

補強材料選取與 製程技術

◎作者：姜嘯先

現職：工業材料研究所

構造複合材料計畫副研究員

近年來，由於人工昂貴及交通流量增多，面對土木營建曠補強維護問題，當務之急是發展出一種施工快速、簡便及不影響交通的施工方式。而複合材料補強施工方法正好可滿足此一要求，也是歐、美、日等國家積發展及拓展之補強施工方法。

前 言

複合材料補強RC結構在美、日已施行多年，此種工法之施工速度約為傳統鋼夾克補強法的五倍以上，在耐久測試方面，發現即使經過



前工前表面處理（上），施工中（下）

相當於25年以上的加速老化測試，複合材料補強法仍能保留原有的強度，不會有生鏽、腐蝕等傳統工法的問題。根據在美國的研究發現，只要設計得當，其實以複材補強的工法在成本上是可比鋼材補強來得便宜。國外研究數據如下。

①碳鋼成本約為0.5USD/lb，玻纖複材成本約為0.8USD/lb，碳纖複材成本約為18USD/lb。

②張力強度：15磅的碳鋼張力強度約相同於1磅的複材薄板張力強度。

雖然複材補強具有耐候、施工快速及耐久性等優點，但要達到這些效果，良好的施工品質及作業流程控制為不可忽略之前題。以下針對複材補強之材料選取、施工作業做一簡要之說明。

修補技術專題

複合材料選取

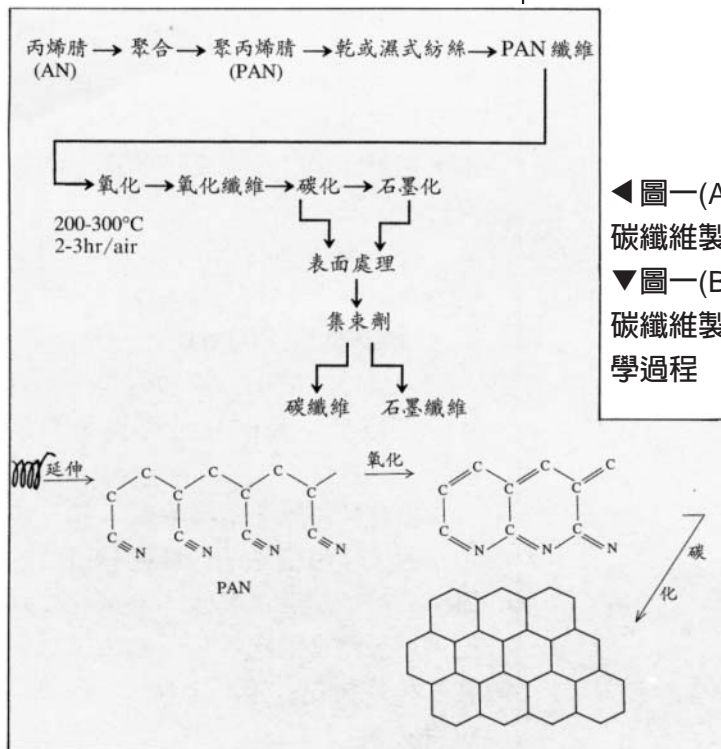
複材纖維材料補強中，常用的纖維材料有碳纖維及玻璃纖維，其物性及特性如表一、表二；纖維之製作流

▼表一
複材補強用纖維材料之物性

纖維種類	纖維直徑 (μm)	密度 (g/cm ³)	張力強度 (kg/mm ²)	張力模數 (10 ³ kg/mm ²)	最高使用溫度 (°C)
E級玻璃纖維	13	2.54	350	7.4	846
碳纖維	7.8	1.8	370	24	3650(N ₂)

碳纖維特性	玻璃纖維特性
①極高比強度，比彈性係數	①高抗張強度
②優越耐熱特性、其熱膨脹係數小，導熱係數大	②韌性佳，最大伸長率約為5%
③電傳導性能佳	③電氣絕緣性能良好
④耐腐蝕及抗化學性能佳	④耐腐蝕性能佳
⑤X-光透光性高	⑤價格低廉(0.8USD/ℓb)

◀表二
碳纖維與玻璃纖維的持性比較



◀圖一(A)
碳纖維製作流程
▼圖一(B)
碳纖維製作之化學過程

程如圖一；而玻璃纖維製作流程如圖二。工研院材料所目前正將碳纖作有效處理成可用的碳纖貼片材。

樹脂系統之選取

複合材料補強所用的樹脂系統必須考量的條件包括：耐候性（溫、濕度變化）、耐久性（至少20年以上）、操作性（施工方便）、抗UV（耐日曬）…，與傳統複合材料用樹脂截然不同，因此在選取上應該以①對於天氣變化影響不大的樹脂，②長時間（20~50年）物性穩定的樹脂，③樹脂黏度能適合纖維充分含浸，④室溫硬化為宜，⑤硬化過程不受溫、濕度影響，⑥界面問題，⑦其他特殊用途的樹脂（如：抗UV、耐燃…）等。以上之考量為決定樹脂的要因。工研院材料所目前已完成兩種樹脂系統供碳纖貼片及玻纖貼片補強RC結構物之用。

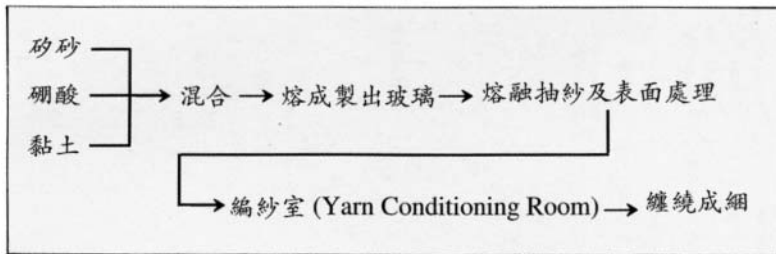
施工介紹

傳統複合材料加工方法有十餘種，然而目前較常用於補強工程的方法只有兩種：①手積層法，②纏繞成型法。

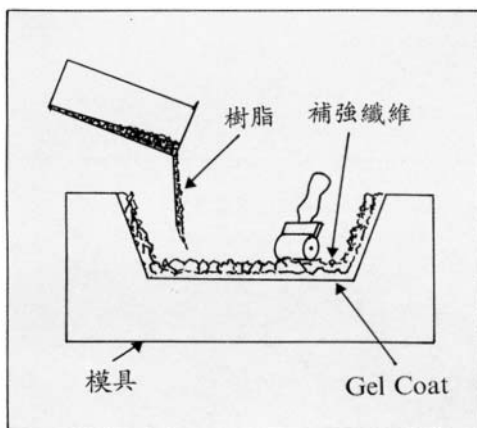
傳統手積層法概述如下：

- ①開模具。
- ②舖上纖維排列整齊。
- ③倒入樹脂並推平、脫泡。

施工作業如圖三。然而手積層法應用於土木結構物補強時的改良方案為：



▲圖二
玻璃纖維製作流程圖



◀圖三
手積層法之施工作業

①塗佈樹脂不再以人工，而係先以樹脂塗佈機將複材貼片預浸後，再以人工將預浸複材貼附於所須補強的位置。

②不再需要模具，可直接在所需補強的結構體上施工。

③脫泡、避免打折等過程，則與一般傳統手積層法相近似。

傳統纏繞法目前已廣泛使用於管件的製作，如：高爾夫球桿、複合材料儲筒…等。此纏繞法目前用於土木結構物柱的補強，利用纏繞法有下面的優點：

①纖維有預力，Void含量低、强度高。

②自動化控制、施工速度快、成

本低（省人工）。

③纖維可直接含浸樹脂，成型容易。

纏繞法補強的步驟簡述如下：

①架設纏繞機器

②選定纖維及設定張力

③設定樹脂含浸作業條件

④控制樹脂含量

⑤設定纏繞花式

⑥設定纏繞速度

⑦設定硬化條件（定溫或高溫硬化）

⑧塗裝抗 UV 塗料

⑨架設防撞工程

值得一提的是，施工敘述雖然簡單，但是只要略有忽略，將有極為嚴重的影響。因此施工品質檢驗相當被重視，檢驗人員必須對複合材料有所了解，目前檢驗施工品質方法有①目視：了解纖維含浸是否平均且足夠；②敲擊法：了解層與層間是否緊密接合，③硬度測試法：確定完工成品是否達到要求。通常，複材補強在施工中，若有含浸不足、打折、層間有異物或氣孔，均可能造成弱點，而無法達到原設計之強度需求，此弱點可能成爲未來破壞的主要起始點。

工研院材料所於複合材料製程有多年之經驗，而複合材料補強 RC 結構作業流程亦是構造複合材料實驗室近年來積極投入研發之計畫，並已開發完成高效率、高品質之補強施工方法材料、機具設備供補強業界參考、使用。☑