

## 岸壁クレーンの耐荷力算定法

三井造船株式会社  
三井造船株式会社

徳永 耕一  
赤瀬 雅之

三井造船株式会社  
三井造船株式会社

正会員 久保 博司  
正会員 ○辻 省悟

## 1. はじめに

近年, BRICs の台頭にも示唆される世界経済の持続的成長, グローバリゼーションによって世界の物流が活況である. これにはコンテナ輸送が欠かせない. コンテナ船は年々大型化し, これに伴って港湾荷役機械も巨大化, 高速化が進んでいる. 海一陸のコンテナ受け渡しの主役は, 巨大鋼構造物である岸壁クレーン (以降 P T と表記) である. 今や港湾都市の主機能として欠かせない存在である.

本件は, 日本の土木分野で研究が積み重ねられてきた薄肉構造物の終局強度算定式を, 世界に先駆けて P T の構造設計に適用した事例報告である.

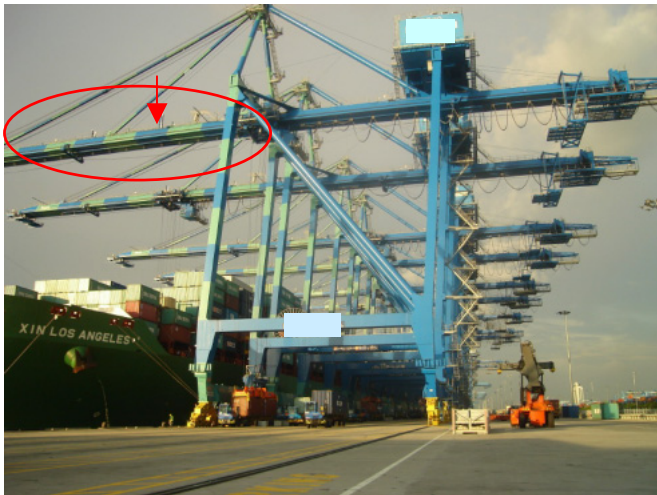


写真-1

## 2. 設計方針

写真-1の赤丸部・図-1のモデル図に示す, 実機 P T のブームと称する部材を設計した. 当該部材は斜吊カンチレバーの構造で, 斜吊間隔は最長で 25.78m である. 構造は台形断面の 1 箱桁形式である. 本報告に記す対象断面は, 写真-1・図-1 に示す矢印部の上フランジである. この部位を取り挙げたのは, ①交番域であり母材板厚が薄くなること, ②活荷重の変動を受け易い断面であること, が理由である. 圧縮補剛板となる上フランジは母材板厚が 12mm (SM490YA) で, 縦補剛材に FB 125×9 (SS400) を使

用する. 桁の軸方向に 2500mm 間隔で横補剛材を設け, 縦補剛材は概ね 500mm 間隔で配置する. 断面力は立体骨組解析 (微小変位理論) で算出し, 断面決定は許容応力度設計法 (JIS B 8821) で行った. さらに圧縮補剛板の終局強度計算を行って上フランジの安全性を検証した.

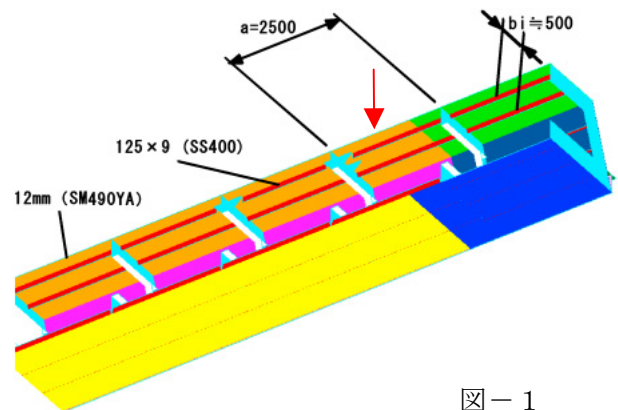


図-1

## 3. 終局強度算定式

座屈設計ガイドライン<sup>1)</sup>に掲載されている種々の圧縮補剛板終局強度評価式の中で, 本設計には三上の式<sup>1) 2)</sup>を採用した. この理由は, ①簡易な式で表現されていること, ②全体座屈強度, 部分座屈強度, 局部座屈強度がそれぞれに求まり崩壊モードも検証できること, ③母材と材質が異なる縦補剛材を採用しても適用できること, ④縦補剛材が連続していない場合でも偏心圧縮を受ける補剛板として補正方法が用意されていること, などが挙げられる.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \sigma_{up} / \sigma_{Yfc} &= 1.0 && : \lambda_p \leq 0.526 \\ &= (0.526 / \lambda_p)^{0.7} && : \lambda_p > 0.526 \end{aligned}$$

$$\textcircled{4} \phi = 1 / (1 + 0.2ec/r^2)$$

この三上の式により終局強度算定を行った結果, 当該フランジは材料強度の低い縦補剛材の局部座屈よりも部分座屈が先行することが分かり, その時の終局強度は直応力で  $\sigma_{cr,m} = 143 \text{ N/mm}^2$  となることが分かった.

## 4. FEM解析

キーワード 鋼構造, 耐荷力, 座屈, 設計, 三上理論, 三上式

連絡先 〒870-0395 大分市日吉原3番地 三井造船(株)大分鉄構運搬機工場 TEL 097-593-3051

対象断面の検証のため、FEM解析も行った。解析には汎用非線形有限要素解析 ABAQUS ver6.57 を使用し、ブームを全体モデルとして複合非線形解析した。材料非線形は完全弾塑性体とした。幾何学的非線形は吊構造であるので実機の架設ステップを反映することにより考慮した。さらに、初期不整として  $L/1000$  の初期たわみを考慮した。

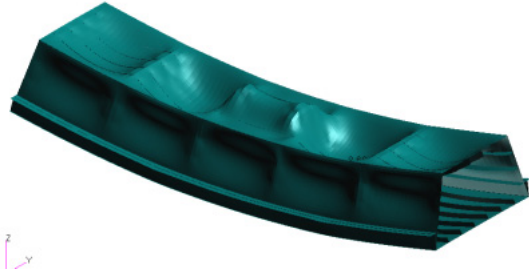


図-2 縦補剛材降伏時の座屈変形

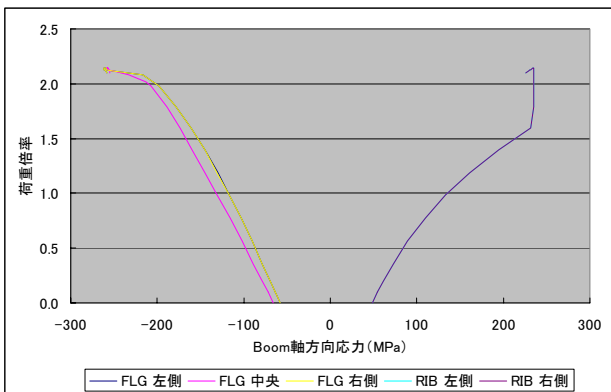


図-3 応力状態

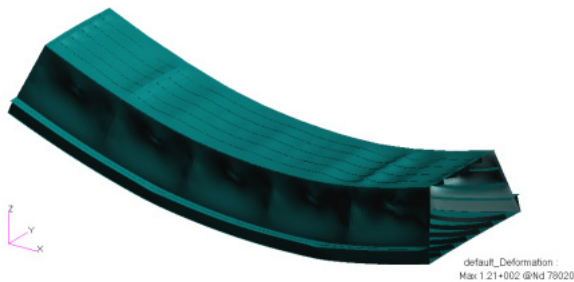


図-4 縦補剛材降伏時の座屈変形 (補強後)

## 5. 設計結果と FEM による検証

上フランジの直応力について、三上の式による終局強度と FEM 解析結果とを比較すると、三上式： $\sigma_{cr\_m} = 143 \text{ N/mm}^2$ 、FEM： $\sigma_{cr\_f} = 140 \text{ N/mm}^2$ となる。当該位置での上フランジの座屈は、吊荷に換算する

と約 200 t で発生する。PT の性能上さらなる安全率が求められたことから、このパネルに横補剛材を追加して補強することとした。

## 6. まとめ

FEM 解析結果による崩壊モードは上フランジの部分座屈先行であり、これは三上の式とも一致する。

本設計断面のような上フランジ板厚 12mm (SM490Y)、縦補剛材 FB 125×9 (SS400) 約 500mm 間隔 (補剛板幅厚比パラメータ 1.0 近傍) の場合、JIS B 8821 での板の局部座屈許容応力度に対して、低い段階で実際の終局状態を迎えることが分かった。JIS で座屈計算を行い、安全率を 1.7 としていても、実際には 1.3 程度の安全率しか確保できないこととなる。

PT の圧縮補剛板において耐荷力を向上させる検討を、横補剛材を追加する方法の他に三上の式を用いて試算した。その結果、FB 125×9 の縦補剛材本数を増やして間隔を狭めてもその効果は少なかった。それに対して、縦補剛材を FB 150×12 として剛度を上げることは飛躍的に耐荷力を向上 (45%アップ) させる結果となった。

## 7. 今後の設計に適用するための考察

道路橋と比較すると、PT のブーム設計は種々の条件が道示の規定から外れる。縦補剛材の剛度は道示掲載の必要剛度を満たすことができれば最良であるが、この基準は製品の設計思想 (単一パネルの局部座屈や部分座屈のどれを先行させるか? 安全率はいくらに設定するか? など) から生まれる。

基準を検討する際、逐一 FEM 解析を行っても良いが、三上の式で簡便に耐荷力算定できることが分かった。なお、本報告にないが、三上の式は上フランジ座屈後に迎えるウェブのせん断座屈についても的確に算定できたことを付記しておく。

詳細報告は講演当日に委ねる。

## 8. 謝辞

本設計を行うに際し、三上市藏 関西大学名誉教授、長崎大学 丹羽量久教授にご指導いただいた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 土木学会, 座屈設計ガイドライン, 土木学会鋼構造委員会, 2005. 10
- 2) 三上市藏: プレートガーダーおよびボックスガーダーの終局限界状態設計に関する研究, 平成3年度科学研究費補助金 (一般研究 (B)) 研究成果報告書, 1992. 3