

# 細網格有限元素分析求解船體樑極限強度與 共同結構規範方法之比較

黃建樺\*<sup>1</sup>

\*中國驗船中心

關鍵詞：船體樑極限強度，挫曲，縱向強度

## 摘要

共同結構規範(Common Structure Rules, CSR)自 2006 年 4 月 1 日實施之後，船體樑極限強度(Hull girder ultimate strength)成為強制性的檢核項目。此極限強度考慮了縱向結構構件之塑性、後挫曲之力學特性，較傳統規範對船體樑之縱向強度要求具有更深一層的理論基礎與考量，可望進一步降低船體樑斷裂發生之機會，確保船舶安全並避免事故發生後的環境污染事件。本文使用兩種方法求解 5 種不同船型之船體樑極限強度：一、自行開發符合 CSR 要求之程式—CR Ultimate；二、細網格非線性有限元素分析。其中 CR Ultimate 採用 CSR 所建議之增量疊代法(Incremental-iterative approach)，而有限元素分析法亦為 CSR 所允許之替代法(Alternative method)，兩者之假設條件多有不同，所得之結果亦有差異，故有探討並加以比較之必要，以作為評估時之參考。

## 前言

CSR 所規定的船體樑極限強度屬於船體縱向彎曲強度較深入之要求。傳統結構規範規定船體樑需有足夠之剖面模數、斷面慣性矩，仍無法防止船體樑折斷事件不斷地發生。學者研究後認為此現象乃船體樑承受彎矩後開始有結構材料進入塑性範圍，隨著塑性區域擴大，船體樑無法繼續承受更大的彎矩，導致變形快速增大，使整個甲板或船底結構發生破壞。由於船體樑承受壓應力一側之結構，在尚未到達降伏應力前就很可能發生挫曲，如圖 1 應力應變關係之第一象限部分。故塑性和挫曲現象都必須同時納入考量，才不致高估了船體樑彎曲強度。

理想化之船體樑彎曲強度可視為所有縱向構件所貢獻之力矩組合而成，典型的船體樑之彎矩一曲率曲線( $M-\chi$  curve)示意如圖 2。圖中分為舭拱(Hogging)與舭垂(Sagging)兩種情況。此曲線兩個峰值  $M_{UH}$  與  $M_{US}$  即為船體樑極限強度。

CSR 包含雙殼油輪與散裝船兩套規範，以下分別簡稱為 CSR-OT[1]和 CSR-BC[2]。大於 150m 船長之雙殼油輪與散裝船都必須評估船體樑極限強度。兩套規範求取極限強度建議使用之增量疊代法(以下簡稱為 CSR 法)大致相同，僅使用之單位和符號有所不同。

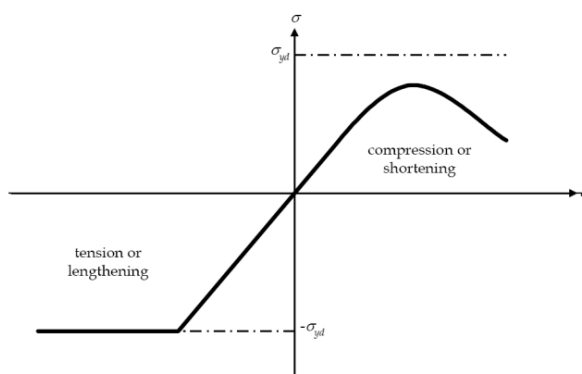


圖 1 船體構件承受軸向應力時之應力應變關係[1]

CSR 法實際上即為理想化結構單元法(Idealized structural unit method, ISUM)，由 Ueda 和 Rashed[3]於 1974 年所命名。同一時期 Smith[4]於 1977 年指定非線性結構特性給平板與加強材所組合之結構單元，進而求取船體樑極限強度。故 CSR 法有時也稱為 Smith 法。

相較於 CSR-BC，CSR-OT 規定使用非線性有限元素法進行計算亦可視為可接受之替代法。本文採用 CSR 法和有限元素法求解 5 種不同船型之船體樑極限強度，並進行比較。

<sup>1</sup> 責任作者(chhuang@crclass.org.tw)