



# 無機聚合物材料於 鋼筋混凝土底版仰面修補之研究

李有豐／國立臺北科技大學土木工程系 教授

郝國偉／國立臺北科技大學土木工程系 研究生

鄭大偉／國立臺北科技大學資源工程研究所 特聘教授

陳彥鈞／國立臺北科技大學資源工程研究所 研究生

黃志弘／國立臺北科技大學建築系 教授

本文提出無機聚合物材料 (geopolymer) 作為修復材料應用於鋼筋混凝土底版仰面修復補強。共製作二種不同型式之鋼筋混凝土版構材，分別為未有任何凹槽之標準版 (Benchmark RC deck) 與具有矩形凹槽版。採用無機聚合物材料與環氧樹脂修補材料於鋼筋混凝土底版凹槽處進行修補。實驗參考 ASTM D6272 進行四點抗彎試驗；另外進行不同載重下之反覆加載四點抗彎試驗。從四點抗彎試驗結果可得知無機聚合物材料修補之試體，較環氧樹脂修補之試體有較高抗彎強度。另外從四點抗彎反覆載重試驗可得知，使用無機聚合物修補材之試體以 0.9 倍極限載重之反覆載重下能承受 51 次以上反覆載重；而環氧樹脂修補材僅能承受 2 次，可得知使用無機聚合物修補材，除擁有較高之承載能力外，也具有良好承受反覆載重能力。

## 前言

鋼筋混凝土結構物常因地震造成混凝土開裂，或是因環境鹽分高，造成鋼筋鏽蝕混凝土剝落。一般鋼筋混凝土結構物受到外力因素產生裂縫時，會依照裂縫大小與位置進行修復或補強。以鋼筋混凝土梁為例，裂縫易產生於彎矩或是剪力最大處，於修復補強前會進行評估，判定是否需要進行結構補強或是採用斷面修復方式即可。從過去文獻顯示，使用不同類型之修補材料，例如環氧樹脂修補材與高早強水泥砂漿等，能有效提升鋼筋混凝土構件之斷面彎矩或剪力強度<sup>[1-6]</sup>。

由於鋼筋混凝土構件開裂處斷面減少會承受較大之應力，因此採用修補材料的強度應該較既有混凝土高。目前大多採用水泥砂漿或環氧樹脂修補材，但是

水泥砂漿強度較低，已有許多研究尋找更合適的材料取代傳統水泥砂漿，並指出無機聚合物是具有潛力的材料<sup>[7]</sup>。無機聚合物是 1979 年法國學者 Davidovits 首次提出，透過以鹼性溶液溶出矽、鋁膠體成為一種黏結劑<sup>[8]</sup>。近年無機聚合材料的相關研究越來越多，其特點在於原料多元，經適當調配可具有良好的抗壓、抗彎和收縮等特性<sup>[9]</sup>。無機聚合物材料越來越受到重視，尤其在與卜特蘭水泥 (Portland cement) 相比，可減少 50%~80% 的二氧化碳排放，亦可用於受損混凝土結構的修補<sup>[10]</sup>。

本文使用兩種修補材料，分別為市面上販售之環氧樹脂修補材及無機聚合物修補材，將兩種修補材料進行抗壓強度試驗 (ASTM C109)<sup>[11]</sup> 與收縮量量測

(ASTM C596-18)<sup>[12]</sup>，再將兩種修補材料分別修補至具有矩形凹槽鋼筋混凝土單向版，模擬鋼筋混凝土仰面混凝土剝落破壞，進行四點抗彎試驗 (ASTM D 5628<sup>[13]</sup>) 及反覆載重試驗。透過試驗結果，探討無機聚合材料與市面販售之環氧樹脂修補材之力學行為。

### 研究內容與實驗規劃

本節將說明無機聚合修補材及環氧樹脂修補材之抗壓試驗及收縮試驗規劃；鋼筋混凝土版試體設計與其修補方式，及其四點抗彎試驗。

### 材料介紹

本節說明使用修補材料特性，包含環氧樹脂修補材與無機聚合修補材。

#### 環氧樹脂修補材

本文使用之環氧樹脂修補材是由國森企業股份有限公司提供，此環氧樹脂修補材具有質量輕及黏著性高之特性，常用於國內鋼筋混凝土版仰面修補，其材料性質如表 1 所示。

表 1 環氧樹脂修補材特性

項目	環氧樹脂修補材
比重	< 1
施作時間	40 分鐘
初期硬化時間	1 天
完全硬化時間	7 天

環氧樹脂修補材因為可以阻絕外面的水氣進入鋼筋混凝土內，以減緩混凝土內鋼筋之鏽蝕，並且容易於鋼筋混凝土仰面進行施作。本文使用之環氧樹脂修補材需依照比例進行拌合，由 A 劑與 B 劑以 2:1 混合後得一稠狀之環氧樹脂修補材，如圖 1 所示。



圖 1 環氧樹脂修補材

### 無機聚合修補材

無機聚合材料為非晶質 (Amorphous) 或半晶質 (semi-crystalline) 之物質，通常使用富含鋁矽酸鹽之原料，如變高嶺土、燃煤飛灰與爐石粉等。藉由鹼金屬矽酸鹽溶液或鹼金屬氫氧化物溶液將其顆粒表面之矽、鋁離子溶出；在系統中粒子因聚合作用而形成連續性網狀結構，最後經脫水乾燥硬化後形成三維架狀結構體，其反應示意圖如圖 2 所示。

無機聚合材料具有廢棄物資源化、廢棄物固化、水泥建材、磚材、陶瓷製品、防火材料和塗料等諸多領域之應用。無機聚合材料作為水泥建材具有製作簡單及施作方便之特性，在常溫之下即可施作，碳排放量低，且當此材料硬化後特性類似於卜特蘭水泥 (矽酸鹽水泥)，但抗壓強度更高，並可與混凝土相容並進一步產生反應，可牢固得附著於既有混凝土結構上。因此本文將使用此無機聚合材料作為混凝土底板仰面修補材。

### 試驗規劃

試驗規劃包括修補材料收縮試驗、修補材料抗壓試驗；鋼筋混凝土版修補後之四點抗彎試驗及反覆載重四

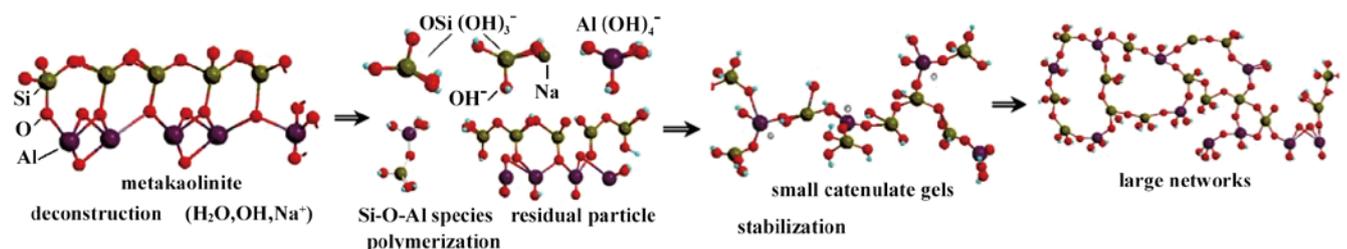


圖 2 無機聚合反應示意圖<sup>[15]</sup>

點抗彎試驗。由無機聚合修補材料收縮試驗及抗壓試驗之結果，選定無機聚合修補材料配比，進行後續混凝土版修補後四點抗彎試驗及反覆載重試驗之試體。

以下為此材料性質試驗之試體命名方式：「E」是環氧樹脂修補材；「G」是無機聚合材料；「S」是無機聚合材料所摻之乾砂；無機聚合材料所摻之乾砂量將標於符號 S 的後方。例如：使用無機聚合材料並摻 150%（與無機聚合材料重量比）之乾砂；命名方式為「G-S150」。

### 修補材料收縮試驗

材料收縮率對於修補材料而言是很重要的考量因素。無機聚合修補材主要由三種材料依照特定之比例拌合而成，分別為：高爐石粉 S4000、細粒料及鹼性溶液。就無機聚合修補材料而言，當鹼性液體與爐石充分反應後，剩餘水分將會隨著接觸空氣面散失，進而產生收縮。當修補材料於仰面修補後，若產生收縮可能使修補材料與修補處之間產生裂縫，因而導致修補材料剝落。

故本試驗為理解無機聚合材料及環氧樹脂修補材之材料收縮特性，本研究依照 CNS 14603 將試體製成 2.5 cm × 2.5 cm × 28.5 cm 試體進行試驗，試體齡期為 7 天，接著以收縮試驗儀量測材料收縮量，表 2 為修補材料試體名稱與說明。

表 2 各修補材料試體名稱與說明

試體名稱	說明
G	無機聚合材料
G-S150	無機聚合材料摻 150% 乾砂
G-S200	無機聚合材料摻 200% 乾砂
E	環氧樹脂修補材

### 修補材料抗壓試驗

無機聚合材料性質類似於水泥，而修補混凝土仰面通常為結構之受拉側，就混凝土而言材料抗壓強度為抗拉強度十倍左右，故為了解無機聚合修補材與環氧樹脂修補材之抗壓強度，將依照 ASTM C109 之規範進行抗壓試驗，將兩種修補材料分別灌注於 5 cm × 5 cm × 5 cm 之模具中，將所有配比材料拌合後放置 7 日，於 7 日後使用國立臺北科技大學土木工程材料試驗室之 100 噸萬能試驗機，抗壓速率為 100 kN/min。為了解不同修補材料抗壓強度，將使用不同配比之修補材料進行抗壓試驗，修補材料試體名稱與說明亦如表 2 所示。

### 四點抗彎試驗與試體設計

鋼筋混凝土版試體是參照 ACI 318-05 之單向鋼筋混凝土版設計規範，以 #3 鋼筋網做為鋼筋混凝土版之配筋，配置於試體受拉側上方 3 cm 處，混凝土強度為 210 kgf/cm<sup>2</sup>。單向鋼筋混凝土版之尺寸為 120 cm × 34 cm × 7 cm；試驗試體分別設計標準鋼筋混凝土版；與鋼筋混凝土版於受拉側中央設計 30 cm × 34 cm × 2 cm 之矩形凹槽試體。凹槽試體分別使用無機聚合修補材與及環氧樹脂修補材進行修補，於修補完成後 7 日進行四點抗彎試驗。四點抗彎試驗使用國立臺北科技大學土木系材料試驗室之 100 噸萬能試驗機進行。鋼筋混凝土版試體尺寸與配筋圖如圖 3 所示。

鋼筋混凝土版試體編號說明如下：第一碼代表使用之試體型式，「B」表示標準鋼筋混凝土版，「R」表示將鋼筋混凝土版於受拉側中央設計 30 cm × 34 cm 之矩形凹槽試體；第二碼代表使用之修補材料，「E」表示使用環氧樹脂修補材進行修補，「G」表示使用無機聚合修補材進行修補。表 3 為四點抗彎試驗試體名稱表。

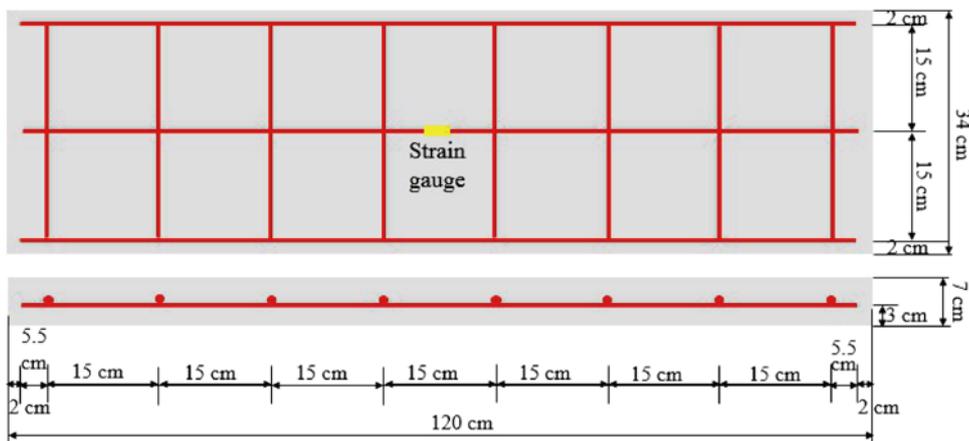


圖 3 混凝土試體配筋圖

表 3 四點抗彎試驗試體名稱表

試體編號	說明
B	標準試體
R	矩形凹槽之試體
R-E	矩形凹槽之試體，且使用環氧樹脂修補材進行修補
R-G	矩形凹槽之試體，且使用無機聚合修補材進行修補

為研究鋼筋混凝土版仰面修補，將單向鋼筋混凝土版進行四點抗彎試驗 (ASTM D 5628)，並於混凝土版下方受拉力側設計凹槽以模擬混凝土剝落，於凹槽處以修補材進行修補，並比較各試體於修補後之抗彎強度。圖 4 為四點抗彎試驗示意圖，試體長度為 120 公分；高度為 7 公分；上支承間距設計為 34 公分，下支承間距為 100 公分，規劃試體為撓曲破壞。

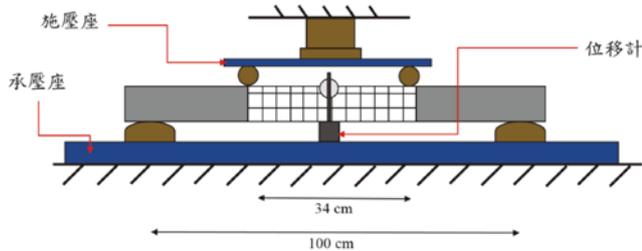


圖 4 四點抗彎試驗示意圖

### 反覆載重四點抗彎試驗

從上節之四點抗彎試驗，先將試體抗彎加載至試體產生極限強度並破壞。並將同種試體以測試極限強度之 0.7、0.8 及 0.9 倍載重進行反覆施力至試體完全破壞，並紀錄其反覆載重次數，以了解受到反覆載重之試體疲勞性質。本試驗使用國立臺北科技大學土木工程材料試驗室之 100 噸萬能試驗機進行反覆載重四點抗彎試驗。

每組測試之試體將區分為 0.7 倍、0.8 倍及 0.9 倍之極限破壞力，故一種試體有四片版試體，一片做為極限載重用途，三片做為反覆載重用途。表 4 為反覆載重抗彎試驗試體名稱與數量表。

表 4 反覆載重抗彎試驗試體名稱與數量表

試體名稱	試體數量			
	D	0.9P	0.8P	0.7P
B	1	1	1	1
R-E	1	1	1	1
R-G	1	1	1	1

### 試體製作與修補材施作

為完整說明四點抗彎試驗及反覆載重試驗試體製作之試體製作流程，將製作方式分為兩種，分別為試體製作方式及試體修補方式。

#### 四點抗彎試體製作方式

為製作單向鋼筋混凝土版試體，先於現地以木製模具進行組模，再依序放置保麗龍板，保麗龍板之尺寸依照凹槽尺寸所設計，最終放置 #3 鋼筋網後進行混凝土澆置 (圖 5)。每片鋼筋網均於試體受拉側所對應之拉力筋貼附應變貼，以量測試體受力時之極限應變。



圖 5 矩形凹口試體組模完成照片

將組合完成之模具放至於平坦地面上進行試體澆置，為使每一塊鋼筋混凝土版保持穩定強度，於澆置時配合品管人員進行現地混凝土品管相關試驗，包括混凝土氯離子檢測及混凝土坍流度試驗。為保持試體表面平坦，使用搗實器及抹刀，將混凝土版進行搗實及抹平。於混凝土澆置完成後進行養護。每組鋼筋混凝土版試體均於四點抗彎試驗當天進行混凝土圓柱試體抗壓，以確認每次試驗之混凝土品質。

#### 四點抗彎試體修補與補強方式

每一組修補試體於使用修補材料修補前，均使用國森企業所提供之底漆作為做為膠結材。底漆之成分為樹脂 A 劑及樹脂 B 劑，將兩種樹脂依照固定配比 4 : 1 進行拌合，於拌合後使用刷子塗抹於需要修補之試體凹槽處，並靜置 15 分鐘後再使用修補材料進行修補；圖 6 為國森企業所提供之底漆拌合後的照片。

再依據 2.1 節之無機聚合修補材與環氧樹脂修補材之製作方式，填補於矩形凹槽試體內，圖 7 為標準試體、矩形凹槽試體與矩形凹槽試體修補後之照片。



圖 6 底漆樹脂拌合後呈現膠狀

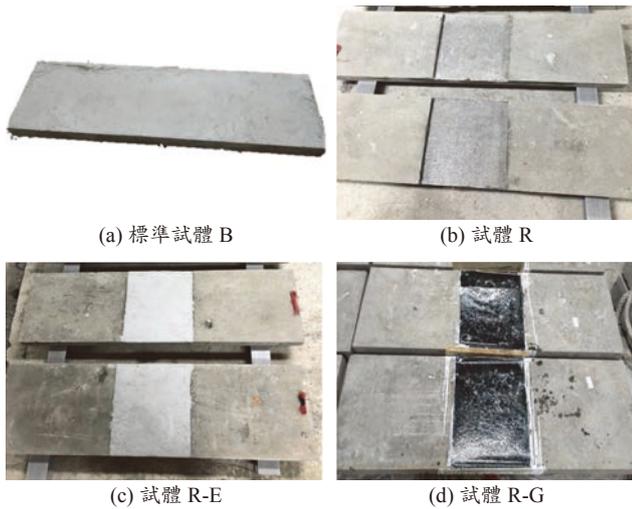


圖 7 各矩形混凝土試體之照片

## 材料性質試驗結果

本章分為修補材料收縮試驗與抗壓試驗，由修補材料試驗結果決定使用於四點抗彎試驗之無機聚合修補材料配比。

### 修補材料收縮試驗結果

按照 CNS14603 之試驗規範，所有試體均於凝固後拆模並量測凝固時之試體長度 28.5 cm，進行長度紀錄。每組試體三顆，每顆試體量測三次，並取其平均值。

表 5 為試體 G（無機聚合材料未摻砂）之 7 天齡期收縮試驗結果，此試驗結果可得知使用無機聚合材料未摻砂時，七日平均量測值為 28.128 cm，將七日量測值減去凝固時量測值，可得到收縮量，將收縮量除以凝固時量測值，可得平均收縮率為 1.305%。

表 5 試體 G，7 天齡期收縮量

編號	第一次量測 (mm)	第二次量測 (mm)	第三次量測 (mm)	三次量測平均 (mm)
1	3.722	3.721	3.722	3.721
2	3.701	3.701	3.702	3.701
3	3.737	3.735	3.734	3.735
平均收縮率：1.305%				

表 6 為試體 G-S150（無機聚合材料摻 150% 砂）之 7 天齡期收縮量試驗結果，此表可知將砂摻入無機聚合材料，七日量測值為 28.279 cm，可使其收縮量減少，此試體平均收縮率為 0.736%。

表 6 試體 G-S150，7 天齡期收縮量

編號	第一次量測 (mm)	第二次量測 (mm)	第三次量測 (mm)	三次量測平均 (mm)
1	2.237	2.250	2.239	2.242
2	2.115	2.122	2.119	2.118
3	2.244	2.251	2.247	2.247
平均收縮率：0.736%				

表 7 為試體 G-S200（無機聚合材料摻 200% 乾砂）之 7 天齡期收縮量試驗結果，當摻砂率提高可有效減少無機聚合物收縮量，七日量測值為 28.415 cm，此試驗之平均收縮率為 0.297%。

表 7 試體 G-S200，7 天齡期收縮量

編號	第一次量測 (mm)	第二次量測 (mm)	第三次量測 (mm)	三次量測平均 (mm)
1	0.867	0.867	0.868	0.867
2	0.839	0.833	0.834	0.835
3	0.835	0.830	0.832	0.832
平均收縮率：0.297%				

表 8 為試體 E（環氧樹脂修補材）之 7 天齡期收縮試驗結果，環氧樹脂修補材收縮率較無機聚合材料低，七日量測值為 28.496 cm，此試驗之平均收縮率為 0.015%。

表 8 試體 E，7 天齡期收縮量

編號	第一次量測 (mm)	第二次量測 (mm)	第三次量測 (mm)	三次量測平均 (mm)
1	0.039	0.039	0.038	0.038
2	0.043	0.040	0.046	0.043
3	0.037	0.033	0.037	0.036
平均收縮率：0.015%				

表 9 為所有修補材料收縮試驗之平均數值表，依照材料收縮試驗結果可得知，無機聚合材料在未摻砂前（試體 G）之平均收縮量為 1.305%，是所有材料收縮試驗中最高者；其次為無機聚合材料摻以重量比 150% 之砂（試體 G-S150），平均收縮量為 0.736%；第三為無機聚合材料摻以重量比 200% 之砂（試體 G-S200），平均收縮量為 0.297%，是無機聚合材料型式試體中最低者；最低收縮率之試體為環氧樹脂修補材（試體 E），收縮率為 0.015%。

從表 9 材料之收縮率可得知，無機聚合修補材試體收縮量均高於環氧樹脂修補材，但將無機聚合材料摻砂，可有效減少其收縮量，其中以摻 200% 之無機聚合材料重量比的砂，可減少 1.053% 之收縮率。環氧樹脂修補材於材料收縮試驗之收縮率為所有修補材料最低者，具有良好低收縮率。收縮率試驗由收縮量高至低分別為：G > G-S150 > G-S200 > E。

表 9 修補材料收縮試驗之平均數值表

試體名稱	平均收縮率
G	1.305%
G-S150	0.736%
G-S200	0.297%
E	0.015%

### 修補材料抗壓試驗

依照 ASTM C109 之規範進行抗壓試驗，每組試體 3 個。表 10 為環氧樹脂修補材 (E)、無機聚合材料未摻砂 (試體 G)、無機聚合材料摻 150% 砂 (G-S150)、與無機聚合材料摻 200% 砂 (G-S200) 之 7 天齡期材料抗壓強度值，其中以試體 G-S150 擁有最高之平均抗壓強度。試體 G 之 7 天平均抗壓強度為 62.23 MPa。

表 10 各修補材試體之 7 天抗壓強度

試體名稱	抗壓強度 (MPa)	平均抗壓強度 (MPa)
E	19.08	21.85
	23.52	
	22.97	
G	60.19	62.23
	64.70	
	61.80	
G-S150	70.92	73.78
	76.51	
	73.91	
G-S200	65.01	66.80
	69.19	
	66.20	

圖 8 為兩種不同種類之修補材料抗壓試驗前後對照圖，可觀察出無機聚合修補材於抗壓後產生脆性破壞，且變形量較環氧樹脂修補材低出許多；環氧樹脂修補材於抗壓後產生較大之變形量，類似於韌性材料。

從表 10 材料之抗壓試驗可得知，無機聚合材料型式之試體均高於環氧樹脂修補材，高出 284% ~ 387% 之抗壓強度，其中以摻 150% 之無機聚合材料重量比的砂擁有最高抗壓強度 73.78MPa，抗壓試驗由抗壓强度高至低分別為：G-S150 > G-S200 > G > E。

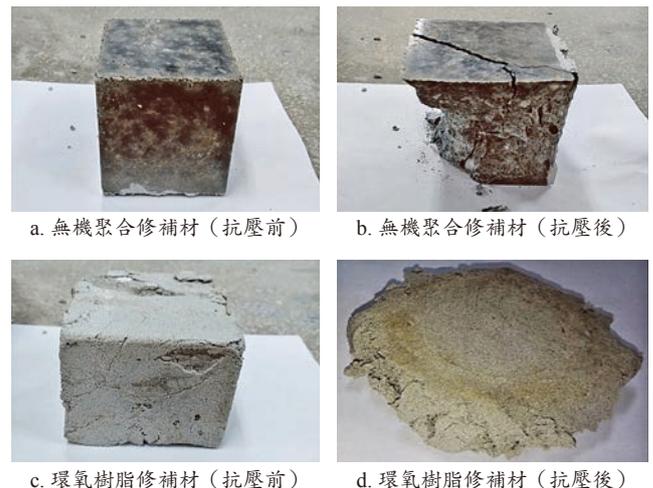


圖 8 各修補材抗壓試驗前後照片

從材料抗壓試驗前與材料抗壓試驗後之圖片 (圖 8)，可觀察出無機聚合材料行為類似水泥，於抗壓後為剪力破壞，相較於環氧樹脂修補材屬於韌性材料，於抗壓後未產生裂縫，而產生較大之變形量。混凝土為脆性材料，與無機聚合材料亦同，而兩種相同性質之材料亦能與修補完後有相似的材料特性，故本研究使用無機聚合材料做為修補材料並與環氧樹脂修補材進行比較。

為使用無機聚合材料修補於仰面，本研究之四點抗彎試驗將以 G-S150 作為修補材料，其原因為此種配比具有最高之抗壓強度及在收縮試驗於無機聚合材料型體中具有次低之收縮率。故本研究使用 G-S150 作為四點抗彎試驗及反覆載重試驗之修補材。

### 四點抗彎試驗結果

矩形凹槽組 (試體 R 系列) 每組試體兩個，進行四點抗彎試驗，紀錄試驗結果力與位移關係與破壞模式。表 11 為標準試體及矩形凹槽試體之抗彎極限強度、極限位移、平均極限強度及平均極限位移之數據。表 12 四點抗彎試驗後之矩形試體破壞照片表

表 11 標準試體及矩形凹槽試體之抗彎極限強度表

試體名稱	極限載重 (kN)	極限位移 (mm)	平均極限載重 (kN)	平均極限位移 (mm)
B-01	15.3	15.10	14.8	16.1
B-02	14.4	17.10		
R-01	9.4	23.80	9.6	25.2
R-02	9.8	26.69		
R-E-01	9.8	24.74	9.5	21.5
R-E-02	9.3	18.39		
R-G-01	10.2	21.07	10.2	21.1
R-G-02	10.3	21.27		

表 12 四點抗彎試驗矩形試體破壞照片與說明表

試體名稱	破壞照片	說明
標準試體 B		中間處產生撓曲裂縫後最終破壞
R		開槽處斷面慣性矩較小，故破壞時均於開槽處發生開裂
R-E		鋼筋混凝土開槽處與修補材料之間產生開裂，破壞時均於開槽處發生開裂
R-G		中央產生撓曲裂縫後於修補材料及試體之間之介面產生裂縫，最終破壞

從矩形凹槽試體之四點抗彎試驗結果可得知，試體採環氧樹脂修補材修補試體 (R-E) 未能使其抗彎強度提升，且未達到標準試體 (B) 之抗彎強度。試體採無機聚合材料修補試體 (R-G) 與未修補之矩形凹槽試體 (R) 比較，其抗彎強度可提升 6.86%，但是還無法達到標準試體 (B) 的強度。

### 反覆載重抗彎試驗

每組試體均會先進行抗彎試驗得到極限載重 (P)，並將其試驗數據紀錄後再進行不同極限載重倍率之反覆載重抗彎試驗。表 13 為矩形凹槽試體反覆載重試驗次數結果表，其中在表格破壞欄中，N 代表未破壞；Y 代表破壞。由表 20 可得知二種不同修補材料之試體，在受 0.9 倍極限載重之反覆載重試驗，使用無機聚合材料修補之試體 (R-G)，能承受 51 次反覆載重；而使用環氧樹脂修補材之試體 (R-E) 僅能承受 2 次。在受 0.8 倍極限載重之反覆載重試驗，使用無機聚合材料修補之試體 (R-G)，能承受 1000 次以上反覆載重，且未破壞；而使用環氧樹脂修補材之試體 (R-E) 僅能承受 167 次。在受 0.7 倍極限載重之反覆載重試驗，二者之反覆載重次數可達 1000 次以上，且未破壞。

表 13 矩形試體經修補後反覆載重試驗次數

試體名稱	極限載重 P (kN)	0.9 P		0.8 P		0.7 P	
		次數	破壞	次數	破壞	次數	破壞
R-E	9.5	2	Y	167	Y	≥ 1000	N
R-G	10.2	51	Y	≥ 1000	N	≥ 1000	N

N：未破壞；Y：破壞

### 結論

依據上述的試驗結果可以獲得下列幾點結論：

1. 在材料性質試驗之收縮試驗結果中可得知，環氧樹脂修補材具有最低之收縮率，而純無機聚合材料具有較高之收縮率。添加 150% 重量比細砂之無機聚合修補材，比無機聚合材料減少了 0.6% 之收縮率。
2. 在材料性質試驗之抗壓試驗結果可得知，試體 G-S150 具有最高之抗壓強度 73.78 MPa；次高為試體 G-S200 抗壓強度為 66.80 MPa；試體 G 抗壓強度為 62.23 MPa，試體 E 抗壓強度為 21.85 MPa。
3. 無機聚合修補材應用於鋼筋混凝土仰面之修補具可行性，依照四點抗彎試驗結果可得知，無機聚合材料修補試體 (R-G) 抗彎強度雖仍低於標準試體 (B)，但高於使用環氧樹脂修補材修補之試體。
4. 由四點抗彎試驗後之破壞模式可觀察出，使用無機聚合材料修補之試體 (R-G)，於抗彎試驗時能在修補材料上發現撓曲裂縫，代表此種修補材料於抗彎試驗中有明顯受行為。而使用環氧樹脂修補材修補之試體 (R-E)，於抗彎試驗時修補材料未能產生裂縫，產生裂縫處多為相異材料交接處，且與未修補之試體破壞模式類似。
5. 由反覆載重試驗結果可觀察出，在受 0.8 與 0.9 倍極限載重之反覆載重試驗，使用無機聚合材料修補之試體 (R-G) 承受反覆載重次數均高於使用環氧樹脂修補材修補之試體 (R-E)。

## 參考文獻

1. Al-Salloum, A. (2007), "Flexural performance of RC beams repaired with commercial repair materials," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, Vol. 19, pp. 153-172.
2. Ahmad, S., Elahi, A., Barbhuiya, S.A., and Farid, Y. (2012), "Use of polymer modified mortar in controlling cracks in reinforced concrete beams," *Construction and Building Materials*, Vol. 27, pp. 91-96.
3. Wang, B., Xu, S., and Liu, F. (2016), "Evaluation of tensile bonding strength between UHTCC repair materials and concrete substrate," *Construction and Building Materials*, Vol. 112, pp. 595-606.
4. Hor, Y., Wee, T., and Kazutaka, S. (2017), "Experimental investigation on the behaviour of reinforced concrete slabs strengthened with ultra-high performance concrete" *Construction and Building Materials*, Vol. 155, pp. 463-474.
5. Geraldo, R., Teixeira, O., Matos, S., Silva, F., Gonçalves, J., and Camarini, G. (2018), "Study of alkali-activated mortar used as conventional repair in reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 165, pp. 914-919.
6. Al-Majidi, H., Lampropoulos, P., Cundy, B., Tsioulou, T., and Al-Rekabi, S. (2018), "A novel corrosion resistant repair technique for existing reinforced concrete (RC) elements using polyvinyl alcohol fibre reinforced geopolymer concrete (PVAFRGC)," *Construction and Building Materials*, Vol. 164, pp. 603-619.
7. Nguyen, K.T., Le, T.A., Lee, J., Lee, D., and Lee, K. (2017), "Investigation on properties of geopolymer mortar using preheated materials and thermogenic admixture," *Construct Build Mater*, Vol. 130, pp 146-155.
8. Jumrat, S, Chatveera B, and Rattanadecho P. (2011), "Dielectric properties and temperature profile of fly ash-based geopolymer mortar." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, Issue 2, pp. 242-248.
9. Zhang, P., Zheng, Y., Wang, K., and Zhang, J. (2018), "A review on properties of fresh and hardened geopolymer mortar," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 152, pp. 79-95.
10. Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S.K., and Husseina, A.A. (2017), "Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 80, pp. 54-74.
11. ASTM C109/C109M-02. Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens); ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2016.
12. ASTM C596-18. Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2018.
13. ASTM D 5628. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2018.
14. 郝國偉、陳彥鈞、蕭勝偉、李有豐、鄭大偉、陳彥鈞，「無機聚合物材料與碳纖維貼片於鋼筋混凝土版仰面修復與補強之可行性研究」，*混凝土科技*，第十三卷，第三期，第 61-73 頁，民國 108 年 7 月。
15. Hajimohammadi A., Provis J.L., and van Deventer J.S.J. (2008), "One-Part geopolymer mixes from geothermal silica and sodium aluminate," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 47, pp. 9396-9405.



# 土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: [service@ciche.org.tw](mailto:service@ciche.org.tw) 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。