

雨水下水道鑄鐵清掃孔蓋替代材料分析與評估

彭振聲¹ 羅維² 潘煌錕³

關鍵詞：人孔蓋、鑄鐵蓋、替代材料。

摘要

由於近兩年來全世界鋼價的飆漲，使得鋼製的相關產品價格的回收價值可觀，導致供公眾使用的雨水下水道的鑄鐵蓋時常失竊。雨水下水道鑄鐵清掃孔蓋因鋼價上揚易遭竊遺失而產生公共安全问题，以非鑄鐵類之孔蓋之替代材料來製作雨水溝蓋之可行性，是值得研究之課題。經本研究分析，雨水下水道鑄鐵清掃孔蓋其排水孔的數目以 4 孔的抗撓曲和彎曲拉應力的組合較佳，為避免清掃孔溝蓋因載重而產生破壞的材料容許壓應力要大於 40 kgf/cm² 以上，且材料容許拉應力也要大於 85 kgf/cm²，經過溝蓋替代材料性質與成本比較，有四種材料所製成的溝蓋，包括不飽和聚脂複合材料 (BMC)、環氧樹脂砂漿溝蓋、纖維貼布包裹環氧樹脂砂漿溝蓋、電木板貼片水泥砂漿溝蓋，可以做為鑄鐵溝蓋替代品。避免因長期使用界面黏貼問題，製作過程一體成型的溝蓋性能較佳，其中不飽和聚脂複合材料和加勁鋼筋一體成型的溝蓋，因為其抗彎強度強，為最佳選擇，且小溝蓋價格 (980 元/塊) 與大溝蓋價格 (1050 元/塊) 比鑄鐵溝蓋的價格低。本研究經比較國內清掃孔蓋之優缺點，篩選出適合清掃孔蓋結構分析方式以及評估可行之清掃孔蓋替代材料，以供各界於選用雨水下水道清掃孔蓋時之參考。

EVALUATION AND ANALYSIS OF REPLACEMENT MATERIALS FOR CAST IRON DITCH COVERS OF RAINWATER SEWER SYSTEM

Cheng Sheng Pong

*Institute of Engineering Science and Technology
Kaohsiung First University of Science and Technology
Kaohsiung, Taiwan 81164, R.O.C.*

Wei Lo

*Department of Construction Engineering
Kaohsiung First University of Science and Technology
Kaohsiung, Taiwan 81164, R.O.C.*

Huang Hsing Pan

*Department of Civil Engineering
Kaohsiung University of Applied Sciences
Kaohsiung, Taiwan 80778, R.O.C.*

Key Words: manhole cover, cast iron ditch cover, replacement materials.

ABSTRACT

For last two years, the steel price is on the increase tremendously in the world. The high price of steel products induces people to steal the cast iron ditch covers from the street, and the stolen ditch covers endangering the pedestrians and the vehicles give rise to public safety problem in Taiwan now. A feasibility structural analysis and cost evaluation by using non-ferrous materials instead of cast iron ditch covers is proposed and investigated. New substitutes of cast iron ditch covers satisfy several conditions: lower cost, weathering resistant, corrosion

¹高雄市政府下水道工程處處長、國立高雄第一科技大學營建科技研究所博士候選人

²國立高雄第一科技大學營建工程系副教授

³國立高雄應用科技大學教授

resistant, maintenance free, and lower resold price. The results show that the weep hole on the ditch cover with a four-hole type is the optimal arrangement by considering the effect of the deflections and the bending stresses. For the ditch cover at the thickness of 30 mm, the allowable strength of the replacement materials with at least 40 kgf/cm² in compression and 85 kgf/cm² in tension are designed and recommended to resist the failure of ditch covers in practice. By comparing with the cost and mechanical properties of replacement materials, four kinds of materials including BMC, sand/resin mortar, fiber covered resin concrete, and bakelite-mortar sandwich structure are recommended as the substitutes of cast iron ditch covers. To prevent the interface fracture in ditch covers, the steel reinforced BMC ditch cover is more suitable for long-term uses. The unit prices of BMC ditch covers for 30 × 360 × 600 mm and 30 × 460 × 600 mm are 980 NTD and 1050 NTD, respectively, lower than cast iron ditch covers.

一、前言

由於近年來全世界鋼價的飆漲，使得鋼製的相關產品價格的回收價值可觀，因此引起許多宵小的覬覦，導致供公眾使用的雨水下水道的鑄鐵蓋時常失竊，引發各種公共安全問題。為了降低失竊率，笨重水泥溝蓋、木質溝蓋、鍍鋅隔柵溝蓋或是玻璃纖維製品溝蓋，重新被採用，但是這些溝蓋製品因承載重不足、變形量太大、生命週期太短，或是價錢太高，維護不易，而導致排水功能不彰，因此尚無法大量使用。因此，亟需要尋找排水溝清掃孔蓋之溝蓋材料的替代品，希望能夠取代現有的鑄鐵蓋，減少或降低溝蓋失竊的誘因。

二、研究目的

為找尋雨水下水道排水溝鑄鐵清掃孔蓋的替代品，開發具有雨水下水道排水溝清掃孔蓋功能的材料，評估其取代鑄鐵蓋的可行性，並制定新的雨水下水道排水溝清掃孔蓋材料規格，提供給使用單位做為採用和使用的參考。這些新溝蓋材料期望具有較鑄鐵成本，和殘值低的優點，以便能夠降低失竊率、維護公共安全。本研究之目的，主要是為了補充失竊溝蓋的雨水下水道排水溝清掃孔的孔洞及新設工程之非鑄鐵之複合材料新產品，新產品必須要符合原下水道排水溝的開口尺寸，所開發的水道溝蓋產品強度必須滿足承載路面車輛載重的使用目的，未來將可能全面取代現有的鑄鐵溝蓋。本研究將找尋雨水下水道排水溝鑄鐵清掃孔蓋的替代品，開發具有雨水下水道排水溝清掃孔蓋功能的材料，評估其取代鑄鐵蓋的可行性，提供給主管機關做為採用和使用的參考，以便能夠降低失竊率。本研究評估分析流程如圖 1。

三、溝蓋尺寸及型式 [1,2]

近年來，高雄市政府工務局下水道工程處為使全市排水溝的清掃孔溝蓋尺寸能夠統一，溝蓋逐漸採用兩種標準尺寸：3 × 36 × 60 cm 和 3 × 46 × 60 cm，做為雨水下水道清掃孔蓋的規格如圖 2，其中溝蓋外框有 3 × 37 × 61 cm 和 3 × 47 × 61 cm 兩種，該外框內部四周向內各延伸 3 cm 形成為溝蓋的支承部，本研究是依這兩種溝蓋尺寸做為設計依據來開發新溝蓋材料及評估其取代鑄鐵溝蓋的可行性。

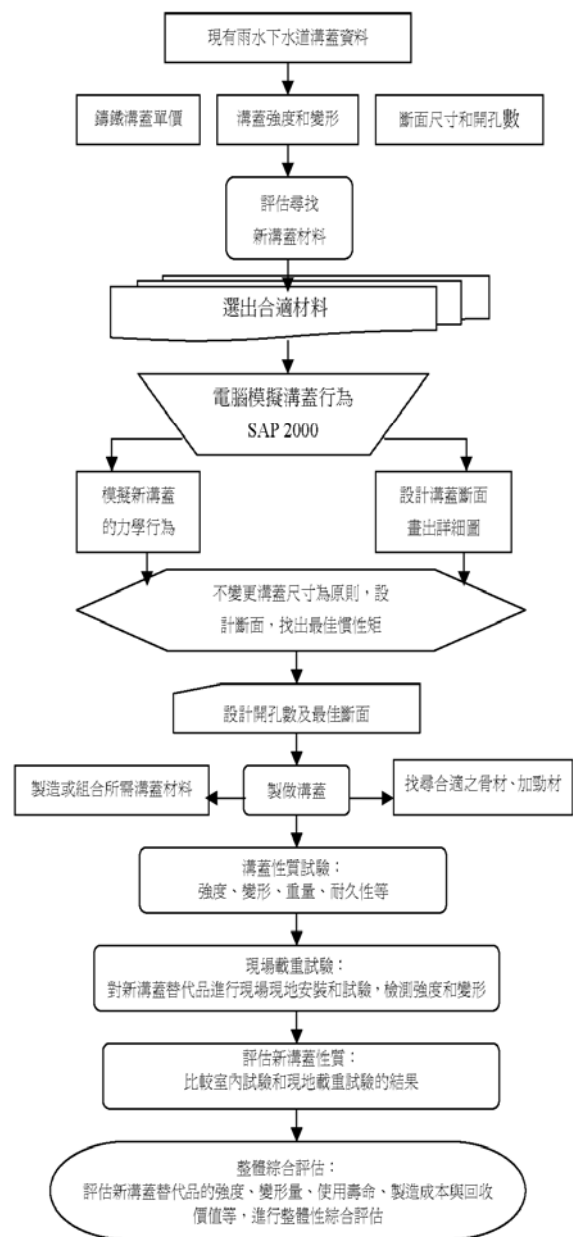


圖 1 本研究評估分析流程



圖 2 高雄市雨水下水道清掃孔溝蓋尺寸 [2]

因雨水下水道大部份興建在路旁或巷道內，因此 $3 \times 36 \times 60 \text{ cm}$ 尺寸的溝蓋（簡稱小溝蓋）除了少部分外，大部分位在人行步道或較小巷道上；而 $3 \times 46 \times 60 \text{ cm}$ 尺寸的溝蓋（簡稱大溝蓋）則大都位在主要道路兩側，所以本研究的雨水下水道溝蓋考量以使用在人行道、巷道或主要道路兩側為主。若考量車輛臨時停車且會壓在排水溝的溝蓋上，為使車輛輪胎不致陷入排水溝的清潔孔內，溝蓋設計載重必須能夠承載車輛總載重。考慮極大值的情況，假設以一部卡車空重 7.5 噸，滿載重 15 噸，或公車空車載重 10 噸，滿載重 15 噸為依據，設計時以總載重 15 噸為水溝蓋所需承載最大設計載重。因卡車或公車的後輪為複輪，因此單輪的載重為 2.5 噸，另考慮車輛在啟動、行駛或停止時有額外增加之 40% 的扭力或衝擊載重，則單輪的設計載重定為 3.5 噸。本研究的溝蓋強度試驗標準是假設輪胎和地面接觸面積為 $10 \times 20 \text{ cm}$ ，總載重約 4 噸，則溝蓋成品的均佈外載重為約 20 kgf/cm^2 ，這個均佈載重將加載在溝蓋跨度中央範圍。另外，溝蓋的設計除了要考慮溝蓋強度外，還要考慮當大雨淹水時溝蓋重量自重必須抵抗浮力而不被雨水沖走，因此選用溝蓋材料時亦要注意自重問題。若以體積和比重換算，小溝蓋重量至少要 6.5 kgf ，而大溝蓋重量要 8.5 kgf 以上，另增加水流因素後，假設增加 25% 重量，所以本研究規劃設計的小溝蓋與大溝蓋自重分別為 8 kgf 和 11 kgf 以上。（備註：現有鑄鐵溝蓋的重量分別是 38 kgf 和 49 kgf 。）

四、人孔蓋結構強度分析 [1]

一般雨水下水道大部份興建在路旁或巷道內，溝蓋設計載重必須能夠承載車輛總載重之強度，及抵抗浮力而不被雨水沖走之自重問題，為不改變既有之人孔蓋之基礎，其規格以現有鑄鐵蓋之尺寸為試驗樣品之模擬條件。

1. 模擬條件

為了縮短新溝蓋的研發時間、節省模具與材料成本，先以電腦軟體來模擬不同組合斷面的溝蓋力學行為，出選

用材料的最佳斷面，及符合原雨水下水道清掃孔蓋的開口尺寸，新溝蓋材料的形狀和外部尺寸與原有之鑄鐵蓋相同。溝蓋的設計厚度為 3 公分，且斷面設計必須考慮溝蓋的抗彎強度、抗拉強度和撓曲變形等因素，才能找出最佳組合斷面。大部分的鑄鐵替代品材料，它們的楊氏彈性模數 E 值都比鐵材低很多，這會產生比鐵材還要大的撓度，因此為了彌補撓曲變形的增加，新溝蓋材料必須要提高慣性矩以降低撓曲拉應力。所以，除了格柵板型式的結構外，其餘鑄鐵替代品材料的斷面必須是實心斷面。因此本計畫在兩種實心溝蓋尺寸（ $3 \text{ cm} \times 36 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 及 $3 \text{ cm} \times 46 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ ）開設不同的排水孔，總溝蓋排水孔的開孔面積假設為 192 cm^2 ，並變動開孔位置。經計算斷面性質、應力及撓度後，找出最佳斷面尺寸。

2. 模擬目的：

- (1) 找出變形量最小之溝蓋排水孔的開孔數與位置。
- (2) 找出變形量最小之溝蓋的最大拉應力、壓應力及剪應力位置。

3. 模擬要求：

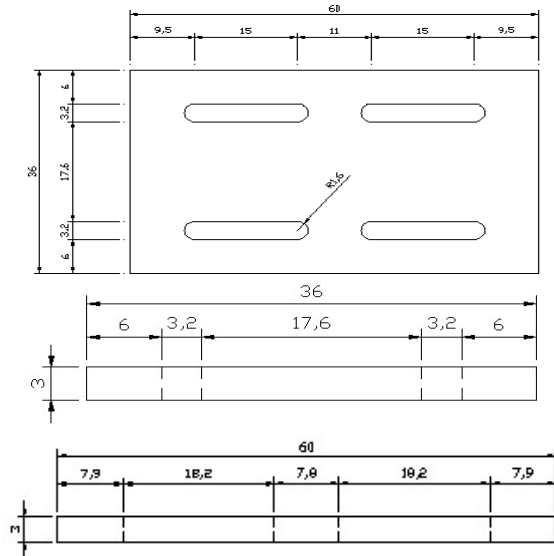
- (1) 在總排水孔面積固定時，決定溝蓋的開孔數量。(2) 決定開孔數量後，改變孔與孔間的距離。(3) 假設溝蓋承受總重量 4 噸的載重。(4) 總重量施加在溝蓋上部的正中央處，載種面積約等於汽車車輪與地面接觸面積。(5) 溝蓋的支承型式為四周向內延伸 3 公分，左側兩端為鉸支承，右側兩端為滾支承。(6) 運用 SAP 2000 軟體來模擬運算，並計算出各型式溝蓋的變形量、軸應力、剪應力分佈情形及變形。(7) 比較各尺寸溝蓋內部的變形量和應力，綜合評估後決定適當的溝蓋尺寸斷面。

4. 初步模擬 [4-8]

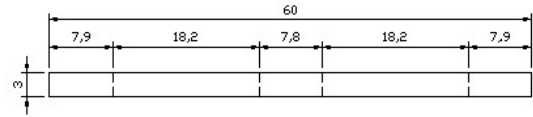
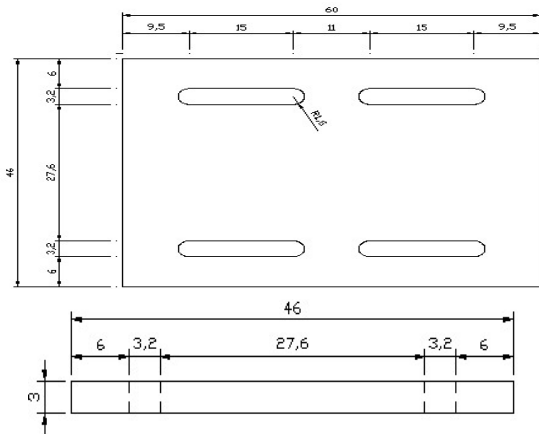
為了找出變形量比較小的溝蓋排水孔的開孔數與位置，首先簡化材料的模擬條件：(1) 材料：具等向性的鋼材。(2) 材料性質：楊氏模數 $E = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ，柏松比 $\nu = 0.3$ 。(3) 溝蓋尺寸：在兩種實心溝蓋尺寸：小溝蓋（ $3 \text{ cm} \times 36 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ ）與大溝蓋（ $3 \text{ cm} \times 46 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ ），開設 4 孔、6 孔或 8 孔的排水孔，總溝蓋的開孔面積為 192 cm^2 ，且變動開孔位置。經過初步電腦模擬計算後，比較多種溝蓋排水孔的開孔位置和數目的組合後，建議溝蓋排水孔的數目以 4 孔的抗撓曲和彎曲拉應力的組合較佳，因此本研究決定採用 4 孔排水孔的溝蓋做為初步設計的依據，小溝蓋及大溝蓋尺寸如圖 3。

5. 細部模擬

經採用 SAP 2000 軟體來模擬溝蓋力學行為後，決定採用 4 孔排水孔溝蓋做為設計，其中每個排水孔面積約 $3 \times 16 \text{ cm}$ ，開孔兩端半圓的曲率半徑為 1.6 cm ，距離長邊（ 60 cm ）有 6 cm ，而距離短邊（ 36 或 46 cm ）約有 8 cm ，以便簡化大、小溝蓋的生產尺寸。為進一步分析溝蓋受外載重作用下的應力狀態。初期選用市面上較容易取得之高性能砂漿和環氧樹脂砂漿兩種材料做為溝蓋進行細部模擬分析，有關細部模擬條件詳表 1，而大小溝蓋頂部和溝蓋底部分析結果（詳圖 4），在小溝蓋頂部位於跨度中央的排水孔端（點



清掃孔小溝蓋尺寸 (3 cm × 36 cm × 60 cm)



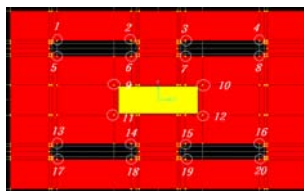
清掃孔大溝蓋尺寸 (3 cm × 46 cm × 60 cm)

圖 3 清掃孔小溝蓋及大溝蓋尺寸 (上視、左側、正視圖)

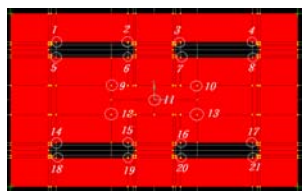
表 1 高性能砂漿和環氧樹脂砂漿做為清掃孔溝蓋的細部模擬條件 [4-8]

高性能砂漿性質	環氧樹脂砂漿性質
楊氏模數 $E = 2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 。 柏松比 $\nu = 0.2$ 。	楊氏模數 $E = 7.44 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 。 柏松比 $\nu = 0.2$ 。
溝蓋尺寸 $3 \times 36 \times 60 \text{ cm}$ 及 $3 \times 46 \times 60$ ，溝蓋外型如圖 2，溝蓋頂部承受一 $6 \times 18 \text{ cm}$ 載重面積，均佈荷重為 37.04 kgf/cm^2 。	

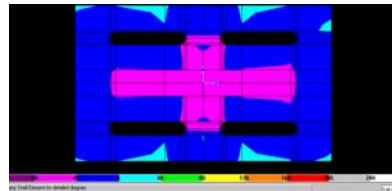
6、7、14 和 15)，與載重塊四周 (點 9、10、11 和 12) 的變形和應力最大，約有 0.34 ~ 1.00 mm 的變形量及 40 kgf/cm^2 的軸向壓應力；溝蓋底部位於跨度中央的排水孔端 (點 2、3、6、7、15、16、19 和 20) 的變形和應力較大，約有 0.34 ~ 1.00 mm 的變形量及 $77 \text{ kgf/cm}^2 \sim 84 \text{ kgf/cm}^2$ 的軸向拉應力，另外最大撓度位於跨度正中央的點 11 處，約為 0.36 ~ 1.07 mm 的變形量；在大溝蓋頂部位於跨度中央的載重塊四周 (點 9、10、11 和 12) 的變形和應力最大，約有 0.19 ~ 0.57 mm 的變形量及 40 kgf/cm^2 的軸向壓應力；而靠近跨度中央的排水孔端 (點 6、7、14 和 15) 的變形和應力次之，約有 0.19 ~ 0.55 mm 的變形量，及 32 kgf/cm^2 的軸向壓應力。溝蓋底部位於跨度中央的排水孔端內側 (點 2、3、6、7、15、16、19 和 20) 的拉應力較大，約有 $27 \text{ kgf/cm}^2 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$ 的軸向拉應力，另外靠近跨度中央的載重塊四周的撓度較大，且最大撓度位於跨度正中央的點 11 處，約為 0.19 ~ 0.62 mm 的變形量，但其軸向拉應力約只有 18 kgf/cm^2 。依據前



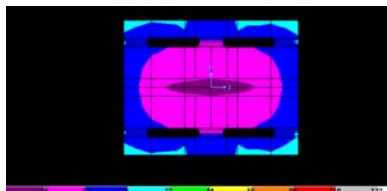
溝蓋頂部點位標號



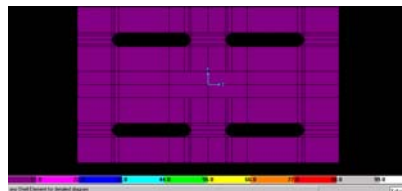
溝蓋底部點位標號



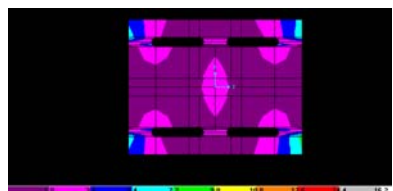
小溝蓋頂部軸向壓應力



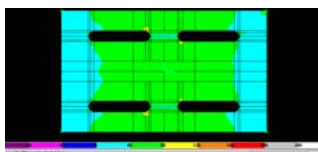
大溝蓋頂部軸向壓應力



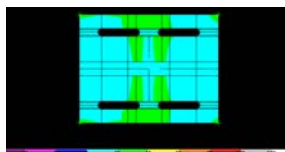
小溝蓋頂部剪應力



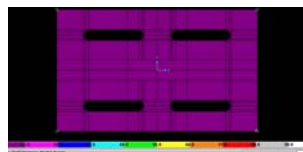
大溝蓋頂部剪應力



小溝蓋底部軸向拉應力



大溝蓋底部軸向拉應力



小溝蓋底部剪應力



大溝蓋底部剪應力

圖 4 高性能水泥砂漿清掃孔大小溝蓋受力分析圖 (3 cm × 36 cm × 60 cm 及 3 cm × 46 cm × 60 cm)

述假設和已知條件利用電腦模擬具等向性溝蓋材料的力學性質得知，較佳之清掃孔蓋若以總載重 4 噸施加在 $6 \times 18 \text{ cm}^2$ 承載面積的溝蓋上，要避免溝蓋產生破壞的材料容許壓應力要大於 40 kgf/cm^2 以上，且材料容許拉應力也要大於 85 kgf/cm^2 。所以本研究初步選擇的溝蓋替代材料條件為 (1) 容許撓曲應力大於 85 kgf/cm^2 ，(2) 熱變形溫度大於 100°C ，(3) 比重大於 1.0，以防被水沖離 (4) 替代材料之生產且具普遍性，(5) 工廠生產製作容易，(6) 回收再利用價值低。

五、人孔蓋替代材料分析與評估 [1]

目前所欲開發的新溝蓋，主要是為了補充失竊及減少現有都市人孔蓋基礎設計之變動，新溝蓋必須要符合原下水道排水溝的開口尺寸，而所開發的下水道溝蓋和原鑄鐵溝蓋比較，溝蓋強度仍必須滿足承載路面車輛載重的使用目的。若新溝蓋成品經長期使用能滿足需求，未來將可能全面取代現有的鑄鐵溝蓋或另選擇新材質提供一種水溝蓋之改良。

5.1 評估方法

目前全世界大部分國家的雨水下水道溝蓋所使用的材料仍以鑄鐵材料為主，這是因為鐵材不管在強度和成本考量下，絕對佔有很大優勢，因此如何尋找另一種新替代材料來滿足溝蓋強度和成本需要，形成一大挑戰。考量研發時效、材料性質和生產等因素，所採用的評估方法包括：

1. 蒐集現有溝蓋資料：

蒐集現有溝蓋材料種類、成品價格、尺寸斷面、開口面積、使用地點、材料強度、失竊原因、回收價值和生產難易等。

2. 擬定設計需求：

依溝蓋置放位置的交通量和車輛種類，考慮現場所有的可能載重，並酌增安全係數後，決定溝蓋的設計強度和載種面積；另外還考慮天候和環境因素，決定溝蓋的重量限制和變形限制等。

3. 電腦模擬斷面尺寸：

採用 SAP 2000 軟體模擬溝蓋的開孔面積、開孔數和開孔位置，比較溝蓋不同位置的軸向力、剪力和撓度後，決定新溝蓋的尺寸和斷面。

4. 評估溝蓋新材料：

依新溝蓋尺寸斷面的最大應力和變形量決定新溝蓋材料的性質限制，並找尋及開發所有符合設計強度和變形量限制的材料。

5. 製作溝蓋成品和試驗：

訂製溝蓋模板，設計配比或裁製材料，溝蓋材料有工廠製造和實驗室製作兩種形式，所製作的溝蓋成品都是複合材料型態。溝蓋成品試驗分為室內試驗和現地試驗，其中室內試驗是以 4 噸載重施加在 $10 \times 20 \text{ cm}$ 承載板上，觀察溝蓋的強度、最大撓度和裂縫破壞型態，載重試驗上視

圖及前視圖詳圖 5；而現地試驗是將不同材料施作的溝蓋成品置放在交通繁忙地點，觀察溝蓋承載、變形量、耐久性和可能的破壞型態。

6. 綜合評估：

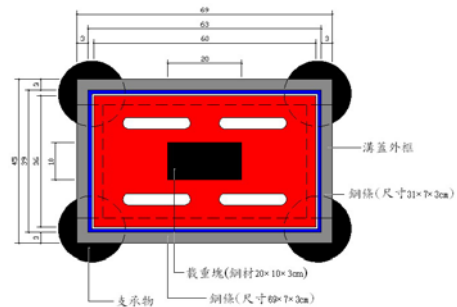
依室內試驗和現地載重試驗的結果，比較強度、變形量、重量、破壞裂縫分佈和耐久性後，評估可能做為溝蓋替代品材料的成本價格、使用壽命、原材料再利用的回收價值與技術轉移問題。

7. 專業建議：

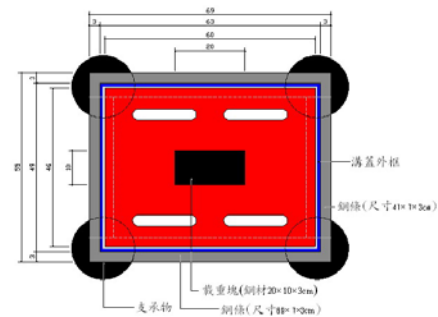
依整體評估的結果，篩選幾種可能取代鑄鐵溝蓋的材料和型式，並提出新溝蓋成品的特性以供作為設計規範。

5.2 評估步驟

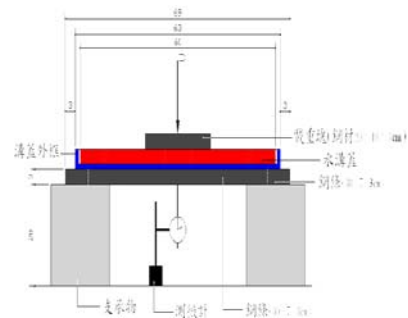
為開發新溝蓋替代材料必須考量溝蓋的設計因素，因此依據評估方法所採用的評估步驟如下：(1) 尋找取代鑄鐵



小溝蓋上視圖 ($3 \times 36 \times 60 \text{ cm}$)



大溝蓋上視圖 ($3 \times 46 \times 60 \text{ cm}$)



前視圖

圖 5 清掃孔溝蓋載重試驗上視圖及前視圖

的新溝蓋材料。(2) 依原溝蓋尺寸設計新尺寸斷面。(3) 電腦模擬溝蓋的力學行為。(4) 製造溝蓋成品。(5) 實驗室試驗溝蓋強度及變形量等性質。(6) 載重試驗。(7) 新溝蓋材料的性質。(8) 評估使用溝蓋替代品的可能性。

5.3 溝蓋替代材料 [4,8]

新溝蓋材料要取代原鑄鐵溝蓋首先要考慮材料的強度及材料之普遍性，以降低溝蓋的成本；另外還要考慮溝蓋回收再生價值，減少溝蓋失竊率。經比較相關文獻研究、實驗報告與實務經驗後，初步提出下列 9 種溝蓋替代材料：高性能水泥砂漿、環氧樹脂砂漿、工程塑膠、纖維強化高分子材料、不飽和聚脂複合材料 (BMC)、強化玻璃、鍍鋅格柵板、氧化鋯強化鑄鐵和矽砂強化鑄鐵。但在細部評估溝蓋替代材料時，若考慮實用性及製造方便性後認為，所提 9 種溝蓋替代材料中有兩種明顯不適合做為溝蓋材料，因此 7 種適合做為溝蓋材料包括：1. 高性能水泥砂漿。2. 環氧樹脂砂漿。3. 工程塑膠。4. 纖維強化高分子材料。5. 不飽和聚脂複合材料。6. 強化玻璃。7. 鍍鋅格柵板。材料特性詳表 2。

1. 溝蓋型式

依據前述人孔蓋結構強度分析與溝蓋替代材料的評估標準，本研究已選出 7 種可能的溝蓋替代材料：高性能水泥砂漿、環氧樹脂砂漿、工程塑膠 (塑鋼、電木板)、纖維強化高分子材料 (玻璃纖維布、玻璃纖維板)、機能性不飽和聚脂複合材料 (BMC)、強化玻璃和鍍鋅鋼材。這些材料的性質雖然能滿足溝蓋材料的需求，但所製成的新溝蓋是否能取代現有的鑄鐵溝蓋，仍然需要試驗才能驗證。

由溝蓋替代材料特性，本研究有 6 種溝蓋結構型式：

單相溝蓋、單面貼片的層積溝蓋、雙面貼片的層積溝蓋、五面薄層的單相溝蓋、三明治薄層單相溝蓋、格柵板溝蓋，每種溝蓋都有大溝蓋和小溝蓋兩種尺寸。其中單相溝蓋為實心的溝蓋，有高性能水泥砂漿溝蓋、環氧樹脂砂漿溝蓋、塑鋼溝蓋、電木板溝蓋、玻璃纖維板溝蓋、不飽和聚脂複合材料、強化玻璃溝蓋等 7 種，厚度為 3 cm。單面貼片的層積溝蓋有厚度 2.4 cm 的高性能水泥砂漿與環氧樹脂砂漿，在溝蓋底部貼上 0.6 cm 的塑鋼板或電木板，總共有 4 種。雙面貼片的層積溝蓋有厚度 2.4 cm 的高性能水泥砂漿與環氧樹脂砂漿，在溝蓋頂部和底部各貼上 0.3 cm 的玻璃纖維板，總共有 2 種。五面薄層的單相溝蓋有厚度約 2.8 cm 的高性能水泥砂漿與環氧樹脂砂漿，除了溝蓋底部外，溝蓋另外五面都貼上一層 0.2 cm 的玻璃纖維布，總共有 2 種。三明治薄層單相溝蓋有厚度約 2.6 cm 的樹脂複合材料，此樹脂複合材料外部全面貼上一層 0.2 cm 的玻璃纖維布，有 1 種。格柵板溝蓋是以鍍鋅的鋼材為主，由間距 3 cm 的扁鐵主桿和間距 10cm 的扭轉方鐵橫桿所組成，有 1 種。

2. 溝蓋製造

製造溝蓋的方式和材料特性有關，有工廠製造、材料加工、自行生產和加工三種。前述 7 種替代材料可組成 17 種溝蓋材料，除了塑鋼、電木板、玻璃纖維板、強化玻璃、以及鍍鋅格柵板等 5 種原材料不需要加勁材外，其餘 12 種溝蓋材料都使用鋼筋來強化溝蓋本體。所採用的鋼筋加勁材有許多種型式。經過試驗後，除了工廠製造的獨家鋼筋型式外，本研究採用長向 4 根、短向 6 根的鋼筋加勁。溝蓋的製作過程包括灌模、脫模、完成溝蓋主體、完成貼片製作、溝蓋主體施作粘結層、貼片施作粘結層、貼片和溝蓋主體黏結、與溝蓋施加重物使黏結層密合等步驟。

表 2 雨水下水道清掃孔蓋替代材料 [1,4-8]

替代材料	高性能水泥砂漿	環氧樹脂砂漿	工程塑膠		纖維強化高分子材料	不飽和聚脂複合材料 (BMC)	強化玻璃	鍍鋅格柵板
			塑鋼	電木板				
特性	由水、水泥、矽灰、玻璃纖維和強塑劑所組成的膠體，與含高純度石英砂的砂砂拌合而成的高性能水泥砂漿，具有高強度與容易施工的優點。再配合高拉 (SD42 級) # 4 號竹節鋼筋施作。經過許多的配比設計和試驗後，7 天的平均壓應力在 647 ~ 740 kg/cm ² ，7 天的平均撓曲應力在 92 ~ 155 kg/cm ² 。	利用砂砂均勻混合環氧樹脂漿材而成，硬化後具有優越的物性及機械強度，可承受高壓和較高拉力。樹脂漿材的混合方式，是將環氧樹脂 A 劑 (主劑) 與 B 劑 (硬化劑) 依以 3:1 混合，成為均勻的純環氧樹脂漿體。將純環氧樹脂漿體與兩種砂砂分別混合成環氧樹脂砂漿、環氧樹脂砂漿平均壓應力在 674 ~ 718 kg/cm ² ，平均撓曲應力在 254 ~ 316 kg/cm ² 。	具有較高的機械強度、硬度、剛度，且抗變形性高，膨脹性及耐磨性也較低，其中抗拉強度 385 kg/cm ² 以上，無毒性。塑鋼的撓曲應力約 910 kg/cm ² 。	紙質一樹脂層積材，產品的厚度在 0.4 mm ~ 120 mm，面板可裁切成任意形狀和尺寸。電木板撓曲應力約 1200 ~ 2000 kg/cm ² 。	組成材料以纖維 (玻璃纖維或碳纖維) 和塑膠為主。若要用纖維強化高分子材料做為溝蓋替代材料，有兩種組成方式：纖維織布與纖維板。其中纖維織布是玻璃纖維布；纖維板是玻璃纖維板 (FRP 板)，經耐熱性 (200°C、24 hr) 外觀測試，並無剝落及膨脹現象，且吸水率在 0.01% 以下。	由樹脂、玻璃纖維和添加劑所製成，尺寸安定性高，適用於高精密、厚度變化大的成型物品，可與金屬、玻璃及陶瓷等加勁材料一體成型，具有可染色性。採用不飽和聚脂複合材料為一種機能性不飽和聚脂複合材料，是由 30% 樹脂、15% 玻璃纖維和 55% 添加劑所製成，比重 > 1.8，吸水率 < 0.2%，熱變形溫度在 200°C 以上，收縮率 < 0.05%。	強度約為普通玻璃的 5 倍；可耐溫度之急速變化，如 5 mm 強化玻璃，約可耐攝氏 200 度之溫度變化，產品的厚度在 3 mm ~ 19 mm。因強化玻璃可耐高壓，剛性大，且破壞時能明顯觀察到破壞情形。	由主桿和橫桿所組成的，主桿和橫桿材料都是鋼材，只是外部鍍鋅來防止生鏽。因材質為鋼材，材料强度高，鋼材抗拉強度高達 4660 kg/cm ² 。
* 替代品材料評估選材標準：材料容許撓曲應力要大於 85 kgf/cm ² ，材料容許壓應力要大於 40 kgf/cm ²								

3. 溝蓋試驗

為了驗證所製作的新溝蓋能承受 4 噸的設計載重，將溝蓋試驗分成兩部分：室內試驗和現地試驗。由觀察室內試驗和現地車輛載重試驗果，來確認新溝蓋替代材料的承受設計載重與變形量。

(1) 室內試驗

在實驗室內，將所製作的鑄鐵溝蓋替代品用萬能試驗機以 4 噸的載重進行試驗，並紀錄溝蓋的撓曲變形量。

(2) 戶外試驗

由室內試驗的結果，選擇車輛出入頻繁的交通地點，將具可行性的溝蓋替代品進行現地安裝，以便進行溝蓋現況測試。

(3) 室內試驗結果

將新溝蓋替代材料在實驗室依設計尺寸製成溝蓋，試驗前先稱重，並在溝蓋中央的 10 × 20 cm 面積範圍內施加載重，紀錄溝蓋在 4 噸載重時的撓曲變形量，溝蓋室內試驗結果如表 3 及圖 6。本計畫的溝蓋設計要求是假設輪胎和地面接觸面積為 10 × 20 cm，總載重 4 噸，且小溝蓋與大溝蓋自重分別要大於 8 kgf 和 11 kgf 以上。

表 3 清掃孔蓋溝蓋室內試驗結果

材料種	結構型式	溝蓋材料	製造方式	溝蓋形式	重量 (kg)	最大變形 (mm)	破壞載重 (tons)	結果
1	單相溝蓋	高性能水泥砂漿	自行生產和加工	小溝蓋	16.4	6.38	<u>2.5</u>	載重強度只有 2.3 ~ 3.3 噸，無法滿足設計需求。
				大溝蓋	20.7	6.87	<u>2.3</u>	
				大溝蓋 (CW) ¹	21.5	11.02	<u>3.3</u>	
2	單相溝蓋	環氧樹脂砂漿	自行生產和加工	小溝蓋	14.5	5.74	≥4.0	完全滿足設計要求，自重 14 ~ 17 kgf，變形量約 5 ~ 10 mm。可做為鑄鐵溝蓋的替代品。
				大溝蓋	17.2	9.57	≥4.0	
3	單相溝蓋	塑鋼 (實心)	材料加工	小溝蓋	8.8	9.30	≥4.0	可滿足溝蓋設計要求，自重約 8 ~ 12 kgf，小溝蓋撓度變形量約 9 ~ 10 mm。可做為鑄鐵溝蓋的替代品。
電木板 (實心)		小溝蓋		8.4	5.50	≥4.0	可滿足設計要求，自重和塑鋼相似約 8 ~ 12 kgf，但電木板撓度變形量比塑鋼小，約為 5 mm。可做為鑄鐵溝蓋的替代品。	
玻璃纖維板 (實心)		小溝蓋		11.1	2.55	≥4.0	完全可以滿足設計要求，自 11 ~ 15 kgf。小溝蓋的撓度變形比鑄鐵溝蓋 (5.0 mm) 小，約為 2.5 mm，試驗時在溝蓋拉力側並無明顯裂縫，可以做為鑄鐵溝蓋的替代品。	
不飽和聚脂複合材料		工廠製造		大溝蓋 ²	15.5	13.50	<u>5.3</u>	經試驗所定製 3 × 46 × 60 cm 溝蓋，其中有 10 個排水孔，可以滿足設計要求。大溝蓋自重約 19.6 kgf，撓度變形為 3.6 mm，比鑄鐵溝蓋 (5.0 mm) 還要小，可以做為鑄鐵溝蓋的替代品。
強化玻璃 (實心)	材料加工	大溝蓋	19.6	3.58	≥4.0			
7	單相溝蓋	強化玻璃 (實心)	材料加工	小溝蓋 ³	15.8	4.94	3.9	小溝蓋的自重約 15 kgf，撓度變形和鑄鐵溝蓋相當，約為 5 mm；抗彎強度略小於 4 噸設計強度，不符替代材料原則。
8	單面貼片的層積溝蓋	高性能水泥砂漿 + 塑鋼板	自行生產和加工	小溝蓋	15.0	11.94	3.2	載重強度只有 3.2 噸，仍無法滿足設計要求。
高性能水泥砂漿 + 電木板		小溝蓋		15.0	7.78	≥4.0	主要原理和塑鋼貼片相同，自重約 15 ~ 20 kgf，撓度變形量約在 6 ~ 8 mm，電木板貼片可以強化水泥砂漿，能滿足強度設計要求，可以做為鑄鐵溝蓋的替代品。	
環氧樹脂砂漿 + 塑鋼板		大溝蓋		20.1	6.46	≥4.0		
環氧樹脂砂漿 + 電木板		(備註 4)		—	—	—	樹脂黏結層無法有效發揮作用，故抗彎強度低。	
11	單面貼片的層積溝蓋	環氧樹脂砂漿 + 電木板	自行生產和加工	小溝蓋	13.6	6.18	≥4.0	自重約在 13.5 ~ 17.5 kgf，撓度變形量約在 6 ~ 7 mm，小溝蓋抗彎強度能滿足溝蓋設計要求，但大溝蓋強度，稍有不足。
12	雙面貼片的層積溝蓋	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維板	自行生產和加工	大溝蓋	17.5	6.00	3.4	
13	雙面貼片的層積溝蓋	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維板	自行生產和加工	小溝蓋	16.6	3.69	≥4.0	玻璃纖維板貼片比前兩項還好，自重約在 17 kgf ~ 20 kgf，撓度變形量約 4 ~ 5 mm，且大、小溝蓋抗彎強度都能滿足溝蓋設計要求，可以做為鑄鐵溝蓋的替代品。
14	五面薄層的單相溝蓋	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維布	自行生產和加工	大溝蓋	19.9	5.07	≥4.0	
15	五面薄層的單相溝蓋	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維布	自行生產和加工	小溝蓋	15.1	5.52	≥4.0	自重約在 15 ~ 20 kgf，撓度變形量約 5 ~ 6 mm，且大、小溝蓋抗彎強度都能滿足溝蓋設計要求，因此可以做為鑄鐵溝蓋的替代品。
16	三明治薄層單相溝蓋	樹脂複合材料 + 玻璃纖維布	工廠製造	大溝蓋	19.9	5.05	≥4.0	
17	格柵板溝蓋	鍍鋅鋼材 (格柵板)	工廠製造	小溝蓋	16.4	13.96	<u>2.6</u>	自重約 16.5 ~ 20.5 kgf，撓度變形量約 10 ~ 14 mm，不管大、小溝蓋的載重強度都只有 2.6 噸，不符替代材料原則。
				大溝蓋	20.3	10.56	<u>2.6</u>	
16	三明治薄層單相溝蓋	樹脂複合材料 + 玻璃纖維布	工廠製造	小溝蓋	14.6	13.82	≥4.0	自重約 14 ~ 18 kgf，撓度變形量約 14 ~ 17 mm，且大、小溝蓋的載重強度都滿足設計溝蓋的強度。因環氧樹脂砂漿已滿足強度要求，但是經過五面玻璃纖維貼布的強化，反而增加溝蓋的撓曲變形量。
				大溝蓋	18.0	16.78	≥4.0	
16	三明治薄層單相溝蓋	樹脂複合材料 + 玻璃纖維布	工廠製造	小溝蓋 ⁵	14.7	11.74	3.5	經試驗後的強度介於 2.5 噸 ~ 3.5 噸，仍小於設計要求。不符合替代材料原則。
				小溝蓋 (6 孔)	14.7	5.43	2.7	
				大溝蓋 (8 孔)	18.6	16.52	2.5	
				小溝蓋	13.7	15.51	3.2	
17	格柵板溝蓋	鍍鋅鋼材 (格柵板)	工廠製造	大溝蓋	17.2	12.86	2.8	自重約 10 kgf，撓曲變形約 8.85 mm，抗彎強度符合設計要求；大鍍鋅格柵板溝蓋的自重約 13 kgf，撓曲變形約 12.7 mm，抗彎強度亦滿足設計要求。惟鍍鋅格柵板溝蓋施加 4 噸載重後發現，鍍鋅格柵板會有很明顯的塑性變形。
				小溝蓋	10.4	11.2	≥4.0	
				小溝蓋	10.3	6.5	≥4.0	
				大溝蓋	13.0	12.3	≥4.0	
17	格柵板溝蓋	鍍鋅鋼材 (格柵板)	工廠製造	大溝蓋	12.9	13.1	≥4.0	
				小溝蓋	12.9	13.1	≥4.0	

備註：1. 採用 CW 級砂砂。2. 尺寸 4 × 40 × 60 cm，排水孔 2 × 10 孔。3. 未設排水孔。4. 塑鋼板和環氧樹脂砂漿不容易黏結成一體。5. 樹脂複合材料+玻璃纖維布，排水孔位置與本計畫設計尺寸不同。

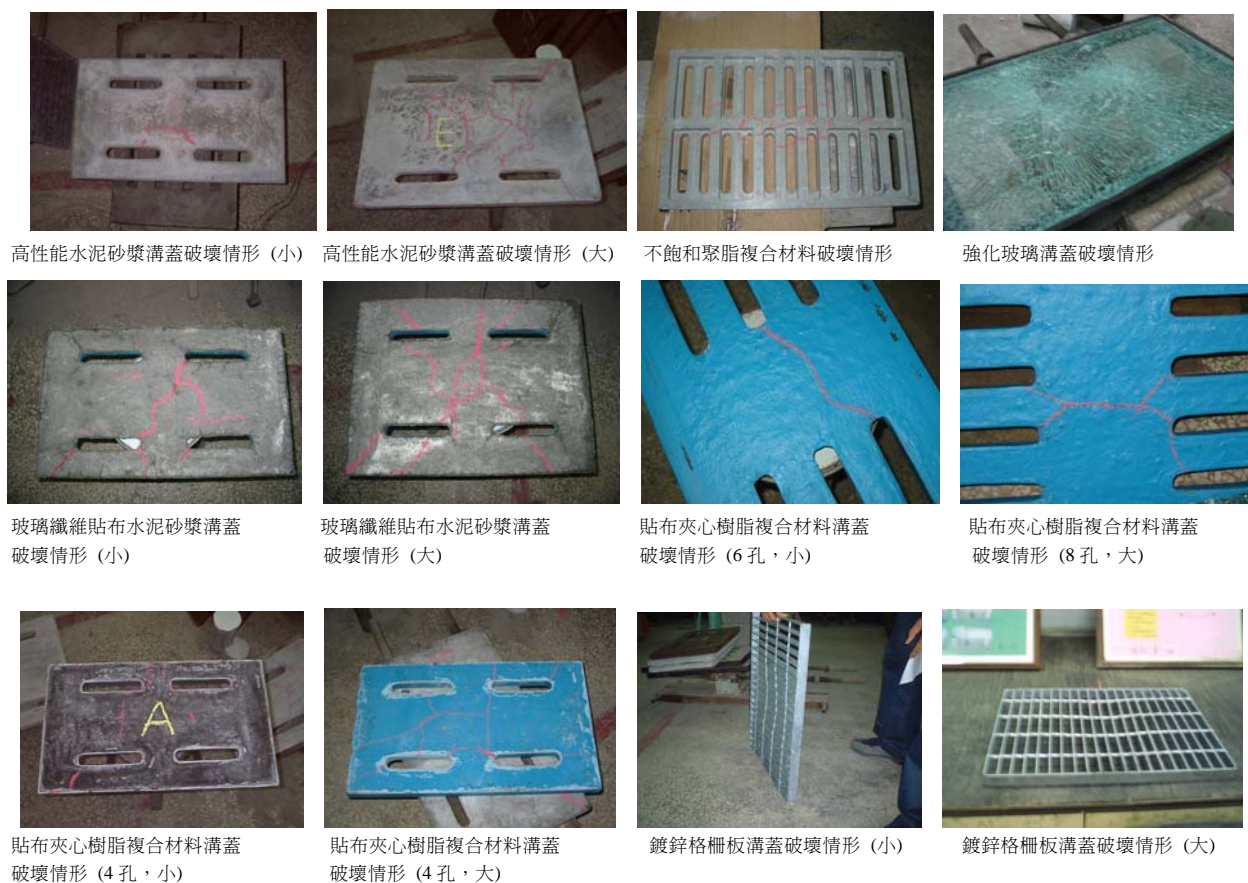


圖 6 雨水下水道清掃孔蓋替代材料室內試驗結果照片

(4) 戶外試驗結果

溝蓋除了室內試驗來驗證溝蓋性質外，另外為了模擬溝蓋實際的車輛載重狀況，還進行戶外現地試驗，以確認新溝蓋替代材料的承載能力。目前高雄市市區的水溝因用途不同而有很多種尺寸，本計畫所使用的雨水下水道清掃孔蓋寬度有 36 cm 和 46 cm 兩種尺寸，厚度和長度都是 3 cm × 60 cm。依據溝蓋室內試驗結果 (表 3)，和配合戶外溝蓋的尺寸，篩選出小溝蓋 13 種與大溝蓋 11 種進行戶外現場試驗，表 4 為溝蓋戶外放置地點和種類，溝蓋的放置位置和種類是採隨機取樣安裝。將溝蓋放置在戶外現場後，進行長期的車輛實際載重試驗與觀察，溝蓋戶外觀察紀錄和現況在表 4 及圖 7。在 24 個溝蓋替代品經車輛輾壓後，到目前為止，其中有 6 個溝蓋發現瑕疵。

5.4 溝蓋替代品整體評估

1. 溝蓋替代品材料

從最初的溝蓋應力和變形的電腦模擬、材料與溝蓋性質分析、到材料與溝蓋試驗，初選出 17 種最有可能的新溝蓋替代材料及 6 種溝蓋的結構型式，並將其製成 32 種大、小不同的溝蓋，進行室內試驗 (詳表 3)，並選出 24 種溝蓋做戶外現地試驗與觀察 (詳表 4)。

經比較室內試驗、戶外試驗和材料的組成特性後，評估各種溝蓋替代材料性質，結果如表 5，表中的評估等級越

高，表示越有可能取代鑄鐵溝蓋，如等級 1 最好，等級 5 最差，等級 3 表示仍有潛力成為鑄鐵溝蓋的替代品。

以上所評估的鑄鐵溝蓋替代品，除了鍍鋅格柵板可直接變賣轉售外，其餘溝蓋的回收轉賣的價值偏低，不具轉售的直接商業價值，故可有效降低溝蓋的失竊率。

2. 溝蓋成本

對所有可能、或潛在成為鑄鐵溝蓋替代品進行成本分析，提供除了設計要求外的另一種評估參考。下列大、小溝蓋的成本分析為粗估值，僅供參考，若材料成分不同或變動成本改變，溝蓋成本也會隨著變動，針對所選用的鑄鐵溝蓋替代材料特性，比較溝蓋設計要求和溝蓋價格後，綜合評估出溝蓋替代材料的優劣如表 6：

- (1) 優：有 4 種鑄鐵溝蓋替代品，包括不飽和聚脂複合材料、環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維布、環氧樹脂砂漿、高性能水泥砂漿 + 電木板。
- (2) 佳：有 3 種鑄鐵溝蓋替代品，包括電木板 (實心)、高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維板、鍍鋅格柵板。
- (3) 普通：有 7 種鑄鐵溝蓋替代品，包括樹脂複合材料 + 玻璃纖維布、環氧樹脂砂漿 + 電木板、高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維布、環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維板、玻璃纖維板 (實心)、塑鋼 (實心)、高性能水泥砂漿。

表 4 清掃孔溝蓋戶外放置地點和種類及溝蓋戶外觀察紀錄

項次	放置地點	溝蓋種類	溝蓋編號	溝蓋重量(kgf)	安裝日期(11/15)	第一次檢視(11/18)	第二次檢視(11/20)	第三次檢視(11/23)	第四次檢視(11/25)	第五次檢視(11/30)
1	大順二路與建興路 台塑加油站	玻璃纖維板溝蓋(小)	水 5	11.1	良好	良好	良好	良好	良好	良好
2		電木板溝蓋(小)	水 6	8.3	良好	良好	良好	良好	良好	良好
3		塑鋼溝蓋(小)	水 7	8.8	良好	良好	良好	良好	良好	良好
4		樹脂複合材料+玻璃纖維布溝蓋(小)	水 8	13.8	良好	良好	良好	良好	良好	良好
5		樹脂複合材料+玻璃纖維布溝蓋(大)	水 9	17.2	良好	良好	底部裂縫	底部裂縫	底部裂縫	底部裂縫*
6		環氧樹脂砂漿+玻璃纖維布溝蓋(小)	水 11	14.6	良好	底部裂痕	底部裂痕	底部裂痕	底部裂痕	底部裂痕
7		環氧樹脂砂漿+玻璃纖維布溝蓋(大)	水 12	18.1	良好	良好	良好	良好	良好	良好
8		高性能水泥砂漿+玻璃纖維布溝蓋(小)	水 13	16.5	良好	2 mm 變形	2 mm 變形	3 mm 變形	3 mm 變形, 邊緣剝落	3 mm 變形, 邊緣剝落
9		環氧樹脂砂漿+玻璃纖維板溝蓋(大)	水 14	20.0	良好	良好	良好	良好	良好	良好
10		環氧樹脂砂漿+玻璃纖維板溝蓋(小)	水 15	15.1	良好	良好	良好	良好	良好	良好
11		高性能水泥砂漿+玻璃纖維板溝蓋(小)	水 17	16.6	良好	良好	良好	良好	良好	良好
12		高性能水泥砂漿+電木板溝蓋(大)	水 18	20.1	良好	良好	良好	良好	良好	良好
13		高性能水泥砂漿+電木板溝蓋(小)	水 19	15.1	良好	良好	良好	良好	良好	良好
14		環氧樹脂砂漿+電木板溝蓋(大)	水 20	17.4	良好	良好	良好	貼片有裂縫(黏結層空心)	貼片有裂縫(黏結層空心)	貼片有裂縫(黏結層空心)
15		環氧樹脂砂漿+電木板溝蓋(小)	水 21	13.6	良好	良好	良好	良好	良好	外觀良好
16		高性能水泥砂漿+塑鋼板溝蓋(小)	水 22	15.1	良好	良好(黏結層局部空心)	塑鋼板脫落	-	-	-
17		不飽和聚脂複合材料(大)	水 23	19.6	良好*	良好*	良好*	良好*	* *	* *
18	大順二路與建興路 好樂迪 KTV	環氧樹脂砂漿溝蓋(大)	水 1	17.0	良好	良好	良好	良好	良好	良好
19		高性能水泥砂漿溝蓋(大)	水 3	20.6	良好	良好	良好	良好	良好	良好
20		高性能水泥砂漿+玻璃纖維布溝蓋(大)	水 10	20.3	良好	良好	良好	良好	良好	良好
21		高性能水泥砂漿+玻璃纖維板溝蓋(大)	水 16	19.9	良好	良好	良好	良好	良好	良好
22		鍍鋅格柵板溝蓋(大)	水 24	13.1	良好	5 mm 變形	5 mm 變形	6 mm 變形	6 mm 變形	6 mm 變形
23	大昌二路與春陽街 大昌加油站	環氧樹脂砂漿溝蓋(小)	水 2	14.4	良好	良好	良好	良好	良好	良好
24	大昌加油站	高性能水泥砂漿溝蓋(小)	水 4	16.3	良好	良好	良好	良好	良好	良好

註：*水 9 溝蓋在正中央處產生一條明顯裂縫且已破壞，在 2004/12/16 由水 23 溝蓋取代；因此，水 23 的安裝日期為 12/16，第一次檢視日期為 12/23，第二次檢視日期為 12/27，第五次檢視日期為 2007/5/30。

表 5 清掃孔溝蓋替代材料性質評估

項次	溝蓋組成材料	室內試驗 ¹		戶外試驗 ¹		綜合評估(等級) ²
		小溝蓋	大溝蓋	小溝蓋	大溝蓋	
1	高性能水泥砂漿	X	X	○	○	3
2	環氧樹脂砂漿	○	○	○	○	1
3	塑鋼(實心)	○	○	○	-	1
4	電木板(實心)	○	○	○	-	1~2
5	玻璃纖維板(實心)	○	○	○	-	1
6	不飽和聚脂複合材料	○	○	-	○	1
7	強化玻璃(實心)	△	-	-	-	4~5
8	高性能水泥砂漿 + 塑鋼板	X	X	X	-	4~5
9	高性能水泥砂漿 + 電木板	○	○	○	○	1
10	環氧樹脂砂漿 + 塑鋼板	X	X	-	-	4~5
11	環氧樹脂砂漿 + 電木板	○	△	○	△	1~2
12	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維板	○	○	○	○	1
13	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維板	○	○	○	○	1
14	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維布	X	X	△	○	2~3
15	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維布	○	○	○	○	2
16	樹脂複合材料 + 玻璃纖維布	X	X	○	X	2~3
17	鍍鋅鋼材(格柵板)	○	△	○	△	2

備註：1. ○ = 符合溝蓋設計要求。△ = 勉強符合設計要求。X = 不符合設計要求。2. 評估等級越高，如等級 1，表示取代鑄鐵溝蓋的可能性越高。



水 1 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿溝蓋 (大)



水 2 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿溝蓋 (小)



水 3 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿溝蓋 (大)



水 4 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿溝蓋 (小)



水 5 第五次檢查-正面 (11.30)
玻璃纖維板溝蓋 (小)



水 6 第五次檢查-正面 (11.30)
電木板溝蓋 (小)



水 7 第五次檢查-正面 (11.30)
塑鋼溝蓋 (小)



水 8 第五次檢查-正面 (11.30)
樹脂複合材料+玻璃纖維布溝蓋 (小)



水 9 第六次檢查-正面 (12.16)
樹脂複合材料+玻璃纖維布溝蓋 (大)



水 10 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+玻璃纖維布溝蓋 (大)



水 11 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+玻璃纖維布溝蓋 (大)



水 12 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+玻璃纖維布溝蓋 (大)



水 13 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+玻璃纖維布溝蓋 (小)



水 14 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+玻璃纖維板溝蓋 (大)



水 15 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+玻璃纖維板溝蓋 (小)



水 16 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+玻璃纖維板溝蓋 (大)



水 17 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+玻璃纖維板溝蓋 (小)



水 18 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+電木板溝蓋 (大)



水 19 第五次檢查-正面 (11.30)
高性能水泥砂漿+電木板溝蓋 (小)



水 20 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+電木板溝蓋 (大)



水 21 第五次檢查-正面 (11.30)
環氧樹脂砂漿+電木板溝蓋 (小)



水 22 第二次檢查-正面 (11.20)
高性能水泥砂漿+塑鋼板溝蓋 (小)



水 23 第二次檢查-正面 (12.27)
不飽和聚脂複合材料 (大)



水 24 鍍鋅格柵板第五次檢查 (11.30)
鍍鋅格柵板溝蓋 (大)

圖 7 雨水下水道清掃孔蓋替代材料戶外試驗照片

表 6 清掃孔溝蓋替代材料綜合評估

項次	溝蓋組成材料	材料性質 評估等級	溝蓋價格 (元/塊)		綜合評估*
			小溝蓋	大溝蓋	
1	高性能水泥砂漿	3	725	850	3
2	環氧樹脂砂漿	1	1157	1329	1
3	塑鋼 (實心)	1	2900	3890	3
4	電木板 (實心)	1~2	1460	1870	2
5	玻璃纖維板 (實心)	1	2500	3200	3
6	不飽和聚脂複合材料	1	980	1050	1
7	強化玻璃 (實心)	4~5	2940	-	5
8	高性能水泥砂漿 + 塑鋼板	4~5	1514	-	4
9	高性能水泥砂漿 + 電木板	1	1087	1263	1
10	環氧樹脂砂漿 + 塑鋼板	4~5	-	-	5
11	環氧樹脂砂漿 + 電木板	1~2	1420	1662	3
12	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維板	1	1414	1710	2
13	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維板	1	1748	2083	3
14	高性能水泥砂漿 + 玻璃纖維布	2~3	889	1000	3
15	環氧樹脂砂漿 + 玻璃纖維布	2	1228	1372	1
16	樹脂複合材料 + 玻璃纖維布	2~3	943	1016	3
17	鍍鋅鋼材 (格柵板)	2	500	610	2

六、結語

6.1 結論

- (1) 本研究建議之清掃孔蓋型式可減低國內以往雨水側溝清掃孔蓋之缺失包括型式太多不易管理維護、強度不足和易損壞等問題。
- (2) 下水道人孔蓋經電腦結構分析之結果可知，清掃孔蓋建議溝蓋排水孔的數目以 4 孔的變形量和彎曲拉應力的組合較佳，以總載重 4 噸施加在清掃孔蓋的溝蓋上，若要避免溝蓋產生破壞的材料容許壓應力要大於 40 kgf/cm² 以上，且材料容許拉應力也要大於 85 kgf/cm²，才能延長清掃孔蓋之壽命。
- (3) 為了找尋鑄鐵溝蓋的替代品，降低溝蓋的失竊率，從知道溝蓋的尺寸和設計需求，到進行溝蓋的力學模擬，可清楚了解溝蓋受壓時的行為，進而選出 17 種溝蓋替代材料，經過室內試驗、戶外現地試驗與成本分析後，可得到下列結論：
 - a. 雨水下水道鑄鐵清掃孔蓋的替代品要考慮溝蓋重量，小溝蓋和大溝蓋自重設計分別要大於 8 kgf 和 11 kgf 以上。
 - b. 鑄鐵溝蓋替代品的承載力要能負荷車輛單輪 4 噸載重，由室內試驗和觀察戶外現地結果得知，確認 10 cm × 20 cm 的單輪施壓面積是合理的。
 - c. 因溝蓋的厚度只有 3 公分，鑄鐵溝蓋替代材料的容許拉應力最好要 85 kgf/cm² 以上。
 - d. 由電腦模擬和試驗觀察得知，溝蓋破壞位置大都集中在排水孔往溝蓋正中央的區域。
 - e. 經過溝蓋替代材料性質與成本比較，有四種材料所製成的溝蓋可以做為鑄鐵溝蓋替代品最佳：不飽和聚脂複合材料溝蓋、環氧樹脂砂漿溝蓋、纖維貼布

包裹環氧樹脂砂漿溝蓋、電木板貼片水泥砂漿溝蓋；而長期使用時為避免界面黏貼問題，最好使用一體成型的溝蓋。

- f. 在所有可能用來取代鑄鐵溝蓋材料中，利用不飽和聚脂複合材料 (BMC) 和加勁鋼筋一體成型的溝蓋，應該是最佳選擇，因為其抗彎強度較好，且小溝蓋價格 980 元/塊與大溝蓋價格 1050 元/塊比鑄鐵溝蓋的價格還要低。

6.2 建議

- (1) 一般市區的清掃孔溝蓋種類太多，不同部門所使用的溝蓋尺寸也不一樣，建議應該統一成幾種，如分成輕型溝蓋、中型溝蓋和重型溝蓋 3 種。
- (2) 建議清掃孔溝蓋試驗的載重承載面積，應以符合實際狀況的 10 cm × 20 cm 面積做為強度驗收的依據。
- (3) 為取代現有的鑄鐵清掃孔溝蓋，考慮設計強度和價格因素，建議採用不飽和聚脂複合材料、環氧樹脂砂漿溝蓋、纖維貼布包裹環氧樹脂砂漿溝蓋、電木板貼片水泥砂漿溝蓋等四種。長期而言，建議採用一體成型的溝蓋產品，以免溝蓋因組合物的界面強度不足而產生破壞。
- (4) 建議選擇幾條示範道路，將評估等級為「優」或「佳」的溝蓋替代材料，進行長期觀察。
- (5) 因所評估的溝蓋替代材料中，有些溝蓋的顏色可依需求更改，建議可用不同顏色的溝蓋來區分行政區，或觀光旅遊景點。

參考文獻

1. 潘煌錕等，「高雄市雨水下水道鑄鐵清掃孔蓋替代材料評估計畫」，國立高雄應用科技大學，(2004)。
2. 高雄市政府下水道工程處提供水溝蓋使用資料。
3. Computers and Structures Inc.，「SAP 2000 Three

- Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design Structures」。
4. William, F.S., 許煙明等譯, 「材料科學與工程」, 高立圖書 (1994)。
 5. 中國土木水利工程學會, 「混凝土工程設計規範與解說」, (2000)。
 6. 劉顯光、許明發, 「複合材料」, 全威圖書有限公司 (2001)。
 7. 黃兆龍, 「混凝土性質與行為」, 詹氏書局 (1997)。
 8. 顧宜, 「複合材料」, 新文京開發出版股份有限公司 (2002)。

95年12月27日	收稿
96年10月30日	修改
96年11月15日	接受