

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

FRP 快艇結構之波擊破壞強度研究(3/3)

Study on the failure strength in slamming load for FRP crafts

計劃編號：NSC 90-2611-E-002-037

主持人：李雅榮(台大工程科學及海洋工程所)

研究人員：鍾承憲

一、摘要

上一年度之研究對 GFRP 材料特性作探討，利用理論數值及實驗驗證得到使船用 GFRP 積層板拉伸與彎曲特性不同之機制，由此可利用一般易於實驗室執行之材料試驗結果來建立單一纖維積層板之數值分析模式，並有效預估不同種類纖維組合後積層板之力學特性。

波擊負荷係以均佈之型式作用於船殼板面外方向，因此，本研究將探討船用 GFRP 板承受面外均佈負荷時之破壞行為，利用前面建立之 GFRP 材料數值模式做破壞分析並以實驗驗證，以確認 GFRP 積層板承受波擊負荷之破壞機構，並做適當之補強以充分利用材料特性。

關鍵詞：FRP、波擊負荷。

Abstract

In the previous study, we focus on the mechanical properties of marine GFRP laminates. From theoretic and numerical analysis as well as experiments we can explain the differences between tensile and flexural properties of marine GFRP laminates. As the result of the study, we

can establish the numerical model by simple material experiment to describe the behavior of marine GFRP laminates made by single type of fiber and apply it to the composite laminates made by different types of fiber correctly.

As the slamming load acts as uniform pressure to the ship structures in the out-of-plane direction, the study will investigate on the failure behavior of marine GFRP laminates subjected to the out-of-plane uniform loads. By the numerical model established previously, we can perform the failure analysis and verify it by experiments. From this, we can get the failure mechanism then design properly to utilize thoroughly the material properties of the laminates.

Keywords: FRP、slamming loads

二、緣由與目的

GFRP 積層板雖有比强度高之優點而廣為快艇結構採用，但其剛性遠較傳統船用金屬材料為低，致使船用 GFRP 積層板在承受水壓等面外負荷時，往往會有變形量太大的問題，因此需加以適當的補強以減少變形量，且在分析時採

用大變形理論[1-3]才可適當模擬其行為；此外，由於船用 GFRP 積層板在承受面外彎曲負荷達初始破壞後剛性並未完全衰減至零，而尚存有殘餘剛性，所以結構仍能承受持續增加之負荷直到其結構崩潰，故評估其材料強度若僅考慮其初始破壞強度，所得之結果將過於保守，此時若以最終強度為設計之基準將可充分發揮材料之特性，因此本研究之破壞分析將以最終破壞負荷為討論對象。

由於波擊負荷係以均佈之型式作用於船殼板面外方向[4-9]，因此，本研究將探討船用 GFRP 板承受面外均佈負荷時之破壞行為，利用前面建立之 GFRP 材料數值模式[10]做破壞分析並以實驗驗證，以確認 GFRP 積層板承受波擊負荷之破壞機構，並做適當之補強以充分利用材料特性。

三、船用 GFRP 積層板波擊破壞分析

在此，以長寬皆為 0.3m、板厚 3.187mm 之 M300 單一纖維積層板為討論對象，積層板係由手積法製成，樹脂為 157BQT。由兩年之分析得知建立 GFRP 材料數值模式時應將斷面分為樹脂層與纖維層，在樹脂材料特性已知之條件下，經由 M300 單一纖維積層板之拉伸與彎曲實驗[10]可得到纖維層之彈性係數與強度分別為：

	有效纖維 單層厚度 (mm)	有效纖維 彈性係數 (Pa)	拉伸強度 (Pa)
M300	0.2186	2.1397×10^{10}	2.9114×10^8

表 1：M300 纖維層材料特性

數值分析採用有限元素套裝軟體 ABAQUS 做為運算工具，輔以使用者付

程式 USDFLD[11]進行破壞判斷及剛性修正，積層板共分 $30 \times 30 = 900$ 個元素，負荷條件為板上每一個元素承受均佈負荷，由於 GFRP 材料剛性相當低所以分析方式採用幾何非線性(大變形)理論，為配合實驗驗證，所設定之邊界條件為四邊固定，圖 1 為有限元素分割圖。

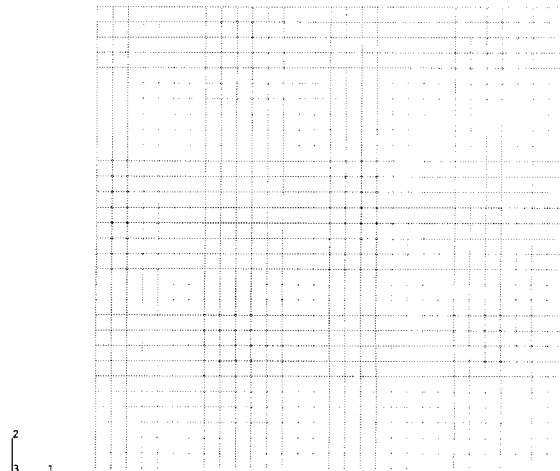


圖 1：M300 單一纖維積層板有限元素分割圖

當四邊固定之 M300 單一纖維積層板承受均佈負荷時，初始破壞負荷為 $1.7 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，此時中點位移量為 9.869mm，相較於板厚 3.187mm 已在大變形之範圍，此確認幾何非線性分析之必要性，初始破壞位置如同小變形幾何線性理論之趨勢發生在板邊界上，惟支配此項行為者已非小變形時之彎曲負荷而為膜應力(membrane force)，有限元素分析所得之壓力位移圖如圖 2。

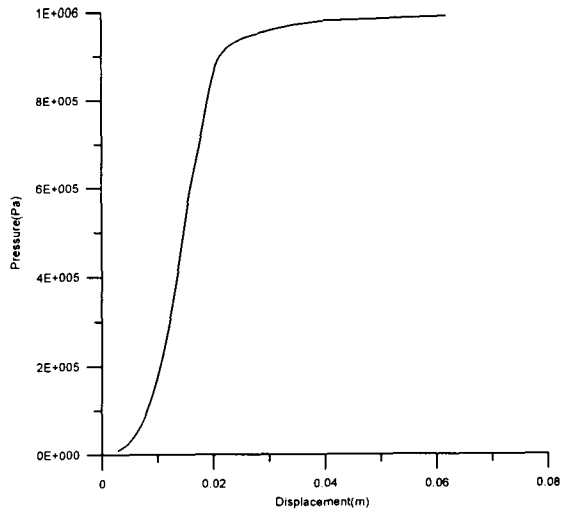


圖 2：四邊固定之 M300 單一纖維積層板承受均佈負荷之壓力位移圖

四、靜水壓潰實驗

針對上述之數值分析將做實驗驗證之。為求破壞形式類似於實際之波擊水壓破壞，故仍利用水作為衝擊之媒介，所以將利用 MTS 100 噸試驗機藉由壓縮活塞、再由活塞壓水最後再由水施力於板來達到面外均佈水壓破壞之效應。

圖 3、4 為實驗設備示意圖與裝置圖，由於為達水壓破壞必須維持水密，所以本實驗僅能針對固定邊界條件做討論，試片夾於示意圖中 C 部分。所量測之數據為試驗機作用力、板中點位移、水壓與應變值。

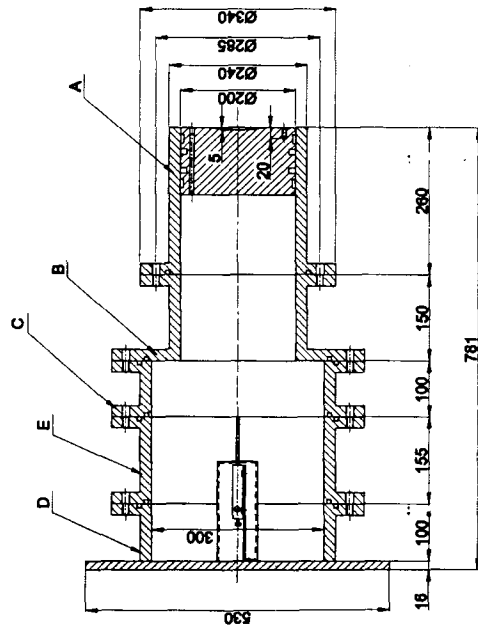


圖 3：實驗設備示意圖

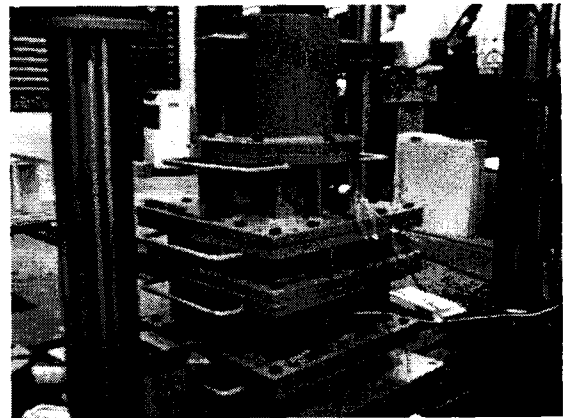


圖 4：實驗裝置圖

經試驗後可得試片之破壞狀況(圖 5)，破壞位置與數值模擬預測者相同，皆發生於邊界處，所測得之最終破壞時最大位移量為 22.076mm，與數值模擬所得之壓力位移圖曲線開始便平時對應值 22.678mm 相近。

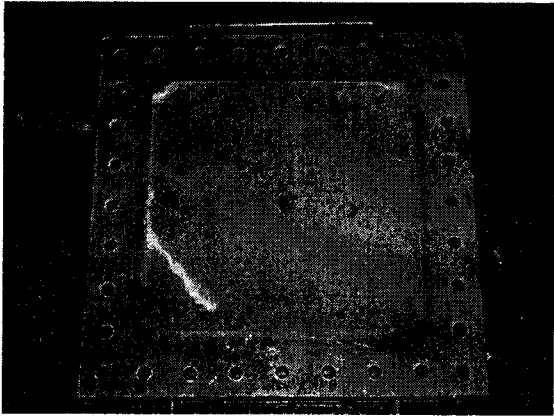


圖 5：M300 單一纖維積層板實驗破壞圖

五、不同邊界條件之面外破壞分析

接下來討論不同邊界條件時積層板之面內破壞分析。將上述數值模式中邊界改為簡支時可得板中點壓力位移圖如圖 6：

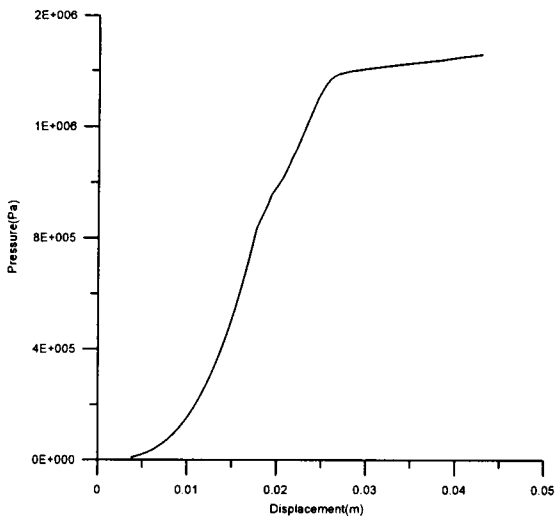


圖 6：四邊簡支之 M300 單一纖維積層板承受均佈負荷之壓力位移圖

初始破壞負荷為 $8.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，對應之位移 17.56mm，亦在大變形範圍，因此由膜應力支配其破壞行為，使得其初始破壞發生得較固定邊界者較晚。

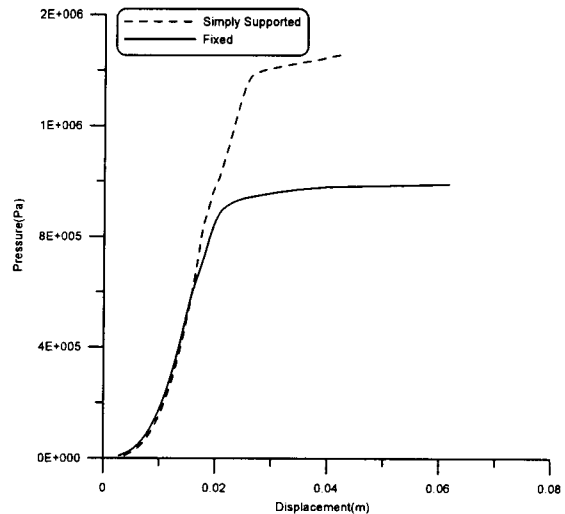


圖 7：不同邊界條件之 M300 單一纖維積層板壓力位移圖比較

比較兩種不同邊界條件之壓力位移圖(圖 7)可知由於固定邊界條件之膜應力較大，所以固定邊界條件板率先達到初始破壞($1.7 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)及最終破壞($9.9 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)，此值遠低於簡支邊界條件積層板之值($8.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、 $1.46 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$)；因此積層板於大變形範圍破壞時行為不同於小變形，小變形時固定邊界條件板強度高於簡支板、較晚達到破壞，而大變形時則相反，簡支板較晚達到破壞，因此在結構設計時應特別注意此種狀況，確認結構變形量進而採用適當之支撐方式。

六、結語

本研究利用有限元素法與實驗對船用積層板之面外波擊破壞行為做討論，得以下結論：

1. 船用 GFRP 積層板由於剛性遠較軟鋼等船用材料為低，因此在承受水壓等面外均佈負荷時，往往會有較大變形產生，此時，應使用大變形理論分析之。
2. 不同邊界條件之板承受面外均佈負荷時，幾何線性理論顯示簡支板之初始破

壞負荷低於固定板，然以幾何非線性理論分析時，會得到相反之結果，即固定板較簡支板早達初始破壞，結構所能支撐之最大負荷亦較小。

3. 在考量船底板配置時，應特別注意其可能變形量大小，若變形量在大變形範圍，板之周邊以簡支邊界為佳，反之，小變形時固定邊界之板的強度較強，周邊以固定支撐為佳。

七、參考文獻

1. Di Sciuva, M., Icardi U., and Villani, M., "Failure analysis of composite laminates under large deflection." *Composite Structures*, 40, pp. 239-255 (1998).
2. Kam, T. Y. and Sher, H. F., "Nonlinear and first-ply failure analyses of laminated composite cross-ply plates." *Journal of Composite Materials*, Vol. 29, No. 4, pp. 463-482 (1995).
3. Reddy, Y. S. N. and Reddy, J. N., "Linear and non-linear failure analysis of composite laminates with transverse shear." *Composites Science and Technology*, 44, pp. 227-255 (1992).
4. S. L. Chuang, "Experiments on Slamming of Wedge-Shaped Bodies.", *Journal of Ship Research*, vol.11, September 1967, pp.190-198.
5. 山本善之, 大坪英臣, 河野好秀, "楔形物体の水面衝撃", 日本造船學會論文集,
6. S. L. Chuang, "Theoretical Investigations on Slamming of Cone-Shaped Bodies.", *Journal of Ship Research*, vol.13, December 1969, pp.276-283。
7. V. Ferdinande, "Theoretical Considerations on The Penetration of a Wedge into The Water.", *ISP*, vol.13, No.140, 1966。
8. P. Payne, "The vertical impact of a wedge on a fluid.", *Ocean Engineering*, vol.8, No.4, 1981。
9. S. L. Chuang, "Experiments on Flat-Bottom Slamming.", *Journal of Ship Research*, vol.10, March 1966, pp.10-17。
10. Lee, Y. J., Chung, C. H., "Study on the mechanical properties of marine FRP laminates." *Journal of Composite Materials*.(In press)
11. ABAQUS/Standard User's Manual, Version 5.8, Hibbit, Karlsson and Sorensen (1998)