



內政部營建署

污水下水道管材物理化學特性分析
及相關檢驗標準專業服務

成果報告書
(定稿本)



社團法人台灣下水道協會

中華民國一百年八月

內政部營建署

污水下水道管材物理化學特性分析及相關檢驗標準專業服務

成果報告書

目 錄

摘要.....	XXV
第 1 章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 計畫目標及工作內容.....	1-1
1.3 工作範圍及服務項目.....	1-1
1.4 計畫執行與方法.....	1-3
1.4.1. 污水條件與管線人孔使用狀況間之關係分析.....	1-3
1.4.2. 試驗計畫.....	1-3
1.4.3. 現行污水下水道管材及人孔相關 CNS 規定及施工規範修訂建議.....	1-4
1.4.4. 污水下水道管材及人孔製造及施工過程之節能減碳建議方案.....	1-4
1.5 工作進度.....	1-5
第 2 章 污水條件與老舊管線人孔使用狀況分析.....	2-1
2.1 台北市.....	2-1
2.1.1. 松山區民生社區.....	2-1
2.1.2. 內湖區康寧路三段附近.....	2-3
2.1.3. 大安區師範大學附近.....	2-3
2.1.4. 萬華區華江里附近.....	2-4
2.2 高雄市.....	2-5
2.3 桃園縣.....	2-6
2.3.1. 林口南區污水下水道系統民國 92 年管線清洗檢視成果（約 8 公里）.....	2-6
2.3.2. 林口南區污水下水道系統民國 94 年 24.2 公里管線清洗檢視成果.....	2-7
2.3.3. 桃園林口南區污水下水道合併分析.....	2-8
2.4 工業區.....	2-9

2.4.1.	北區工業區	2-11
2.4.2.	中區工業區	2-14
2.4.3.	南區工業區	2-15
2.5	管材經廢水侵蝕後變異性	2-17
2.6	日本地區水泥管材塌陷或損壞	2-18
2.6.1.	日本地區水泥管材塌陷統計	2-18
2.6.2.	台灣地區道路塌陷資料	2-18
2.7	老舊人孔資料分析	2-19
2.7.1.	林口南區老舊人孔	2-19
2.7.2.	工業區老舊人孔	2-20
2.7.3.	老舊人孔綜合分析	2-21
第 3 章	研究標的試驗結果與防蝕耐久分析	3-1
3.1	污水下水道管材及另件試驗結果	3-1
3.1.1.	管材檢驗數據蒐集	3-1
3.1.2.	品質檢驗數據分析	3-7
3.1.3.	污水下水道管材及另件品質檢驗數據統計分析結果	3-12
3.1.4.	污水下水道管材及另件品質抽驗數據結果	3-27
3.1.5.	檢討現行檢驗項目、方法、時機、頻率、標準及規定	3-31
3.2	混凝土管材耐久性能量評估	3-35
3.2.1.	水泥製成及水泥水化作用機理 ⁽³⁻¹⁾	3-35
3.2.2.	污水下水道管材耐久性劣化機理及對策	3-51
3.2.3.	理論硫酸鹽侵蝕混凝土膨脹量估計	3-62
3.2.4.	新製混凝土管材耐蝕性分析	3-75
3.3	老舊混凝土管材取樣分析	3-130
3.3.1.	混凝土測試	3-131
3.3.2.	民生都市污水下水道混凝土管材品質分析	3-132
3.3.3.	民生工業污水（混合型）下水道混凝土管材品質分析	3-141
3.3.4.	工業污水下水道混凝土管材品質分析	3-153
3.4	混凝土管材防蝕與耐久性總體評估	3-163

3.5	污水下水道管材鋼接頭防蝕與耐久性之評估分析.....	3-177
3.5.1.	鋼鐵材料組成成分和顯微結構.....	3-177
3.5.2.	鋼材腐蝕型態特性分析.....	3-184
3.5.3.	污水下水道工程腐蝕環境分析.....	3-186
3.5.4.	污水下水道管材接頭耐蝕行為模式.....	3-188
3.5.5.	污水下水道管材接頭耐蝕行為及使用特性分析.....	3-192
3.5.6.	下水道管材接頭鋼材耐蝕性之結論.....	3-199
3.5.7.	T型接頭焊接方式建議及使用時機建議.....	3-199
3.5.8.	管墊（緩衝材）使用之必要性.....	3-200
3.6	撓性管材防蝕及耐久性研究評估.....	3-201
3.6.1.	塑膠材料之性質.....	3-201
3.6.2.	撓性管材防蝕及耐久性研究評估.....	3-202
3.7	污水管線長壽命(50年)之擬定.....	3-206
3.8	人孔防蝕與耐久性之評估及檢驗方式之研擬.....	3-207
3.8.1.	人孔內部裡襯接縫處理.....	3-207
3.8.2.	污水人孔防蝕內襯材需要性評估.....	3-209
3.9	材料分項檢驗總表檢討與建議.....	3-211
第4章	污水下水道管材及另件應力分析.....	4-1
4.1	預鑄鋼筋混凝土人孔厚度及應力分析.....	4-1
4.1.1.	前言及文獻回顧.....	4-1
4.1.2.	人孔應力分析模式.....	4-3
4.1.3.	預鑄人孔應力分析.....	4-7
4.1.4.	預鑄鋼筋混凝土人孔分析結果.....	4-18
4.2	預鑄鋼筋混凝土陰井厚度及應力分析.....	4-18
4.2.1.	前言及文獻回顧.....	4-18
4.2.2.	陰井應力分析模式.....	4-18
4.2.3.	RC陰井應力分析.....	4-22
4.2.4.	預鑄鋼筋混凝土陰井分析結果.....	4-24
4.3	塑膠配管箱應力分析.....	4-25

4.3.1.	前言及文獻回顧.....	4-25
4.3.2.	塑膠配管箱應力分析模式.....	4-25
4.3.3.	塑膠配管箱應力分析結果.....	4-28
4.4	RC 陰井及塑膠配管箱負荷強度及擺設位置分析	4-31
4.4.1.	分析模式與評估方法.....	4-31
4.4.2.	分析結果與建議.....	4-32
4.5	混凝土推進管材應力分析.....	4-32
4.5.1.	前言及文獻回顧.....	4-33
4.5.2.	混凝土推進管材應力分析模式.....	4-33
4.5.3.	推進時混凝土管應力分析.....	4-33
4.5.4.	推進時混凝土管偏移應力分析.....	4-40
4.5.5.	管材使用中外壓強度分析.....	4-46
4.5.6.	三級管與四級管混凝土強度及鋼筋排筋量分析.....	4-52
4.6	撓性管應力分析.....	4-57
4.6.1.	前言及文獻回顧.....	4-57
4.6.2.	道路下面埋設撓性管是否變型.....	4-58
4.6.3.	撓性推進管使用於道路下之適用性.....	4-70
4.6.4.	分析結果.....	4-74
第 5 章	管材及人孔相關規範建立與修訂.....	5-1
5.1	申請 CNS 修訂之標準作業程序.....	5-1
5.2	用戶接管塑化管之相關規範建立.....	5-8
5.2.1.	污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井.....	5-8
5.2.2.	污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製直管式連接井.....	5-13
5.2.3.	污水下水道用塑膠製組合式連接井.....	5-15
5.2.4.	下水道塑膠管用壓環接頭.....	5-16
5.2.5.	下水道用高密度聚乙烯塑膠管接頭管件.....	5-17
5.2.6.	下水道用聚氯乙烯塑膠硬質管接頭配件.....	5-18
5.3	鋼筋混凝土人孔標準化.....	5-19
5.4	長距離、曲線推進管材之標準化.....	5-24

5.5	人孔蓋	5-27
5.5.1.	下水道用球狀石墨鑄鐵製框蓋	5-27
5.5.2.	防彈跳、防上浮人孔蓋之適用性	5-28
5.5.3.	氣爆問題	5-29
5.6	CNS 修訂研擬	5-30
5.7	CNS 新訂辦理期程與進度	5-30
5.8	營建署下水道工程處材料供應商自主品管執行作業規範檢討	5-30
第 6 章	管材節能減碳分析	6-1
6.1	混凝土配比節能減碳之分析	6-1
6.2	管材厚度及人孔(含另件)節能減碳之效應	6-2
6.3	施工過程節能減碳	6-4
6.4	薄管與厚管段差處理	6-6
6.5	埋管成本加總分析（以 PRCP 與 RCP 為例）	6-6
6.6	節能減碳分析結論	6-7
第 7 章	結論與建議	7-1
7.1	結論	7-1
7.2	建議	7-4
第 8 章	參考文獻	8-1
附 錄		
附錄一、各項管材檢試驗報告		
附錄二、台灣下水道設施標準		
TSS 00001 污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井		
TSS 00002 污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製直管式連接井		
TSS 00003 污水下水道用塑膠製組合式連接井		
TSS 00004 長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管（CNS 15464 可洽經濟部標準檢驗局購買）		
TSS 00005 下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔（CNS 15431 可洽經濟部標準檢驗局購買）		
TSS 00006 下水道塑膠管用壓環接頭		
TSS 00007 下水道用高密度聚乙烯塑膠管接頭管件		
TSS 00008 下水道用聚氯乙烯塑膠硬質管接頭配件		
TSS 00011 下水道用球狀石墨鑄鐵製框蓋		

附錄三、內政部營建署下水道工程處材料供應商自主品管執行作業規範(修訂版)

附錄四、施工規範

1. 第 02532 章污水管線附屬工作(修訂版)
2. 第 02533 章污水管管材(修訂版)
3. 第 02535 章下水道用戶接管附屬設施(修訂版)

附錄五、剛性 1000kPa 分析

附錄六、審查意見及回覆

1. 期中報告審查意見及回覆
2. 期末報告審查意見及回覆

圖目錄

圖 1.4.2-1	試驗計畫流程圖.....	1-3
圖 2.1.1-1	台北市污水下水道系統管線更新工程計畫區範圍圖.....	2-2
圖 2.2-1	高雄市成功路 2000mm 主幹管腐蝕情形.....	2-5
圖 2.2-2	高雄市河東路 1650mm 主幹管腐蝕情形.....	2-5
圖 2.2-3	高雄市管材使用比例圓餅圖(民國 89~97 年).....	2-6
圖 2.4-1	工業局所轄工業區的既有污水管材、管徑分佈情形.....	2-10
圖 2.4.1-1	北區工業區污水管線管材及管徑分類圖.....	2-13
圖 2.4.2-1	中區工業區污水管線管材及管徑分類圖.....	2-15
圖 2.4.3-1	南區工業區污水管線管材及管徑分類圖.....	2-16
圖 2.7.2-1	土城工業區人孔損壞照片.....	2-20
圖 2.7.2-2	大甲幼獅工業區人孔損壞照片.....	2-21
圖 3.1.2-1	生產者風險(α)與使用者風險(β)對品質合格的影響 ⁽³⁻¹⁾	3-7
圖 3.1.2-2	標準常態分佈與學生-t 分佈曲線的比較 ⁽³⁻¹⁾	3-7
圖 3.1.2-3	y 與 z 之關係分佈及常態曲線之面積 ⁽³⁻¹⁾	3-8
圖 3.1.2-4	品質控制圖 ⁽³⁻¹⁾	3-10
圖 3.1.2-5	混凝土強度品質控制圖 ⁽³⁻¹⁾	3-10
圖 3.1.2-6	不同變異係數(10,15,20%)對分佈曲線及平均值的影響 ⁽³⁻¹⁾	3-11
圖 3.1.3-1	不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Ni 含量之統計分析(1/2).....	3-13
圖 3.1.3-1	不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Ni 含量之統計分析(5 數值為平均)(2/2).....	3-13
圖 3.1.3-2	A 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Ni 含量之統計分析.....	3-13
圖 3.1.3-3	B 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Ni 含量之統計分析.....	3-14
圖 3.1.3-4	C 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Ni 含量之統計分析.....	3-14
圖 3.1.3-5	不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Cr 含量之統計分析(1/2).....	3-14
圖 3.1.3-5	不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Cr 含量之統計分析(5 數值為平均)(2/2).....	3-15
圖 3.1.3-6	A 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Cr 含量之統計分析.....	3-15
圖 3.1.3-7	B 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Cr 含量之統計分析.....	3-15
圖 3.1.3-8	C 廠不銹鋼接頭(SUS316)成分分析 Cr 含量之統計分析.....	3-16
圖 3.1.3-9	不銹鋼接頭(SUS304)成分分析 Ni 含量之統計分析.....	3-16

圖 3.1.3-10	不銹鋼接頭(SUS304)成分分析 Cr 含量之統計分析.....	3-16
圖 3.1.3-11	φ 500mm 3S 推進管破壞強度之統計分析	3-17
圖 3.1.3-12	φ 400mm 外壓厚四級聚酯樹脂混凝土管裂紋強度統計分析(全數為抽驗資料).....	3-17
圖 3.1.3-13	φ 200mm 瓷化黏土管外壓強度統計分析(全數為抽驗資料).....	3-17
圖 3.1.3-14	φ 500mm3S 四級全鋁質鋼筋混凝土管破壞強度統計分析	3-18
圖 3.1.3-15	φ 400mm 外壓厚四級 S 型接頭內襯 PVC-RCP 推進管破壞強度統計分析.....	3-18
圖 3.1.3-16	鋼筋混凝土管塑膠裡襯固定鍵拉拔強度統計分析.....	3-18
圖 3.1.3-17	鋼筋混凝土管鋁質水泥砂漿三氧化二鋁成分統計分析.....	3-19
圖 3.1.3-18	ABS 塑膠管抗拉降伏強度統計分析	3-19
圖 3.1.3-19	GFRPP 軸向抗拉強度統計分析(全數為抽驗資料).....	3-20
圖 3.1.3-20	HDPE 管抗拉強度統計分析 (1/2).....	3-20
圖 3.1.3-20	HDPE 管耐候性分析 (2/2).....	3-20
圖 3.1.3-21	PVC-P 管抗拉強度統計分析.....	3-21
圖 3.1.3-22	HI-PVC-P 抗拉強度統計分析(全數為抽驗資料)	3-21
圖 3.1.3-23	φ 150mmPVC-PEP 抗拉強度統計分析(全數為抽驗資料).....	3-21
圖 3.1.3-24	BⅢ517 橡膠圈抗拉強度統計分析	3-22
圖 3.1.3-25	BⅢ520 橡膠圈抗拉強度統計分析	3-22
圖 3.1.3-26	預鑄人孔非溶劑型環氧樹脂內襯拉拔強度統計分析(全數為抽驗資料).....	3-23
圖 3.1.3-27	預鑄陰井鑽心抗壓強度 210kgf/cm ² 統計分析	3-23
圖 3.1.3-28	預鑄陰井鑽心抗壓強度 280kgf/cm ² 統計分析	3-23
圖 3.1.3-29	人孔底座鑽心抗壓試驗設計強度 210kgf/cm ² 統計分析	3-24
圖 3.1.3-30	人孔底座鑽心抗壓試驗設計強度 280kgf/cm ² 統計分析	3-24
圖 3.1.3-31	人孔短管鑽心抗壓試驗 280kgf/cm ² 統計分析	3-24
圖 3.2.1-1	水泥生產流程圖 (二磨一燒) ⁽³⁻¹⁾	3-36
圖 3.2.1-2	CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 三相平衡圖 ⁽³⁻¹⁾	3-36
圖 3.2.1-3	水泥原料在旋窯中燒結成水泥熟料礦物 ⁽³⁻¹⁾	3-37
圖 3.2.1-4	養護溫度對高鋁水泥混凝土強度發展關係 ⁽³⁻²⁾	3-44
圖 3.2.1-5	矽酸三鈣水化時的放熱速率 ⁽³⁻¹⁾	3-45
圖 3.2.1-6	鋁酸三鈣加上石膏之水化放熱速率圖.....	3-47

圖 3.2.1-7	C_3A 及 C_4AF 隨泡水時間而膨脹之現象 ⁽³⁻¹⁾	3-49
圖 3.2.1-8	C_3A 水化膨脹機理簡圖 ⁽³⁻¹⁾	3-50
圖 3.2.2-1	石膏的晶像的微觀照片 ⁽³⁻³⁾	3-52
圖 3.2.2-2	鈣釩石的晶像的微觀照片 ⁽³⁻³⁾	3-52
圖 3.2.2-3	M-S-H 的晶像的微觀照片 ⁽³⁻³⁾	3-52
圖 3.2.2-4	V 型水泥高量 C_3S 與低量 C_3S 硫酸鹽侵蝕後抗彎強度的關係 ⁽³⁻¹⁰⁾	3-53
圖 3.2.2-5	V 型水泥高量 C_3S 與低量 C_3S 硫酸鹽侵蝕後體積膨脹量 ⁽³⁻¹⁰⁾	3-54
圖 3.2.2-6	使用各種混合水泥浸泡硫酸鈉的強度損失關係圖 ⁽³⁻³⁾	3-55
圖 3.2.2-7	使用各種混合水泥浸泡硫酸鈉的膨脹量關係圖 ⁽³⁻³⁾	3-55
圖 3.2.2-8	I 型、V 型及各種卜作嵐材料混合水泥浸泡濃度 1% 硫酸鎂強度損失圖 ⁽³⁻¹¹⁾	3-56
圖 3.2.2-9	I 型、V 型及各種卜作嵐材料混合水泥浸泡濃度 4% 硫酸鎂強度損失圖 ⁽³⁻¹¹⁾	3-56
圖 3.2.2-10	飛灰混合水泥經 4% 硫酸鎂侵蝕後的微觀照片 ⁽³⁻¹¹⁾	3-57
圖 3.2.2-11	矽灰混合水泥經 4% 硫酸鎂侵蝕後的微觀照片 ⁽³⁻¹¹⁾	3-57
圖 3.2.2-12	I 型水泥經 4% 硫酸鎂侵蝕後的微觀照片 ⁽³⁻¹¹⁾	3-58
圖 3.2.2-13	V 型水泥經 4% 硫酸鎂侵蝕後的微觀照片 ⁽³⁻¹¹⁾	3-58
圖 3.2.2-14	硫酸鈉侵蝕後的強度損失率 ⁽³⁻³⁾	3-59
圖 3.2.2-15	硫酸鈉侵蝕後的膨脹量 ⁽³⁻³⁾	3-59
圖 3.2.2-16	硫化氫對混凝土管的腐蝕過程 ⁽³⁻²⁾	3-60
圖 3.2.3-1	ACI 採用抗硫水泥與水泥漿減量控制法降低硫酸鹽侵蝕的示意 ⁽³⁻¹⁾	3-66
圖 3.2.3-2	水泥減量控制法比 ACI 採用抗硫水泥對硫酸鹽侵蝕有更佳抵抗效益 ⁽³⁻¹⁾	3-66
圖 3.2.3-3	各型別水泥所含 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 及石膏量	3-67
圖 3.2.3-4	各型別水泥之水化產物估計量	3-68
圖 3.2.3-5	各型水泥主要水化產物產量	3-69
圖 3.2.3-6	混凝土用抗菌劑銀/銅離子的沸石構造 ⁽³⁻²⁾	3-71
圖 3.2.4-1	下水道混凝土管材防蝕耐久策略探討流程	3-76
圖 3.2.4-2	黃氏緻密混凝土配比設計流程	3-79
圖 3.2.4-3	飛灰填塞砂空隙之單位重曲線 ⁽³⁻¹⁾	3-80
圖 3.2.4-4	砂 / 飛灰細粒料含量之單位重曲線 ⁽³⁻¹⁾	3-81
圖 3.2.4-5	坍度 250 ± 20 mm 混凝土之強塑劑與用水量關係 ⁽³⁻¹⁾	3-83

圖 3.2.4-6	下水道管材配方之圓柱試體抗壓強度品質	3-87
圖 3.2.4-7	下水道管材配方之圓柱試體超音波速品質	3-88
圖 3.2.4-8	混凝土電阻與鋼筋腐蝕性 ⁽³⁻¹⁾	3-88
圖 3.2.4-9	下水道管材配方之圓柱試體表面電阻品質	3-89
圖 3.2.4-10	下水道管材配方之圓柱試體吸水率變化情形	3-90
圖 3.2.4-11	下水道管材配方之圓柱試體硫酸鹽侵蝕重量變化情形	3-91
圖 3.2.4-12	下水道管材配方之圓柱試體耐酸性試驗重量損失變化	3-95
圖 3.2.4-13	下水道管材配方之圓柱試體耐鹼性試驗重量損失變化	3-96
圖 3.2.4-14	管材圓柱與鑽心試體抗壓強度品質比較圖（齡期 56 天）	3-108
圖 3.2.4-15	下水道管材鑽心試體吸水率與時間關係圖	3-110
圖 3.2.4-16	管材圓柱與鑽心試體吸水率比較圖	3-110
圖 3.2.4-17	混凝土鑽心試體硫酸鹽侵蝕重量變化率與週期數關係圖	3-112
圖 3.2.4-18	管材圓柱與鑽心試體硫酸鹽侵蝕重量變化率比較	3-112
圖 3.2.4-19	II 型水泥鑽心試體顆粒分佈（A 廠商）	3-116
圖 3.2.4-20	V 型水泥鑽心試體顆粒分佈（A 廠商）	3-116
圖 3.2.4-21	鋁質水泥鑽心試體顆粒分佈（B 廠商）	3-117
圖 3.2.4-22	I 型水泥鑽心試體顆粒分佈（B 廠商）	3-117
圖 3.2.4-23	抗菌水泥鑽心試體顆粒分佈（C 廠商）	3-117
圖 3.2.4-24	下水道管材鑽心試體耐酸性試驗重量損失變化	3-118
圖 3.2.4-25	下水道管材鑽心試體耐鹼性試驗重量損失變化	3-119
圖 3.3.1-1	管材材料品質測試流程	3-132
圖 3.3.2-1	老舊管材鑽心取樣	3-132
圖 3.3.2-2	混凝土電阻與鋼筋腐蝕性 ⁽³⁻¹⁾	3-134
圖 3.3.2-3	台北市民生社區附近地區取樣管材鑽心試體	3-135
圖 3.3.2-4	民生 1 管材鑽心試體顆粒分佈	3-136
圖 3.3.2-5	民生 2 管材鑽心試體顆粒分佈	3-136
圖 3.3.3-1	林口 1 混凝土管材鑽心試體	3-143
圖 3.3.3-2	林口 2 混凝土管材鑽心試體	3-143
圖 3.3.3-3	林口 3 混凝土管材鑽心試體	3-143

圖 3.3.3-4	林口 1 混凝土管材鑽心試體顆粒分佈	3-144
圖 3.3.3-5	林口 2 混凝土管材鑽心試體顆粒分佈	3-144
圖 3.3.4-1	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材鑽心試體	3-155
圖 3.3.4-2	土城 1 混凝土管材鑽心試體顆粒分佈	3-156
圖 3.3.4-3	土城 2 混凝土管材鑽心試體顆粒分佈	3-156
圖 3.3.4-4	老舊管材氯離子含量	3-162
圖 3.4-1	用水量與表面電阻值關係圖	3-166
圖 3.4-2	用水量與電滲量關係圖	3-166
圖 3.4-3	電阻與氯離子滲透之關係 ⁽³⁻¹⁾	3-167
圖 3.4-4	控制硫酸鹽侵蝕的二種方法 ⁽³⁻¹⁾	3-170
圖 3.4-5	混凝土水固比與電滲量之關係 ⁽³⁻¹³⁾	3-174
圖 3.4-6	保護層厚度與混凝土服務年限之關係 ⁽³⁻¹³⁾	3-175
圖 3.5.1-1	不同含碳量對(a)硬度和強度(b)延展性和韌性(c)顯微結構之影響 ^(3.14)	3-177
圖 3.5.1-2	鐵碳平衡圖及顯微結構之形成過程 ^(3.14)	3-178
圖 3.5.1-3	不銹鋼編號之衍生圖 ^(3.16)	3-180
圖 3.5.1-4	選擇不銹鋼之抗蝕性與其強度及環境因素的關係 ^(3.17)	3-181
圖 3.5.1-5	熱浸鍍鋅皮膜斷面顯微鏡組織 ⁽³⁻¹⁸⁾	3-182
圖 3.5.1-6	鍍鋅鋼接頭推進管施工前後磨損情況	3-183
圖 3.5.2-1	鋼材腐蝕之電化學反應示意圖 ^(3.15)	3-184
圖 3.5.3-1	SUS 304 暴露於氯離子(500~600ppm)溫水中之孔蝕情況 ^(3.19)	3-187
圖 3.5.4-1	不銹鋼暴露於 0.6Wt% FeCl ₃ • 6H ₂ O 溶液中之腐蝕情況 ^(3.19)	3-190
圖 3.5.4-2	碳鋼及鍍鋅鋼材暴露於氯離子溶液中腐蝕情況之比較 ^(3.19)	3-190
圖 3.5.4-3	不同鋼材暴露於氯離子溶液中之腐蝕情況之比較 ^(3.19)	3-191
圖 3.5.4-4	不同鋼材暴露於氯離子溶液中之腐蝕情況之比較 ^(3.19)	3-191
圖 3.5.5-1	不同金屬材料浸泡後取出之情況	3-193
圖 3.5.5-2	浸泡於 FeCl ₃ pH≒1.6 溶液之不同時間重量損失率比較	3-193
圖 3.5.5-3	浸泡於 FeCl ₃ pH≒1.6 溶液之照片比較	3-194
圖 3.5.5-4	浸泡於 FeCl ₃ +空心菜 pH=1.67 溶液之不同時間重量損失率比較	3-194
圖 3.5.5-5	浸泡於 FeCl ₃ +空心菜 pH≒1.67 溶液之照片比較	3-195

圖 3.5.5-6	浸泡於 FeCl_3 +空心菜×刻痕溶液之不同時間重量損失率比較	3-195
圖 3.5.5-7	浸泡於 FeCl_3 +空心菜×刻痕 pH=1.62 溶液之照片比較	3-196
圖 3.5.5-8	各種鋼鐵材料之腐蝕速率柱狀圖	3-197
圖 3.5.7-1	T 型接頭接合方式示意圖 ^(3.21)	3-199
圖 3.5.7-2	T 型接頭焊接及塗漆過程	3-200
圖 3.5.8-1	管墊(緩衝材)之使用圖	3-200
圖 3.6.2-1	HDPE 暴露於不同溫度環境之需求強度 ⁽³⁻²³⁾	3-203
圖 3.6.2-2	HDPE 暴露於不同溫度環境之需求強度(台灣台塑) ⁽³⁻²⁴⁾	3-203
圖 3.6.2-3	老舊管材以破裂強度預測 HDPE 管材壽命 ⁽³⁻²⁵⁾	3-204
圖 3.6.2-4	在承受內壓力條件下其圓周方向應力與時間之關係 ⁽³⁻²⁶⁾	3-204
圖 3.6.2-5	比較 ABS 管材外部和內部表面缺陷壽命的影響 ⁽³⁻²⁹⁾	3-205
圖 3.8.1-1	塑膠裡襯熔接環帶施工示意圖 ^(3.30)	3-208
圖 3.8.1-2	人孔施工過程 ^(3.31)	3-208
圖 3.8.2-1	人孔設施內襯 PVC 之問題點	3-210
圖 4.1.1-1	預鑄鋼筋混凝土人孔厚度分析流程	4-1
圖 4.1.1-2a	RC 人孔於地下承受作用力圖	4-2
圖 4.1.1-2b	RC 人孔承受固定荷重作用力圖	4-2
圖 4.1.1-2c	RC 人孔承受車輛活荷重作用力圖	4-2
圖 4.1.1-2d	RC 人孔厚度分析應力分佈示意圖	4-3
圖 4.1.2-1	SAP2000 軟體建模參數圖	4-5
圖 4.1.2-2	人孔 3D 模型結構圖	4-6
圖 4.1.2-3	開孔處細部圖	4-6
圖 4.1.2-4	SAP2000 模型土水壓力加載圖	4-6
圖 4.1.2-5	SAP2000 模型輪載重加載圖	4-6
圖 4.1.3-1	自重應力元素最大部位	4-7
圖 4.1.3-2	土壓加水壓的應力圖	4-7
圖 4.1.3-3	輪重的應力圖	4-8
圖 4.1.3-4	元素尺寸圖	4-9
圖 4.1.3-5	軸力-彎矩交互影響圖	4-11

圖 4.1.3-7a	473 元素細部圖	4-13
圖 4.1.3-7b	設計元素斷面	4-13
圖 4.1.3-8	設計應力元素圖	4-14
圖 4.1.3-9	軸力-彎矩交互影響圖	4-14
圖 4.1.3-10	軸力-彎矩交互影響圖	4-15
圖 4.1.3-11	451 元素細部圖	4-15
圖 4.1.3-12	設計元素斷面	4-16
圖 4.1.3-13	設計應力元素圖	4-16
圖 4.1.3-14	軸力-彎矩交互影響圖	4-17
圖 4.1.3-15	軸力-彎矩交互影響圖	4-17
圖 4.2.2-1	RC 陰井示意圖	4-18
圖 4.2.2-2	SAP2000 軟體建模參數圖	4-19
圖 4.2.2-3	RC 陰井模型結構圖	4-20
圖 4.2.2-4	RC 陰井模型展開圖	4-20
圖 4.2.2-5	側土壓與側水壓加載圖	4-21
圖 4.2.2-6	RC 陰井分析模型車輪載重加載位置圖	4-21
圖 4.2.2-7	底部彈簧分佈圖(設定為僅可承受壓應力)	4-22
圖 4.2.3-1	RC 陰井分析 3D 顯示 Z 方向之正向應力圖	4-22
圖 4.2.3-2	RC 陰井分析局部元素應力圖	4-23
圖 4.2.3-3	設計應力分布圖	4-23
圖 4.3.2-1	SAP2000 軟體建模參數圖	4-26
圖 4.3.2-2	側向土、水壓力加載圖	4-27
圖 4.3.2-3	活載重加載圖	4-27
圖 4.3.2-4	支承圖	4-28
圖 4.3.3-1	軸向應力圖	4-28
圖 4.3.3-2	φ 100mm 承孔圖	4-29
圖 4.3.3-3	φ 200mm 承孔圖	4-30
圖 4.4.1-1	HS20-44 貨車載重圖	4-32
圖 4.5.3-1	SAP2000 軟體建模參數圖	4-34

圖 4.5.3-2	混凝土推進管 3D 模型土壓力加載圖	4-35
圖 4.5.3-3	混凝土推進管 3D 模型水壓力加載圖	4-36
圖 4.5.3-4	混凝土推進管 3D 模型活載重加載圖	4-36
圖 4.5.3-5	混凝土推進管之底部支承	4-36
圖 4.5.3-6	混凝土推進管 3D 模型分析軸力分佈圖	4-37
圖 4.5.3-7	混凝土推進管 3D 模型分析最大軸力分佈圖	4-37
圖 4.5.3-8	混凝土推進管 3D 模型分析彎矩分佈圖	4-38
圖 4.5.3-9	混凝土推進管 3D 模型分析最大彎矩分布圖	4-38
圖 4.5.4-1	SAP2000 分析模型	4-41
圖 4.5.4-2	軸力色彩分佈圖	4-41
圖 4.5.4-3	彎矩色彩分佈圖	4-42
圖 4.5.4-4	軸力-彎矩交互影響圖	4-42
圖 4.5.4-5	102 元素細部圖	4-43
圖 4.5.4-6	軸力-彎矩交互影響圖	4-44
圖 4.5.4-7	97 元素細部圖	4-44
圖 4.5.4-8	軸力-彎矩交互影響圖	4-45
圖 4.5.5-1	外壓強度與管徑對照圖	4-47
圖 4.5.6-1	外壓強度試驗簡化分析圖	4-53
圖 4.6.2-1	軟體建模參數	4-58
圖 4.6.2-2	SAP2000 分析模型	4-58
圖 4.6.2-3	模型土壓力加載圖	4-59
圖 4.6.2-4	模型水壓力加載圖	4-60
圖 4.6.2-5	模型活載重加載圖	4-60
圖 4.6.2-6	底部支承圖	4-61
圖 4.6.2-7	管徑為未變形前模型	4-62
圖 4.6.2-8	管徑變形後模型	4-62
圖 4.6.2-9	模型節點編號	4-63
圖 4.6.2-10	埋設於巷道所需剛性圖	4-69
圖 4.6.2-11	埋設於一般道路所需剛性圖	4-69

圖 4.6.3-1	軟體建模參數.....	4-71
圖 4.6.3-2	模型前端位移產生 2cm 偏移量.....	4-72
圖 4.6.3-3	模型底部加入土壤支承.....	4-72
圖 4.6.3-4	管徑未變形前模型.....	4-72
圖 4.6.3-5	管徑變形後模型.....	4-73
圖 4.6.3-6	節點編號.....	4-73
圖 5.1-1	國家標準制定(含修訂)作業流程圖.....	5-2
圖 5.2.1-1	匯流井組成示意圖.....	5-8
圖 5.2.1-2	匯流井豎井承口接頭尺度(共通).....	5-10
圖 5.2.1-3	匯流井流入側、流出側承口接頭尺度(共通).....	5-11
圖 5.2.1-4	匯流井流入側、流出側插口接頭尺度(共通).....	5-12
圖 5.2.2-1	直管式連接井組成示意圖.....	5-13
圖 5.2.3-1	組合式連接井示意圖.....	5-15
圖 5.2.4-1	壓環接頭組成示意圖.....	5-16
圖 5.2.4-2	直管或管件端口溝槽之形狀(共通).....	5-16
圖 5.2.5-1	接頭尺度(共通).....	5-17
圖 5.2.6-1	承口接頭尺度(共通).....	5-18
圖 5.3-1	人孔組立圖(例).....	5-20
圖 5.3-2	人孔蓋固定示意圖.....	5-22
圖 5.3-4	接頭部水密性試驗.....	5-23
圖 5.3-3	軸向耐壓試驗.....	5-23
圖 5.4-1	E 型混凝土管之形狀及尺度.....	5-24
圖 5.4-2	E-N 型混凝土管之形狀及尺度.....	5-25
圖 5.5.1-1	防上浮人孔蓋示意圖.....	5-28
圖 5.5.1-2	面蓋與框座之加工斜度(8~10°).....	5-28
圖 5.5.1-3	提舉孔示意圖.....	5-28
圖 5.5.2-1	防彈跳及防上浮人孔蓋設計.....	5-29
圖 6.3-1	先進機械迷你型之推進機工法.....	6-4

表目錄

表 1.5-1	工作進度表.....	1-5
表 2.1.1-1	台北市松山區民生社區分管網異常程度處數統計表.....	2-1
表 2.1.2-1	台北市內湖區康寧路三段分管網異常程度處數統計表.....	2-3
表 2.1.3-1	大安區師範大學分管網異常程度處數統計表.....	2-4
表 2.1.4-1	萬華區華江里分管網異常程度處數統計表.....	2-4
表 2.2-1	高雄市管材統計表(民國 89~97 年).....	2-5
表 2.3.1-1	桃園龜山林口南區污水下水道系統民國 92 年檢視 8.6 公里管線異常狀況統計..	2-7
表 2.3.2-1	分管網異常程度處數統計表.....	2-7
表 2.3.3-1	桃園林口南區污水下水道系統管線異常統計表.....	2-8
表 2.4-1	工業區既有污水管線管材長度表.....	2-9
表 2.4-2	工業區既有污水管線管徑長度表.....	2-10
表 2.4-3	工業區管材使用比例表.....	2-11
表 2.4-4	工業局工業區污水收集管線歷年 TV 檢視統計表	2-11
表 2.4.1-1	北區工業區污水管線主幹管管材清查總表.....	2-12
表 2.4.1-2	北區工業區污水管線主幹管管齡清查總表.....	2-12
表 2.4.1-3	北區管線與管材異常狀況統計百分比.....	2-13
表 2.4.2-1	中區工業區污水管線主幹管管材清查總表.....	2-14
表 2.4.2-2	中區工業區污水管線主幹管管齡清查總表.....	2-14
表 2.4.2-3	中區管線異常狀況統計表.....	2-15
表 2.4.3-1	南區工業區污水管線主幹管管材清查總表.....	2-16
表 2.4.3-2	南區工業區污水管線主幹管管齡清查總表.....	2-16
表 2.4.3-3	南區管線與管材異常狀況統計表.....	2-17
表 2.5-1	管材異常分類統計表.....	2-18
表 2.7.1-1	林口南區民 92 年 32.8 公里管線人孔清點調查統計.....	2-19
表 2.7.2-1	工業區人孔缺陷狀況分類與處理建議.....	2-20
表 3.1.1-1	污水下水道剛性管材工程檢驗數據及時程統計表(1/5).....	3-2
表 3.1.1-1	污水下水道撓性管材工程檢驗數據及時程統計表 (2/5)	3-3

表 3.1.1-1	污水下水道其他管材另件工程檢驗數據及時程統計表 (3/5)	3-4
表 3.1.1-1	污水下水道其他管材另件工程檢驗數據及時程統計表 (4/5)	3-5
表 3.1.1-1	污水下水道其他管材另件工程檢驗數據及時程統計表 (5/5)	3-6
表 3.1.4-1	污水下水道剛性管材工程抽驗結果統計表 (1/4)	3-27
表 3.1.4-2	污水下水道撓性管材工程抽驗結果統計表 (2/4)	3-28
表 3.1.4-3	污水下水道其他管材另件工程抽驗結果數據統計表 (3/4)	3-29
表 3.1.4-4	污水下水道其他管材另件工程抽驗結果數據統計表 (4/4)	3-30
表 3.1.5-1	污水下水道剛性管材檢驗結果數據統計結果彙整表	3-31
表 3.1.5-2	污水下水道撓性管材檢驗結果數據統計結果彙整表	3-32
表 3.1.5-3	污水下水道其他管材另件檢驗結果數據統計結果彙整表 (1/2)	3-33
表 3.1.5-4	污水下水道其他管材另件檢驗結果數據統計結果彙整表 (2/2)	3-34
表 3.2.1-1	普通卜特蘭水泥成分 ⁽³⁻¹⁾	3-38
表 3.2.1-2	水泥化學的簡寫符號 ⁽³⁻¹⁾	3-38
表 3.2.1-3	標準卜特蘭水泥型別及用途 ⁽³⁻¹⁾	3-40
表 3.2.1-4	暴露硫酸鹽溶液環境下之混凝土嚴重程度及需求水泥型別 ⁽³⁻¹⁾	3-40
表 3.2.1-5	卜特蘭水泥化學成分規定 ⁽³⁻¹⁾	3-41
表 3.2.1-6	卜特蘭水泥物理性質規定 ⁽³⁻¹⁾	3-42
表 3.2.1-7	典型各型別卜特蘭水泥的成分及性質 ⁽³⁻¹⁾	3-43
表 3.2.1-8	高鋁水泥的化學組成特徵 (%) ⁽³⁻²⁾	3-44
表 3.2.1-9	矽酸鈣鹽類水化的程序 ⁽³⁻¹⁾	3-46
表 3.2.1-10	C ₃ A 與石膏量平衡下之水化產物 ⁽³⁻¹⁾	3-48
表 3.2.3-1	各水泥製廠採用水泥化學成分表	3-62
表 3.2.3-2	修正 Bogue 計算與各水泥廠分析熟料礦物之結果	3-63
表 3.2.3-3	下水道污水管混凝土配比之水泥量及膠結料用量	3-67
表 3.2.3-4	各型別水泥水化後之體積膨脹量(%)	3-68
表 3.2.3-5	硫酸鹽侵蝕後體積膨脹量	3-69
表 3.2.3-6	混凝土用抗菌劑物理性質 ⁽³⁻²⁾	3-71
表 3.2.4-1	下水道混凝土管材及人孔耐久性試驗配比分析	3-76
表 3.2.4-2	現行混凝土管材配方圓柱試體與鑽心試體受測材料類型整理表	3-85

表 3.2.4-3	管材圓柱試體抗壓強度、超音波速及表面電阻值一覽表.....	3-87
表 3.2.4-4	管材混凝土圓柱試體吸水率一覽表.....	3-90
表 3.2.4-5	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土圓柱試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況	3-92
表 3.2.4-6	廠商鋁質與 I 型水泥混凝土圓柱試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況	3-93
表 3.2.4-7	B 廠商鋁質與 I 型水泥改良與 NTUSTI 型水泥混凝土圓柱試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況	3-94
表 3.2.4-8	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土圓柱試體耐酸性試驗變化情況	3-97
表 3.2.4-9	B 廠商鋁質與 I 型水泥混凝土圓柱試體耐酸性試驗變化情況.....	3-98
表 3.2.4-10	B 廠商鋁質與 I 型水泥改良與 NTUST I 型水泥混凝土圓柱試體耐酸性試驗變化情況	3-99
表 3.2.4-11	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土圓柱試體耐鹼性試驗變化情況	3-100
表 3.2.4-12	B 廠商鋁質與 I 型水泥混凝土圓柱試體耐鹼性試驗變化情況.....	3-101
表 3.2.4-13	B 廠商鋁質與 I 型水泥改良與 NTUST I 型水泥混凝土圓柱試體耐鹼性試驗變化情況	3-102
表 3.2.4-14	圓柱試體電子顯微鏡圖片	3-104
表 3.2.4-15	圓柱試體經 20 週期硫酸鹽侵蝕之電子顯微鏡圖片	3-105
表 3.2.4-16	下水道管材混凝土鑽心試體抗壓強度結果一覽表.....	3-108
表 3.2.4-17	下水道管材混凝土鑽心試體吸水率一覽表.....	3-109
表 3.2.4-18	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土鑽心試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況	3-113
表 3.2.4-19	B 廠商鋁質與 I 型水泥混凝土圓柱試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況.....	3-114
表 3.2.4-20	C 廠商聚酯樹脂與抗菌水泥混凝土圓柱試體硫酸鹽侵蝕週期變化情況	3-115
表 3.2.4-21	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土鑽心試體耐酸性試驗變化情況	3-120
表 3.2.4-22	B 廠商鋁質與 I 型水泥混凝土鑽心試體耐酸性試驗變化情況.....	3-121
表 3.2.4-23	C 廠商聚酯樹脂與抗菌水泥鑽心試體耐酸性試驗變化情況	3-122
表 3.2.4-24	A 廠商 II 型與 V 型水泥混凝土鑽心試體耐鹼性試驗變化情況	3-123
表 3.2.4-25	B 廠商鋁質與 I 型水泥混凝土鑽心試體耐鹼性試驗變化情況.....	3-124
表 3.2.4-26	C 廠商聚酯樹脂與抗菌水泥鑽心試體耐鹼性試驗變化情況	3-125
表 3.2.4-27	鑽心試體電子顯微鏡圖片	3-126
表 3.2.4-28	鑽心試體經 20 週期硫酸鹽侵蝕之電子顯微鏡圖片	3-127
表 3.2.4-29	新製混凝土管材耐蝕性分析結果.....	3-128

表 3.3-1	老舊管線管材和人孔主要毀損模式.....	3-130
表 3.3-2	本計畫國內老舊管材取樣基本資料.....	3-131
表 3.3.2-1	台北市民生社區附近地區取樣管材外觀尺寸.....	3-133
表 3.3.2-2	台北市民生社區附近地區取樣管材超音波速與表面電阻值.....	3-133
表 3.3.2-3	台北市民生社區附近地區取樣管材鑽心試體抗壓強度.....	3-134
表 3.3.2-4	台北市民生社區附近地區取樣管材鑽心試體中性化深度.....	3-135
表 3.3.2-5	台北市民生社區附近地區取樣管材電子顯微鏡圖片.....	3-137
表 3.3.2-6	台北市民生社區附近地區取樣管材能量散佈光譜儀分析(1/3).....	3-138
表 3.3.2-6	台北市民生社區附近地區取樣管材能量散佈光譜儀分析(2/3).....	3-139
表 3.3.2-6	台北市民生社區附近地區取樣管材能量散佈光譜儀分析(3/3).....	3-140
表 3.3.3-1	林口南區取樣管材外觀尺寸.....	3-141
表 3.3.3-2	林口南區取樣管材超音波速與表面電阻值.....	3-141
表 3.3.3-3	林口南區取樣管材鑽心試體抗壓強度.....	3-142
表 3.3.3-4	林口南區取樣管材鑽心試體中性化深度.....	3-142
表 3.3.3-5	林口南區取樣管材電子顯微鏡圖片(1/4).....	3-145
表 3.3.3-5	林口南區取樣管材電子顯微鏡圖片(2/4).....	3-146
表 3.3.3-5	林口南區取樣管材電子顯微鏡圖片(3/4).....	3-147
表 3.3.3-5	林口南區取樣管材電子顯微鏡圖片(4/4).....	3-148
表 3.3.3-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(1/4).....	3-149
表 3.3.3-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(2/4).....	3-150
表 3.3.3-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(3/4).....	3-151
表 3.3.3-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(4/4).....	3-152
表 3.3.4-1	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材外觀尺寸.....	3-153
表 3.3.4-2	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材超音波速與表面電阻值.....	3-154
表 3.3.4-3	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材鑽心試體抗壓強度.....	3-154
表 3.3.4-4	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材鑽心試體中性化深度.....	3-155
表 3.3.4-5	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材電子顯微鏡圖片(1/2).....	3-157
表 3.3.4-5	大甲幼獅工業區與土城工業區取樣管材電子顯微鏡圖片(2/2).....	3-158
表 3.3.4-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(1/3).....	3-159

表 3.3.4-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(2/3).....	3-160
表 3.3.4-6	林口南區取樣管材能量散佈光譜儀分析(3/3).....	3-161
表 3.3.4-7	混凝土防蝕保護最大氯離子含量.....	3-162
表 3.4-1	新舊管材抗壓強度比較表.....	3-164
表 3.4-2	新舊管材表面電阻值與相對應電滲量.....	3-168
表 3.4-3	各類型管材硫酸鹽侵蝕重量損失比較表.....	3-169
表 3.4-4	各類型管材耐酸性試驗重量損失比較表.....	3-170
表 3.4-5	各類型管材耐鹼性試驗重量損失比較表.....	3-171
表 3.4-6	各類型新製取樣管材拓印影像與鑽心試體圖片.....	3-172
表 3.4-7	老舊取樣管材拓印影像與鑽心試體圖片.....	3-173
表 3.4-8	RCP 與 PRCP 管材詢價一覽表 ⁽³⁻¹²⁾	3-175
表 3.5.1-1	AISI-SAE 系統之鋼材分類 ^(3.15)	3-178
表 3.5.1-2	不同不銹鋼鋼種典型化學成分 ^(3.16)	3-180
表 3.5.1-3	不銹鋼鋼種選擇參考表 ^(3.16)	3-182
表 3.5.3-1	鋼材於土壤中之腐蝕速率比較 ^(3.19)	3-186
表 3.5.3-2	地下水水質監測與指標資料 ^(3.20)	3-187
表 3.5.3-3	SUS 316 暴露於不同酸性環境中之腐蝕速率之比較 ^(3.19)	3-188
表 3.5.3-4	SUS304 暴露於不同酸性及氯離子環境中腐蝕速率之比較 ^(3.19)	3-188
表 3.5.4-1	不同鋼材在酸性及氯離子環境中之腐蝕速率比較 ^(3.19)	3-189
表 3.5.4-2	管材接頭耐蝕模擬試驗變數表 ^(3.19)	3-189
表 3.5.5-1	管材接頭鋼材耐蝕模擬試驗變數表.....	3-192
表 3.5.5-2	不同鋼材浸泡於不同溶液重量損失率比較.....	3-196
表 3.5.5-3	各種鋼鐵材料之腐蝕速率.....	3-197
表 3.5.5-4	概估各種管材材料之使用成本情況.....	3-198
表 3.5.5-5	管材成本與腐蝕速率概估各種材料之使用成本情況.....	3-198
表 3.6.1-1	各種塑膠材料之性質 ^(3.26)	3-202
表 3.6.2-1	PVC 管材在陽光照射條件性能之影響 ⁽³⁻²⁸⁾	3-205
表 3.7-1	各種混凝土管材 50 年使用壽命之單價比較估算.....	3-206
表 3.7-2	設計年限 50 年以上管材使用之建議表.....	3-207

表 3.8.1-1	人孔設施材料檢驗規定.....	3-209
表 3.9-1	現行施工規範管材檢驗項目比較表（1/6）.....	3-212
表 3.9-2	現行施工規範管材檢驗項目比較表（2/6）.....	3-213
表 3.9-3	現行施工規範管材檢驗項目比較表（3/6）.....	3-214
表 3.9-4	現行施工規範管材檢驗項目比較表（4/6）.....	3-215
表 3.9-5	現行施工規範管材檢驗項目比較表（5/6）.....	3-216
表 3.9-6	現行施工規範管材檢驗項目比較表（6/6）.....	3-217
表 3.9-7	現行施工規範管材檢驗頻率比較表（1/4）.....	3-218
表 3.9-8	現行施工規範管材檢驗頻率比較表（2/4）.....	3-219
表 3.9-9	現行施工規範管材檢驗頻率比較表（3/4）.....	3-220
表 3.9-10	現行施工規範管材檢驗頻率比較表（4/4）.....	3-221
表 4.1.2-1	預鑄鋼筋混凝土人孔應力分析軟體比較.....	4-3
表 4.1.3-1	軸力、彎矩強度.....	4-12
表 4.1.3-2	473 元素節點應力值.....	4-13
表 4.1.3-3	451 元素節點應力值.....	4-15
表 4.2.2-1	RC 陰井尺寸.....	4-19
表 4.2.2-2	側向土壓深度對照表.....	4-20
表 4.2.2-3	側向水壓深度與大小對照表.....	4-20
表 4.3.2-1	塑膠配管箱尺寸.....	4-25
表 4.3.2-2	地質條件參數.....	4-26
表 4.3.3-1	程式輸出開孔元素應力表.....	4-30
表 4.3.3-2	程式輸出開孔元素應力表.....	4-30
表 4.5.3-1	混凝土推進管材之相關條件.....	4-34
表 4.5.3-2	台灣現有均佈荷重對管體之安全計算.....	4-39
表 4.5.3-3	不同混凝土設計強度之管體安全性分析.....	4-40
表 4.5.4-1	102 元素節點外力值.....	4-43
表 4.5.4-2	97 元素節點外力值.....	4-44
表 4.5.5-1	鋼筋混凝土推進管外壓強度計算公式.....	4-46
表 4.5.5-2	外壓強度與 CNS 強度級數對照表.....	4-47

表 4.5.6-1	推進管管材尺寸	4-52
表 4.5.6-2	外壓強度	4-52
表 4.5.6-3	三、四級管裂紋彎矩與破壞彎矩	4-53
表 4.5.6-4	三級管之最小鋼筋量	4-55
表 4.5.6-5	四級管之最小鋼筋量	4-55
表 4.5.6-6	N 值範圍	4-56
表 4.5.6-7	不同抗壓強度之開裂彎矩	4-57
表 4.6.2-1	PVC 管尺寸表	4-58
表 4.6.2-2	由 SAP2000 輸出節點位移	4-63
表 4.6.2-3	PVC 管尺寸表	4-63
表 4.6.2-4	SAP2000 輸出節點位移，活載重為滿載之小貨車	4-64
表 4.6.2-5	SAP2000 輸出節點位移，活載重為 HS20-44 之重車	4-64
表 4.6.2-6	地質條件參數	4-65
表 4.6.2-7	巷弄垂直向土壓力	4-65
表 4.6.2-8	Terzaghi 鬆弛土壓力	4-66
表 4.6.2-9	一般道路垂直向土壓力	4-66
表 4.6.2-10	巷弄之活載重	4-67
表 4.6.2-11	一般道路之活載重	4-67
表 4.6.2-12	巷弄垂直向總壓力	4-67
表 4.6.2-13	一般道路垂直向總壓力	4-67
表 4.6.2-14	埋設於巷道所需剛性表	4-68
表 4.6.2-15	埋設於一般道路所需剛性表	4-68
表 4.6.3-1	推進管管材尺寸	4-71
表 4.6.3-2	SAP2000 輸出節點位移	4-74
表 5.1-1	國家標準建議書-污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井	5-3
表 5.1-2	國家標準建議書-污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製直管式連接井	5-4
表 5.1-3	國家標準建議書-污水下水道用塑膠製組合式連接井	5-5
表 5.1-4	國家標準建議書-下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔	5-6
表 5.1-5	國家標準建議書-下水道長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管	5-7

表 5.2.1-1	匯流井底座之井徑、管徑及接頭型式.....	5-9
表 5.2.1-2	匯流井底座種類.....	5-9
表 5.2.1-3	匯流井井蓋種類.....	5-10
表 5.2.1-4	匯流井底座之性能.....	5-12
表 5.2.1-5	匯流井井蓋之性能.....	5-12
表 5.2.2-1	直管式連接井底座種類.....	5-14
表 5.2.2-2	直管式連接井底座之性能.....	5-14
表 5.2.2-3	直管式連接井井蓋之性能.....	5-15
表 5.2.3-1	組合式連接井各組件主要尺度及許可差.....	5-15
表 5.2.3-2	組合式連接井之性能.....	5-16
表 5.2.4-1	ABS壓環接頭性能.....	5-17
表 5.2.5-1	接頭性能表.....	5-18
表 5.2.6-1	接頭之性能.....	5-18
表 5.3-1	人孔種類及各組件.....	5-21
表 5.3-2	人孔性能規定.....	5-22
表 5.3-3	側向外壓強度.....	5-22
表 5.3-4	底板抗彎荷重.....	5-23
表 5.4-1	E 型混凝土管尺度表.....	5-25
表 5.4-2	E-N 型混凝土管尺度表.....	5-26
表 5.4-3	混凝土管之外壓強度.....	5-26
表 5.5.1-1	框蓋之種類.....	5-27
表 5.5.1-2	壓力放除耐揚壓性能之標準值(管徑 600).....	5-27
表 5.7-1	台灣下水道設施標準規範相關期程與進度.....	5-30
表 5.8-1	材料供應商自主品管執行作業規範修正對照表.....	5-32
表 6.1-1	國內工程二氧化碳排放量之效益比較表.....	6-2
表 6.2-1	混凝土管材厚度減少效益分析.....	6-3
表 6.2-2	人孔厚度比較表.....	6-3
表 6.5-1	剛性管材 100 年工程成本分析表.....	6-7

縮寫及符號對照表

TSS	台灣下水道設施標準 (Taiwan Sewege Standards)
σ	標準偏差
X	材料之品質
μ	材料品質之平均值
V	變異係數
f'_{cr}	混凝土平均強度
f'_c	設計強度
V	變異係數
S	標準差
FM	細度模數
$\bar{X}$	平均值
AAR	鹼骨材反應
OPC	普通卜特蘭水泥
SEM	掃描式電子顯微鏡
EDS	螢光分析
W_{fly}, γ_{fly}	分別表飛灰重(kg/m^3)及飛灰比重
W_{ca}, γ_{ca}	分別表粗骨材重(kg/m^3)及粗骨材比重
W_{CS}, γ_{CS}	分別表細骨材重(kg/m^3)及細骨材比重
W/C	水灰比
W/CM	水膠比
W/S	水固比

水泥化學的簡寫符號		
化學名稱	化學式	簡寫
矽酸三鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
矽酸二鈣	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
鋁酸三鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
鋁鐵酸四鈣	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF
石膏 (二水硫酸鈣)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\bar{\text{C}}\text{SH}_2$
鈣釩石	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{A} \cdot 3\bar{\text{C}}\bar{\text{S}} \cdot \text{H}_{32}$
單硫型鋁酸鈣水化物	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{A} \cdot \bar{\text{C}}\bar{\text{S}} \cdot \text{H}_{12}$
氧化鈣	CaO	C
矽酸鹽	SiO_2	S
氧化鋁	Al_2O_3	A
氧化鐵	Fe_2O_3	F
氧化鎂	MgO	M
鹼鹽	K_2O	K
鹼鹽	Na_2O	N
三氧化硫	SO_3	$\bar{\text{S}}$
二氧化碳	CO_2	$\bar{\text{C}}$
水	H_2O	H

摘要

0.1 計畫緣起、目標

近年來政府大力推展污水下水道工程，然有關污水下水道管材、人孔及相關設備之檢驗規範有部分尚未統一，管線及人孔之防蝕耐久性能尚待了解，另管材及人孔等相關設備在製造及施工過程之節能減碳亦為重要課題，內政部營建署遂公告「污水下水道管材物理化學特性分析及相關檢驗標準專業服務」案，期望藉由蒐集及分析早期埋設之管線，參考管線之污水條件，以釐清實際使用狀況，並對管材之耐用、防蝕效果相關檢驗方式，施工規範以及是否有節能減碳措施等項目進行研究，並提出建議方案，以期作為未來污水下水道管線設計與施工時之參考。

0.2 老舊管線及人孔使用狀況分析

台北市、高雄市及部分工業區屬台灣地區最早興建的污水下水道系統，本案調查台北市（松山區、內湖區、大安區、萬華區）、高雄市、桃園縣林口南區及部分工業區管線檢視資料，分析老舊管線及人孔設施使用情況，並分析污水條件與管線人孔使用狀況間之關係。台北市老舊管線污水下水道廢污水來源主要為民生都市污水，管齡約 30 年，經調查分析，台北市管材異常分類統計前三大類為「下陷、結垢、淤積」（50.0%）、「接管脫開、滲漏」（29.9%）、「破損龜裂」（14.5%），顯示以管接頭損壞所致之異常為主，其次才是管體本身的損壞；高雄市污水管線則於管齡 16 年時發現主幹管管材有硫化氫腐蝕現象，鋼筋露出，高雄市污水管線污水類型為綜合民生污水及工業廢水；桃園林口南區污水類型亦為綜合民生污水及工業廢水，管齡約 20 年，管線異常統計前三大類為「下陷、結垢、淤積」（34.5%）、「破損龜裂」（25.0%）、「接管脫開、滲漏」（19.6%），顯示管體本身與接頭的損壞比例皆高；工業區管線資料蒐集北中南各區管線檢視資料，經統計分析，管線異常前三大類為「下陷、結垢、淤積」（69.8%）、「腐蝕、沖蝕」（10.2%）、「樹根侵入」（8.8%），顯示水理問題的比例相當大。此外，工業區管材的「腐蝕、沖蝕」比例高於台北市及林口南區，顯示工業污水腐蝕比例高於民生污水，工業區採用管材更需提高防蝕耐久性能。

日本地區於西元 1975 年左右開始出現多起道路塌陷事故，調查結果發現事故發生原因為下水道鋼筋混凝土管因硫化氫腐蝕損壞，1980 年以來的累計件數有將近 12 萬件之多；目前台灣亦有類似事件但數量不多。

由於早期管線多採明挖人工埋設，施工方式不良，因而造成多年後管線接頭損壞、管體下陷等異常，其比例大於管體本身的腐蝕損壞，但管體龜裂、破損或是腐蝕、沖蝕現象仍不可忽略，因工程改採推進施工可改善及降低接管脫開、滲漏現象，未來的管線異常發生原因就可能以管體龜裂、破損或是腐蝕、沖蝕為主，故應加強污水管材防蝕耐久性。

老舊人孔主要缺陷以人孔無法開啟、人孔掩埋、人孔孔蓋破裂、無人孔框架、

爬梯腐蝕及人孔內壁龜裂等為主。

0.3 研究標的試驗結果與防蝕耐久分析

針對污水下水道管材及相關另件之檢驗數據統計分析，並以現行常用管材及相關另件抽驗檢視規範之合理性及適用性；比較老舊管材及新製作管材試驗，以檢驗品質及耐久性質之情況，並在鋼接頭材料使用耐腐蝕行為加以研究，作為選用之參考，最後提出目前使用之管材及相關另件規範修正建議。

檢驗數據統計變異數小於 5%，建議減少檢驗次數或頻率，或以廠驗代替，針對現況調查及檢驗數據統計變異數較大項目宜增加檢驗次數或頻率，如人孔及兩相複合材料，或建議進行材料改善品質之規範修訂。

下水道混凝土管材新製試體品質：改良後之 I 型水泥混凝土無論在強度、超音波速與表面電阻值之品質表現甚佳，而 II 型、V 型及鋁質水泥試體，雖擁有較高之強度，亦有甚佳之超音波速值，然而表面電阻卻顯示有下降之趨勢，試體吸水率檢測亦有相應之行為呈現，在硫酸鹽侵蝕試驗表現則 II 與 V 型水泥之抗硫酸鹽侵蝕能力表現較鋁質水泥混凝土為佳；改良後與緻密配比之 I 型水泥表現最好。混凝土管材耐酸/鹼試驗：由於混凝土為鹼性材料，耐鹼較無明顯受侵蝕痕跡，耐酸試驗試體表面均出現水泥漿體受硫酸溶液侵蝕過而粒料顯露出之情況，建議於酸性環境下應注意材料之選擇；微觀結構分析可相對印證上述之行為。

老舊混凝土管材針對工業、民生及混合型態的老舊管材取樣，進行破壞性及非破壞性檢測發現其抗壓強度($>700\text{kgf/cm}^2$)，只有在外側受侵蝕剝離；無論是工業或是民生用途之老舊管材之微觀分析結果顯示管材均有受重金屬污染的現象。

鋼接頭防蝕耐久性評估不銹鋼材料應用於下水道管材接頭其耐蝕性較一般鋼材及鍍鋅鋼材為佳，惟節能減碳之觀點，應可以一般碳鋼及鍍鋅鋼材替代；在具氯離子之酸性環境下，應注意不銹鋼材之孔蝕及間隙腐蝕之現象產生，其抗蝕效能未如一般所期待，使用者應依所處環境加以考量。

人孔防蝕與耐久性評估以離心蒸養方式製造人孔可增加人孔之品質及硫酸鹽之抗力，建議以 I 型水泥改良配比及減少人孔構造之厚度，預期將增加人孔構造的本體品質穩定性強化其防蝕效能，提升其使用壽命並因厚度減少可提升對節能減碳的效益。

撓性管材防蝕與耐久性評估：ABS、PVC 及 HDPE 目前研究結果，使用壽命均可超過 50 年以上；建議未來宜推廣改採綠色管材，或採用具有環保標章之管材。

0.4 管材及另件應力分析

近年來政府大力推動污水下水道工程，許多管線工程及用戶接管工程持續施工，以提高污水下水道管線的普及率，為了避免都會區因為頻繁的施工造成周圍居民生活品質受到影響，且傳統明挖埋管常造成交通嚴重衝擊並有礙市容觀瞻，因此地下管線建置方式趨向於使用推進工法，但目前小管線的施作還是以明挖覆蓋工法的使用頻率較高，關於推進工法與明挖覆蓋工法使用的管材和人孔在國內都沒有做過實際的應力分析，如此結構物所能承受的外力是否過度保守都無法完全掌握，因此建立一套分析流程，以有限元素軟體 SAP2000 建置模型，考慮結構物之邊界條件並模擬接近實際的受力行爲，分析探討其結構性能，可提供日後設計單位作為評估設計的參考。

0.5 管材及人孔相關規範建立與修訂

由於國內污水下水道管材有多項未有統一標準規範，故本案新訂之，有關用戶接管塑化管相關台灣下水道設施標準有 6 項，分別為「污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井」、「污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製直管式連接井」、「污水下水道用塑膠製組合式連接井」、「下水道塑膠管用壓環接頭」、「下水道用之高密度聚乙烯塑膠管接頭管件」、「下水道使用之硬質聚氯乙烯塑膠管接頭管件」；又目前國內各工程所使用之人孔其尺寸、厚度、外觀及配筋皆依使用單位及設計單位而異以致各類型式繁多不統一，故訂定台灣下水道設施標準「下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔」；另因 CNS 3905[下水道用鋼筋混凝土管(推進工法用)]只適用於直線推進工法，無法適用於曲線推進工法，因此新訂定台灣下水道設施標準「長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管」；另外有關下水道人孔框蓋部分，亦新訂定「下水道用球狀石墨鑄鐵製框蓋」標準，目前已有五項台灣下水道設施標準由營建署向經濟部標準局提出申請：「污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井」、「污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製直管式連接井」、「污水下水道用塑膠製組合式連接井」、「下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔」、「長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管」，其中「下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔」及「長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管」已通過審查，總號分別為 CNS 15431 及 CNS 15464，另「下水道用球狀石墨鑄鐵製框蓋」標準亦已由下水道協會提送經濟部標準局。

0.6 管材節能減碳分析

根據行政院公共工程委員會「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」，揭示永續公共工程希望能兼顧環境保護與產業發展，透過對有限資源的有效利用，達到維持既有生活品質，不破壞生態環境的理想。除了加強新建公共工程各階段的節能減碳評估外，亦須對既有公共設施補強、改善，以提昇其永續性。污水下水道工程為目前國家重大施政目標，對於節能減碳政策也應朝以下策略進行；工程全生命週期考量節能減碳，建立節能減碳評估與決策體系，有效利用資源，發展以性能為導向之公共工程，鼓勵創新科技，推動公共設施延壽計畫，提高效能與

壽命等方向發展。本案針對管材材料改良除引入日本新世代混凝土管(防腐蝕抗菌混凝土技術)，另研發新配比技術(卜作嵐混凝土)可增加減碳效益 CO_2 減量達 $0.17\sim 0.19 \text{ tons/m}^3$ 及管材應力分析以減少管壁厚度增加減碳效益達 $0.183\sim 0.233$ 及 0.215 (人孔) CO_2 減量 (tons/m^3)，大量採用農工業之副產品資源化再生利用，並由政府及民間機構辦理配合教育訓練以改進施工之準確性，推動品質管理制度之建立以減少不必要之浪費；使在材料設計，施工技術及施工管理各方面才能落實節能減碳推展。