖 C6.7 擋土壁的周長及底端面積的取法

安全係數可視施工條件或臨時結構物的重要性而定。隨著主體混凝土的升高而拆除支撐的階段，中間柱的拘束點間距可能會變大，因此必須先行檢核中間柱之挫屈行為，以確認安全。

C6.3.8 擋土壁之變形及背面地盤變位之檢核

在鄰近既有結構物或地下埋設物進行臨時結構物的施工時，擋土壁變形及背面地盤變位的檢核，與擋土壁應力的檢核同樣重要。過大的變形不僅會降低擋土設施的穩定性及引起背面或鄰近結構物受損，而且妨礙主體構築的施工。因此須針對各施工階段之擋土壁變形及背面地盤變位加以檢核。

計算擋土壁的變形時，由於輸入值對計算結果的影響甚大，因而必須仔細探討擋土設施的構件、土壓與水壓以及地盤參數等決定之。此外，對於計算結果亦須探討與類似案例的實測值進行

比較。

背面地盤的變位與地盤土壤的特性、地下水位的變化、開挖規模及施工方法等有關，一般而言，受擋土設施之變形、漏水漏砂及地下水位下降所造成的影響甚大。

為控制擋土壁的變形或背面地盤的變位，必須考慮其影響因素，並採取對策。

(1) 施工過程所造成的背面地盤變位

施工過程所造成的背面地盤變位如圖 C6.8 所示，可分為擋土壁因開挖變形而產生的地盤變位與因排水使地下水位降低而產生黏性土壤的壓密下陷等兩種。

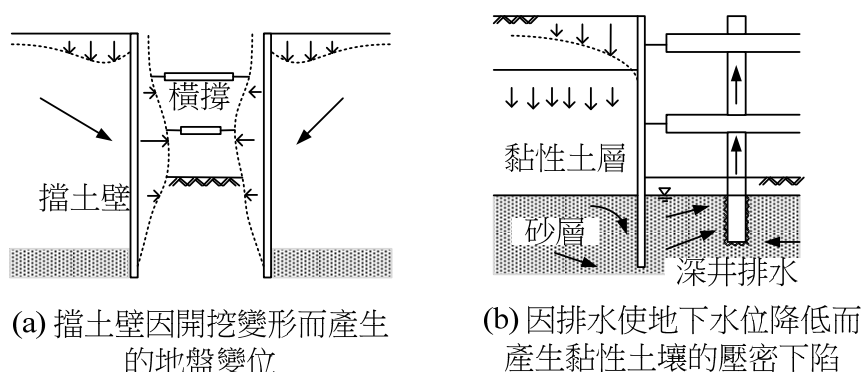


圖 C6.8 施工過程所造成背面地盤變位的示意圖

A. 開挖過程中擋土壁變形而造成的地盤變位

因擋土壁的變形而產生的地盤變位型態依開挖過程而異，如圖 C6.9 所示。第一階段開挖時，擋土壁頂部的變形最大，背面側地盤的地面下陷，其分佈以牆頂最大。第二階段開挖時，擋土壁的水平變位在支撐位置被拘束，因而在開挖底面附近的變形最大，形成弓狀。最後開挖階段，其地面下陷分佈形狀如圖 C6.9(c)所示。

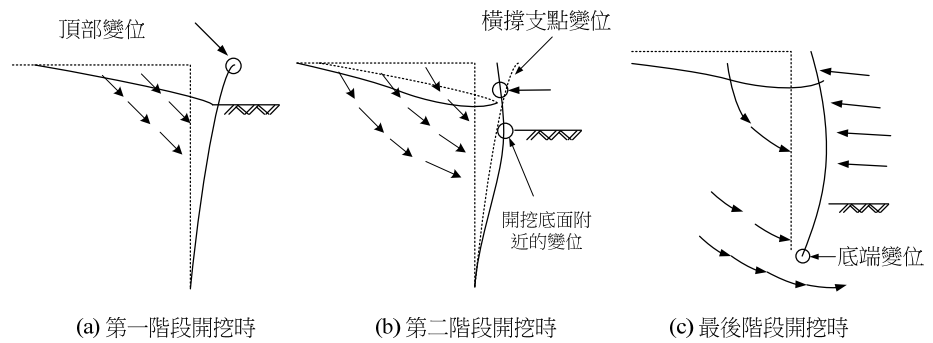


圖 C6.9 開挖過程所產生的擋土壁變形與背面地盤變位

擋土壁勁度不足或者支撐架設太慢而預力又不足時，擋土壁的最大水平變位，通常發生在開挖底面附近，但若自開挖底面至基盤間的軟弱層厚度較大時，擋土壁的貫入深度較大，則水平變位最大值可能發生在貫入部份。在該等情況下，擋土壁貫入部分的變位會大於開挖底面以上者，地面下陷會變大，須加以注意。

B. 因排水使地下水位降低而造成黏性土壤的壓密下陷

在地下水位下施行開挖時，須將匯集於開挖底面的地下水排除。因此項排水而導致擋土壁背面側地盤內的地下水位下降時，若有黏性土層或腐植土層等存在，則有可能產生壓密下陷。該等黏性土層或腐植土層，因地下水位下降有效覆土壓力增加則會產生壓密下陷。若壓密下陷量太大，並對周邊有造成影響之虞，則須選擇具有截水性的擋土壁。

採用深井工法降低砂礫層開挖面側的地下水位時，在開挖地點的周邊地盤，即使未發現有可能造成壓密下陷的地層存在，亦會有在遠離施工現場的地點引起黏性土層壓密下陷的情形。為避免受到此類影響，事先應利用抽水試驗等預測地下水位下降的影響範圍，並調查在該範圍內是否有黏性土層存在。此外，亦有藉由設置截水性擋土壁，若截斷地下水水流，將使上游側的水位上升，下游側的水位下降的情況。若在下游側有黏性土層

存在，則有產生壓密下陷的可能性，應評估其影響性。

(2) 對策

因擋土壁背面地盤變位，而造成對既有結構物或地下埋設物的影響較大時，必須採取下列對策：

A. 抑制擋土壁變形的方法

- a. 改良開挖面側的地盤，以提升被動阻力。必要時先行架設地中壁、地中梁或扶壁等。再者，若為軟弱黏性土地盤，則於開挖面側施作地盤改良時，必須注意擋土壁在背面側不至於產生過大之變形。
- b. 減少一次的開挖範圍，減少開挖的影響。若開挖寬度較大，則自中央部分開始開挖，並在擋土壁內側邊緣留下土堤，減少擋土壁的變形。
- c. 各階段開挖完成後，立即架設橫擋或支撐等，必要時採用預壓工法。
- d. 縮短支撐的垂直間距。
- e. 採用撓曲勁度較大的擋土壁(T型扶壁)。

B. 改善地下水位降低的方法

- a. 採用高截水性的擋土壁，否則需利用化學灌漿等工法改良擋土壁背面側地盤，藉以提升截水性能。
- b. 將擋土壁的底端貫入不透水層。若不透水層不存在，則加大貫入深度，藉以增加自擋土壁背面側地盤流入開挖底面的地下水流線長度。
- c. 為防止自開挖底面湧出地下水，藉由改良地盤降低開挖底面下的地盤滲透係數。
- d. 因地下埋設物阻隔，使得擋土壁無法連續時，在不連續處須藉由改良地盤，確保擋土壁相當的截水性能。
- e. 將開挖面側抽取的地下水補注於擋土壁背面的地下水補注工法。

C6.4 鄰近結構物及既有設施之變位控制

- (1) 若需採保護措施保護該結構物時，應在評估各種可行保護方案後，建議最適合之方案。

保護措施可包括但不限於下列各項：

- A. 托底工法。
- B. 增加擋土支撐強度。
- C. 截水壁(Cut-off Wall)。
- D. 地中梁、扶壁或地質改良形成地盤支撐。
- E. 土釘 (Soil Nailing)或微型樁(Micropile)。
- F. 灌漿工法(滲透型灌漿、脈狀式灌漿、高壓噴射灌漿、擠壓灌漿)。

- (2) 有關鄰近結構物及鐵路設施變位容許值，在施工前應進行現況鑑定，依鄰近建物之重要性與實際情況評估其容許變位值，作為保護措施設計之參考。

C6.5 其他特殊考量

- (1) 明挖覆蓋隧道遭遇特殊狀況而無法以一般常用開挖支撐方式施工者，應針對其特有之工址條件、地盤特性及施工條件，再參考過去之施工經驗進行評估與判斷，採取適當之處理對策。
- (2) 有關明挖覆蓋隧道工程之特殊狀況，由於設計上之不確定因素較多，通常不易於事前充分掌握。因此，處理對策應具適當彈性。

第七章 防洪及排水工程

C7.1 一般說明

- (1) 地下結構完成後，若地下水高於地下結構，則地下水將因地下結構間存在之水頭，而有入滲地下結構之趨勢。此時應視實際狀況決定是否允許地下水滲入，而進行不同理念之排水設施設計。若地下水滲入地下結構內，則對周圍環境大致有下列影響：
 - A. 導致地表結構物因地面下陷而受損。
 - B. 造成水枯竭，使民生用水及灌溉受到影響。
 - C. 若地下水質有腐蝕性，則地下結構混凝土或鋼筋將會受損。
- (2) 地下結構工程不允許發生上列影響者，則地下結構應設計完全水密之結構，將地下水隔絕於地下結構之外，並於混凝土結構設計時，考量相應之地下水壓。
- (3) 若地下水壓過大，影響混凝土結構之設計，則可於混凝土結構外圍地盤中，以固結灌漿法構築適當厚度之不透水圈，並在不透水圈與結構之間設適當之水路，將地下水壓降低。
- (4) 當允許地下水排入地下結構時，地下結構應設適當之進水管道及排水通路以利排除。但同時仍應有適當之防水措施，侷限地下水僅從預設之管道進入地下結構。
- (5) 地下結構內應設計獨立之污水收集系統，匯集車站之生活污水及消防(泡沫等特殊)系統之廢水。

C7.2 引道段排水

引道段開口須設置排水系統排除流入之雨水，集水面積係涵蓋引道口露天段之降雨區域作為集水坑及泵容量大小之設計依

據，引道段以外之降雨則利用地面排水系統截流，以免雨水流入地下結構或地下車站。引道段排水之雨水逕流量及流入之尖峰逕流量可利用合理化公式計算。

C7.3 明挖覆蓋隧道與地下車站排水

明挖覆蓋隧道及地下車站排水之設計主要為排除降雨期間經由明挖覆蓋隧道及地下車站出入口、通風口及緊急出入口流入之雨水、火警時消防用水以及從明挖覆蓋隧道及地下車站周圍滲入之滲流水，以重力方式收集為原則。該等水量經由地下結構底板上之清除孔與進水孔流入底板內之排水路，集中流至集水坑後再由抽水泵浦將集水坑內之積水抽取至地面後，排入鄰近之既有排水系統。

C7.3.1 明挖覆蓋隧道與地下車站排水主要考量項目

(1) 地表逕流(雨水)

由出入口與通風井等地面開口飄入車站站體內之雨水量，經由地面或高架結構進入地下結構之雨水量，應視實際狀況審慎評估並納入設計之考量。

(2) 滲流水

明挖覆蓋隧道及地下車站排水系統之設計，應確保雨水及地下水均能順利排放。下列規定之滲流率僅適用於排水量之估算，不得解釋為地下結構之容許滲流率。雨水排水系統之設計同時應將地下結構發生火災時用於救火之消防水流量考慮在內。

下列各處得考慮滲流率或滲漏量，其數值由鐵路機構訂定之。

A. 單牆連續壁之單元接縫處。

- B. 非連續壁之開挖擋土牆系統，若於完工後亦成為永久結構之一部份者。
 - C. 場鑄混凝土結構之底板、頂板與模鑄牆面之接縫處。
 - D. 場鑄結構地下結構接縫處。
 - E. 經地下結構防水後仍由地下結構滲流進來的水，其滲漏量係由地下結構襯砌面積及地下結構防水處理程度來決定。
- (3) 降雨時由列車車體帶進地下結構及地下車站內之雨水。
 - (4) 列車車廂內空調系統之冷凝水。
 - (5) 經其他結構開口及通風管道流入的水。

C7.4 防洪保護設計

隧道、車站及緊急出入口、通風口等防洪保護高程須考量下列各項因素，其標準除法規另有規定外，由鐵路機構決定之：

- (1) 被保護構造物基地計畫高程。
- (2) 被保護構造物周圍平均地面高程。
- (3) 考量之洪水迴歸期對應之洪水位。

設計注意要點：

- A. 所有可能造成洪水入侵之結構出入口、通風井、開口及高架車站之機電設備系統等必須加以保護。保護設施包括水密門、水密蓋板、防水隔艙閘門或防洪閘門，並儘可能於建築物或結構物內部操作。
- B. 防洪設施之設置時，其任何組件及設備均應避開列車之行駛範圍及人行步道，且不得影響平時之正常作業。
- C. 所有防洪設施之操作均可由中央監控系統內遙控，亦可由現場手動操作。其操作原則上應與列車調度號誌連鎖，避免造成行車安全上之顧慮。
- D. 防洪設施設置處須配置監視設施(如閉路監視系統等)，

並可由中央監控系統監視防洪設施操作之情形。

- E. 鐵路引道附近應設置洪水位高度之測量與紀錄設施，用以監測引道附近之洪水位。並將訊息傳輸至中央監控系統，於緊急狀況時發出警示，提醒值班人員採取必要措施。
- F. 在緊急情形下，防洪設施可經由中央監控系統遠方遙控或現場手動關閉而封閉引道。
- G. 防洪設施的電力需求原則上由附近的單元變電站供電，防洪設施應附設備保護及控制開關設施。

第八章 防水工程

C8.1 一般說明

防水之目的旨在防止地下水滲進明挖覆蓋隧道，並達下述效果：

- (1) 防止滲入的水及其衍生的濕氣對鐵路運輸以及維持和控制鐵路營運的機械、電氣與電子設施造成負面作用，而影響營運及安全。
- (2) 防止滲漏水進到機電設施或設備房，或積聚在該等工作區域內。
- (3) 防止滲漏水腐蝕結構體的鋼筋、鋼材與降低混凝土的品質，確保地下結構體的完整性與功能性。
- (4) 防止滲水及其濕氣影響建築鋪面之施作及其品質，影響乘客觀感。
- (5) 防止滲水及其濕氣造成乘客不舒適。

C8.2 防水方法

有效提高結構體防水性的主要措施：

- (1) 高品質混凝土

防水結構物的基本要求，要使用高品質的混凝土並且減少裂縫。一般可採良好的混凝土及適當的配比設計，以提高混凝土的水密性。若僅靠任何可用的防水工法，而無品質良好的混凝土，則此結構物將無法確保長期的良好防水性。

- (2) 良好的接縫細節

確保所有接縫有良好的詳細設計及施工考量，包括使用高品質且有良好效果的止水帶。

- (3) 使用外加防水材料

附加的防水措施可用防水膜及其相關附屬材料，包覆地下結構物的表面。

C8.3 防水等級

位於地下水位以下之明挖覆蓋隧道及出土段，其防水等級建議應依表 C8.1 之規定。

表 C8.1 防水等級建議

項目	構件	防水等級
1. 明挖覆蓋隧道	頂版	A
	底版	A
	側牆	A
	集水坑	A
2. 出土段	匝道上覆頂版	A
	擋土牆(排水除外)	B
	底版	B

註：1. 頂板係指包含隧道體的整個頂部，如緊急逃生走道、機電設施房等。

2. 電纜入口與電纜室應具有等級 A 之防水。

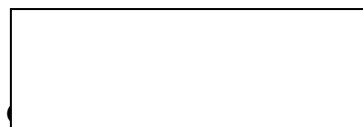
3. 在順打施工法中，其外牆之水平、垂直施工縫均需設置止水帶。

4. 如為雙牆系統則需鋪設防水膜。

參考文獻

1. 交通部(2009)，「公路橋梁設計規範」。
2. 交通部(2004)，「鐵路橋梁設計規範公路」。
3. 交通部(2006)，「鐵路橋梁耐震設計規範」。
4. 內政部營建署(2001)，「建築物基礎構造設計規範」。
5. 內政部營建署(2011)，「建築物耐震設計規範」。
6. 內政部營建署(2011)，「混凝土結構設計規範」。
7. 內政部營建署(2002)，「結構混凝土施工規範」。
8. 內政部營建署(2007)，「鋼構造建築物鋼結構施工規範」。
9. 內政部營建署(2016)，「道路工程(含共同性工程)施工規範」。
10. 台北市政府捷運工程局(2002)，「台北都會區捷運系統工程-土木工程設計手冊」。
11. 中國土木水利工程學會(1999)，「隧道工程設計準則與解說」。
12. 中國土木水利工程學會(1998)，「地錨設計與施工準則暨解說」。
13. 交通部國道新建工程局(2014)，「地錨應用於邊坡工程設計與施工規範(草案)」。
14. 日本鐵道綜合技術研究所(1999)，「鐵道構造物等設計標準同解說-耐震設計」。
15. 日本道路協會(1986)，「共同溝設計指針」。
16. 日本道路協會(2012)，「道路橋示方書」。
17. 日本土木學會(1997)，「日本隧道工程標準規範及解說-明挖覆蓋工法篇」。
18. Metro Rail Transit Consultants(1984), “Supplemental Criteria for Seismic Design of Underground Structures”, prepared for Southern California Rapid Transit District, Metro Rail Project.

ISBN 978-986-05-1062-1



GPN : 1010502733

定價：200 元

