

SR 226

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究

成 果 報 告 書

平成9年3月

社団
法人 日本造船研究協会

SR-226 「ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究」

要 約

ばら積貨物船の設計の合理化をはかるため、次の項目について研究を実施した。

- (1) 現設計に対する評価
- (2) 保守点検が強度上の安全性に及ぼす影響
- (3) 所与の構造に対する溶接作業の工数見積法
- (4) 座屈許容設計法
- (5) 波浪中の変動荷重による構造応答
- (6) 計算による構造設計法

以下に各項目の要約を述べる。

1. 現設計に対する評価

現在の設計がどのようにになっており、どこに問題点があるかを把握するため、損傷例の調査と構造データの収集を行った。損傷例は75例を収集し、これをカテゴリ（損傷部位）別に整理すると表1に示すようになり、また発生年代別に整理すると図1に示すようになる。これらを詳細に検討し、参加各社の経験と照らし合わせて、基本的な検討が必要な項目として横隔壁スツール基部、トップサイドタンク、クロスデッキ、船底構造（ビルジホッパナックル部）を選んで以降の研究で検討した。

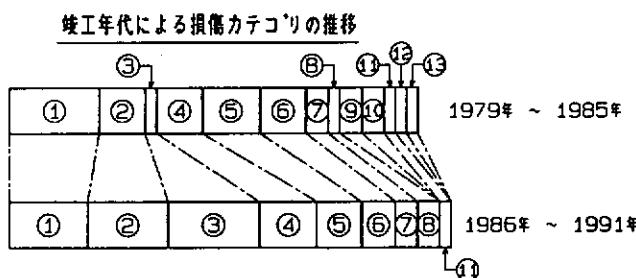
また、ばら積貨物船の構造の特徴であるトップサイドタンク、ホッパ、クロスデッキを含む主要構造の様式、寸法などを統一したフォーマットで調査し設計データベースを作成した。データはHandy size, Panamax及びCape sizeの各船型について数隻ずつ合計27隻を収集した。なお、参考のため1970年代以前の船についても一部の

表1 損傷カテゴリによる
集計表

損傷カテゴリ	件数
①ハッチコーミング	15
②スツール	11
③横隔壁	9
④船底構造	9
⑤トップサイドタンク	9
⑥ハッチコーナー	7
⑦フルワーク	4
⑧船側構造	3
⑨ハッチカバー周辺	2
⑩クロスデッキ	2
⑪連結タンク	2
⑫船首船底	1
⑬孔食	1
合計件数	75

竣工年代による損傷数

1979年～1985年 (36年)	1986年～1991年 (39年)



損傷カテゴリ

- ① ハッチコーミング
- ② スツール
- ③ 横隔壁
- ④ 船底構造
- ⑤ トップサイドタンク
- ⑥ ハッチコーナー
- ⑦ フルワーク
- ⑧ 船側構造
- ⑨ ハッチカバー周辺
- ⑩ クロスデッキ
- ⑪ 連結タンク
- ⑫ 船首船底
- ⑬ 孔食

図1 損傷データ集計

データを収集し現在の設計との比較を行った。

ばら積船の構造の基本形式は年代によってほとんど変わらないが、図2及び図3からわかるように近年の船は船倉数が少なく、また同一サイズでの載荷容量が増加している。これらは構造の詳細に影響を与える。

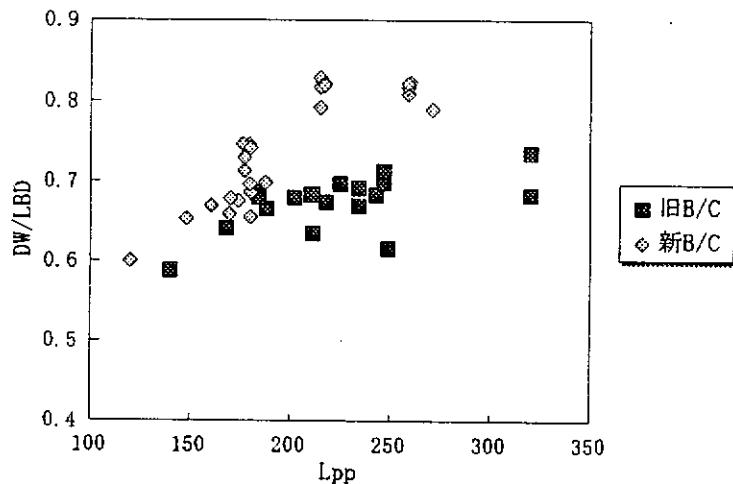


図2 Lpp と DW/LBD との関係

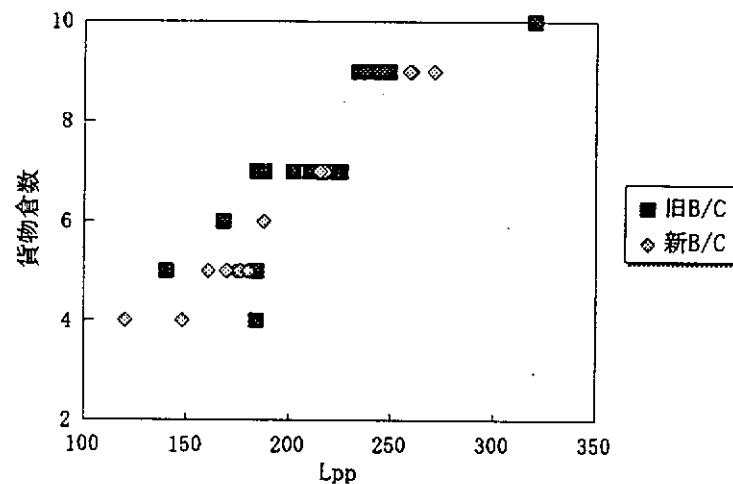


図3 Lpp と貨物倉数との関係

2. 保守点検が強度上の安全性に及ぼす影響

船の強度上の安全性は設計のみで決まるのではない。そこで使用中の点検及び保守によって安全性を高める破壊管理制御の考えは広く浸透しているが、一般には船の荷重の履歴が不明のため理論を直ちに実船の判定に適用できないのが実状である。そこで、本研究ではこの隘路を開拓して実用的な信頼性評価法を確立するために、船体検査の専門家を対象として検査能力や亀裂進展の経験についてのアンケートを行い、これと統計理論を用いてばら積貨物船の代表的な亀裂発生部位(図2.3.1)に対して検査と亀裂との関係を検討した。結果は第2.3.3節に述べているが、たとえば表2.3.1に示すように信頼度を向上させるに必要な検査のピッチ、あるいは鋼材重量を減少させるには検査回数をどう設定すべきかなどを

検討するツールが得られた。本方法は正攻法で疲労信頼性を求めるのが困難な現状でこれを発展させれば有力な手法になる。

3. 所与の構造に対する溶接作業の工数見積

節労を考慮して構造設計を行うとき、与えられた図面から必要な工作作業量を推定することは是非必要である。本研究では、特に割合の多い溶接作業について、溶接方法、溶接姿勢、作業環境が溶接時間に及ぼす影響を調査し、これらをあらわすパラメータを用いた溶接工数算出式を提案した。提案式は形状の異なったブロックに対しても一定の誤差範囲内の推定値を与え、実用に供することができる。今後はさらに多くのデータを用いて修正し、推定精度の向上を図りたい。

4. 座屈許容設計法

現行の規則では板部材は荷重が周辺支持で計算した座屈荷重以下になるように設計することとなっているが、軽量化のためには弾性座屈の発生を許容する設計が望まれる。しかし、座屈を許容するにはそれに伴って生ずる有効幅の減少、繰り返し変形による疲労の発生その他について検討しておく必要がある。本研究では実船を対象としてこのような問題の検討を行った。その結果、2.5節に述べるように防撓材の効果の評価法、座屈後の板の剛性計算法、複雑な船底構造における境界条件の考え方を始めとする多くの有効な結果が得られた。また、繰り返し座屈する防撓板の疲労については、座屈たわみによる曲げ応力が生じても少なくとも弾性である限りは、疲労亀裂は発生しないことが実験により確認された。これらの結果から、十分な注意を払えば弾性座屈が生じても船体構造の性能は十分維持されるという結論を得た。

5. 波浪中の変動荷重による構造応答

波浪中の変動荷重は波の圧力によるもの、倉内流体の圧力によるものあるいは積荷の加速度による慣性力など種々あるが、いずれも船体運動の影響を受けるものであり、船体運動は波と船との相対的な大きさや方向によって変化するから、船の生涯の荷重分布を求めようとすると膨大な計算が必要となり、設計の利用できる範囲のものではない。そこで、水圧の応答関数から構造の応力の応答関数を求める方法を考案し、これをばら積貨物船の二重底とホッパとの結合ナックル部付近の応力に対して適用し、なお今後改善の余地はあるが、実用化の見通しを得た。

6. 計算による構造設計法

現在ではFEMを利用した計算結果を用いて構造設計が行われているが、必ずしも正しい結果が迅速に得られているとは限らない。そこで、日常設計に計算を取り入れるために必要な基礎技術を確立するために次の2項目の検討を行った。

ア) 計算の効率化

1) 計算の手法の確立

計算の効率化に関しては、ズーミング計算の省略と、スーパーエレメント法がある。疲労など局部の集中応力を論じる必要がある場合にはコースメッシュ（粗い要素分割）で計算を行い、その結果から問題箇所を特定してそこを含む小部分をモデル化して、コースメッシュで得られた変形や応力を部分モデルの境界条件として再計算するのがズーミングであるが、このために必要な工数や時間が多いため簡単に利用できない状態である。そこで設計時に気軽に集中応力を算出するためにズーミング計算なしの推定法を検討した。後述するビルジホッパナックル部を例として検討し、一応の結果を出すことができた。今後さらに検討を進めれば実用になる手法の作成が可能と思われる。次に、スーパーエレメント法は、同一構造で複数の荷重ケースの計算をする場合や構造の一部分のみを変更した計算などを行うときに有効とされる方法で、実際の設計では望まれる方法である。これに関する検討を行った。

計算手法の確立は、実際の設計において荷重の設定から強度評価に至る各段階の手法を合理化して最適構造を発見する際のツールとすることを狙ったもので、次の特定箇所について検討を行った。

トップサイドタンク内トランスリング面材

" ホールドフレームを支えるロンジフレーム

横隔壁スツール基部

二重底

クロスデッキ

トランスリング面材については設定強度と所要コストとの関係まで含む強度検討のための十分なツールが得られた。また、ほかの箇所についてもそれぞれ有効な結果が得られた。

は し が き

本報告書は、日本財団の補助事業として、日本造船研究協会第226研究部会において、平成6年度から平成8年度の3カ年で実施した「ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究」の成果を取りまとめたものである。

第226研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	大高勝夫(西日本工業大学)(H.6~8)	藤本由紀夫(広島大学)(H.6~8)
代表幹事	津田眞也(今治造船)(H.6~8)	竹本博安(船舶技術研究所)(H.6~8)
委員	矢尾哲也(広島大学)(H.6~8)	成田征(函館どつく)(H.6~8)
	深澤塔一(金沢工業大学)(H.6~8)	中谷浩一(尾道造船)(H.6~8)
	西村允男(日本海事協会)(H.6~8)	前野嘉孝(サノヤス・ヒシノ明昌)(H.6~8)
	牛島守一(今治造船)(H.6~8)	鈴木健悟(三保造船所)(H.6~8)
	福岡伸治(カナサシ)(H.6~8)	藤井正実(名村造船所)(H.6~8)
	黒瀬慎治(常石造船)(H.6~8)	森茂博(大島造船所)(H.6~8)
	上島雄助(佐世保重工業)(H.6~8)	
	鎌田岳(新来島どつく)(H.6~8)	
	川内章裕(幸陽船渠)(H.6~8)	

第226研究部会WG1 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査	藤本由紀夫(広島大学)(H.6~8)	津田眞也(今治造船)(H.6~8)
幹事	牛島守一(今治造船)(H.6~8)	成田征(函館どつく)(H.6~8)
委員	大高勝夫(西日本工業大学)(H.6~8)	福岡伸治(カナサシ)(H.6~8)
	西村允男(日本海事協会)(H.6~8)	黒瀬慎治(常石造船)(H.6~8)
	中谷浩一(尾道造船)(H.6~8)	
	前野嘉孝(サノヤス・ヒシノ明昌)(H.6~8)	
	鈴木健悟(三保造船所)(H.6~8)	

第226研究部会WG2 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査	矢尾哲也(広島大学)(H.6~8)	藤井一申(新来島どつく)(H.7~8)
幹事	鎌田岳(新来島どつく)(H.6)	津田眞也(今治造船)(H.6~8)
委員	大高勝夫(西日本工業大学)(H.6~8)	竹本博安(船舶技術研究所)(H.6)
	深澤塔一(金沢工業大学)(H.6~8)	田中義照(船舶技術研究所)(H.7~8)
	植木是長(佐世保重工業)(H.6~8)	
	渡邊純男(名村造船所)(H.6~8)	
	川内章裕(幸陽船渠)(H.6~8)	

討議参加者

山口雄三(日本海事協会)	兼子敏明(函館どつく)
蔭山康(幸陽船渠)	川内弘(大島造船所)

ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究

目 次

1. 研究の目的	1
1.1 損傷事例の調査と検討	1
1.2 構造データの収集とデータベース構築	1
1.3 保守点検が強度上の安全性に及ぼす影響の研究	2
1.4 溶接作業の作業性に関する調査	2
1.5 座屈許容設計法の研究	2
1.6 波浪中の変動荷重による構造応答の検討	2
1.7 計算による構造設計法の検討	2
2. 研究の内容	3
2.1 損傷データの調査と検討	3
2.2 主要部構造データの収集と解析	3
2.2.1 調査方法	3
2.2.2 調査結果	4
2.2.3 パラメータスタディ	4
2.2.4 構造データの設計における活用法	5
2.2.5 まとめ	6
2.3 ばら積貨物船の疲労損傷と保守点検に関する検討	6
2.3.1 アンケート調査	6
2.3.2 アンケート調査結果	7
2.3.3 信頼性解析の結果	8
2.3.4 感度解析	9
2.3.5 点検区画と点検設備	10
2.4 溶接作業の作業性に関する調査	10
2.4.1 はじめに	10
2.4.2 調査の方法	10
2.4.3 調査結果	11
2.4.4 溶接工数算出式の提案	13
2.4.5 算出式のブロックへの適用例	14
2.4.6 まとめ	15
2.5 座屈許容設計法の研究	15
2.5.1 防撓材が防撓パネルの座屈強度に及ぼす影響	15
2.5.2 船底外板の座屈・塑性崩壊挙動及び強度の解明	15

2.5.3 船底桁の座屈・塑性崩壊挙動と強度の解明	15
2.5.4 繰り返し座屈による疲労強度の解明	15
2.6 変動荷重による構造応答の検討	16
2.6.1 変動荷重の推定	16
2.6.2 変動荷重に対する構造応答	17
2.6.3 応力の応答関数の簡易推定法	18
2.7 計算による構造設計法に関する検討	18
2.7.1 合理的な構造計算方法の確立について	18
2.7.2 設計の基準及び手法の確立	19
 3. 得られた成果	31
3.1 損傷データの調査と検討	31
3.2 主要部構造データの収集と解析	31
3.3 ばら積貨物船の疲労損傷と保守点検に関する検討	31
3.4 溶接作業の作業性に関する調査	31
3.5 座屈許容設計法の研究	32
3.6 変動荷重による構造応答の検討	34
3.7 計算による構造設計法に関する検討	35
3.7.1 合理的な計算方法の確立について	35
3.7.2 設計の基準及び手法の確立	35
 4. 成果の活用	38

ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究

1. 研究の目的

ばら積貨物船は成熟した製品と言われているが、多くの研究にもかかわらず現在でも就航船の損傷があとを絶たない。また、贅肉はかなり取り去られていて、さらなる軽量化、省力化のためには保守点検による強度の回復まで考慮した設計が必要である。しかし、現状ではこのようなきめ細かい設計をしようとする場合に適切なガイドラインがない状態である。今後、厳しい価格競争の中で成熟製品であるばら積貨物船を建造して行くためには僅かでも蓄積された技術を積み重ねてシステム化し、強度、軽量化、安全性の微妙なバランスを考えた設計法を実用化する必要がある。しかし、日常設計の現場では安全性と軽量化をどうやって trade off するか見当がつかない場面も多い。

このような事情を勘案して、本研究ではばら積貨物船の設計に際して従来以上に細かい検討ができるようなツールの構築を目的として次の目標を定めた。

- (1) 図面から作業工数の推算が可能な手段を作成すること。
- (2) 構造の強度検討に役立つ保守点検法を案出すること。
- (3) 従来より一段きめの細かい設計時強度検討技術を開発すること。

このために、主として前記(1)、(2)を検討するWG 1 と(3)を検討するWG 2 とを設置し、次の検討を行った。

〈WG 1〉

- a. 既存のばら積貨物船の損傷事例及び構造寸法のデータを収集したデータベースの作成
- b. 疲労強度と保守点検法との関連の研究
- c. 図面から溶接作業工数を推算する方法の開発

〈WG 2〉

- a. 座屈許容設計法の研究
- b. 波浪変動荷重による応力の簡易推定法の開発
- c. C A E のための有限要素法の実用化
 - 1) 計算の省力化
 - 2) 具体的構造の検討思想の確立

以下に各項目の概要を述べる。

1.1 損傷事例の調査と検討

ばら積貨物船の過去から現在に至る構造の問題点を明らかにして今後の設計に反映すると共に要研究テーマを拾い出す。このために過去に発表された損傷例を収集しデータブックを作成しさらにその内容を検討する。

1.2 構造データの収集とデータベース構築

構造設計が船殻を作るに必要な情報を決定し、図面あるいはデータとして提供することにあるとすれば、情報をどのような手順で加工するかは重要であり、研究は広く行われている。つまり船体構造は標準構造パターンの集合体と考えるならば、標準構造の善し悪しは船の安全性、節労問題まで決してしまうということになる。

そこで、最近建造されたばら積貨物船のデータを収集し解析することで、合理的な標準構造の設定、及び初期構造決定、保守点検のための資料として機能を果たすべく検討した。

15型から150型までのばら積船の構造データを調査し、設計データ集としてまとめる。このデータから各設計要素間の相関関係を調査し明らかにした。

1.3 保守点検が強度上の安全性に及ぼす影響の研究

船体の疲労信頼性は、設計時の配慮とともに使用中の検査保守によって維持されている。しかし現在行なわれている検査によって、船体に発生した亀裂のうちどの程度が発見されどの程度が見落とされているのか、船体において望まれる疲労信頼度はどのレベルか、あるいはそのレベルを達成するためにはどんな検査間隔と手法で検査すればよいのか、など信頼性評価に必要な定量的情報はほとんど把握されていない。これらの解明には、船体構造部材の疲労特性や現場での検査能力を明らかにして、検査補修の効果を組み込んだ疲労信頼性解析を行う必要がある。

そこで本研究部会ではまず、“ばら積貨物船の疲労損傷と検査”に関するアンケート調査を参加造船所の技術者を対象に実施し、信頼性解析に必要な部材疲労特性や検査能力の情報を収集することにした。次に調査結果を用いて、繰返し検査を考慮した信頼性解析と感度解析を行った。そしてばら積貨物船の疲労信頼性と合理的な構造検査のあり方を明らかにした。

1.4 溶接作業の作業性に関する調査

強度上の安全余裕は多いに越したことはないが、そのために建造コストが大幅に上昇することは避けねばならない。そこで、ある構造方式に対してコストを検討する場合に、物量以外に作業工数が関係する。船の場合には作業の大部分は鋼材の溶接作業であるので、まず図面から溶接工数を推定する手法の開発を狙って検討することとした。

1.5 座屈許容設計法の検討

TMC P 鋼の出現以降、船体構造に高張力鋼が広範に用いられ、パネルの薄肉化による船体重量の軽減が進んでいる。しかしながら、現状の設計ではパネルの薄肉化は、座屈防止条件により制約を受けている。そこで、部材の重要度に応じて、パネルの弾性座屈発生を許容しようと言う、「座屈許容設計」の概念が提唱されている。

座屈の発生を許容した場合に強度上考慮すべき問題として、座屈強度の正確な評価、座屈後低下する面内剛性の評価、初期降伏強度、座屈発生から最終強度までの強度余裕、繰り返し座屈たわみの発生による疲労などがある。

本研究部会では、座屈許容設計適用の可能性を検討するため、上記の項目を明らかにする目的で一連の研究を実施した。

1.6 波浪中の変動荷重による構造応答の検討

直接計算を中心とする船体構造の合理的設計法を検討するにあたって最大の問題は波浪荷重の推定である。船の一生に遭遇するすべての状態の荷重を求ることは不可能であるから、ある程度抽象化された標準荷重を用いる必要がある。標準荷重を設定する第1歩として、各サイズのばら積貨物船の種々の状態における規則波中の波浪荷重及び載荷の荷重を計算し、これを構造に加えて得られた応答から実用的な変動荷重を求める。

1.7 計算による構造設計法の検討

合理的な設計法確立のため、ルールによる設計から直接計算による設計に移行するに際しては、再現性のある計算法、計算の省力化、計算結果を用いた強度評価法、計算結果の物理的解釈などの項目の解明あるいは確立が必要である。そのために、ズーミング計算省略の可能性の検討、有限要素モデル化の手法の検討などをやりとともに、ばら積船の代表的な構造に対して詳細計算を行って強度評価の手法を探ることとする。

2. 研究の内容

2.1 損傷データの調査と検討

ばら積貨物船の合理的な船体構造の調査研究を行うにあたり、まずその損傷実績を調査、整理することにより船体構造上の問題点を明確にし、損傷当部に関連する構造についての今後の研究に生かすため、平成6年度の作業として損傷データの調査を行った。調査対象は過去15年間の竣工船から抽出したものとし、船種としてはばら積貨物船と類似の構造を有する数隻のチップ船、鉱石船等も含めることとした。調査の対象は次の通りである。

- | | |
|------------------------|-----|
| a) 船体構造委員会西部地区部会資料 | 35件 |
| b) 船体構造委員会関西地区部会資料 | 4件 |
| c) 本部会参加造船所に対するアンケート調査 | 36件 |

調査資料75件を損傷カテゴリ別に集計したものを要約の表1に示す。さらに要約の図1では竣工年が1985年以前と1986年以降の損傷件数を比較した。最大件数のカテゴリはハッチコーミングである。損傷部位はサイドコーミング端部のブランケット部が殆どであり、その主因は船体縦曲げである。

第2位スツール、第3位横隔壁は、バラスト兼用ホールドの前後に大多数の損傷が発生しており、バラストを搭載したときの載荷状態が過酷であることがわかる。また、これらは1986年以降に急増しており今後とも計画時には十分な検討が必要と思われる。

船底構造は内底板のビルジホッパのナックル部の亀裂が多く、それらが構造に悪影響を及ぼしている。船側構造の損傷には波浪変動圧による疲労が原因と思われるものがあった。

第4位船底構造から第8位船側構造までは年代による損傷件数の差は小さい。それに反し86年以降の損傷データはなかった。

今回の調査資料数が十分であるとは言えないため日本海事協会の損傷データベースの調査を行ったところ、その損傷傾向と今回の調査とは同様であることを確認した。したがって、本調査によりばら積貨物船の損傷の特徴が把握できたものと考えられる。

本調査の資料はその後の本研究にあたって重要な参考資料となった。また、今後のばら積貨物船の船体構造の検討に際しても有効な資料として利用できる。

2.2 主要部構造データの収集と解析

2.2.1 調査方法

調査研究は最近建造されたばら積貨物船のデータを収集し解析することで、合理的な標準構造の設定、及び初期構造決定、保守点検のための資料として機能を果たすべく検討した。

ばら積貨物船として今まで建造された実績船は一般的にビルジホッパー、トップサイドタンクを有する構造様式の船がほとんどである。近年に建造されるばら積貨物船もこの構造様式の優れた点を踏まえて、多少の変化はあっても大きく変わらないものと考える。従ってばら積船特有の船体構造は貨物倉部にあり、これを主要部構造様式として捉えた。また船の大きさは12,000 DWT～150,000 DWTとした。なお、船の大きさ(DWT)が同じであっても設計コンセプトを異にするものは調査の対象とした。

この主要部構造様式を対象として構造様式を記述する方法の検討を行った。主な内容は次のようなものである。

- 1) 出来る限り記号化すること(構造部位の形状、様式も含む)。
- 2) 構造様式・要素の相互関係を検討するに便利であること。

- 3) 可能な範囲で設計条件もデータ化すること。
- 4) 数値を入れるものにとどまらず、文字で埋める項目と図版化を併用すること。
- 5) 記号及び寸法等は船級協会規則、設計図書類に使用されているものとすること。
- 6) 記入の便を計ること。

上記、検討結果に基づいてフォーマットを作成しフォーマットの名称を「HULL STRUCTURAL DATA」とした。なお、実績調査のアンケート様式としても採用した。

データ構成は15区分として各船のデータ番号を取り、主要目関係は船主、船級、舵、速力、航路等、配置関係は構造様式と深くかかわるのでホールドの数及びホールドの長さ等、荷重関係はデザインコンディションとして積荷状態からバラスト状態まで、また直接計算の手法から振動対策の方法も記述することとした。縦強度関係は当然記述することにし、特にばら積貨物船の主要部構造様式を構成する二重底構造、ホッパータンク、ホールドフレーム、トップサイドタンク、横隔壁、クロスティックの各構造は構造部位の形状、様式についてデータ化するための記号化を採用して工夫している。また近年のばら積貨物と比較するために1960年代のばら積貨物船の主寸法比のデータも参考として調査した。

2.2.2 調査結果

調査結果として27隻の貨物船の資料が集まり、その船型は12,000D/Wから157,600D/Wでハンディバルクからケープサイズまであり、ケープサイズ5隻、バナマックス7隻、45B/C7隻、38B/C3隻、28B/C3隻、22B/C1隻、12B/C1隻とVLBCを除いて、ほぼ代表的な、ばら積貨物船のデータ化が出来ている。また、集められたばら積船は1993年からさかのぼる10年間に建造された船が殆どであり現時点の構造は勿論、この10年間の構造様式の変化まで含まれたものとなっている。近年建造された船は合理的な構造の研究、電算機使用による解析手法の採用、高張力鋼の大幅な採用、工作の装置化等が反映されたものであり貴重なデータとなった。この貴重なデータの活用については項目ごとに詳細に整理されており、調査目的である合理的な標準構造の設定及び初期構造決定、保守点検のための資料として柔軟に利用できるものと考える。

また近年のばら積貨物と比較するために1960年代のばら積貨物船の主寸法比のデータも参考として調査した。

2.2.3 パラメータスタディ

主要部構造のパラメータ間の関係を把握するため、以下のような項目についてパラメータの検討を行った。

- (1) 1960年代と近年のばら積貨物船の比較
- (2) 縦強度関係
- (3) 最少板厚
- (4) 二重底構造
- (5) ビルジホッパータンク
- (6) 船側構造
- (7) トップサイドタンク
- (8) 横隔壁及びスチール
- (9) クロスティック構造

なお横隔壁及びスチールは、構造が複雑でパラメータが多いため、設計要素の多変量解析を行い、相関の強い要素を調べ主成分を抽出し主成分分析を行った。

パラメータスタディの結果、以下に示すような知見が得られた。

- (1) 主寸法比は、時代、船形の大小を問わずほとんど変わらない。
- (2) 船体横断面の断面係数に関する規則要求値に対する実際の値は、甲板側では要求値ぎりぎりが多いが、船底側では20~30%増しになっており、船底側は、縦強度以外の要因（二重底強度や局部強度）で構造が決定されている。
- (3) 上甲板はほとんど、船底側は2/3の船で高張力鋼が使用されている。
大型船（Panamax, Cape size）では10年以上前からHT化率が60%を越えている。
又、4万D/W以下の小型船では30%程度であるが増加の傾向にある。
- (4) 貨物倉の長さは船長に伴って長くならないので、大型船ほど船底の縦横比が小さく（幅広に）なる（図2.2.1参照）。

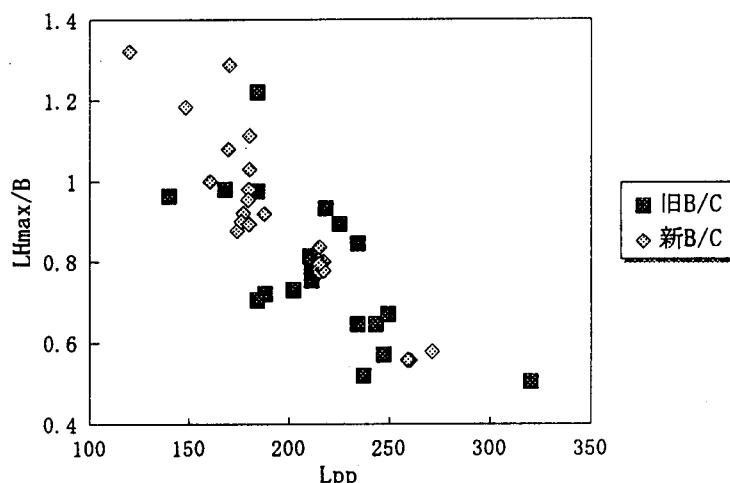


図2.2.1 船の大きさと船底の縦横比との関係
(LH_{max} : 船倉長さ B : 船幅)

- (5) 船形が大きくなると相対的にビルジホッパーが大きくなり、ビルジホッパーで強度を保持しようとする傾向がある。
- (6) ホールドフレームプラケットの底辺の長さは、ホールドフレームの断面係数と密接な相関がある。
- (7) トップサイドタンクの形状は、ハッチカバーの形式に影響され、大型船ではサイドローリング型が多いのでトップサイドタンクの幅は、船幅と相関がある。
- (8) 船形が大きくなると相対的にスツールが大きくなり、スツールで強度を保持しようとする傾向がある（図2.2.2参照）。
- (9) 同じ船でも水密隔壁に比べて荷重の大きい深水隔壁では、相対的にコルゲートを大きくして強度を確保する傾向にある。
- (10) クロスデッキの形状は、ハッチカバーの形式にも影響されるが、大型船ではサイドローリング型が多いので倉口幅とクロスデッキ長さの比は、2程度が多い（図2.2.3参照）。

2.2.4 構造データの設計における活用法

個々のパラメータについては、前記2.2.3で調査した図表により傾向がつかめるため設計する際の指針として有効に利用できる。

これとは別に主要部構造データの一覧表を小冊子にまとめ、データの絶対値の資料としても設計する際に有効に使えるようにした。

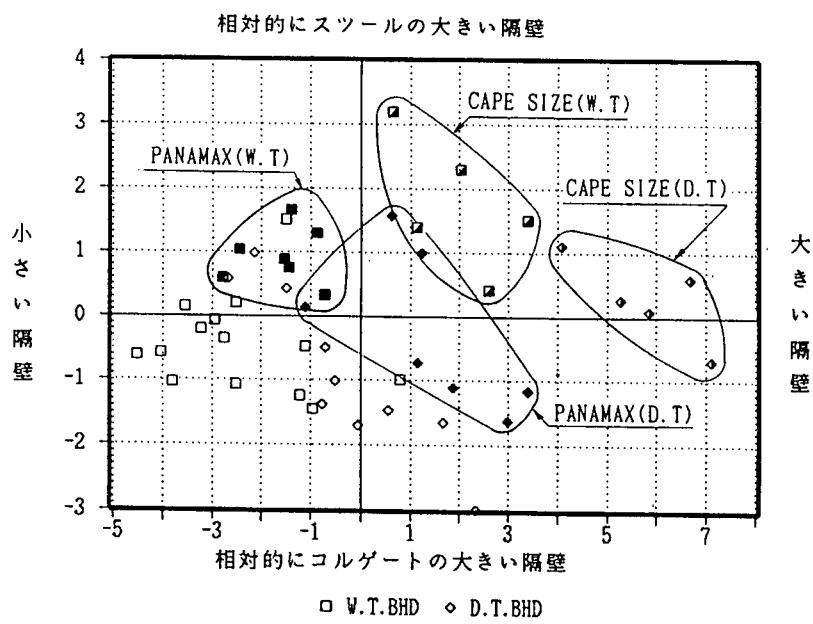


図 2.2.2 主成分分析による構造の特徴

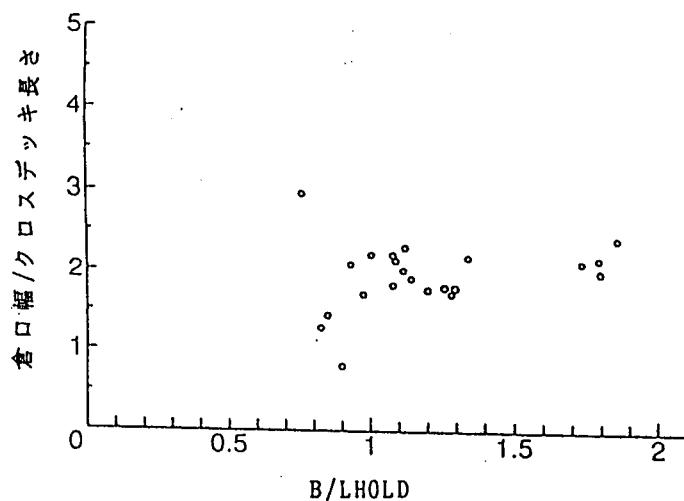


図 2.2.3 クロスデッキ長さとハッチ幅との関係
(B_d : ハッチ幅 H_d : クロスデッキ長さ)

2.2.5 まとめ

建造船の主要部構造データを調査しパラメータスタディを行う事により相関関係にあるパラメータを整理することができた。

またこれらのパラメータ相関図は、設計する際の有効な指針として利用できるようにした。

一方、27隻に及ぶばら積貨物船の構造様式をデータベース化したが、このデータをさらに使いやすく利用するためのソフトを開発する必要がある。

2.3 ばら積貨物船の疲労損傷と保守点検に関する検討

2.3.1 アンケート調査

アンケート調査は、ばら積貨物船で疲労損傷が比較的多く生じている6つの構造部位を対象に行なった(図2.3.1参照)。質問事項は、ばら積船1隻当たり20年間の使用に対して、(1)亀裂発生個数と検査で検出される亀裂個数の平均値、(2)

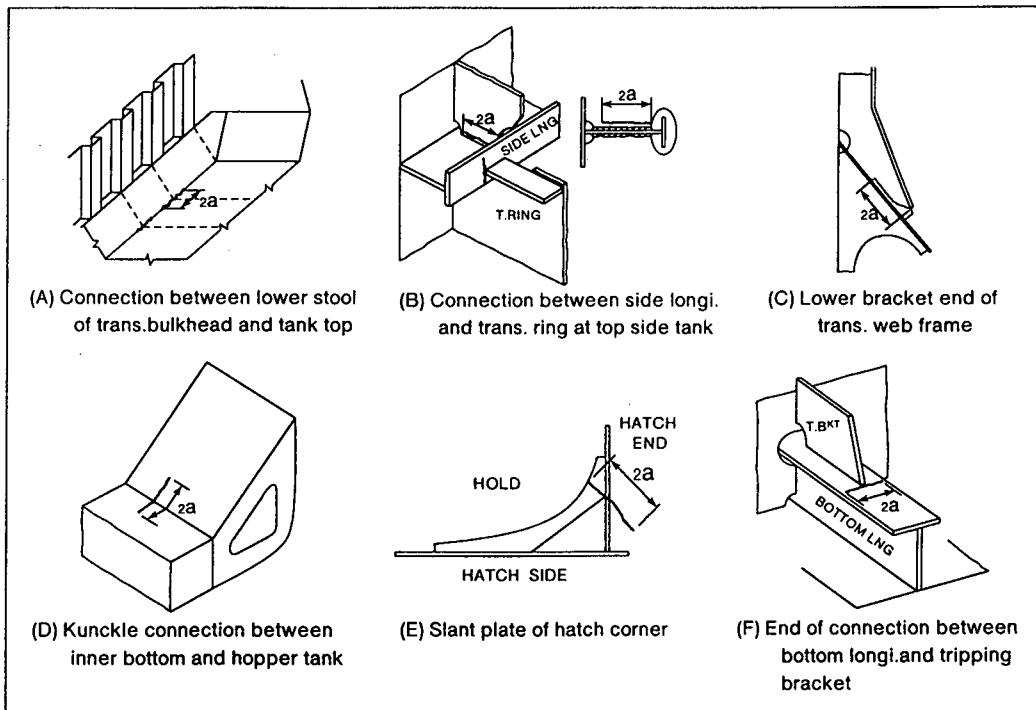


図 2.3.1 アンケート対象に選んだ 6 つの構造部位

亀裂発生時期の分布、(3) 20mmから200mmまでの亀裂伝播年数と亀裂成長パターン、(4) 200mmから500mmまでの伝播年数と亀裂成長パターン、(5)検査で見つかる亀裂長さの平均値、最小値および最大値、(6)目視検査における亀裂検出確率、(7) 200mmあるいは500mmを越える亀裂個数の現状と望ましいレベル、(8)長大亀裂からの事故シナリオ、(9)亀裂形態別の亀裂検出確率、(10)検査における構造部位への接近度、の10項目である。

今回のアンケートの特徴は、(a)損傷統計の収集でなく、回答者が過去に経験した損傷事例に基づいて主観的に回答してもらった点、(b) 20年間に亀裂発生を生じる部材に限定して疲労特性を調査している点、(c)日常比較的多く経験する200mmおよび500mmを限界亀裂長さに設定してこれを越える亀裂を破壊事象とした点、(d)評価の難しい亀裂成長の様子をパターン化して準備しそれから選択してもらった点である。

上記の(b)、(c)から累積破壊確率 $P_f(200)$ 、 $P_f(500)$ はそれぞれ、20年間に亀裂発生を生じる部材（亀裂発生時期は分布する）があったとして、それが使用期間中に200mmあるいは500mmを越えて成長する確率（1部材当たりの確率）、というように定義した。

2.3.2 アンケート調査結果

部材の疲労特性：アンケート結果によると、疲労亀裂は 6 つの部位とも部材使用開始後 4、5 年で多く発生していた。図 2.3.2 は部材(A)について亀裂発生時期、亀裂が 200mm に達する年数および 500mm に達する年数の分布を一例として示す（20年間に亀裂発生を生じる部材に限定）。亀裂成長パターンについては、図 2.3.3 の 5 種類を準備しそのなかから選択してもらったが、回答からは亀裂進展の特徴は読み取れなかった。これは

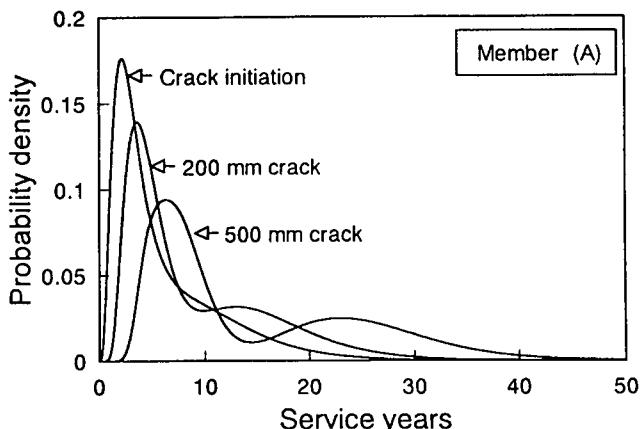


図 2.3.2 構造部位(A)の疲労寿命分布の確率密度関数

亀裂伝播経路や伝播速度の情報が未だ不足しているためと考えられる。このため後述の解析では③の直線的亀裂成長を仮定して解析を行った。

また亀裂検出率に関する質問から、現状の検査によって発生した亀裂の約60%が発見され残り40%は見落とされていること、また発生した亀裂の約3割が200mmを越え、約1割が500mmを越えて成長するという回答が得られた。

検査による亀裂検出能力：6つの部位を近接目視検査したときのPOD曲線を、腐食や塗装の影響が無い比較的良好な条件下で質問した。また図2.3.4中に示す6つの亀裂形態についても同様の質問を行った。これは同一長さの亀裂であっても、溶接止端に沿う亀裂と横断する亀裂、亀裂開口幅、亀裂検出のヒントの有無、亀裂検出を困難にする周辺部材の有無など亀裂形態によってPODが異なると考えたためである。結果を整理すると、POD曲線は図中の3グループ(Easy, Moderate, Difficult)に分類できた。検出能力が良好なのは部位(B), (C), (E), (F)や形態(1), (2)のように、亀裂発生点となる応力集中部が一点に特定できる場合である。一方、(5)の溶接ビードに沿う亀裂や、(6)の部材裏面で発生した亀裂が反対側表面に貫通したものは検出能力が低いことがわかる。

目標信頼度：部材の目標信頼度は安全性と経済性の両面から決定される。アンケートではPf(200)やPf(500)のレベルを、どの程度にするのが望ましいかを質問した。構造部位により多少の差異は見られるが、全般的に200mmを越える亀裂個数については現状の1/8程度に、500mmを越える亀裂については現状の1/16程度にするのが望ましいという結果が得られた。

2.3.3 信頼性解析の結果

信頼性解析には取扱いが容易なマルコフ連鎖モデルを使用した。補修は完全補修モデルを仮定した。図2.3.5は20年後の破壊確率を6つの部位について一括して示す。また図中には比較のために、アンケート調査で得られた破壊確率も黒四角印で示している。調査結果はPf(200)でみると検査間隔2年の解析結果に近く、Pf(500)では検査間隔4年の解析結果に近い。これはほぼ船体の定期検査や中間検査の間隔に対応している。また検査を全く行わなければ、発生した亀裂の約90%が200mmを越えて成長し、また60%程度が500mmを越えるが、現状行われている検査では、それらをPf(200)で約1/3、またPf(500)で約1/5に減少させる効果があることがわかる。

図2.3.6は検査で検出される亀裂長さの分布を、アンケート調査と解析(検査間隔2年の解析)で比較している。アンケートでは部位(B), (F)で50mm、部位(A), (C), (D), (F)で100mmの亀裂が多く見つかっているが、解析結果でも80mmから100mm程度の亀裂が多く発見されるという結果が得られた。

目標信頼度の回答は粗く考えると、Pf(200)を0.01(百分の1)のオーダーに、またPf(500)を0.001(千分の1)

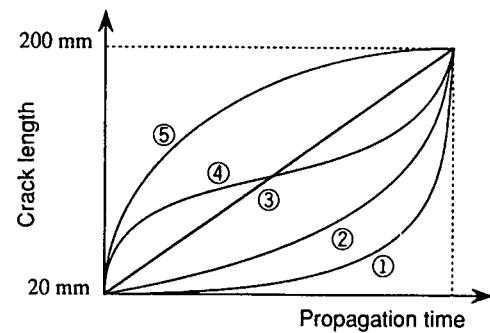


図2.3.3 準備した亀裂成長パターン

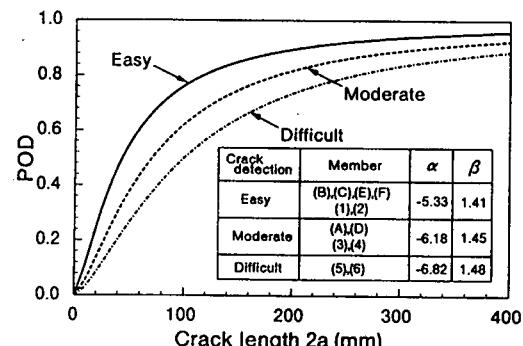
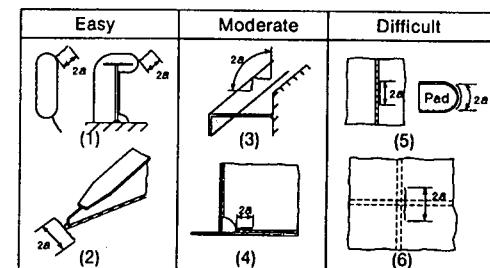


図2.3.4 近接目視検査のPOD曲線

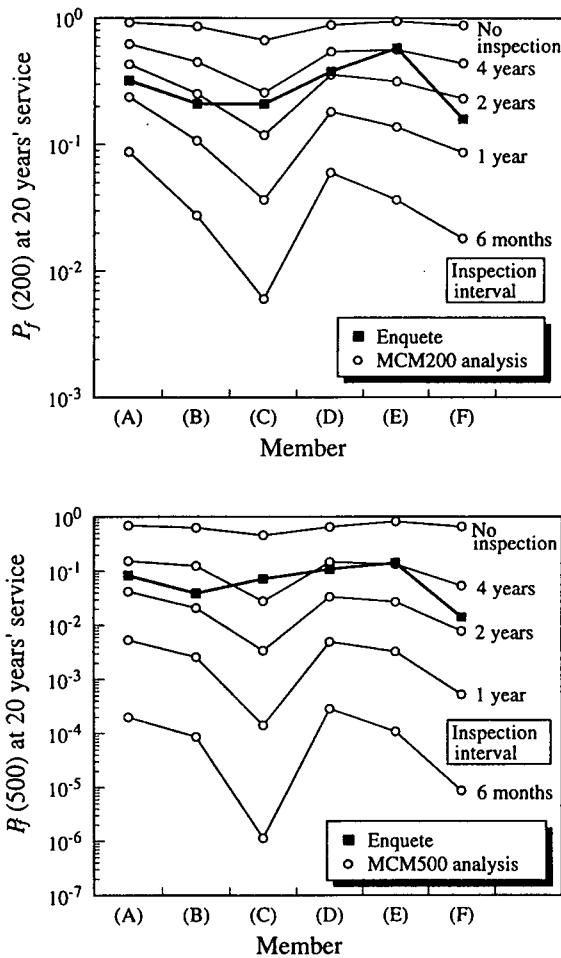


図 2.3.5 20年使用後の各部位の累積破壊確率

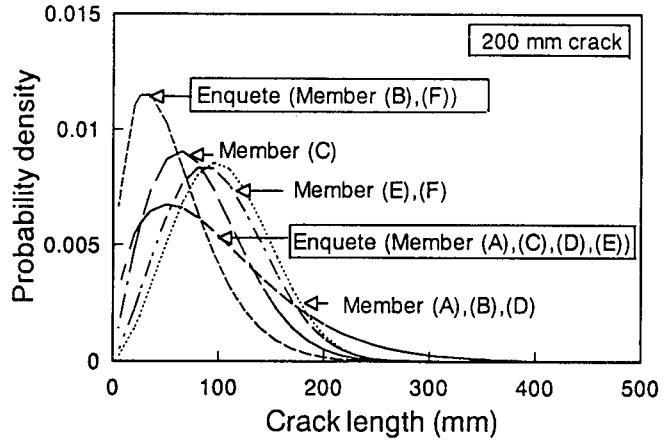


図 2.3.6 検査で発見される亀裂長さの分布

のオーダであった。そこで検査間隔を調節することにより累積破壊確率の目標値を達成するには、どの程度の検査間隔が必要かを計算した。その結果 $P_f(200)$ に対しては検査間隔を約半年に、 $P_f(500)$ に対しては約 1.5 年の検査間隔にする必要があることがわかった。

検査の有効性は亀裂成長パターンにも影響を受ける。本研究では図 2.3.3 のパターン③を想定して解析を行ってきたが、その他についても解析を行い亀裂成長パターンの影響を調べた。その結果図 2.3.3 の 5 つの亀裂成長パターンで破壊確率は 2 から 3 倍変化し、初期に亀裂成長が緩やかなパターン①が、累積破壊確率が大きいことがわかった。

2.3.4 感度解析

アンケート結果では、6つの構造部位の疲労特性は部位(c)を除き大きな差異は見られなかった。そこで部材(c)を除く5つの部位の平均的な疲労特性を基準として感度解析を行った。また検査は間隔 2 年の近接目視を基準とした。感度解析は基準の疲労特性と検査能力の周辺で、部材の疲労寿命 (25%、50%、75%、100% (基準)、150%、200%、400% の 8 通り)、検査間隔 (3ヶ月、6ヶ月、1年、2年 (基準)、4年および検査なしの 6 通り)、亀裂成長曲線 (図 2.3.3) の 3 つをパラメトリックに変化させて解析した。解析結果は、部材信頼度向上や部材の軽量化、検査の簡素化などの設計要求に対する解を得るという立場から検討した。表 2.3.1 には要求に対する対応策をまとめている。

表 2.3.1 感度解析で得られた設計要求への対応策

	目 標	解 決 策
Pf(200)	現状の信頼度を一桁向上させたい (レベルEからDへ)	検査間隔 2年を4ヶ月にする 又は検査間隔 2年で応力を15%下げる
	現状の信頼度を保ち10%軽量化したい	検査間隔 2年を6ヶ月にする
	現状の信頼度を保ち検査無にしてしたい	応力を20%下げる
Pf(500)	現状の信頼度を一桁向上させたい (レベルDからCへ)	検査間隔 2年を10ヶ月にする 又は検査間隔 2年で応力を10%下げる
	現状の信頼度を保ち10%軽量化したい	検査間隔 2年を8ヶ月にする
	現状の信頼度を保ち検査無にしてしたい	応力を15%下げる

2.3.5 点検区画と点検設備

ばら積貨物船の保守点検にあたり、注意すべき対象区画と検査内容、および点検設備について要求される用件をまとめ、合理的構造設計の一つとして、構造を利用した点検設備についてその現状を調査し評価を行った。

2.4 溶接作業の作業性に関する調査

2.4.1 はじめに

節労を考慮して構造設計を行おうとするとき、必要となるのは工作作業量の精度の良い把握である。しかし、作業量の算定は管理、工作部門で行われることが多く、構造設計者が利用可能で、比較的簡便な方法は未だ確立されていないようである。そこで、工作作業の多くを占める溶接作業を取り上げ、溶接方法、溶接姿勢、作業環境等が溶接作業時間に及ぼす影響を調査し、その結果を基に、これらのいくつかをパラメータとする溶接工数算出式を提案することを試みた。

2.4.2 調査の方法

調査は、(1)実際の溶接現場での環境、姿勢などが溶接作業性に与える影響を調べる調査、(2)溶接の種類、脚長など溶接本来の効率を調べる調査の2種類について実施した。(1)の調査はアンケート形式で、以下の項目について、溶接現場で直に作業者から聞き取る方法によった。また、このとき、実作業中の様子を観察するための写真撮影も行った。

- (A) 作業環境(温度、湿度、ほこり、換気、照明、騒音、作業場所、天候)
- (B) 作業特性(肉体的負荷、注意力、実溶接時間、ストレス、正確さ、溶接スピード)
- (C) 溶接種類
- (D) 溶接姿勢
- (E) 溶接継手
- (F) 溶接工程
- (G) 材質
- (H) 板厚
- (I) 脚長

調査(2)は、以下の項目のすべて組み合わせについて、そのときの溶接効率を、CO₂半自動溶接による脚長 8mm の下向き隅肉溶接を1.00としたときの割合で調べるものである。本調査もアンケート形式で委員各社の溶接管理者からの聴取

によって行った。

- (a) 溶接の方法（手溶接、CO₂半自動溶接）
- (b) 溶接の種類（隅肉溶接、突合せ溶接）
- (c) 溶接姿勢（下向き、立向き、水平、上向き）
- (d) 隅肉脚長（4 mm～15 mm）及び突合せ板厚（4 mm～30 mm）

2.4.3 調査結果

2.4.3.1 アーク発生率に関する分析

調査を行った各項目間の関係を見るために相関分析を行った。この結果から、溶接の作業効率に最も直接的に関係すると思われるアーク発生率に着目し、これと関連の大きい他の調査項目との関係を調べたところ、つぎのような相関関係が認められた。

- (1) 作業する空間が広くなるにつれてアーク発生率は高くなる。
- (2) 肉体的負荷が大きくなるにつれてアーク発生率は低下する。
- (3) 溶接スピードが速くなるにつれてアーク発生率は高くなる。
- (4) 溶接時の姿勢が上向きのときアーク発生率は低下する。

このほかに、溶接作業者が感じる肉体的負荷やストレスとほこり、換気、照明及び空間の広さなどの作業環境との間にかなりの相関関係が認められた。適切な溶接方法の採用や作業環境の整備が溶接作業効率の向上につながるものと思われる。

2.4.3.2 溶接姿勢に関する分析

調査時に撮影した写真から判別して、溶接姿勢を“寝る”、“座る”、“中腰”、“立つ”的4種類に分類し、さらに、足場の有無も調査した。その結果、溶接姿勢は、“座る”→“中腰”→“立つ”→“寝る”的順に多いことが分かったが、肉体的に負荷の大きいと思われる“中腰”姿勢が予想外に多いことが判明した。さらに、各溶接姿勢と他の調査項目との関係を調べたところ、以下のような知見を得た。

- (1) “座る”姿勢の肉体的負荷が比較的小さい。
- (2) “中腰”姿勢のとき、注意力持続時間が短くなる傾向にある。
- (3) “座る”、“立つ”、“寝る”、“中腰”的順で溶接効率が高い。
- (4) 4姿勢とアーク発生率との関係は、“中腰”姿勢のときに若干低下するようであるが、際立った傾向は見られない。

足場との関係では、足場上で“寝る”、“座る”的姿勢で溶接を行っている例は一例もなかった。また、足場上の溶接では、アーク発生率がやや低下する傾向が見られる。

2.4.3.3 主観的データに関する分析

今回の調査では、肉体的負荷の大小など5段階評価で採点した主観的データと姿勢持続時間等の客観的データも採取している。ここでは両者の対応について分析した。

肉体的負荷の大小（5段階評価）毎の溶接持続時間を調べると、比較的明確な相関が見られた。肉体的負荷が小（評価5）と大（評価1）の溶接持続時間の平均値は、それぞれ約70分、約10分である。同様に、注意力の持続度とその時間との関係を見ると、注意力を最も長く維持できると思われる場合、約50分、最も難しいような場合では約10分であ

る。両方の結果を合わせると、厳しい環境下での溶接持続時間は平均的に10分程度が限界であり、一方、比較的溶接が容易なところでも、最長1時間程度が連続的に溶接が可能な限界と考えられる。

作業者が感じた作業空間の広さと実測した作業スペースとの対比を行った。実測データは作業者の前後左右の空きスペース、天井高さなどであったが、これら単独のデータと作業者が感ずる空間の広さとの間に関係は認められなかった。このことから、個々の値は広さという感覚には直接的には関係ないものと思われる。つぎに、これらのデータの組合せ（面積、体積）との関係を調べたところ、体積について比較的明確な相関が現れた。この結果によると、作業者は 5 m^3 程度を境として、広く感じたり狭く感じたりしているようである。

2.4.3.4 溶接の種類、脚長の差による溶接時間

溶接作業においては、使用する溶接方法や溶接姿勢、溶接脚長が作業効率に影響する。この度合いを確認するため調査(2)を行った。調査はいくつかの造船所において別々に実施されたが、調査結果に各社間の大きな差は見られなかった。図2.4.1～図2.4.4は、調査の結果を基にして、溶接方法（手、CO₂半自動）と溶接種類（隅肉、突合せ）毎に、脚長、

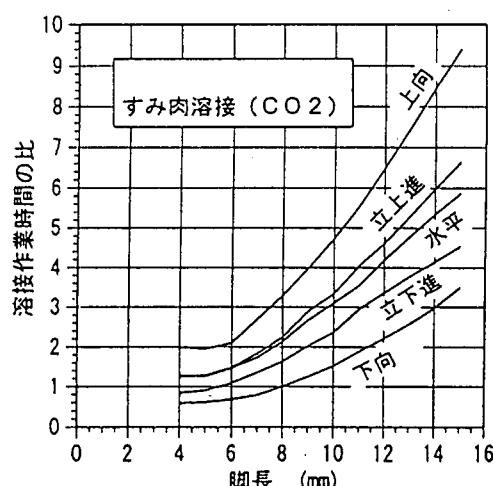


図2.4.1 溶接作業時間に及ぼす脚長、溶接姿勢の影響
(脚長8mmのCO₂下向き溶接を単位長さ行う時間を1としたときの作業時間の比)

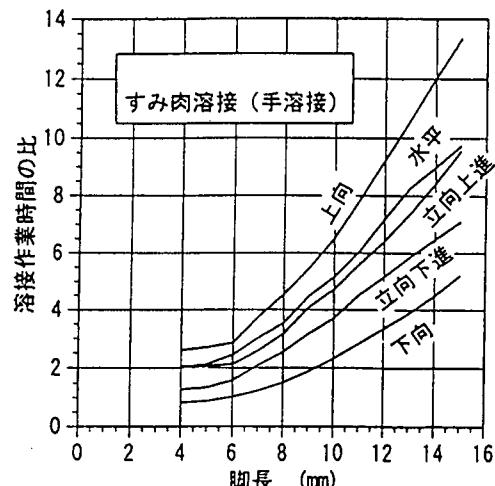


図2.4.2 溶接作業時間に及ぼす脚長、溶接姿勢の影響
(脚長8mmのCO₂下向き溶接を単位長さ行う時間を1としたときの作業時間の比)

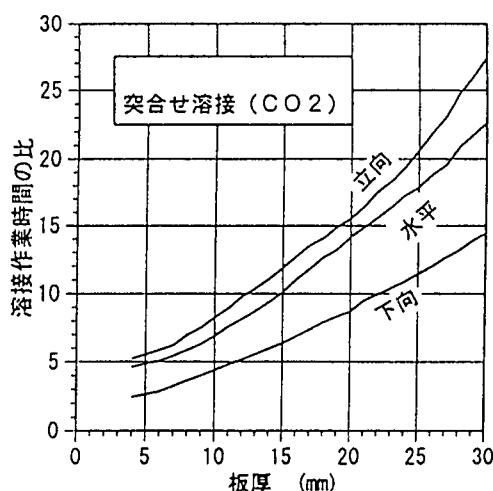


図2.4.3 溶接作業時間に及ぼす板厚、溶接姿勢の影響
(脚長8mmのCO₂下向き溶接を単位長さ行う時間を1としたときの作業時間の比)

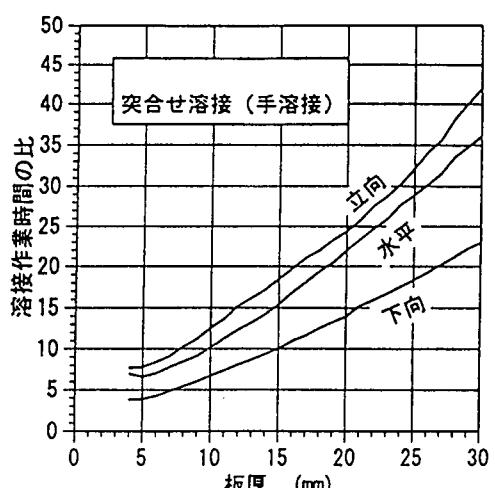


図2.4.4 溶接作業時間に及ぼす板厚、溶接姿勢の影響
(脚長8mmのCO₂下向き溶接を単位長さ行う時間を1としたときの作業時間の比)

姿勢の差によって溶接作業時間がどのように変化するかをまとめたものである。いずれも、CO₂半自動隅肉溶接で、脚長8mmを1.00としたときの割合で表示している。この結果を基にして、溶接作業時間の比(γ)を推定するための推定式を作成した。

$$\text{溶接作業時間の比 } \gamma = A_3 t^3 + A_2 t^2 + A_1 t + A_0 \quad (2.4.1)$$

この式においてtは、隅肉溶接では脚長を、突合せ溶接では板厚を表す。また、A₀～A₃は溶接方法毎に決定したパラメータで、表2.4.1に示すとおりである。

表2.4.1 溶接作業時間の比を表すパラメータ

溶接方法	姿勢	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀
すみ肉溶接 (CO ₂)	下向	-0.00051	0.03545	-0.25517	1.04078
	立向上進	-0.00297	0.11272	-0.75894	2.65298
	立向上進	-0.00278	0.09413	-0.61750	1.98742
	水平	-0.00279	0.10331	-0.70297	2.56809
	上向	-0.00393	0.15648	-1.11117	4.11597
すみ肉溶接 (手溶接)	下向	-0.00089	0.05571	-0.39355	1.56546
	立向上進	-0.00361	0.15199	-1.12350	4.30690
	立向上進	-0.00397	0.13684	-0.87462	2.81306
	水平	-0.00578	0.20192	-1.39038	4.75188
	上向	-0.00571	0.22768	-1.62684	5.81682
突合せ溶接 (CO ₂)	下向	-0.00004	0.00820	0.23000	1.28750
	立向	0.00053	-0.00966	0.65047	2.32601
	水平	-0.00036	0.02930	0.06996	3.73051
突合せ溶接 (手溶接)	下向	-0.00029	0.02411	0.22741	2.23476
	立向	0.00058	-0.00751	1.00261	2.86338
	水平	-0.00083	0.06214	-0.10822	5.90134

2.4.4 溶接工数算出式の提案

今回実施した調査によって、溶接作業時間に影響を与える因子を確認し、さらに、一部の影響因子については定量的に影響の度合いを考慮できるだけのデータを得られたものと思われた。そこで、これらの結果を用いて、構造決定の段階で溶接作業時間を見積もることのできる工数算出式を作成した。

$$h_s = \frac{I*H}{A_s} * (1 + k_1 + k_2 + \dots + k_n) \quad (2.4.2)$$

ここに、 h_s ；部材毎の溶接時間(hr)

I；部材毎の溶接長さ(m)

H；基準となる溶接(CO₂半自動、脚長8mmの隅肉溶接)を行うのに要する単位長さあたりの時間で、各社の平均値を取り、3.93min/m(0.066hr/m)とする。

A_s；平均的アーチ発生率。調査結果より60%とした。

γ；溶接姿勢、脚長等による溶接作業時間比。(2.4.1)式で求める。

k₁～k_n；影響係数

H 、 At 及び γ は、式の説明内に記したように、調査、分析から求めた定数及び算出式の値である。つぎに、影響係数 $k_1 \sim k_5$ は、溶接時間に影響を与える各種の因子の度合いを評価する係数である。影響因子の中には、設計の段階で判定できないものもあり、どれを採用し、また、いくらくらい設定するかは、前述の調査結果と次節以降に示した実績値との対比から決定した。最終的に 5 つの影響因子のみを考慮することになり、それらの値を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 溶接工数影響因子の係数

k_1 ; ステージ係数		k_2 ; 狹隘度係数		k_3 ; 足場係数	
大組	0.2	狭い	0.2	有り	0.1
中組	0.1	普通	0	無し	0
小組	0	広い	0	—	
k_4 ; 傾斜床係数		k_5 ; 溶接姿勢係数		—	
有り	0.2	中腰	0.2	—	
無し	0	寝る	0.2	—	
—		その他	0	—	

2.4.5 算出式のブロックへの適用例

前節に示した算出式を用いて計算した溶接工数と実際にかかった時間との対比を行った。工数の算出は、各溶接ごとに行い、それらを船殻ブロック単位で集計した。対比は、委員各社の工場で製作された船体中央部及び船首部の船殻ブロックを対象とし、実績工数がすでに求められている 28 個のブロックについて実施した。なお、大組（及び中組）ステージと小組ステージの内訳が判っている一部ブロックについては、その比較も行っている。これらの結果をまとめて図 2.4.5 に示す。

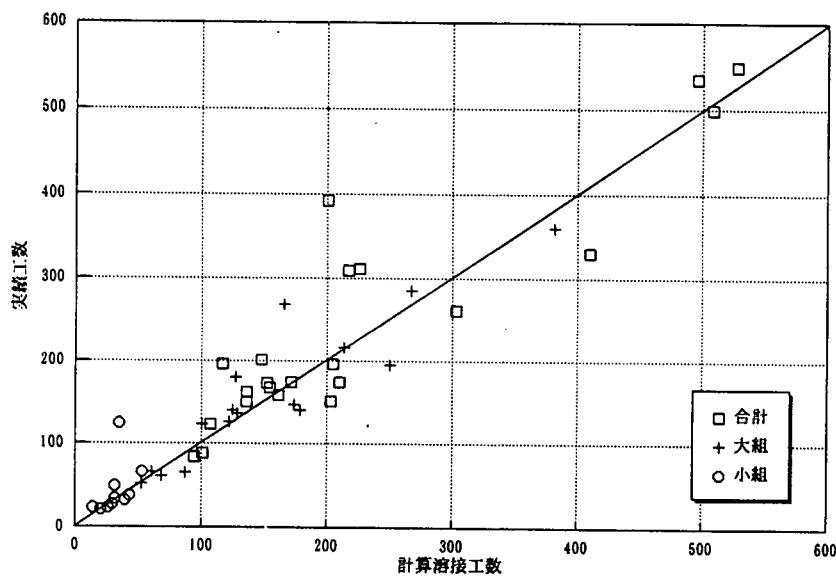


図 2.4.5 溶接工数計算値と実績値の比較

この結果をみると、計算値の方が全体的に小さめに算定される傾向にあり、この傾向は大組ステージの結果に対して、より顕著である。また、本算出式には平行ブロックに対する係数、曲がりブロックの係数などの全体を調整する係数が

一切含まれていないが、各種のブロックに対してほぼ同程度の近似を与えていた。このことは、 k_1 以下の影響係数の値がほぼ妥当なものであり、溶接工数に影響する因子を正しく評価していることを示すものと考えられる。一方、各社工場別に結果を調べると、特定の工場で製作されたブロックは概ね大きく計算されるなどの偏りがみられた。当然ながら各工場それぞれの工作設備、方法を採用しており、溶接工数に影響があることは言うまでもないことである。したがって、誤差の主たる要因は工場間の差に依るものと考えられる。

以上のことから総合すると、本算出式は概ね妥当な計算値を与えるとの結論を得た。小さめに算定されることについては、アーク発生率(A_t)もしくは大組ステージ係数(k_1)を若干変えることで調整できると思われるが、前述のように工場間の影響の方がより支配的であると思われるので、項目を指摘するにとどめる。

2.4.6 まとめ

構造設計時に利用可能な溶接作業工数算出式を見いだすこと目的として、溶接作業に影響する因子の調査を行い、これらの因子が評価可能な算出式を提案した。本算出式で求めた溶接工数は、実績値とよい一致を示している。精度向上のためには、各工場ごとの修正係数等を加味することが望ましいが、本算出式に含まれる影響因子は実用上十分な計算値を与えるものとの結論を得た。

2.5 座屈許容設計法の研究

2.5.1 防撓材が防撓パネルの座屈強度に及ぼす影響

通常の設計では、パネルの座屈強度を周辺単純支持の条件を仮定して求めている。しかしながら、パネルの周辺には防撓材が配置されており、これがパネル周辺の回転変形を拘束して座屈強度が高くなることが予想される。そこで、面内圧縮荷重を受ける連続防撓パネルを対象として、防撓材の拘束影響を考慮した座屈強度算式を解析的に導いた。

2.5.2 船底外板の座屈・塑性崩壊挙動および強度の解明

船底外板は水圧と縦曲げによる船長方向の圧縮および船側に作用する水圧による船幅方向の圧縮を受ける。この船底外板の連続防撓パネルとしての座屈・塑性崩壊挙動を、有限要素法による弾塑性大たわみ解析を実施してシミュレートし、水圧荷重下における2軸圧縮最終強度相関関係を導いた。そして、船級協会の与える船底板の座屈強度算式について考察を加えた。

2.5.3 船底桁の座屈・塑性崩壊挙動と強度の解明

船底桁には、一般に曲げ／剪断／圧縮の組合せ荷重が作用する。この船底桁を、ロンジ材間の内底板および船底外板パネルの半幅をウェブ上下の両側にフランジとして有する桁にモデル化し、有限要素法による弾塑性大たわみ解析を実施した。解析結果に基づき、スチフナの効果および孔の影響も含めて、船底桁が座屈・塑性崩壊に至る過程を明らかにした。また、現存のばら積み貨物船に対して、設計荷重のもとでの座屈発生の可能性についても検討を加えた。

2.5.4 繰り返し座屈による疲労強度の解明

パネルに弾性座屈発生を許容すると、繰り返し荷重のもとでは座屈たわみが繰り返し発生し、これに伴う曲げ応力による疲労が問題となることが予想される。そこで、上甲板を模した縮小試験体を製作し、実際に座屈疲労試験を実施した。

2.6 変動荷重による構造応答に関する検討

合理的な船体構造設計を行なおうとする場合、少なくとも静的強度と疲労強度について検討を行なっておく必要があるのは言うまでもない。このうち、静的強度については、強度上重要となる荷重の推定も容易であり、またそれらを用いた構造解析も多数試みられ、船体構造設計を行なう上で重要となる個所についての知見が数多く得られてきた。一方、疲労強度については、タンカーの縦通肋骨について詳細な検討がなされた例があるものの、それ以外の個所、それ以外の船についての強度検討、特に、疲労強度上重要となる荷重の特性を考慮した検討は、ほとんどなされてこなかった。

そこで、本研究では、ばら積貨物船を対象とし、疲労強度を念頭において、変動荷重による構造応答の検討を行なった。まず、代表的な3船型、Handy Size, Panamax Size, Cape Size,を取り上げ、これに作用する波浪変動圧および変動内圧の計算を行なった。次に、ばら積貨物船の疲労強度上重要となる個所の代表的例としてビルジホッパナックル部を取り上げ、波浪および内圧変動荷重に対する構造応答を計算し、この部位での応力評価を行い、構造的特性について考察した。さらに、今後の疲労強度検討に資するべく、変動荷重を用いて疲労強度評価に必要な応力応答関数を簡易に推定する方法の提案を行なった。

2.6.1 変動荷重の推定

ばら積貨物船の合理的な船体構造を探求するためには、船体に作用する荷重をより精密に推定し、それによって発生する応力を基に船体構造強度評価を行う必要がある。本章では、ばら積貨物船の船体強度のうち、主として横強度に関する疲労強度を念頭において、波浪中で船体に作用する主要な荷重の推定を行なった。ばら積貨物船の横強度に関する主要な変動荷重としては、船体の外側から作用するいわゆる波浪変動圧、船倉内の積み荷やバラスト水による槽内変動圧、および船体の慣性力などが考えられるが、ここでは、これらの変動荷重の推定法について、これまでの研究結果を整理するとともに、波浪変動圧と槽内変動圧の計算法を示した。

まず、波浪変動圧については、ストリップ法により計算された船体運動を基に、二次元境界要素法を用いて時々刻々の圧力分布形状を計算した。この計算法は、自由表面条件を瞬時瞬時の実際の波面上で満足させるようにした非線形計算法であり、船の横強度を検討する上で重要となる喫水線近傍の圧力分布をより精密に計算できるものである。一方、槽内変動圧については、まずストリップ法で槽内の各点の加速度を計算し、これを圧力に変換することによって、バラスト水、および鉱石による変動圧力を計算した。加速度による変動圧の場合、圧力の原点をどこにとるかが問題となるが、ここではこれまでの研究結果を参考にし、上下方向加速度については船倉の頂部を原点とし、水平方向加速度については船倉の中央を原点とした。また、バラスト水による変動圧力と変動鉱石圧との違いは、その比重のみとした。

ところで、このような変動圧力は、一般に、場所ごとに異なった位相差を持つため、変動応力を厳密に計算するためには、各時刻での圧力分布を荷重として応力解析を行い、注目する部材に最大応力が発生する圧力分布を見つけなければならない。しかしながら、これには膨大な計算が必要となるため、ここでは、以下のようない方法を用いた。すなわち、波浪変動圧については、波上側船側の船側波高が最も高くなった時の水圧分布から最も低くなったときの水圧分布を差し引き、これを変動圧分布とし、これによって生ずる応力値を変動応力振幅とした。一方、内圧については、応力を求めるべき注目する部位を決め、この点で圧力が最大となる時刻を計算し、その時刻での圧力分布を内圧分布として採用した。なお、このような考え方では、疲労強度においては変動応力が重要となるが、ある点の変動応力にはその点に加わる圧力の寄与が最も大きく、この点から離れたところの圧力変動は相対的に影響が小さい、と仮定するものである。このように考えれば、船体各部での圧力の同時性が考慮でき、最大値包絡線のような非現実的な圧力分布を用いるということがなくなる。

試計算は、対象船をHandy Size, Panamax Size, Cape Sizeの3種類のサイズの異なるばら積貨物船として行

なった。なお、船体断面に作用する変動水圧の断面内分布の様子は、その船の遭遇する波の波長・波高や波との出会い角等によって変化するため、厳密にはすべての波長や波との出会い角に対して変動圧分布を計算し、これらのすべての場合について応力解析を行う必要がある。しかしながら、このようにすべての波浪条件について各船に働く水圧分布を計算することは膨大な作業となるため、ここでは、疲労強度に最も寄与すると思われる波浪のみについて計算を行なった。試計算に用いた波浪は波高3m、波長125mの規則波であり、波との出会い角のみを変化させた。

試計算による検討結果から、変動水圧の振幅は必ずしも船の大きさによって特徴づけられるわけではなく、それぞれの船の固有の性質によって異なり、特にRollの影響が大きいことがわかった。また、波浪変動圧の変動成分の分布形状も、船の大きさによってその分布パターンを分類することはできず、同一の船、同一の波でも船と波との出会い角によって、変動圧の分布パターンが異なることが判明した。また、槽内変動圧については、rollの影響が大きいことがわかった。

2.6.2 変動荷重に対する構造応答

ここでは、ビルジホッパナックル部について、図2.6.1の(ア)～(イ)の3種類の局部構造を取り上げ、それぞれに対する構造応答を求めた。

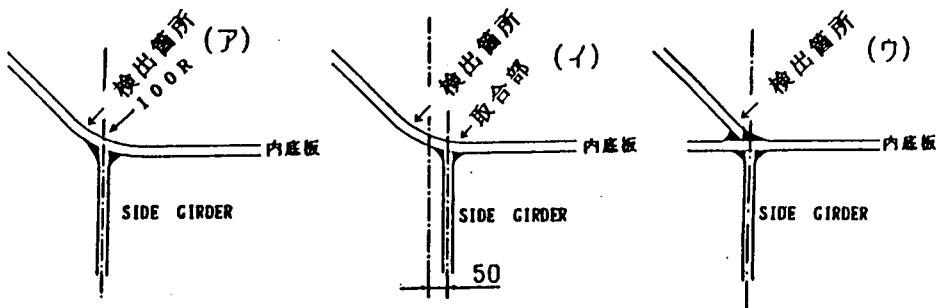


図2.6.1 構造応答検出箇所

(ア) ナックル構造で、内底板とホッパー斜板の延長線の交点と2重底ガーダーの板厚中心が一致した構造。

(イ) ナックル構造で、(ア)に対して2重底ガーダーの位置を50mmずらした構造。

(ウ) ビルジホッパ斜板と内底板が溶接タイプとなった構造(ただし、目違いについては考慮せず)。

構造応答解析は、コースメッシュモデルとファインメッシュを組み込んだモデルとを用いて行なった。なお、荷重条件としては、バラスト兼用倉にバラストを満載したバラスト状態と、鉱石を隔倉積みにした満載状態の2状態を用いた。

まず、コースメッシュモデルを用いた解析結果より、波浪変動圧および槽内バラスト水による変動圧を荷重とした場合については、波との出会い角90°の時に応力値が大きくなることがわかった。一方、鉱石を隔倉積みにした場合の鉱石圧を荷重とした計算では、Handy SizeとPanamax Sizeの構造応答の傾向は類似しているが、Cape Sizeの場合はこれらと応答が異なり、構造応答に船型による差が現れることが判明した。また、ファインメッシュモデルを組み込んだモデルによる計算結果より、いずれの荷重ケースでもビルジホッパナックル部の構造では、(ア)く(ウ)く(イ)の順に応力値が大きくなることが判明した。変動荷重による構造応答という観点から見ると、今回計算した3種類のビルジホッパナックル部の構造では(ア)が最も優れており、疲労強度上有効であることが推測される。

2.6.3 応力の応答関数の簡易推定法

実際のばら積貨物船において船体疲労強度を詳細に検討するためには、S-N線図より疲労被害度を計算する必要が生ずるため、注目している部材の応力の応答関数が必要となる。しかしながら、応力の応答関数を忠実に計算するためには莫大な量の構造計算が必要であるため、通常は応力の応答関数を完全な形で求めることは不可能に近く、また本研究でも為し得なかった。そのかわりに、ここでは変動水圧の応答関数から応力の応答関数を推定する簡易方法を提案し、この方法によって推定される応力の応答関数について考察を行った。

まず、この推定法の前提として、変動水圧の応答関数は完全な形で求められており、応力については、各出会い角ごとに1ケース（1つの波長船長比）は計算されているものとする。ある点の応力に対する水圧の影響を考えると、応力点より遠いところの圧力よりも、応力点に近いところの圧力の影響の方が大きいと考えられるので、応力点と圧力点の距離によって水圧の重み付き平均を取り、水圧の応力に対する影響係数を定義する。この影響係数は、各出会い角ごとに一つづつ定義され、波長船長比の関数となる。水圧の応答関数をもとに、これらの影響係数を計算し、これに構造解析より得られた応力値を乗算すると、応力の応答関数が推定できることになる。

3種類のばら積貨物船について、このような方法により応力の応答関数を簡易的に推定した。なお、Handy Sizeについては、構造解析をいくつかの波ケースについて行い、簡易的に推定された応力値と比較を行なった。その結果、推定された応力の応答関数は、無次元化された有効波長で整理すると、船種が異なってもほとんど同じ形の応答関数になることが判明した。なお、この応力の応答関数は、船の大きさによらず、無次元化された有効波長が4～5付近でピークを持つことがわかった。また、Handy Sizeの結果より、推定された応力の応答関数は実際に近いものであることが判明した。ただし、波との出会い角によって若干バラつきが生ずるなど、細部については今後の更なる検討を要する。

2.7 計算による構造設計法に関する検討

2.7.1 合理的な構造計算方法の確立について

2.7.1.1 ズーミング計算を省略した簡易推定法

局部構造の静的強度や疲労強度を検証するにはコースメッシュによる全体モデルでの計算結果からさらにファインメッシュによるズーミング計算を実施しているが、多大な時間を要する。そこで、本研究は、全体モデルでの解析結果から直接局所的な応力を簡易的に推定する事を目的とした。検討例として、Handy Sizeのビルジホッパナックル部を取り出し、構造モデルとしては3タイプ（図2.6.1参照）の比較を行なった。局部曲げが予想される箇所の応力集中に影響を及ぼすパラメーターとしては、局部形状、板厚、荷重、目違い等が考えられるが、本例では目違い以外の要素は加味されている。

この結果タイプ別の応力集中比は、一定範囲（図2.6.1の(4)構造で、2.59～3.45に収まっていることがわかった。また、パラメーターの中で最も影響の大きい順に局部形状、荷重、板厚となる事もわかったが、問題は他の構造で適用できる汎用性を有しているかにある。これについては、本検討方法と同一の計算方法により、構造によってはパラメーターの中で目違いの項目を追加してシリーズ計算を行ない、応力集中係数を計算しておけば、公称応力はコースメッシュモデルで計算済みなので、船の大きさによらず本推定法は成立するものと思われる。

2.7.1.2 スーパーエレメント法に関する検討

従来のズーミング計算の欠点を補いかつ計算時間を短縮するための一方法としてスーパーエレメント法の利用が考えられる。スーパーエレメント法の利点は次のような点にあると言われている。

- 部分的設計変更や複数の解析ケースに対する再計算の手間とコストを最小限に抑えられる。

- b) 1回の長時間ランよりも、いくつかの中程度のランを行うことによってハードウェアのダウンのリスクを避けることができる。
- c) 合同あるいは鏡像関係を利用して、また NASTRAN 以外のソフトからのデータを一部利用して有限要素モデルを縮小できる。
- d) 入力データの作成を分業で行える。

そこで、このツールを実用化するために二次元、三次元の単純モデル及び船体構造モデルを用いて解析を行った。わかった事は次の通りである。

- (1) 簡易モデルの計算から、通常解析に比べスーパーエレメント法解析の方がメモリーの使用量が少ない。
- (2) 実際の船体モデルの計算から、計算時間、メモリー使用量共にスーパーエレメント法解析の方が大きくなつた。この要因としては中間ファイルやリストア操作等の計算テクニックを使用しなかつた影響が考えられる。
- (3) ある程度のテクニックを使えば、スーパーエレメント法解析を用いることにより、多数の荷重ケースを扱う大規模モデルに対し、時間とコストの節約が可能であると思われる。

2.7.2 設計の基準及び手法の確立

この項目に対しては、前述の損傷調査や構造データの調査結果、及び本部会参加各社の経験から次の項目に関して明確な設計指針を作成する必要があると結論され、各社分担して研究を実施した。

- a) トップサイドタンク内ロンジフレーム
- b) トップサイドタンクのトランスリング
- c) 横隔壁下部スツール基部
- d) 二重底
- e) クロスデッキ

その検討内容と成果の一覧を表 2.7.1 に示す。

表2.7.1 各構造の実施成果

検討項目	検討動機	検討内容	実施成果												
ホールドフレームを支えるロンジフレーム	トップサイドタンク内サイドロンジの損傷	疲労強度の検討	<ul style="list-style-type: none"> 損傷実績が少なく許容累積疲労被害度を特定するまでは至らなかったが、手法を確立する事ができた。 船の大小にかかわらず当該サイドロンジに対しては、以下の事がわかった。 <ul style="list-style-type: none"> bkt が入っているからと言って、1サイズ部材寸法を落としてはいけない。 中間に large bkt を入れるか、bkt を soft Toeにするかが疲労強度上の対策として有効である。 												
トランスリングの面材と強度	工作性とトータルコスト	面材形状最適化及び製作コストの関係	<ul style="list-style-type: none"> 基準面材 (200×12) を増厚すると、応力は次の様な割合で減少する。 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>コーナー部</th> <th>平行部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T型</td> <td>$Z^{-1.6}$</td> <td>$Z^{-1.0}$</td> </tr> <tr> <td>L3 R型</td> <td>$Z^{-1.0}$</td> <td>$Z^{-0.8}$</td> </tr> <tr> <td>L3 直線型</td> <td>$Z^{-0.3}$</td> <td>$Z^{-0.8}$</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> コーナーR付近の増厚のみ又はダブルリングによっても応力は増厚比の平方根に反比例して減少し、2倍に増厚すれば応力は70%程度に減少する。 コーナーRを変化させると応力はRに逆比例して減少する。T型に対して35%ほどRの大きいL3直線型にすれば応力はT型並となる。 強度特性を満足し、かつ最も経済的となる構造を選択できるチャートができた。 		コーナー部	平行部	T型	$Z^{-1.6}$	$Z^{-1.0}$	L3 R型	$Z^{-1.0}$	$Z^{-0.8}$	L3 直線型	$Z^{-0.3}$	$Z^{-0.8}$
	コーナー部	平行部													
T型	$Z^{-1.6}$	$Z^{-1.0}$													
L3 R型	$Z^{-1.0}$	$Z^{-0.8}$													
L3 直線型	$Z^{-0.3}$	$Z^{-0.8}$													
下部スツール基部	バラストホールドにおける損傷	スツール斜板角度とダイアフラム数の関係	<ul style="list-style-type: none"> 構造応答(応力)のピーク値は、スツール斜板角度 90° の場合が 70° の場合に比べ20%大きいので、70°の方が望ましい。 ダイアフラムの枚数は現状構造より減少させるには強度上問題がある。 目違いがあると局部曲げ応力が付加されるのでスツール斜板とフロアの板厚を同厚にし、溶接施工を十分に管理する事が望ましい。 ダイアフラム内のスカラップ等は局部強度上有害であるので、できるだけ開けない事が望ましい。 												
二重底	HT化によるたわみの問題	二重底部材の最適配置とコストの関係	<ul style="list-style-type: none"> 二重底のみの簡易モデルに横隔壁、ビルジホッパナックル部の影響を付加した結果と全体モデルの結果が一致でき、簡易モデルで、二重底の初期設計の検討に使用できる目途がついた。 二重底のたわみ簡易推定式を作成し、設計初期段階に役立つ様にした。 桁板の最大応力に対する二重底高さ、二重底幅、桁配置の有効度をグラフにて表す事ができ、これも初期設計に役立つものとした。 船級ルールの制約を考慮しても桁板配置を最適にすれば現状より10%重量を減少できる。 												
クロスデッキ	船級規則に明確な設計指針がない	圧縮力によるパネル及びクロスデッキの強度の検討	<ul style="list-style-type: none"> NK検査要領でパネルの圧縮座屈強度をチェックすると、クロスデッキの変形が大きいために横隔壁付近で座屈するものがあった。 デッキガーターの追加、ハッチエンドビームのWEB深さの増大等、少々剛性を大きくしてもクロスデッキ全体のたわみには影響がない。 												

2.7.2.1 ホールドフレームを支えるロンジフレーム

近年、大型バルクキャリアにおいて、トップサイドタンク内の最下部のサイドロンジ、すなわちホールドフレームを支えるサイドロンジに、第2世代VLCCで問題になったものと類似のクラックが生じる損傷が見られた（図2.7.1）。

概略的検討によると、サイドロンジにクラックを発生させるような積付状態は、鉱石のALTERNATE LOADINGのように、ホールドフレームが船外からの波浪荷重のみを受け、倉内からの力を受けないような場合であることが分かる（図2.7.2）。クラックの発生は、この波浪外力の変動によるものと考えられる。そこで、このような場合の疲労強度算定法を検討した。

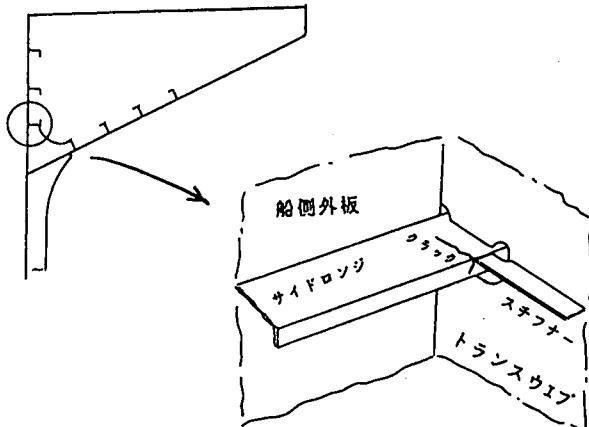


図2.7.1 サイドロンジのクラック損傷例

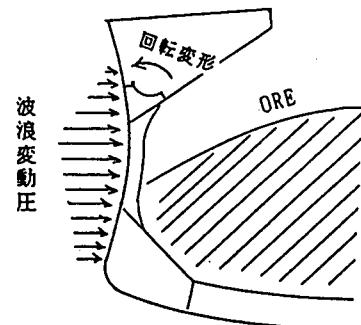


図2.7.2 クラックを発生させる積付

(a) 波浪荷重の長期分布は、ほぼ指指数分布とみなせる。そこで最も簡便な方法としては、あと、想定就航期間における最大変動荷重を求めればよいことになる。今回も、国内ではよく用いられているNKの与える波浪変動荷重をベースとして推定することにしたが、従来行われてきた疲労強度検討における、この荷重の適用は、必ずしも妥当なものとは考えられないことが分かった。今回の調査によると、NKの波浪変動荷重は、北大西洋を対象とした場合、発現確率 10^{-5} の程度のものと推定される（図2.7.3）。

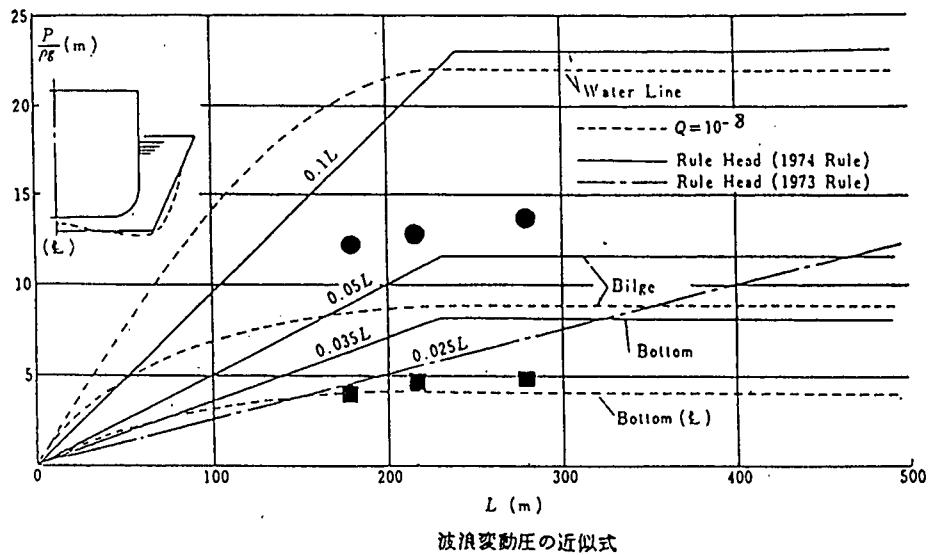
ここで注意しておかなければならぬことは、最近のVLCCにおける船側荷重の性状の調査から注目されるようになった、水線面近傍における空中露出に係わる、いわゆる非線形性の問題である。NKの波浪変動荷重は、図解により表示する方法がとられたため、20年以上も前に規定されたものにもかかわらず、この非線形性が正しく反映されていると考えられることである。したがって、その発現確率の推定に当たっては、この点を正しく扱う必要がある。

今回の場合は、この空中露出の問題は、VLCCのサイドロンジの場合のように単純ではなかった。変動荷重の作用する部材がホールドフレームで、深さ方向に広い範囲にわたったからである。こうした場合の非線形性の取扱いについて、一つの方法を提示した。

(b) 部材に生じる応力の算定は、簡易的な方法としては、構造解析から得られる梁要素としての応力に、いわゆる当該ホットスポットの構造的応力集中率を乗じることによる。ここでは、NKのDOUBLE HULL TANKER用規則に示されている係数を用いる方法を例示した。これに船体縦曲げによる応力を合成して疲労用の応力を求める。累積被害度算出の便のため、最終的にはワイブル分布に近似するが、図で示すと図2.7.4のようになる。

(c) S-N線図は、SR 216で提案されたものを、U.K.DOEのカーブに準じて修正したもの用いることにした（図2.7.5）。

● 現行NK検査要領からの推定値 , Water Line
 ■ " " , Bilge



(注) ●印は、Water Line の点線($Q=10^{-8}$)との比較から、
 $Q=10^{-5}$ と推定される。

図 2.7.3 NKによる波浪変動圧

— — — ワイブル近似

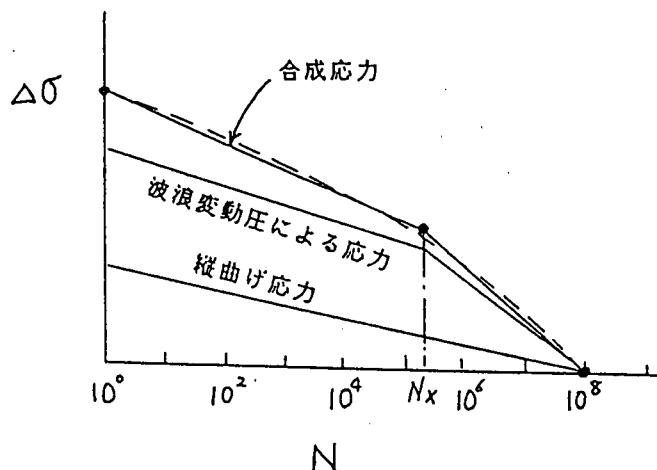
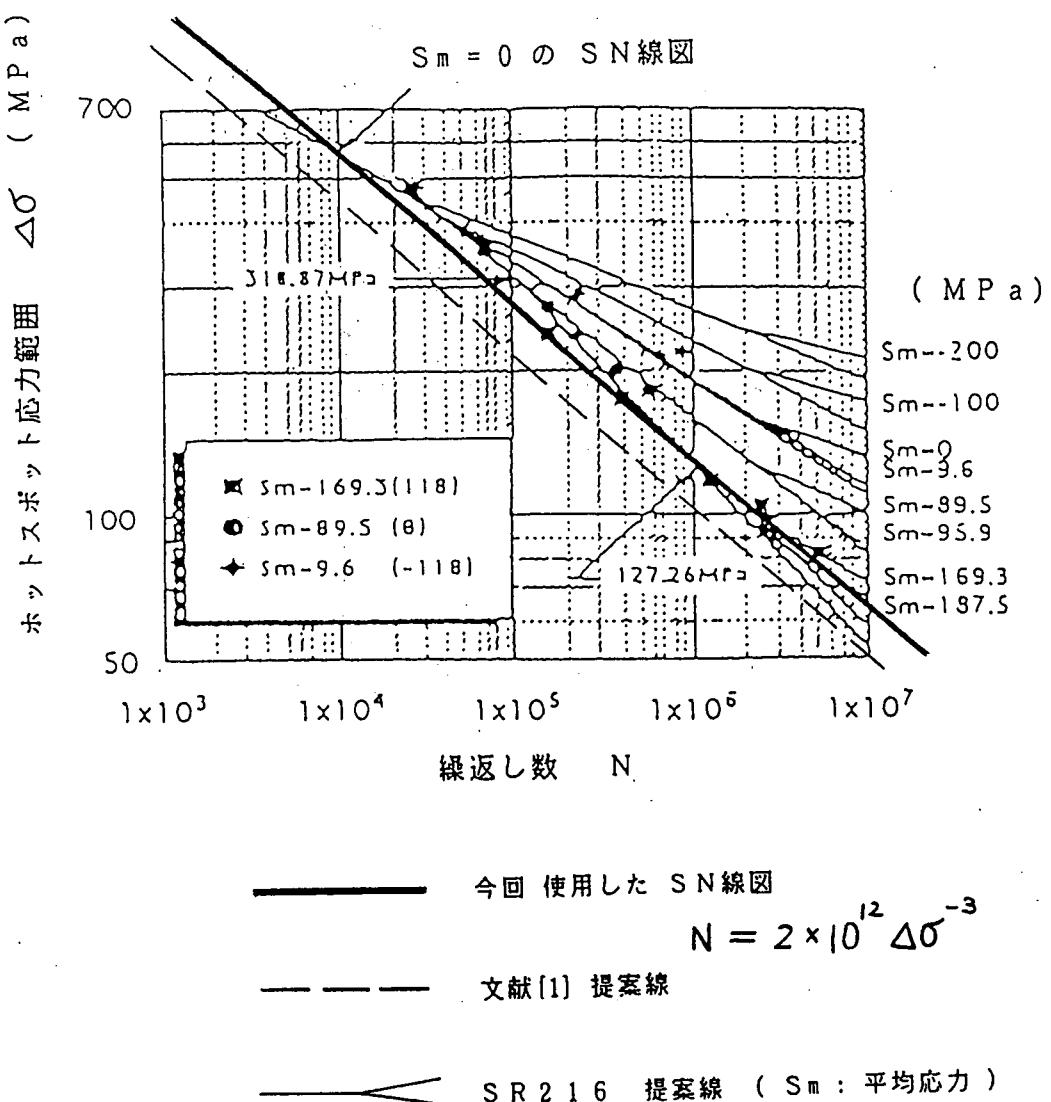


図 2.7.4 変動応力の長期分布



文献 [1] 三菱重工業 '船体詳細構造の疲労強度評価に用いる基準 S-N 線図の提案' 第166回日本造船学会船体構造委員会西部地区部会資料, 166-15-2/3, 1994年11月

図 2.7.5 S-N 線 図

以上のようなホットスポット応力と S-N 線図の組合せが妥当なものであるかどうかは、あらためて実証される必要があるが、ここでは、とりあえず、疲労被害度の相対比較を目的にすることにして、設定してみたものである。この簡便法で求めた累積被害度の例を図 2.7.6 に示す。この結果からは、船の大小による疲労被害度の有意の差を見つけることは困難である。恐らく、有意の差はないと思るべきで、従来、大型船にだけ損傷が見られるのは、ORE ALTERNA-TE LOADING が、大型船においてのみ高い比率で行われている、ということであると考えられる。なお、同図に示すように、MID-SPAN LARGE BRACKET (サイドロンジのスパンの中央部を特に大きなブラケットで支持するもの) は疲労強度の向上に顕著な効果をもつ。ただし、VLCC で採用されているような、スパン端部の SOFT TOE BRACKET による補強なども、もちろん有効であろう。

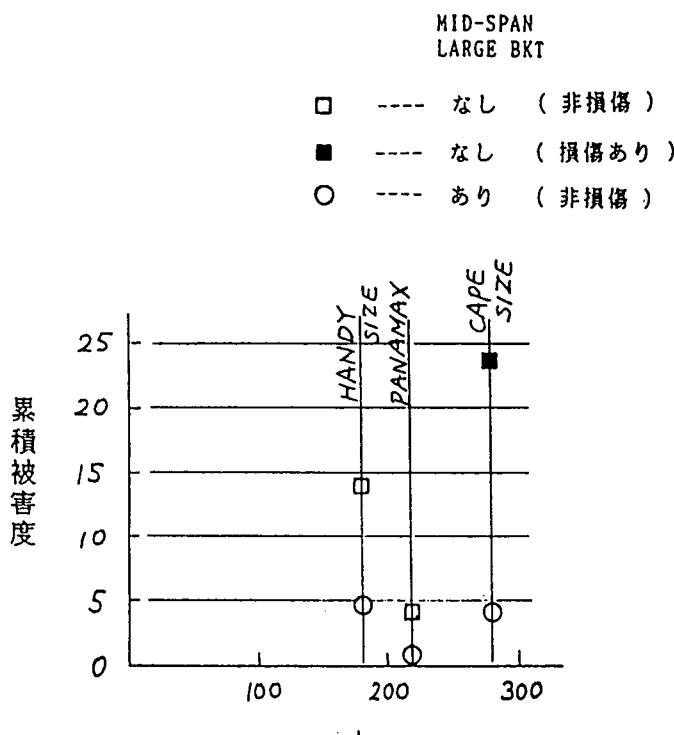


図 2.7.6 累積被害度計算例

2.7.2.2 トランスリングの面材

ばら積み貨物船のトップサイドタンクやビルジホッパータンクのトランスリングの面材には、図 2.7.7 に示すように桁に T 型に取り付けられる対称型のものと、桁の片面に L 型に取り付けられる L 2 型、または L 3 型と称するタイプがある。

T 型は対称形状であることから面材の応力分布などの強度面で優れるが、トランスリングの小組み時に反転が必要になるなど、反転が不要でウェブの片面からの作業で小組みが完了する L 3 型に比べ工作性に難がある。

一方、L 3 型の面材をコーナー部で R に沿わせずに直線状に配置して工作性を更に高めた L 3 直線型の実績も多く、近年では殆どの小型船で採用されているが、大型船のトップサイドタンクや、中・小型船でも荷重が厳しいバラスト倉では、強度面への配慮から T 型を採用しているケースも多い。

サイドロンジなどについては T 型 / L 型の強度特性についての種々の検討結果が公表されており、船級協会からもガイダンスが出されているが、ばら積船のトランスリングの様な形状の桁について T 型と L 型面材の違いを示した資料は

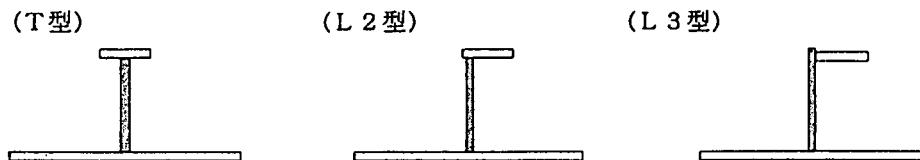


図 2.7.7 トランスリング面材形状の比較

少ない。

そこで、ケーブサイズばら積船のトップサイドタンクのトランスリングを試供構造とし、面材形状の違いを縦糸、リング形状やウェブ、面材の寸法などの影響を横糸として、強度特性の検討を行うとともに、それらと工事・材料費の関係を整理し、合理的なトランスリング構造の設計を行う為の指針となる資料を作成した。

(1) 試供構造

本SRのWG 1でのアンケート結果を整理して、ケーブサイズばら積み船の標準的なトランスリング形状を仮定し、以下の検討の試供構造とした。

(2) 平行桁モデルによる比較計算

トランスリングの斜板に平行な直線桁の部分を取り出した図2.7.8に示すFEMモデルにより、面材形状毎に桁や面材のアスペクト、ウェブの防撓構造などが、応力や変位、面材有効率に与える影響を調べ、パラメータ毎に図示した。

- T型とL型の強度特性の差は桁の両端で大きく、スパン中央では小さくなること。
- 桁のスパンと深さの比が4.5以上になると、T型とL型の差が小さくなってくること。
- 面材に垂直方向のウェブ付き防撓材の深さがその長さの10%弱あれば、平行桁中央での応力や撓みに、平行桁モデル、T型/L型で差が無くなること。

などの知見や確認が得られた。

(3) トランスリングモデルによる比較計算

図2.7.9に示すトランスリング全体のFEMモデルにより、面材形状毎に面材やウェブの寸法、形状、肘板、ダブラーなどが、応力や変位に与える影響を調べ、パラメータ毎に図示した。

- 標準のリングモデルでは、L3直線型の応力はコーナーR部でT型の30~45%増、L3R型では15%程度増加する。桁中央部では何れの場合も7~8%増になる。
- 面材をRに沿わせたT/L3R型では面材の面積増でコーナー部の応力を20%程度下げるのも現実的であるが、L3直線型では効果が小さい。
- ウェブの板厚全体を上げれば大きな応力低減効果があるが、コーナー周囲のみにダブラーを設けることでも同程度の効果が得られる。この場合応力は板厚の平方根に逆比例する。
- トランスリングのウェブの端部に設けられているトリッピングブラケットは、応力面ではあまり寄与していない。

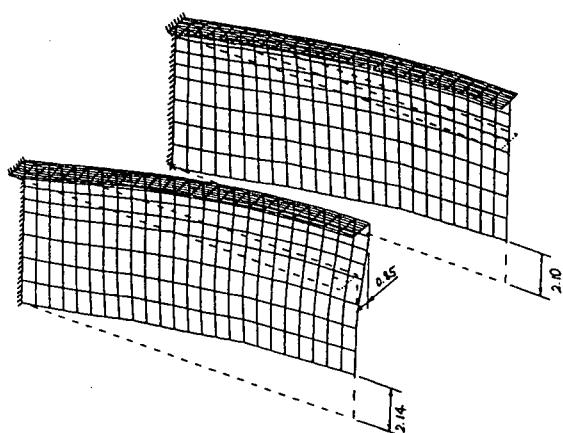


図2.7.8 平行桁モデル

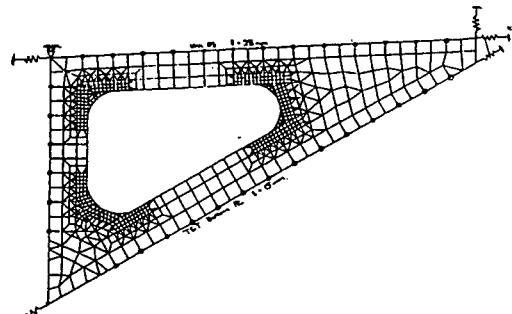


図2.7.9 トランスリングモデル

- ・ 柄の深さを変えずにリングのコーナーRを変えると、大きな応力低減効果が期待できる。
などの知見や確認が得られた。

(4) トランスリングの座屈・塑性崩壊強度

図2.7.10に示すようにトランスリングの標準モデルの斜板側の柄を両端のR部分を含めて取り出し、座屈と同時に降伏の影響も考慮した弾塑性大たわみ解析を行い、実際の崩壊挙動を調べた。

解析はT型面材/L型面材/面材無しの3モデルについて、タンクの内圧、ホールドバラスト水圧の両状態で行い比較した。

- ・ タンク内圧が作用する場合は、コーナーR部の面材の降伏→柄の横倒れ→R部の全面降伏・ウェブの剪断座屈→変形成長という挙動をする。
- ・ ホールド側からの荷重に対しては、コーナーR部の面材の降伏→R部のウェブ剪断座屈・柄の横倒れ→変形成長という挙動をし、ホールド側からの方が崩壊荷重が7.6%小さかった。
- ・ T型はL型より10%程度崩壊強度が大きいが、L型でも18m程度の崩壊荷重を有しており、ケーブルサイズBCで考慮すべき水頭に対して上回る程度のものとなっている。

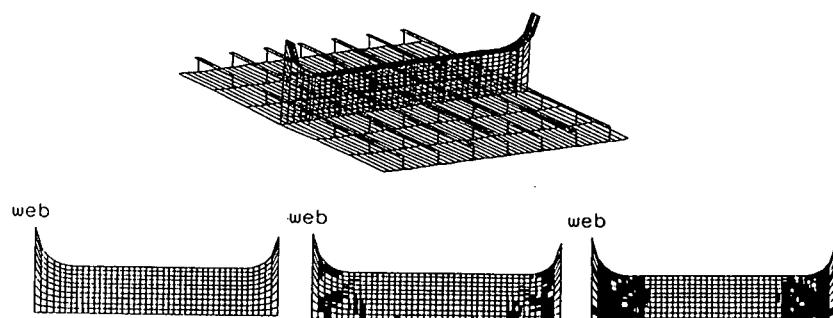


図2.7.10 T型面材を有するトランスリング平行部の座屈・塑性崩壊挙動

(5) トランスリングの面材形状の違いがコストに与える影響

面材形状の違いが工作性と材料費に与える影響を検討し、(3)項で検討した各構造についてトランスリングのコスト比較を行った。

(6) 設計指針

上記各項で得られた結果から、トランスリングのコーナー部の最大応力とコストを代表値、鋼材重量・工数を参考値として、それぞれの相関を比較出来る図2.7.11に示すような図表を作成し、必要な強度特性を得る為にはどのような構造が最も経済的であるか、簡便に検討する事を可能にした。

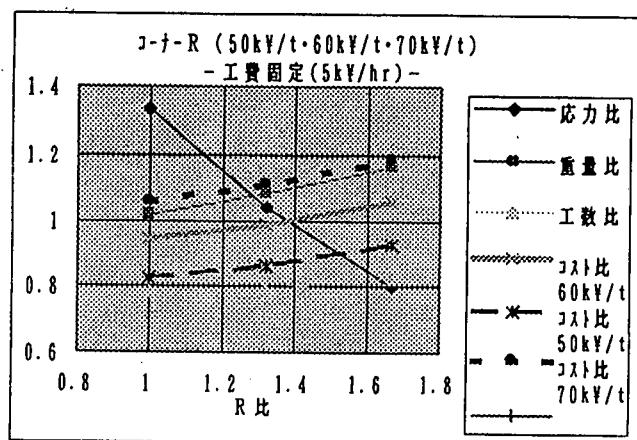


図2.7.11 コーナーRを変化させた場合の強度と物量とコストとの関係

2.7.2.3 下部スツール基部

下部スツール基部は、ビルジホッパナックル部と同様に内底板、スツール斜板、二重底ガーダー、フロアーといった部材が交差し、損傷が多い箇所である。

本検討では当構造のスツール斜板と内底板のなす角度 (θ) とダイアフラムの枚数を変更する事により、構造方式による構造応答の違いを計算し、その結果より設計上の知見を得た。

(1) 計算対象箇所

図 2.7.12 に示すスツール斜板と内底

板の交差部のうち No.1 SIDE

GIRDER に近接した箇所とした。

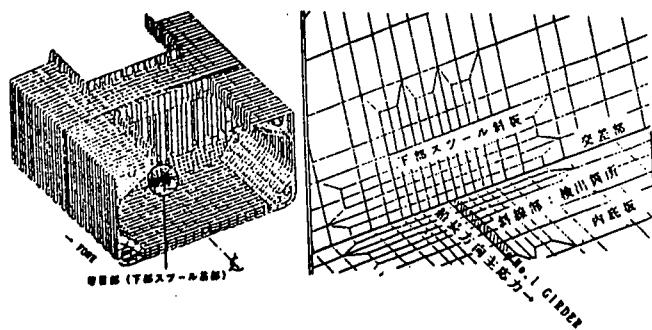


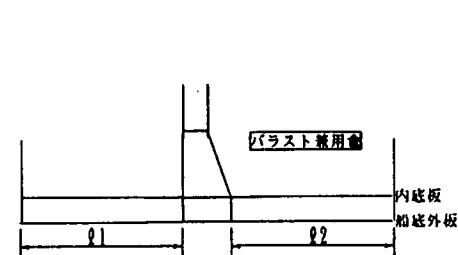
図 2.7.12 計算対象箇所

(2) 計算条件

何れもパラスト兼用倉にパラストを満載した状態で計算を行なった。

(a) $\theta = 70^\circ$ (現状構造) と 90° の構造応答比較。（図 2.7.13 参照）

(b) (a)に加え、スツール形状保持のためのダイアフラムに着目し、ダイアフラムの数を片舷 5 枚 (現状構造)、4 枚、2 枚と変えた場合の構造応答比較。なお、ダイアフラムの枚数については図 2.7.14 に示す。



下の 2 状態を同等の条件とするため、 $\theta_1 = \theta_2$ とした。

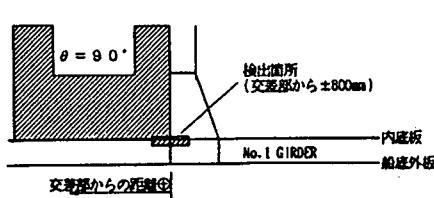
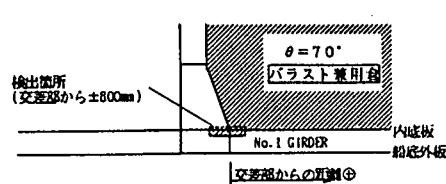
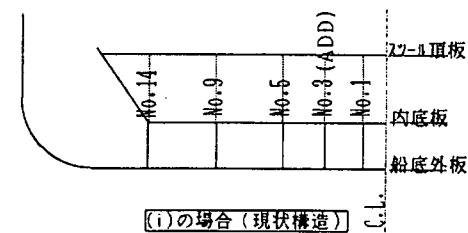
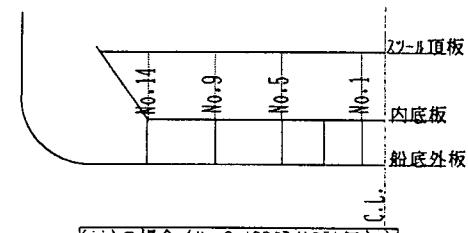


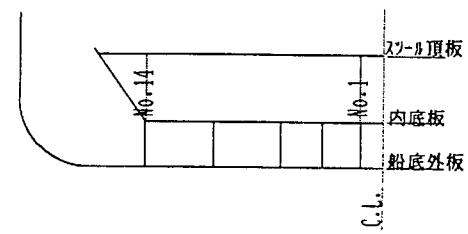
図 2.7.13 スツール斜板角度



(i) の場合 (現状構造)



(ii) の場合 (No.3 ADDダイアフラム無し)



(iii) の場合 (No.1 と No.14のみ)

図 2.7.14 ダイアフラム位置

(3) 計算結果

当計算結果の一例を表 2.7.2 及び図 2.7.15 に示す。

表 2.7.2 計算結果の一例

HANDY SIZE	ダイアフラムの枚数	応答量 N / mm ²	片舷 5 枚との比	片舷 5 枚で 70° の比 (現状構造)
パラスト状態	$\theta = 70^\circ$	i) 片舷 5 枚	516.96	—
		ii) 片舷 4 枚	536.27	1.04
		iii) 片舷 2 枚	633.23	1.22
	$\theta = 90^\circ$	i) 片舷 5 枚	578.07	—
		ii) 片舷 4 枚	604.86	1.05
		iii) 片舷 2 枚	752.48	1.30
				1.46

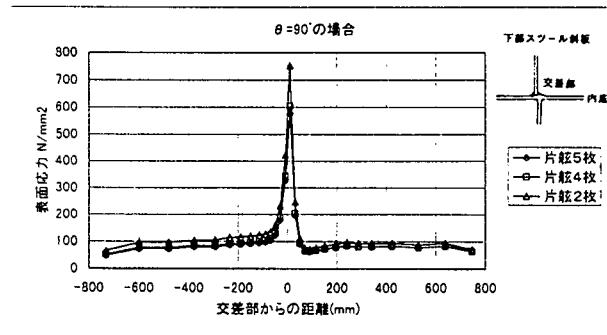
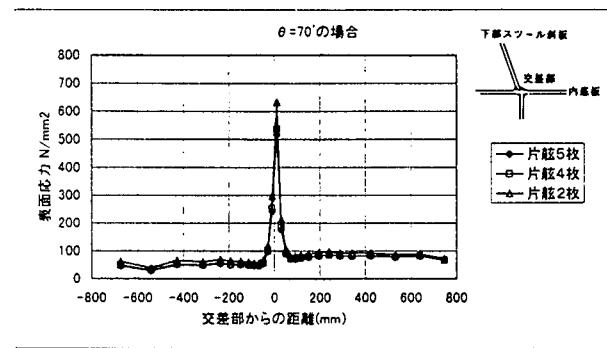


図 2.7.15 計算結果 (一例)

(4) 設計的知見 (他の S R 研究部分を含む)

- (a) 下部スツール基部の応力のピーク値は、スツール斜板角度が 90° の場合の方が 70° の場合に比べ 2 割高く、応力分布も急峻になっている事がわかった。
- (b) ダイアフラムについては、二重底のガーダー直上に配置している現状の枚数を大幅に減少させる事は強度上望ましくない。
- (c) 目違いがあると局部曲げ応力が付加されるのでスツール斜板とフロアの板厚は同厚にし、溶接施工を十分に管理する事が望ましい。
- (d) ダイヤフラム内のスカラップ等は局部強度上有害であるので、できるだけ開けない事が望ましい。

2.7.2.4 二重底

本研究ではばら積貨物船の二重底に関するN K ルールの理論的背景について調査し、その基本的な考え方及び、二重底高さ、桁、肋板についてのルール背景についても調査を行った。

近年貨物倉の容量を少しでも多く取るために二重底高さは低くなりつつある、また一方では、高張力鋼の使用量増大に伴いますます二重底の撓みが増加する傾向にある。

そこでばら積貨物船のハンディーサイズ、パナマックスサイズ、ケープサイズの3船種の解析における撓みについて調査、研究を実施した。

二重底の種々の構造寸法や桁の配置がどの様に二重底撓みに影響を及ぼすのかについて把握する必要がある。そこで簡易二重底モデルを作成し近似的に解析する手法について検討を行った。

二重底簡易モデルにより種々の構造寸法や桁の配置が二重底に及ぼす挙動を把握し、最適設計に供する資料となるパラメーターを見つける為に、3種類の船のサイズ（ハンディーサイズ、パナマックスサイズ、ケープサイズ）で簡易解析を実施した。

解析では、二重底高さの違い、二重底幅の違い、桁配置の違いによるそれぞれの最大撓み、桁及び肋板の最大応力を求めた。

結果を図2.7.16から図2.7.21に示す。

引き続きパナマックスバルカーの二重底新簡易モデル解析としてロアースツール及びビルジホッパー部をモデルに加えた新簡易モデルでの解析を実施した。これらの剛性を加えることにより、更に立体解析モデルに近づけられたものと考える。この解析では、各モデルの部材板厚を統一し、撓み及び桁応力を求め、比較を行った。

二重底新簡易モデルで材料コストの経済性を見る目的で、各モデルに対する重量を求めた。

合理化の対象は重量だけではなく、部材数や積付倉の容積等についても検討すべきであるが、今回は重量と積付倉容積についてまとめた。

二重底撓み及び桁応力の簡易推定式について、単一の条件での撓み推定式及び桁最大応力推定式を導いた、また各条件の組み合わせによる簡易推定式も導き、これら推定式は、設計初期段階に於ける概略推定に役立てられるものと考える。

2.7.2.5 クロスデッキ

- (1) クロスデッキが一番大きな圧縮力を受ける状態を考え、N K の検査要領に従いパネルの座屈検討を行ったところ、一部のパネルで座屈強度を満足しない事がわかった。
- (2) (1)で考えた荷重状態は、波浪が上甲板上 2.45 m にまで達する事になるが、実際このような状態が起り得るのか調査をする必要がある。
- (3) 当荷重状態の基で桁の応力については、特に問題がない事がわかった。
- (4) クロスデッキ全体のたわみについては、デッキガーダーの追加やハッチエンドビームの深さの増大等、桁の剛性を上げてもさほど効果がない事がわかった。
- (5) クロスデッキ全体の変形の状態を見るとセンターライン上がもりあがっているが、その原因は横断面、特にトップサイドタンクの回転変形にある事がわかった。
- (6) それ故クロスデッキの撓みを減少させるためには桁の剛性を上げるよりサイドフレームやトップサイドタンク、更にはアッパーストウールの剛性を上げる事が根本的には必要である事がわかった。

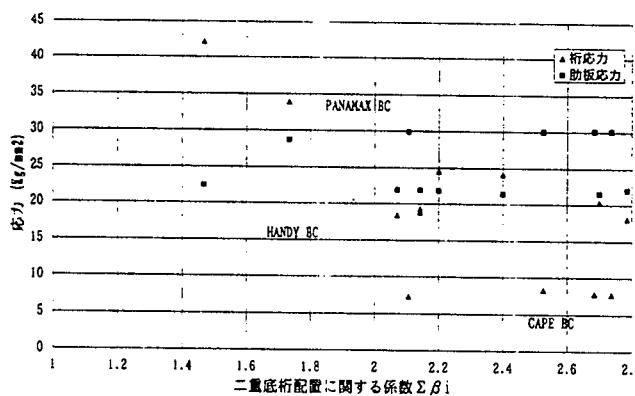


図 2.7.16 二重底桁配置変化に対する桁、肋板の最大応力

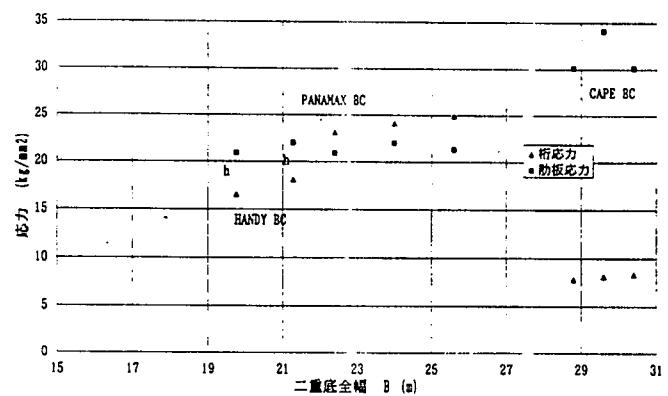


図 2.7.17 二重底全幅に対する桁、肋板の最大応力

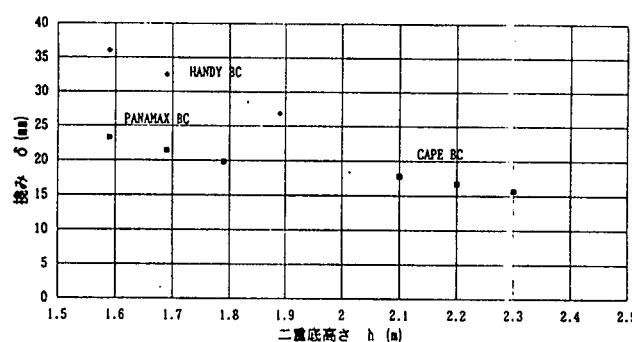


図 2.7.18 二重底高さ変化に対する最大撓み

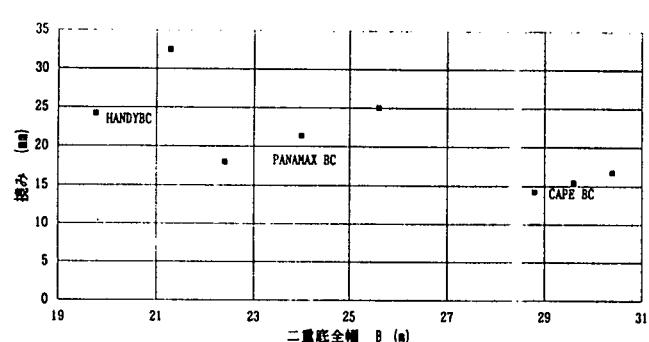


図 2.7.19 二重底全幅変化に対する最大撓み

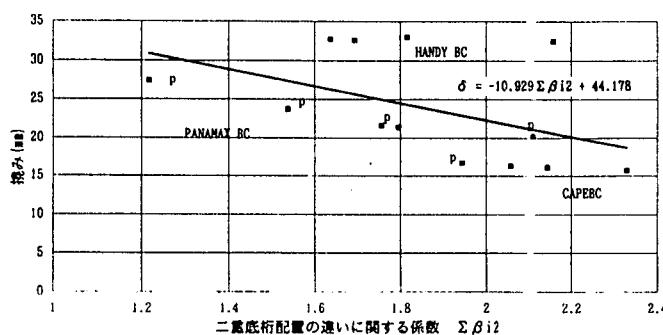


図 2.7.20 二重底桁配置変化に対する最大撓み

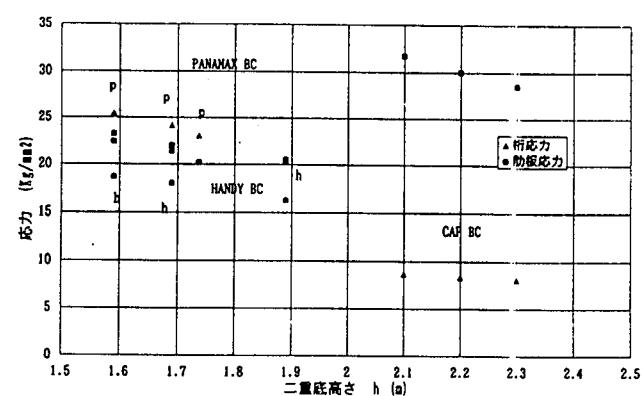


図 2.7.21 二重底高さ変化に対する桁、肋板の最大応力

3. 得られた成果

3.1 損傷データの調査と検討

本調査によりばら積貨物船の損傷の特徴が把握できた。また本調査資料が以降の本研究の重要な参考資料になったことは勿論、今後のはら積貨物船の船体構造の検討に際しても有効な資料になり得るものと思われる。

3.2 主要部構造データの収集と解析

代表的なばら積貨物船のデータベースが出来た。集められたばら積船は1993年からさかのぼる10年間に建造された船が殆どであり現時点の構造は勿論、この10年間の構造様式の変化も知ることができる。近年建造された船は合理的な構造の研究、電算機使用による解析手法の採用、高張力鋼の大幅な採用、工作の装置化等の新技術が反映されたものであり貴重なデータとなつた。このデータの活用については項目ごとに詳細に整理されており、調査目的である合理的な標準構造の設定及び初期構造決定、保守点検のための資料として柔軟に利用できるものである。

3.3 ばら積貨物船の疲労損傷と保守点検に関する検討

ばら積貨物船の疲労損傷に対する検査のあり方を検討する目的で、対象部位の疲労特性や現場での亀裂検出能力などをアンケート調査で補い、現状の検査の価値や目標信頼度達成に必要な検査間隔などを検討した。また感度解析を行って、部材信頼度向上や部材の軽量化、検査の簡素化などの設計要求に対する対応策を明らかにした。得られた主な結果は次のようである。

- (1) ばら積貨物船の6つの部位の疲労特性と検査能力をアンケート調査で明らかにした。
- (2) 現状の検査間隔を2年と考えると、各部位の破壊確率や検出される亀裂長さ分布は、アンケートと解析でほぼ一致する。
- (3) 使用中検査を全く行わなければ発生した亀裂の約90%が200mmを越えて成長し、約60%が500mmを越えて成長するが、現状の検査によってこれらがそれぞれ約30%および約10%に減少していると考えられる。
- (4) 望ましい目標信頼度は、200mmあるいは500mmを越える亀裂個数をそれぞれ、現状の1/8あるいは1/16に減らすことである。目標値を達成するには、検査間隔2年をそれぞれ $p_f(200)$ については0.5年、 $p_f(500)$ については1.5年に短くする必要がある。
- (5) 亀裂成長パターンについては現在情報が不足している。図2.3.3の亀裂パターンの変化に対して、破壊確率は3倍程度変化する。
- (6) 感度解析の結果、部材信頼度の向上、部材の軽量化あるいは検査省略に対する対応策が表2.3.1のように得られた。

本研究で行ったアンケートは専門家の主観を基にしている。また調査数や調査範囲の点で十分とはいえない。その意味で今回の調査は一つの試行であり、損傷統計と合致しない面もあると考えられる。しかしデータ収集が困難な問題に対して、アンケートによって情報を収集し信頼性解析を行ってみることも有効なことを述べておきたい。

3.4 溶接作業の作業性に関する調査

図面から溶接工数を算出する式を作成した。これを実構造に適用した結果をみると、本算出式にはブロックの形状に関する係数などの全体を調整する係数が一切含まれていないにもかかわらず各種のブロックに対してほぼ同程度の近似を与えている。このことは、影響係数の値がほぼ妥当なものであり、溶接工数に影響する因子を正しく評価していることを示すものと考えられる。各工場はそれぞれの工作設備、方法を採用しており、これらが溶接工数に影響があることは当然で、

現在の誤差の主たる要因は工場間の差に依るものと考えられる。したがって本算出式は概ね妥当な計算値を与えるとの結論を得た。

3.5 座屈許容設計法の研究

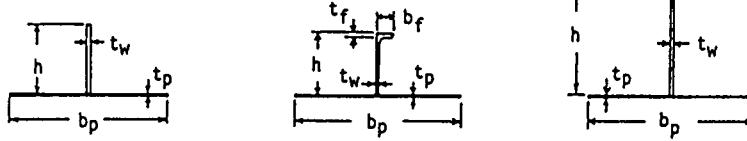
- (1) 面内圧縮荷重を受ける連続防撓板を対象として、防撓材の影響を考慮して座屈荷重を計算する式を解析的に導いた。この式を適用してばら積み貨物船の上甲板と船底外板パネルの座屈強度を計算した結果によると、周辺単純支持の境界条件を仮定した場合に較べ、座屈強度が平均で 10 % 前後の上昇することが明かとなった。(表 3.5.1)

表 3.5.1 防撓材が上甲板および船底外板パネルの座屈強度に及ぼす影響

a	b_p	t_p	h	t_w	b_f	t_f	Type	σ_{Y_p}	σ_{Y_s}	σ_{cr0}	σ_{cr}	σ_{cr}/σ_{cr0}
4,800	800	25	330	25	-	-	F	36	36	74.14	71.17	0.9600
4,800	800	23.5	350	28	-	-	F	32	32	65.51	68.81	1.0504
4,800	800	17	298	19	-	-	F	32	32	34.28	36.48	1.0643
3,200	850	18.5	250	25	-	-	F	32	32	36.10	44.22	1.2249
4,200	800	20	300	20	-	-	F	36	36	47.56	47.32	0.9949
2,400	800	16	309	9	100	12	T	32	32	30.37	32.54	1.0714
5,000	830	28	416	11.5	100	16	T	36	36	86.40	86.66	1.0029
2,490	800	29	380	22	150	32	T	36	36	99.90	116.1	1.1620
6,400	820	21	350	11	90	17	A	32	32	49.82	52.49	1.0534
4,000	800	20	300	10	90	16	A	32	32	47.45	50.20	1.0579
4,800	845	15.5	300	11	90	16	A	32	32	25.62	29.49	1.1509
4,800	800	20.5	300	13	90	17	A	36	36	49.85	55.26	1.1084
4,000	750	17	300	10	90	16	A	32	32	39.17	43.11	1.1007
4,980	825	20	300	10	90	16	A	36	36	44.62	47.29	1.0599
2,400	790	13.5	200	9	90	14	A	32	32	22.17	26.23	1.1828

a : length of panel
 b_p : breadth of panel
 t_p : thickness of panel
F: flat-bar
T: tee-bar
A: angle-bar

σ_{Y_p} : yield stress of panel
 σ_{Y_s} : yield stress of stiffener
 σ_{cr0} : buckling stress of panel being simply supported
 σ_{cr} : buckling stress of panel with constraint by stiffeners



- (2) 有限要素法による弾塑性大たわみ解析の結果によると、船底桁ウェブが座屈する場合の上下フランジ(内底板と船底外板)との接合線に沿っての境界条件は、単純支持と固定の中間の条件となることが確認された。

- (3) 1 方向の面内圧縮荷重を受ける矩形板の座屈発生後の面内剛性は、次式で与えられる。

$$D = \{1 + (a/mb)^4\} E / \{3 + (a/mb)^4\} E$$

ここに、 a および b はパネルの長さと幅、 m は長さ方向の座屈半波数、 E は材料のヤング率を表す。

- (4) 剪断荷重を受ける船底桁のウェブに弹性座屈が発生しても、剪断に対する面内剛性の低下は、高々 25 % 程度である。
- (5) 有限要素法による弾塑性大たわみ解析の結果によると、パネルに最終強度近傍までの荷重が作用して降伏領域が拡がっていても、除荷後の永久変形は小さい。
- (6) 水圧荷重のもとでは、防撓材で仕切られた船底外部の各パネルとも同一方向へたわむので、水圧荷重の増加と共に座屈強度は上昇する。一方、水圧荷重が増加すると、降伏がより早期に発生する。これらの相反する要因のために、2 軸

圧縮荷重を受ける船底外板の最終強度は、ある水圧値の時に最大となる。

- (7) 有限要素法解析の結果によると、現行の船級協会規則の算式で計算される船底外板パネルの座屈強度は、15 m水頭程度の水圧が作用する場合でも、最終強度の観点から見て十分に安全側の評価となっている。（図3.5.1）
- (8) 船底桁に剪断荷重が主なる荷重として作用する場合、ウェブに座屈が発生しても桁ウェブに張力場が形成され、桁は全断面塑性荷重にほぼ等しい耐荷力を有する。ただし、ウェブの座屈がスチフナで仕切られた局部座屈である場合には、最終強度に達した後にやがてスチフナにもたわみが生じ始め、この時点で耐荷力は少し低下するが、再び張力場が効き出して耐力の低下は止まる。（図3.5.2、3.5.3）

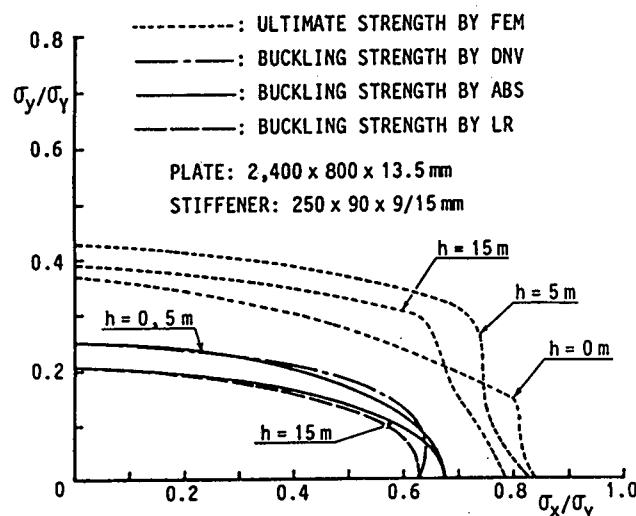


図3.5.1 船底外板の座屈・最終強度

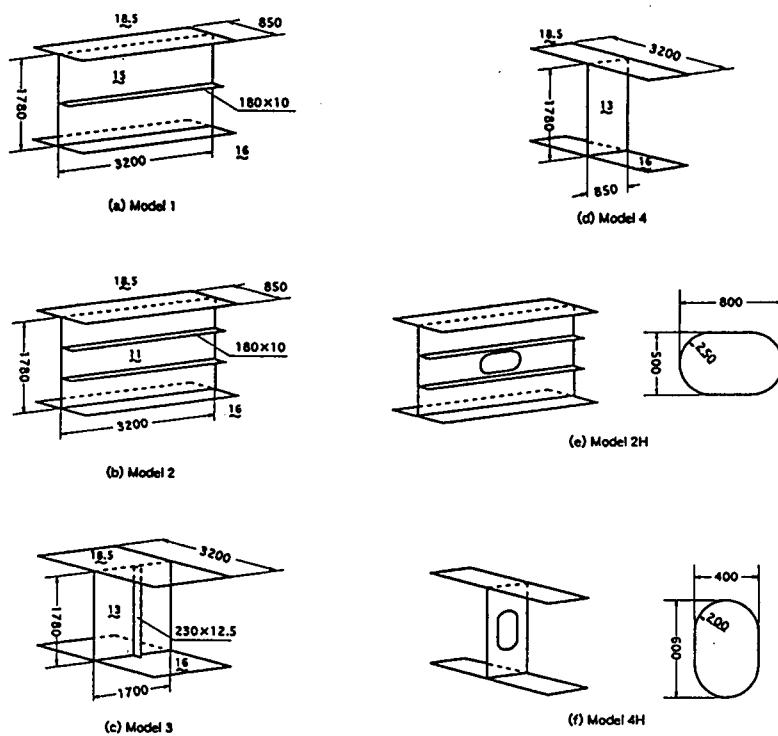


図3.5.2 船底桁の解析モデル

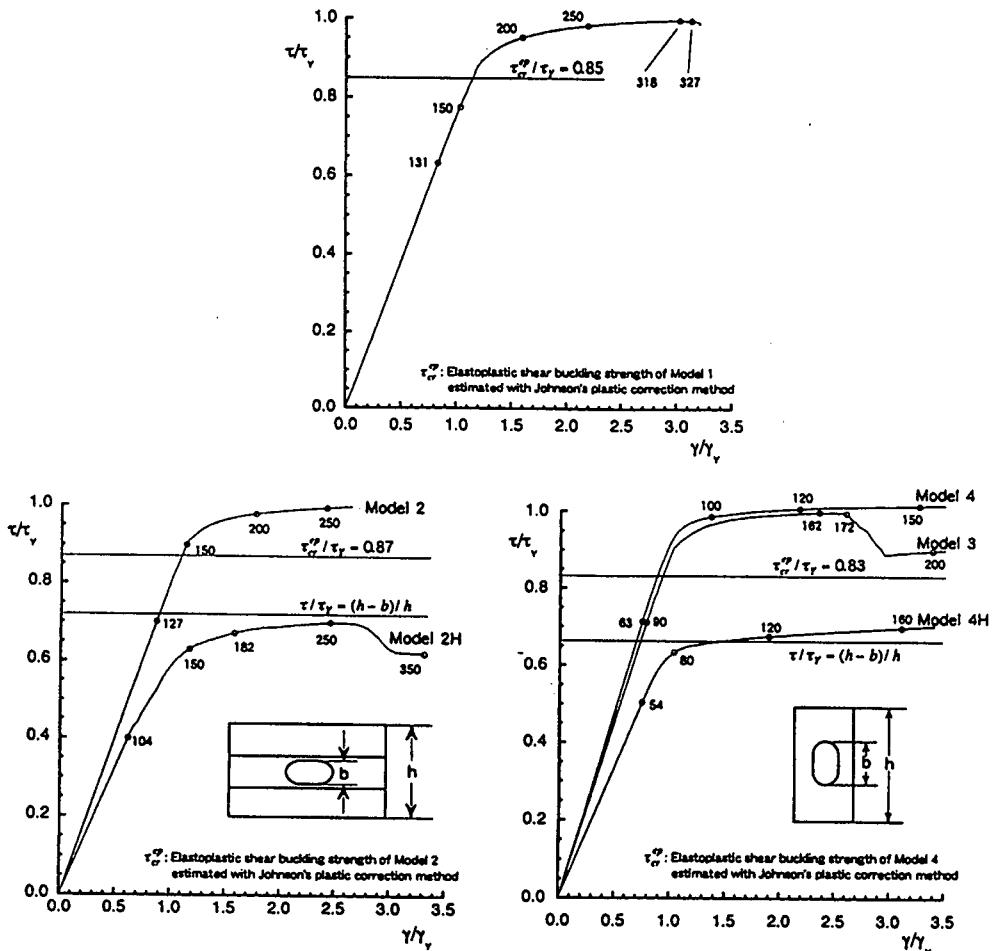


図 3.5.3 船底桁の座屈・塑性崩壊挙動

- (9) 項目(8)の座屈・塑性崩壊挙動は、有孔ウェブの場合にも基本的には同じである。（図 3.5.2、3.5.3）
- (10) 現存船の船底桁に対して座屈・塑性崩壊解析を実施した結果によると、設計応力値のもとでウェブに座屈が発生している場合もある。しかしながら、強度的には上記のように降伏強度近くまでの耐荷力を有しており、座屈発生に起因する問題は生じていないものと推測される。
- (11) 繰り返し座屈たわみが生ずる防撓板においては、幅方向（荷重と垂直な方向）の引張曲げ応力が最もおおきくなる。パネルと防撓材との隅肉溶接部近傍に疲労亀裂が発生する確率が最も高い。しかし、この曲げ応力が弾性である限り、疲労亀裂は発生しないことが実験によって確認された。

3.6 変動荷重による構造応答の検討

3種類のばら積貨物船について2.6節で述べた方法により応力の応答関数を簡易的に推定した。Handy Size のばら積み貨物船に対して、この応力値と詳細計算との比較を行なったところ、推定された応力の応答関数は、無次元化された有効波長で整理すると、船種が異なってもほとんど同じ形になることが判明した。なお、この応力の応答関数は、船の大きさによらず、無次元化された有効波長が4～5付近でピークを持つことがわかった。また、Handy Size の結果より、推

定された応力の応答関数は実際に近いものであることが判明した。

3.7 計算による構造設計法に関する検討

3.7.1 合理的な構造計算方法の確立について

3.7.1.1 ズーミング計算を省略した簡易推定法

現在多大な時間を要し、又精度も若干疑問視されている詳細なズーミング計算を省略する為に行った検討で得られた成果は以下の通り。

- (1) ピルジホッパーナックル部の局部構造を対象に、局部形状、板厚、荷重のパラメーターを変え計算した結果、局部形状タイプ別の応力集中比は一定範囲(ア)構造で 2.59 ~ 3.45)に収まっている事がわかった。
- (2) 曲げが応力集中に大きな影響を与える構造の場合は、板厚を大きくすると対象箇所の応力集中比は増加する事がわかった。
- (3) 応力集中に影響を及ぼす局部形状、板厚、荷重のパラメーターのうち一番影響の大きいのは局部形状、次に荷重、最も小さいものは板厚である事がわかった。
- (4) ピルジホッパーの例より局部形状毎に代表的な荷重を負荷した計算を行っておけば、他の要素が応力に及ぼす影響は1~2割程度であるのでその分余裕をとればその都度設計をする毎にズーミング計算を実施しなくてもよい事になる。つまり当検討方法は汎用性がある事がわかった。

3.7.1.2 スーパーエレメント法に関する検討

ズーミング計算の欠点を補いかつ計算時間を短縮する為に有効とされるスーパーエレメント法についての検討で得られた成果は以下の通り。

- (1) 簡易モデルの計算から、通常解析に比べスーパーエレメント法解析の方がメモリーの使用量が少ない。
- (2) 実際の船体モデルの計算から、計算時間、メモリー使用量共にスーパーエレメント法解析の方が大きくなつた。この要因として中間ファイルやリストア操作等の計算テクニックを使用しなかつた影響が考えられる。
- (3) ある程度のテクニックを使えば、スーパーエレメント法解析を用いる事により、多数の荷重ケースを扱う大規模モデルに対し、時間とコストの節約が可能であると思われる。

3.7.2 設計の基準及び手法の確立

次に挙げる各部構造別に損傷、合理化の経験を踏まえて行った検討で得られた成果は以下の通り。

3.7.2.1 ホールドフレームを支えるロンジフレーム

- (1) 損傷実績が少なく許容累積疲労被害度を特定するまでに至らなかつたが、当構造に対する疲労強度の検討手法を確立する事が出来た。
- (2) 船の大きさによる3タイプの累積疲労被害度を計算したが有意な差はなく大型船のみ損傷が見られるのは、ORE ALTERNATE CONDITIONが大型船で高い比率で行われていると考えられるからである。
- (3) 損傷に対する対策としては、MID-SPAN LARGE BRACKETが顕著な効果を有しており、又スパン端部のSOFT TOE BRACKETも有効である事がわかった。

3.7.2.2 トランスリングの面材と強度

- T型とL型の強度特性の差は桁の両端で大きく、スパン中央では小さくなる。
- 桁のスパンと深さの比が4.5以上になると、T型とL型の差が小さくなってくる。
- 面材に垂直方向のウェブ付き防撓材の深さがその長さの10%弱あれば、平行桁中央での応力や撓みに、平行桁モデル、T型/L型で差が無くなる。
- 標準のリングモデルでは、L3直線型の応力はコーナーR部でT型の30~45%、L3R型では15%程度増加する。桁中央部では何れの場合も7~8%増になる。
- 面材をRに沿わせたT/L3R型では面材の面積増でコーナー部の応力を20%程度下げるのも現実的であるが、L3直線型では効果が小さい。
- ウェブの板厚全体を上げれば大きな応力低減効果があるが、コーナー周囲のみにダブラーを設けることでも同程度の効果が得られる。この場合応力は板厚の平方根に逆比例する。
- トランスリングのウェブの端部に設けられているトリッピングブラケットは、応力面ではあまり寄与していない。
- 桁の深さを変えずにリングのコーナーRを変えると、大きな応力低減効果が期待できる。
- タンク内圧が作用する場合は、コーナーR部の面材の降伏→桁の横倒れ→R部の全面降伏・ウェブのせん断座屈→変形成長という挙動をする。
- ホールド側からの荷重に対しては、コーナーR部の面材の降伏→R部のウェブせん断座屈・桁の横倒れ→変形成長という挙動をし、ホールド側からの方が崩壊荷重が7.6%小さかった。
- T型はL型より10%程度崩壊強度が大きいが、L型では18m程度の崩壊荷重を有しており、ケーブサイズBCで考慮すべき水頭に対して上回る程度のものとなっている。
- トランスリングのコーナー部の最大応力とコストを代表値、鋼材重量・工数を参考値として、それぞれの相関を比較できる図表を作成し、必要な強度特性を得る為にはどのような構造が最も経済的であるか、簡便に検討する事を可能にした。

3.7.2.3 下部スツール基部

- (1) 下部スツール基部の応力のピーク値は、スツール斜板角度が90°の場合の方が70°の場合に比べ2割高く、応力分布も急峻になっている事がわかった。
- (2) ダイヤフラムについては、二重底のガーダー直上に配置している現状を大幅に減少させる事は強度上望ましくない。
- (3) 目違いがあると局部曲げ応力が付加されるのでスツール斜板とフロアの板厚は同厚にし、溶接施工を十分に管理する事が望ましい。
- (4) ダイヤフラム内のスカラップ等は局部強度上有害であるので、できるだけ開けない事が望ましい。

3.7.2.4 二重底

- (1) 二重底のみの簡易モデルに横隔壁、ビルジホッパーナックル部の影響を付加した結果と全体モデルの結果が概略一致し、当モデルの妥当性が証明された。
- (2) 二重底簡易モデルの各種条件に対する結果より、二重底のたわみ簡易推定式を導いた。
- (3) 二重底の桁板の最大応力の簡易推定式を導いた。
- (4) 二重底簡易モデルを使ってビルジホッパーを含む二重底の重量比較を行い、重量面で有利な構造が簡単に選択出来るようにした。

- (5) 上記検討の結果、船級ルールの制約を考慮しても二重底の最適な桁配置を選択する事により10%重量を軽減出来る事がわかった。
- (6) 二重底の最大撓みとスツール下部及びビルジホッパーナックル部の最大主応力の関係のグラフを作成して相関関係を表す事が出来た。

3.7.2.5 クロスデッキ

- (1) クロスデッキが一番大きな圧縮力を受ける状態を考え、NKの検査要領に従いパネルの座屈検討を行ったところ、一部のパネルで座屈強度を満足しない事がわかった。
- (2) (1)で考えた荷重状態は、波浪が上甲板上2.45mにまで達する事になるが、実際このようない状態が起り得るのか調査をする必要がある。
- (3) 当荷重状態の基で桁の応力については、特に問題がない事がわかった。
- (4) クロスデッキ全体のたわみについては、デッキガーダーの追加やハッチエンドピームの深さの増大等、桁の剛性を上げてもさほど効果がない事がわかった。
- (5) クロスデッキ全体の変形の状態を見るとセンターイン上がもりあがっているが、その原因は横断面、特にトップサイドタンクの回転変形にある事がわかった。
- (6) それ故クロスデッキの撓みを減少させるためには桁の剛性を上げるよりサイドフレームやトップサイドタンク、更にはアッパーストツールの剛性を上げる事が根本的には必要である事がわかった。

4. 成 果 の 活 用

第2章及び第3章に述べたように、本研究では多くの分野で知見が得られたので、その各々が活用されるべきであるが、ここではそれらをいくつかの項目に括って述べる。

(1) 損傷及び構造データベース

今回集めた資料は既に述べたように広範囲にわたっており、これ自体で設計の参考になるとともにばら積み貨物船の主要構造の傾向の把握にも活用できる。

(2) 保守点検と疲労強度との関係

学問的に正確なアプローチでは実用化にはかなりの年数がかかると考えられる状況において、耐用年数と保守点検の効果との関係を速算できる手法の一つとして本部会の提案した方法は役立つものと思われる。今後、さらにデータを追加して実用性を高めるべきと考える。

(3) 溶接作業工数推算法

実用的な手法を開発したので、これに各社の設備や工作法の相違を考慮してそれぞれの社の推算法を確立することが望まれる。

(4) 座屈許容設計法

船体構造の基本となる部材においてパネルの座屈を許容した場合の構造応答及び正確な座屈強度と最終強度を明らかにした。今後、船級協会でも実用設計法として導入の推進をはかって頂きたい。

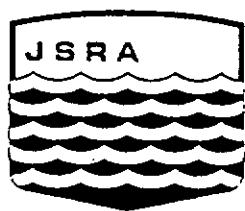
(5) 波浪変動荷重の簡易推定法

応力の応答関数の簡易推定法を作成した。この手法を Handy size 以外の船種にも適用して実績との比較を行い、疲労強度の実用的計算法の実現をはかる。

(6) C A E のための有限要素法の実用化

ズーミング計算省略及びスーパーエレメント法の活用についても、一応のめどはついたので、今後さらに対象を広げて研究すれば実用化に近づくものと思われる。

また、具体的な構造の有限要素法による設計の思想については、今回はトップサイドタンクのトランスリングを対象とした設計指針ができあがり、直ちに利用できる。このほか、二重底のたわみの簡略計算法、横隔壁基部の強度検討法、トップサイドタンク内ロンジフレームの疲労強度検討法、クロスデッキの検討法なども参考になるものと思われる。



The Shipbuilding Research Association of Japan