

自來水就地報廢管線最佳處置研究

*陳瑞昌 **紀添源 ***徐俊雄

*黎明工程顧問股份有限公司 水利技師兼業務經理

**台灣自來水股份有限公司 工務處工程師

***台灣自來水股份有限公司 工務處處長

摘要

本研究蒐集國內外報廢管線相關文獻及法規，研究彙整後可知台水公司所用管線材質皆通過 CNS 國家檢驗標準，可滿足土壤及地下水相關法規釋出濃度要求，且於地底常態土壤溫度(15°C~30°C)環境下無有毒元素釋出疑慮。

此外，國內外皆曾發生因管線工程引致路面塌陷造成財產損失賠償案例，故日本於 2005 年後已廣泛實施報廢管內灌漿填充以避免路面塌陷，美國亦有少數州(如：加州桑尼維爾市，Sunnyvale city)以管徑及埋深規範報廢管是否可採原地留置報廢(abandoned-in-place)處理。

英國則於 2020 年 3 月份公告在不擾動報廢管線周遭環境前提下可採原地留置報廢處理；加拿大研究則提出金屬管壁厚度與崩解年限關係，並提及位於水源地之報廢管應採分段封管避免導管效應導致水文環境及生態改變。

綜觀國內外報廢管處理方式，主要可分為移除、留置及再利用三類；其中，留置包含原地留置、封口留置及灌漿留置三種方式；再利用則有公開標售、出租利用、無償轉讓及再生製品等四種方式；然而，受限於全線開挖龐大施工費及交通黑暗期考量，目前國內

外多仍以留置方式處理。

惟本研究為推廣報廢管線多元處理之理念，設定以「推廣就地報廢管線再利用」、「避免就地報廢管線因損壞塌陷造成他人傷害」為目標，並逐步落實於台水公司各區處管線報廢工作中。

前言

台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)既有管線埋設地底，有關需予以報廢管線適合之處置方式，探討並分析欲留置管線之再利用可能性及報廢管線適法性(環境法規)，以利後續汰換管線於設計及施工可依報廢管線作業規範擇定適合之處置方式，而各區處因有不同狀況及需求，長期以來對於管線留置尚未對相關議題進行知識化或形成一致性作法，故投入此次研究，以作為未來管線廢棄處置的施作準則。

報廢輸水管線影響評估

一、自來水管線生命週期

本研究考量自來水管線生命週期特性，繪製管線正常、堪用及棄用階段概念如圖 1 所示，其中兩處「報廢點」與「失效點」作為正常、堪用及棄用三階段狀態之分界點，報廢點指原地留置管線已完成財產報廢程序之時間點，

金屬管失效點則指崩解失效時間點。

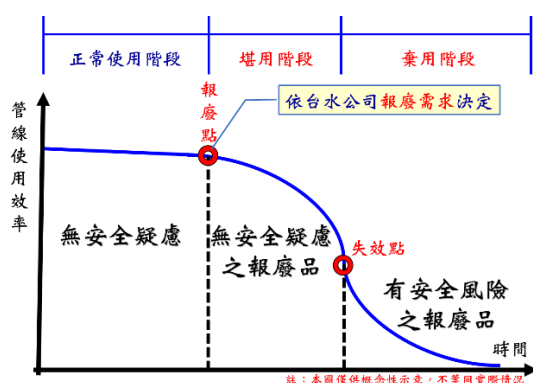


圖 1 輸水管線正常、堪用及棄用階段概念圖^[1]

換言之，堪用階段係指管線雖已報廢不作輸水用途，但尚無地面安全疑慮可為其他用途之狀態，及至失效點則崩解失效機率大增達棄用狀態，即應考慮以灌漿等方式防範地底塌陷危及地面安全，惟此圖係提供概念性示意用圖，不等同於實際情況。

二、相關法規制度

國內與報廢輸水管線相關法規^[19]有《廢棄物清理法》、《有害事業廢棄物認定標準》、《土壤及地下水污染整治法》、《市區道路條例》、《苗栗縣挖掘道路埋設管線自治條例》及《市區道路使用費收費標準》。

日本《道路法》雖明定道路空間占用人應於期限屆滿或許可廢止時處理佔用道路物件並恢復道路原狀，但仍預留「在不利道路復舊情況下可採其必要措施」之彈性^[18]，表示除移除報廢管恢復道路原狀外，亦可於不利恢復道路原狀條件下採取其他處理方式，如：填充報廢管線。

美國加州《桑尼維爾市飲用水系統設計施工指南與報廢管注意事項》^[24]規定，若報廢管線位於路權使用範圍內，若採原地留置(abandoned-in-place)

必須以砂土、低強度混凝土(CLSM)、水泥等材料填充避免路面塌陷。

英國已撤銷《地下報廢管線規範監管立場聲明第八項(RPS8)》如圖 2 所示，即就地報廢管線毋須環境評估即可就地報廢。

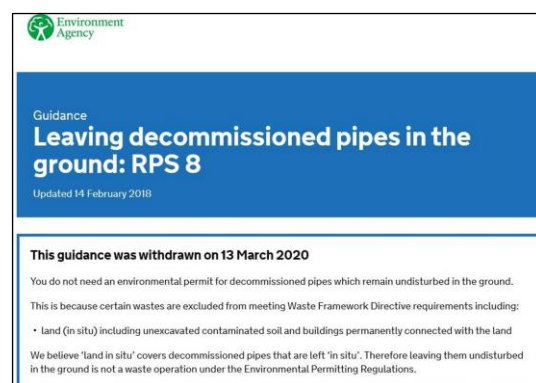


圖 2 英國地下報廢管線規範監管立場聲明第八項(RPS8)已撤銷^[26]

三、環境污染影響評估

台水公司自來水管施工相關規範皆以符合 CNS 規範之管材為料件，其元素溶出標準皆可滿足最嚴格之第一類地下水污染管制標準值要求如表 1。

表 1 第一類地下水污染管制標準與 CNS 自來水管溶出性試驗基準比較^[1]

法規管制元素 (mg/L)	第一類地下水污染管制標準值	CNS 自來水管溶出試驗規範	本研究推算
砷	0.05	0.01	-
鎘	0.005	0.003	-
鉻	0.05	0.05	-
銅	1	1	-
汞	0.002	0.0005	-
鎳	0.1	-	0.0426
鉛	0.05	0.01	-
鋅	5	1	-
氯乙烯	0.002	0.0015	-

且根據「台灣土壤溫度變化和土壤熱擴散係數推估(2008)」研究顯示台灣表層(5cm~1m)土壤之常溫介於(15°C~30°C)，不僅低於塑膠材料裂解溫度(如圖 3)，更遠低於金屬管種熔點，

故可判斷常溫條件下就地報廢管線之法規元素釋出可滿足土壤及地下水管制標準。

材質	耐熱溫度	耐酸性 (pH<5)	耐鹼性 (pH>10)
PET (聚乙炔對苯二甲酸酯)	60~85°C	○	○
HDPE (高密度聚乙烯)	90~110°C	○	○
PVC (聚氯乙烯)	60~80°C	○	○
LDPE (低密度聚乙烯)	70~90°C	○	○
PP (聚丙烯)	100~140°C	○	○
PS (聚苯乙烯)	70~90°C	○	○
PC (聚碳酸酯)	120~130°C	○	X
PLA (聚乳酸)	50°C	○	○
PMMA (壓克力)	70~90°C	○	○
ABS (丙烯-丁二烯-苯乙烯樹脂)	70~100°C	○	○
美耐皿 (美耐皿樹脂)	110~130°C	○	○
PES (聚醚砜樹脂)	195~215°C	○	○
Polyphenylene sulfone (聚苯硫樹脂)	205~220°C	○	○

○ 表示適用，X 表示不適用

圖 3 常見塑膠物理化學特性^[21]

四、土地使用影響評估

根據加拿大報廢管線研究指出，管線留置區域之土地利用類型，若屬於國家公園、生態保護區或環境敏感區，應特別考量生態擾動(Ecological Disturbance)與導管效應(Water Conduit Effect)之影響，以利維護自然環境、生物棲地及水文環境原貌。



圖 4 報廢管線處理應注意生態擾動與導管效應^[32]

五、地面安全影響評估

國內外地下管道相關事業曾發生因路面坑洞造成相關公安事故以致賠償之案例如表 2 與圖 5 所示，針對報廢管之地面安全影響應謹慎應對。

表 2 台水公司 108~109 年損賠案件統計表^[1]

發生日期	發生時間	發生區處 (縣市)	賠償金額(元)	事發車種	案件原因
108.01.07	20:10	三區 (新竹市)	14,635	機車	路面凹陷
108.04.26	08:04	七區 (高雄市)	375,662	汽車	破管淹損
108.07.02	15:04	四區 (台中市)	191,544	機車	破管路面凹陷
108.07.08	22:08	四區 (台中市)	10,000	機車	破管路面凹陷
108.12.25	15:40	四區 (南投縣)	9,000	機車	破管路面凹陷

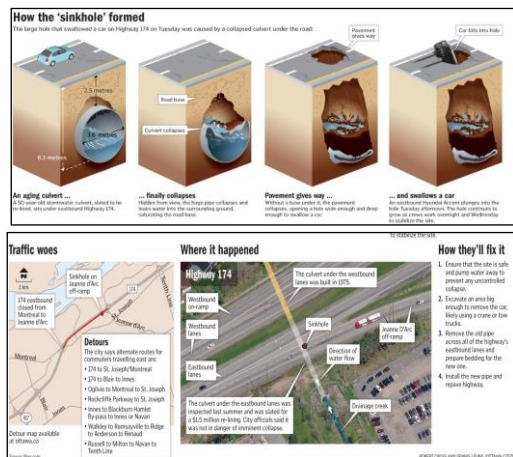


圖 5 加拿大地下管道銹蝕造成快速道路路面塌陷事故^[22]

根據加拿大研究指出，在環境條件均不變的假設理論下，金屬管銹蝕穿孔時間與管壁厚度、土壤電阻率(Soil Resistivity)及酸鹼值(pH)有關，管齡平均可達數十年至上百年不等，惟目前尚無塑膠管種崩解失效研究，建議暫採金屬管崩解失效年限評估之，後續若有深入評估崩解失效導致地面塌陷程度之需求，建議另案辦理研究。

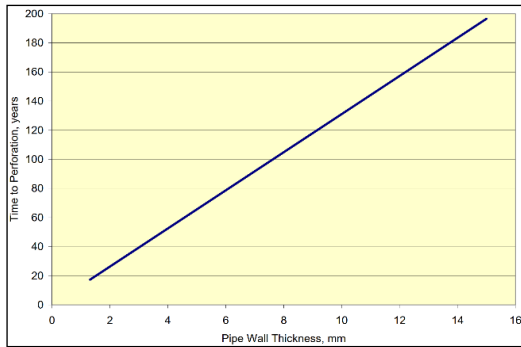
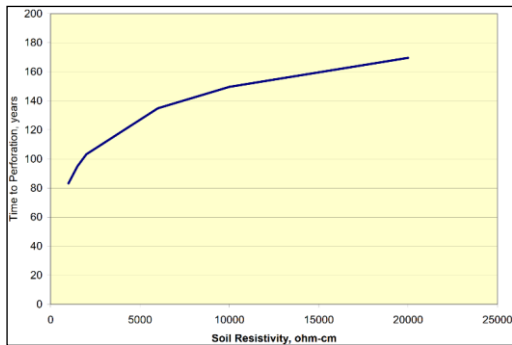


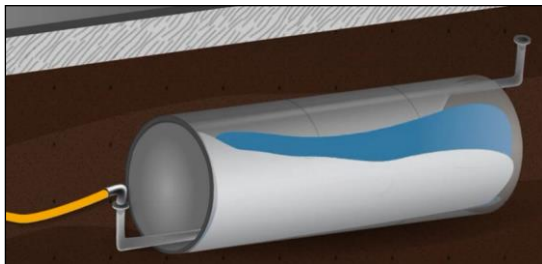
圖 6 金屬管壁銹蝕穿孔時間與管壁厚度關係圖^[28]



Years to Perforation = $13.97[\text{Log}_{10}R - \text{Log}_{10}(2160-2490\text{Log}_{10}\text{pH})]$
 R: Soil Resistivity

圖 7 金屬管壁銹蝕穿孔時間與土壤電阻率關係圖(pH 值=7.0)^[28]

綜上可知，堪用階段管線若已報廢不作輸水用途，但尚無地面安全疑慮者可為其他用途，及至棄用階段則崩解失效機率大增，即應考慮以管內填充灌漿固化等方式防範地底塌陷危及地面安全。



資料來源：<https://youtu.be/sZ5Is9urpUM>，
 GeoGrout - Void Filling

圖 8 灌漿填充留置管道示意圖^[25]

管線報廢處理技術方案及評估

一、國內外報廢管處理方案

本研究廣泛蒐集國內及美國、英

國、日本及加拿大等國外案例及法規可知，報廢管處理方式可區分為移除、留置及再利用；其中，報廢管留置係指將報廢管線滯留於原地不進行挖除，然而由於報廢管長時間留置於地底可能衍生環境及安全影響，故又可再區分為原地留置、封管留置及灌漿留置等三種處理方式；其次，報廢管再利用方式至少有「公開標售」、「再生製品」、「無償轉讓」及「出租利用」等四種。

二、報廢管處理技術評估與比較

若以管線汰換施工成本觀之，挖除報廢管所需施工費約 15,500 元/m，報廢管封口留置約 33,000 元/處，報廢管灌漿留置約 3,200 元/m，原地留置因無需施工，成本最低；另須注意，依規定所有留置於原地之報廢管皆須定期繳納道路規費，建議亦應納入成本考量。再利用方案效益部分，公開標售可產生一次性收入，出租利用皆可產生定期收入，再生使用則具折減購入新品成本可能性，無償轉讓雖無收益卻可節省清運及道路規費。

除經濟考量外，由於各方案存在諸多適用與限制條件^[1,表 4-4-2]，仍需倚重工程人員與管理單位實務經驗，建議應綜合考量後方可得較佳處置方案。

三、報廢管處置方案評估因子與流程

本研究參考現行台水公司「報廢管線(設備)挖取或就地報廢處理準則」，草擬地下報廢管留置或移除之定性定量評估表(表 3)，配合本研究提各種處理方案及各式判斷條件，綜整為之「報廢輸水管線之清除、留置及再利用方案評估流程」如圖 9 所示。

表3 地下報廢管留置或移除之定性定量評估表^[1]

評估條件	評分 (1~10)	權重 (依實高調整)	加權	評分說明
經費與效益比值	8.0	20%	1.6	工程經費除以創造效益之比值愈高評分愈高
交通影響程度	2.0	10%	0.2	尖峰車流或人流量愈大評分愈高
現場作業危險性	7.0	20%	1.4	作業危險性愈高評分愈高
舊品挖取困難度	2.0	20%	0.4	管線重要性愈高者評分愈高
管位空間重要性	10.0	20%	2.0	管位空間重要性或再申請難度愈高者評分愈高
舊品倉儲難度	8.0	10%	0.8	倉儲難度愈高者評分愈高
合計		100%	6.4	建議方案：管線留置

註：1.影響程度評分採 1 至 10 分。
2.加權合計，大於等於 5 則管線留置，小於 5 辦理管線移除。
3.各評估條件之權重可依各單位實務需求彈性調整。

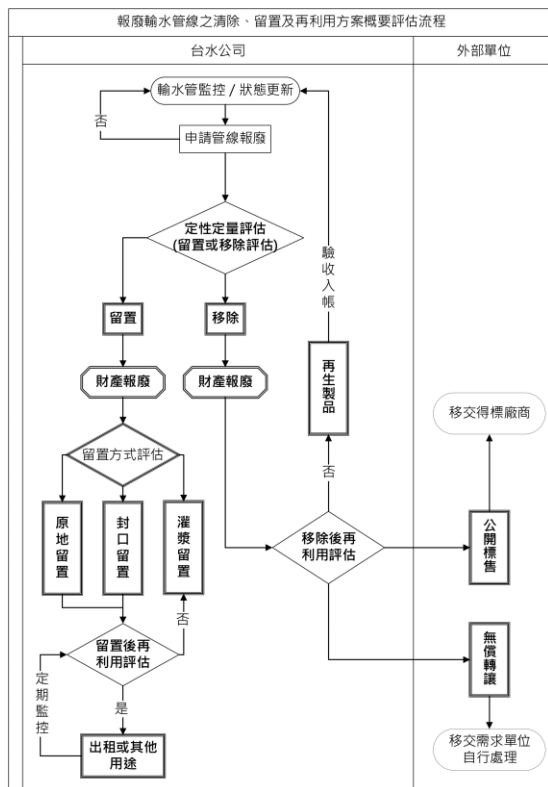


圖9 報廢輸水管清除、留置及再利用方案評估概要流程示意圖^[1]

結論與建議

綜上所述，報廢管處理方案受不同條件限制而有不同處理方式，故開發一 Excel 評估流程系統^[1]，供不同個案操考使用，如圖 10 所示。

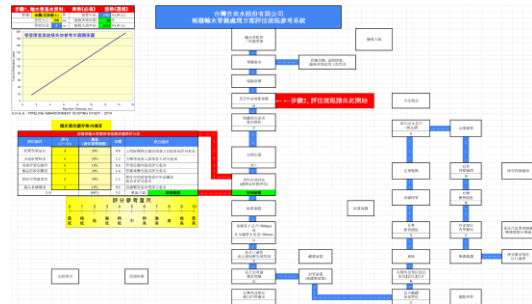


圖10 報廢輸水管線評估流程系統^[1]

最後，本研究管線報廢之評估流程、處理方案與技術，可納入台水公司「報廢管線(設備)挖取再生利用或報廢處理準則」修正內容，並以「推廣報廢管線再利用」、「避免報廢管線因損壞塌陷造成他人傷害」為目標精進既有規範。

參考文獻

1. 台灣自來水股份有限公司，「報廢管線最佳處置研究計畫委託專業服務(成果報告)」，民國 109 年 9 月，台灣。
2. 時佳麟、許敏能、黃欽稜、張正忠、呂紹禎、宋奕穎(2018)，自來水配水管材選用策略之研究-以北水處供水管網為例，臺北自來水事業處，台灣。
3. 薛志宏、賴頌仁、陳富鈴、張美惠、王志隆(2016)，供水管網微量重金屬釋出情形研究，臺北自來水事業處，台灣。
4. 社團法人台灣下水道協會(2011)，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，內政部營建署，台灣。
5. 林茂原、林坤樟、謝適鴻(2013)，日本廢棄物垃圾處理能源化，行政院環境保護署，台灣。
6. 台灣自來水股份有限公司(2015)，自

- 來水管理設施工說明書(104年元月版)，台灣。
7. 行政院環保署土壤及地下水污染整治基金管理會，美國「超級基金」(superfund)三大法案簡介，台灣。
 8. 衛生福利部食品藥物管理署(2013)，塑膠類食品容(器)具或包裝衛生安全與標示 100 問，台灣。
 9. 劉至恩、黃子芸、江亭毓、徐知新(2016)，台灣地區道路交通事故國賠案件特性分析，逢甲大學，台灣。
 10. 蔡子衿、吳清吉、許武榮(2008)，台灣土壤溫度變化和土壤熱擴散係數推估，國立台灣大學大氣科學系，台灣。
 11. 詹榮桂、劉仁銘(2012)，人工魚礁完全手冊，中央研究院 生物多樣性研究中心，台灣。
 12. 行政院環保署(2015)，焚化底渣再生粒料應用於控制性低強度回填材料 (CLSM)使用手冊，台灣。
 13. 厚生労働省(平成 21 年)，水道事業における環境対策の手引書(改訂版)，日本。
 14. 東京都水道局(2015)，環境 5 か年計画，日本。
 15. 瑞穂市環境水道部上水道課(2019)，水道工事標準仕様書，日本。
 16. WSP 日本水管協會(2019)，PVC 襯裡鋼管回收系統，日本。
 17. 鈴木邦和，東京都議員鈴木邦和官方網站，<https://kunikazu.jp/update/20181219>，日本。
 18. 道路法(昭和 27 年 6 月 10 日法律第 180 號)，https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=327AC1000000180，日本。
 19. 全國法規資料庫 - 法務部，<https://law.moj.gov.tw/>，台灣。
 20. 國家標準(CNS)與自來水管相關內容，台灣。
 21. 衛福部食藥署(2013)，「不可不問的塑膠類 100 問」，台灣。
 22. Cnaan Connexion, FEATURE-Highway-174-sinkhole-2012, <http://www.cnaanconnexion.ca/Feature-120904-174-sinkhole.shtml#councillors-east-end-bridge>, Canada.
 23. City of Sunnyvale (2018). PUBLIC WORKS DEPARTMENT/ENGINEERING DIVISION. USA.
 24. City of Sunnyvale Design and Construction Guidelines (2015). Potable Water Systems. USA.
 25. GeoGrout-Void Filling, <https://youtu.be/sZ5Is9urpUM>, USA.
 26. GOV.UK, [Withdrawn] Leaving decommissioned pipes in the ground: RPS8, <https://www.gov.uk/government/publications/leaving-decommissioned-pipes-in-excavations-rps-8/leaving-decommissioned-pipes-in-excavations-rps-8>, UK.
 27. National Energy Board (NEB) (1996). Pipeline Abandonment - A Discussion Paper on Technical and Environmental Issues. Canada.
 28. National Energy Board (NEB) (2010). Pipeline Abandonment Scoping Study. Canada.
 29. National Energy Board (NEB) (2010). Landowner Guide. Canada.
 30. National Energy Board (NEB) (2016). Regulating Pipeline Abandonment. Canada.

31. National Energy Board (NEB) (2017). Water Conduit Effect in Abandoned Pipelines Pipeline Abandonment Research Steering Committee PARSC 012 Report. Canada.
32. ENBRIDGE, Pipeline decommissioning: Preserving your peace of mind, https://www.enbridge.com/~media/Enb/Documents/Infographics/IG_PipelineDecommissioning.pdf?la=en, and https://www.enbridge.com/~media/Enb/Documents/Factsheets/FS_PipelineDecommissioning.pdf?la=en, Canada.
33. Petroleum Technology Alliance of Canada Calgary, Alberta (2016). Understanding the Mechanisms of Corrosion and their Effects on Abandoned Pipelines. Canada.
34. Collapses of underground cavities and soil-structure interactions : experimental and numerical models.
35. FEM-based stability charts for underground cavities in soft carbonate rocks : validation through case-study applications
36. Influence of location of subsurface structures on development of underground cavities induced by internal erosion
37. Prediction of undrained sinkhole collapse.
38. Application of the finite element method for evaluating the stress distribution in buried damaged polyethylene gas pipes.