

海技研DLSA セミナー 2022

波浪中の船体横断面に働く 曲げモーメント逆推定のための 応力計測箇所を検討

九州大学大学院工学研究院 柳原 大輔



九州大学



発表内容

2

1. 研究背景・目的
2. 荷重構造一貫解析
3. 構造応答計測箇所を検討
4. 断面力の推定
5. 結言

船舶の構造的安全性を確保するためには、
船体の構造強度だけでなく、船体に作用する荷重も調査する必要がある。

- 船体に作用する荷重を直接測定することは不可能。

全船直接荷重構造一貫解析・強度評価システム(DLSA)の開発が
海上技術安全研究所を中心として行われている。

- 船体に作用する妥当な荷重を推定でき、
さらにその荷重に基づく構造応答を算出できる。



船体構造ヘルスマニタリングや船体構造デジタルツイン等の取組み

- 船体構造応答のビッグデータの取得が進む。

船体運動のモニタリングで得た情報

+

構造の代表点における限られた構造応答



荷重構造一貫解析
に対する逆解析手法

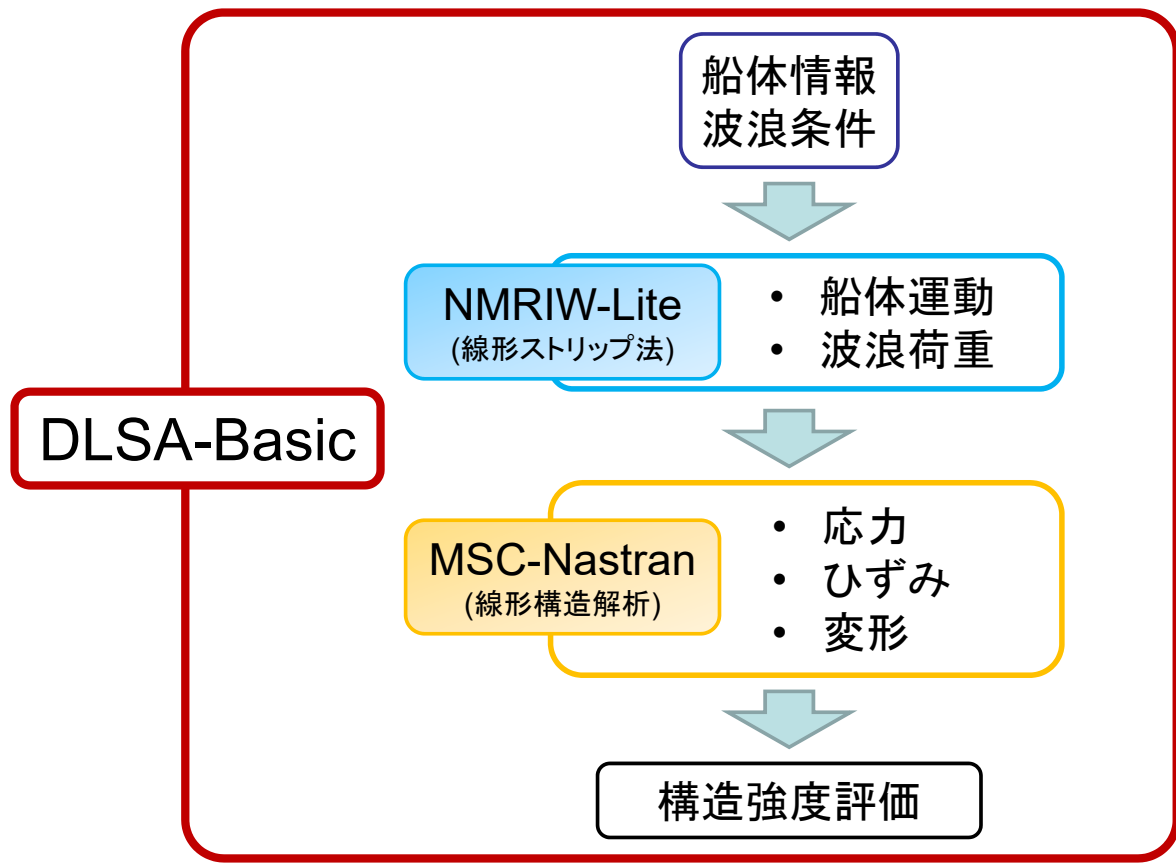
船体に作用する荷重やそれに対する計測箇所以外の構造応答を
推定する構造強度評価手法が現実味を帯びてきた。

構造の代表点における限られた応力の値から、船体に作用する断面力を推定する手法を確立する。

本研究では、

- DLSAによる一連の**数値解析**上で、断面力の逆推定を試みる
- 断面力として**垂直曲げ**および**水平曲げモーメント**を選択
- 曲げモーメントと応力の関係を調査
- 曲げモーメントを推定するために適した応力の計測箇所について検討
- 応力から曲げモーメントを逆推定し、その精度について考察

1. 研究背景・目的
2. 荷重構造一貫解析
3. 構造応答計測箇所の検討
4. 断面力推定
5. 結言



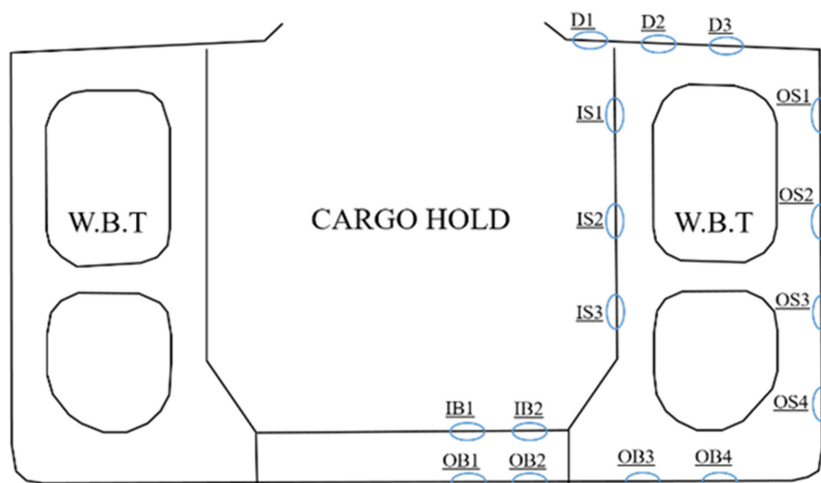
運動・荷重解析は線形ストリップ法NMRIW-Liteを用いる。

- ① 指定された断面で2次元流体力を計算する。
- ② それらを長さ方向に積分して3次元流体力を求める。
- ③ 以下の弾性体の運動方程式を解くことで、運動・波浪荷重・変動水圧・加速度を求める。

$$[M + A]\{\ddot{x}\} + [D + B]\{\dot{x}\} + [K + C]\{x\} = \{f\}$$

M: 質量 A: 付加質量
 D: 構造減衰力係数 B: 造波減衰力係数
 K: 剛性係数 C: 復原力係数

船体中央横断面付近の複数の評価点における長手方向応力のRAO（周波数応答関数）をDLSAによる解析より導出



船体中央部付近の横断面と応力評価点

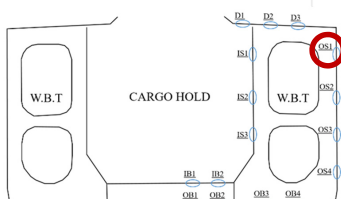
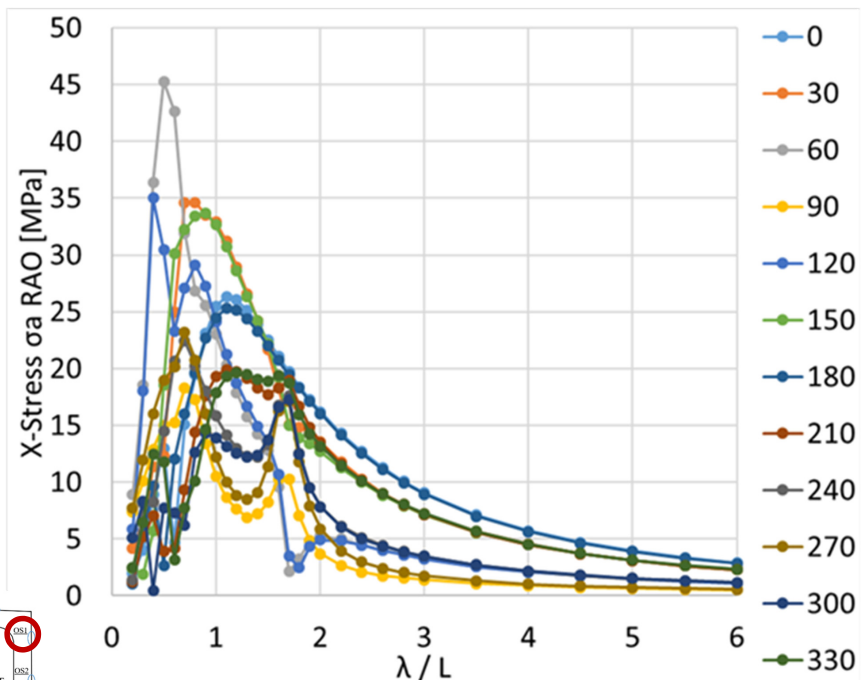
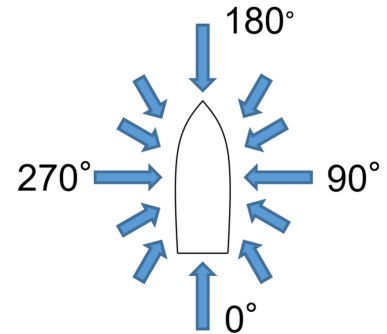
対象船：鉄鋼石運搬船
積み付け条件：満載均等積み付け

対象船の主要寸法

Item	Symbol	Value	Unit
Length between perpendiculars	L_{pp}	318	[m]
Breadth	B	55	[m]
Depth	D	32	[m]
After draft	d_{aft}	21.66	[m]
Forward draft	d_{for}	21.20	[m]

船速および波浪条件(規則波)

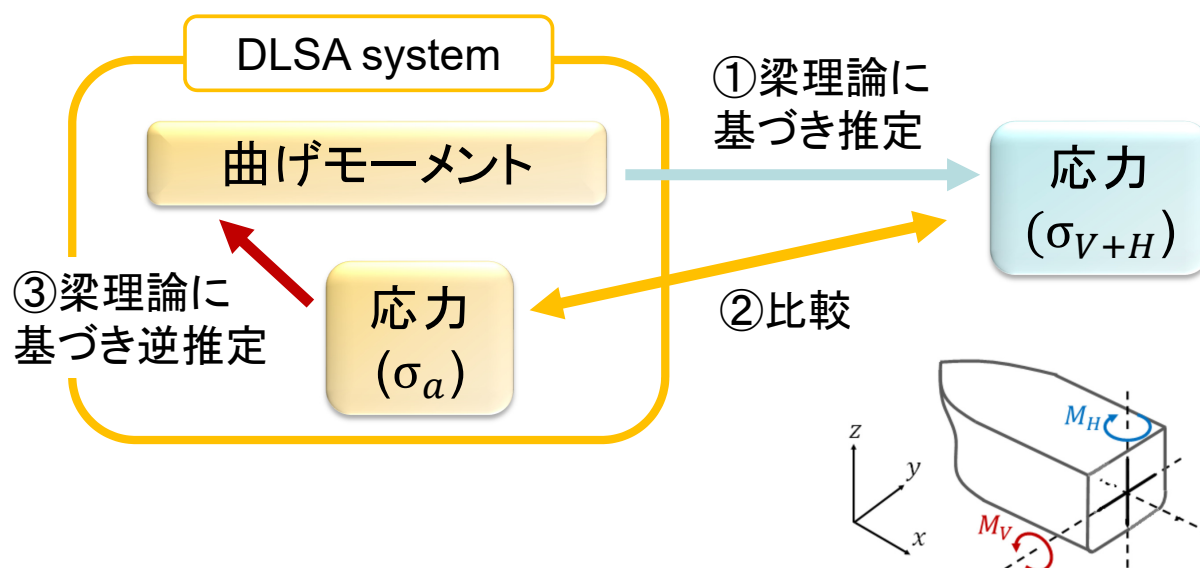
Item	Symbol	Value	Unit
Vessel speed	F_n	0.0	[m/s]
Wave height	H_w	2.0	[m]
Wave direction	χ	0~330	[deg]
Ratio of wave length and ship length	λ / L	0.2~6.0	



サイドシェルトップの船長方向応力のRAO

1. 研究背景・目的
2. 荷重構造一貫解析
3. 構造応答計測箇所を検討
4. 断面力推定
5. 結言

曲げモーメントを推定するのに適した応力の計測箇所について検討

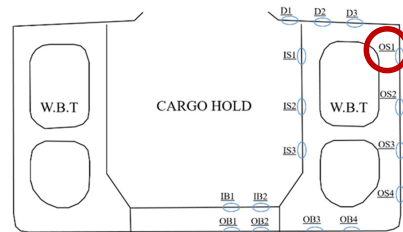


船長方向応力の振幅 σ_{V+H} を縦曲げモーメントと水平曲げモーメントを重ね合わせで推定

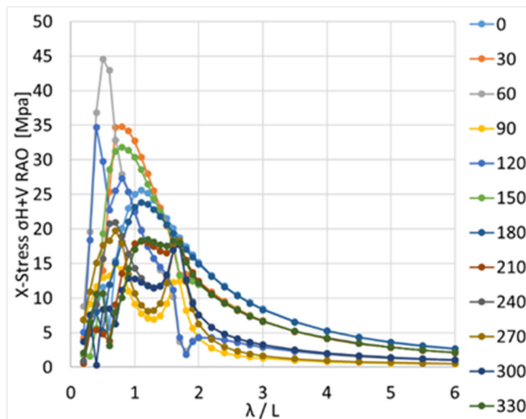
$$\sigma_{V+H} = \sqrt{\left(\frac{M_V}{Z_V}\right)^2 + \left(\frac{M_H}{Z_H}\right)^2 + 2\left(\frac{M_V}{Z_V} \cdot \frac{M_H}{Z_H}\right) \cos(\phi_V - \phi_H)}$$

$\phi_V - \phi_H$: 両曲げモーメント間の位相差

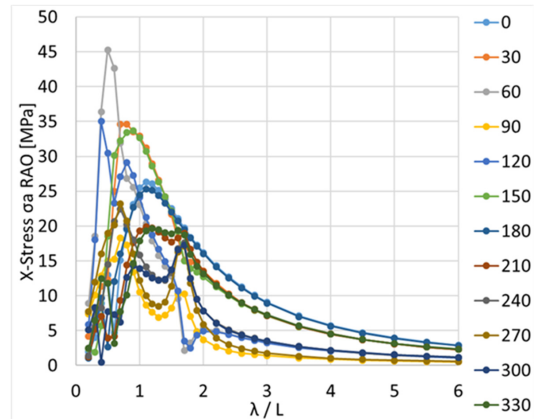
- M_V : DLSAから得られた縦曲げモーメント
- M_H : DLSAから得られた水平曲げモーメント
- Z_V : 縦曲げの断面係数
- Z_H : 水平曲げの断面係数



サイドシェルトップの船長方向応力

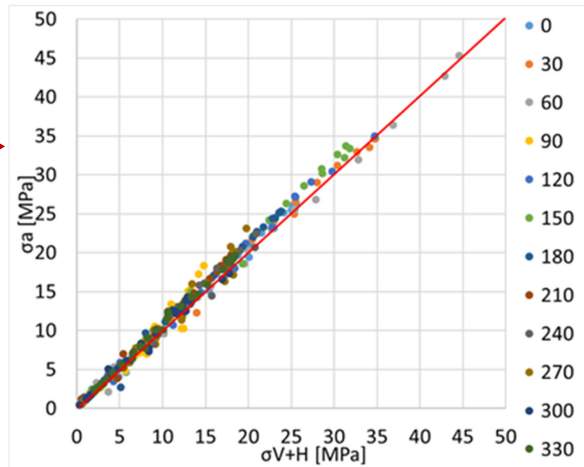
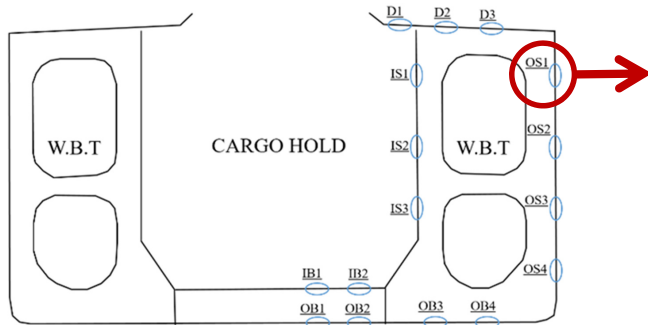


モーメントから推定した
応力 σ_{V+H} のRAO

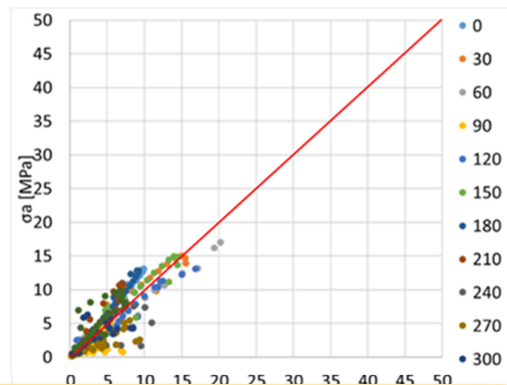
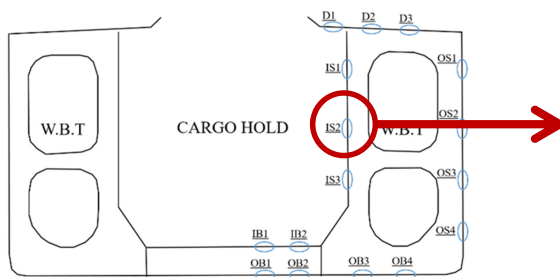


DLSAから直接得られた
応力 σ_a のRAO

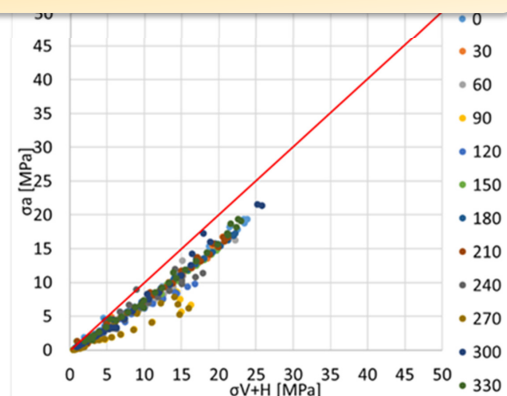
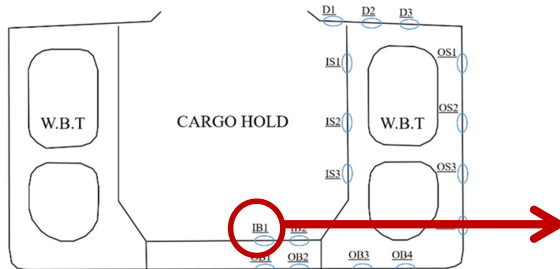
曲げモーメントから推定した応力 σ_{V+H} と
DLSAから得られた応力 σ_a を比較(相関関係)



位相差を考慮して縦曲げモーメントと水平曲げモーメントを重ね合わせることにより、DLSAで直接求めた応力と強い相関を得ることが出来る

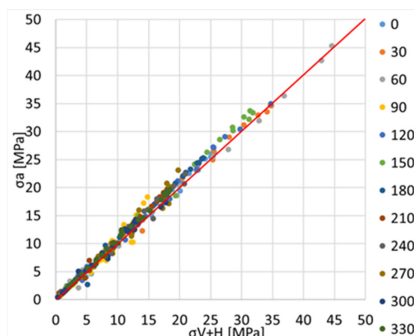
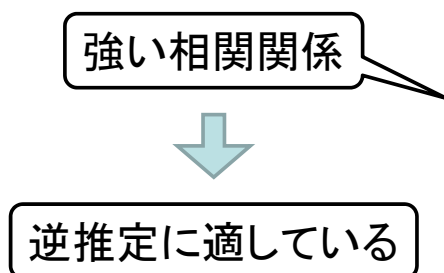


評価点や波浪条件によっては推定精度にばらつきがある



応力から曲げモーメントを逆推定する際、それに適した応力の計測箇所を選択する必要がある。

曲げモーメントによる応力成分が支配的な点が、逆推定に適している。

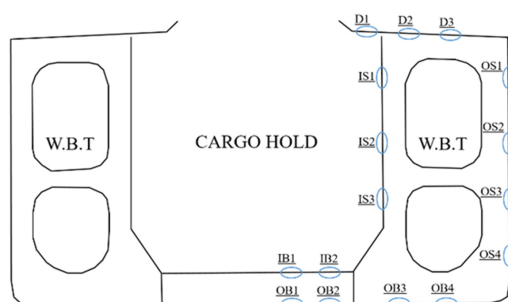


曲げモーメントを推定するのに適した点では、 σ_{V+H} と σ_a の間に強い相関関係が見られる。

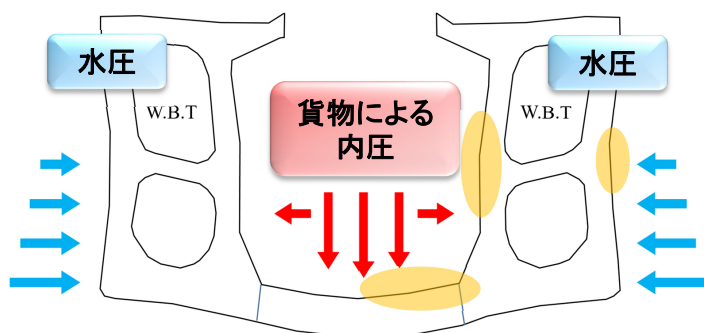
各応力評価点の推定精度を調べるために、波向き180°における、 σ_{V+H} と σ_a の相対誤差の絶対値平均を計算

相対誤差の絶対値の平均 [%]

D1	D2	D3	OB1	OB2	OB3	OB4	IB1	IB2
16.70	14.89	12.49	8.39	6.49	13.12	14.85	81.99	50.15
OS1	OS2	OS3	OS4	IS1	IS2	IS3		
8.33	22.44	40.19	19.34	16.90	42.25	84.60		



D: Deck,
OB: Outer Bottom plate,
IB: Inner Bottom plate
OS: Outer Side shell,
IS: Inner Side shell



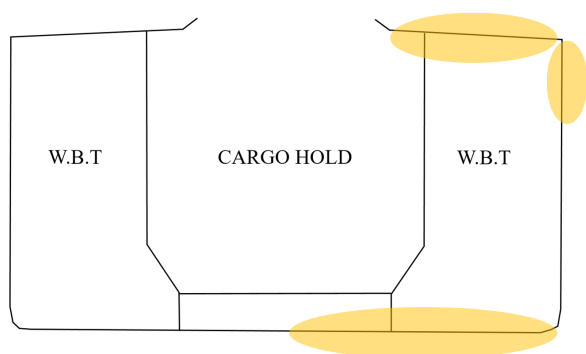
船倉下の船底が大きくたわんでいる。

外側壁および内側壁が内側にたわんでいる。

局所変形による応力が誤差の要因となる

相対誤差の絶対値の平均 [%]

D1	D2	D3	OB1	OB2	OB3	OB4	IB1	IB2
16.70	14.89	12.49	8.39	6.49	13.12	14.85	81.99	50.15
OS1	OS2	OS3	OS4	IS1	IS2	IS3		
8.33	22.44	40.19	19.34	16.90	42.25	84.60		



Deck, Outer Bottom plate, Outer side shell 上部の評価点が曲げモーメントの推定に適している。

相対誤差の絶対値の平均 [%]

D1	D2	D3	OB1	OB2	OB3	OB4	IB1	IB2
16.70	14.89	12.49	8.39	6.49	13.12	14.85	81.99	50.15
OS1	OS2	OS3	OS4	IS1	IS2	IS3		
8.33	22.44	40.19	19.34	16.90	42.25	84.60		

1. 研究背景・目的
2. 荷重構造一貫解析
3. 構造応答計測箇所を検討
4. 断面力の推定
5. 結言

曲げモーメントから計算される応力とDLSAから得られた応力の差

$$\sigma_i - \sqrt{\left(\frac{M_V}{Z_V}\right)^2 + \left(\frac{M_H}{Z_H}\right)^2 + 2\left(\frac{M_V}{Z_V} \cdot \frac{M_H}{Z_H}\right) \cos(\phi_V - \phi_H)} \neq 0$$

σ_i : DLSAから得られた応力



評価点での応力の差の2乗和

$$\bar{\phi} = \phi_V - \phi_H$$

$$f = \sum_i^n \left(\sigma_i - \sqrt{\left(\frac{M_V}{Z_{Vi}}\right)^2 + \left(\frac{M_H}{Z_{Hi}}\right)^2 + 2\left(\frac{M_V}{Z_{Vi}} \cdot \frac{M_H}{Z_{Hi}}\right) \cos(\bar{\phi})} \right)^2$$

→ 0

f を最小にする M_V 、 M_H 、 ϕ を最適化問題として求める
(滑降シンプレックス法)

応力評価点:

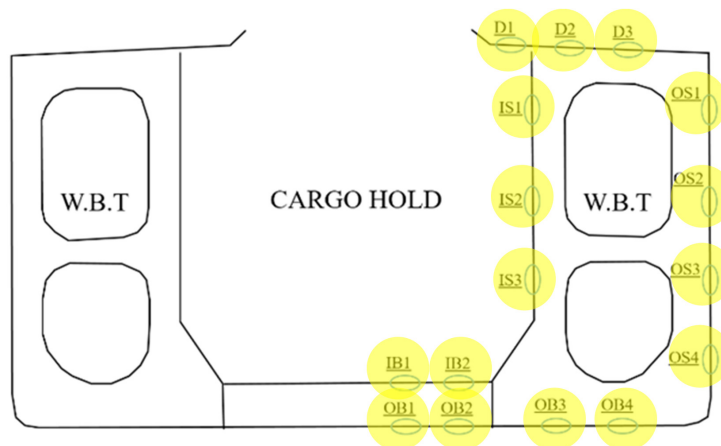
Case1: D3, OS1, OB1, OB2, OB3, OB4

※応力推定精度の高い6点

Case2: D1, D2, D3, OS1, OS4, IS1, OB1, OB2, OB3, OB4

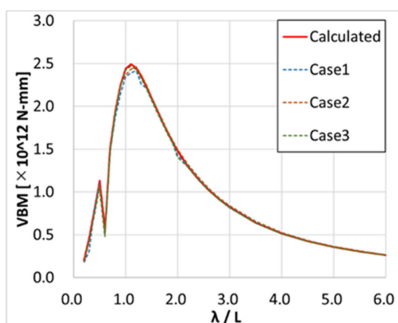
※評価点を10点に増加

Case3: 全16評価点

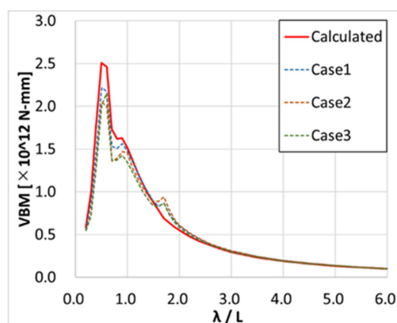


縦曲げモーメント: 概ね精度よく推定可能

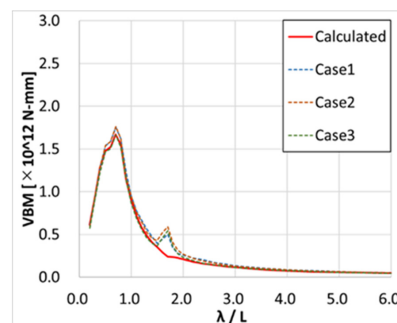
水平曲げが支配的となる条件 → 精度低下が見られる



VBM ($\chi=0$)



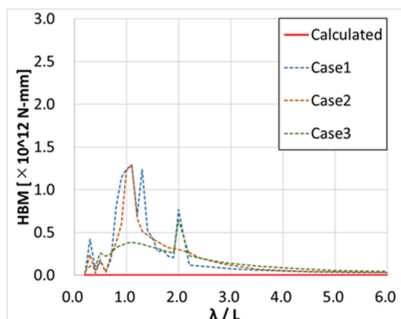
VBM ($\chi=60$)



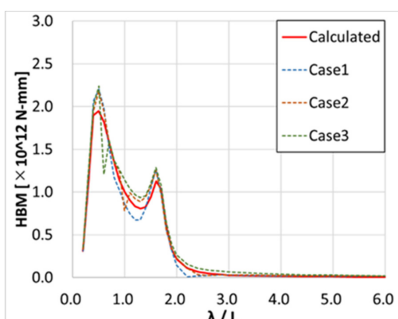
VBM ($\chi=90$)

縦曲げモーメントのRAO

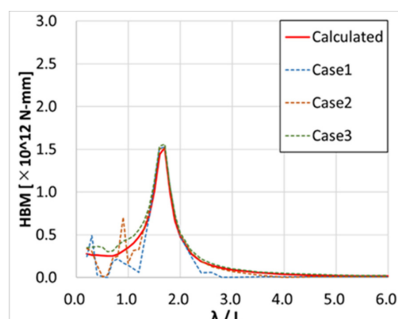
水平曲げモーメント: 横波条件では比較的精度よく推定可能
 追い波 → 精度が著しく低下



HBM ($\chi=0$)



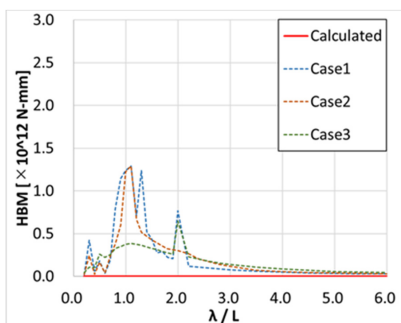
HBM ($\chi=60$)



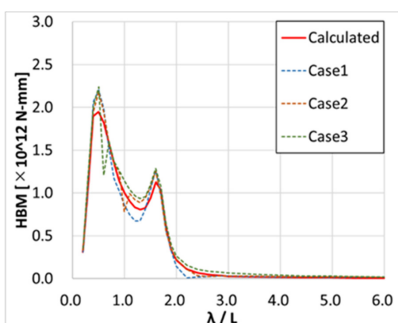
HBM ($\chi=90$)

水平縦曲げモーメントのRAO

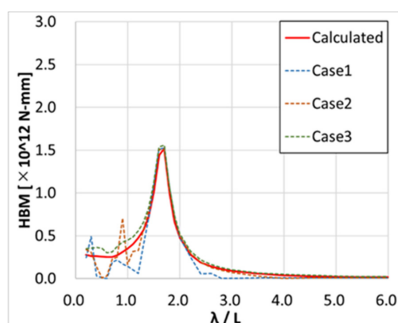
推定精度に問題が残るものの、逆解析による断面力推定の可能性を確認することが出来た



HBM ($\chi=0$)



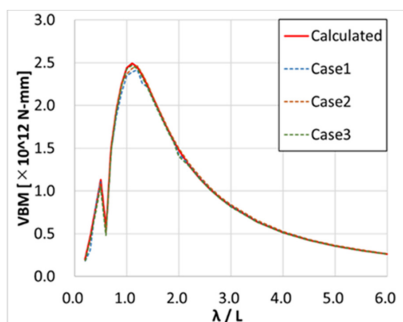
HBM ($\chi=60$)



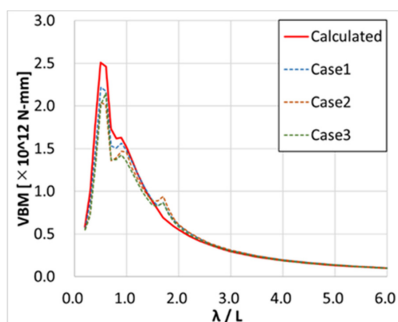
HBM ($\chi=90$)

HBMでは、評価点数が多い方が推定精度が高くなる

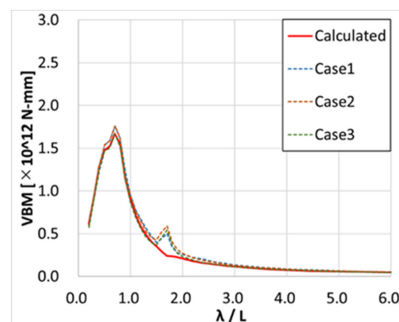
VBMについては、評価点の数が推定精度に与える影響はほとんどない。→ 6点程度の評価点でも断面力をある程度の精度で推定可能になると考えられる。



VBM ($\chi=0$)



VBM ($\chi=60$)



VBM ($\chi=90$)

1. 研究背景・目的
2. 荷重構造一貫解析
3. 構造応答計測箇所検討
4. 断面力推定
5. 結言

- 船体に生じる船長方向応力は、縦曲げモーメントおよび水平曲げモーメントをそれぞれの位相を考慮して重ね合わせることで、梁理論から精度よく推定できる。
- 断面力推定のための構造応答計測箇所として、鉄鉱石運搬船では、Deck, Outer Bottom plate, Outer side shell が適している。
- 最適化手法として滑降シンプレックス法を用いて、複数の評価点における応力の値から断面力を逆推定した結果、推定精度に問題が残るものの、逆解析による断面力推定の可能性を確認することが出来た。

- 異なる船種・船型での検証
- 異なる積み付け条件での検証
- 船速の考慮
- 断面力として振りモーメントおよび振りによる反り応力の考慮
- 不規則波中における断面力を推定
- 水槽試験等との比較による提案手法の検証