船首尾部のロンジ配置最適化に関する研究

正員 中森 隆一* 正員 北村 充**
正員 濱田 邦裕**

Optimization of Arrangement of Longitudinal Stiffeners on Shell Plate at Fore and Aft Parts of Vessels

by Takakazu Nakamori, *Member* Mitsuru Kitamura, *Member*
Kunihiro Hamada, *Member*

Summary

Since the hull form of ship gets slim at fore and aft parts, the arrangement of longitudinal stiffeners on curved shell plate at the parts is difficult compared with midship part. The design of longitudinal stiffener arrangement relies on designer's skill, therefore there is a large possibility that better solutions are obtained when optimization technique is introduced and it is studied here.

In this optimization, the space between longitudinal stiffeners and the scantling and angle of them are taken as design variables. But, the number of the longitudinal stiffeners should be given by designer before the optimization. Constraints are strength by rule and requirements from construction. The objective function is total cost, which is calculated from steel weight and man-hour used for assembling longitudinal stiffeners.

The number of joints between longitudinal stiffeners should be increase for saving the cost of steel, although the number of joints should be a few in view of reduction of man-hour for assembling. In order to solve this problem, a cost parameter for handling the number of joints is added to the objective function. The creation of the joints is decided from if the two consecutive longitudinal stiffeners have the same scantling and angle. The geometrical condition of longitudinal stiffeners is also added for judging the necessity of the joints.

A simplified model, in which the unit cost of man-hour for the joint is changed, is solved for showing the validity of the proposed methods. The design candidate where the steel weight is reduced and the number of joints is increased is obtained when the unit cost of man-hour for the joint is set as low. On the other hand, when the unit cost of man-hour for the joint is set as high, steel weight is increased and the number of joints is reduced.

The proposed method is applied into the real ship structure. The hull form of fore and aft parts is imported from the 3 dimensional product model and the genetic algorithm is adopted as an optimization method.

1. 結 言

本研究では、船体外板に対する縦通防撓材の設計（以降、ロンジランディングと呼ぶ）に着目する。縦通防撓材（以降、ロンジと呼ぶ）同士の間隔を広くした場合、各ロンジ間の板部材と各ロンジが受け持つ荷重の範囲が増え、板厚の増加やロンジのサイズアップに繋がる。逆にロンジの間隔を密にした場合、板部材とロンジのサイズを抑えることができるが、ロンジ同士の間隔が狭すぎるとロンジの取付けや溶接作業の作業性が悪化する。また、配置するロンジの数が増えるため、溶接作業の増加にも繋がる。さらに、外板は複数の板で

構成され板同士の継手も存在するため、その溶接線とロンジの溶接線の接近や交差にも配慮する必要がある。

以上は、ロンジランディングに共通する項目である。一般的に、船体形状は船体中央部から船首尾部になるに従って、徐々に痩せていく形状となっている。そのため、船体中央部では船側外板や船底外板は平面となっているが、船首尾部の断面では曲面となり、かつ、その形状は船長方向に変化している。したがって、船長方向に変化する諸条件を考慮して意思決定を行う必要があり、極めて高度な判断が要求される。現在は、ロンジランディングは設計者の経験に頼るところが大きい。上述したようにロンジランディングは極めて複雑であり、その最適化は容易ではない。

このために、ロンジランディング設計の自動化については、船体中央部を対象とした研究が殆どであり^{1),2)}、船首尾部を対象とした研究は土井³⁾による倣い設計に関する研究はあるものの、研究蓄積は不十分な状況である。

本研究では設計者が概略検討を行ったロンジランディングに対して、諸設計条件を考慮した最適化を行うシステムの

* 株式会社 名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部
基本設計部（広島大学大学院 工学研究科 博士課程
後期 社会人特別選抜）

** 広島大学 大学院 工学研究科

構築を目的とする。本最適化問題は、制約条件が多数あり、実行可能領域が複雑に分断されるため、微分値を用いた数理手法の適用は困難である。そこで、最適化手法には遺伝的アルゴリズム (GA : Genetic Algorithm) を用いる⁴⁾。船首尾部の外板の曲面情報は 3D プロダクトモデルから取得する^{5),6),7)}。

2. 船首尾部のロンジランディング

2.1 船体中央のロンジランディングとの相違

船体中央部における外板へのロンジ配置は船体中央断面図の設計段階で検討され、対象とする船側外板、船底外板は平面である。船首尾部の船体形状が痩せていく部分におけるロンジ配置は、船長方向の船体形状の変化を表した、ボディープランを用いて検討され、対象とする船側外板、船底外板は曲面となっている (Fig.1)⁸⁾。また、船首尾部では外板をタンク壁とした各種タンクやデッキが配置される等、外板のロンジと干渉する構造部材が増えるため、これらとの関係も考慮する必要がある。

船首尾部の外板に対するロンジ配置は船体中央部と比較して主に次の点で異なる。

- ・ 対象とする外板は平面でなく曲面である。

(a) Midship section

(b) Fore and aft part section

Fig.1 Image of hull form

- ・ ロンジの角度を一定にした場合、ロンジと外板とが成す角度が変化する。
- ・ 外板の形状により配置するロンジの間隔及び本数が変化する。

2.2 強度面への配慮

ロンジは夫々が受け持つ荷重に対して適切な強度をもったサイズとしなければならない。受け持つ荷重はロンジの配置間隔によるが、配置間隔が広がるほど夫々のロンジが受け持つ荷重範囲が広くなり、ロンジサイズは大きくなる。また、ロンジと外板とが成す角度は 90 度とすることが有利であるが、船首尾部では外板が曲面で変化することから、主に次の方法が採られる。

- ① 90 度を保つ様に振じった振じりロンジを配置する。
- ② ある間隔でロンジを切断し、各ロンジにおいて概略 90 度となるように配置する。

②の切断したロンジに同士の接続方法について以下に説明する。接続されるロンジ同士に角度差がある場合は、構造の連続性を保つため、接続位置において片方のロンジ端部の角度を相手側のロンジの角度に折り曲げることでロンジの同士の接続面を一致させる。しかしロンジ同士の角度差が大きくなる程、大きな折り曲げとなり、強度上好ましくない。また、折り曲げるための工数も発生する。この様な継手をナックル継手と呼ぶ (Fig.2)。

強度面からは、上記の要求を考慮しつつ、十分な強度と軽量化とを両立することが要求される。

2.3 作業性への配慮

ロンジの配置間隔が狭いとロンジ同士の接近による狭隘箇所が生まれ、その部分の作業性に影響を与える。また、配置された上下のロンジの取り付け角度が向かい合っている場合は、ロンジの面材端の距離が近くなり、この場合も狭隘箇所が発生し作業性に影響を与える。ロンジと外板とが成す角度が小さいと、ロンジと外板とで挟まれる部分が狭隘となる。さらに、ナックル継手や溶接線長の増加は作業工数の増

A-A Section

Top view

B-B Section

Side view

Fig.2 Image of knuckle joint part of stiffeners

加に繋がる。

したがって、作業性の観点からの要求は、適切なロンジランディングを行い、作業性を確保するとともに、作業工数を最小限に抑えることが要求される。

2.4 船首尾部のロンジランディングの特徴の整理

本章では、船首尾部のロンジランディングを行う際に考慮する項目を強度及び作業性の面から述べたが、ロンジの配置間隔など互いに相反する項目もあり、ロンジランディングの難しさが表れている。以下に船首尾部のロンジランディングに考慮する項目を整理する。

(1) 意思決定すべき変数

ロンジランディングにおいて、意思決定すべき変数は、以下の5種類となる。船体中央部では、これらは船長方向に共通であるが、船首尾部では外板が連続的に変化する。したがって、主要支持部材（Web）間隔毎にこれらの変数を決定する必要がある。

- ・ ロンジの本数
- ・ ロンジサイズ
- ・ ロンジの配置間隔： S (Fig.3 参照)

S : Space of longitudinal stiffeners

β : Angle of between longitudinal stiffener

Fig.3 Design parameters : S & β

Fig.4 Design parameters : γ

- ・ ロンジと外板とが成す角度： β (Fig.3 参照)
 - ・ ナックル継手の設定箇所
- (2) 意思決定の際に考慮すべき要求
- ・ 個々のロンジが受け持つ荷重に対して十分な強度を有すること。
 - ・ ロンジの総重量を軽減すること。
 - ・ ナックル継手を可能な限り少なくすること。また、ナックル継手を設ける場合においても、接続されるロンジの同士の角度差： γ (Fig.4) を一定値以下に抑えること。
 - ・ 狭隘箇所の発生を防ぐこと。
 - ・ 溶接線長さを少なくし、工数を削減すること。

3. ロンジランディング最適化システム

3.1 提案手法の最適化の流れ

本システムでは設計者が概略検討を行ったロンジランディングを対象とする。ロンジの本数やロンジ同士の接続関係は設計者が事前に与え、それらを維持した最適化を GA を用いて行う。また、本研究では外板の板厚は一定として取扱う。システムにおける最適化の実行手順及び構成を Fig.5 に示し、図中の番号に沿って説明する。

① 初期設定

船首尾部特有の曲面である船体外板形状を 3D プロダクトモデルから取得する。最適化範囲の上下方向はデッキ等の外板のロンジと干渉する構造部材とし、上部境界線及び下部境界線として設定する。最適化範囲の船長方向はロンジを支持する Web 等の桁部材とする (Fig.6 参照)。

また、最適化範囲のロンジの本数と接続関係を設計者が定義する。

Fig.5 Proposed optimization method flow

② 設計案の生成

GAの操作に基づいて、各種のロンジランディングの設計案を生成する。

③ 制約条件・目的関数の計算

2.4節に示した意思決定の際に考慮すべき要求は、制約条件あるいは目的関数として設定される。上記②で生成された設計案に対して制約条件の満足度および目的関数が計算される。

④ 設計案の評価

上記③の結果に基づき拡張目的関数が計算され、生成された各種設計案が評価される。この結果に基づき、次世代の設計案が生成される。

3.2 設計変数

本研究では、ロンジ配置間隔、ロンジ取付け角度、ロンジサイズの3種類を最適化における設計変数として設定する。設計変数の設定の際には、全てのロンジが主要支持部材(Web)で分割されているものとする。例えばFig.6に示す例では、3本のロンジが中央のWebで分割されているため、合計6本のロンジが存在していると認識する。

ロンジの配置間隔は各々のロンジの両端に設定するが、隣接するロンジの配置間隔は同一とする。したがって、Fig.6の例では、ロンジの配置間隔として9つの設計変数が設定される。このロンジの配置間隔は絶対値ではなく、最適化前のロンジ配置間隔に変化率を掛けることで間接的に表現している。これにより、最適化前のロンジランディングを活かした最適化を行うことができる様にした。

一方、ロンジ取付け角度とロンジサイズは、分割したロンジ毎に設計変数として設定される。ロンジサイズについては、予めWeb高さ、Face幅、板厚などが異なる8種類のロンジ

Fig.6 Design variables

が用意されており、これらから選択することにした。したがって、Fig.6の例では、ロンジ配置間隔:9, ロンジサイズ:6, ロンジの取り付け角度:6の、合計21個の設計変数が設定される。

ところで、2.4節で述べたように、継手の設定はロンジランディングの決定における重要な意思決定項目である。本研究では、継手の有無は、ロンジ配置間隔、ロンジサイズ、ロンジ取付け角度に基づき、システムが自動的に判断する。具体的には、以下の3つのRuleを満足した場合には、継手が発生しないものとする。また、これらの条件を一つでも満足しない場合は継手が発生すると判断されることとなるが、特にRule 2の条件が満足されない場合はナックル継手と判断される。Rule 1, 2 および 3と継手の関係をTable 1に示す。

Rule 1: ロンジ同士の寸法が同一であること

Rule 2: ロンジ同士の取付け角度が同一であること

Rule 3: ロンジが接続される位置と、継手を廃止した場合の仮想の位置との差が許容値以内であること (Fig.7 参照)

3.3 制約条件

ロンジランディングにおける強度及び作業性の面からの要求を考慮し、以下の制約条件を設定した。

(1) ロンジサイズに対する制約条件

ロンジサイズが適切でない構造として面外圧に耐えることが出来ないため、ロンジサイズに対する制約条件を(1)式のように設定した。ロンジサイズを決定する強度要求は日

Table 1 Relationship between rules and joint type

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
Rule 1	○	×	○	×	○	×	○	×
Rule 2	○	○	×	×	○	○	×	×
Rule 3	○	○	○	○	×	×	×	×
Joint type	A	B	C	C	B	B	C	C

A: Joint less
B: Joint without knuckle
C: Knuckle joint

Fig.7 Joint of longitudinal stiffeners

本海事協会の 2006 年度版・鋼船規則・C 編・第 7 章, 第 14 章, 第 29 章の縦通防撓材の規定を適用した⁹⁾.

$$g_1 = \frac{Z_{required}}{Z_{actual}} - 1 \leq 0 \quad (1)$$

ここで,

$Z_{required}$: 船級規則から要求される断面係数

Z_{actual} : 最適化プロセスによって出現する断面係数

(2) ロンジ面材端間の距離に対する制約条件

ロンジ配置間隔が密になったり, ロンジ取り付け角度が互いに向かい合ったりした場合もロンジ間の作業スペースがとれず作業性の悪化となるため, ロンジ面材端の距離に対する制約条件を (2) 式のように設定した. また, この制約条件を最適化範囲の上部境界線および下部境界線と配置されるロンジ面材端の間にも適用することで, デッキ等の外板のロンジと干渉する構造部材と, 設計案との干渉を制約する. これにより選択される設計案が最適化範囲内に収まることも実現している.

$$g_2 = \frac{b_{required}}{b_{actual}} - 1 \leq 0 \quad (2)$$

ここで,

$b_{required}$: 作業性に影響を与えないロンジ面材端の最短距離

b_{actual} : 最適化プロセスによって出現するロンジ面材端の距離

(3) ロンジと外板とが成す角度に対する制約条件

ロンジと外板とが成す角度が取れない場合, そのロンジを取り付けるための作業スペースが取れず作業性が悪化するため, ロンジと外板とが成す角度に対する制約条件を (3) 式のように設定した.

$$g_3 = \frac{\beta_{required}}{\beta_{actual}} - 1 \leq 0 \quad (3)$$

ここで,

$\beta_{required}$: 作業性に影響を与えないロンジと外板とが成す角度

β_{actual} : 最適化プロセスによって出現するロンジと外板とが成す角度

(4) 接続されるロンジの同士の角度差に対する制約条件
ナックル継手部の強度と作業性を考慮し, ナックル継ぎ手部の制約条件を (4) 式のように設定する.

$$g_4 = \frac{\gamma_{actual}}{\gamma_{max}} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

ここで,

γ_{actual} : 最適化プロセスによって出現する接続されるロンジの同士の角度差

γ_{max} : 許容される接続されるロンジの同士の最大角度差

以上に示した各制約条件の合計値を設計案の制約条件の不満足度を表すペナルティー G とし, 式 (5) で定義する.

$$G = \sum_i^N \max[0, g_i(X)] \quad (5)$$

N : 設計変数と制約条件の積

3.4 目的関数

本研究では建造費最小とするロンジランディングの最適化を目的とする. ここで考慮する建造費とは, ロンジ材料費とロンジ取付け工費, ナックル継手工費, ロンジ継手工費の和とし, 式 (6) で定義する.

$$f(x) = W(x) \cdot C_W + L(x) \cdot C_L + K(x) \cdot C_K + N(x) \cdot C_N \quad (6)$$

ここで,

$W \cdot C_W$: ロンジ材料費

$L \cdot C_L$: ロンジ取付け工費

$N \cdot C_N$: ロンジ継手工費

$K \cdot C_K$: ナックル継手工費

x : 設計変数

W : ロンジの重量

C_W : 鋼材単価

L : 取付け長

C_L : 取付け工費 (単価)

K : ナックル継手数

C_K : ナックル継手工費 (単価)

N : 継手数

C_N : 継手工費 (単価)

式 (5) と式 (6) で与えられる制約条件付最小化問題を, 式 (7) により無制約条件最小化問題に変換する.

$$F(x) = f + C_p \bar{f} \times G \quad (7)$$

ここで,

C_p : ペナルティー係数

$\bar{f}$: 各世代の目的関数の標準値

4. 提案手法の検証

本システムの妥当性を検証するため, 簡易モデルを設定して試算を行った. 設定したモデルを Fig.8 に示す. 合計 9 本のロンジを配置した接続箇所 6 のモデルであり, 初期設計案では接続箇所は全て継手となっている. また, Table 2 に

Fig.8 Simple model for verification

Table 2 Step of design variables

S_i (%)	80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120
α_i (deg)	0, 20, 40, 60
L_i	258x125x9/12(T) 260x125x9/14(T) 308x125x9/12(T) 310x125x9/14(T) 310x150x9/14(T) 312x150x9/16(T) 315x150x9/19(T) 318x150x9/22(T)

Fig.9 Relationship between design plan and each cost

設計変数の変動範囲とステップを示す。

2.4節で述べたように継手の設定はロンジランディングの決定における重要な意思決定項目であることから、このモデルに対して、継手工費を0.0, 1.5, 3.0, 5.0とした4ケースの最適化を行った。それぞれのケースにおける建造費と鋼材費、継手数の関係をFig.9に示す。

Fig.9より継手工費が高くなるにつれて鋼材重量が増えているが継手数は減少する傾向がわかる。これは、継手工費が増えると建造費を最小化するために、鋼材費を犠牲にしても継手数を減らす様な設計案が選択された結果と考える。

また、Table 3に、継手工費を1.5とした場合 (Case 2-1)

Table 3 Relationship between design plan and each cost (cost (%) = each cost / total cost of optimized case 2-1)

Case	Unit cost for joint	Num. of joints	knuckle joint cost	ordinary joint cost	fitting cost	steel cost	total cost
Initial	1-0	0.0	0.00	0.00	54.43	51.22	105.65
	2-0	1.5		3.09			108.74
	3-0	3.0		6.17			111.82
	4-0	5.0		10.29			115.94
Optimized	1-1	0.0	6	0.00	53.81	43.54	97.35
	2-1	1.5	2	0.00	53.84	44.79	100.00
	3-1	3.0	1	0.00	53.86	45.48	100.37
	4-1	5.0	0	0.00	53.86	47.01	100.86

の建造費を基準として、初期設計案と最適解の各項目のコストの比率を示す。比較のため、初期案に対して4種類の継手工費を採用した計算結果がTable 3に示されている。ここでは、最適解の継手工費が3.0の場合 (Case 3-1) と継手工費が5.0の場合 (Case 4-1) に着目する。両者を比較すると、ロンジの配置は全く同じであったが、継手工費の高い Case 4-1 では、ロンジのサイズを上げてロンジサイズを同一とすることで、継手が削減された設計案となっていた。このことは、取付け工費は53.86(%)と同じ割合であるが、鋼材費の割合はCase 4-1の方が増加しているところに現れている。これら結果より妥当な解が得られていると考える。また、最適化後の設計案において、各制約条件は満足した結果が得られていることを確認した。Case 2-1における最適化後の各設計変数の値をTable 4示す。

5. 実船への適用

実船における船首部のロンジランディングの一部をモデル化し、本システムを利用した最適化計算を実施した。モデル化した範囲は、上限を水平桁位置、下限は二重底位置とした主要支持部材に囲まれた部分である。モデルをFig.10に示す。このモデルは4本のロンジが接続され、これを8列配置されたものとなっている。初期設計案はロンジ本数32本、接続箇所は24箇所である。継手箇所は5箇所となっている。また、Table 5に設計変数の変動範囲とステップを示す。実際の設計において継手を許容する設計案と許容しない設計案の2種類の最適化を示すために、継手工費を0.2および10.0とした時の最適化計算を実施した。また、継手工費を10.0と大きく設定することで、最適化計算における計算時間の短縮を図っている。得られた最適案の各コストと鋼材重量及び継手数の関係をTable 6に示す。

Table 4 Design variables of optimized design

Design variables		Original value	Optimized value (Case 2-1)
Space of longitudinal stiffeners at end point (m)	S_1	0.8	0.96
	S_2	0.8	0.76
	S_3	0.8	0.76
	S_4	0.8	0.76
	S_5	0.8	0.68
	S_6	0.8	0.76
	S_7	0.8	0.64
	S_8	0.8	0.64
	S_9	0.8	0.76
	S_{10}	0.8	0.64
	S_{11}	0.8	0.64
	S_{12}	0.8	0.72
Scantling of longitudinal stiffeners *)	L_1	296x150x9/19(T)	315x150x9/19(T)
	L_2	296x150x9/19(T)	310x150x9/14(T)
	L_3	296x150x9/19(T)	310x125x9/14(T)
	L_4	296x150x9/19(T)	310x150x9/14(T)
	L_5	296x150x9/19(T)	310x150x9/14(T)
	L_6	296x150x9/19(T)	312x150x9/16(T)
	L_7	296x150x9/19(T)	310x150x9/14(T)
	L_8	296x150x9/19(T)	310x150x9/14(T)
	L_9	296x150x9/19(T)	312x150x9/16(T)
Fitting angle of longitudinal stiffeners (deg)	α_1	40	40
	α_2	40	60
	α_3	40	40
	α_4	40	40
	α_5	40	60
	α_6	40	40
	α_7	40	40
	α_8	40	60
	α_9	40	40
Num. of joint		6	2
Ratio of total cost (%)		108.74	100

*) Dimension of scantling for longitudinal stiffeners

Fig.10 Model of arrangement of longitudinal stiffeners which is a part of actual ship

Table 5 Step of design variables

S_i (%)	80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120
α_i (deg)	0, 10, 20, 40
L_i	712x150x12/16(T) 712x180x12/16(T) 715x180x12/19(T) 718x180x12/22(T) 718x200x12/22(T) 721x200x12/25(T) 771x200x12/25(T) 774x200x12/28(T)

Table 6 Relationship between design plan and each cost
(cost (%) = each cost / total cost of optimized case 2-1)

Case		Unit cost for joint	Num. of joints	knuckle joint cost	ordinary joint cost	fitting cost	steel cost	total cost
Initial	1-0	0.2	5	0.00	0.47	30.72	69.4	100.59
	2-0	10.0			23.72			123.84
Optimized	1-1	0.2	22	0.71	2.09	30.27	66.28	99.35
	2-1	10.0	0	0.00	0.00	30.79	69.21	100.00

継手工数0.2では最適化後の継手数は初期設計案より増加しているが主要支持部材間毎のロンジサイズを減少させて鋼材費を減少させることで建造費を最小化する設計案が得られた。一方、継手工数10.0では継手数が0となり、継手が発生しないようなロンジ配置、及びロンジサイズとする設計案が得られた。この結果は4章の簡易モデルと同様の傾向である。また、何れの場合も初期設計案より建造費が削減されている。

以上により、本システムが実船のロンジ配置においても妥当な結果を与えることが示されたと考える。

6. 結言

本研究では船首尾部のロンジを対象として設計者が概略検討を行ったロンジランディングに対し、諸設計条件を考慮した最適化を行うシステムを構築した。最適化手法にはGAを用い、船首尾部の外板の曲面情報は3Dプロダクトモデルから取得した。

システムの構築において、船体中央部と船首尾部のロンジランディングにおける相違点を示し、その検討において考慮する項目について、強度および作業性に対する観点から整理した。

最後に、簡易モデル及び実船の船首尾部の一部のロンジランディングを用いて数ケース最適化を行い、本システムが妥当な結果を与えることを示した。

なお、本研究では外板の板厚を一定として取扱ったが、実際にはロンジの配置間隔によって外板の板厚は変化するため、この検討を今後の課題とする。

参考文献

- 1) 松岡和彦, カハルディン ジェノド, 田中義雄, 大久保禎二: 船殻中央横断面のSub Optimizationによる構造最適化システムの研究, 西部造船会会報, 第109号, pp.37-47, 2005
- 2) 北村充, 濱田邦裕, 鈴木博喜, 矢野佳苗, 徳岡慶輔, 大槻康明: 船体中央断面最適設計の実用化と高速最適化システムの開発に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.6, pp.141-149, 2008
- 3) 土井憲治: 造船CIMSの概要-設計エキスパートシステム-, 日本造船学会誌, 第759号, pp.21-25, 1992
- 4) 古田均, 杉本博之: 遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用, 森北出版, 1997
- 5) 松尾稔: VISIONにおける船舶のモデリング, 名村テクニカルレビュー, No.1, pp.7-12, 1998
- 6) 林康一郎: VISIONにおけるブロック分割機能の紹介, 名村テクニカルレビュー, No.2, pp.54-57, 1999
- 7) 中森隆一: 船殻設計におけるVISION活用への取り組み, 名村テクニカルレビュー, No.5, pp.82-87, 2002
- 8) 造船テキスト研究会: 商船設計の基礎(上巻), 成山堂書店, pp.367-368, 1979
- 9) 日本海事協会: 鋼船規則・同検査要領, pp.46, pp.83, pp.171, 2006