

第7章 結論與建議

7.1 結論

1. 蒐集台灣地區老舊管線更新汰換相關調查成果，針對污水條件與管線人孔使用狀況間之關係予以分析。

- (1). 台北市

綜合分析台北市松山區、內湖區、大安區及萬華區部分污水下水道管線更新工程規劃報告，其管線異常前三名為「下陷、結垢、淤積」（50.0%）、「接管脫開、滲漏」（29.9%）、「破損龜裂」（14.5%）。

- (2). 高雄市

調查高雄市成功路及河東路主幹管，管齡約 16 年時調查發現管材已有腐蝕情形，屬 H_2S 侵蝕。

- (3). 林口南區

以「下陷、結垢、淤積」（34.5%）為最主要異常類別，其次為「破損龜裂」（25.0%），「接管脫開、滲漏」（19.6%）與「樹根侵入」（12.1%）分別佔第三大與第四大，以上四項比例超過總異常處數之 90%。

- (4). 工業區

綜合分析北區、中區、南區工業區管材異常資料，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%）。

2. 以廢水種類分別比較，工業區廢水管線之「下陷、結垢、淤積」現象最為嚴重，「腐蝕、沖蝕」現象工業廢水亦高於民生污水。

3. 污水下水道管材及另件試驗結果統計分析

- (1). 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。

4. 混凝土管材耐久性能量評估

- (1). 下水道混凝土管材配方相應之圓柱試體品質：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，且 II 及 V 型皆僅有 5-8 $K\Omega\cdot cm$ 。

- (2). 管材混凝土之圓柱試體吸水率檢測：試驗結果顯示 II 型、V 型水泥，鋁質，I 型水泥、改良 I 型水泥及緻密配比 I 型水泥混凝土試體至 72 小時，吸水率分別達 4.38%、4.21%、5.10%、5.37%、1.77 及 3.15 %，以改良 I 型水泥及緻密配比 I 型水泥混凝土試體較其他各組為低。

- (3). 管材混凝土之圓柱試體硫酸鹽侵蝕試驗：II 與 V 型水泥混凝土抗硫酸鹽侵蝕能力表現較鋁質水泥混凝土為佳；I 型水泥混凝土於 11 週期後，試體開始出現明顯表面剝離現象。改良後與緻密配比之 I 型水泥混凝土，無論在強度、超音波速、表面電阻值與吸水率等表現皆良好。
 - (4). 管材混凝土之圓柱試體耐酸/鹼試驗：由於混凝土為鹼性材料，故結果皆較無明顯受侵蝕痕跡，當浸泡於酸性溶液之歷時達 120 小時後，表面均能清楚看出水泥漿體受硫酸溶液侵蝕過而粒料顯露出之情況，顯示在歷時 648 小時後，改良與緻密配比設計之 I 型水泥混凝土之重量損失最高顯示建議於酸性環境下應注意材料之選擇；鑽心試體部份，在相同情況下，除聚酯樹脂混凝土外，其餘試體表面均能清楚看出受硫酸溶液侵蝕過而粒料凸出之情況，所測得之重量損失結果較 II 型、V 型、鋁質、抗菌水泥混凝土為佳。
 - (5). 管材混凝土之鑽心試體 SEM 觀測：I 型水泥含卜作嵐摻料與聚酯樹脂鑽心試體之內部微觀結構受侵蝕情況較其他型輕微，抗侵蝕之能力較佳，可看出 II 型及 V 型水泥管材混凝土之微觀結構如同圓柱試體結果一樣鬆散，微孔隙存在甚多。
5. 老舊混凝土管材
- (1). 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。
 - (2). 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。
6. 鋼接頭防蝕耐久性評估
- (1). 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，但在價格上較不具競爭性，尤以節能減碳之觀點，應可以一般碳鋼及鍍鋅鋼材替代。
 - (2). 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。
7. 人孔防蝕與耐久性評估
- (1). 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。
8. 撓性管材防蝕與耐久性評估
- (1). ABS、PVC 及 HDPE 目前研究結果，使用壽命均可超過 50 年以上。
 - (2). 目前歐盟已禁止採用 PVC，因為含有毒化學一氯，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。
9. 根據預鑄人孔的應力分佈可以得知在開孔處周圍與車輪載重作用點呈現局部高應力區域，此現象尤其在活載重作用下特別明顯，排除車輪載重作用點應力之考慮，應該要針對開孔處周圍配置鋼筋補強以防止開裂造成集中應力的現象。
10. 分析結果顯示預鑄人孔配置 $0.01A_g$ 的鋼筋量可以滿足載重組合的要求，其載重組合均落在軸力-彎矩交互影響圖曲線 $0.002A_g$ 內，而配置的鋼筋量無法承受拉應力的區域，因 $0.002A_g$ 此不考慮配置的鋼筋

量。

11. 對於預鑄人孔的強度而言些微減少厚度沒有問題，但是受到污水長時間的沖刷或是開裂，導致混凝土表層剝落使鋼筋外露，因此需要更注重的是耐久性的問題，如果採取高性能混凝土應可就安全性與耐久性方面加以改善。
12. 鋼筋混凝土推進管因為外壓強度試驗為一種管材檢驗的標準，與實際管材在土壤的受力行為並不相同，因此在計算混凝土強度時當做一個參考值，並不以其分析結果當做設計標準。
13. 鋼筋混凝土推進管管材承受垂直均佈土壓力 q 所推導出 $M=0.25qr^2$ 與計算公式中 $M=0.275qr^2$ 比較可發現，現行的計算公式中已加入安全係數，所以公式所算出的值較為保守。
14. 鋼筋混凝土推進管以往的推進施工力學計算書都是考慮垂直均佈載重作用於推進管導致破裂之安全度檢算，本報告除了以有限元素分析軟體 SAP2000 模擬較接近真實受力行為，另外針對推進管偏移與完成管受土層錯動產生沉陷差異的情況進行探討。
15. 塑膠配管箱之分析方法分為應力檢核及變形率檢核，應力檢核為分析結構模型中的最大壓應力需小於 PVC 抗壓強度 660 kgf/cm^2 ，分析結構模型中的最大拉應力需小於 PVC 抗拉強度 500 kgf/cm^2 ，變形率檢核為結構模型的管徑變形率需小於 5%，經由所受到不同活載重表示塑膠配管箱放置於不同地方，分析結果顯示塑膠配管箱放置於小巷道端，結構體可以承受外加的載重，放置於一般道路端，承受 HS-20 的車輛載重，結構物無法承受此外力的加載，但此分析模型中已加入安全係數，所以較為保守。
16. PVC 管施作在明挖覆蓋法中，要檢核管徑的變形量及管材剛性，施作在推進工法中則需多考慮管體的軸向強度，與偏移或差異沉陷檢核，在分析案例中使用管徑為 200mm 的 PVC 管，放置於埋深 2m 的小巷道中，管體強度可以承受上述兩種施工方法所造成的外力荷重。
17. 本協會新定 9 項台灣下水道設施標準 (TSS)，詳 5.2 節~5.5 節以及附錄二，目前已有五項台灣下水道設施標準「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」由營建署提送 CNS 國家標準申請中，其中「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」已通過初審；另外「下水道用球狀石墨鑄鐵製框蓋」由下水道協會向經濟部標準局提出 CNS 國家標準申請。
18. 針對用戶接管塑化管之相關規範建立，訂定有污水下水道用硬質聚氯乙烯塑膠製匯流井、污水下水道使用之硬質聚氯乙烯塑膠直管式連接井、污水下水道使用塑膠組合式連接井、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；另外新訂台灣下水道設施標準「下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔」，使鋼筋混凝土預鑄人孔標準化，以及新訂「長距離、曲線推進用鋼筋混凝土管」，目前人孔與長距離曲線推進標準皆已通過 CNS 初審。此外因應氣爆問題、人孔蓋彈跳、上浮等問題，制定新型人孔蓋標準，具有止滑、防彈跳、防上浮脫開、上浮時防位移及

防墜落功能。

19. 有關節能減碳，本案台科大改良水泥配比可達 CO_2 減量 $0.1955(\text{ton}/\text{m}^3)$ ，詳 6.1 節；有關管材厚度及人孔(含另件)節能減碳之效應，本計畫以 SAP2000 初步分析混凝土管材人孔設施，可減少 1~3cm 及 6cm(人孔厚度)的程度，就混凝土管材及人孔設施單元，分析其體積減少量可達 7-27% 及 25%，將使節能減碳之效益達 $0.183\sim 0.233$ 及 0.215 (人孔) CO_2 減量 (ton/m^3)，詳 6.2 節。
20. 剛性管管材年限及施工成本分析詳 6.5 節，經分析，抗菌混凝土管(全管)、抗菌混凝土管(30mm 內襯)、聚酯樹脂混凝土管這三種長壽命管材具有最低之年單價，全鋁質鋼筋混凝土管年單價亦偏低。

7.2 建議

1. 老舊管材主要異常為「下陷、結垢、淤積」>「接管脫開、滲漏」、「破損龜裂」>「腐蝕、沖蝕」；由於早期管線多採明挖人工埋設，因而造成多年後管線接頭損壞、管體下陷等異常，這一類的接頭損壞異常，將因目前工程多採推進施工而改善，降低接管脫開、滲漏現象；因此，為避免管線老舊後異常，降低「腐蝕、沖蝕」現象，建議應提升管材之防蝕性與使用年限，使下水道老舊管材之異常損壞率減低。
2. 檢驗數據統計變異數小於 5%，顯示材料品質穩定，建議減少檢驗次數或頻率，或以廠驗代替如鋼接頭及塑膠材質。
3. 檢驗耗時較長且檢驗品質穩定之材料建議以廠驗或材料標章代替。
4. 針對老舊管材之使用狀況，為了增加材料節能減碳效益，在 I 型改良、抗菌混凝土、PRCP、PVC、HDPE 及 ABS 等管材均可達 50 年以上使用壽命，設計者可依工程所在環境使用效能，選擇所需管材種類。
5. 在一般設計年限內(50 年)，碳鋼及鍍鋅鋼材是足以考慮，作為管材之接頭使用，惟需考量施工時之磨損。
6. 減少人孔之厚度，以現今的科技而言只是添加卜作嵐同時減少水泥用量，這是輕易可達之事，而又可達綠設計精神，增加節能減碳之效益。
7. 以目前相關規範施作人孔，有害物質易因工人或不慎造成內襯材料破損或從接管間隙進入混凝土而造成侵蝕破壞。故建議以離心蒸養方式及 I 型改良混凝土等材質來改善。
8. 減少污水下水道系統中常因人孔的損壞造成爾後維修之問題。建議以 I 型水泥改良配比及減少人孔構造之厚度，可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。
9. 增加混凝土人孔設計強度採用第 I 型卜特蘭水泥添加卜作嵐材料，其 28 天最小抗壓強度為 $350\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，以增加其耐久性及對硫酸鹽之抗力，規範修正建議為：混凝土的水膠比必須限制在 0.4 以下。
10. 為了能有效利用各種管材，應依工程環境施工方式使用操作及維修的方便，選擇不同的管材種類，以達適材適用目的，使管材壽命成本納入設計考量。
11. 為了節能減碳效益，可從材料施工法及應力分析，以節省材料施工及維修成本，達到充分利用材料效益。

12. 塑膠配管箱分析結果顯示，將塑膠配管箱放置於小巷道端結構體強度足以抵抗外壓荷重，但放置於一般道路，活載重取 HS-20 之大貨車，結構體無法承受外壓載重，但此分析方法有在分析模型中加入安全係數，力量加載方式較為保守，但為了使用上之安全性，建議不將塑膠配管箱放置於一般道路端。
13. 鋼筋混凝土推進管之分級檢驗應為品管之依據，而非設計計算與配筋之依據，設計計算應以電腦模式為依歸之設計法則。
14. 鋼筋混凝土推進管之相關改善，逐步的改變將可使現地使用之回饋納入考慮，短期內做重大改變或許風險較高，但仍須定期檢討朝向合理方向邁進。
15. 本報告分別以個案分析，未就不同土壤狀況分析，因此應檢討不同地質情況之適用性，並依其目前現行規定評估適用之範圍（如地質、覆土深度、路面載重等）。
16. 新訂立之台灣下水道設施標準(TSS)及 CNS 申請國家標準的部份使現行紊亂不一致的下水道管材有統一規範，各廠商有所依據，建議加速成為國家標準之行政程序，有利提昇工程品質。
17. 以工程成本角度考量，應採用長壽命管材，符合經濟效益及環保概念。
18. 檢討修訂現行施工規範第 02533 章污水管管材如附錄四，建議耗費較高、耗時較長之檢驗項目，改採工廠認證制度，以利標準化，並降低檢驗耗時，節省人力與物力。