

FRP 格柵版耐紫外線抗曲特性研究

謝啟萬¹ 李文雄²

¹ 國立屏東科技大學土木工程系教授

² 國立屏東科技大學土木工程系碩士

摘要

本研究選擇國內生產之玻璃纖維(FRP)格柵版(尺寸：247×487×40mm)進行初始及曝曬後之三點抗曲強度及模擬車輛輪胎載重試驗，探討 FRP 格柵版之極限強度與撓度相互關係與變化情形。研究主要針對 FRP 格柵版進行曝曬試驗，曝曬期程為 1、2、4、6、8、10、12 個月，試體採用三點抗曲試驗與模擬車輛輪胎載重試驗兩種方式進行測試，試驗最大載重為 30kN，反覆載壓 3 次後再壓至試體破壞，並將試驗結果進行比較分析。由試驗結果比較得到極限強度折減係數分別為 0.91 及 0.88（二者相差 3.29%，顯示強度變異性不大）；除第 1 個月有明顯強度降低外，其餘月份有強度緩慢遞減情形發生但衰退變化率不大，惟其所得極限強度均超出預設施力最大載重 30kN 以上。極限強度所對應之撓度變化，由三點抗曲試驗與反覆載重模擬車輛輪胎載重試驗中顯示，經曝曬一段時日後，格柵版強度及撓度會隨日照時間增長而漸減。

三點抗曲試驗對 FRP 格柵版強度試驗能滿足實際需求，無須另增加反覆載重試驗檢測 FRP 格柵版。一年期曝曬結果 FRP 格柵版強度約降低 10%，格柵版長期行為仍繼續觀察中，待完成後續試驗後依試驗結果期望提出可行參考標準供國內業界及政府單位使用。

關鍵字：FRP 格柵版、紫外線、三點抗曲試驗、曝曬試驗

一、前言

FRP 格柵版為高分子合成材料之一種，應用 FRP 格柵版替代傳統鑄鐵蓋板已是必然之趨勢，目前在設計施工考量上，一般均以格柵版 10kN 荷重之撓度及 6mm 撓度之荷重為管制指標，對於格柵版受紫外線影響其抗曲強度以及對應之撓度伸長量變化，未有明確之研究指標。因此對使用日漸增多之側溝 FRP 格柵版，研究其三點抗曲試驗及模擬現地車輛輪胎載重試驗與紫外線曝曬影響抗曲強度之間相互關係，即為當前重要課題。

1.1 研究範圍

國內目前對於 FRP 格柵版長期應用受紫外線曝曬對於強度影響變化資料還未健全，因此將 FRP 格柵版依 ASTM D5970 標準執行標竿曝曬，以評估紫外線對於 FRP 格柵版工程特性之影響，曝曬照射過之試片執行三點抗曲試驗及模擬

車輛輪胎載重試驗，將所得之極限強度及撓度變化做分析比較，以作為抗曲特性研究之參考。本研究室外曝曬照射期程為 12 個月。

1.2 規範介紹

FRP 格柵版相關物理性質試驗之規範包括抗曲試驗及曝曬試驗如表 1 所示。為了解 FRP 格柵版於室外曝曬後，其時間長短是否會造成格柵版強度有所影響，於室外曝曬並取試體第 1、2、4、6、8 個月試片，做三點抗曲及模擬輪胎載重試驗。（因 FRP 格柵版曝曬試驗仍在進行中，本文僅提供曝曬至 8 個月之數據以供參考）

表 1 FRP 格柵版物理試驗規範種類[林千貴，2002，地工格網抗紫外線特性]

試驗名稱	試驗規範	試驗方法	規範年份
三點抗曲試驗	CNS12780	Method of test for Flexural Properties of Glass Fiber Reinforced Plastics	1980
室外曝曬試驗	ASTMD5790	Deterioration of Geotextiles from Outdoor Exposure	1996

1.3 FRP 格柵版使用近況

現代下水道建設以往政府機關常採用「鋼」製品作為側溝蓋板，但因主要材質為「鋼」，除容易鏽蝕且重量相當重，使得工程完工之清理、維護及保養工作不易落實外並容易造成水溝阻塞。以 FRP 格柵版作為側溝蓋板，除了重量輕之外，在製程方面採用模塑編織一體成型製造，平整度佳且密合度高，色澤均勻據整體性。FRP 材質為良好的絕緣體，施工簡便輕巧容易安裝的特性，可提高施工品質。就長期實用性而言，FRP 材質耐腐蝕、韌性強又不易與水產生化學變化，具長期使用效能亦可取代一般其他材質。

使用 FRP 格柵版優點彙整如下：

1. 耐衝擊不易變形：在製程方面由於採用模塑編織一體成型法製造，比傳統手工組裝製造更堅固耐衝擊不易變形。
2. 降低失竊率：鑄鐵鋼蓋等金屬材料在施工及使用期間均極易失竊遭變賣，常造成施工、使用單位極大困擾，使用 FRP 格柵版則無此問題發生。
3. 噪音小、施工平整度佳：FRP 格柵版為一體成型製品，框蓋平整度佳且密合度高，可避免因受壓而產生噪音，引發民怨。
4. 防止水環境污染：鍍鋅格柵版等金屬材料在製造過程如鍍鋅等加工程序中所產生的廢水對水資源環境隻污染甚鉅；在現地易與酸雨產生化學變化，間接造成河川污染，FRP 格柵版則無上述疑慮。
5. 施工簡便極容易維修：FRP 格柵版材質為良好的絕緣體，可免除漏電的危險，且施工簡便節省工時，材質輕巧容易安裝使用可大大提升施工品質。
6. 增長使用年限，節省經費：FRP 格柵版材質耐腐蝕性高，韌性強又不易與水產生化學反應，就長期使用效能而言，非一般金屬製品所能取代；其單價與傳統蓋版比較約低 2~3 倍，間接達到節省工程成本的目的。

若以目前市場上單價做比較，FRP 格柵版具有相對競爭優勢。詳述如下：

1. 清掃孔熱浸鍍鋅格柵蓋及安裝：(預算:1800 元)，實際購買:1400 元。
2. 預鑄鋼蓋及安裝：(預算:1700 元)，實際購買:1300 元。
3. FRP 格柵版：(預算:800 元)，實際:550 元。

1.4 國內其他替代材料研究

目前國內在找尋雨水下水道排水溝鑄鐵清掃孔蓋的相關替代產品，開發具有排水溝清掃孔蓋功能的材料，提供給主管機關作為採用與使用的參考。期望這些新材料具有較低的成本和回收變賣後價值低的優點以降低失竊率；其強度並能滿足承載路面車輛載重的使用目的，未來能全面取代現有之鑄鐵溝蓋。以高雄市政府下水道工程處為降低溝蓋失竊率以及確保人車安全，利用電腦模擬溝蓋材料的力學試驗結果得知，新溝蓋材料若要取代原有鑄鐵溝蓋首先要考慮材料的強度，如容許拉力強度；再來需考慮溝蓋回收的再利用價值以便降低成本減少失竊率。經比較相關理論研究、實驗報告與實務經驗後，市府下工處因而建議將溝蓋分成輕型、中型合重型溝蓋 3 種。且為取代現有的鑄鐵蓋板，考慮設計強度及價格因素，建議採用評選為優等之「揉團成型溝蓋」、「環氧樹脂砂漿溝蓋」、「玻璃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 4 種。且就長期使用而言，建議採用一體成型製品，避免因溝蓋組合物的界面強度不足而產生破壞。另從高雄市政府下工處辦理後巷排水工程發包案件中，可得知 FRP 玻璃纖維溝蓋已成為首選材料之一。

二、研究儀器及方法

一般 6 公尺以下道路以小汽車、機車及行人出入居多，大型載重車輛甚少進入，排水溝以排放家庭雨污水為主。由於 FRP 格柵版均使用戶外後巷排水處，長期接觸日照充足，相對紫外線對於蓋版影響甚大，到達地面的太陽光可分為紫外線、紅外線及可見光，陽光的波長與能量有關，波長越短能量越大，對聚合物的破壞越明顯。大部分的塑膠製品會受紫外線照射而變質，因此對 FRP 格柵版進行基本力學特性試驗及抗紫外線強度相關試驗顯現重要。由於格柵版的纖維含量會影響蓋版的設計厚度以及形狀，紫外線照射更會影響其強度大小，因此必須加以重視。而依外力施加於試體上型式不同，產生不同力學特性。FRP 格柵版於基本力學特性所進行之試驗包括纖維含量、抗拉試驗、抗曲試驗及室外曝曬試驗此四種特性分析，本文僅對 FRP 格柵版之三點抗曲試驗做研究。

2.1 FRP 抗曲試驗

FRP 格柵版必須有良好的抗壓強度才能確保使用安全及品質，本節抗曲試驗依據 CNS 12780 規範，將戶外曝曬後試片，分別取第 1、2、4、6、8 個月之試體，做三點抗曲及車輛輪胎載重試驗，求出其抗曲強度，再與初始(對照組)試體強度做比較。量測試體寬度及高度以精度 0.01mm 電子式游標卡尺量測，試片長度精確至 1mm。試片完成規定之養護後，將 FRP 格柵版放置在支持工模上如下表 2 所示，並使試片放置於承壓版之中心，設定載壓試驗速度後，啟動試

驗機壓至試體破壞，記錄其極限強度與撓度並計算其結果。三點抗曲試驗速度可由下列公式計算得知：

$$V = SrL^2/6h$$

V：試驗速度 (mm/min) Sr：變形速度 (min)

L：支點間距 (mm) h：試片高度 (mm)

備註：變形速度 (Sr) 遞常採用 0.01

表 2 壓頭及支持工模支點半徑—[中國國家標準，1999]

試驗法	試片高度 h	壓頭半徑 r1	支持工模支點半徑 r2
三點抗曲試驗	1<h<4	5±0.1	2±0.2
	4<h<50	1.5h(最大)	1.5h(最大)

2.2 室外曝曬試驗

FRP 格柵版室外曝曬試驗依據 ASTM D5970 之規定，試驗需在一年之中紫外線最強的時間開始進行為期 18 個月的室外曝曬試驗（本試驗期程為 12 個月），並於曝曬當日起算於第 1、2、4、6、8、10、12 個月將試體取下後進行抗曲特性試驗，記錄其強度並計算其衰退率。

2.2.1 FRP 格柵版模擬車輛輪胎載重試驗

考量 FRP 格柵版因實際車輛輪胎施加载重於 FRP 格柵版對強度的影響，設計出模擬現地輪胎載重形式之模具並將曝曬後格柵版進行三點抗曲試驗及模擬現地車輛輪胎接觸格柵版影響狀況。

2.2.2 模擬車輛輪胎載重形式之三點抗曲試驗

為得知現地實際車輛輪胎施加载重於 FRP 格柵版接觸面積強度的影響，所進行模擬下列圓形及矩形(平行、垂直)二種輪胎載重形式：

- (1)圓形載重：圓形為各項試驗中經常採用模式，設定車輛輪胎行進中與格柵版面接觸為圓形，接觸直徑為 15 公分，因此本項模擬試驗圓形模具採用直徑 D=15cm 行抗曲測試。
- (2)矩形載重（平行）：模擬車輪胎面與格柵版面平行（橫向）接觸，面積經量測其寬度約為 12 公分、長 20 公分，因此本試驗模擬車輪胎載重形式採矩形（橫向）模具，W×L=12cm×20cm 行抗曲測試。
- (3)矩形載重（垂直）：車輛輪胎面與格柵版面垂直（縱向）接觸，面積經量測其寬度約為 20 公分，因此本試驗模擬車輪胎載重形式採矩形（縱向）模具。採 W×L=20cm×12 cm 進行抗曲測試。

依上述各壓頭進行 FRP 格柵版第 1、2、4、6、8 個月的試體抗曲試驗，依照模擬輪胎垂直(縱向)、平行(橫向)、圓形方式順序反覆三次進行抗曲試驗，記錄其極限強度與應變的關係並做分析比較相互關係。（註：本反覆實驗採用三次載壓測試，係新設實驗嘗試考量）。

三、試驗結果與分析

本研究主要是測試格柵版的抗曲強度及其評估機制(試驗)，研究模式包括(1)對照組試驗：在進行室外進行曝曬試驗前，先對格柵版進行三點抗曲試驗(2)室外曝曬試驗：將格柵版曝曬後以模擬車輛輪胎載重形式和初始(對照組)的三點抗曲試驗做比較。

3.1 試驗結果

FRP 格柵版抗曲特性試驗主要分為兩部分，一為初始(對照組)格柵版試體之三點抗曲試驗及模擬車輛輪胎載重試驗，一為曝曬後格柵版取曝曬第 1、2、4、6、8 個月試體進行三點抗曲試驗及模擬車輛輪胎載重試驗。就試驗結果進行相互間之極限強度變化及對之撓度(伸長量)的關係做討論，並考慮其衰退影響情形。

3.1.1 三點抗曲試驗(對照組)

本組試驗計測試 4 組試體，測試結果得到平均重量為 2470g、平均極限強度為 38.94kN、平均撓度為 11.57mm，以統計學 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2470 ± 17.72 、極限強度 38.94 ± 1.68 、撓度 11.57 ± 2.36 之結果顯示試體測試數值均在合理範圍內。

3.1.2 模擬車輛輪胎載重試驗

為得知現地實際車輛輪胎施加载重於 FRP 格柵版強度的影響，並與三點抗曲試驗所得之數據比較，了解三點抗曲試驗於現地之數據可靠性依據，進行模擬車輛三種輪胎載重形式進行抗曲試驗。

- (1)模擬縱向輪載抗曲試驗：矩形載重模具與格柵版方向垂直，模擬汽車輪胎縱向行駛經過格柵版而進行三點抗曲試驗。
- (2)模擬橫向輪載抗曲試驗：矩形載重模具與格柵版方向平行，模擬汽車輪胎橫向行駛經過格柵版，而進行三點抗曲試驗。
- (3)模擬圓形輪載抗曲試驗：使用圓型載重模具進行三點抗曲試驗。
- (4)綜合模擬輪載試驗抗曲試驗：利用上述三種輪胎載重形式進行反覆載重試驗，模擬現地連續不同輪胎形式施壓情形。

為求得 FRP 格柵版之最大抗曲強度，用以測試格柵版的極限強度，因此以最小施加载重 10 kN 以 3 倍安全係數計算其平均車胎載重為 30kN，將此設為依據定為每次反覆最大載重。反覆載重順序為模擬縱向、模擬橫向、模擬圓形載重，反覆載重次數皆為三次，最終利用模擬輪胎載重形式進行抗曲破壞試驗，將上述實驗結果記錄，並得知極限載重與撓度。

3.1.2.1 模擬縱向輪載抗曲試驗

本組試驗計測試 3 組試體，測試結果得到平均重量為 2519g、平均極限強度為 50.99kN、平均撓度為 11.21mm，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2519 ± 18.84 、極限強度 50.99 ± 3.46 、撓度 11.21 ± 1.18 。

3.1.2.2 模擬橫向輪載抗曲試驗

計測試 3 組試體，測試結果得到平均重量為 2499g、平均極限強度為 51.10kN、平均撓度為 10.00mm，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2499 ± 4.32 、極限強度 51.10 ± 5.18 、撓度 9.30 ± 1.80 。

3.1.2.3 模擬圓形輪載抗曲試驗

計測試 3 組試體，測試結果得到平均重量為 2498.3g、平均極限強度為 54.24kN、平均撓度為 9.92mm，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2498.3 ± 14.64 、極限強度 54.24 ± 4.18 、撓度 9.92 ± 2.64 。

3.1.2.4 模擬綜合車輛輪載試驗載重形式

本試驗係此用縱向、橫向及圓型模具模擬車輛輪胎行駛於格柵版上之抗曲試驗，計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2491.7 ± 6.80 、極限強度 51.5 ± 2.14 、撓度 10.5 ± 2.08 。

3.1.3 室外曝曬試驗

FRP 室外曝曬試驗將試體置於室外曝曬延時 8 個月，取樣時間各為 1、2、4、6、8 個月。進行三點抗曲試驗與模擬輪載試驗載重形式抗曲試驗，記錄其強度並計算其衰退率。

3.1.3 室外曝曬三點抗曲試驗

將已曝曬之試體進行三點抗曲試驗，記錄其抗曲強度與撓度。計算探討其 FRP 格柵版之衰退率。

1. 第 1 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2497.7 ± 16.44 、極限強度 36 ± 3.54 、撓度 11 ± 0.64 。
2. 第 2 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2495.7 ± 11.46 、極限強度 35.6 ± 3.78 、撓度 10.15 ± 1.9 。
3. 第 4 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2451.7 ± 29.76 、極限強度 34.68 ± 1.58 、撓度 10.30 ± 0.3 。
4. 第 6 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2480.7 ± 7.36 、極限強度 34.97 ± 2.96 、撓度 10.51 ± 0.7 。
5. 第 8 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果分別為重量 2497.3 ± 16.44 、極限強度 31.9 ± 2.36 、撓度 10.77 ± 1.32 。

綜合以上三點抗曲試驗測試結果，由初始對照組至第 6 個月止，除第一個月有強度稍微降低外，其餘變化差異不大。

3.1.3 模擬輪胎載重抗曲試驗

將已曝曬之試體利用模擬現地三種車輛輪胎載重形式進行反覆載重試驗，模擬現地連續不同輪胎形式施壓情形。預設車胎載重為 30kN，將此為依據定為每

次反覆最大載重。反覆載重順序為模擬縱向、橫向輪胎載重形式及模擬圓形載重形式，反覆載重試驗次數皆為三次，最後以圓形模式再壓至試體破壞為止。紀錄其極限抗曲強度與撓度，並計算其衰退率。

1. 第 1 個月：計測試 3 組試體，以統計學 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果均在合理區塊範圍內，分別為重量 2495.3 ± 12.26 、極限強度 45.11 ± 2.94 、撓度 10.23 ± 0.68 。
2. 第 2 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果均在合理區塊範圍內，分別為重量 2431.7 ± 40.48 、極限強度 45.9 ± 3.98 、撓度 9.4 ± 1.02 。
3. 第 4 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果均在合理區塊範圍內，分別為重量 2499.7 ± 4.98 、極限強度 46.7 ± 2.98 、撓度 9.60 ± 0.76 。
4. 第 6 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果均在合理區塊範圍內，分別為重量 2481.3 ± 29.64 、極限強度 43.91 ± 2.5 、撓度 9.70 ± 2.1 。
5. 第 8 個月：計測試 3 組試體，以 2 倍標準差公式計算其最大及最小值，其結果均在合理區塊範圍內，分別為重量 2485.3 ± 19.96 、極限強度 45.20 ± 1.36 、撓度 9.70 ± 2.72 。

由模擬現地反覆輪胎載重初始對照組至第 8 個月止，除第一個月有強度稍微降低外，其餘變化差異不大。綜合以上，經比較三點抗取及反覆載重模擬現地輪載試驗結果得知，二者於強度變化趨勢相似，均在第 1 個月稍有強度降低外，其餘均呈緩慢情勢，其撓度變異伸長量不大，均在合理範圍內，無明顯之線性關係。

四、分析討論

FRP 格柵版現地使用必須經歷車輛輪胎載重測試，有良好的抗壓強度才能確保使用安全及品質，本試驗依據 CNS 12780 之三點抗曲試驗規範經過對初始未曝曬及曝曬後的 FRP 格柵版分別進行三點抗曲試驗及模擬現地輪胎載壓試驗結果分析討論如下：

- 一、曝曬後三點抗曲試驗：將初始與曝曬後 1、2、4、6、8 個月試體，進行三點抗曲試驗強度及撓度均值比較如表 3 所示，其曝曬後三點抗曲試驗強度及撓度分析如圖 1 所示：
 - (1) FRP 格柵版三點抗曲試驗所得之極限強度比較初始與曝曬後之數據，極限強度減少 3.64kN，折減係數為 0.91，由表 3、圖 3 得知格柵版無明顯強度遞減情形發生，其極限強度均在 30kN 以上，符合預設施力最大載重 30kN 之假設條件。
 - (2) 極限強度所對應撓度變化，顯示初始試體承壓能力較曝曬試體強，變形量為 7.52%，緩慢遞減直至試體變形破壞為止，圖 1、圖 4 所示。
 - (3) 試體載壓過程中材料中玻璃纖維先行承壓斷裂，受力後變形沿著試體水平方向等距破壞，該結果應是材料本身玻纖及樹脂拌合成型關係。承載表面有明顯裂痕及崩塊現象。

二、模擬現地輪胎載重試驗：將初始與曝曬後 1、2、4、6、8 個月試體，進行反覆載重模擬三種車輛輪胎載重之抗曲強度比較試驗結果如表 4 所示，其均值抗曲強度分析如圖 2 所示：

- (1) FRP 格柵版模擬現地輪載試驗所得之極限強度比較初始與曝曬後之數據，極限強度減少 6.06kN，折減係數為 0.88，由表 4、圖 3 得知，極限強度及對應撓度無明顯之線性關係。
- (2) 極限強度所對應撓度變化，顯示初始試體承壓能力較曝曬試體強，變形量為 15.08%；FRP 格柵版極限強度緩慢遞減(如圖 2、圖 4 所示)，顯示出格柵版之抗曲強度在經過日照紫外線曝曬後，對強度衰退影響不大。

至於分別模擬輪胎縱向、橫向及圓形載壓試驗結果得知，試體極限強度均超出預設施力最大載重 30kN 以上，其對應撓度伸長量亦為在 11mm 下，與上述變化吻合。

表 3 FRP 格柵版曝曬後三點抗曲試驗強度及撓度均值比較

FRP 格柵版曝曬後三點抗曲試驗強度及撓度比較(均值比較)		
	極限強度(kN)	撓度(mm)
初始	38.94	11.57
1 個月	36.00	11.00
2 個月	35.60	10.15
4 個月	34.68	10.30
6 個月	34.97	10.51
8 個月	31.90	10.77
平均	35.3	10.7
標準差 σ	2.1	0.5

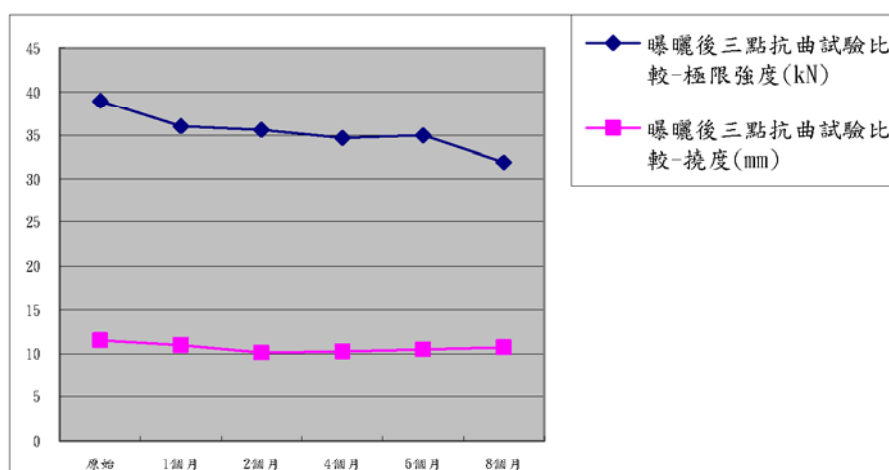


圖 1 曝曬後三點抗曲試驗強度及撓度均值比較分析圖

表 4 反覆載重模擬三種車輛輪胎載重之抗曲強度均值比較

反覆載重模擬三種車輛輪胎載重之抗曲強度比較(均值比較)		
	極限強度(kN)	撓度(mm)
初始	52.64	11.67
1 個月	45.11	10.23
2 個月	45.9	9.4
4 個月	46.7	9.6
6 個月	43.9	10.3
8 個月	45.2	9.7
平均	46.58	9.91
標準差 σ	2.84	0.90

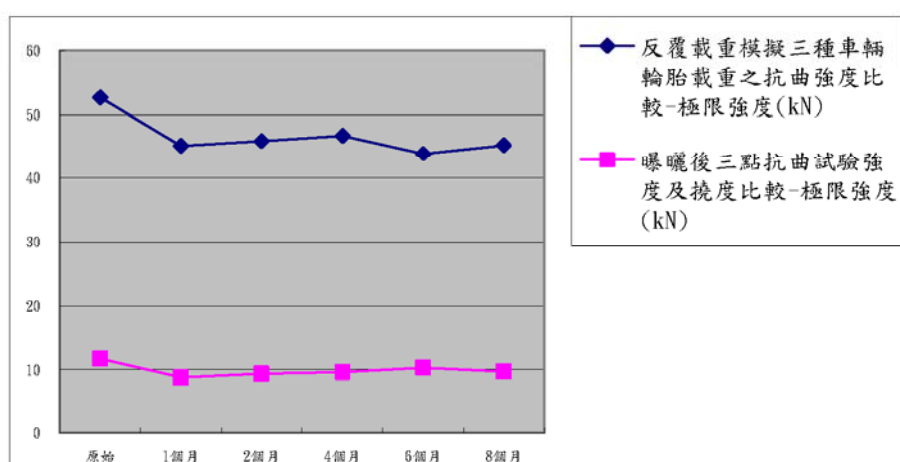


圖 2 反覆載重模擬三種輪載之強度及撓度均值比較分析圖

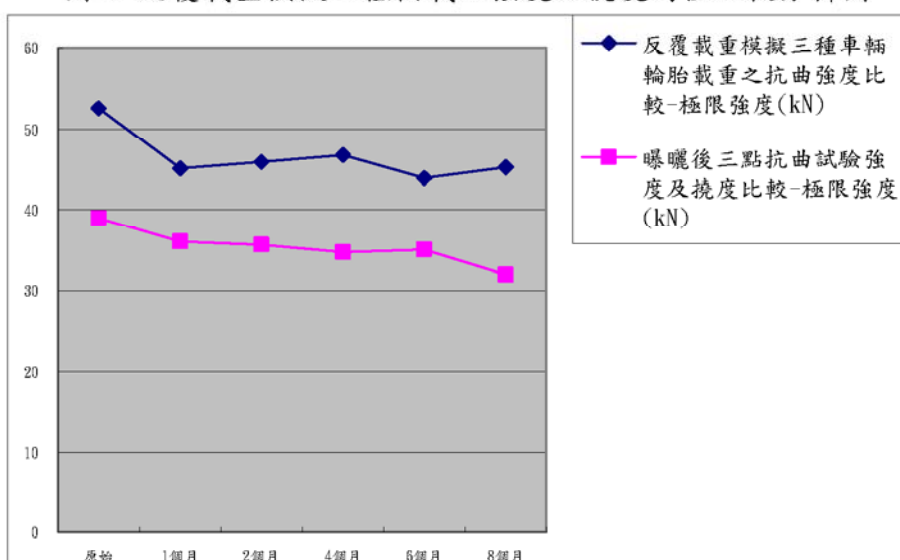


圖 3 曝曬後三點抗曲及模擬輪載試驗強度均值分析圖

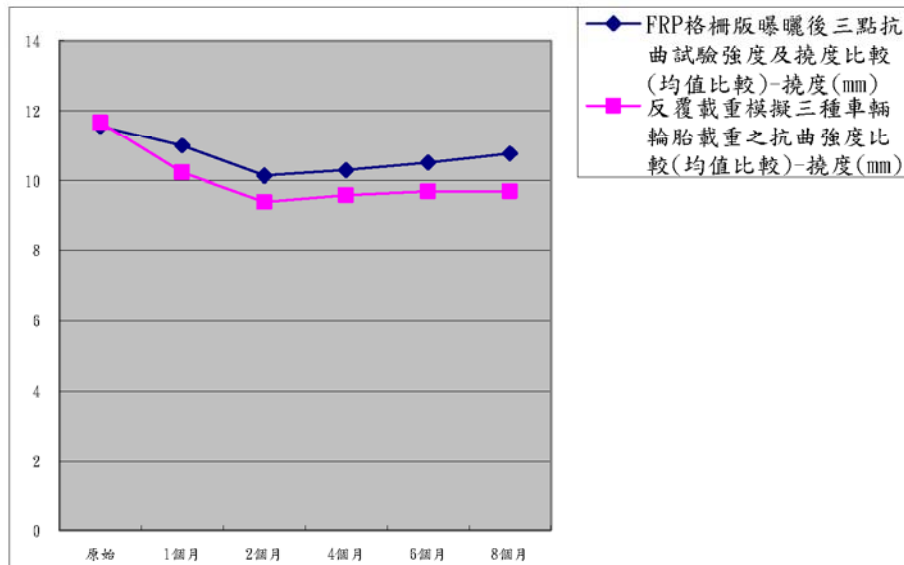


圖 4 曝曬後三點抗曲及模擬輪載試驗撓度均值分析圖

五、結論及建議

本文主要針對 FRP 格柵版長期曝曬後之三點抗曲試驗及模擬現地輪胎載壓試驗，進而探討 FRP 長期應用之工程特性，嘗試提供業界及政府單位之檢測標準，並提出以下結論與建議。

5.1 結論

依此研究目的進行 FRP 格柵版連續經 12 個月之戶外曝曬試驗，應用三點抗曲及模擬車輛輪胎載壓等進行基本特性試驗資料得知下列幾點結論：

1. 比較初始與曝曬後 FRP 格柵版所得之極限強度除曝曬第 1 個月強度有明顯下降外，其餘時間其強度遞減情形發生但衰退變化率不大，惟其所得極限強度均超出預設施力 30kN 以上。
2. 三點抗曲試驗所得之極限強度比較初始與曝曬後之數據，極限強度減少 3.64kN，折減係數為 0.91，模擬車輛輪載試驗所得之極限強度比較初始與曝曬後之數據，極限強度減少 6.06kN，折減係數為 0.88，二者相差 3.29%，顯示初始及曝曬後 FRP 格柵板之強度約降低 10%。
3. 三點抗曲極限強度所對應之撓度變化，顯示初始試體承壓能力較曝曬試體強，反覆載重模擬車輛輪載之強度及撓度變化亦顯示初始試體承壓能力較輪載試體強，但曝曬一段時日後，格柵版強度會隨日照時間增長而逐漸降低，但降低率有趨緩現象。
4. 曝曬後三點抗曲及模擬輪載試驗變化，得知曝曬後試體承壓能力較輪載試體差。

5.2 建議

- (1)由於三點抗曲試驗結果與反覆輪胎載重試驗結果差異有限，建議可採用三點抗曲試驗評估格柵版之工程特性。
- (2) FRP 格柵版承壓強度由實驗中得知，會受到日照曝曬影響惟其強度衰退率不大；建議極限強度採 $30\text{kN}\pm 1.5\text{kN}$ 為檢測值。
- (3) FRP 格柵版之撓度變化，無明顯遞減衰退情形，其變形量均在容許範圍內直至試體變形破壞為止。因此建議最大撓度採 $10\pm 0.5\text{mm}$ 檢測變形量。
- (4)本研究僅對 FRP 格柵版之抗曲特性做研究，測試結果適合 6 公尺以下後巷排水使用，6 公尺以上道路使用則須另行檢測。建議可增加對材料之耐衝擊試驗、抗拉試驗及耐火性試驗等方面研究，以利格柵版物理性質更趨完備。

參考文獻

- 1.中國國家標準，1999，經濟部中央標準局。
- 2.林千貴，2002，地工格網抗紫外線特性，碩士論文，國立屏東科技大學。
- 3.王昭弼，2005 年，塑膠管長期剛性試驗機制，碩士論文，國立屏東科技大學。
- 4.張志純，1975，FRP 設計手冊，正中書局。
- 5.張志純，1969，玻璃纖維補強塑膠之應用，徐氏基金會。
- 6.林建中，1974，高分子加工與工程(增補四版)，文京圖書有限公司。
- 7.藤清視、中原正二，1984，UV 硬化技術入門，西口守。
- 8.瀧山榮一郎，1970，不飽和聚脂樹脂 FRP 用樹脂合成及應用，復漢出版社印行。
- 9.許明發、郭文雄，2002，複合材料纖維學，全威圖書有限公司。
- 10.台灣米亞馬股份有限公司，2006，FRP 格柵版應用於後巷側溝美化之探討。
- 11.高雄市政府，2004 年，高雄市雨水水道鑄鐵清掃孔蓋替代材料評估計畫書，計畫執行單位 國立屏東科技大學。
- 12.吳文演、2003，玻璃纖維之研製與應用，國立台灣科技大學。
- 13.謝啟萬、黃馨雨、賈祥國、翁煒琳，2006，後巷排水溝 FRP 格柵版與試驗規劃之研究，專題報告，國立屏東科技大學。
- 14.李有豐、朱國棟、張國鎮、黃震興、王仲宇等人，1999，FRP 複合材料補強橋墩設計準則之研究，交通部科技顧問室。
- 15.蘇品書，1984，精密機器用塑膠複合材料(翻譯)，復漢書局。