

921 大地震 127 線新溪南橋橋墩墩柱 CFRP 修復工法簡介

李登財、詹永振

更新日期：2012 年 04 月

壹、前言

127 線新溪南橋跨越臺中縣大里溪，聯結烏日鄉與霧峰鄉，交通地位頗為重要；民國 88 年 9 月 21 日發生了臺灣百年來最大的集集大地震，造成本橋 P2 剛接式橋墩、P3 Y 型橋墩受損致交通中斷，為使能於最短期間修復恢復通車，依公路局 921 集集大地震橋梁協助檢查小組 88.9.27 會議結論於 P2、P3 橋墩前後施作臨時支撐架，再以 CFRP 包覆補強方式並於受損之盤式支承周圍置放支承墊；因本工法每個施工環節均需由經過訓練合格之專業施工人員，非一般營造廠商所能勝任，爰依據採購法第 22 條報奉公路局核准同意委由「工業技術研究院工業材料研究所」承包辦理修復。

貳、新溪南橋簡介

本座橋梁配合地方需求，跨越舊溪南橋引道，其跨徑為 30~55 公尺，於 A1 橋台至 P2 橋墩之間設有緩和曲線，橋面全長 502 公尺，寬度 20 公尺，其上、下部結構如下：

- 一、引橋長 110 公尺：
上部結構為 4 箱室 3 孔連續箱型梁結構。下部結構為 3 柱式橋墩。
- 二、主橋長 392 公尺：
上部結構為 4 箱式 8 孔連續箱型梁結構。下部結構為 Y 型橋墩。
- 三、橋梁基礎：
橋墩基礎於堤防內採用沉箱基礎，其餘則為直接基礎。

參、橋梁震害情形及原因

921 震災發生當日，即奉指示分組別前往現場勘查災害狀況，127 線道路隆起、龜裂、下陷、變形嚴重，本座橋梁位於 127 線 16K+040 緩和曲線上，因地震造成橋梁 P2、P3 橋墩嚴重受損，本段除通報上級災情外，即通知本座橋梁原設計顧問公司，現場勘查並提出處理報告以利維修參考，為考量行車安全，故立即封閉橋梁，車輛改走舊溪南橋。

- 一、橋梁受損情形：
 - (一) P2 橋墩（3 柱式）：
上游側較嚴重柱頂開裂，其餘中間墩柱及下游側墩柱產生輕微裂縫。
 - (二) P3 橋墩（Y 型式）：
橋墩下游側墩柱兩側垂直裂縫，盤式支承及支承混凝土墊塊壓碎。
- 二、橋墩受損原因：
 - (一) P2 圓柱橋墩
A1 橋台至 P2 橋墩間橋梁位於緩和曲線上，其重心偏向上游墩柱，因此在強大垂直地震力作用下產生偏心載重，上游側墩柱首當其衝，因而發生較大之損傷。
 - (二) P3 Y 型墩柱橋墩
盤式支承及 RC 支承墊塊被壓碎，主因乃垂直地震力所引起。Y 型橋墩裂縫乃因(1)垂直地震力外加東西向（橫向）地震力同時作用產生偏心載

重。(2)短柱效應所造成剪力破壞。

肆、搶修過程

本座橋梁經公路局 921 集集大地震橋梁協助檢查小組 88.9.27 會議結論以 P2、P3 橋墩前後施作臨時支撐架再以碳纖維包覆補強，並於受損之盤式支承周圍放置橡膠支承墊。其搶修過程簡述如下：

一、臨時支撐架工程：

工程費：9,240,000 元，工期：25 日曆天，民國 88 年 10 月 4 日開工，民國 88 年 10 月 27 日完工。

工程內容：P2 圓柱橋墩支撐架 2 座，P3 Y 型橋墩支撐架 2 座，P3 Y 型橋墩置放橡膠支承墊 8 塊。

二、碳纖維包覆工程：

工程費：5,220,000 元；工期：24 日曆天，民國 88 年 12 月 6 日開工，民國 88 年 12 月 29 日完工。

工程內容：P2 圓柱橋墩 CFRP 數量：438M²；裂縫環氧樹脂灌注：35M；不收縮水泥砂漿填補復：1.5M³。

P3 Y 型柱橋墩 CFRP 數量：714M²；裂縫環氧樹脂灌注：48M；不收縮水泥砂漿墊塊：2.6M³。

伍、CFRP 工法簡介

一、結構計算：

(一) 堤外 P2 圓型橋柱

1. 補強斷面：柱尺寸 D=150cm，假設箍筋#4@10~20cm，
 $f_c' = 280\text{kg/cm}^2$ ， $f_y = 2800\text{kg/cm}^2$ 保護層厚 4cm，D=150cm、d=140.7cm

2. 補強材料：CFRP、 $t = 0.01375\text{cm/層}$ 、 $E_{cf} = 2.35 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\epsilon_{\mu} = 2.1\%$

3. 補強計算：v 原斷面所提供之圍束箍筋量 $\rho_s = 4A_s/S/d = 4 \times 1.27 / 10 / 140.7 = 0.00361$ (未考慮繫筋之貢獻)

v 假設 P_e 約 $1.70 \times .15 f_c' \times A_g = 0.225 f_c' \times A_g$

v 圍束力補強

A：法規規定箍筋量

$\rho_s = 0.45 \times (A_g/A_c - 1) \times f_c' / f_y \times (0.5 + 1.25 \times P_e / (f_c' \times A_g))$
 $= 0.45 \times (150^2 / 140.7^2 - 1) \times 280 / 2800 \times (0.5 + 1.25 \times .225) = 0.0048$

$\rho_s = 0.12 \times f_c' / f_y \times (0.5 + 1.25 \times P_e / (f_c' \times A_g)) = 0.12 \times 280 / 2800 \times (0.5 + 1.25 \times .225) = 0.0094$

$\rho_s = 0.45 \times (A_g/A_c - 1) \times f_c' / f_y = 0.45 \times (150^2 / 140.7^2 - 1) = 0.0061$

所以 ρ_s 需大於 0.0094 而原斷面所提供之圍束箍筋量為 0.00361，故須補強 (若斷面有提供足夠之箍筋則不需)

所以圍束箍筋量 $A_s = \rho_s \times S \times d / 4 = 0.0094 \times 1 \times 140.7 / 4 = 3.306$

故依法規規定需提供圍束力 $f_{1s}' = 2A_s \times f_y / S / d = 2 \times 3.306 \times 2800 / 10 / 140.7 = 13.16\text{kg/cm}^2$

B：利用 CFRP 補強 6 層可提供之圍束力為

$f_{1cf}' = 2n \times t \times E_{cf} \times \epsilon_{cf} / D = 2 \times 6 \times .01375 \times 2.35 \times 10^6 \times 0.006 / 150 = 15.51 \text{ kg/cm}^2$

所以 $f_{lcf}' \geq f_{ls}'$ (OK)

4. 剪力強度補強 (未考慮繫筋貢獻量)

A : 原斷面剪力強度

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.53 * (f_c')^{0.5} * A_e = 0.53 * (250)^{0.5} * \pi * 140.7^2 / 4 / 10^3 = 137.9 \text{ (t)}$$

$$V_s = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 140.7 / 10 / 10^3 = 100 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{原})} = 100 + 137.9 = 237.9 \text{ (t)}$$

B : 破壞後斷面剪力強度

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0 \text{ (t)}$$

$$V_s = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 140.7 / 10 / 10^3 = 100 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{破壞})} = 100 \text{ (t)}$$

故需補強

C : 剪力補強 CFRP 四層所提供之剪力強度

$$V_{cf} = 2 * n * t * E_{cf} * \epsilon_{cf} * D = 2 * 4 * .01375 * 2.35 * 10^6 * 0.006 * 150 / 10^3 = 232.7 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{補強})} = 100 + 232.7 = 332.7 \geq V_{n(\text{原})} \text{ (OK)}$$

5. 補強方式為：

塑角區補 CFRP 圍束補強 6 層 非塑角區補 CFRP 剪力補強 4 層

(二) 堤內 P3 Y 型橋墩

1. 補強斷面：柱尺寸為 190cm(B) * 280(D) 假設箍筋 #4 @ 15cm， $f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$ ， f_y 由現地量測約 200cm * 300cm，傾斜角度約 18.5°，故分析用之柱尺寸 = 2800kg/cm²，保護層厚 4cm， $b = 180.7 \text{ cm}$ ， $d = 270.7 \text{ cm}$ 。
2. 補強原因：因短柱效應造成柱剪力破壞。
3. 補強計算：

A : 剪力補強計算 (未考慮繫筋貢獻量)

B : 原斷面剪力強度

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.53 * (f_c')^{0.5} * A_e = 0.53 * (280)^{0.5} * 180.7 * 270.7 / 10^3 = 433.8 \text{ (t)}$$

$$V_{s(\text{長})} = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 270.7 / 10 / 10^3 = 192.5 \text{ (t)}$$

$$V_{s(\text{短})} = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 180.7 / 10 / 10^3 = 128.5 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{原、長})} = 433.8 + 192.5 = 626.3 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{原、短})} = 433.8 + 128.5 = 562.3 \text{ (t)}$$

C : 破壞後剪力強度

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0 \text{ (t)}$$

$$V_{s(\text{長})} = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 270.7 / 10 / 10^3 = 192.5 \text{ (t)}$$

$$V_{s(\text{短})} = A_v * f_y * d / S = 2 * 1.27 * 2800 * 180.7 / 10 / 10^3 = 128.5 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{破壞、長})} = 192.5 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{破壞、短})} = 128.5 \text{ (t)}$$

故需補強

D：剪力補強 CFRP 六層所提供之剪力強度

$$V_{cf(\text{補強、長})} = 2 * n * t * E_{cf} * \epsilon_{cf} * D = 2 * 6 * .01375 * 2.35 * 10^6 * 0.006 * 270.7 = 629.8 \text{ (t)}$$

$$V_{cf(\text{補強、短})} = 2 * n * t * E_{cf} * \epsilon_{cf} * D = 2 * 6 * .01375 * 2.35 * 10^6 * 0.006 * 180.7 = 420.4 \text{ (t)}$$

$$V_{n(\text{補強、長})} = 629.8 + 192.5 = 822.3 \text{ (t)} \geq V_{n(\text{原、長})} \text{ (OK)}$$

$$V_{n(\text{補強、短})} = 420.4 + 128.5 = 548.4 \text{ (t)} \geq V_{n(\text{原、短})} \text{ (OK)}$$

E：補強方式為

柱體 CFRP 剪力補強 6 層

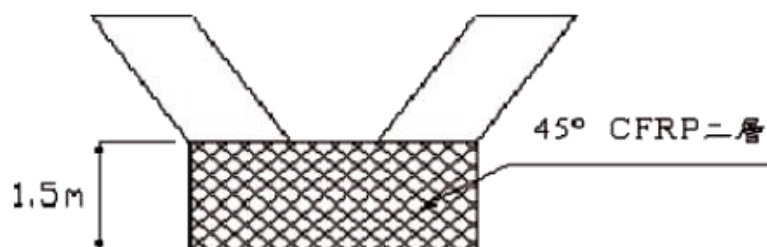
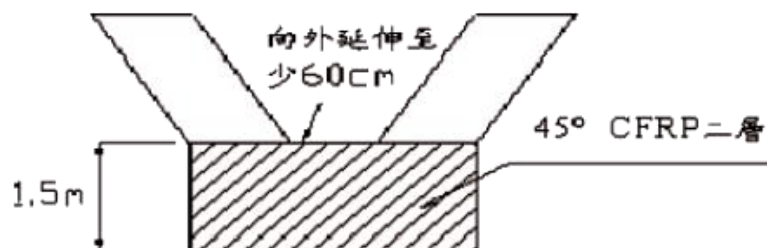
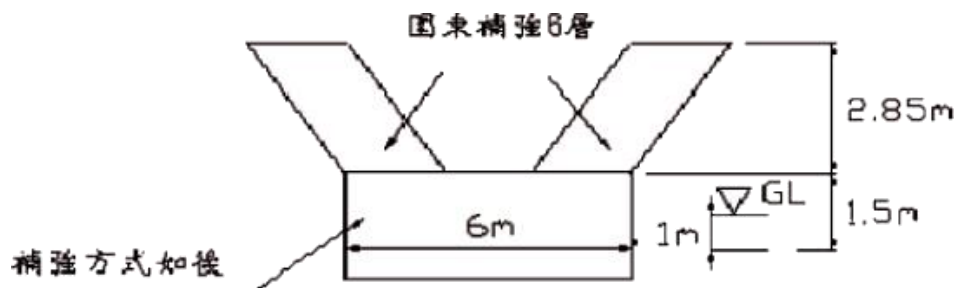
二、CFRP 施工區域

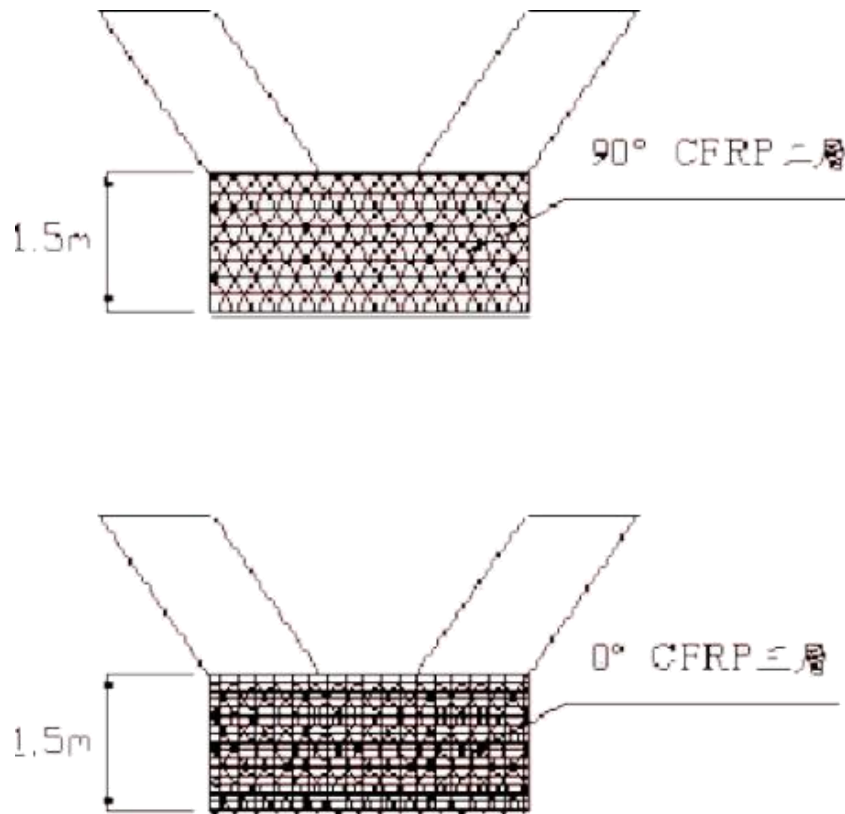
(一) 堤外 P2 圓型橋柱（三柱橋墩）：圍束補強 E

μ 箍筋未外露者

μ 箍筋外露者

(二) 堤內 P3 Y 型橋柱





三、CFRP 搶修施工順序簡介如下

施工前材料檢驗必須由國內具有公信力之單位驗證。檢驗標準如下表所示

試驗編號	試驗項目	單位	試驗值	試驗方法
1	FRP 抗拉強度	$Kg/cm \cdot 層$	550 以上	CNS13555
2	FRP 抗拉模度	$Kg/cm \cdot 層$	30000 以上	CNS13555
3	樹脂固成分	%	99 以上	CNS13069
4	底漆與混凝土接著強度	Kg/cm	20 以上	CNS11053
5	硬度	蕭式硬度單位	80 以上	CNS12628

經檢驗合格後材料進場施工

(一) 堤外 P2 圓形橋柱

1. 將上游側柱頂內壓碎之混凝土敲除，以不收縮水泥將斷面復原。
2. 裂縫部分灌注環氧樹脂。
3. 底層處理：表面研磨、補土後再以專用底漆來施工。
4. 墩柱以 FRP 圍束補強 6 層。
5. 復原工程：俟圍束補強完成樹脂硬化時，需施作硬度試驗後表面再塗佈樹脂噴砂可增加水泥砂漿補土附著力。

(二) 堤內 P3 Y 型柱橋墩

1. 將盤式支承 RC 支承墊塊全部敲除，在盤式支承四周施作不收縮水泥放置橡膠支承墊。
2. Y 型墩柱垂直裂縫灌注環氧樹脂。

3. 底層處理：表面研磨、補土後再以專用底漆來施工。
4. Y 型墩柱基礎四周開挖 1.5 公尺深，圍束 10 公分保麗龍，降低短柱效應之破壞，再以 FRP 圍束補強 6 層。
5. 復原工程：俟圍束補強完成樹脂硬化時，須施作硬度試驗後表面，再塗佈樹脂噴砂可增加水泥砂漿補土附著力。

陸、檢討及建議事項

- 一、本修復工程從民國 88 年 12 月 6 日開工至民國 88 年 12 月 29 日完工共 24 日曆天，修復速度甚為快速，惟因趕工偶有須縮短施工步驟之規定時程，可能影響品質（雖施工單位表示經測試結果並不影響）。
- 二、P3 橋墩施工時，水利處考量堤防結構安全要求本局於 P3 橋墩四周以混凝土包覆（詳平、立面圖）減少阻水，致使 P3 墩柱裸露高度減少，本次地震造成短柱效應，使 Y 型橋墩柱承受剪力破壞，為免爾後地震發生類似損壞。本次修復於橋墩四周以 10cm 保麗龍圍束填充以降低短柱效應。
- 三、本工法尚缺乏 CFRP 之設計及施工規範致使業主及營造單位無所適從，尚有待相關單位繼續研究分析研擬出一套適用準則以憑據以執行。
- 四、本橋 P3 橋墩位處堤防，堤址行水區內且偶有民眾烤肉，本修復工法 CFRP 較不耐高溫，建議應增設防火披覆及抗撞擊鋼板。
- 五、建議針對 P3 墩柱裂縫施作變位監測藉以評估修復後成效。
- 六、應速委託學術研究單位建立特殊工法之設計及施工規範或準則以利執行依循。
- 七、於不違背採購法之規定及精神下宜速建立委託學術研究單位辦理特殊工法之緊急委辦標準作業程序以爭取搶修時效。

參考文獻

- 一、朱國棟博士，民國 88 年 11 月 25 日，「複合材料補強混凝土結構物技術」。
- 二、工研院工業材料研究所，民國 88 年 11 月，127 線溪南橋搶修工程施工計劃書。
- 三、偉轟工程顧問有限公司，民國 88 年 10 月，127 線溪南橋損傷評估報告。

附 錄

- ※ CFRP 補強施工規定
- ※ CFRP 補強施工規格
- ※ CFRP 材料測試及試驗項目
- ※ CFRP 補強施工驗收方法

一、CFRP 補強施工規定

（一）準備工程

施工材料須有品質證明書或測試報告以判斷材料性能是否合乎補強工程之品質要求。施工材料須儲存於通風良好，溫度 5-25℃ 之儲存場所。

（二）底層（面層）處理工程

1. 以砂輪機或磨光機將混凝土表面劣化層（風化、游離石灰、脫模劑、剝離之砂漿、粉刷層、污物等）除去並研磨至粗骨材出現為止。
2. 研磨完後以毛刷或高壓空氣槍將粉層及鬆動物質去除，並確保其充分乾燥、表面要平整無灰塵。
3. 若補強施工標的具有銳利偶角，須將其研磨成半徑為 2 公分以上之圓弧 R 角，以免圍束時造成應力集中而降低補強效果，但若補強位置僅為單面時可不須磨成 R 角。
4. 若補強施工標的是屬於凹角部位時，須使用環氧樹脂砂漿修整（補土工作），使其凹面成曲線平滑化，以利貼片貼覆。

（三）斷面復舊與不平整面修整工程

1. 鋼筋露出部位須做防鏽處理，如損壞程度嚴重，須採取換新或預力鋼鍵等措施以確保安全。
2. 斷面面層上有剝落、孔隙、蜂窩的部位要先研磨去除，再以與混凝土具有同樣強度以上之高分子砂漿（環氧樹脂砂漿或壓克力樹脂砂漿）進行修復，而對於大區域凹洞之修補則以無收縮水泥砂漿進行填補。
3. 不平整面須以砂輪機磨平（含鑽石砂輪片），如模版間段差太大則可使用環氧樹脂砂漿修整。
4. 裂縫或打除部份若有漏水情形時，應先以其他適當方法，做止水、導水處理。

（四）裂縫注入工程

結構物若有龜裂現象產生時，視情況以下列方式處理：

1. 若裂縫寬度大於 5mm 則可利用水泥砂漿填入後抹平結構物表面
2. 無法以水泥砂漿填注處，可使用封塞劑先將裂縫處堵住，再以低壓樹脂注入法將灌注用樹脂注入裂縫中，待確認注入材硬化後將多餘封塞劑和凸出物除去，再以補土補平，使表面平坦化。

（五）底漆工程

1. 確認施工環境

混凝土表面會結露或接觸到水處不得施工，濕氣太高將導致樹脂與水氣產生作用而干擾膠化過程。若迫於工期或其他因素必須施工時，則：施工現場須有保溫和除濕設備以降低溼度，確保施工品質。選用濕潤面專用底漆來施工。

2. 施工環境確認後，即可選用適當底漆材料針對上述之處理後施工面進行底漆施工。施工過程及注意要點如下：

- (1) 將底漆之主劑和硬化劑依規定配比，置於攪拌槽中以低速電動攪拌器充分且均勻攪拌，一次攪拌量為在可使用時間之施工量，超過可使用時間之材料不可再使用（可使用時間依材料使用說明書指示）。
- (2) 施工面以滾筒毛刷含浸底漆塗佈，塗佈量隨施工面的狀況不同而異，要斟酌使用，塗佈次數依現場狀況決定是否塗佈第二道，塗佈第二道時須等第一道初乾後。
- (3) 底漆之指觸乾燥時間約 3-12 小時。

- (4) 施工現場嚴禁火源，施工人員必須使用保護工具。
3. 表面不平整之再修正（較小區域凹洞之補土工作）
4. 本工作為貼片貼覆工程前之再修正工作。
5. 將補土之主劑和硬化劑依所規定配比稱重後置於攪拌器中攪拌，一次攪拌量為在可使用時間內用完之施工量，超過可使用時間的材料不可再使用。
6. 等底漆乾燥後，將補土材料塗抹於上述之缺陷上，塗抹後的施工面必須使用適當工具（如刮刀、砂輪機、研磨機等）加以修整，使整個施工面平整光滑。

（六）FRP 補強貼覆工程

1. 確認施工環境

混凝土表面會結露或會接觸到水處不得施工，因溼度太高而會導致樹脂與水氣產生作用而干擾膠化過程。若迫於工期或其他因素，必須施工時，則施工現場必須有保溫設施和除濕設備以確保底漆表面或貼片表面不會有水份存在。

2. 施工過程與注意要點

- (1) 塗佈接著樹脂前必須先確認底漆狀況為指觸乾燥。
- (2) 纖維加勁材貼片預先以剪刀或刀片依所設計尺寸裁切。
- (3) 將環氧樹脂主劑及硬化劑依所規定配比稱重後置於攪拌槽中以低速電動攪拌器充分均勻攪拌，一次攪拌量為在可使用時間內用完之施工量，超過可使用時間的材料不可再使用。
- (4) 施工面以滾筒毛刷含浸接著樹脂均勻塗佈，其使用量隨混凝土表面狀況不同而斟酌使用。惟需避免樹脂過量導致纖維滑移或扭曲，抑或樹脂不足導致含浸不足。
- (5) 將纖維貼片平順的貼合在含浸樹脂的塗佈面，並用刮刀沿著纖維方向用力刮平以除去氣泡和貼平貼片然移除離形紙。
- (6) 利用 FRP 用脫泡滾輪或塑膠具凹槽型式塑膠滾輪沿著纖維方向來回滾壓以充分含浸樹脂和除去氣泡，拱起部份及角落容易產生氣泡，須小心除泡。
- (7) 在已貼妥之纖維貼片上，再度以含浸樹脂之滾筒毛刷將樹脂均勻塗佈後重覆（f）步驟，務必使含浸完全。纖維貼片貼覆 30 分鐘後才可進行上層樹脂塗抹，此期間要注意貼片是否有浮起或錯位現象，若有則以滾輪或刮刀壓平修正。
- (8) 二層以上積層，重覆（d）~（g）步驟，但以相隔一天的效果最好，若迫於工時，則至少要間隔 1 小時以上。冬季施工以一日一層施工，品質最好。
- (9) 纖維貼片搭接時，纖維方向交接處搭接長度須大於 10cm。
- (10) 施工中若有發生結露現象，則須擦乾和保持乾燥才可施工，同時在貼覆後要考慮施工環境對貼覆的影響（如風壓效應，端部的固定等）。
- (11) 施工人員須穿著保護工具（如面罩、眼鏡、手套等）。

(七) 養護工程

室外施工時為不使雨水、砂、灰塵等附著於貼片上，須使用塑膠布養護。其養護原則如下：

1. 纖維貼片施工後要用塑膠布覆蓋 24 小時以上，以防止雨淋或風砂，灰塵之污染，注意覆蓋布不可碰觸到施工面。
2. 溫度 20℃ 時須養護 1 週，溫度 10℃ 時須養護 2 週。
平均溫度在 10℃ 以下，初期硬度養護時間約 2 天
平均溫度在 10~20℃，初期硬度養護時間約 1~2 天
平均溫度在 20℃ 以上，初期硬度養護時間約 1 天

(八) 復原工程

1. 施工面如係受日光直接照射（因樹脂抗紫外線能力較差，易老化），或要求美觀的場所則噴塗耐候性塗料保護較為適當。
2. 噴塗保護漆必須等樹脂初期硬化後施行，此時先上一層噴砂再噴塗油漆可增加其附著力。
3. 施工要依各種塗料的標準施工法分別施工。
4. 黏貼後若表面上仍有不平處時可用環氧樹脂灰漿（補土）做細部加工後再塗漆。

二、CFRP 補強施工規格

碳纖維貼片

品名	MRL-T7-200	MRL-T7-250	MRL-T7-300	測試規範
彎曲強度 kg/cm ²	70	73		CNS13556
單位面積重量 g/m ²	200	250	300	CNS13062
抗張強度 kg/cm · ply	450	530	610	CNS13555
抗張係數 kg/cm · ply	25800	32300	28700	CNS13555
纖維抗張強度 kg/mm ²	490	490	490	
纖維抗張係數 kg/mm ²	23500	23500	23500	
設計厚度 mm/ply	0.110	0.1375	0.165	
伸長率 %	2.1	2.1	2.1	CNS13555
貼片幅寬 cm	50	40	33.3	

樹脂

項 目@25 °C	規格值	測試規範
材質@25 °C	室溫硬化型環氧樹脂	
可超作時間	60 - 120 min	溫度上升法
混合後初粘度	900 - 300 cps	CNS13065
抗張強度 25°C R.H.65% 硬化 7 天	> 300 kg/cm ²	CNS4396
抗張係數 25°C R.H.65% 硬化 7 天	> 30000 kg/cm ²	CNS4396

彎曲強度 25°C R.H.65%硬化 7 天	> 560 kg/cm ²	CNS4392
剪切強度 25°C R.H.65%硬化 7 天	> 100 kg/cm ²	CNS5606
不揮發份 (固成份)	> 99(%)	CNS13069
主劑：硬化劑 = 100:35		

底漆

項 目	規格值	測試規範
材 質	室溫硬化型環氧樹脂	
混合後初黏度 @25°C	600 - 1300 cps	CNS13065
可超作時間 @25°C	60 - 120 min	溫度上升法
接著強度 乾燥表面	> 20 kg/cm ² (混凝土破壞)	CNS11053
主劑：硬化劑 = 100:35		

環氧樹脂補土

項 目	規格值	測試規範
壓縮強度	> 500 kg/cm ²	CNS12781
抗張強度	> 180 kg/cm ²	CNS4396
接著強度	> 20 kg/cm ² (混凝土破壞)	CNS11053

三、CFRP 材料測試及試驗項目

材料纖維補強工程所使用之材料：碳纖維貼片、積層樹脂、底漆及補土，這些材料在進場前必需具備下列測試（由材料供應商提供）以供材料規格確定：

(一) 碳纖維貼片必須測試的項目：

1. 單位面積重量 (CNS 13062)
2. 抗拉強度 (CNS 13555)
3. 抗拉模數 (CNS 13555)
4. 伸長率 (CNS 13555)
5. 彎曲強度 (CNS 13556)

其中 (2) ~ (5) 為碳纖維貼片及樹脂結合後之特性

(二) 積層樹脂必須測試的項目：

1. 可操作時間 (CNS 13065)
2. 黏度 (CNS 13065)
3. 不揮發份 (固成份) (CNS 13069)
4. 抗拉強度 (CNS 4396)
5. 彎曲強度 (CNS 4392)
6. 抗拉剪切強度 (Lap Shear Strength) (CNS 5606)

(三) 底漆必須測試的項目：

1. 黏度 (CNS 13065)
2. 可操作時間 (CNS 13065)
3. 混凝土接著強度 (拉拔試驗) (CNS 11053)

(四) 補土必須測試的項目：

1. 抗壓強度 (CNS 12781)
2. 抗拉強度 (CNS4396)
3. 混凝土接著強度 (拉拔試驗) (CNS 11053)

材料供應商需保證纖維貼片及樹脂系統為同一系列，以保證材料系統相容。

為確保材料品質，施工承攬商需會同設計單位及業主進行採樣，再交由經專業（如：ISO）認證之試驗機構進行材料確認測試，測試項目必需包括：

1. 複材基層板的抗拉強度、抗拉模數、彎曲強度。
2. 樹脂的固成份（不揮發份）。
3. 底漆與混凝土之接著強度。
4. 硬度測試。

四、CFRP 補強施工驗收方法

（一）纖維：

碳纖維製成布狀補強材料、纖維應為不連續式（不得切股），並依固定單方向排列；驗收標準必需符合試驗編號 1 及試驗編號 2。

（二）樹脂：

環氧樹脂，不可含有溶劑或填充劑；驗收標準必需符合試驗編號 3。

（三）底漆：

環氧樹脂，與混凝土接著性良好；驗收標準必需符合試驗編號 4。

（四）表面不平整用補土砂漿：

用環氧樹脂砂漿。對於原混凝土破損敲除部份可以不收縮水泥復原，但復原後表面應再研磨。

（五）內 R 角用補土砂漿：用樹脂砂漿。

（六）成品：

必須在補強貼片施工於混凝土梁（柱、板）完成後第二週驗收、驗收標準必需符合試驗編號 5；若試驗結果不符合試驗標準、則於試驗一週後再進行試驗，若仍不符合驗收標準則須用電毯加溫至 60°C 且持續 3 小時以上，然後再重新進行試驗、若仍不符合標準，則必需拆除已製做好之補強貼片重新製作

（七）檢驗標準及驗收方法：

檢驗驗收必須由國內具有公信力之單位檢驗。檢驗標準及驗收方法如下表所示

試驗編號	試驗項目	單位	試驗值	試驗方法
1	FRP 抗壓強度	Kg/cm · 層	550 以上	CNS13555
2	FRP 抗拉模數	Kg/cm · 層	30000 以上	CNS13555
3	樹脂固成份	%	99 以上	CNS13069
4	底漆與混凝土接著強度	Kg/cm · 層	20 以上	CNS1153
5	硬度	蕭氏硬度單位	80 以上	CNS12628