製品開発

風圧抵抗低減型居住区の開発

馬場　禎男*
Sadao Baba

環境保護の観点と主力商品の市場競争力向上の観点から，Green ship of Namura(GN)プロジェクト-船舶からの CO_2 削減プロジェクト活動[1)]を平成22年10月より開始した．本プロジェクト活動の一つとして，風圧抵抗低減型居住区の開発に取り組んだ．第一段階として，隅切りを施した居住区の開発を行った．次に第二段階として，正面面積をできる限り小さくし，かつ居住区とエンジンケーシングを一体化することで更なる風圧抵抗の低減を目指した．低減効果を確認するための風洞試験は一般財団法人日本造船技術センターに委託し，独立行政法人海上技術安全研究所の変動風水洞にて実施した．模型は各段階において従来型居住区と風圧抵抗低減型居住区に対し，上部構造物単体と満載喫水線上の船体を付加した上部構造物をそれぞれ2種類ずつ製作した．風洞試験結果より，第二段階で開発した居住区の正面向かい風での風圧抵抗低減効果は，従来型居住区に対して上部構造物単体で約 22.7%，船体部付き上部構造物で約11.0%となることが確認された．250,000DWT型鉱石運搬船に採用する場合，Beaufort Scale 4～6(絶対風速 5.5～13.8m/s)の正面向かい風の条件下で約0.7～1.7%の馬力削減効果が見込まれる．

1．緒言

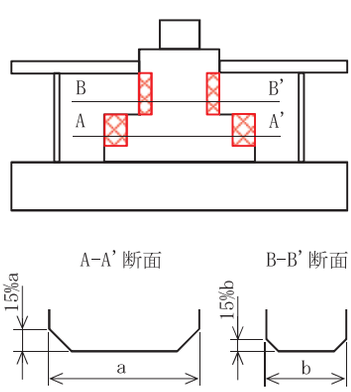
実海域中を航行する船舶は常に風波等の外乱の影響を受ける．ウェザールーティングによる最適航路を運航することで外乱の影響を極力小さくすることは可能であると考えられるが，外乱自体を無くすことはできない．そのため，平水中での船舶の推進・操縦性能だけでなく，実海域での性能の最適化も必要となる．

一般的に船舶の全抵抗に占める水による抵抗の割合が大きいため，弊社では実海域における推進性能評価を目的として波浪中抵抗増加試験を実施し，船型開発に取り組んできた．一方，風による抵抗についても無視できず，風圧抵抗を低減させる船体形状や居住区形状の研究が行われている[2),3)]．弊社建造の250,000DWT型鉱石運搬船にて全抵抗に占める風圧抵抗の割合を試算したところ，Beaufort Scale 4～6の正面向かい風の条件下で常用出力において約5～12%と推定された．そこで，弊社では平成22年度から風圧抵抗低減型居住区の開発に取り組んだ．

2．コーナーカット型居住区

2．1　形状

250,000DWT型鉱石運搬船を対象に，既存の居住区前面の左右コーナー部を三角形にカットした場合の居室配置を検討し，どの程度のカット量であればデザインとして成立するのかを確認した．居住区とコーナーカット処理部の概念図を第1図に示す．



第1図　コーナーカット型の居住区形状

原稿受理日：July 31, 2013
*株式会社名村造船所　船舶海洋事業部　設計本部　企画開発部　開発課

２．２　風洞試験

試験は一般財団法人日本造船技術センターに委託し，独立行政法人海上技術安全研究所の変動風水洞にて実施した．

２．２．１　模型

模型は上部構造物単体と満載喫水線上の船体を付加した上部構造物(以下，上部構造物+船体)の２種類を製作した．なお，上部構造物単体模型の実船寸法比は約1/67，上部構造物+船体模型は約1/191とした．従来型とコーナーカット型の上部構造物+船体模型をそれぞれ写真1と写真2に示す．

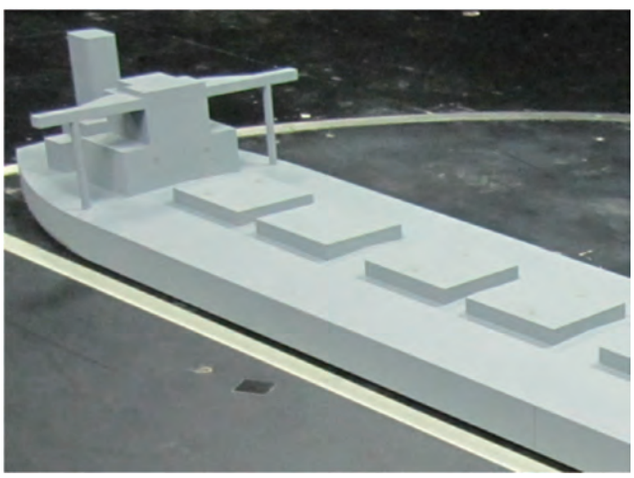


写真１　従来型の上部構造物+船体模型

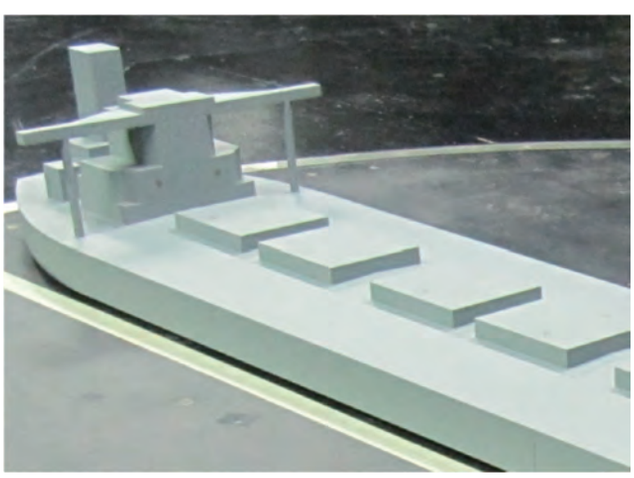
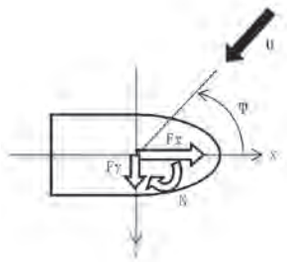


写真２　コーナーカット型の上部構造物+船体模型

２．２．２　風速変更試験

臨界レイノルズ数を超える風速であれば，層流影響が十分に小さく，風圧力・風圧モーメントを無次元化することで得られる風圧力係数・風圧モーメント係数が同程度の値に安定すると考えられる．そこでどの程度の風速以上であれば臨界レイノルズ数を超えるのかを確認することを目的として，10，15，20，25，30m/sの５種類の風速にて前後力Fx，横力Fy，回頭モーメントNを計測した．風向は0°，45°，90°とし，それぞれ２回ずつ計測し，その平均値をとった．用いた座標系を第２図に示す．



第２図　座標系

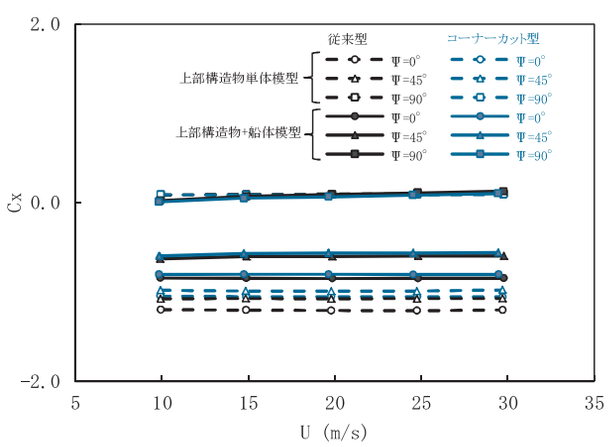
第３図に風圧抵抗係数Cxの結果を，第４図に横力係数Cyの結果を，第５図に風圧回頭モーメント係数Cnの結果を示す．各係数の無次元化は(1)～(3)式の通りである．

$$Cx=\frac{Fx}{\frac{1}{2}\rho A_T U^2} \qquad (1)$$

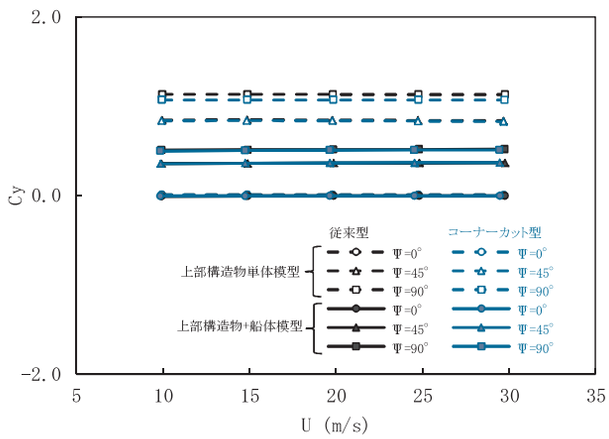
$$Cy=\frac{Fy}{\frac{1}{2}\rho A_L U^2} \qquad (2)$$

$$Cn=\frac{N}{\frac{1}{2}\rho A_L L U^2} \qquad (3)$$

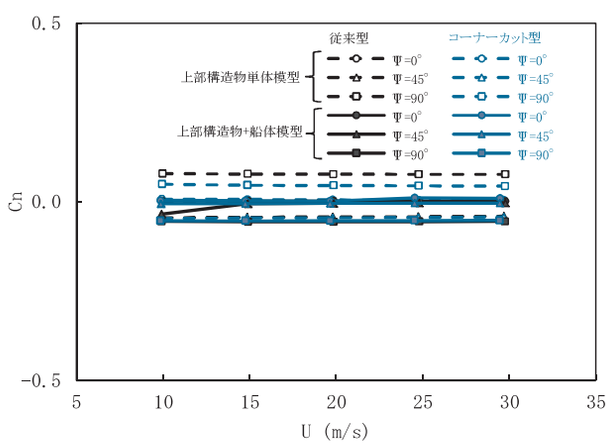
ここで，ρは空気密度，A_Tは正面風圧面積，A_Lは側面風圧面積，Lは全長，Uは風速である．なお，Fxは船首方向を正としているため，抵抗の場合には負の値となる．従来型とコーナーカット型のそれぞれ上部構造物単体模型と上部構造物+船体模型ともに，概ね20m/s以上の風速において模型に働く風圧力・風圧モーメントは収束していることが確認できた．



第３図　風速変更試験結果（Cx）



第４図　風速変更試験結果（Cy）



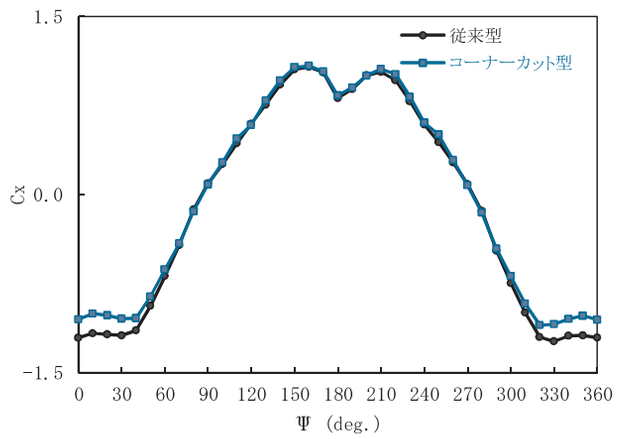
第５図　風速変更試験結果（Cn）

２．２．３　風圧抵抗計測試験

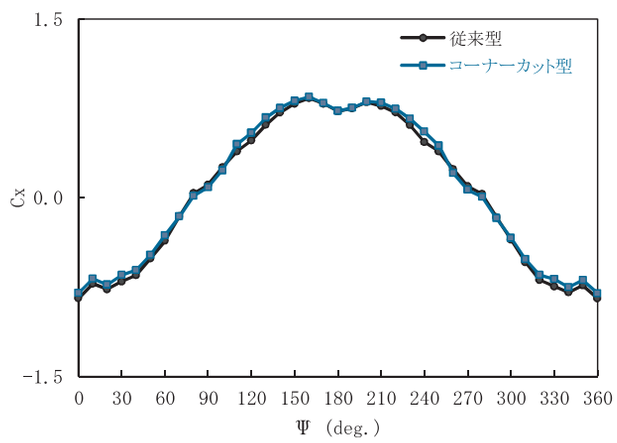
風速変更試験結果より風速を 25m/s として前後力 Fx，横力 Fy，回頭モーメント N を計測した．風向は 0°～360°の範囲を 10°刻みとし，それぞれ２回ずつ計測し，その平均値をとった．

第 6 図に上部構造物単体模型による Cx の結果を，第 7 図に上部構造物+船体模型による Cx の結果を示す．従来型とコーナーカット型の正面風圧抵抗係数 Cx_0（Ψ=0°，360°における Cx の平均値）を比較すると，コーナーカット型は従来型に対し，上部構造物単体模型で約 12.7%減，上部構造物+船体模型で約 5.1%減となることが確認された．

風圧抵抗を全抵抗に含めて馬力計算を行い，正面風圧抵抗の低減がどの程度の馬力低減に相当するのかを確認した．Beaufort Scale 4～6 の条件で，250,000DWT 型鉱石運搬船の正面風圧抵抗の低減効果は，約 0.3～0.8%の馬力低減に相当すると推定される．



第６図　上部構造物単体模型による従来型とコーナーカット型の Cx の比較



第７図　上部構造物+船体模型による従来型とコーナーカット型の Cx の比較

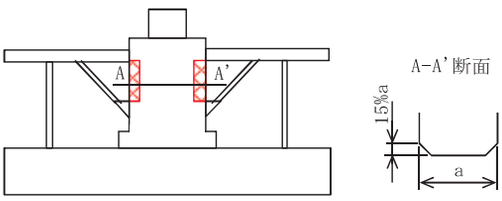
３．タワー型居住区

３．１　形状

250,000DWT 型鉱石運搬船を対象に，更なる風圧低減効果を得るために，正面風圧面積の削減に取り組んだ．居住区の幅はエンジンケーシングと同じ幅とし，さらにコーナーカットを施して居室配置の検討を実施した．ただし，アッパーデッキに関しては前方にハッチコーミングがあるため風圧抵抗減効果は小さいと考えられるので，アッパーデッキのみハッチコーミング幅まで広げることにした．基本的な居住区幅は船幅の 1/4 以下にしている．居住区とコーナーカット処理部の概念図を第８図に示す．また，機関室や居住区周りの艤装品配置の検討も実施し，問題ないことを確認している．

タワー型の居住区部分の正面風圧面積は，従来型と比較して約 25%小さくした．満載喫水線上の船体部等を含める

と，約8%小さくなっている．ただし，総床面積を確保するため側面面積を大きくしている．上部構造物の側面面積は従来型と比較して約12%大きく，船体部等を含めると約2%大きくなっている．



第8図　タワー型の居住区形状

３．２　風洞試験

コーナーカット型居住区と同様の試験を実施した．

３．２．１　模型

模型は上部構造物単体と上部構造物+船体の 2 種類を製作した．なお，上部構造物単体模型の実船寸法比は約1/64，上部構造物+船体模型は約1/194とした．2.2.1の模型と尺度が若干異なる．また，従来型とタワー型では居住区から延びる支柱が異なるため，両者とも支柱を追加している．従来型とタワー型の上部構造物+船体模型をそれぞれ写真3と写真4に示す．

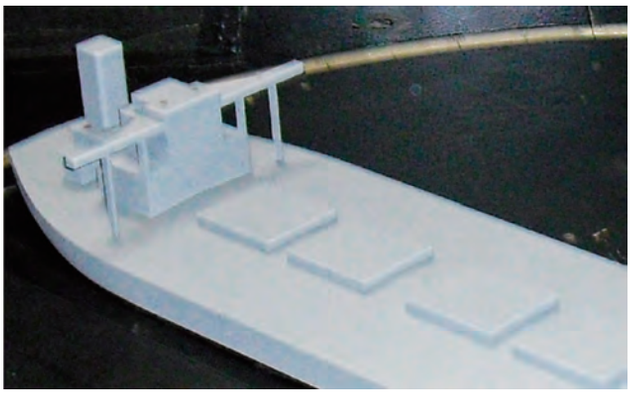


写真3　従来型の上部構造物+船体模型

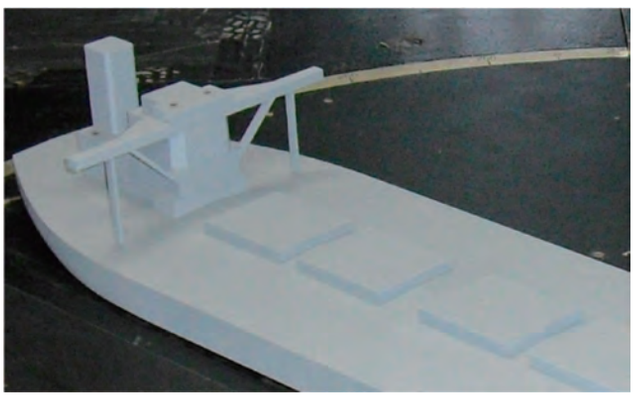


写真4　タワー型の上部構造物+船体模型

３．２．２　風速変更試験

2.2.2 と同様の試験を実施し，従来型とタワー型のそれぞれ上部構造物単体模型と上部構造物+船体模型ともに，概ね25m/s以上の風速において模型に働く風圧力・風圧モーメントは収束していることが確認できた．

３．２．３　風圧抵抗計測試験

2.2.3と同様，風速を25m/sとして試験を実施した．

第9図に上部構造物単体模型によるCxの結果を，第10図にCyの結果を，第11図にCnの結果を示す．Cxについて，従来型では相対風向30°で最大値となり，タワー型では相対風向20°で最大値となっている．Cx_0で比較すると，タワー型は従来型に対して約8.6%減となった．Cyについて，相対風向90°～120°の範囲でタワー型の方が従来型よりも小さくなった．Cnについて，相対風向90°～180°の範囲でタワー型の方が従来型よりも小さくなった．

また，第12図に上部構造物+船体模型によるCxの結果を，第13図にCyの結果を，第14図にCnの結果を示す．Cxについて，従来型とタワー型ともに相対風向0°で最大値となっている．Cx_0で比較すると，タワー型は従来型に対して約2.8%減となった．Cyについて，最大値となる相対風向90°で比較すると，タワー型は従来型に対して約4.0%増となった．Cnについて，最大値となる相対風向120°で比較すると，タワー型は従来型に対して約1.1%増となった．

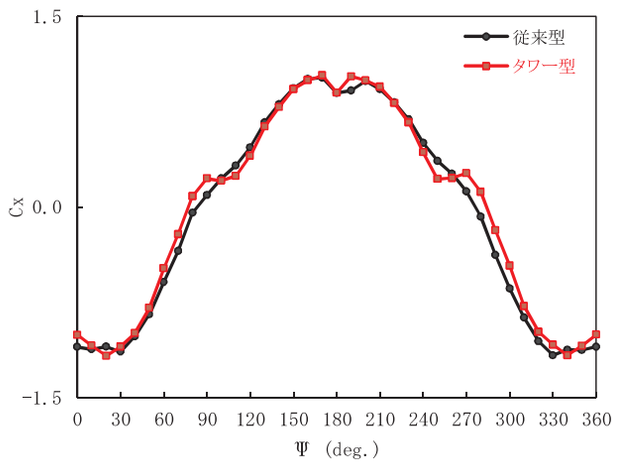
次に従来型とタワー型では正面風圧面積および側面風圧面積が異なるので，Fx，Fy，N の最大値同士で比較する．ただし，Fx，Fy，N の計測値を用いると風速や空気密度の試験時のばらつきの影響を受けるため，風速を 25m/s，空気密度を0.127kgf・s^2/m^4として(4)～(6)式で計算した値で比較する．なお，Cx，Cy，Cnは試験結果より求めた係数とし，A_T，A_L，Lは模型寸法とする．

$$Fx_cal=\frac{1}{2}\rho A_T U^2 Cx \qquad (4)$$

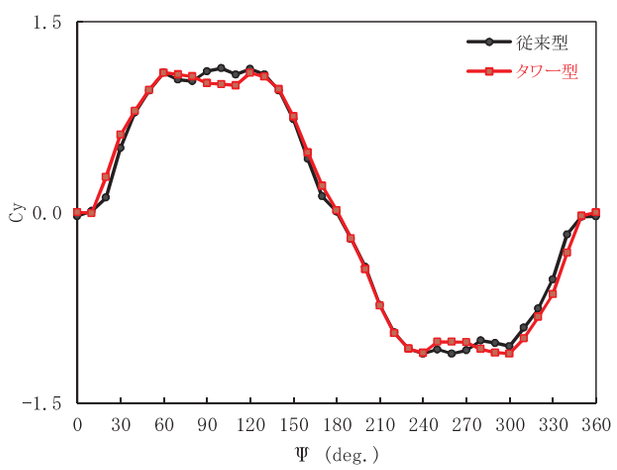
$$Fy_cal=\frac{1}{2}\rho A_L U^2 Cy \qquad (5)$$

$$N_cal=\frac{1}{2}\rho A_L L U^2 Cn \qquad (6)$$

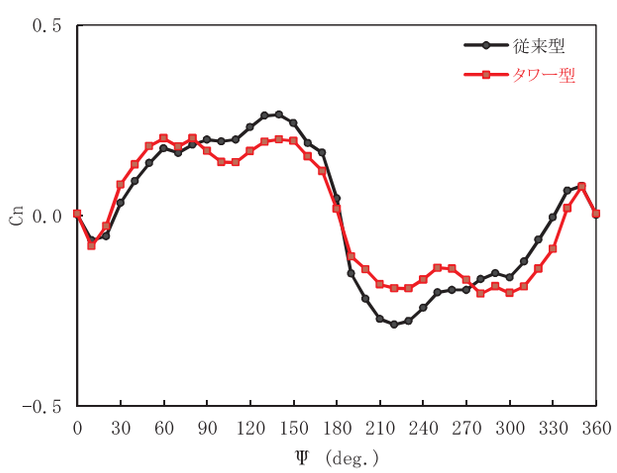
第15図に上部構造物+船体模型によるFx_calの結果を，第16図にFy_calの結果を，第17図にN_calの結果を示す．タワー型は従来型に対してFx_calが約11.0%減，Fy_calが約5.5%増，N_calが約2.6%増となった．



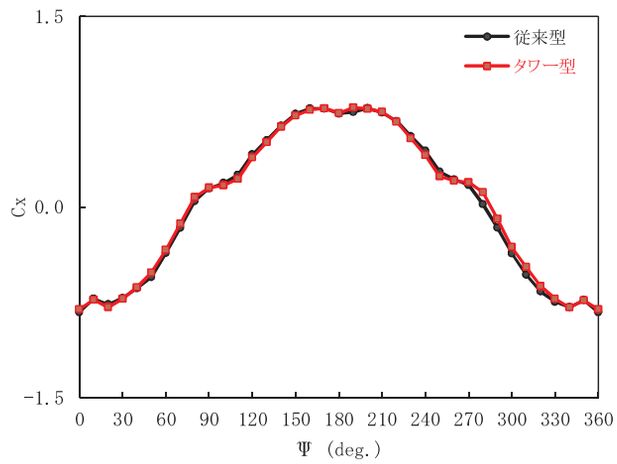
第9図　上部構造物単体模型による従来型とタワー型のCxの比較



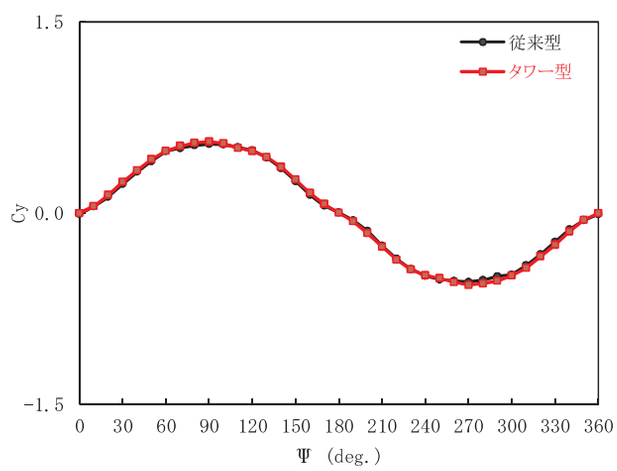
第10図　上部構造物単体模型による従来型とタワー型のCyの比較



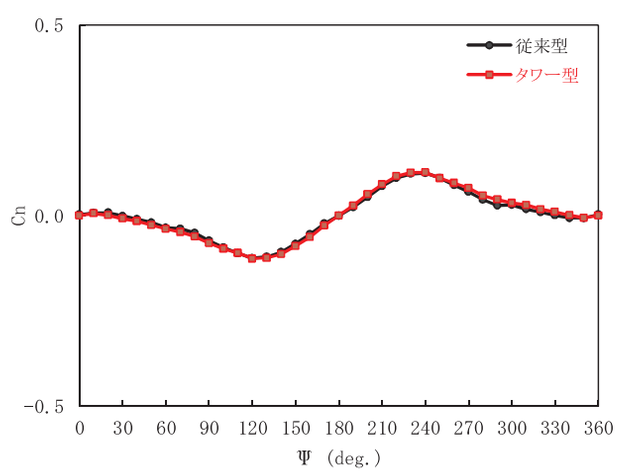
第11図　上部構造物単体模型による従来型とタワー型のCnの比較



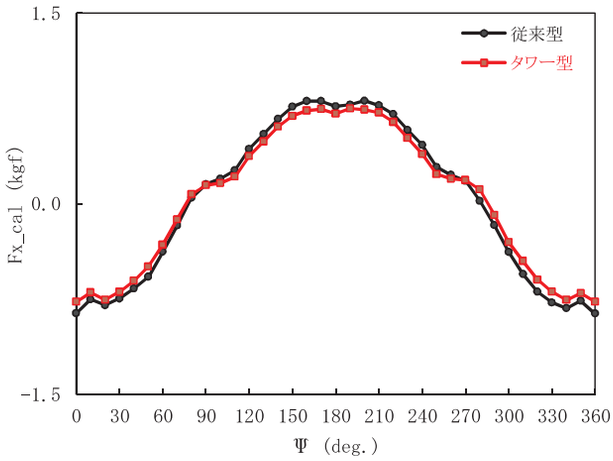
第12図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のCxの比較



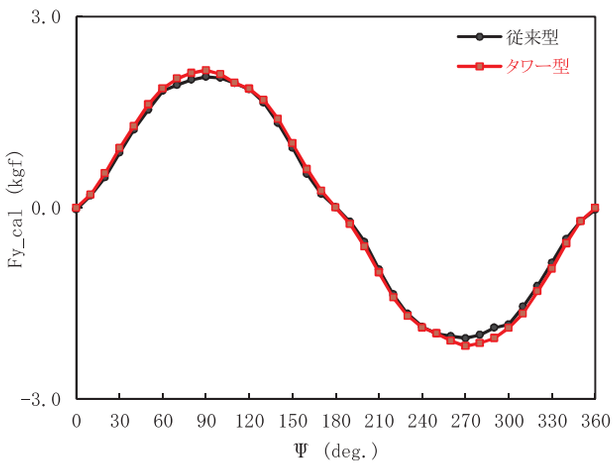
第13図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のCyの比較



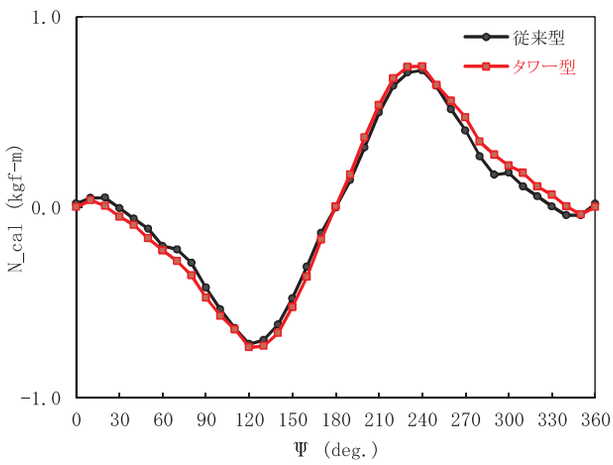
第14図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のCnの比較



第15図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のFx_calの比較



第16図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のFy_calの比較



第17図　上部構造物+船体模型による従来型とタワー型のN_calの比較

風圧抵抗を全抵抗に含めて馬力計算を行い，正面風圧抵抗の低減がどの程度の馬力低減に相当するのかを確認した．Beaufort Scale 4～6の条件で，250,000DWT型鉱石運搬船の正面風圧抵抗の低減効果は，約0.7～1.7%の馬力低減に相当すると推定される．

4．結言

250,000DWT 型鉱石運搬船を対象に風圧抵抗低減型居住区の開発に取り組み，コーナーカット型では約5.1%，タワー型では約11.0%の風圧抵抗低減効果が得られた．現在，コーナーカット型居住区については数隻の採用実績がある．タワー型居住区については 今後振動解析等を実施し，採用に向けて詳細検討を進める．

謝辞

本風圧抵抗低減型居住区の開発にあたっては，著者を含めた船舶海洋事業部設計本部5名のメンバーを中心とし，設計本部の各部課の協力も得ながら進めてきた．

風洞試験に際しては，一般財団法人日本造船技術センターの方々に多大なるご指導，ご協力を頂いた．

この場を借りて関係各位に御礼を申し上げます．

参考文献

1)夏城力：GREEN SHIP OF NAMURA-船舶からのCO_2削減プロジェクト活動-　名村テクニカルレビュー No.14　2011 年 pp.20-25

2)松本光一郎ほか：船舶の正面および側面に働く風圧力低減の試み　関西造船協会論文集　第 240 号　2003 年 pp.115-121

3)池田剛大ほか：風圧抵抗低減船型に関する検討　日本船舶海洋工学会講演会論文集　第 14 号　2012 年 pp.409-412