

# 船体防撓パネルの座屈強度に及ぼす防撓材の影響調査と 迅速な簡易座屈固有値推定法の開発

生産技術学専攻 5123001 出口 恭平 指導教員 古野 弘志

現在、日本の造船業界は熾烈な国際競争にさらされており、コスト競争力の向上が急務である。そこで、2023年度の先行研究では、船殻重量の軽い新しい船体構造の探索を目的として遺伝的アルゴリズムを用いた構造初期計画システムを開発した。しかし、研究の時間的制約の問題で座屈強度の制約条件を考慮するまでに至っていない。この座屈強度の評価では、高速かつ自動的に数多くの設計案を探索するため、有限要素法を用いた座屈強度評価を適用することは時間的な制約により困難である。そこで、本研究では、船体防撓パネルの弾性座屈挙動を大略的に把握しつつ迅速かつ高精度な船体防撓パネルの座屈固有値推定法(AISSEM.SPBUck)の開発を行う。

## 1. 船体の防撓構造に発生する応力

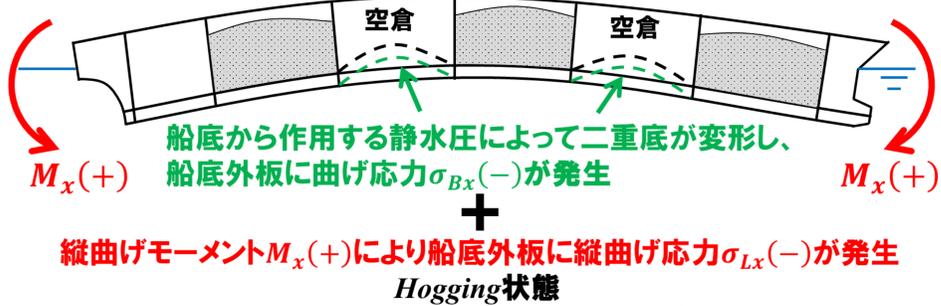


Fig. 1 船底外板に発生する圧縮応力

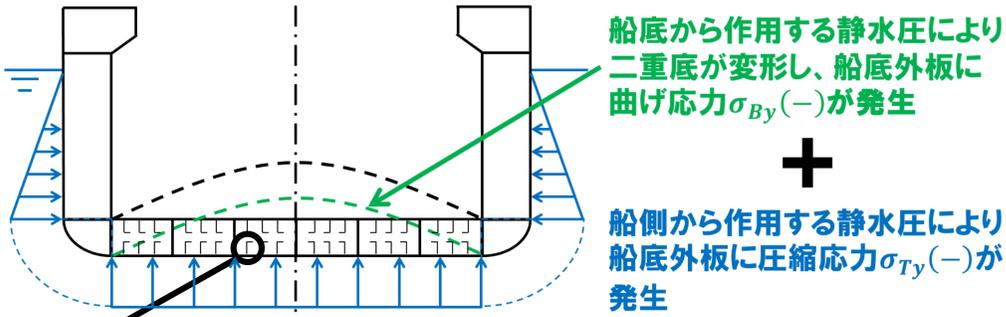


Fig. 2 船底外板に発生する圧縮応力

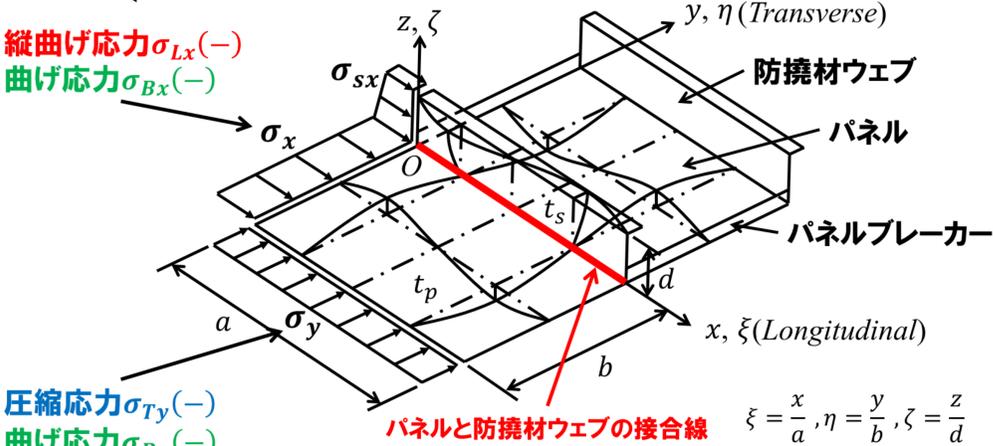


Fig. 3 船体防撓パネルの工学的モデル化

## 2. 船体防撓パネルの簡易座屈固有値推定法の推定精度確認

既存の研究である古野の方法(SSEM.SPBUck)の推定精度を有限要素法(FEM)の計算結果と比較し、確認する

• パネルの座屈モードの仮定

$$w_p(\xi, \eta) = \sin m\pi\xi \{ \delta_{p1} \sin \pi\eta + \delta_{p2} \eta(1 - \eta) \} \quad (1)$$

• 防撓材ウェブの座屈モードの仮定

$$w_s(\xi, \zeta) = \sin m\pi\xi \{ \delta_{s1} \sin \pi\zeta + \delta_{s2} \zeta(2 - 3\zeta + \zeta^2) + \delta_{s3} \zeta \} \quad (2)$$

エネルギー法を用いて、ラグランジェの未定乗数法でパネルと防撓材ウェブの接合線上における撓み角の連続条件 $f_1$ 、曲げモーメントの連続条件 $f_2$ を保証する

$$J = U_p + U_s + U_f - W_{px} - W_{py} - W_{sx} - W_{fx} + \Gamma_1 \cdot f_1 + \Gamma_2 \cdot f_2$$

固有値行列E ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ はラグランジェの未定乗数)

$$E = \begin{bmatrix} A_{11} - \lambda C_{11} & A_{12} - \lambda C_{12} & 0 & 0 & 0 & \pi d & 0 \\ & A_{22} - \lambda C_{22} & 0 & 0 & 0 & d & 2D_p d^2 \\ & & B_{11} - \lambda D_{11} & B_{12} - \lambda D_{12} & B_{13} - \lambda D_{13} & -\pi b & 0 \\ & & & B_{22} - \lambda D_{22} & B_{23} - \lambda D_{23} & -2b & 3D_s b^2 \\ & & & & B_{33} - \lambda D_{33} & -b & 0 \\ & & & & & 0 & 0 \\ & & & & & & 0 \end{bmatrix}$$

$\det. E = 0$ となる座屈固有値 $\lambda$ を求め、弾性座屈応力を次式で求める

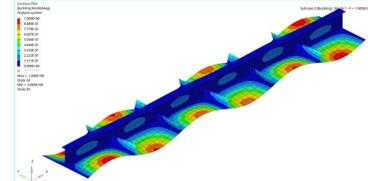
$$\sigma_{xcr} = \lambda \sigma_x \quad \sigma_{ycr} = \lambda \sigma_y$$

## SSEM.SPBUckを用いて756通りの船体防撓パネルの $\sigma_{cr}$ を計算

パネルの辺のアスペクト比 $a/b$	1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0
パネルの板厚 $t_p$	10, 15, 20mm
防撓材の断面形状	T型鋼、アングル材、平鋼
防撓材の深さ $d$	250, 350, 450mm
圧縮応力比 $\sigma_y/\sigma_x$	0.0, 0.5, 1.0, 1.5

これらのモデルのうち有限要素法(FEM)を用いて324通りの船体防撓パネルの $\sigma_{cr}$ を計算

$\sigma_{cr}$ を防撓材のない周辺支持の板(防撓材なし、 $a/b=1.0$ 、 $t_p=10$ mm、 $\sigma_y/\sigma_x=0.0$ 、 $m=1$ )の弾性座屈応力 $\sigma_{cr0}$ で割り無次元化して以下に示す



計算結果

• SSEM.SPBUckの推定値はFEMの計算結果とよく一致する

実線: SSEM.SPBUck 破線: FEM

•  $\sigma_y/\sigma_x$ が大きくなると $\sigma_{cr}$ は小さくなる。また、 $t_p$ が厚くなると $\sigma_{cr}$ は大きくなる

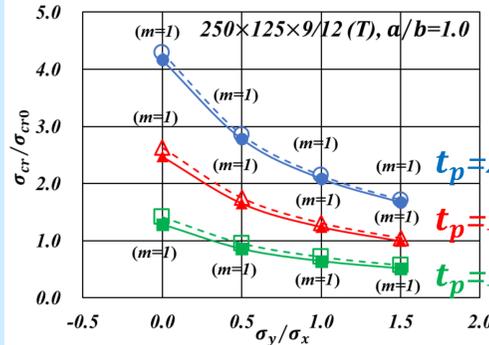


Fig. 4 T型鋼(T)

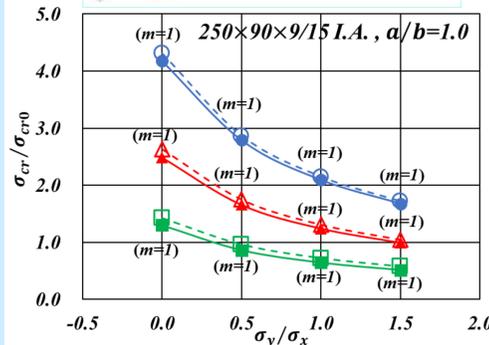
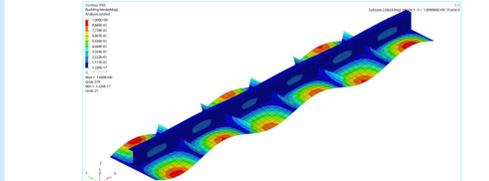


Fig. 5 アングル材(L.A.)

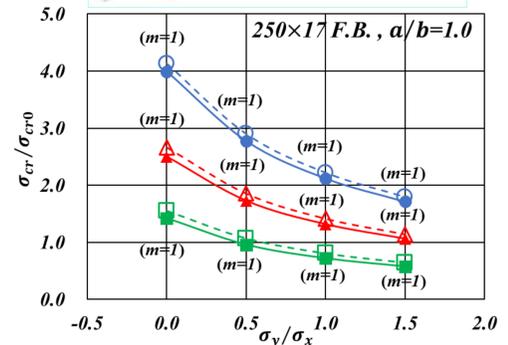
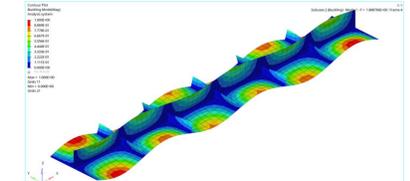


Fig. 6 平鋼(F.B.)

## 3. 人工知能を用いた迅速な簡易座屈固有値推定法の開発

人工知能を用いた簡易座屈固有値推定法(AISSEM.SPBUck)の開発を行う

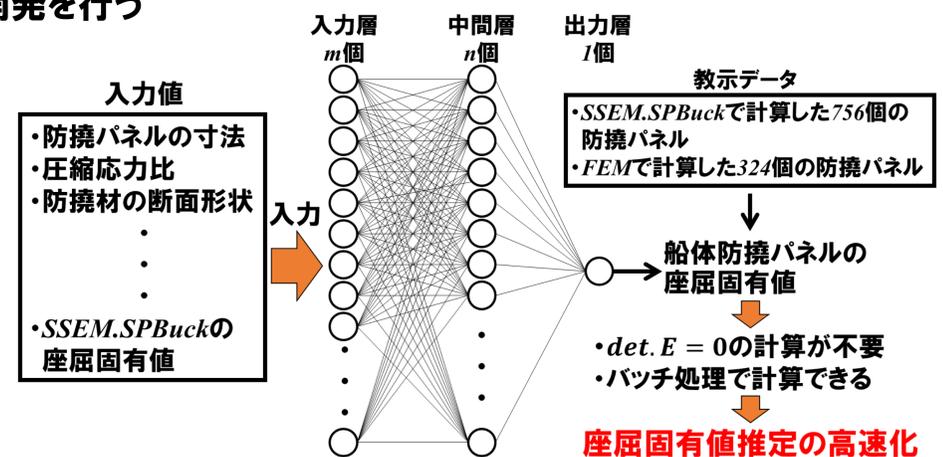


Fig. 7 人工知能を用いた簡易座屈固有値推定法の概念図

今後は、入力値やニューロンの個数などの各種パラメータの検討を行う