

本研究はモーターボート競走公益資金による
財日本船舶振興会の補助金を受けて実施したものである

研究資料No.381

第195研究部会
海洋構造物の低温用材料選定に関する研究
報 告 書

昭和60年3月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和59年度補助事業「海洋構造物の基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会第195研究部会において実施した「海洋構造物の低温用材料選定に関する研究」の成果をとりまとめたものである。本報告はその第1年度に関するもので、材料要求性能を設定する上で問題となる周辺条件について調査、検討した結果を示したものである。

すなわち本報告の内容は

1. 現行材料規則の調査
2. 外力に関する現行規則の調査
3. 海洋構造物の構造様式の調査
4. 材料要求性能を設定する場合に考慮しなければならない構造部材の抽出と、その部材にかかる外力条件（応力、ひずみ速度）および温度条件の検討結果
5. 海洋構造物製作時に発生した欠陥の大きさの調査

を含んでいる。上記の調査、検討結果をふまえて、昭和60年度以降の試験研究を開始する予定である。

第195研究部会委員会名簿

(敬称略、順不同)

| | | |
|-----|---------------|-----------------|
| 部会長 | 町田 進(東京大学) | 金鋼 正夫(三井造船) |
| 幹事 | 豊貞雅宏(日立造船) | 吉成仁志(東京大学) |
| 委員 | 青木真一(川崎製鉄) | 荒井宏範(日本海事協会) |
| | 有持和茂(住友金属工業) | 糸賀興右(川崎重工業) |
| | 岡本耕一(川崎重工業) | 金沢武(長崎総合科学大学) |
| | 北田博重(日本海事協会) | 熊倉靖(石川島播磨重工業) |
| | 小池允(新日本製鉄) | 渋田成人(住友重機械工業) |
| | 杉山忠男(日本鋼管) | 高鳴修嗣(神戸製鋼所) |
| | 中野善文(川崎製鉄) | 萩原行人(新日本製鉄) |
| | 服部陽一(日立造船) | 福原幸雄(神戸製鋼所) |
| | 藤井英輔(船舶技術研究所) | 別所清(住友金属工業) |
| | 松下久雄(三井造船) | 矢島浩(三菱重工業) |
| | 山内八郎(日本鋼管) | 山本崇也(三菱重工業) |
| | 渡辺之(日本鋼管) | |
| 討議 | 坂井文和(三菱重工業) | 多田益男(三菱重工業) |
| 参加者 | 坂田則彦(日立造船) | 桜田毅(三井造船) |
| | 松永栄一(三井造船) | 岩崎宣博(日本鋼管) |
| | 豊福正継(日本鋼管) | 小田宗隆(川崎製鉄) |
| | 井野幸雄(日本海事協会) | 飯野暢(石川島播磨重工業) |
| | 鈴木元昭(日本鋼管) | 今本郷司(日本海事協会) |
| | 梶本勝也(三菱重工業) | 小野塚正一(石川島播磨重工業) |
| | 岡 実(日本海事協会) | |

目 次

| | |
|---|----|
| はじめに | 1 |
| 1. 設計条件と材料特性の対応に関する調査・検討 | 3 |
| 1. 1 鋼材規格及び鋼材配置に関する現行規則 | 3 |
| 1. 2 溶接継手部のV-ノッチシャルピー衝撃特性などに関する現行規則 | 9 |
| 1. 3 外力に関する現行規則 | 14 |
| 1. 3. 1 波浪外力 | 14 |
| 1. 3. 2 氷荷重 | 18 |
| 1. 3. 3 衝撃荷重 | 25 |
| 1. 4 低温海域用構造物の鋼材仕様例 | 25 |
| 1. 5 研究対象構造の選定 | 31 |
| 1. 5. 1 亜北極圏半潜水式構造物 | 35 |
| (1) 主要構造配置について | 35 |
| (2) 研究対象構造詳細 | 35 |
| (i) 水平プレース端部 | 35 |
| (ii) K-ジョイント | 43 |
| 1. 5. 2 氷海用鋼製ケーソン | 46 |
| (1) 全体構造物形状について | 46 |
| (2) 研究対象構造詳細 | 46 |
| 1. 6 外力等設計条件の設定 | 47 |
| 1. 6. 1 設計温度 | 47 |
| 1. 6. 2 波浪による応力の長期分布の推定 | 55 |
| 1. 6. 3 ケーソンに負荷する氷荷重の長期分布の推定 | 61 |
| 1. 6. 4 衝撃荷重の推定 | 67 |
| 2. 欠陥調査 | 71 |

は　じ　め　に

最近氷海域で使用される石油掘削リグ等の各種海洋構造物の計画、建造が進んでいる。これらは大きく分けて

1) Floating Type (Semi-sub, 船舶及び船型リグ等), 2) Fixed Type (Jacket 等), 3) Gravity Type (コンクリート構造等) がある。これらの内 1) の Floating Type は、船級協会規則で設計、製造が行なわれているが、板厚50mm を超える鋼材については現在のところ、IACS 等の統一された規則がなく、各物件毎に各船級協会との話合いで、要求性能があまり根拠もないままに決められている。また 2), 3) の固定式の場合には、各エンジニアリング会社が、各種規格（例えば：橋梁の規格、船級協会規格）を適当に複合して、鋼材に対する要求値を各物件毎に決めているのが現状である。

そのため氷海域での海洋構造物に使用される鋼材（溶接部も含めて）に対する要求性能は、時とともにますます苛酷なものになってきている。しかもその要求根拠も明確でない。

そこで本部会では氷海域で使用される海洋構造物に対する鋼材の選定基準を、根拠をもった形で示すことを目的に共同研究を進めることになった。外力条件の整備、構造解析技術の発達、破壊力学の発達、信頼性工学の発展により、現在では、鋼材の選定基準を合理的に設定する道程はほぼ確立されているが、海洋構造物で多くみられる格点構造等の応力／ひずみ集中の大きな部材についての材料選定基準を具体的な形で与えることは現在のところ問題がある。また氷海域の海洋構造物では、流水が衝突するなどの現象も想定され、ひずみ速度もかなり速くなり、この影響で鋼材の破壊靭性も低下することが考えられる。さらには海洋構造物に対する欠陥の大きさはどの程度を考えておかなければならぬかという問題もある。また鋼材の要求靭性を考える時、工業的にはシャルピー試験で代表させるべきであると考えられるが、海洋構造物で使用される厚板についてシャルピー値と破壊靭性の相関はどのようにになっているのかという問題も未解決の問題として残されている。

図は氷海域の海洋構造物用鋼材の材料選定のフローを示したものである。上記に示した各問題を解決することにより鋼材の材料選定を合理的に行なうことが可能となる。

そこで第1年度の本部会の活動として、どのような部材を対象として、どのような条件下で実験研究を行なえば海洋構造物の材料選定が具体的に可能となるのかを主眼にして調査、検討を行なうこととした。本報告はその調査、検討結果を示したものであり、同時に今後の参考にするため現行規則についての調査結果も示すこととした。

すなわち本報告では、次年度以後の実験研究に必要な応力条件、ひずみ速度条件を明らかにするための設計面からの検討、鋼材選定基準を設定する時の出発点となる欠陥情報を、これまでの製造実績より調査、検討した結果を報告する。

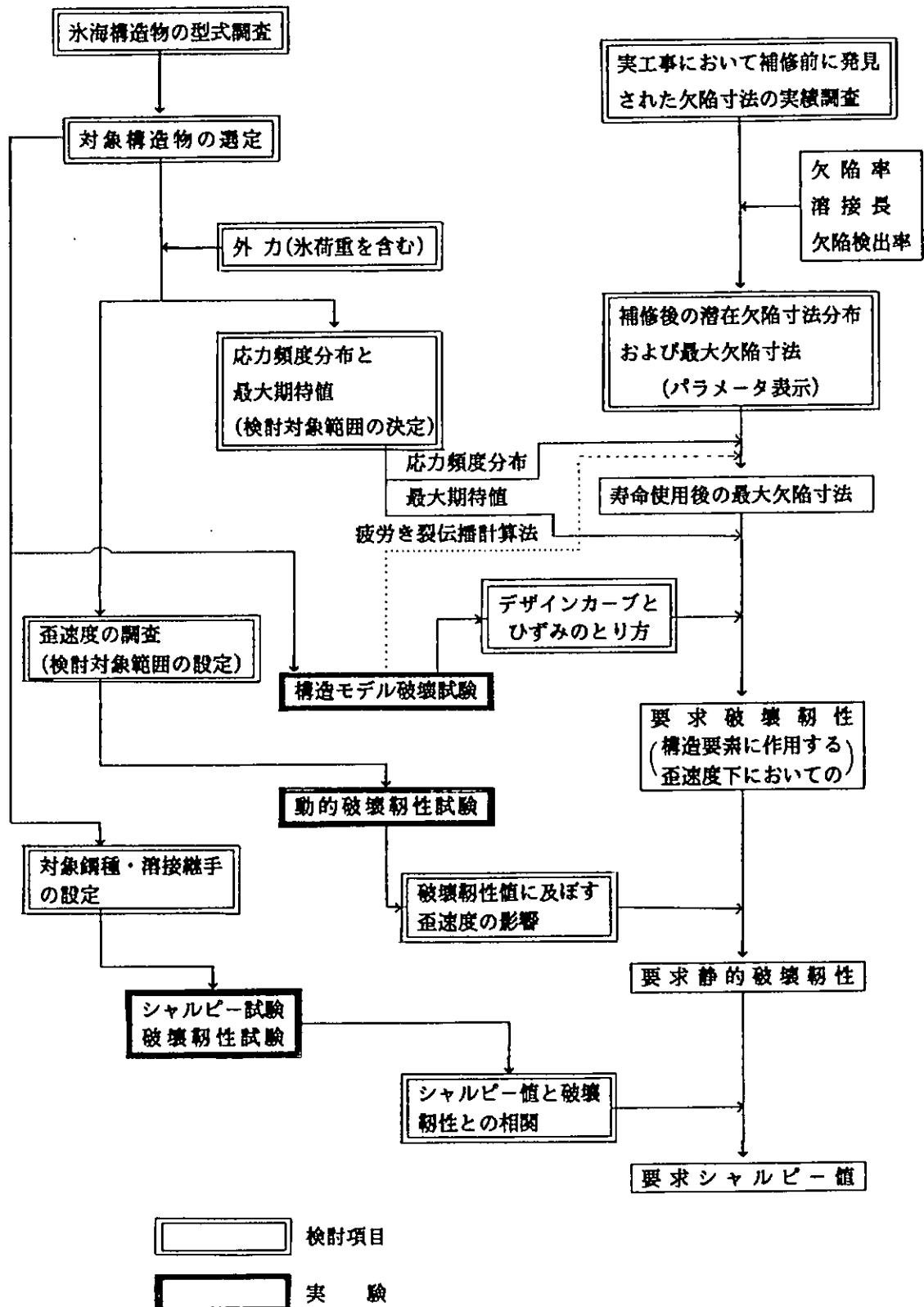


図 海洋構造物の低温用材料選定フロー (SR 195)

1 設計条件と材料特性の対応に関する調査・検討

1.1 鋼材規格及び鋼材配置に関する現行規則

1.1.1 IACS

IACS Recommendation №7, 1980 (Guide for the use of Hull Structural Steels for prolonged exposure to low Service Temperatures) で規定されている。

主な内容は、下記の通りである。

(1) General

- (i) 長期間低温（-50°Cまで）にさらされる部材の鋼材配置について規定する。
- (ii) 一般船舶の鋼材配置は、各船級協会規則（UR S6）による。

(2) Selection Criteria for Steels of IACS UR W11

- (i) 表 1.1.1 に鋼材配置を示す。
- (ii) 設計温度は、予想される鋼材温度の最低値とし、各船級規則により決定する。
- (iii) 鋼材の選定基準は下記による。
 - (a) Category of the member (loading rate, level & type of applied stress, presence of stress concentration & critical load transfer points, consequence of failure)
 - (b) Toughness of the Steel
 - (c) Min. design temp.
 - (d) Final Condition of the member (溶接後 SR を行う場合、表 1.1.1 の許容板厚を大きくできる。)
 - (e) Amount of Cold forming (3 %を超える冷間加工を行った鋼材、またその鋼材の溶接部に適当な熱処理を施さない場合、表 1.1.1 の規定に検討を要する。)
 - (f) Workmanship Condition (適切なる溶接施工を条件に許容板厚を定めているので、溶接、その後の検査中接近が困難な部材には、Grade up した材質の検討を要する)
 - (g) Weld Acceptance Criteria
 - (h) 0 °C未満の温度域で Grade A を使用する場合、0 °Cで 2.8 kg · m (L 方向) 以上の吸収エネルギーを要求できる。
- (iv) 船級協会の判断で、表 1.1.1 と異なる規定とできる。
- (v) 表 1.1.1 は、今までに多数経験のある 0 °Cにおける板厚を base に鋼材の vTrs の特性を加味して定めている。

(3) Selection Criteria for Other Steels

- (i) IACS 鋼材と異なる鋼材に対する鋼材配置は、各船級協会で決定してよい。

1.1.2 NK

NK 鋼船規則 P 編、1982 (海洋構造物及び作業船等) で規定されている主な内容は、下記の通りである。

(1) General

- (i) 异板昇降型及び半潜水型船舶の鋼材配置について規定する。
- (ii) 船型及びバージ型船舶の鋼材配置は、一般船舶の規定による。

(2) Selection Criteria for NK - Hull Steels

- (i) 表 1.1.1 に鋼材配置を示す。
- (ii) 材料の設計温度は、船舶の作業海域における 1 日の平均気温の最低値とする。但し、1 日の平均気温の最低値に対する気象データがない場合には、月間平均気温の最低値としても差し支えない。なお、軽荷喫水線以下の部分に対しては、設計温度を 0 °C未満とする必要はない。

(iii) 表 1.1.1 の規定以外は、NK の適当と認めるところによる。

(3) Selection Criteria for Other Steels

(i) 本編の規定に適合するものと同等の効力があると認める場合、使用できる。

1.1.3 DNV

DNV Mobile Offshore Units, 1982年9月 (Part 3, Structures and Equipment, Chapter 1. Structural Design General, Section 2. Materials) で規定されている主な内容は、下記の通りである。

(1) General

(i) Column Stabilized Units & Self-Elevating Units の鋼材配置について規定する。

(2) Selection Criteria for DNV-Hull Steels (Use of Steel Grades)

(i) 表 1.1.1 に鋼材配置を示す。

(ii) 板厚、実使用板厚による。

(iii) 設計温度関係については下記による。

(a) 設計温度は、鋼材の最低使用温度以下とする。

(b) LWL 上の部材（外板、上甲板）の使用温度は、稼動海域の1日の平均気温の最低値とする。

(c) Column Stabilized Units の Pontoon deck は、0°C の規定でよい。

(d) LWL 下の部材（外板）は、0°C の規定でよい。

(e) Column, Pontoon, Deck の内部材は、板部材（外板、上甲板）の使用温度と同じでよい。

(f) Permanently heated Room の内部材は、0°C の規定でよい。

(iv) Production Factor 関係については下記による。

(a) 溶接後 SR を行う場合、表 1.1.1 の使用温度より低くできる。

(b) 3% を越える冷間加工を行う場合、適当な熱処理を必要とする。

(c) Normalizing 又は細粒化処理（規則で規定していない）を行った鋼材を使用する場合、DNV の承認を得て表 1.1.1 の使用温度より低くできる。

(v) 圧縮又は低引張応力を受ける部材に使用する鋼材は、表 1.1.1 の鋼材 Grade より低い Grade とできる。

(3) Selection Criteria for Other Steels

(i) 化学成分、機械的性質、CVN 値が DNV 規則と異なる鋼材に対する鋼材配置は、その都度決定する。

1.1.4 ABS

ABS Mobile Offshore Drilling Units, 1980 及び 1982 年 3 月 (Guide for Material Selection) で規定されている主な内容は、下記の通りである。

(1) General

(i) Self-Elevating & Column-Stabilized drilling Units の鋼材配置について規定する。

(ii) Surface Type drilling Units の鋼材配置は、一般船舶の規定による。

(2) Selection Criteria for ABS-Hull Steels

(i) 表 1.1.1 に鋼材配置を示す。

(ii) Ice Strengthening が要求される海域に対しては、表 1.1.1 を適用しない。

(iii) 使用温度は、稼動海域の気象 data に基づく 1 日の平均気温の最低値とする。
(鋼材の温度)

(iv) 使用温度が 0°C 以上の場合は、0°C の規定でよい。

(v) Min. Waterline への近接部材及びそれ以下の部材に対しては、0°C の規定でよい。

(3) Selection Criteria for Other Steels

(i) 表 1.1.1 の t_{max} を越える ABS 造船用鋼材又は他の鋼材を使用する場合は、下記による。

- (a) 使用鋼材のじん性値が、その鋼材の使用ヶ所及び最低使用温度に応じて十分であることを示した資料の承認。
- (b) 前(a)によらない時は、表 1.1.2 の規定による。

表 1.1.1 MODU. 鋼材配置の比較 (その1)

表 1.1.1 MODU. 鋼材配置の比較 (その2)

| | | Service/Design Temp. : 0°C | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|--------|-------|-------|-------|----|----|----|----|
| Steels | Application Categories | CLASS | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| M S | Secondary | IACS | A | B | D | | | | | |
| | | NK | A | B | | | | | | |
| | | DNV | A | B | D | | | | | |
| | | ABS | A | | | | | | | |
| | | IACS | A | B | D | E | | | | |
| | Primary | NK | A | B | D | | | | | |
| | | DNV | A | B | D | E | | | | |
| | | ABS | A | B | D, DS | DN | | | | |
| | | IACS | B | D | | E | | | | |
| | | NK | B | D | E | | | | | |
| H T | Secondary | DNV | B | D | E | | | | | |
| | | ABS | B | D, DS | DN | CS, E | | | | |
| | | IACS | AH | AH | DH | | | | | |
| | | NK | AH | | | | | | | |
| | | DNV | AH | DH | | DH | | | | |
| | Primary | ABS | AH | AH | DH | | | | | |
| | | IACS | AH | AH | DH | | | | | |
| | | NK | AH | AH | DH | | | | | |
| | | DNV | AH | AH | DH | | | | | |
| | | ABS | AH | AH | DH | | | | | |
| E HT (42≤ 6y≤69) | Secondary | IACS | AH | DH | | EH | | | | |
| | | NK | AH | DH | | EH | | | | |
| | | DNV | AH, DH | DHN | EH | | | | | |
| | | ABS | DX | | | EX | | | | |
| | | DNV | DX | EX | | FX | | | | |
| | Primary | DNV | | | | DX | | | | |
| | | ABS | | | | DH | | | | |
| | | DNV | | | | DN | | | | |
| | | ABS | | | | DX | | | | |
| | | DNV | | | | EX | | | | |

表1.1.1 M.O.D.U. 鋼材配置の比較(その3)

| Service/Design Temp. : -20°C | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-------|------------------|-------|-------|
| Steels | Application Categories | CLASS | Thickness t (mm) | | |
| M S | Secondary | IACS | A | B | D |
| | | NK | B | D | E |
| | | DNV | A | B | D |
| | | ABS | A | B | D, DS |
| | | IACS | B | D | E |
| | Primary | NK | B | D | E |
| | | DNV | B | D | E |
| | | ABS | B | D | E |
| | | IACS | E | D, DS | DN |
| | | NK | E | CS, E | |
| H T | Secondary | IACS | DN | CS, E | |
| | | ABS | AH | DH | |
| | | NK | AH | DH | |
| | | DNV | AH | DH | |
| | | ABS | AH | DH | |
| | Primary | IACS | AH | DH | EH |
| | | NK | DH | | EH |
| | | DNV | AH | DH | EH |
| | | ABS | AH | DH | EH |
| | | IACS | DH | | EH |
| E HT (42≤ 6y≤69) | Secondary | NK | DH | | EH |
| | | DNV | DH | | EH |
| | | ABS | DHN | EH | |
| | | IACS | DHN | EH | |
| | | NK | DH | EH | |
| | Primary | DNV | DH | | EH |
| | | ABS | DHN | EH | |
| | | IACS | DHN | EH | |
| | | NK | DH | EH | |
| | | DNV | DH | | EH |

表1.1.1 M.O.D.U. 鋼材配置の比較(その4)

| Service/Design Temp. : -30°C | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-------|------------------|-------|-------|
| Steels | Application Categories | CLASS | Thickness t (mm) | | |
| M S | Secondary | IACS | B | D | |
| | | NK | D | | E |
| | | DNV | B | D | E |
| | | ABS | B | D, DS | DN |
| | | IACS | D | | |
| | Primary | NK | D | | E |
| | | DNV | D | | E |
| | | ABS | D, DS | DN | CS, E |
| | | IACS | E | | |
| | | NK | E | | |
| H T | Secondary | IACS | AH | DH | |
| | | NK | AH | DH | |
| | | DNV | AH | DH | |
| | | ABS | AH | DH | |
| | | IACS | AH | DH | EH |
| | Primary | NK | DH | | EH |
| | | DNV | AH | DH | EH |
| | | ABS | AH | DH | EH |
| | | IACS | DH | | EH |
| | | NK | DH | | EH |
| E HT (42≤ 6y≤69) | Secondary | DNV | DH | | EH |
| | | ABS | DHN | EH | |
| | | IACS | DHN | EH | |
| | | NK | DH | EH | |
| | | DNV | DH | | EH |
| | Primary | DNV | DH | | EH |
| | | ABS | DHN | EH | |
| | | IACS | DHN | EH | |
| | | NK | DH | EH | |
| | | DNV | DH | | EH |

表 1.1.1 M.O.D.U. 鋼材配置の比較 (その 5)

表 1.1.1 M.O.D.U. 鋼材配置の比較 (その 6)

| | | Service/Design Temp. : -40°C | | | | | | | |
|--------|------------------------|------------------------------|--|--------|--|--|--|---|----------------------|
| Steels | Application Categories | CLASS | Thickness 10 5 15 20 25 30 35 40 | t (mm) | | | | Thickness 10 20 30 35 40 | |
| M S | Secondary | IACS | D | E | | | | IACS | E |
| | NK | IACS | D | E | | | | NK | E |
| | DNV | D, DS | DN | E | | | | DNV | E |
| | ABS | IACS | E | CS, E | | | | ABS | DN |
| | Primary | NK | E | E | | | | IACS | E |
| | DNV | E | E | E | | | | NK | E |
| | ABS | DN | CS, E | E | | | | DNV | E |
| | IACS | E | E | E | | | | ABS | CS, E |
| | NK | E | E | E | | | | IACS | Special |
| | DNV | E | E | E | | | | NK | |
| H T | Secondary | IACS | DH | EH | | | | IACS | DH |
| | NK | DH | DH | EH | | | | NK | EH |
| | DNV | DH | DHN | EH | | | | DNV | DH |
| | ABS | IACS | DH | EH | | | | ABS | DHN |
| | Primary | NK | EH | EH | | | | IACS | EH |
| | DNV | DH | EH | EH | | | | NK | EH |
| | ABS | DHN | DHN | EH | | | | DNV | EH |
| | IACS | EH | EH | EH | | | | ABS | EH |
| | Special | NK | EH | EH | | | | IACS | Special |
| | DNV | EH | EH | EH | | | | NK | |
| E HT | Secondary | DX | EX | FX | | | | EX | Secondary |
| | Primary | DNV | EX | FX | | | | EX | Primary |
| | Special | ABS | EH | FX | | | | DNV | (42≤ 6y≤ 69) Special |
| | | | FX | FX | | | | FX | |

表 1.1.2 表 1.1.1 以外の鋼材に対する要求値 (ABS)

| Yield Point σ_y (kg/mm ²) | Service Temp T (°C) | CVN Test | | | | | Drop Weight Test | |
|--|---------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---|------------------|-------------------|
| | | Application | Test Temp (°C) | Energy (L) E(L)(kg·m) | Energy(L) E(L)(kg·m) | Lateral Expansion (mm) | Application | NDT (°C) |
| $24 \leq \sigma_y \leq 31$ | T | Secondary | T | 2.8 | $\frac{2}{3} E(L)$ | $\Delta\ell(L) \geq 0.5$ $\Delta\ell(T) \geq 0.38$ | Secondary | $NDT \leq T - 5$ |
| | | Primary | T - 10 | | | | Primary | $NDT \leq T - 15$ |
| | | Special | T - 30 | | | | Special | $NDT \leq T - 35$ |
| $32 \leq \sigma_y \leq 41$ | T | Secondary | T | 3.5 | $\frac{2}{3} E(L)$ | $\Delta\ell(L) \geq 0.5$ $\Delta\ell(T) \geq 0.38$ | Secondary | $NDT \leq T - 5$ |
| | | Primary | T - 10 | | | | Primary | $NDT \leq T - 15$ |
| | | Special | T - 30 | | | | Special | $NDT \leq T - 35$ |
| $42 \leq \sigma_y \leq 70$ | Primary | 0 | -30 | 3.5 | $\frac{2}{3} E(L)$ | $\Delta\ell(L) \geq 0.5$ $\Delta\ell(T) \geq 0.38$ | Rprimary | $NDT \leq T - 15$ |
| | | -10 | -40 | | | | | |
| | | -20 | -40 | | | | | |
| | | -30 | -50 | | | | | |
| | | -40 | -60 | | | | | |
| | | -50 | -70 | | | | | |
| | | 0 | -40 | | | | | |
| | Special | -10 | -50 | 3.5 | $\frac{2}{3} E(L)$ | $\Delta\ell(L) \geq 0.5$ $\Delta\ell(T) \geq 0.38$ | Special | $NDT \leq T - 35$ |
| | | -20 | -50 | | | | | |
| | | -30 | -60 | | | | | |
| | | -40 | -70 | | | | | |
| | | -50 | -80 | | | | | |

備考 (1) 鋼材は E (L) の要求値を満すこと。

(2) E (L) の代りに E (T), $\Delta\ell(L & T)$, NDT のいずれか 1 つでもよい。

1.2 溶接継手部の V-ノッチシャルピー衝撃特性等に関する現行規則

1.2.1 NK

NK 規則で規定されている溶接法承認試験に関する主な内容は、表 1.2.1 に示す通りである。

1.2.2 DNV

DNV 規則で規定されている溶接法承認試験に関する主な内容は、表 1.2.2 に示す通りである。

1.2.3 ABS

ABS 規則で規定されている溶接法承認試験に関する主な内容は、表 1.2.3 に示す通りである。

1.2.4 LR

LR 規則で規定されている溶接法承認試験に関する主な内容は、表 1.2.4 に示す通りである。

なお表 1.2.1 ~ 1.2.4 の衝撃試験片の採取位置は、溶接金属中央と、各表中に○印を付した所である。

表 1.2.1 NK (鋼船規則M編 4章溶接法承認試験, 1984

(溶接法承認試験に関する規則)

| 試験 | | 鋼材 | 軟 鋼 | | | | 高 張 力 鋼 | | | |
|------------|--|--------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|---------|-------|--------|-------|
| | | | A | B | D | E | AH 32 | DH 32 | EH 32 | AH 36 |
| 突合せ溶接部継手試験 | 試験温度(°C) | 20 0 -20 | 20 0 -20 | 20 0 -20 | 20 0 -20 | 20 0 -20 | 3.5 以上 | | 3.5 以上 | |
| | 3 個の吸収エネルギーの平均値(kg-m) | 溶接部の中心 熱影響部 部 5 | 3.5 以上 | | 3.5 以上 | | 3.5 以上 | | 3.5 以上 | |
| | | | F.L ① 2 3 5 | | - | | 3.5 以上 | | 3.5 以上 | |
| | | | 引張強さ(kg/mm ²) | | 41以上 | | 48以上 | | 50以上 | |
| | | | | | | | | | | |
| | <p>(1) 本表の衝撃試験規格値は、自動溶接継手の吸収エネルギーの平均値である。 被覆アーク溶接又は半自動溶接継手の吸収エネルギーの規格値は、4.8 kg-mとし、下向き溶接に対するものとする。なお、KAの被覆アーク溶接の場合は、衝撃試験を行う必要はない。</p> <p>(2) 高張力鋼の熱影響部の衝撃試験規格値は、大入熱溶接法に適用する。その他の溶接法における熱影響部の衝撃試験規格値は、参考とする。</p> <p>(3) $\sigma_y 46 \text{ kg/mm}^2$ 級高張力鋼の衝撃試験温度は0°C(KA46), -20°C(KD46), -30°C(KE46)とし、衝撃試験規格値は、自動溶接継手のとき3.5 kg-m以上、被覆アーク溶接又は半自動溶接継手のとき4.8 kg-m以上、引張試験規格値は、60kg/mm²以上でなければならない。</p> <p>(4) 本表以外の鋼材の溶接継手に対する衝撲試験については、別途承認を必要とする。</p> | | | | | | | | | |

表 1.2.2 DNV (Mobile Offshore Units, Pt. 3 ch 3 Sec. 2 Welding Procedure, 1984)
(溶接法承認試験に関する規則)

| 試験 | | 鋼材 | | 軟 鋼 | | | | 高 張 力 鋼 | | | |
|----------------|------|--|---|------|--------------|-----|-----|----------|------|------|----------|
| | | | | A | B | D | E | AH32 | DH32 | EH32 | AH36 |
| 突合せ溶接部 継手試験 | 衝撃試験 | 試験温度(°C) | | - | 0 | -10 | -40 | 0 | -20 | -40 | 0 |
| | | 3個の吸収エネルギーの平均値(kg-m) | 溶接部の中心 熱影響部 ① ② ③ ④ ⑤ | - | 2.1以上 | | | 2.3以上 | | | 2.5以上 |
| | | | | - | L: 2.8以上 | | | L: 3.2以上 | | | L: 3.5以上 |
| | | | | - | T: 2.1以上 | | | T: 2.3以上 | | | T: 2.5以上 |
| | | | | 引張試験 | 引張強さ(kg/mm²) | | | 41以上 | | | 45以上 |
| | | | | 引張試験 | 50以上 | | | 50以上 | | | 50以上 |
| 備考 | | (1) 片面溶接の場合、衝撃試験片は、ルート部から採取する。 (2) 本表に規定する以外の鋼材(NV 27S, NV 40S 及び低温用圧延鋼材)の衝撃試験規格値は、下記による。 (a) 溶接部の中心………母材のT方向の規格値 (b) 熱影響部(F.L. 2.5)………母材のL又はT方向の規格値 (3) 热影響部(F.L., 2.5)の3個の吸収エネルギーの平均値が衝撃試験規格値の70%以上となった場合、非性試験(例: 落重試験)を行って合格とすることがある。 この場合の落重試験は、母材及び溶接部から試験片を2本ずつ採取し、設計温度より5°C低い温度で試験を行い、すべての試験片がNo-breakであること。 (4) 板厚50mm以上の場合は、非性試験を追加要求することがある。 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

表 1.2.3 ABS (Mobile Offshore Drilling Units, Section 10 Welding, 1980)

(溶接法承認試験に関する規則)

| 試験 | | 鋼材 | 軟 鋼 | | | | 高 張 力 鋼 | | | | | | | | |
|------------|------|--|----------|------|--------|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|--|
| | | | A | B | D | E | AH 32 | DH 32 | EH 32 | AH 36 | DH 36 | EH 36 | | | |
| 突合せ溶接部継手試験 | 衝撃試験 | 試験温度(°C) | | - | 0 | -10 | -40 | - | -20 | -40 | - | -20 | -40 | | |
| | | 3個の吸収エネルギーの平均値(kg·m) | 熱影響部(mm) | F.L. | 溶接部の中心 | | - | 2.8以上 | | - | 3.5以上 | | - | 3.5以上 | |
| | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| | | | | | 2 | | | - | | - | | - | | | |
| | | | | | 3 | | | | | | | | | | |
| | | | | | 5 | | | | | | | | | | |
| 備考 | 引張試験 | 引張強さ(kg/mm ²) | | 41以上 | | | 48以上 | | | 50以上 | | | | | |
| | | (1) 熱影響部の衝撃試験についての要求は、別途考慮する。 (2) Section 11 Materials の Table 11.1 及び Table 11.2 以外の鋼材の溶接継手に対する衝撃試験については、別途承認を必要とする。 | | | | | | | | | | | | | |

表 1.2.4 LR Rules and Regulations for the Classification of Mobile Offshore
 (Units, Pt. 3 ch. 3 Sec. 11 Welding of steel structures)
 (溶接法承認試験に関する規則)

| 試験 | | 鋼材 | | 軟鋼 | | 高張力鋼 | | | | | |
|------------|--|---------------------------|---|-------------------|---|------|------|-------------------|------|------|------|
| | | A | B | D | E | AH32 | DH32 | EH32 | AH36 | DH36 | EH36 |
| 突合せ溶接部継手試験 | 衝撃試験 | 試験温度(°C) | | 最低設計温度 | | | | 最低設計温度 | | | |
| | | 3個の吸収エネルギーの平均値(kg·m) | 溶接部の中心 熱影響部 (mm) ① ② ③ ④ ⑤ | 2.8以上 | | | | 3.5以上 | | | |
| | | | | — | | | | — | | | |
| | | | | — | | | | — | | | |
| | | | | — | | | | — | | | |
| | 引張試験 | 引張強さ(kg/mm ²) | | Specificationによる。 | | | | Specificationによる。 | | | |
| 備考 | (1) 溶接法承認試験を板厚tで行った場合、承認板厚範囲は、1.5tとする。 (2) 本表の衝撃試験規格値は、critical parts of structures(格点部)の溶接部に対する要求値である。なお、熱影響部の衝撃試験規格値は、別途考慮する。 (3) 板厚38mmを越える場合、衝撃試験温度は、最低設計温度以下の温度とすることがある。 (4) 本表に規定する鋼材の板厚が38mmを超える場合及び本表に規定する以外の(例えばジャッキアップレグに使用される)高張力鋼の衝撃試験については、別途承認を必要とする (5) T, K及びY継手については、post-weld heat treatmentを行った供試材に対し、UT, MT, マクロ及びhardness testを行う。 この場合、溶接部及び熱影響部の硬さ値は、下記による。 (a) $\sigma_y \leq 41\text{kg/mm}^2$ $(\text{Hv})_{\max} < 300$ (b) $\sigma_y > 41\text{kg/mm}^2$ 別途考慮 | | | | | | | | | | |

1.3 外力に関する現行規則

ケーンや半潜水式構造物など、水海域にて操業する海洋構造物に使用する鋼材の低温諸特性を検討するためには構造物に負荷する応力頻度分布や水荷重衝突によるひずみ速度などを調査する必要がある。ここでは、これらの調査に先立ち、波浪外力や水荷重に関する各船級協会の現行規則の概要をとりまとめた。

波浪外力については、初期欠陥の亀裂進展に関連する応力の長期分布に主眼をおいて調査した。一方、海洋構造物に作用する水荷重に関する規則は少ないため、ここでは土木関係の規則や設計仕様なども加味してとりまとめた。

1.3.1 波浪外力

海洋構造物の強度計算において波浪を考慮する場合、決定論的手法と確率論的手法とがある。

決定論的手法においては、構造の全体強度に最も苛酷となるいくつかの波向、波長、波高の組み合わせによる規則波を選定し、設計波として取り扱う。

一方、確率論的手法では有義波高と波周期とで海象が定義され、短期予測においては最も厳しい短期海象を仮定することで不規則波中の応答の極大値を推定する。又、長期予測においては長期波浪テーブルをもとに各応答レベルの発現頻度を求める。この手法は計算にかなりの労力を要し必ずしも一般的ではない。

上記二つの手法は海洋構造物の応答の最大値や疲労強度を推定するために必要に応じ使い分けられている。

実際の構造部材に作用する流体力の推定には、モリソン式を適用する方法と、ポテンシャル理論を用いる方法等があるが、前者が広く用いられており、係数の推奨値も船級協会規則の中で具体的に示されている。(DnV, LR) 以下に DnV, ABS, LR 及び NK の各船級協会規則における波荷重の評価に関する記述、考え方を紹介する。

(1) DnV 船級協会規則における波荷重の取り扱い^{1), 2)}

(1) 決定論的手法

波浪に関する設計条件として使用海域を考慮し、最大波高とそれに対応した波周期が設定されるが、強度計算における設計波としては、このほかに構造全体の形状、寸法を考慮して強度的に最も苛酷となるいくつかの波向、波周期が選定される。

水深に対する碎波波高は図 1.3.1 で示されるが、一般に規則波としての最大波高は 100 年再現波として次式で与えられている。

$$H_w = \begin{cases} 0.22 T^2 & \text{for } T \leq 6 \text{ sec.} \\ \frac{T^2}{4.5 + 0.02(T^2 - 36)} & \text{for } T > 6 \text{ sec.} \end{cases}$$

(max. $H_w = 32 \text{ m}$)

H_w : 設計波高 (m)

T : 設計波周期 (sec.)

この設計波を用いて、極限状態 (survival condition) における応答の最大値が求められる。

実際の設計波選定の例として、半潜水式海洋構造物 (セミサブ) の設計波を表 1.3.1 に示す。

この表では 2 ロワーハル、6 コラム型のセミサブに対するいくつかの代表的な設計波が、構造全体の内力応答を支配する荷重状態に分けて表現されている。これらの荷重パラメータを最大とする波が設計波としてこの表に示されているが、これら波向と波長の組み合わせは、荷重パラメータを最大とする一応の目安にすぎず、実際にはこの周辺での最大値を見出す必要がある。

ii) 確率論的手法

a) 短期予測

短期海象は有義波高 (H_s) と平均ゼロアップクロス周期 (T_z) で定義される波スペクトルで表わされる。

一般に応答が最大となる平均波周期 T_z の設定には、応答関数がピークを示す波周期が一つの目安となるがこれに対応した有義波高 H_s は次式で与えられている。

$$H_s = \begin{cases} 0.156 T_z^2 & \text{for } T_z \leq 6 \text{ sec.} \\ 0.206 T_z^2 - 0.0086 T_z^3 & \text{for } 6 < T_z \leq 12 \\ 0.104 T_z^2 & \text{for } T_z > 12 \end{cases}$$

波スペクトルとしては、深海域にはピアソン・モスコヴィツ型スペクトルが、又、浅海域にはジョンスワップ型スペクトルが推奨されている。

(ピアソン・モスコヴィツ型スペクトル)

$$\frac{S(\omega)}{H_s^2 T_z} = -\frac{1}{8 \pi^2} \left(\frac{\omega T_z}{2\pi} \right)^{-5} \exp \left[-\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega T_z}{2\pi} \right)^{-4} \right]$$

(ジョンスワップ型スペクトル)

$$S(f) = \alpha g_0^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \cdot \text{FAC}$$

$$\text{FAC} = r \exp \left[-\frac{(f + f_p)^2}{2 \sigma^2 f_p^2} \right]$$

又、方向性をもった短波頂の海象は次式で表わされる。

$$S(\omega, \alpha) = S(\omega) \cdot f(\alpha)$$

$$\text{方向分布関係数 } f(\alpha) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \cos^2 \alpha & \text{for } |\alpha| \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{for } |\alpha| > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

この波スペクトルと、規則波中の応答解析で求められる応答関係の線型重ね合わせによって応答スペクトルが得られ、その積分で求まる標準偏差を用いることで応答の期待値が計算できる。

b) 長期予測

一つの波スペクトルで表現できる海象の持続期間は短く高々 2 ~ 3 時間程度である。従って比較的低いレベルの応力の繰り返しが問題となる疲労強度の評価の際には、構造物の寿命に見合った長い期間(20~50年)にわたる海象を表現するために、長期間の短期海象自体の発現確率を表わす長期波浪データが必要となる。長期波浪データは一般に目視観測波高 H_v と目視観測平均波周期 T_v で表わされるが、これらの値と有義波高 H_s 、平均波周期 T_z との関係式として次式を与えている。

$$H_s = 1.68 H_v^{0.75}$$

$$T_z = 0.82 T_v^{0.96}$$

長期波浪データによって、その発現確率が与えられる各短期海象について、短期予測の場合と同様に応答の確率分布を求め、さらにその発現確率を考慮して足し合わせることで応答の長期分布が得られる。

設計ガイダンスとして、有義波高 H_s がワイブル分布に従うものとした場合の考え方を以下のように述べている。

発現確率 $Q = 10^{-n}$ における波高 H_n は次の次式で表わされ、

$$H_n = \frac{a b_1}{2} (2.3 n)^{k_1}$$

(a , b , k_1 ワイブルパラメータ)

N年再現波に対応した有義波高 H_s は、上式に

$$n = 6.7 + \log_{10} N$$

を代入して求められるとしている。

(2) L R, ABS, NK 船級協会規則における波荷重の取り扱い^{3) 4) 5)}

DnV 規則のように詳細な記述はないが、以下のことが簡単に述べられている。すなわち、決定論的方法における設計波の選定の際には、構造の全体、又は一部に対して強度的に厳しくなる波長を考慮する必要がある。

一方、疲労強度評価の際には長期予測による累積効果を考えねばならない。

参 考 文 献

- 1) DnV : Rules for Classification of Mobile Offshore Units (1984)
- 2) DnV : Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures (1977)
Appendix a Environmental Conditions
- 3) L R : Rules and Regulations for the Classification of Mobile Offshore Units (1984)
- 4) ABS : Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units (1980)
- 5) N K : 鋼船規則 P編 海洋構造物及び作業船等 (昭和57年)

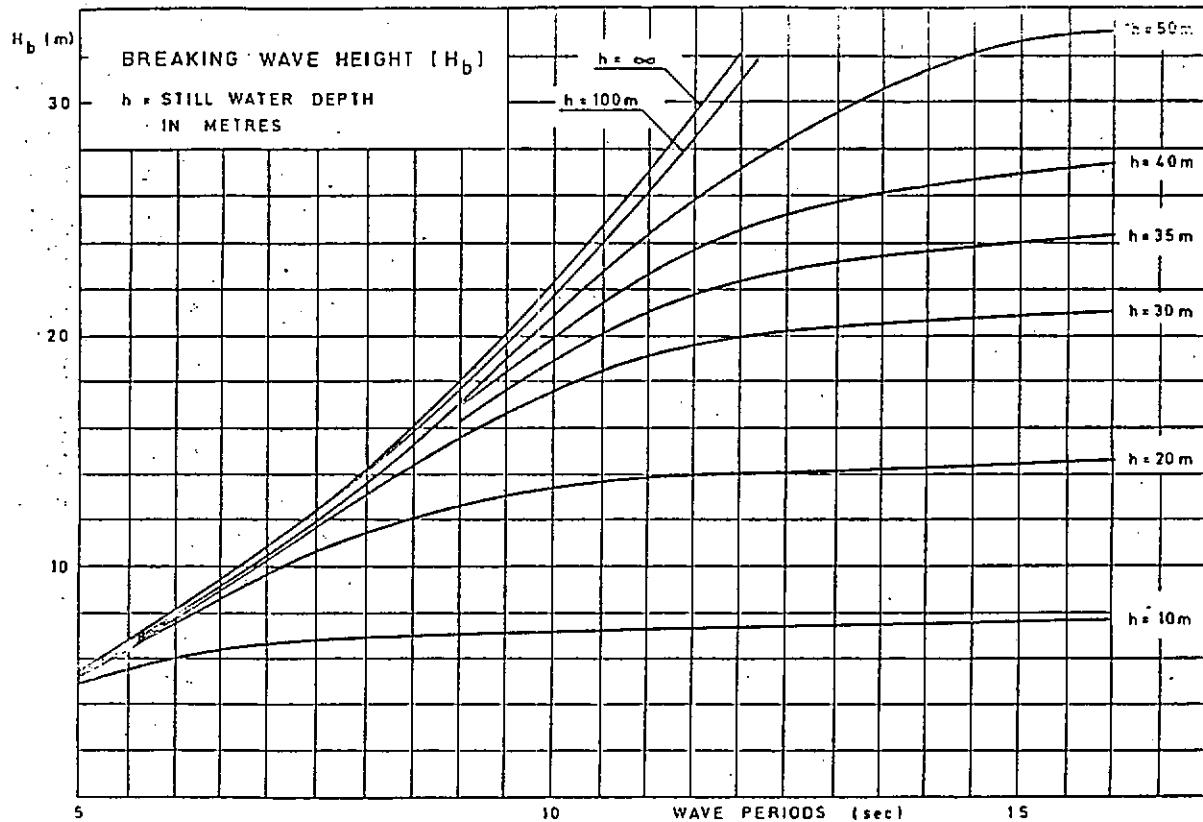


図 1.3.1 破波の波高

表 1.3.1 設計波選定の例

| パラメータ | | 波方向 (α) と波長 (λ) の目安 |
|---------------------------------------|--|--|
| 荷重状態 | 主要な応力 | |
| (a) Split force & Squeeze force | H.T.B. 軸応力 コラム 曲げ, 剪断応力 | $\alpha = 90^\circ$ (横波) $\lambda = 2b$ |
| (b) Pitch-connecting Moment (Torsion) | T.D.B. 軸応力 H.D.B. 軸応力 甲板ひだ 曲げ, 剪断応力 H.T.B. 曲げ応力 | $\alpha = \alpha_p + \tan^{-1} B/L$ (斜波) $\lambda = l_p = 2BL / \sqrt{L^2 + B^2}$ |
| (c) Racking force | H.D.B. 軸応力 コラム 曲げ, 剪断応力 | $\alpha = \alpha_p - \tan^{-1} B/L$ (斜波) $\lambda = 2l_p = 2\sqrt{L^2 + B^2}$ |
| (d) Heave response (Max.vert.acc.) | 甲板ひだ 曲げ, 剪断応力 T.D.B. 軸応力 | 運動応答関数を参考。 一般に $\left. \begin{array}{l} T_w = 14-16 \text{ sec.} \\ H_s = 100 \text{ year max.} \\ \alpha = 90^\circ \end{array} \right\}$ とする。 |

H.T.B. 水平横ガルス

T.D.B. 鉛直横ガルス

H.D.B. 水平斜めガルス

1.3.2 氷荷重

(1) 概論

海洋構造物に作用する氷荷重に関しては、氷盤が構造物に接触し、破壊する時、この氷盤の破壊がどのようなモードになるかを決定する事が、設計上非常に重要である。すなわち、海洋構造物に生ずる氷荷重は、これら氷盤の破壊モードによって大きく異なってくるからである。(図1.3.2)

円柱構造物に氷盤が当る際、圧壊モードが支配的であるが、氷盤が薄ければ圧壊以前に座屈で氷は破壊する。又円錐構造物など斜面を有する場合には、曲げ破壊が支配モードであるが、再凍結堆積や斜面の摩擦が大きければ、圧壊モードで碎氷が生ずる事も考えられる。更に、これら氷盤の破壊モードは、氷速、氷厚、結晶構造、塩分濃度、気温、氷温など氷の状況にも影響され、圧壊、曲げ、剪断、座屈などの破壊モードがランダムに発生し得るので、氷荷重算定時の破壊モードの決定は、種々の要因を考慮する必要があると言えよう。

氷海用海洋構造物^{*}の氷荷重算定に関し⁶⁾船級協会等の設計基準(ガイドライン)は現在殆んどなく、存在しても氷と構造物との相互作用(氷荷重)に関しては、極めて限定された部分的指針にとどまり、確立された包括的なルールはないといえる。そうした中で、これ迄主として土木関係者の間で設計基準(ガイドライン)として使用されて来たものに、Korzhavinの式、Canadian Standards Association Highway Bridge Code (CSA, 1974), Canadian Lighthouse Practice (By Danys 1975), U.S.S.R. Design Code 等がある。^{7) 8)}又、氷海用固定式海洋構造物の設計に関し、考慮すべき要件を示したものに API Bul. 2 N (1982)⁹⁾がある。これらの殆んどは実験及び経験式に基づく算定式であり、かつAPIを除けば河川の橋脚、杭、及び燈台といった構造物を対象としたものである。とは言え、これら基準(ガイドライン)は、海洋構造物に作用する氷荷重算定について有用な示唆を与えてくれる一方、ある条件下では、海洋構造物の氷荷重算定に適用可能な現行規準(ガイドライン)でもあるという事で、以下に、一括して簡単にまとめる。

(2) 氷荷重算定のガイドライン

(i) Korzhavinの式

本式はソ連の土木関係者の間で広く使われているもので、Korzhavinは直円柱等に働く氷圧力Pを次のように表わしている。

$$P = I \ m \ K \ \sigma_c$$

但し

σ_c : 氷の一軸圧縮強度(速度の影響考慮)

K : 接触係数、全面接触の時 K = 1, 一般に 0.4 ~ 0.7

m : 形状係数、直円柱では m = 0.9

角柱では m = 1.0

I : 押込係数、幅広物体 = 1.0

細い物体 = 2.5

*: 氷海域を航行する船舶の設計に関しては、LR, AB, NK等の各船級協会にて各規定を設けているが、いずれもこの種のルールとして最初のものである Swedish - Finnish Ice Class ルールをベースとしており、各協会とも耐氷4クラスを制定している。(NVではIcebreakerとArctic Icebreakerの2クラスがルールとして追加されている。)さらに、カナダ政府による北極海航行汚染防止規則(Arctic Shipping Pollution Prevention Regulation : ASPPR)では船舶構造強度基準が規定されており、一般に本規則は船級協会のそれより厳しく、従ってポートオート海域を航行する船舶に関する氷荷重として、この規則に則れば、船級健全ルールは満たされると言える。

表A-1にASPPRによる氷荷重(圧力)¹⁰⁾を示す。

従って氷荷重Fは

$$F = P \cdot b \cdot h$$

b : 構造物の幅

h : 氷厚

Korzhavin の式は、氷圧力算定にあたって、 σ_c の値を推定する必要があり、設計に直接適用するのには難がある。しかしながら本式は氷圧力を構造物と氷との間の接触度の関数と考えている事等、垂直構造物周りの碎氷状況の特徴をよく表わした算式であると言える。

(ii) CSA 1974 (Canadian Standards Association)

本式はカナダの土木関係者が橋脚、杭等の設計に使用しているもので、氷により構造物の受ける（水平）氷力Fを下記の如く示している。

$$F = C_n \cdot P \cdot t \cdot W$$

但し

C_n : 構造物の傾斜度係数 (右表参照)

P : 氷圧力 (psi), 氷が構造物に接触する時の状況

| Inclination of nose to vertical | C_n |
|---------------------------------|-------|
| 0° to 15° | 1.00 |
| 15° to 30° | 0.75 |
| 30° to 45° | 0.50 |

に応じて 100psi ~ 400psi

t : 氷厚

W : 構造物の幅又は直径

(iii) Canadian Lighthouse Practice (Danys 1975)

$$R = m \cdot n \cdot b \cdot h \cdot \sigma_c$$

$$H = m \cdot n_1 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_c$$

$$V = m \cdot n_2 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_c$$

但し

m : (形状 + 接触度) 係数

$$m = 0.4 \sim 0.9$$

n, n_1, n_2 : 傾斜係数

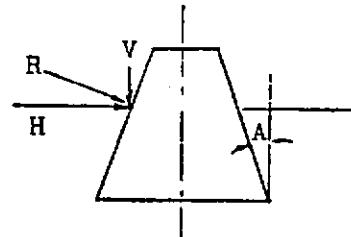
$$n = \cos A, n_1 = \cos^2 A, n_2 = \cos A \cdot \sin A$$

A : 傾斜角度

b : 構造物の巾又は直径

h : 氷厚

σ_c : 氷の一軸圧縮強度



本式は、氷と構造物間の摩擦を無視したものになっている。又、圧壊モードが支配的な場合の氷力算定式で傾斜角度Aが大きくなるに従って、本式で得られる氷力は、実際より、大きめの値を与える。

(iv) U.S.S.R. Design Code SN 76 - 66

本 Code は、ソ連の河川構造物を対象とした設計コードである。

a) 円柱構造物

円柱構造物に作用する氷荷重（氷力）Pは次のように表わされている。

$$P = m \cdot A \cdot \sigma_o \cdot b \cdot h$$

但し、

m : 橋脚等の形状係数 (次表参照)

A : 地域的天候係数 0.75 ~ 2.25 (図 1.3.2 参照)

σ_o : 構造物の巾又は直径

h : 水厚

| 形状係数 m | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2 ε | 45° | 60° | 75° | 90° | 120° | 180° |
| m | 0.54 | 0.59 | 0.64 | 0.69 | 0.77 | 1 |

b) 円錐及び傾斜面を有する構造物

円錐及び傾斜面を有する構造物に作用する氷荷重（水力）Hは次のようになる。

(水平方向)

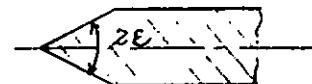
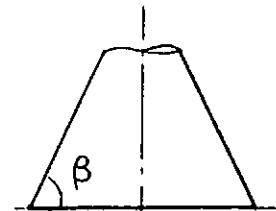
$$H = A \sigma_b h^2 \tan \beta$$

但し

σ_b : 氷の曲げ強度 ($= 0.5 \sigma_o$)

β : 傾斜角度 ($\leq 75^\circ$)

(垂直方向)



(V) API Bul. 2 N (1984)

本指針では、平坦氷の圧縮破壊及び曲げ破壊時に、円柱構造物、円錐又は傾斜構造物等に作用する氷荷重について、それぞれ下記の式を推奨している。

a) 圧縮破壊による氷荷重

氷の圧壊により、円柱構造物に作用する氷荷重は次の如くなる。

$$F = I f_c C_x D t$$

但し

F : 水平氷力（氷荷重）

I : 押し込み係数

結晶粒径や氷厚と構造物の幅との比などにより異なるが、人工島のような広幅構造物では 1.2 ~ 3 の間の値を取る。

f_c : 接触係数

氷と構造物の接触の度合を表わすもので完全接触では $f_c = 1$ と考える。

C_x : 氷の一軸圧縮強度（歪速度を考慮）

D : 構造物の直徑、又は幅

t : 氷厚

b) 曲げ破壊による氷荷重

曲げ破壊による氷荷重算定式は、円錐構造物に弾塑性力学の解析手法を用いて Ralston が導いたものである。算定式は下記の通り。

$$R_H = (A_1 \sigma_b h^2 + A_2 \rho_w g h D^2 + A_3 \rho_w g h (D^2 - D_T^2)) A_4$$
$$R_V = B_1 R_H + B_2 \rho_w g h (D^2 - D_T^2)$$

R_H : 水平氷荷重（水力）

R_V : 垂直氷荷重（水力）

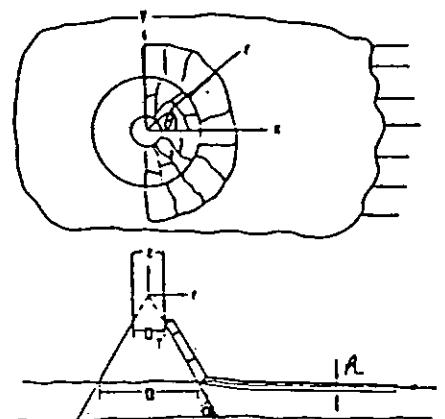
$\rho_w g$: 海水の密度

h : 氷厚
 σ_b : 氷の曲げ強度
 μ : 氷と構造間の摩擦係数
 A_1, A_2, A_3, A_4
 $B_1, B_2,$ } : 無次元係数
 (図 1.3.3 参照)

D : 円錐の水線面直徑

D_T : 円錐の頂部直徑

α : 円錐の傾斜角

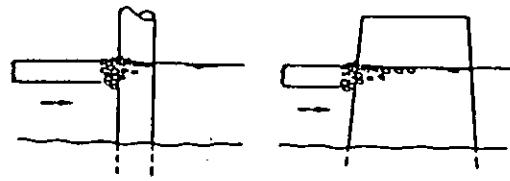


本算定式は、氷板の破壊は構造物の周りで同時に発生する
ものとしているので、

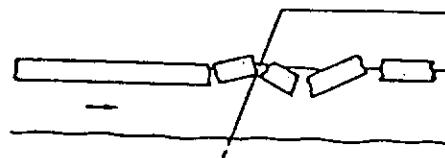
氷圧力の上限を与えるものと考える事が出来る。又、本式では碎氷及び乗り上げ成分の氷荷重が考慮されている。従って、幅又は直徑の小さい構造物に対しては、乗り上げ成分は碎氷成分に比して小さく、又直徑あるいは幅の広い構造物の場合、乗り上げ成分が全荷重のかなりの部分を占める。

参 考 文 献

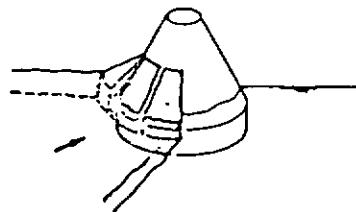
- 6) SR186 委：“氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究報告書”；S 58. 3月
- 7) C.R. Neill : "Dynamic ice forces on piers and piles. An assessment of design guidelines in the light of recent research", Can. J. Civ. Eng. Vol. 3, 1976
- 8) S.H Iyer : "Existing Ice Codes and Suggested Criteria", IAHR 1978
- 9) Ship Structure Committee : "A Rational Basis for the Selection on Ice Strengthening Criteria for Ships", 1981
- 10) API Bul. 2N 1982



Type I : 圧壊モード (円柱構造物)



Type II : 曲げ破壊モード (傾斜面を有する構造物)



Type III : 曲げ破壊モード (円錐構造物)

図 1.3.2 氷盤の破壊モード

表 1.3.2 地域天候係数 (U.S.S.R. Design Code SN76-66)

| No. of region | Boundaries of region | Climatic coefficient A | Notes |
|---------------|--|--------------------------|---|
| 1 | South of the line Talin-Minsk-Khar'kov-Astrakhan-Nukus-Alma-Ata | 0.75 | 1. For regions Nos. 2-5 the lower boundary is also the boundary of the foregoing region |
| 2 | South of the line Vyborg-Smolensk-Kamyshin-Aktubinsk-Balkhash | 1 | 2. The climatic coefficient can be based on field observations of conditions at spring break-up, but for break-up with negative air temperatures ($< 0^{\circ}\text{C}$) it must not be less than 2 |
| 3 | South of the line Arkhangel'sk-Kirov-Ufa-Kustanai Karaganda-Ust'-Kamenogorsk | 1.25 | |
| 4 | South of the line Vorkuta-Khanty-Mansiisk-Krasnoyarsk-Ulan-Ude-Nikolaevsk-na-Amure | 1.75 | |
| 5 | South of the line Dikson-Noril'sk-Vodaibo-Okhotsk | 2 | |
| 6 | North of the line Dikson-Noril'sk Vodaibo-Okhotsk | 2.25 | |

表A-1 氷海域航行用船舶の氷圧力 (ASPPR)

| Ice Pressures in pounds per square inch(kilogram per square centimetre) | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|---|--------------------------|
| Column I Arctic Class | Column II Bow Area | Column III Lower Bow Area | Column IV Mid-Body Area | Column V Lower Tran- sition Area | Column VI Upper Tran- sition Area | Column VII Stern Area |
| 1 | 250 * (17.58) | | 100 * (7.03) | ** | ** | 100 * (7.03) |
| 1 A | 400 (28.12) | 210 (14.76) | 260 (18.28) | 180 (12.65) | 130 (9.14) | 325 (22.85) |
| 2 | 600 (42.18) | 320 (22.50) | 400 (28.12) | 260 (18.28) | 200 (14.06) | 500 (35.15) |
| 3 | 800 (56.24) | 420 (29.53) | 530 (37.26) | 370 (26.01) | 260 (18.28) | 660 (46.40) |
| 4 | 1000 (70.30) | 530 (37.26) | 660 (46.40) | 460 (32.34) | 330 (23.30) | 820 (57.65) |
| 6 | 1200 (84.36) | 640 (44.99) | 750 (52.73) | 520 (36.56) | 370 (26.01) | 940 (66.08) |
| 7 | 1400 (98.42) | 740 (52.02) | 850 (59.76) | 600 (42.18) | 420 (29.53) | 1050 (73.82) |
| 8 | 1500 (105.65) | 800 (56.24) | 950 (66.79) | 660 (46.40) | 470 (33.04) | 1200 (83.36) |
| 10 | 1500 (105.65) | 800 (56.24) | 950 (66.79) | 660 (46.40) | 470 (33.04) | 1200 (83.36) |

- In an Arctic Class 1 ship, only that part of
 - (a) the bow area and stern area lying between the horizontal projections of the upper and lower edges of the mid-body area need be considered; and
 - (b) the mid-body area forward of amidships need be considered.
- In an Arctic Class 1 ship, ice pressure need not be considered as a factor in the design of the hull in the lower bow area, lower transition area, upper transition area, and the strength standards usually applied to ocean-going ship apply in these areas

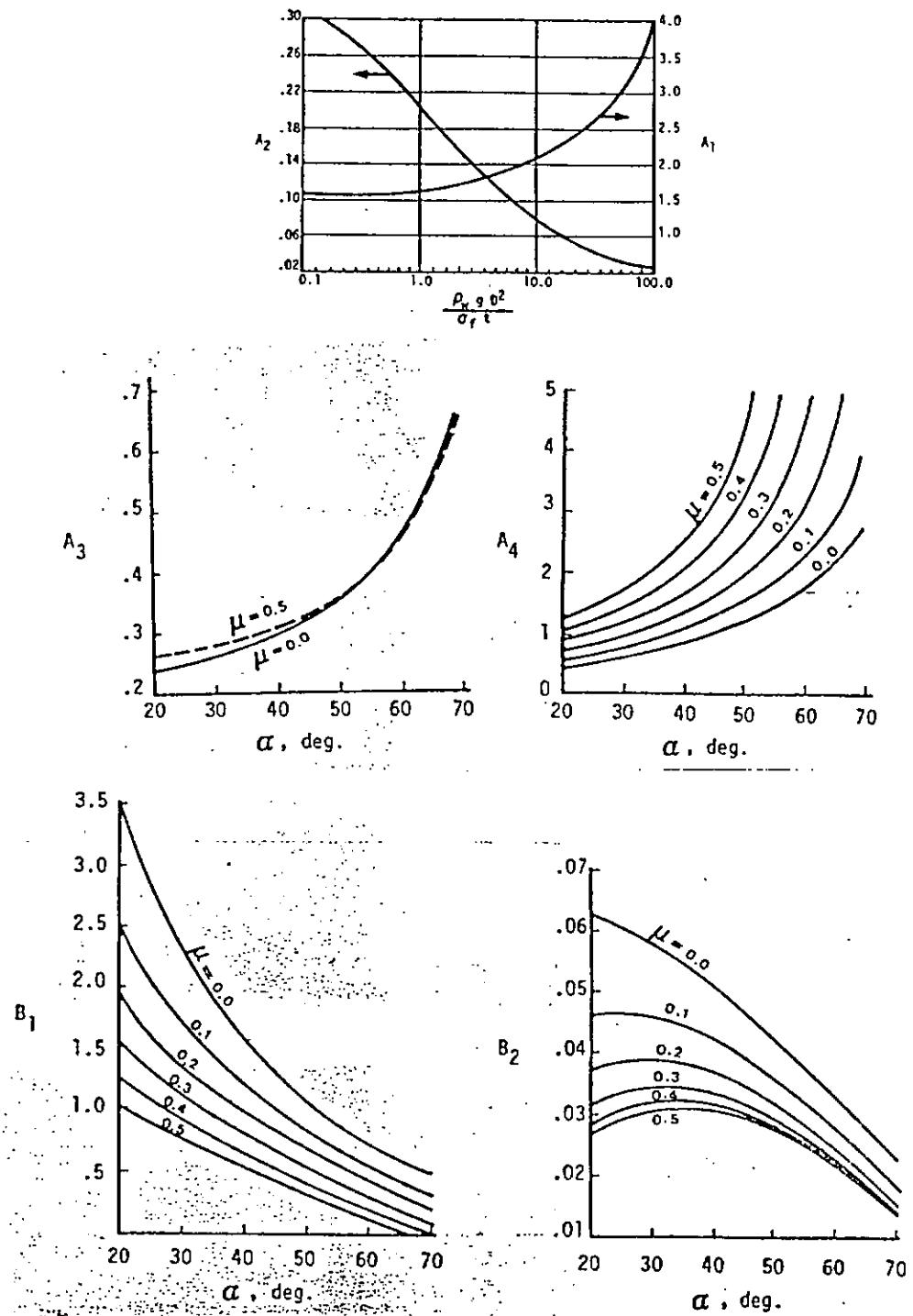


図 1.3.3 無次元係数 (API Bul. 2N : Ralston の式)

1.3.3 衝撃荷重

衝撃に関しては、DnV 規則¹¹⁾及びDEN Regulation¹²⁾中に構造物に supply Vessel が衝突した場合の具体的な記述がある。また、ABS 規則¹³⁾中には sea ice による衝撃についての記述があるものの具体的なものではない。

(1) DnV 規則

本規則中では衝撃を運動エネルギーとして考えておりその最大値として、以下の数値が具体的にあげられている。

14 MJ (Mega Joule) for sideway collision

11 MJ for bow or stern collision

これは、排水量 5,000 トンの supply vessel が m/s で衝突した時の運動エネルギーに相当する。

尚、衝撃エネルギーの換算は以下の式による。

$$E = \frac{1}{2} (m + a) v^2 \quad (\text{KJ})$$

m: vessel の排水量 (トン)

a : 付加質量 0.4 m for sideway collision

0.1 m for bow or stern collision

v : 衝突速度 (m/s)

(2) DEN Regulation

本規則中では、構造物の据付時に起こり得る supply vessel の衝突について記してある。具体的には排水量 2,500 トンの vessel が速度 $0.5 m/s$ で衝突し、その運動エネルギーがすべて吸収される場合を考慮せよとある。

(3) ABS 規則

本規則中には sea ice による衝撃についての記述があるが、潮流、風による large mass のもの (multi-year floes and icebergs) 及び storm waves による small mass のものについて考慮せよとあるだけで、それ以上の具体的な記述はない。

参考文献

11) Rules for classification : Mobile Offshore Units Pt. 3 ch. 1 Sec. 4 E 100 (1984)

12) Offshore Installation : Guidance on design and construction Part II sec. 5 - 5.5 (1977)

13) Rules for Building and classing : Mobile Offshore Drilling Units 3.7.9 (1980)

1.4 低温海域用構造物の鋼材仕様例

1.4.1 亜北極圏用半潜水式構造物の鋼材仕様例

表 1.4.1 に亜北極圏用半潜水式構造物の鋼材仕様例を示す。母材及び溶接部の破壊靭性試験条件設定の基準となる設計温度は

水面下 (ポンツーン) -10°C

水面上 (ポンツーン以外) -30°C

が採用されているものが多い。

破壊靭性試験条件は 1.1 に示すルール要求に基づくものが多いが、客先の特殊要求として、特殊なシャルピー V-ノッチ衝撃試験条件、及び C.O.D. 試験の要求が付加されたものもある。

1.4.2 亜北極圏、北極圏用昇降式構造物の鋼材仕様例

表 1.4.2 に亜北極圏、北極圏用昇降式構造物の鋼材仕様例を示す。設計温度は

| | |
|-------------|----------------|
| 亞北極圏用昇降式構造物 | -20°Cあるいは-30°C |
| 北極圏用昇降式構造物 | -45.6 °C |

が採用されている。

破壊韧性試験条件は 1.1 に示すルール要求に基づいて設定されている。

1.4.3 北極圏用構造物の鋼材仕様例

表 1.4.3 に北極圏用構造物（浮遊式構造物、着底式構造物、及び砕氷船）の鋼材仕様例を示す。これらの北極圏用構造物では、設計温度は -45°C～-50°C が採用されている。

破壊韧性試験条件は 1.1 に示すルール要求に基づいて設定されている。

1.4.4 その他の構造物の鋼材仕様例

表 1.4.4 に北海用テンション・レグ・プラットホーム（TLP）の鋼材仕様例を示す。

表 1.4.1 亜北極用半潜水式構造物の鋼材仕様例

| 船級 | 主稼動海域 | 設計外気温度 | 構造部材の種類 | 鋼材 | | 試験温度 | | C.O.D. 試験 | | 備考 |
|----------|-------------------|---|--|--|--|--|----------------------------------|---|------------------------------|---|
| | | | | 降伏応力又はグレード | 板厚 | シャルピVノッチ衝撃試験 試験温度 | 要求韌性値 | 試験温度 | 要求韌性値 | |
| A (B) | ベーリング海 (カナダ東岸) | 鋼材使用温度 水面上 -30°C (-20°C) 水面下 -10°C (-2°C) | 1次構造部材 | $24\text{kg}/\text{㎟}$ 32 " " 36 " | $t \leq 2"$ $2'' < t \leq 2.5"$ $2.5'' < t \leq 3"$ $3'' < t \leq 4"$ | 2.1 kg・m ルール規定 通り | 2.8 kg・m 3.5 kg・m 5.5 kg・m | 鋼材の 使用温度 ($t \geq 25\text{mm}$) | 0.2 mm | 1) () 内海 域が異なる 2) 韌性要求値 はルール要求 以外の特殊要 求 |
| | | | 特殊構造部材 | 同上 | 同上 | 同上 | 同上 | 同上 | 同上 $(t \geq 25\text{mm})$ | |
| C | D _n V | — | 特殊構造部材 | -30°C | Max 80 mm (格点部) | -60°C (母材及び 溶接部) | 3.5 kg・m | — | — | 他はルール要求 通り |
| D | A B S | — | 鋼材使用温度 ポンツーン以外 $-30^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ ポンツーン | 特殊構造部材 | E E H 32 | $t > 16\text{mm}$ | —30°C -60°C | 4.2 kg・m 3.5 kg・m | — | 他はルール要求 通り |
| E | A B S | アラスカ沖 (海水 -2°C) | 1次・特殊 構造部材 | -30°C | E-MOD EH-MOD | -60°C -60°C | 2.8 kg・m 3.5 kg・m | — | — | |

表 1.4.2 亜北極圏、北極圈用昇降式構造物の鋼材仕様例

| 船級 | 主稼動海域 | 設計外気温度 | 構造部材の種類 | 鋼材仕様 | | | | C.O.D. 試験 要求数性値 | 備考 |
|----|------------------|---------|----------------------------|--|---|--|--|--------------------|----|
| | | | | 降伏応力 | 板厚 | シャルビV-ノッチ衝撃試験 試験温度 | 要求韧性値 | | |
| A | 北 海 | -45.6°C | — | 42kg/mm ² 70kg/mm ² | — | -75.6°C | 3.5 kg・m | — | — |
| B | カナダ東岸 | -20°C | — | 42kg/mm ² 70kg/mm ² | — | -40 °C | 3.5 kg・m | — | — |
| C | アラスカ | -30°C | レグ | 50kg/mm ² 60 " 70 " | — | -50 °C | 3.5 kg・m | — | — |
| D | D _n V | — | — | NV F 690 NV E 690 NV F 460 NV E 36 | Max 42mm Max 35mm Max 80mm 200mm | -60 °C -40 °C -60 °C -40 °C | 4.1 kg・m " " " 3.5 kg・m | — | — |
| E | ABS 北極海 | -45.6°C | 特殊構造部材 1次構造部材 2次構造部材 | 70 kg/mm ² 70 " 36 " 24~31 " 32~41 " 42~70 " | — | -75.6°C -65.6°C -55.6°C -45.6°C -55.6°C -65.6°C | 3.5 kg・m " " " 2.8 kg・m 3.5 kg・m " " " 0.2 mm | — | — |

表 1.4.3 北極圏用構造物の鋼材仕様例

| 機種 | 船級 | 主稼動海域 | 設計外気温度 | 構造部材の種類 | 鋼材仕様 | | C.O.D.試験要求韧性値 | 備考 |
|----------------------------|----------------------------|---------|---------------|---------|--|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | | 降伏応力 | 板厚 | | |
| 着底式構造物 (コングル・ドリーリング・リグ) | ABS | ボーフォート海 | -50°C | 船側外板 | E-MOD EH32-MOD EH36-MOD | t > 27.5 mm t > 16 mm | -60°C -60°C | 2.8 kg・m 3.5 kg・m |
| 着底式構造物 (鋼製ケーソン) | ABS | ボーフォート海 | -50°C -3°C | - | 36kg/mm ² 42kg/mm ² | - | -60°C -30°C | 3.5 kg・m 3.5 kg・m |
| 着底式構造物 (鋼製ケーソン) | - | ボーフォート海 | -50°C | - | CSAG40-21M GRADE350A 又は EH36-MOD | - | -50°C | 2.8 kg・m (母材及び 溶接部) |
| 着底式構造物 (鋼製ケーソン) | ABS | ボーフォート海 | -51°C | 船側外板 | EH36-MOD | Max 28mm | -61°C | 3.5 kg・m |
| 着底式構造物 (鋼製ケーソン) | - | - | -45°C | - | 34kg/mm ² | Max 60mm | -60°C | 5 kg・m |
| 着底式構造物 (鋼製ケーソン) | ABS | ボーフォート海 | -50°C | - | EH36-060 EH36 DH36 CLASS70 | - | -60°C -40°C -20°C -30°C | 3.5 kg・m 3.5 kg・m 3.5 kg・m |
| 碎氷船 | LR ^{注1)} CASPR | 北極海 | -50°C | 外板 | EH36-MOD | Max 54mm | -60°C | 68 J |
| 碎氷船 (支櫂船) | - | 北極海 | -50°C | 外板 | EH36 | Max 110mm | - | - |
| | | | | | | | | Ice class in |

表 1.4.4 その他の構造物の鋼材仕様例

| 機種 | 船級 | 主稼動海域 | 設計外気温度 | 構造部材の種類 | 鋼材仕様 | | | C.O.D. 試験 | | | 備考 |
|-----|----|-------|--------|---------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------|------|-------|---|
| | | | | | 降伏応力 | 板厚(ミクロン) | シャルビV-ノッチ衝撃試験 試験温度 | 要求韧性値 | 試験温度 | 要求韧性値 | |
| TLP | LR | 北海 | — | — | $t \leq 25$ | -20°C | 35J | — | — | — | C.O.D. 試験は, $t > 50\text{mm}$ に対してのみ実施 |

1.5 研究対象構造の選定

過酷な自然条件につつまれた北極圏や亜北極圏にて操業する海洋構造物の構造様式は、表 1.5.1 の如く大別することができる。また、主に亜北極圏にて操業するために設計された半潜水式構造物の一例を図 1.5.1 に示す。図示のとおり、過酷な氷荷重を受ける水面付近には、従来の半潜水式構造物に見られる如き Transverse Diagonal Brace は設けずに、氷荷重が直接負荷しない位置にのみ、Horizontal Transverse Brace を設けている。氷荷重が負荷する水面付近は、Column 外壁を傾斜して氷荷重を軽減している。本機の場合、Horizontal Transverse Brace と Column との結合部及び Column と Pontoon の結合部における応力集中に注意する必要がある。一方、図 1.5.2 と図 1.5.4 に示されている構造様式においては、構造物全体の外壁を傾斜して氷荷重を軽減しているが、基本的には図 1.5.1 の、Column 外壁と同じ設計思想になっている。図 1.5.3 の垂直壁型ケーソンの場合は、図からも分る通り、その外壁は氷の圧壊強度を考慮して設計されている。図 1.5.4 に示すモノポット型においても、荷重形態は垂直壁型ケーソンと同様であるが、モノポットと底部構造物との結合部の応力集中を考慮する必要がある。

以上に示した各種構造様式は、下記の 2 種類に大別することができる。

Category 1

現行規則で Special application structure に相当する構造であり、応力集中度も高く、該部破損が構造物の全損につながる恐れがある構造。

- ・半潜水式構造の Brace 格点部及び Column と Pontoon の結合部
- ・モノポット型構造において、モノポットの上下結合部

Category 2

いわゆる Primary Application Structure に相当する構造であり、氷荷重を直接受ける外壁構造。

- ・図 1.5.1 ~ 1.5.5 において、外板、ガーダ、フレームで構成される外壁構造。

本研究部会では、Category 1 の代表例として半潜水式構造物を、また Category 2 として傾斜壁型ケーソンを選定し、詳細検討を行うこととした。

表 1.5.1 氷海域海洋構造の分類例

| | 構 造 物 例 |
|------------------|---|
| 浮遊式構造物 (弛緩係留) | <ul style="list-style-type: none">・半潜水式構造(図 1.5.1)・コニカルユニット(図 1.5.2)・船型・その他 |
| 着底式構造物 | <ul style="list-style-type: none">・垂直壁型ケーソン(図 1.5.3)・傾斜壁型ケーソン(図 1.5.4)・モノポット型(図 1.5.5)・その他 |
| 人工島 | <ul style="list-style-type: none">・グラベル アイランド・サンドパック リティンド アイランド・その他 |

参 考 文 献

- 14) E.N. Corona, et al : Development of a Novel Ice - Resistant Semisubmersible Drilling Unit OTC 4602, 1983
- 15) Ocean Industry June 1984
- 16) Ocean Industry August 1983
- 17) Ocean Industry November 1983

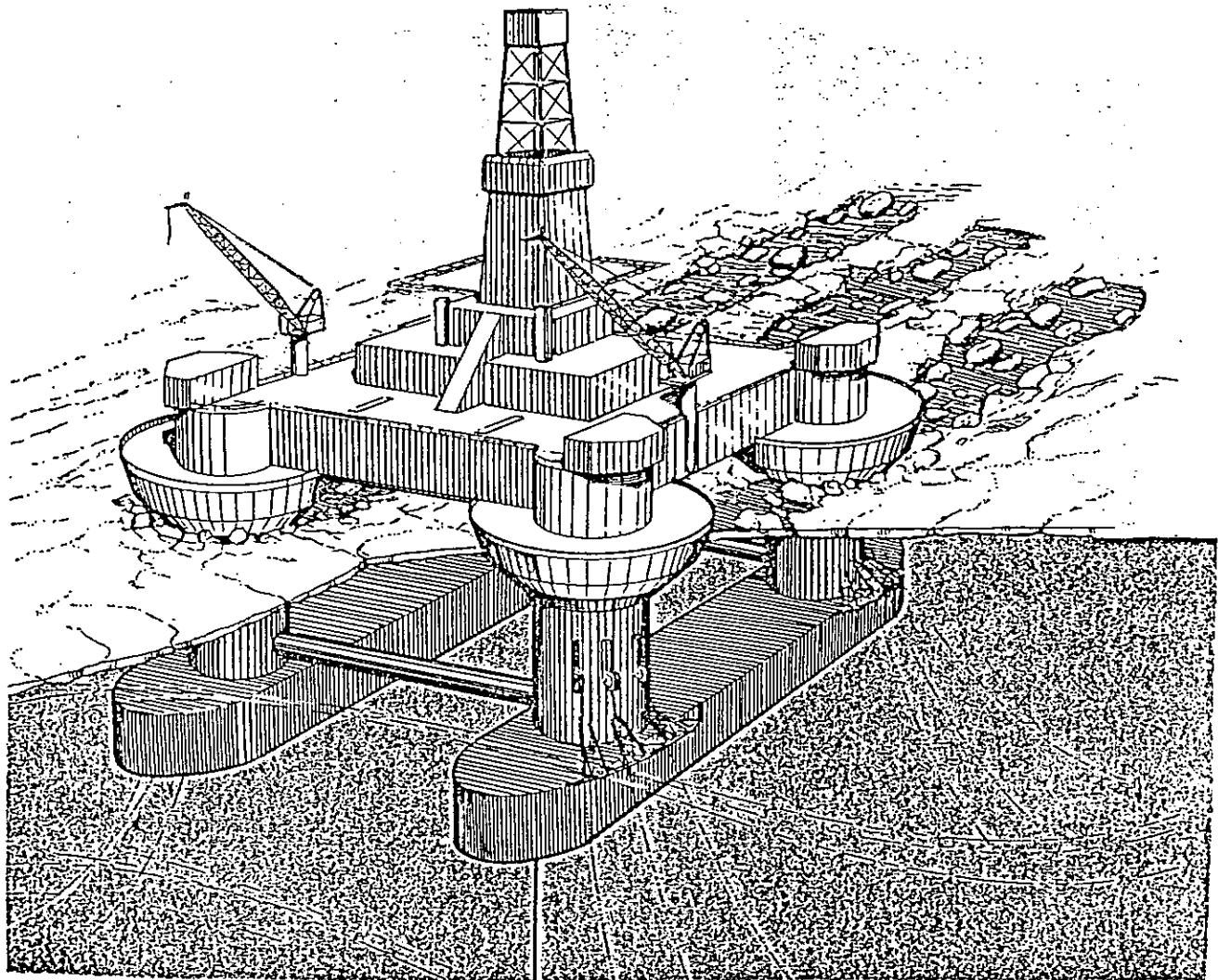


図 1.5.1 水海域用半潜水式構造物設計例¹⁴⁾

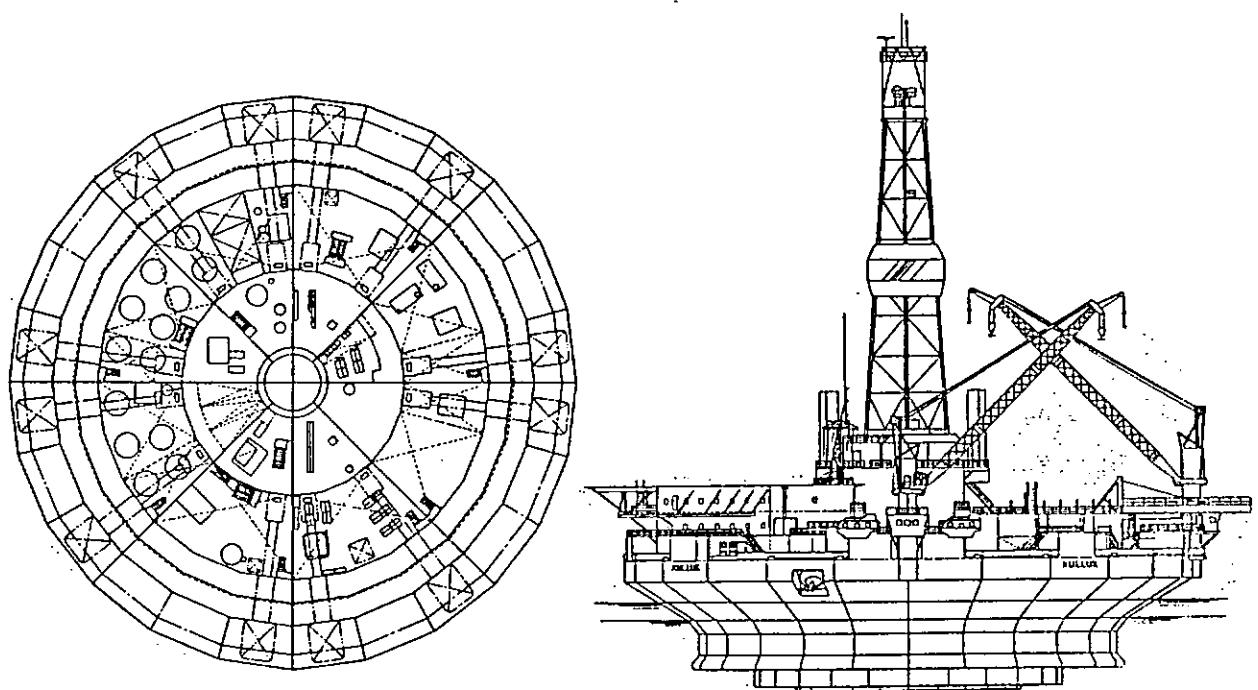


図 1.5.2 コニカル ドリリング ユニット例

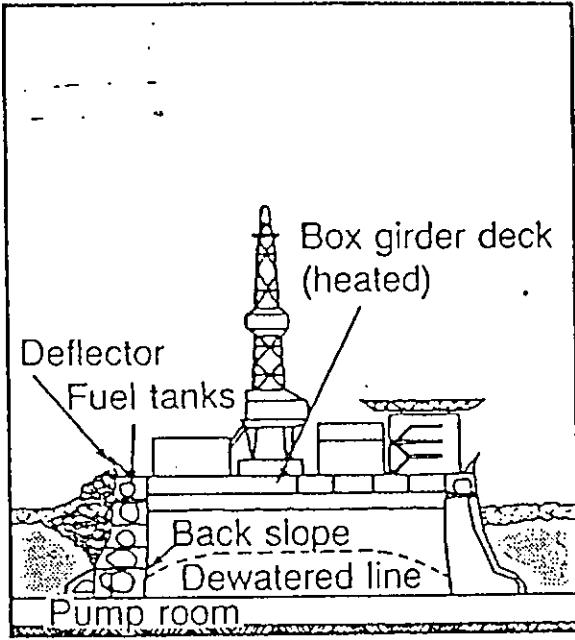


図 1.5.3 垂直壁型ケーソン例¹⁵⁾

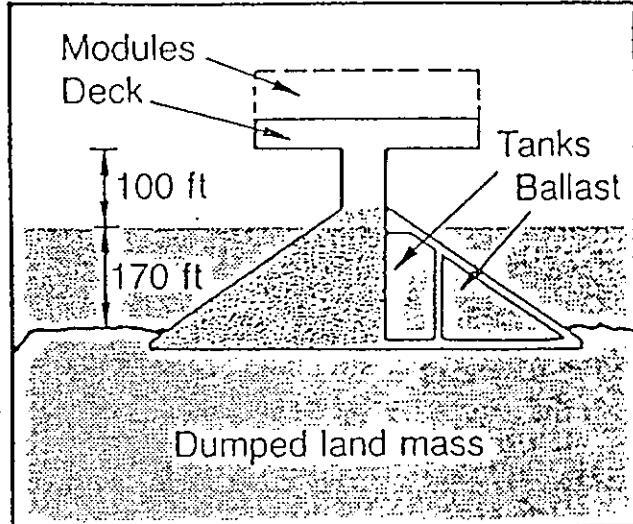


図 1.5.4 傾斜壁型ケーソン例¹⁶⁾

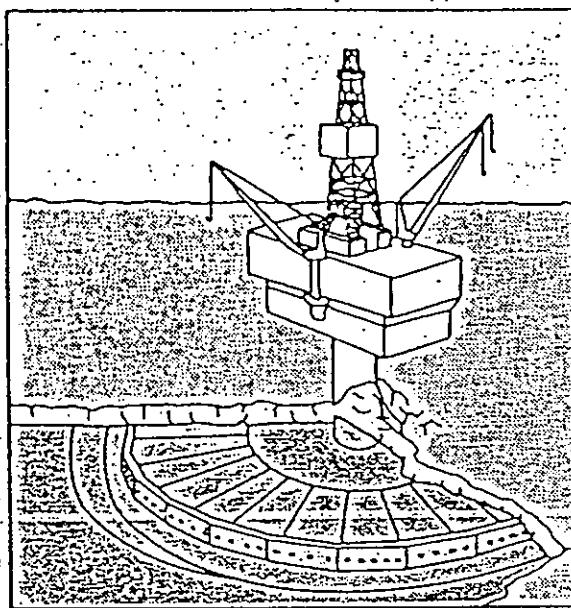


図 1.5.5 モノポット型プラットフォーム例¹⁷⁾

1.5.1 亜北極圏用半潜水式構造物

本項では、半潜水式構造物の主要構造配置の特徴及びBrace格点部の構造詳細例を示し、使用鋼材の低温諸特性を検討すべき対象構造詳細を設定する。

(1) 主要構造配置について

従来型の半潜水式構造物の一例を図1.5.6に示すが、甲板部重量を支持し、且つPitch-connecting momentに対抗するために、一般にTransverse Diagonal Brace(TDB)を設けている場合が多い。吃水面付近の外壁構造をArctic Class 1ないし1Aに相当する耐氷構造にしたものもあるが、一般には氷海域における過酷な氷荷重に耐える構造になっていない。図1.5.1に示した構造設計例においては氷荷重を受けるColumn外壁構造を強固な耐氷構造とし、TDBに代りに甲板構造を二重構造としてColumnと強固に結合することにより、Pitch-connecting momentに対抗している。しかし、Split及びSqueeze forceに対抗するためにHTBを設けている。図1.5.1にはHorizontal Diagonal Brace(HDB)を設けていないが、Racking forceに対抗するためにHDBも設けることもある。

HTB端部とK-ジョイントは応力集中度が高いため、応力的に苛酷である。したがって材料選定の観点からは、この要素に欠陥が存在した場合の脆性破壊強度評価が行なえるように今後の構造要素実験モデルを選定する必要がある。

ついで、歪速度のオーダーを把握するためには、水平プレースと接触する海水について検討する必要があるが、現時点では詳細検討は困難である。そこで、設計的な観点から、亜北極圏にて操業する半潜水式構造のHTBに接触する氷盤を設定することとする。開氷期においては流氷が問題となるが、実際的な操業状態を考えた場合、図1.5.7-(i)に示すような氷塊がColumn間に進入することは考えられない。たとえ、比較的小規模な氷塊の進入があったとしても、HTB付近の水深では氷のConsolidationが十分ではなくHTBに対する衝撃荷重にならないと思われる。一方、割れた氷盤が浮かぶ海域にて曳航状態にした場合、図1.5.7-(ii)に示す如く、波浪及び構造物の挙動により、HTBに氷盤が衝突する可能性がある。以上の仮定に従って、亜北極圏にて操業する半潜水式構造物に対する設計条件も考慮して、HTBに対する衝撃荷重計算のための氷盤の大きさ及び速度を下記の如く設定する。(詳細は1.6.4に示す。)

| | |
|-------|--------|
| 水 厚 : | 1.5 m |
| 直 径 : | 1.5 m |
| 速 度 : | 2.0 kt |

(2) 研究対象構造詳細

(i) Horizontal Transverse Brace(HTB)端部

HTBとColumnとの結合部はColumn内構材との取り合いを考慮して設計される。二、三の例を図1.5.8に示すが、External Bracket付(図1.5.8-(ii))が一般的である。図1.5.8-(i)BKTのない構造例においてはHTBとColumn Shellとの結合部がHard Spotになるが、TDB及びHDBの設置により構造全体が剛になっており、また図からも分る通りHTBをColumn内に十分貫通して強固に結合することにより、Hard Spot部の変動応力を十分に低くしている。図1.5.8-(iii)CUT-OUT例は、最近の4本Column半潜水式構造で採用されているが一般的ではない。

図1.5.1に示すようなTDB-HDBのない4本Columnの半潜水式構造においては、HTB端部の変動応力が比較的高く、Hard Spotを避けるためにExternal BktあるいはCut-outを設ける必要がある。ここでは、External Bkt付HTB端部構造を詳細検討のモデルに選定することとした。

図1.5.1に示した半潜水式構造物と類似の4本Column半潜水式石油掘削リグ用に設計されたHorizontal Transverse BraceとColumn結合部のFEM計算例を以下に示す。

図 1.5.9 に HTB と Column 結合部の概観図を示す。直径 2,500mm の HTB を Column と交叉する手前でナックルして直径を除々に大きくし、HTB の変動応力をさげる構造になっているが、Column 内の垂直及び水平壁との取り合い部では Hard Spot を避けるために Bracket を設けている。図 1.5.10 及び 11 に HTB 及び Bracket の形状、板厚、メッシュ分割を示してある。FEM 計算は汎用プログラム NASTRAN を用いて行った。メッシュ分割は DNV "Fatigue Strength Analysis for Mobile Offshore Unit"¹⁸⁾ に示されている各 S-N 線図に対応して、DNV との協議結果に従って決定した。図 1.5.12～15 に各部の 20 年最大期待値に相当する応力振巾（主応力）分布が示されているが、これらはいわゆる Design Wave Method^{19～22)} に従って計算した値である。図 1.5.12～15 に示す最大応力振巾は、図 1.15.18 に示す疲労強度上の許容応力図¹⁸⁾において、ワイルドパラメータ $h = 1.0$ の許容応力振巾値を満足している。応力の長期分布及びパラメータ h 等に関しては 1.6.2 において報告する。

図 1.5.13 に示した HTB ナックル部の最大応力振巾は図 1.5.18 の Fatigue Class "C"、HTB の Column Shell 貫通部（図 1.5.14）及び External Bracket Toe 部（図 1.5.15）の最大応力振巾は図 1.5.18 の Fatigue Class "F₂" および "F" をそれぞれ満足している。

図 1.5.10 および 11 に示した通り、Bracket 及びその近傍の HTB Shell には板厚 70mm の EH36 を使用している。この Bracket は、HTB Shell 及び Column Shell を貫通しているが、この種の構造詳細は Brace 端部のみならず、Column と Pontoon や Column と Deck との結合部にも採用されることが多い。

図 1.5.16 に、実機をもとにした貫通 Bracket の詳細図例を示す。この Bracket Toe 部はうめ込みの角巻き溶接部となり、溶接施工はかなり注意をはらう必要がある。したがってこの部分には溶込み不足等の欠陥が生じやすいかもしれない。この観点からは、この部分の脆性破壊強度評価を行なえるようにしておかなければ、適切な材料選定基準を確立することができない事になる。もしこの部分のモデル試験ということを考えれば図 1.5.17 に示すようなものとなろう。

参 考 文 献

- 18) DNV Classification Note No. 30.2
- 19) C. A. Carlson, et al.: Environmental Data in Operation & Design Case - Mobile Rigs, Seminar on Environmental Data in Operation & Design (1981)
- 20) 造船研究協会第 200 研究部会第 11 分科会 "船舶及び海洋構造物の強度基準に関する調査研究(高張力鋼の使用)" 報告書(昭和 59 年 3 月)
- 21) 第 7 回海洋工学シンポジウム
"半潜水式海洋構造物の応答強度解析" (海洋工学委員会、構造分科会)
- 22) M. Sawayanagi, et al.: On the fatigue analysis of a semi - submersible offshore structure, PRADS 83

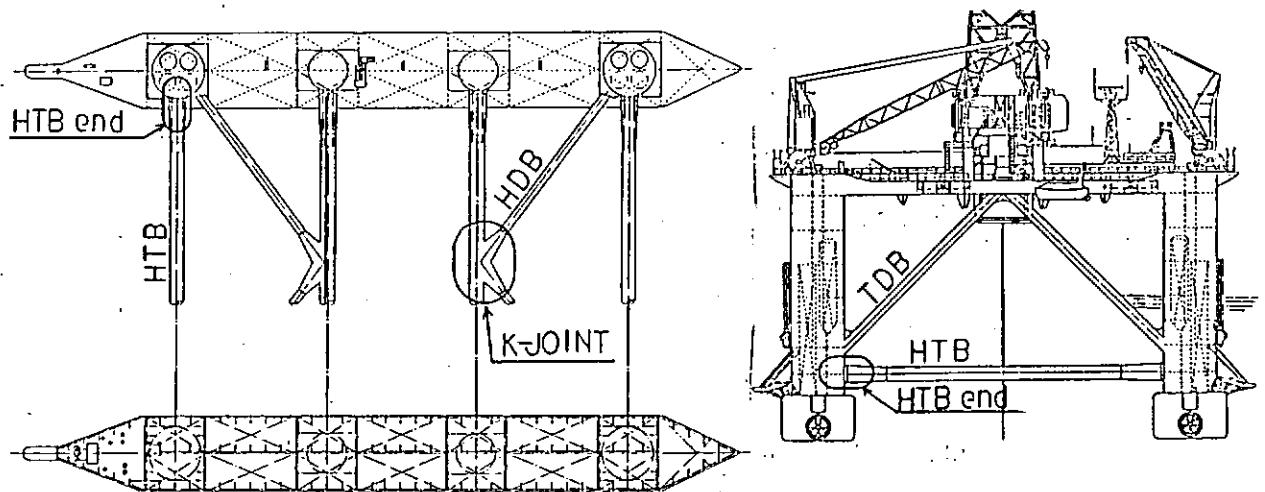


図 1.5.6 従来の半潜式構造物例

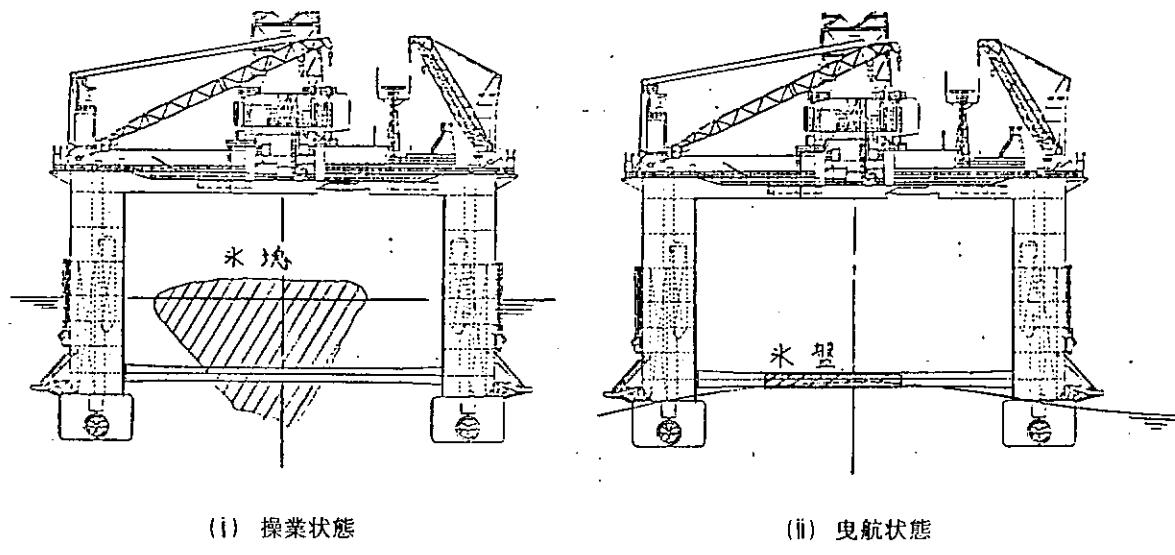
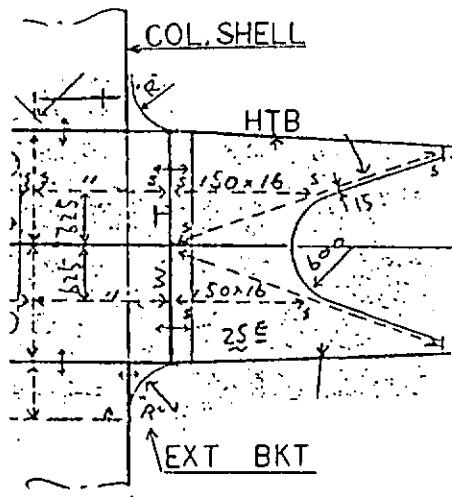
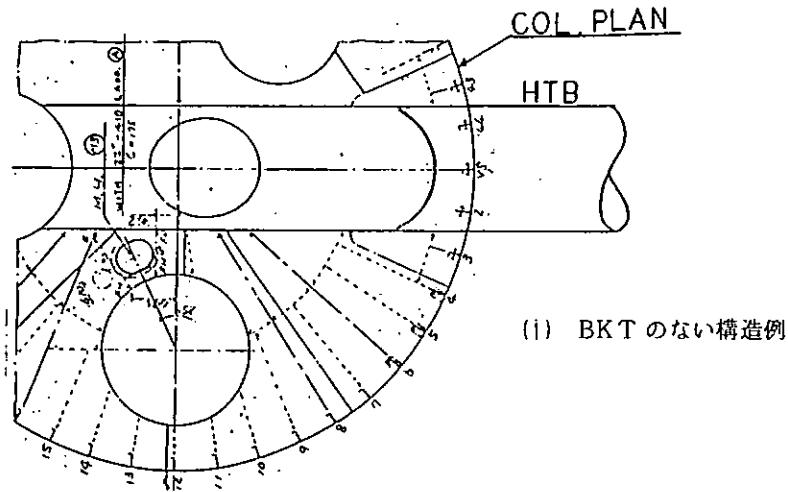
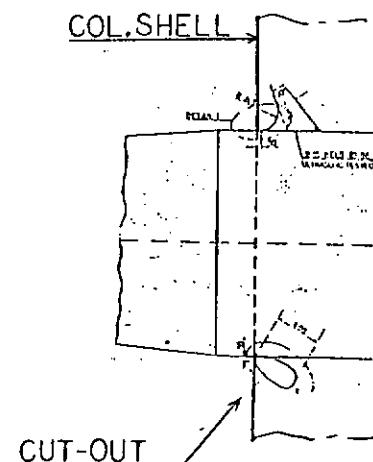


図 1.5.7 Horizontal Brace と海水との接触



(ii) EXT BKT 例



(iii) CUT-OUT 例

図 1.5.8 Horizontal Transverse Brace と Column との
結合部詳細例

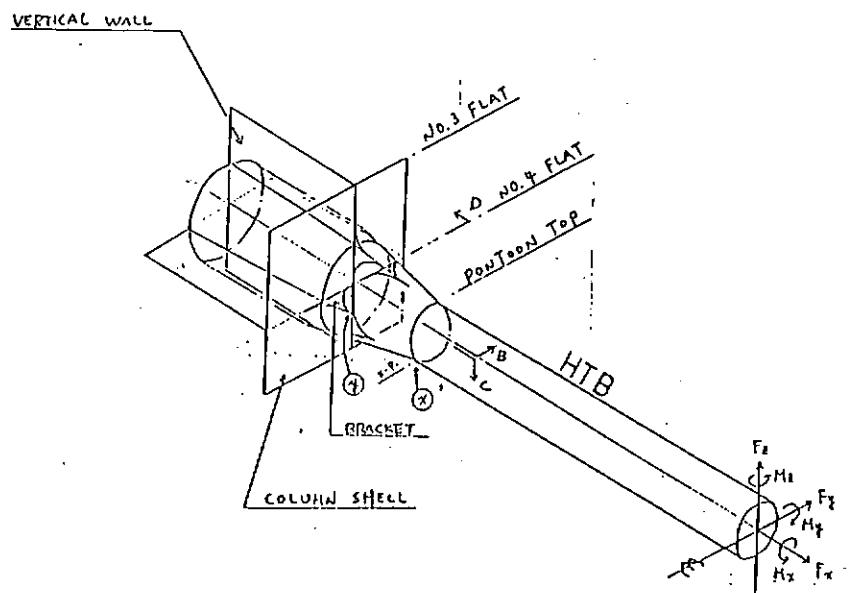


図 1.5.9 Horizontal Transverse Brace と Column
との結合部概観図 (External Bracket 付)

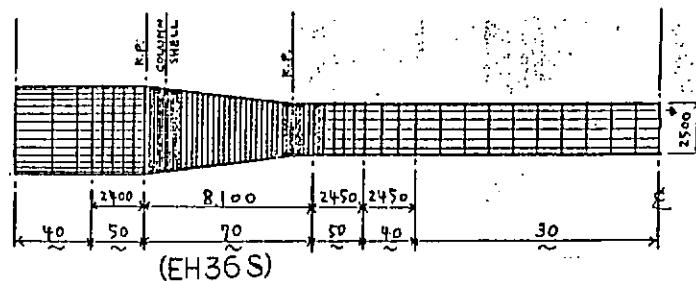


図 1.5.10 HTB の形状, 寸法及びメッシュ分割

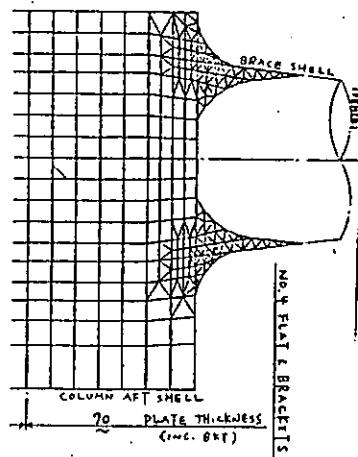


図 1.5.11 Bracket 形状, 寸法及びメッシュ分割

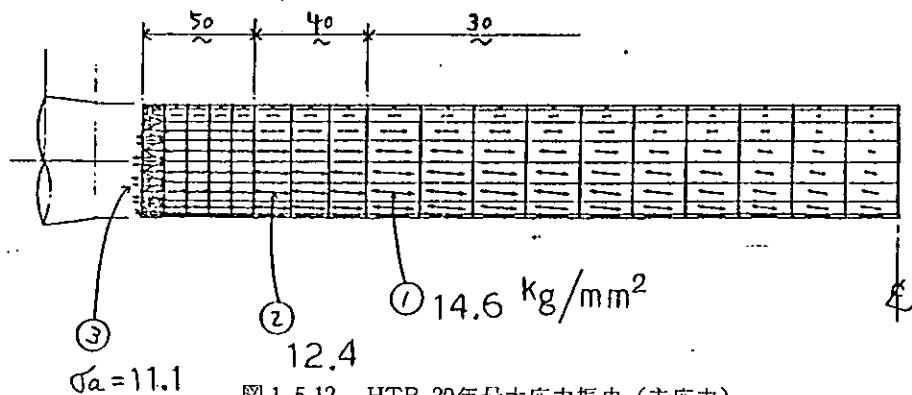


図 1.5.12 HTB 20年最大応力振巾 (主応力)

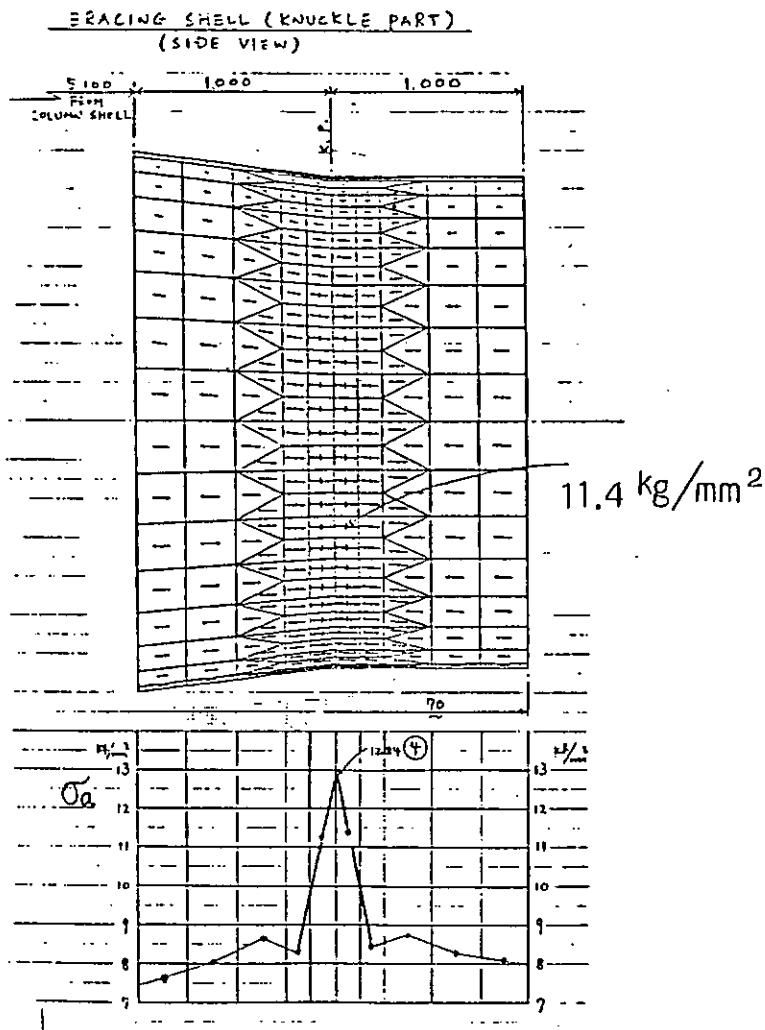


図 1.5.13 HTB ナックル部20年最大応力振巾

$$\sigma_a = 12.84 \text{ kg/mm}^2 \text{ (主応力)}$$

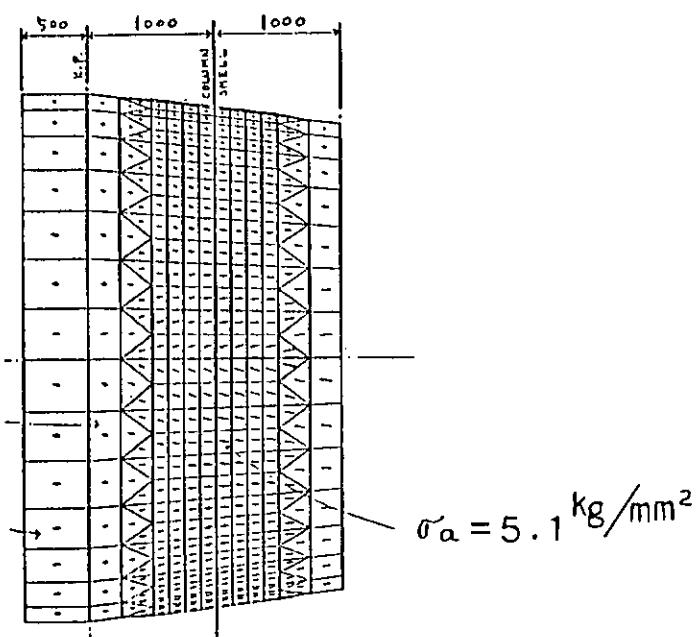


図 1.5.14 HTB の Column Shell 貫通部

20年最大応力振巾 (主応力)

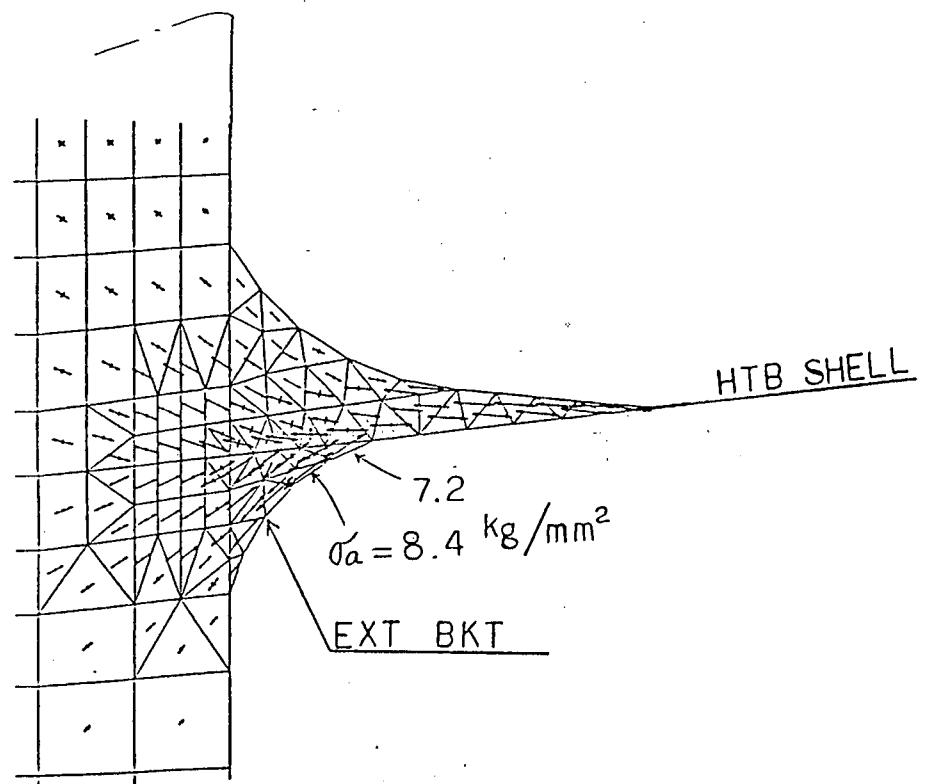


図 1.5.15 External Bracket

20年最大応力振巾（主応力）

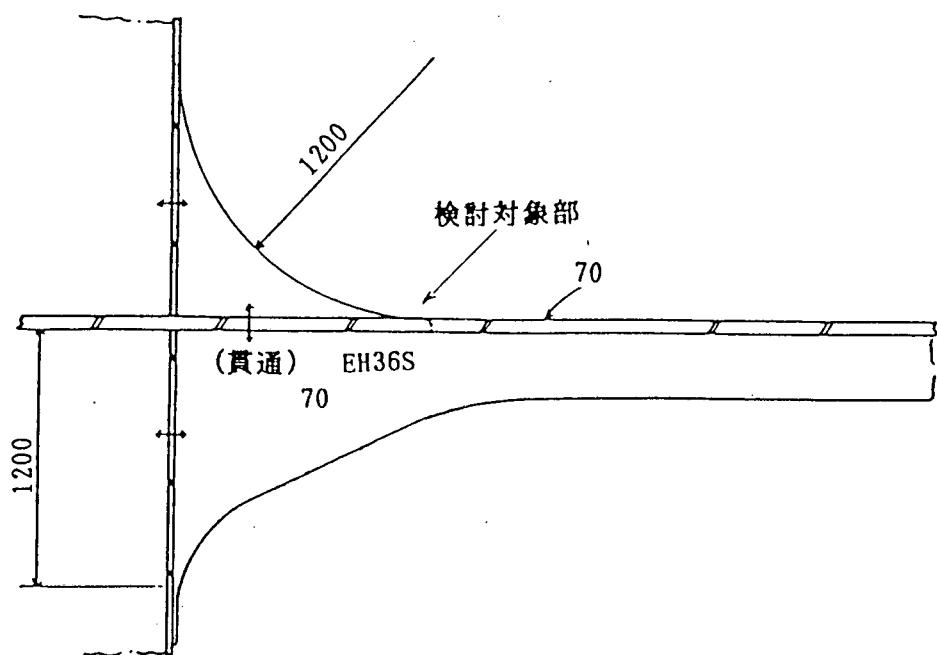


図 1.5.16 Bracket 詳細図

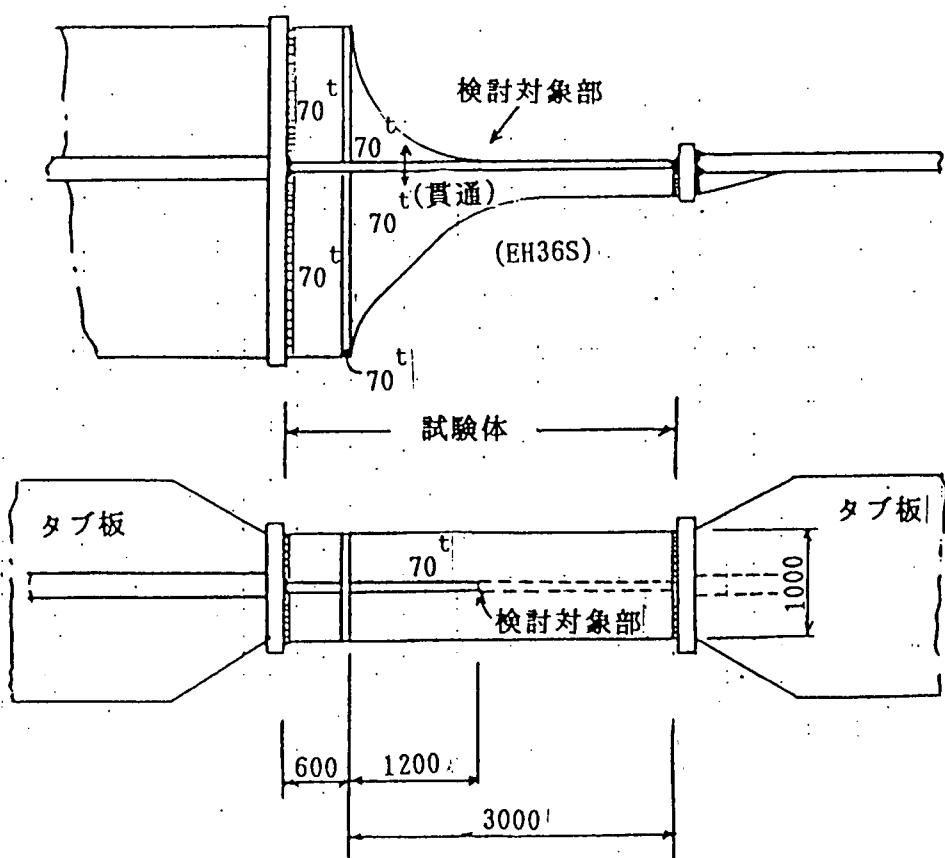


図 1.5.17 Brace 端部 Bracket Toe 部分モデル案

ALLOWABLE EXTREME STRESS AMPLITUDE (20 YEARS)

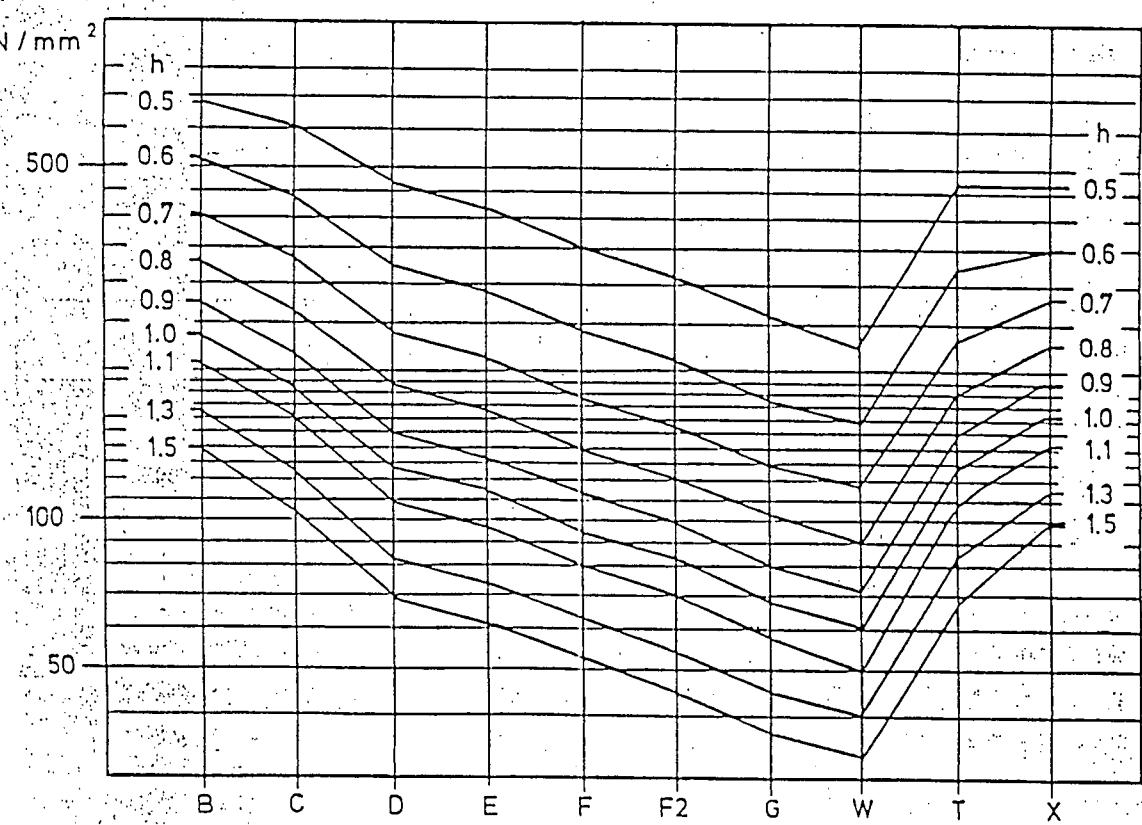


図 1.5.18 許容応力振巾 (20年最大)¹⁸⁾

(ii) K-ジョイント

Horizontal Transverse Brace と Horizontal Diagonal Brace とのK-ジョイントの一般的構造例を SR-200-11研究報告書¹⁹⁾より一部を引用し図1.5.19に示す。

前述の疲労強度を満足させるため、例(1)ではブレケットを設ける。例(2)ではジョイント部の部分的な増厚をする。といった構造を採用している。

これらの構造例の応力集中係数は、例(1)については、0.66～1.62、例(2)では0.9～2.1程度となっている。ここでは単純なパイプ継手としての構造例(2)について詳述する。図1.5.20に構造寸法の詳細を、図1.5.21にFEM解析のメッシュ分割を示す。

荷重については、次の5ケースについて比較した。

case 1～case 2と同。但し、H.B.のリング・スティフナを削除。

” 2～全部材軸力のみ載荷。

” 3～case 2と同。但し、H.B.の増厚部(60)を減厚(一般部と同25)

” 4～V.D.B.のみに軸力のみ。不釣合成分は他プレースのせん断反力、H.B.の軸反力で吸収。

” 5～全部材全部材力載荷(ねじりは省略)

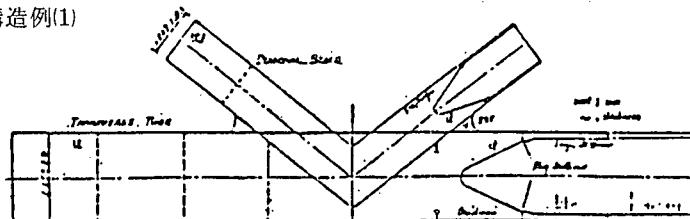
公称応力は着目するHot Spot Stressの箇所に近い斜部材(V.D.B.またはH.D.B.)の軸力による増厚部と一般部の両者の骨組応力で定義し、Hot Spot Stress(図1.5.22参照)は、UKDENの方法により求めた。

FEM計算による応力集中係数を図1.5.23に示すが、これらの値は荷重ケースによって異なっている。

なおここで述べた応力集中係数は疲労発生強度解析のために求められたものであり、脆性破壊強度の検討では、この応力集中係数をどのように評価すべきかを検討する必要がある。

すなわちHot Spot部では応力集中係数は最大11.7となっており、これから考えると応力集中係数が15程度の試験片の応力集中部に種々の大きさを有する欠陥が存在する場合の脆性破壊強度評価法を確立しておくことが、材料選定基準確立の上で必要となる。

構造例(1)



構造例(2)

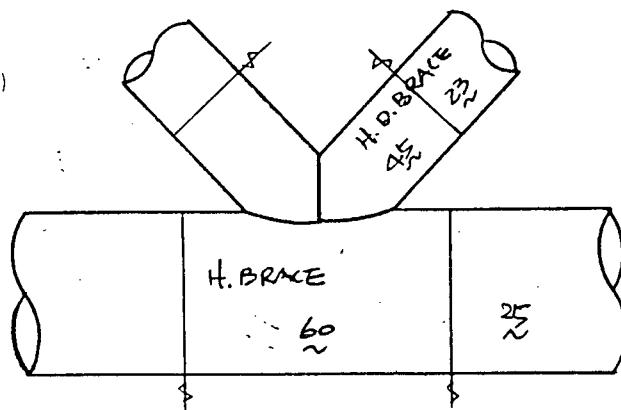


図1.5.19 K-ジョイント構造例

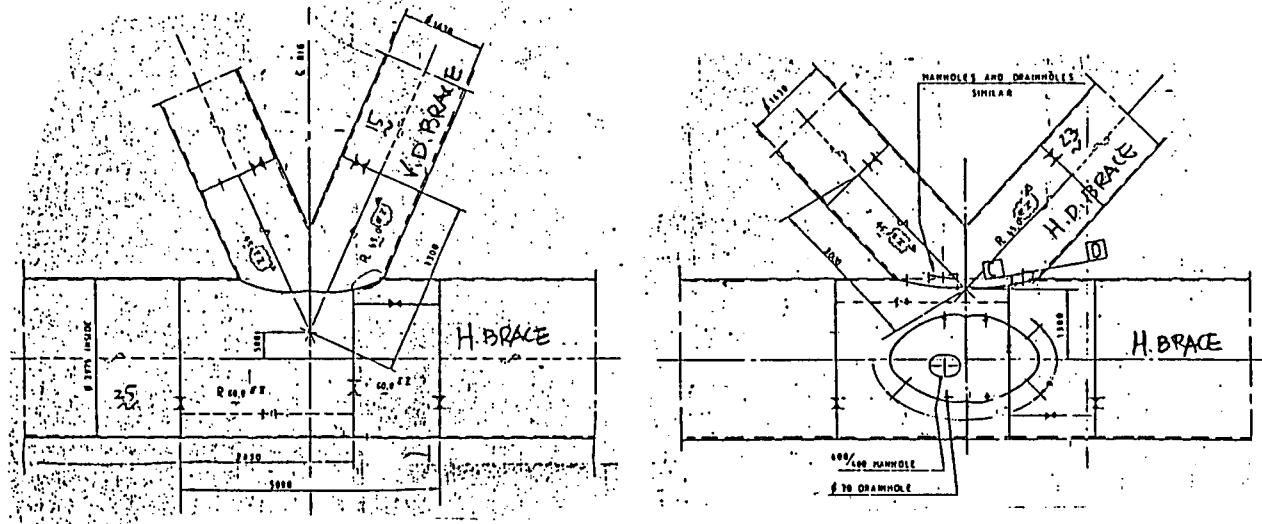


図 1.5.20 K-ジョイント部の構造寸法例

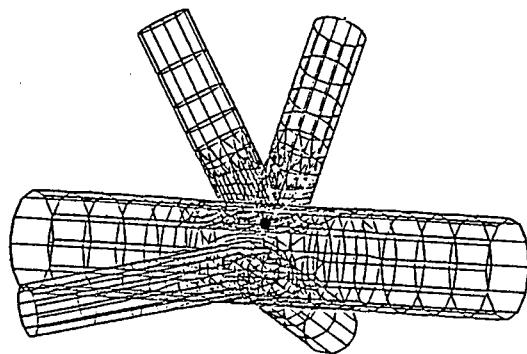


図 1.5.21 FEM 解析メッシュ分割例

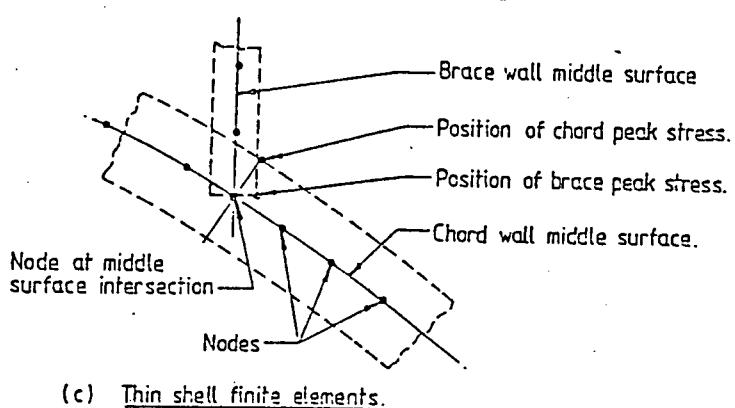
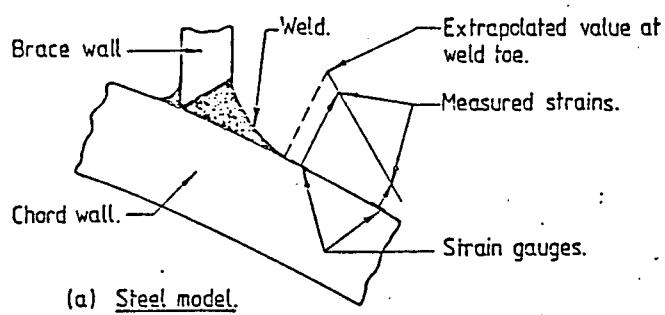
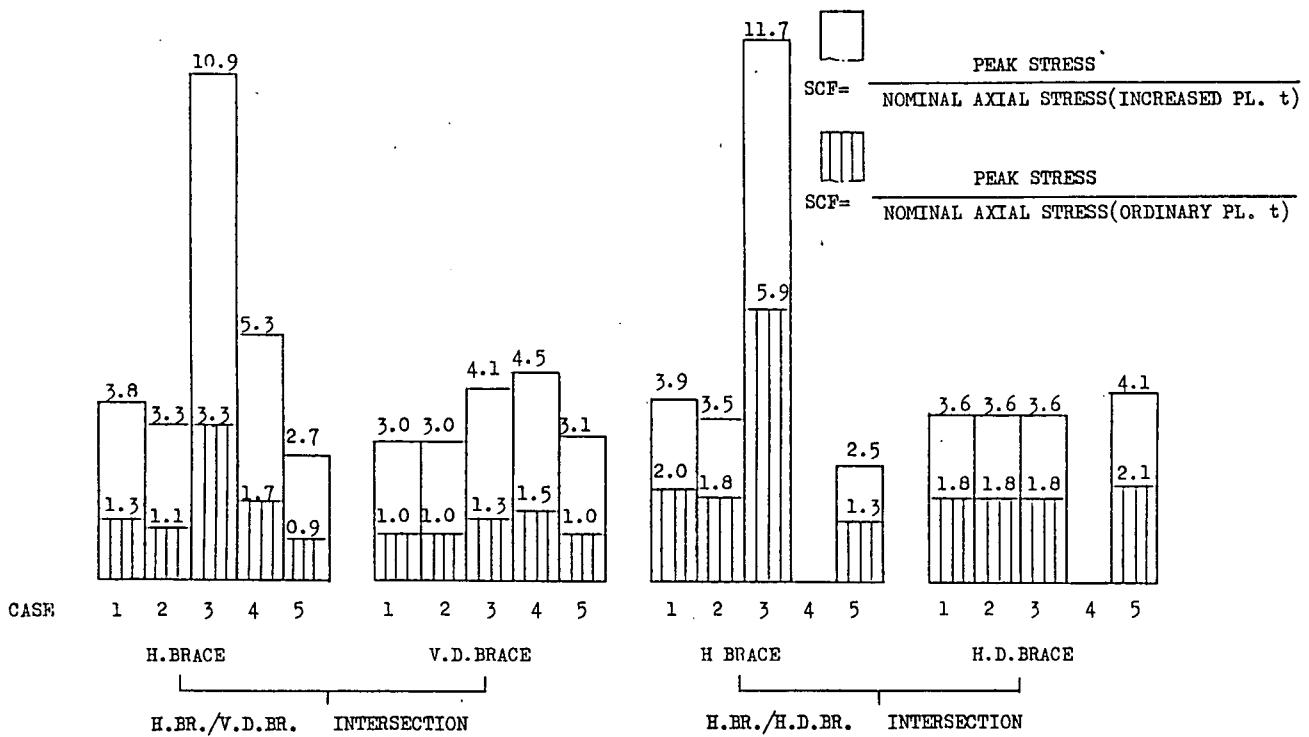


図 1.5.22 Hot Spot Stress の定義



SCF OF K-JOINT

図 1.5.23 応力集中係数

1.5.2 氷海用鋼製ケーソン

前項で述べた通り、図1.5.4に示した傾斜壁型ケーソンを本部会の研究対象ケーソン構造として選定したが、ここでは対象構造の詳細を設定する。

(1) 全体形状について

図1.5.24に対象とする鋼製ケーソンの外形を示すが、この全体形状選定にあたっては下記の点を考慮した。

- (a) 設置海域の Pack Ice Zone の水深は30mとする。
- (b) 本機の目的は、海底油試掘用プラットフォームとし、それに適当な上部面積とする。
- (c) 氷荷重を受ける水面での外壁傾斜は30°とする。

図1.5.24の全体形状に対して、主要構造配置、構造寸法及び来年度の研究対象構造の詳細は次項に示す。

(2) 研究対象構造詳細

鋼製人工島は氷荷重を直接受ける側外板構造とこれを内部から支持する隔壁及び甲板、船底構造から構成されている。

側外板構造は図1.5.25に示すように、かなり厚い鋼板に400mm程度のスペースで設けられた防撓材（リグ又はロンジフレームと云う）が外板を支持している。防撓材は中間横桁、水平桁、主横桁等によって支持されている。

更にこれらの側外板構造は上、下端をそれぞれ甲板と船底構造によって支持され、中間部を水平支柱によって支持されている。

これらの構造は大型タンカーの船側構造に類似しているが、氷荷重が外板にかかる不均一分布でしかも低温下で衝撃荷重である。

鋼製人工島は全体として板骨構造であるから鋼管継手構造に比べて不連続構造による応力集中は小さいので溶接ビードのグラインダがけ等の必要はないが万一クラックが発生すると全体が連続体であるから巨大な氷の荷重によって全体崩壊に連なる可能性もある。

そこで、この対策として次の考慮を払う必要がある。

- (i) 鋼材として一般に降伏点36kg/mm²鋼が用いられるが、空気中の設計温度-50°Cに対して、母材、溶接部ともに十分な韌性を有する鋼材を用いる必要がある。
- (ii) 各部材の取合部には不連続構造を避ける
外板と防撓材の隅肉溶接は連続とし、横桁の防撓材貫通スロットはスリット型又はカラープレート付とする。

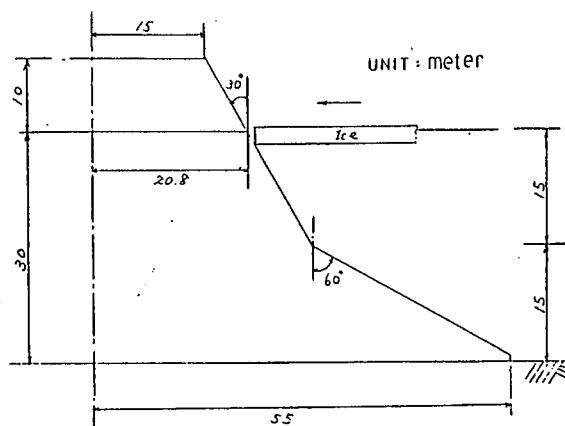
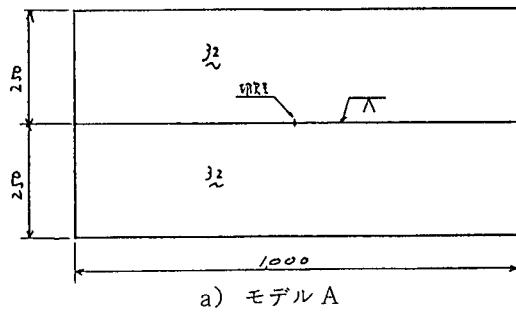


図1.5.24 傾斜壁型鋼製ケーソン全体形状



a) モデルA

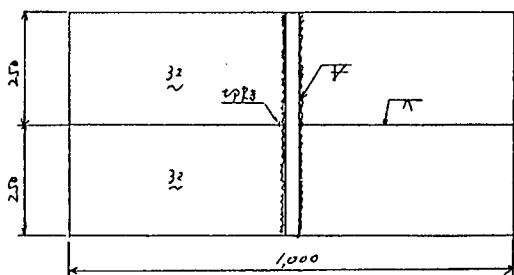
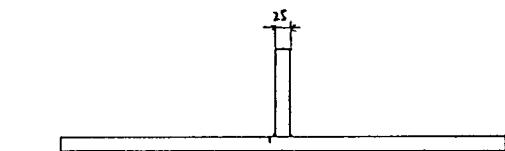


図1.5.26 試験片形状図

(iii) 板厚方向に引張応力の働く板にはいわゆる“Z鋼”を用いる。

(iv) 溶接線及び周辺部は起音波探傷により欠陥の皆無を期す。

鋼製人工島の設計条件として、その稼働寿命に応じた最大氷荷重に対して、構造部材は十分な全体強度と局部強度を有しなければならない。

外板は一般に氷圧に対して塑性設計を行い、多少の凹みは許容されている。その他の部材については一般に弾性計算を行い、降伏点の80%程度を許容応力としている。

疲労強度に関しては前述のように応力集中部が少なく、又、氷海域においては波浪、氷の変動荷重が小さいので疲労による損傷は比較的少ないと云える。

しかしながら、溶接部の欠陥から、あるいはクラックに進展した後、脆性破壊に至ることも予想される。この現象を再現するモデルとしては、以下に示すような試験片（図1.5.26参照）が対応するであろう。

(A) 外板の突合せ溶接線に切欠きを入れたもの。

(B) 外板の突合せ溶接線に直交するように取付けた防撓材の隅肉溶接止端部に切欠きを入れたもの。

(i) それぞれの試験片を溶接したまま

(ii) " 応力焼鈍にしたもの

1.6 外力等設計条件の設定

前項において研究対象とすべき構造を選定したが、ここでは使用鋼材及び溶接の低温諸特性を検討するための諸条件を設定する。

1.6.1 設計及び最低温度について

1.4節鋼材使用例の中で、主に亜北極圏用に設計あるいは建造されたセミ・サブ（半潜水式構造）の設計外気温度（Mean Daily Minimum Temperature）は最低-30°Cになっている。カナダ東岸における外気温度資料例を図1.6.1²³⁾に示す。地理的には、現在開発が進められているニューファウンドランド島沖より10°前後北より（北緯55°～62°）のデータではあるが、設計外気温度設定の参考になる。本図においてMean Daily Minimum Temperatureは-20°C～-33°C程度、最低温度は-46°Cを記録している。

一方、アラスカ西岸のベーリング海における主要な石油開発地域（図1.6.2）において、最も北極海に近い開発地域Norton Sound付近の気温資料を図1.6.3²⁴⁾に示す。Mean Daily Minimum Temperatureは-20°Cより幾分高くなっているが、最低気温は-43°Cを記録している。これらの資料から、亜北極圏における設計外気温度（Mean Daily Minimum Temperature）を-30°Cとするのは妥当と思われるが、材料の低温特性の検討-50°Cまで考える必要があろう。

図1.6.4は、文献²³⁾に示されているカナダ北部の北極圏における気温データの一部であるが、Mean Daily Minimum Temperatureは-40°C以下、最低温度は-56°Cを記録している。これらのデータから、北極海用リグの設計外気温度（Mean Daily Minimum Temperature）-50°Cは妥当と思われるが、最低温度は-60°Cまで考える必要があると思われる。なお、各データのstation numberを図1.6.5²³⁾に示す。

一方、現行の各船級協会のMobile Offshore Drilling Unit規則においては、V-notch Charpy Test Temperatureとして下記の通り要求している。

- Special Structure (Mean Daily Minimum Temperature -30) °C
- Primary Structure (Mean Daily Minimum Temperature -10) °C
- Secondary Structure (Mean Daily Minimum Temperature) °C

この要求をベースとして、2～3の構造物の最低温度（設計温度とは異なる）を検討してみると表1.6.1のようになる。

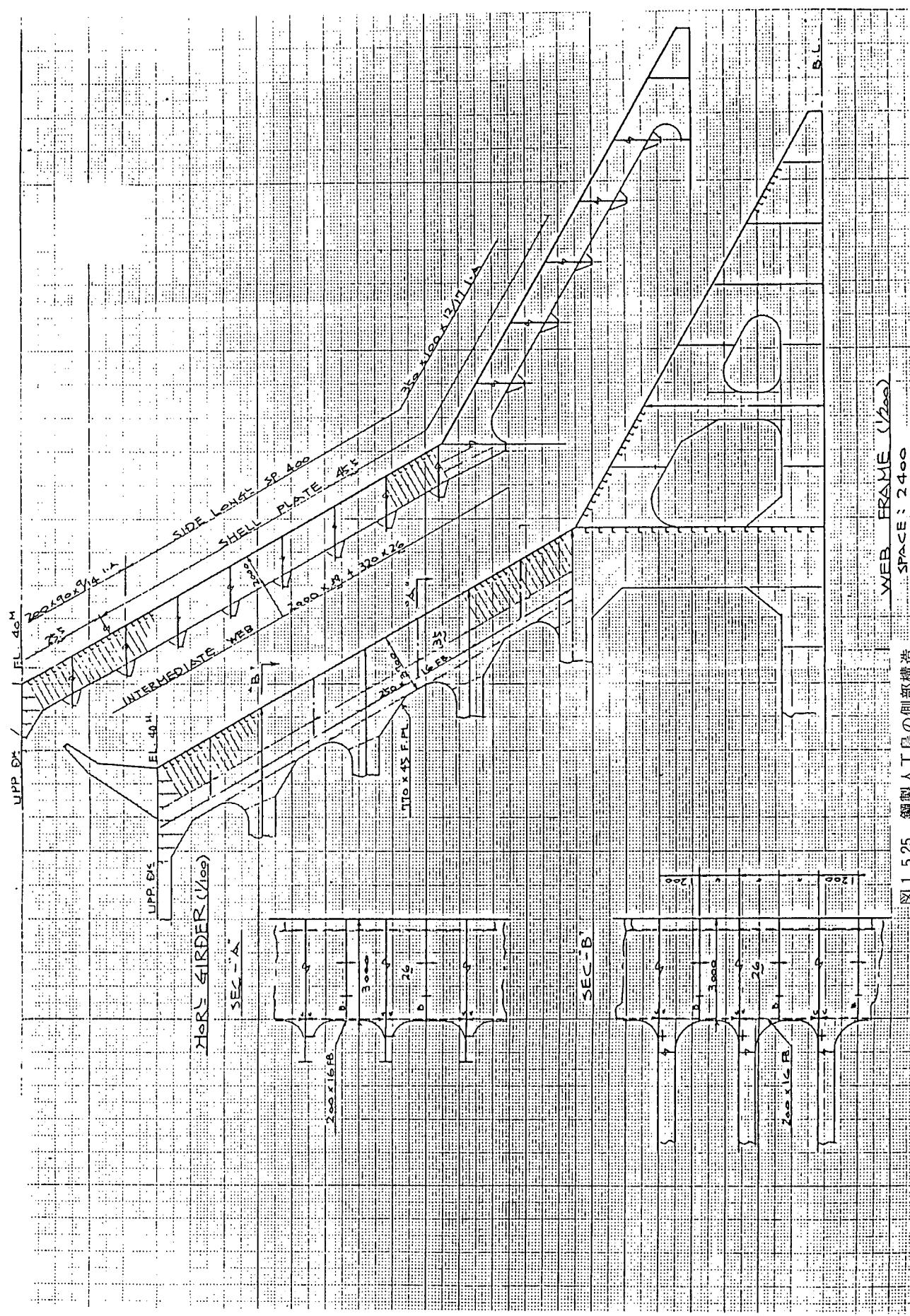


図 1.5.25 鋼製人工島の側部構造
SPACE : 2400

参 考 文 献

- 23) "An Arctic Atlas : Background information for developing marine oilspill countermeasures", Fisheries and Environment Canada, Arctic marine Oilspill Program Report EPS-9-EC-78-1 Environmental Impact Control Directorate August, 1978
- 24) Marine Structures And Ships In Ice, A joint Norwegian Research Project Report No. 81-01/2, 1981
- 07 - 02

TEMPERATURE - PRECIPITATION
GRAPHS

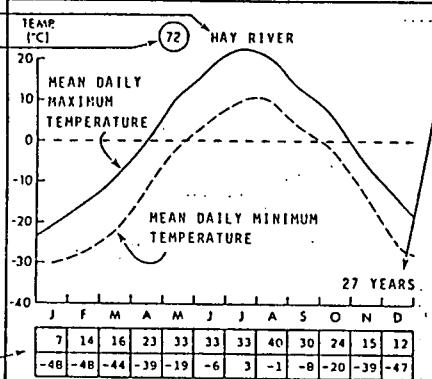
SEASONAL TEMPERATURE AND PRECIPITATION DATA FOR CANADIAN METEOROLOGICAL STATIONS ARE PRESENTED IN THE FORMAT ILLUSTRATED TO THE RIGHT. DATA SUPPLIED BY THE ATMOSPHERIC ENVIRONMENT SERVICE OF ENVIRONMENT CANADA IN "CANADIAN NORMALS" VOLUME 1 TEMPERATURE AND VOLUME 2-SI PRECIPITATION.

STATION NAME

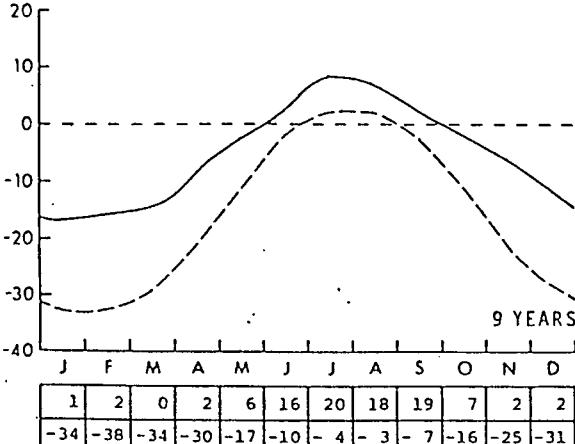
STATION NUMBER

METEOROLOGICAL STATION POSITION MAY BE DETERMINED BY REFERENCE TO THIS NUMBER ON THE METEOROLOGICAL STATION KEYMAP, PAGE 3.1

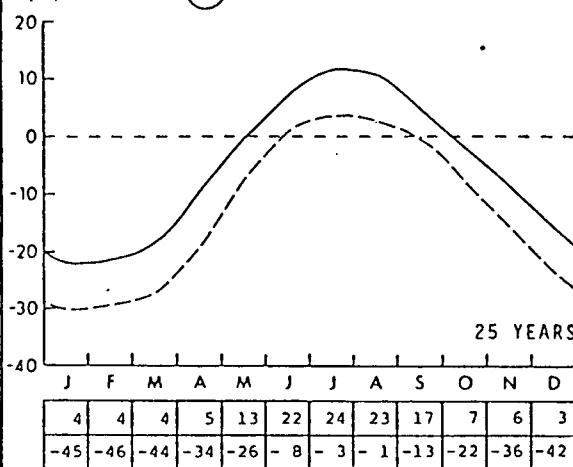
EXTREME MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURES EVER OBSERVED IN A GIVEN MONTH OVER THE PERIOD OF RECORD (TO NEAREST INTEGRAL °C)



TEMP (°C) (46) RESOLUTION ISLAND CAPE WARWICK



TEMP (°C) (48) FROBISHER BAY



TEMP (°C) (50) CAPE HARRISON

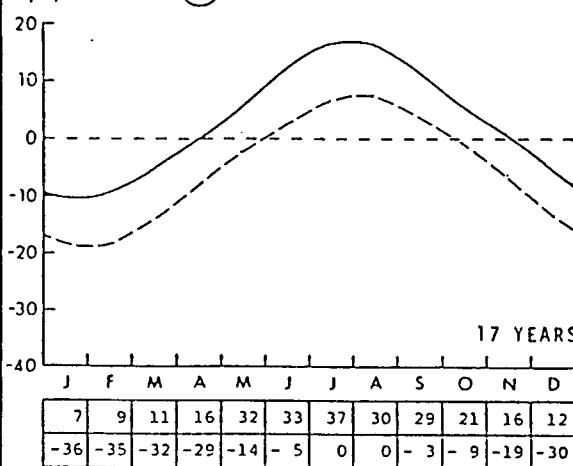


図 6.1.1 カナダ東岸亜北極圏外気温度²³⁾

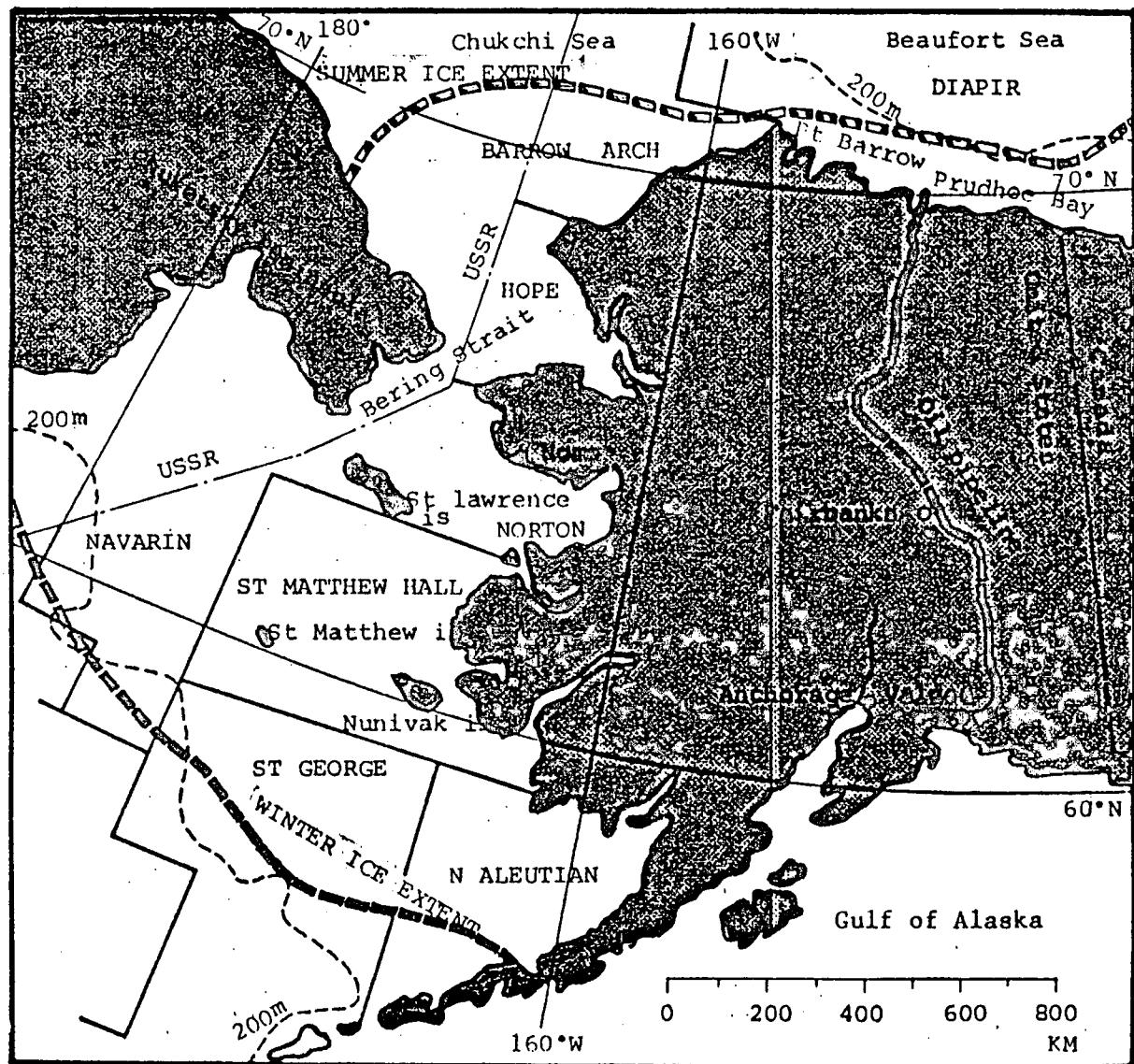


図1.6.2 ベーリング海付近

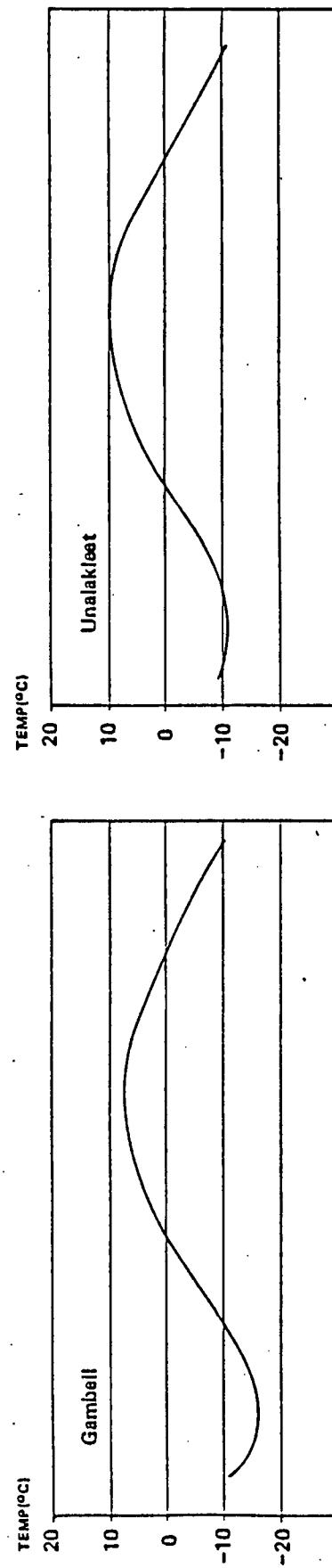
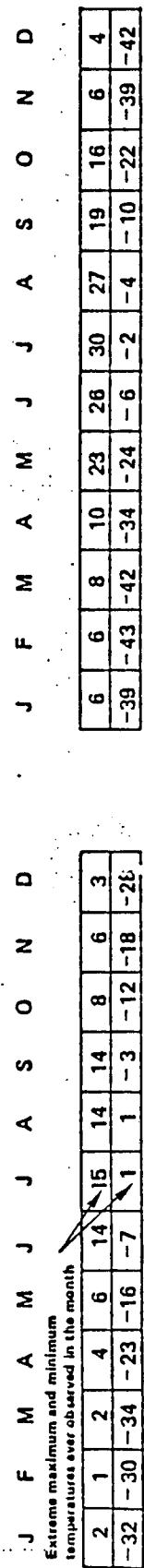
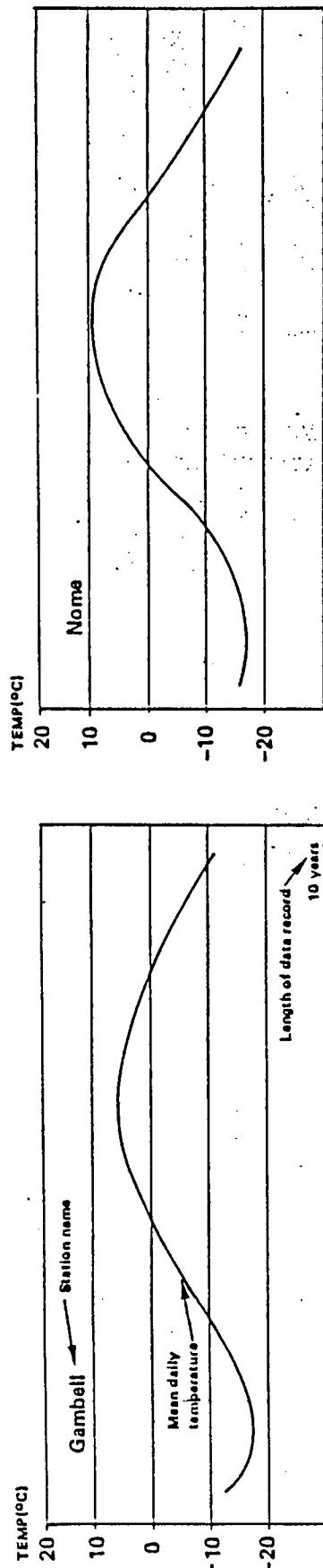


図 1.6.3 Yearly variation of the air temperature (Norton Sound付近)²⁴⁾

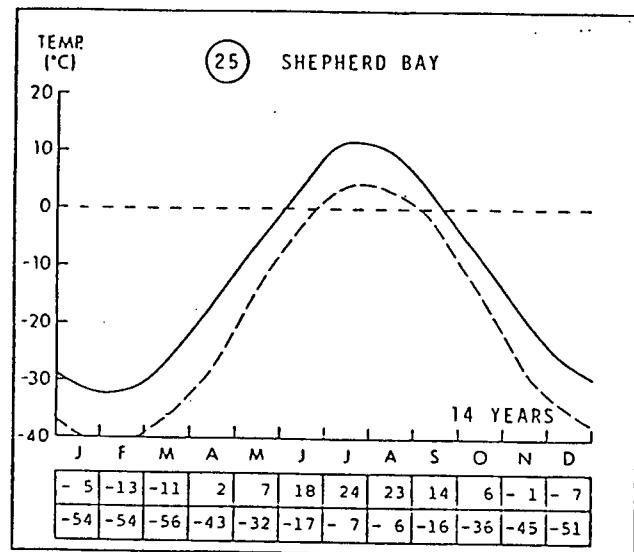
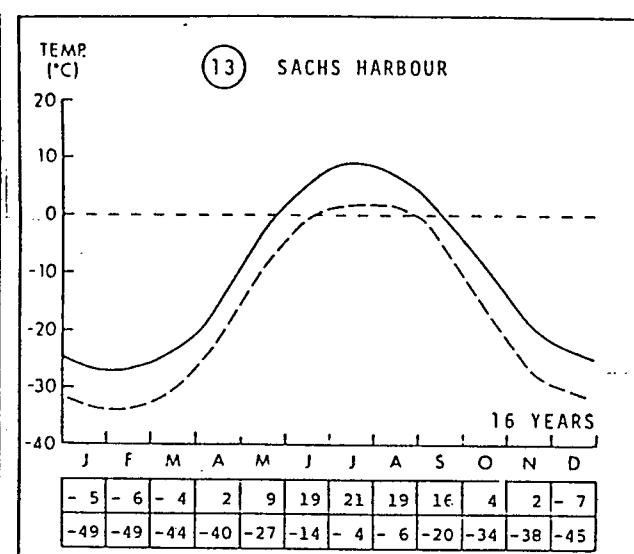
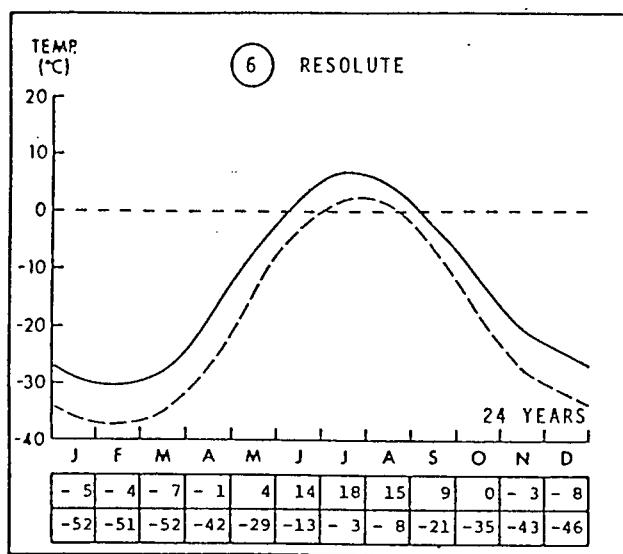


図 1.6.4 カナダ北部北極圏外気温度²³⁾

表 1.6.1 構造詳細と最低温度との関係

| 構 造 | | Mean Daily Min. Temp. (°C) | 最 低 温 度 (°C) |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------|
| 1. 半潜水式構造物 HTB, HDB (亜北極圏用) | Operation Condition | 0 ~ -2 (海 水) | -30 ~ -32 |
| | Transit Condition | -30 (外 気) | -60 |
| 2. 鋼製ケーソン (北極圏用) | 垂直又は傾斜壁型ケーソン の外殻構造 | -50 (外 気) | -60 |
| | モノポットと下部構造結合部 | 0 ~ -2 (海 水) | -30 ~ -32 |
| 3. モノポット型ブ ラットフォーム (北極圏用) | モノポットと甲板構造結合部 | -50 (外 気) | -80 |
| | 外 殻 構 造 | -50 (外 気) | -60 |
| 4. コニカルドリリ ングユニット (北極圏用) | | | |

1.6.2 波浪による応力の長期分布の推定

Bracket Toe などにおける亀裂進展の検討を行うためには、そこに負荷する繰返し荷重の長期分布を推定する必要があるが、ここでは以下に示す前提条件のもとに応力の長期分布を設定する。

- (a) Beaufort Sea 等北極圏にて操業するリグに関しては、文献²⁴⁾にも示されているごとく、Summer Ice Pack の影響により、再現期間 100 年に対応する有義波高は 4.3 m 程度、25 年で 3.7 m 程度であり（表 1.6.2）、変動圧力による Ice Wall 部の変動応力は小さい。従って、鋼製ケーソンにおいては波浪外力の影響は無視し氷荷重による変動外力のみ考慮することとする（1.6.3 参照）。
- (b) 亜北極圏用半潜水式構造物の格点部は DNV の疲労強度に対する Classification Note No. 30.2 を¹⁸⁾を満足するように設計されているものとし、従って 20 年最大応力振巾は前節の図 1.5.18 の許容応力に一致しているものと仮定する。

図 1.5.18 に示した 20 年最大許容応力振巾は格点部の Bracket や Cut - Out 等による応力集中を考慮した該部公称応力であり、溶接形状などによる局部的応力集中を考慮した Peak Stress ではない。応力振巾の長期分布はワイブル分布で近似できるものとし（図 1.6.6）¹⁸⁾、20 年間における繰返し数を 10^8 回とすると応力振巾の超過確率分布は次式で与えられる。

$$\text{Log } \theta = -8.0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{20}} \right)^h \quad (1.6.1)$$

θ : 超過確率

σ_{20} : 20 年最大応力振巾

h : ワイブルパラメータ

式（1.6.1）のワイブルパラメータ h が与えられれば図 1.5.18 から各々の Fatigue Class に対する 20 年最大応力振巾がもとまり、長期分布も与えられる。

パラメータ h に関しては、これまでいくつかの報告があるが^{20) 26) 27)}、文献²⁶⁾によると北海の "FAMITA" data を用いて計算した結果、 h は 1.12 ~ 1.15 になると報告している（図 1.6.7）。また、文献²⁰⁾は h は約 1.0 と報告しており、また文献²⁷⁾においては 1.0 ~ 1.14 という計算結果を与えており（表 1.6.3）。一方、図 1.5.1 と類似の 4 - Column 半潜水式構造の HTB 端部における応力応答の長期予測計算を図 1.6.8 の手順²⁸⁾に従って計算した結果を図 1.6.9 に示す。計算は 1964 - ISSC 波スペクトラム及び表 1.6.4²⁹⁾に示すデータを用いて行った。図 1.6.9 から本機の場合パラメータ h は約 1.0 であり文献²⁰⁾の報告と一致している。これらのデータから、ここではワイブルパラメータ h として、0.9, 1.0, 1.1 の 3 ケースについて検討することとする。これらのパラメータ h に対して、

文献¹⁸⁾及び図1.5.18から各Fatigue Classごとに求めた応力振巾の20年最大期待値を表1.6.5に示す。表において σ_{100} は100年最大期待値であり、 $\sigma_{100} = \sigma_{20} \times (\log 10^{8.7} / \log 10^8) = \sigma_{20} / 0.92$ の関係式から求めた。各最大期待値は文献¹⁸⁾に従って該部板厚(t)の関数として与えられている。前述の通り、これらの値はBracket Toe部などの公称応力(主応力)であり、溶接形状による応力集中を考慮したPeak Stressではない。

実機をベースとした部分モデルに負荷する応力振巾の長期分布は、該部構造詳細に従ってFatigue Classを選定し、該部板厚を用いて本表から σ_{20} を求めれば、図1.6.6に示した如きワイブル分布として与えられる。例えば図1.5.17の部分モデルの場合、試験部(Bracket Toe部)に対しては、Fatigue Class "F"、板厚t=70mmとして表1.6.6のように与えられる。従って、各パラメータhに対して応力振巾の長期分布は次式にて与えられる。

$$\begin{aligned}\log Q &= -8.0 (\sigma / 8.4)^{0.9}, \text{ for } h = 0.9 \\ &= -8.0 (\sigma / 7.2)^{1.0}, \text{ for } h = 1.0 \\ &= -8.0 (\sigma / 6.1)^{1.1}, \text{ for } h = 1.1\end{aligned}\quad (1.6.2)$$

参考文献

- 25) Diapir field lease offering (June, 1984) Vol. 1, Final environmental impact statement
- 26) Environmental data in operation and design case - mobile rigs, by C. A. Carlsen, et al. DNV No.81
PO 17 May 1981
- 27) M. Sawayanagi, et al : On the fatigue analysis of a semi-submersible offshore structure, PRADS 83
- 28) M. Kanetsuna, et al : A design and analysis program system for offshore structures.
三井造船技報第103号, 昭和53年
- 29) L. Haland, et al. : Long term distribution of North Sea Waves, Norwegian Maritime Res. (1973)

表 1.6.2 Predicted Significant Wave Heights in
the Beaufort Sea With or Without Correction
for Fetch Reduction Caused by Summer Ice Pack²⁵⁾

| Return Period (years) | 1/ | | Without Correction Meters |
|--------------------------|---------------------------|----|------------------------------|
| | With Correction Meters | 2/ | |
| 10 | 3.0 | | 11 |
| 25 | 3.7 | | 13 |
| 100 | 4.3 | | 17 |

Source:

- 1/ Heideman, 1979; for 30-m water depth.
2/ Brower et al., 1977; see text.

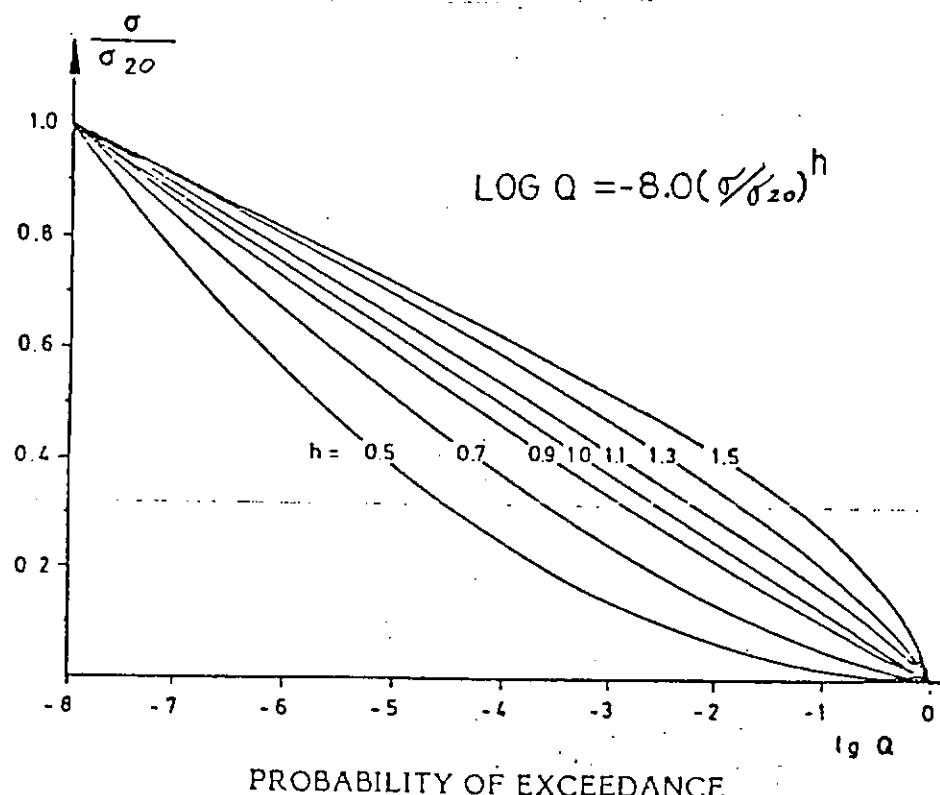


図 1.6.6 Long Term Distribution of Stress Amplitudes¹⁸⁾

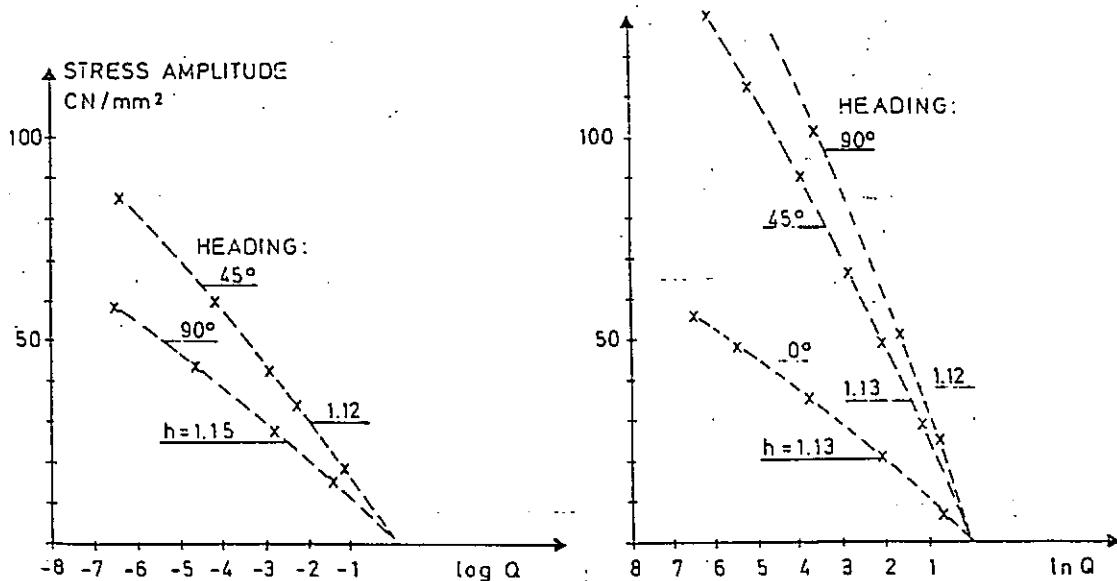


図 1.6.7 Long Term
Distribution, NV 432
"Famita" Data
 h = Weibull Parameter²⁶⁾

表 1.6.3 Results of the Long-term Prediction and
the Design Wave Analysis²⁷⁾
(Normal Stress)

| Number | Position | h | $\sigma_{10^{-3}}$ | $\sigma_{D.W}$ | Design wave condition |
|---------------------------|----------|------|--------------------|----------------|-----------------------|
| H. T. B No.2 COLUMN | A | 1.03 | 5.07 | 5.60 | B.S(0.9) |
| | B | 1.04 | 4.75 | 5.36 | M.T(0.8) |
| | C | 1.05 | 3.46 | 4.09 | B.S(0.8) |
| | D | 1.04 | 5.06 | 5.68 | M.T(0.8) |
| H. T. B No.3 COLUMN | A | 1.04 | 8.35 | 9.90 | M.T(0.8) |
| | B | 1.03 | 3.95 | 4.53 | M.T(0.9) |
| | C | 1.02 | 4.13 | 4.50 | M.T(0.9) |
| | D | 1.04 | 7.28 | 8.94 | M.T(0.8) |
| H. D. B | A | 1.04 | 4.13 | 4.84 | M.T(0.8) |
| | B | 1.13 | 4.14 | 5.17 | M.T(0.8) |
| | C | 1.08 | 5.26 | 5.85 | M.T(0.8) |
| | D | 1.13 | 4.53 | 4.86 | M.R(0.8) |
| T. D. B No.2 COLUMN | A | 1.00 | 3.00 | 3.47 | B.S(0.9) |
| | B | 1.04 | 5.39 | 5.20 | M.T(0.9) |
| | C | 1.04 | 6.61 | 7.00 | B.S(0.8) |
| | D | 1.03 | 4.28 | 4.24 | B.S(1.0) |
| T. D. B No.3 COLUMN | A | 1.02 | 3.19 | 3.68 | M.T(0.9) |
| | B | 1.08 | 4.52 | 5.01 | M.T(0.9) |
| | C | 1.05 | 6.95 | 8.29 | M.T(0.9) |
| | D | 1.07 | 5.38 | 5.93 | M.R(0.9) |

h = Shape parameter of Weibull distribution

$\sigma_{10^{-3}}$ = Stress amplitude for $Q=10^{-3}$

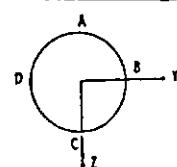
$\sigma_{D.W}$ = Stress amplitude for design wave

B.S = Beam sea condition

M.T = Diagonal sea condition (Maximum torsion)

M.R = Diagonal sea condition (Maximum racking)

{ } = Value of $\frac{\sigma_{D.W}}{\sigma_{10^{-3}}}$



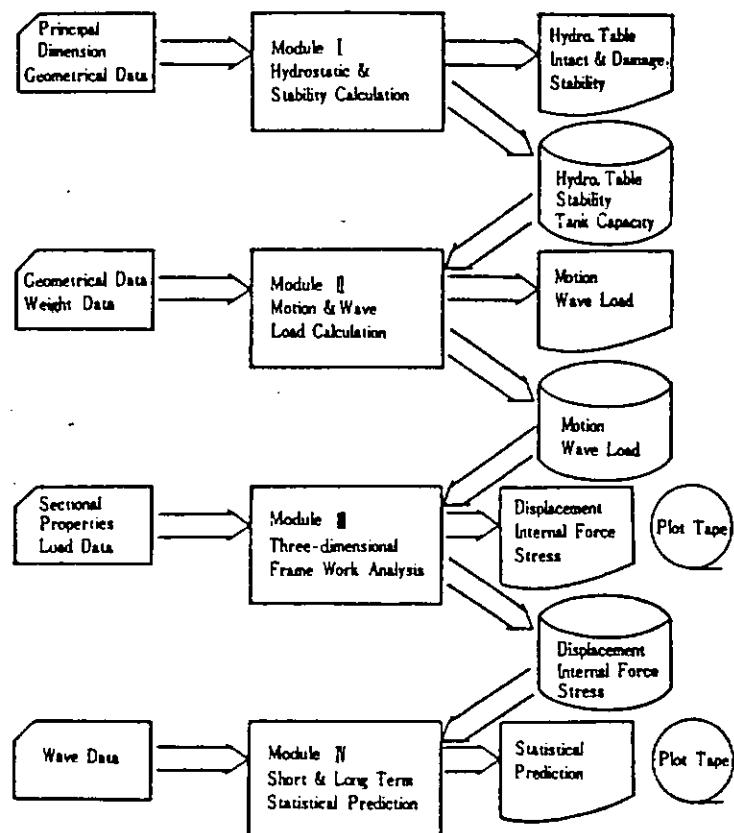


図 1.6.8 Rough Flow Chart of General Purpose Computer Program for Hydrostatic, Motion, Wave Load, and Strength Analysis of Offshore Structures

(浮遊式海洋構造物設計システムの概略フローチャート)

表 1.6.4 北海における波浪の長期発現確率²⁹⁾

("Famita" 1959~1969)

| Period (sec) | 0-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | > 14 | X | Total |
|--------------|------|------|------|-------|-------|------|-----|-------|
| Height (m) | | | | | | | | |
| 0 ~ 0.5 | 373 | 12 | | | | | 174 | 559 |
| 0.5 ~ 1.0 | 1960 | 184 | 29 | 3 | | | 79 | 2255 |
| 1.0 ~ 1.5 | 1990 | 948 | 134 | 26 | 6 | | 27 | 3131 |
| 1.5 ~ 2.0 | 1079 | 1854 | 358 | 69 | 13 | | 21 | 3394 |
| 2.0 ~ 2.5 | 212 | 1360 | 731 | 114 | 7 | | 18 | 2440 |
| 2.5 ~ 3.0 | 38 | 448 | 690 | 230 | 43 | 1 | 8 | 1458 |
| 3.0 ~ 3.5 | 9 | 228 | 448 | 182 | 53 | 6 | 4 | 930 |
| 3.5 ~ 4.0 | 5 | 55 | 249 | 77 | 42 | 6 | | 434 |
| 4.0 ~ 4.5 | 3 | 50 | 209 | 87 | 20 | 19 | | 388 |
| 4.5 ~ 5.0 | 9 | 68 | 38 | 10 | 7 | | | 132 |
| 5.0 ~ 5.5 | 9 | 44 | 44 | 8 | 3 | | | 108 |
| 5.5 ~ 6.0 | 4 | 4 | 17 | 14 | 1 | | | 40 |
| 6.0 ~ 6.5 | | 27 | 41 | 11 | 1 | | | 80 |
| 6.5 ~ 7.0 | | | 3 | 2 | | | | 5 |
| 7.0 ~ 7.5 | | 4 | 8 | 9 | | | | 21 |
| 7.5 ~ 8.0 | | | 1 | 2 | 2 | | | 5 |
| 8.0 ~ 8.5 | | | 2 | 3 | 4 | 1 | | 10 |
| 8.5 ~ 9.0 | | | | | | | | |
| 9.0 ~ 9.5 | | | | 1 | 4 | 1 | | 6 |
| 9.5 ~ 10.0 | | | | | | | | |
| 10.0 ~ 10.5 | | | | 1 | | | | 1 |
| 10.5 ~ 11.0 | | | | | | | | |
| 11.0 ~ 11.5 | | | | | 2 | 1 | | 3 |
| Total | 5669 | 5161 | 2999 | 945 | 248 | 47 | 331 | 15400 |

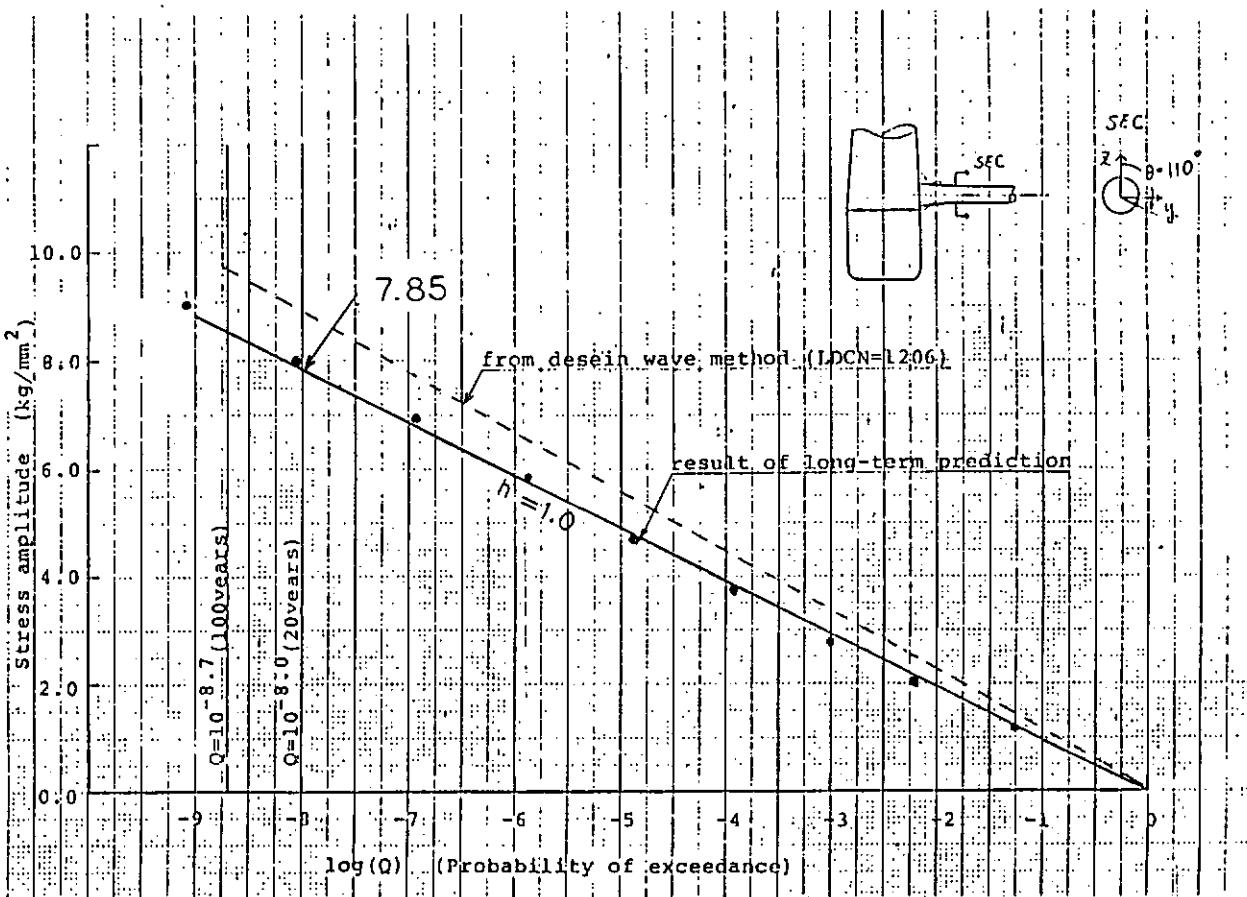


図 1.6.9 4-Col 半潜水式構造の HTB 端部直応力の長期分布

表 1.6.5 波浪外力による応力振幅（構造形状による応力集中を考慮した
該部公称主応力）の20年及び100年最大期待値

| 変動応力長期分布形状 (ワイルブル分布の h 値) | | | $h=0.9$ | $h=1.0$ | $h=1.1$ |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--|--|--|
| 変動応力 最大期待値 | Fatigue Class | 期待値 (Kg/mm²) | | | |
| | B | σ_{100} | $36.1 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $26.1 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $18.4 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $33.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $24.0 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $20.0 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | C | σ_{100} | $28.4 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $20.5 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $16.4 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $26.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $18.9 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $17.8 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | D | σ_{100} | $19.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $13.9 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $10.7 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $17.7 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $12.8 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $9.8 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | F ₂ | σ_{100} | $10.9 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $9.1 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $7.8 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $10.0 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $8.4 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $7.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | F | σ_{100} | $12.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $10.4 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $8.9 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $11.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $9.6 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ | $8.2 \left(\frac{22}{t}\right)^{1/4}$ |
| | T | σ_{100} | $18.9 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ | $13.7 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ | $10.5 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ |
| | | σ_{20} | $17.4 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ | $12.6 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ | $9.7 \left(\frac{32}{t}\right)^{1/4}$ |

t : 該当実機板厚

σ_{20} : 20年最大期待値

$$\sigma_{100} : 100 \quad " \quad = \sigma_{20} / 0.92$$

表 1.6.6 HTB 端部部分モデル(図 1.5.7)の External Bracket Toe 部の波浪外力による応力振幅(公称応力)の20年及び100年最大期待値
(UNIT: kg/cm²)

| | $h = 0.9$ | 1.0 | 1.1 |
|----------------|-----------|-----|-----|
| σ_{100} | 9.1 | 7.8 | 6.7 |
| σ_{20} | 8.4 | 7.2 | 6.1 |

1.6.3 ケーンに負荷する繰り返し氷荷重の推定

(1) 対象構造物

本計算の対象構造物には、Drilling 用の円錐型鋼製ケーンを選定した。その主要寸法は図 1.5.19 に示している。アイスペルト部の傾斜角は 30° とし、又、円錐構造上部の半径は 15m とした。更に、設置海域は Pack Ice Zone (流氷域) とし、その水深は 30m とした。

(2) 氷象条件

設置海域として、ボーフォート海の流氷域を想定した。氷象データは、一般に、結氷条件、集積状況、更に場所毎、年毎にも大きくバラつくため、その推定は困難であるがここでは、とり敢えずボーフォート海の Diapia 周辺の定着氷域における気温分布(月平均)、氷厚分布を、設置海域(流氷域)でのそれぞれの気温分布及び氷厚分布と仮定した。(図 1.6.10 参照)。又氷の物理的特性は、氷の形式条件等によって異なるがここでは上記気温分布(月平均)をベースに図 1.6.10 の如く(氷板の曲げ強度及びヤング率を)仮定した。

一方、流氷域における氷の密接度(海面に占める氷(板)の割合)は計算モデルの簡易化の為、開氷月(8月及び9月)を除き 100% とした。又、流氷の移動速度 V は、5 km/day (0.1 kt.) とし、その方向は一定と考えた。更に氷丘脈(Ice Ridge)の出現頻度は、開氷月(8月及び9月)を除き、一定とし、5 個/1km、および 2 個/1km と設定した。

(3) 繰り返し氷荷重の算定

本円錐型鋼製ケーンに作用する海氷は、平坦氷及び氷丘脈とした。

平坦氷による氷荷重は、Ralston の算式にて計算したが、この場合、繰り返し氷荷重としては、碎氷成分のみ考慮し乗り上げ(Ride up)による氷荷重成分は考慮しなかった。又氷丘脈による氷荷重は平坦氷による氷荷重は平坦氷による氷荷重の約 3 倍と仮定した。^{※注1)}

一方平坦氷の衝突時における氷板の割れ長さは、その特性長 $\ell_c = \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)\rho}}$; E = 氷板のヤング率、
 h = 氷厚、 ρ = 海水の単位、体積重量、 ν = 氷板のポアソン比)に等しいと仮定し、その衝突頻度 f は $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ell_c/V}$ にて概算した。更に、氷丘脈の衝突頻度は、(2)にて仮定したその出現頻度からそれぞれ 15 回/1km、6 回/1km とした。^{※注2)}

繰り返し氷荷重算定時の氷データは以下の通りである。

繰り返し氷荷重及びその頻度の計算結果は、平坦及び氷丘脈それぞれについて表 1.6.7 及び図 1.6.11 に示されている。又、図 1.6.12、図 1.6.13 は、平坦氷及び氷丘脈による繰り返し水平氷荷重に対する衝突頻度分布(1 年間ベース)及びその累積頻度分布(1 年間ベース)を示している。

図 1.6.13 に示した氷荷重の年間頻度分布をワイブル分布を用いて近似すると図 1.6.14 のようになる。

T ω_0 Parameter weibull 分布

$$Q(F_H > F) = \exp \left[- \left(\frac{F}{C} \right)^h \right] \quad (1.6.3)$$

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| 最大曲げ強度 (σ_f) max | 7 kg/cm ² |
| 最大ヤング率 E max | 50,000 kg/cm ² |
| 氷-鋼摩擦係数 | 0.25 |

において、超過確率 $Q = 1 / 1.4 \times 10^5$ に対応する F_H を $F_H \max$ とすると、パラメータ C は

$$C = F_H \max [\ln (1.4 \times 10^5)]^{-\frac{1}{h}} \quad (1.6.4)$$

で与えられ、超過確率 Q は次式で与えられる。

$$Q = \exp \left[- \left(\frac{F_H}{F_H \max} \right)^h (\ln N) \right] \quad (1.6.5)$$

$N = 1.4 \times 10^5$

これを図示すると図 1.6.15 のようになり、 $(F_H / F_H \max)$ 値が 0.5 ~ 1.0 の間で発現確率を非安全側に推定することになり不都合である。

したがって

$$(F_H / F_H \max) = 0.0 \sim 0.5 \dots \dots \text{ワイブル分布}$$

$$(F_H / F_H \max) = 0.5 \sim 1.0 \dots \dots \text{直線分布}$$

で近似することとし、図 1.6.14 に示す分布形状とした。なお、図 1.6.14 は単に氷荷重の年間発現確率分布形状のみを示すものである。最大荷重 $F_H \max$ を受けた時の局部構造の応力状態は構造的応力集中を考慮した最大応力値が降伏応力 $\sigma_y \times 0.8$ に達するものとし、振巾は $0 \sim 0.8 \sigma_y$ であると想定する。

すなわち、応力振巾の年間発現確率は次式で与えられる。

$$Q = \exp \left[- \left(\frac{2 \sigma}{0.8 \sigma_y} \right)^h \times 2.3026 \right] \quad (\text{for } 0.0 \leq \frac{\sigma}{0.8 \sigma_y} \leq 0.5) \quad (1.6.6)$$

$$Q = \left(\frac{2}{N} - 0.2 \right) \left(\frac{\sigma}{0.8 \sigma_y} \right) + 0.2 - \frac{1}{N} \quad (\text{for } 0.5 \leq \frac{\sigma}{0.8 \sigma_y} \leq 0.5) \quad (1.6.7)$$

ここで、 $N = 1.4 \times 10^5$

σ_y = 降伏応力

σ = 構造的応力集中を考慮した応力値（振巾 $0 \sim \sigma$ ）

$h = 0.5, 0.7, 1.0$ の 3 種類

なお、上式は 1 年間の応力分布であり、ケーンの使用年数（20 年間とする）回繰返されるものとした。

※注 1) PRESSURE RIDGE が円錐型構造物に及ぼす氷力について

氷海再現水槽にて作製した LEVEL ICE の PRESSURE RIDGE が円錐型の構造物を通過する時、構造物に働く HORIZONTAL FORCE の計測の 1 例を Fig. A 1 に示す。

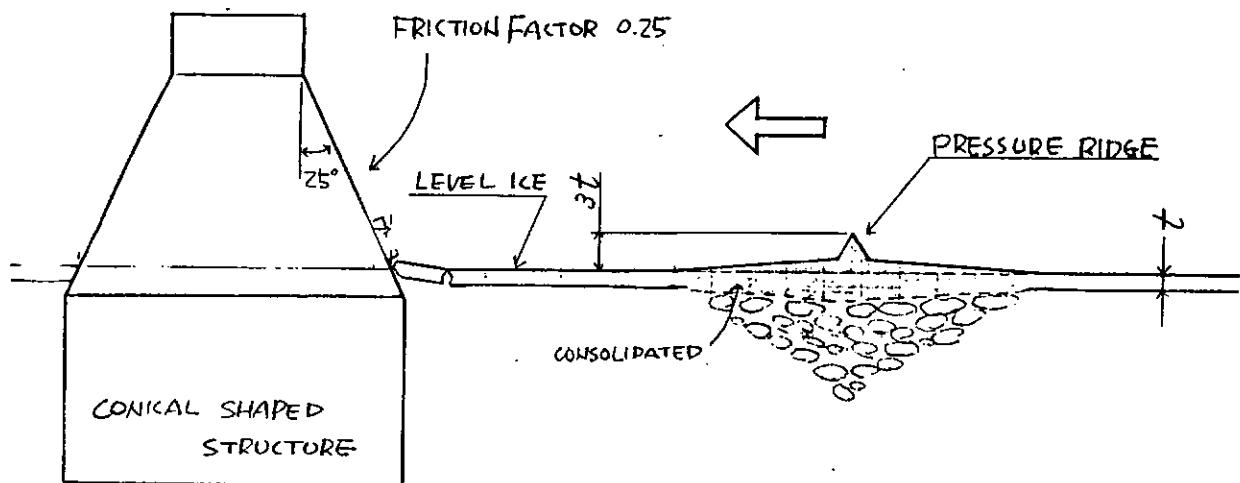


Fig A 1 対象構造物 & PRESSURE RIDGE

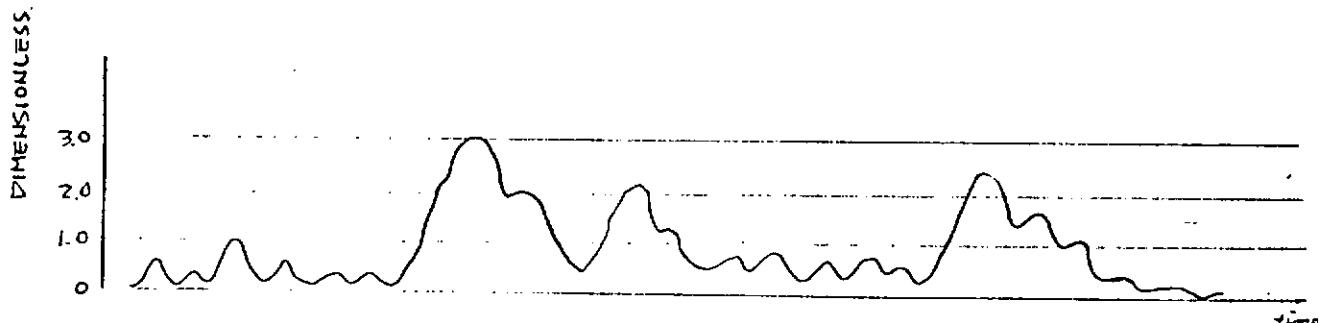
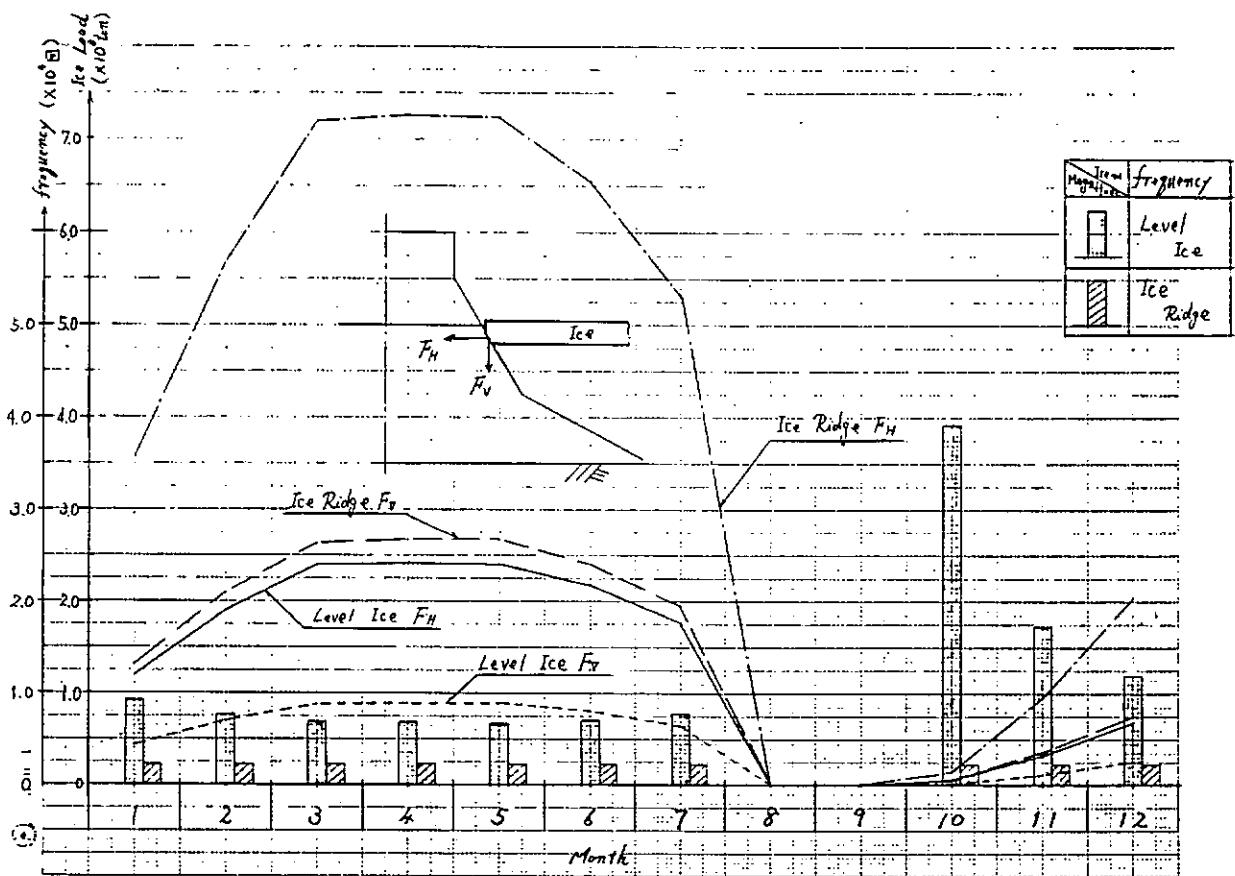
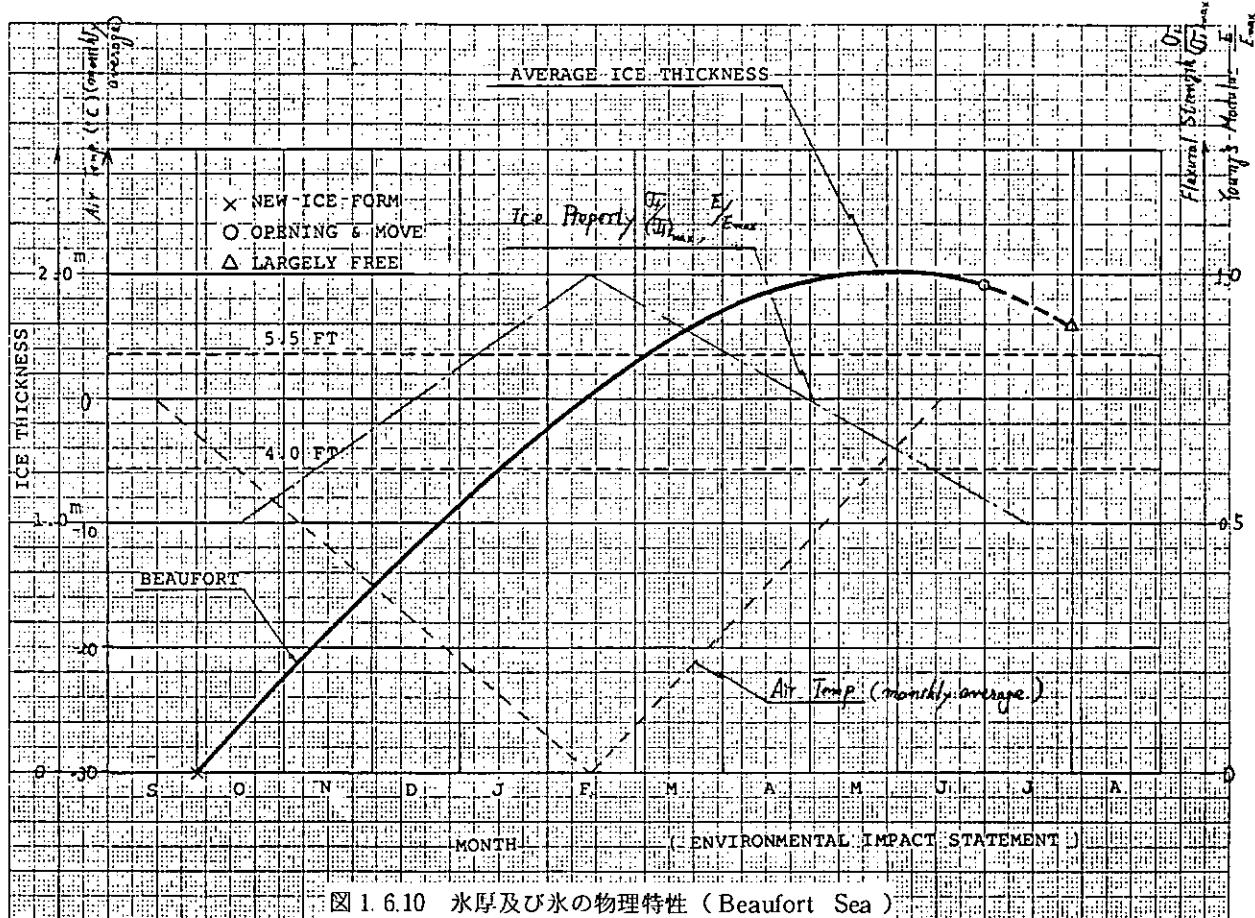


Fig A 2 HORIZONTAL FORCE TRACE

Fig A 2 に示すように 1 個の PRESSURE RIDGE が円錐型構造物に衝突する時、3 回のピーク値を生じている。この事から 1 個の Pressure Ridge の出現に対し 3 回の衝突頻度になっている。又、その最大氷力 (HORIZONTAL FORCE) は LEVEL ICE のそれに比べて 2 ~ 3 倍の大きさであった。



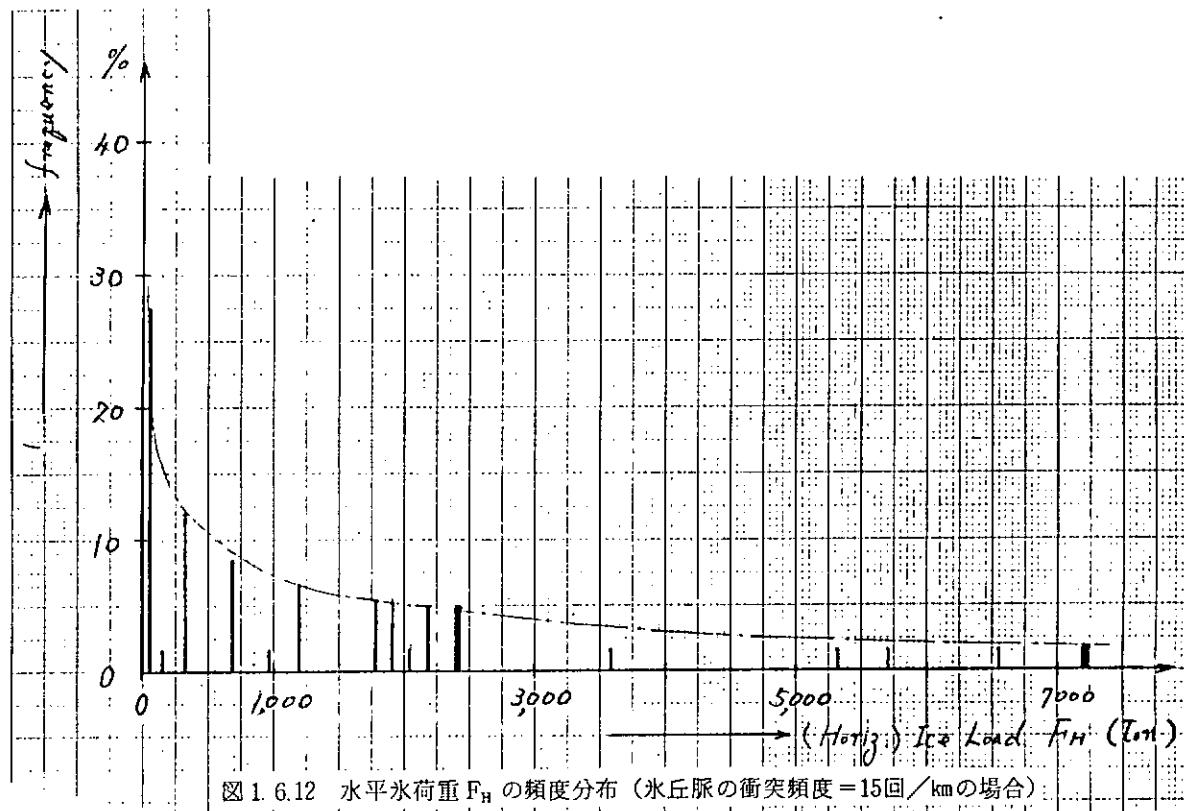


図 1.6.12 水平水荷重 F_H の頻度分布（氷丘脈の衝突頻度 = 15回／kmの場合）

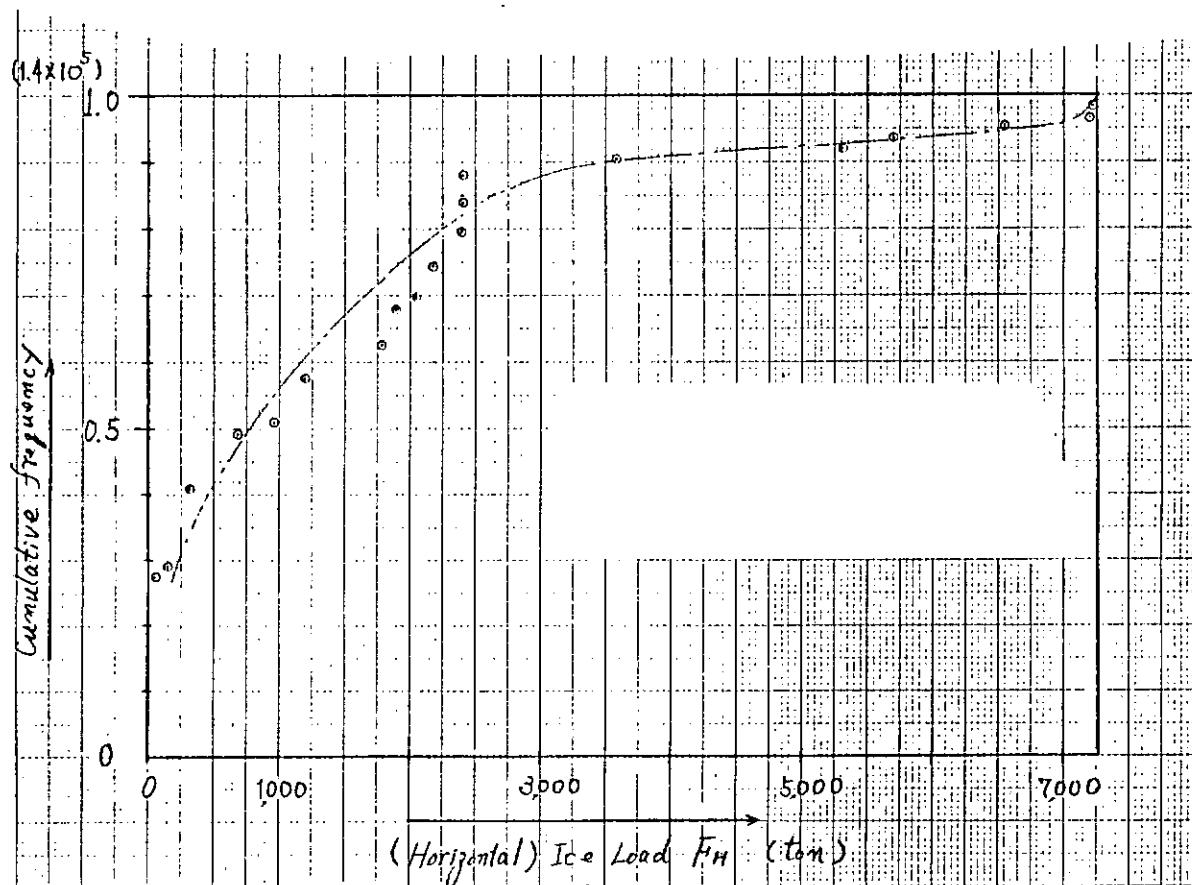


図 1.6.13 水平荷重 F_H の累積頻度（氷丘脈の衝突頻度15回／kmの場合）

表 1.6.7 繰り返し氷荷重とその頻度

(1ヶ月=30日として計算)

| Ice Item | Month | Note | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 氷 厚 h (m) | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | - | - | 0.2 | 0.6 | 0.9 | 図 1.5.20 参照 |
| 割れ長さ ℓ (m) | 16.1 | 19.7 | 22.0 | 22.2 | 22.4 | 21.5 | 19.8 | - | - | 3.7 | 8.8 | 12.5 | |
| 曲げ強度 σ_f (kg/cm ²) | 6.1 | 7.0 | 6.3 | 5.6 | 4.9 | 4.2 | 3.5 | - | - | 3.5 | 4.4 | 5.3 | 図 1.5.20 参照 |
| ヤング率 E (kg/cm ²) | 50,000 | 45,000 | 40,000 | 35,000 | 30,000 | 25,000 | - | - | - | 25,000 | 31,500 | 37,500 | 図 1.5.20 参照 |
| 氷塊 | Horiz. F_H (ton) | 1,190 | 1,900 | 2,400 | 2,420 | 2,410 | 2,180 | 1,770 | - | - | 50 | 320 | 680 |
| 氷塊 | Vert. F_V (ton) | 440 | 700 | 880 | 890 | 890 | 800 | 650 | - | - | 20 | 120 | 250 |
| 氷片の当る周期 $T = \frac{\ell}{V}$ (min) | 4.6 | 5.6 | 6.3 | 6.3 | 6.4 | 6.1 | 5.7 | - | - | 1.1 | 2.5 | 3.6 | $V = 5 \text{ km/day}$ $= 3.5 \text{ m/day}$ |
| 頻度 N_1 (回) | 9,390 | 7,710 | 6,860 | 6,860 | 6,750 | 7,080 | 7,580 | - | - | 39,270 | 17,280 | 12,000 | 小計 120,780 |
| 氷塊 | Horiz. F_H (ton) | 3,570 | 5,700 | 7,200 | 7,260 | 7,230 | 6,540 | 5,310 | - | - | 150 | 960 | 2,040 |
| 氷塊 | Vert. F_V (ton) | 1,320 | 2,100 | 2,640 | 2,670 | 2,670 | 2,400 | 1,950 | - | - | 60 | 360 | 750 |
| 氷塊 | (6回/km) 15回/km | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 | - | - | (900) 2,250 | (900) 2,250 | (900) 2,250 |
| 氷塊 | (6回/km) 15回/km | (10,290) 11,640 | (8,610) 9,960 | (7,760) 9,110 | (7,650) 9,000 | (7,980) 9,330 | (8,480) 9,830 | - | - | (40,170) 41,520 | (18,180) 19,530 | (12,900) 14,250 | (129,780) 143,280 |
| 氷塊 | 計 N | | | | | | | | | | | | |

1.6.4 衝撃荷重の推定

sub-arctic 域にて操業するセミ・サブタイプの構造物に氷板もしくは supply vessel が衝突した時に構造物に生じる応力、歪速度について beam theory を用いて概算する。

(1) 対象構造

図 1.6.16に示すようなセミサブを例にとり、その TDB (transverse diagonal brace), HTB (horizontal transverse brace) に氷板または supply vessel が衝突した時の TDB, HTB 端に発生する応力及び歪速度を求める。

(2) 荷重条件

以下の A～D の 4 ケースについて検討する。

| 荷重点 △ 衝突物 | 氷板 | supply vessel |
|-----------------|----|---------------|
| T D B 中央 | A | - |
| H T B 中央 | B | D |
| H T B 端 | C | - |

但し、ケース C の場合は図 1.6.17に示すようにその着力点は HTB 端より 7.5 m 内側とする。

(i) 氷板

参考文献 6) によると sub-arctic 域における平均的な氷の厚さは約 1.0 m～1.5 m である。また、氷板が割られる時の特性長は一般には (1.6.8) で表わされる。

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12 \rho (1 - \nu^2)}} \quad (1.6.8)$$

E : 氷の弾性率

h : 氷の厚さ

ρ : 氷の密度

ν : 氷のポアソン比

式 (1.6.8) によると ℓ は h の約 10 倍前後になることが知られている。また、sub-arctic 域における氷板の速度は、潮流や風の影響を考慮に入れても高々 2 kt である。³⁰⁾

したがって本計算には、以下のように仮定した氷板を用いる。

氷厚 : 1.5 m

形状 : 円形 (直径 15 m)

速度 : 2 kt

(ii) supply vessel

1.3.3 の項で述べたように、DNV 規則と DEN Regulation には accidental impact として supply vessel の衝突が考えられている。ここでは DNV 規則に従って排水量 5,000 トンの vessel が速度 2 m/s で HTB の中央に衝突した場合を考える。(但し排水量の 40% の付加質量を伴うとする。)

(3) 計算方法

TDB, HTB をそれぞれ両端固定の梁とみなす。図に示すように質量 m の物体が速度 V で梁の中央に衝突したとする。梁の剛性をバネ定数 k で表わすと k は、

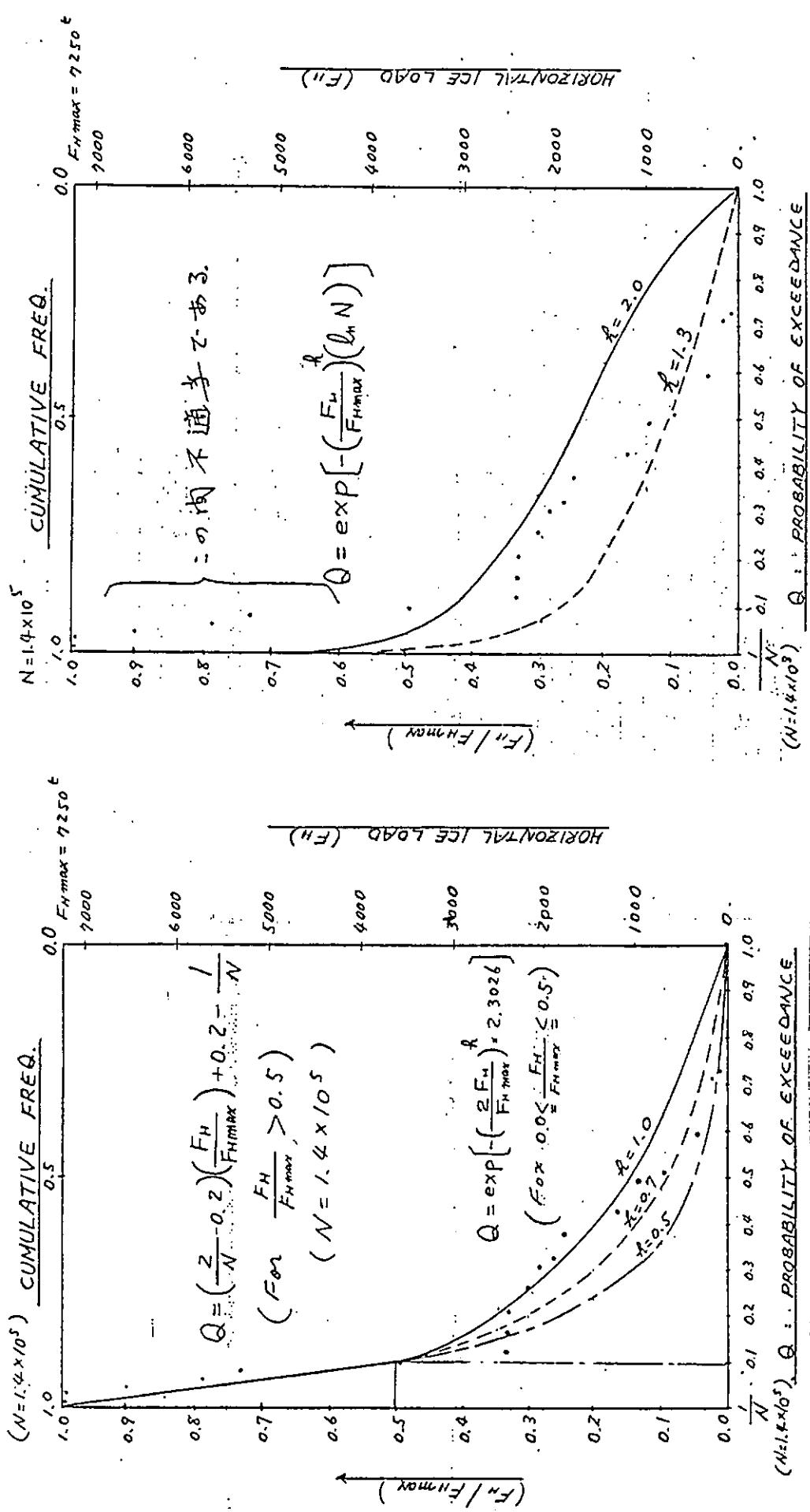
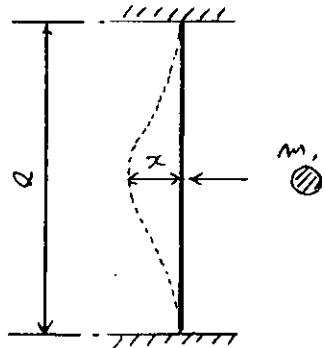


図 1.6.14 1年間ににおける水荷重の超過確率Qの近似

図 1.6.15 水荷重の発現確率計算値とワイル分布との比較



$$k = \frac{192 EI}{l^3} \quad (1.6.9)$$

E : 梁の弾性率

I : 梁の断面2次モーメント

ℓ : 梁の長さ

一方、物体に働く力を F とすると

$$F = m \alpha = -kx \quad (1.6.10)$$

α : 加速度

x : 梁の変位

式(1.6.10)を両端固定の境界条件のもとに解き、梁両端に生じる応力、歪速度の最小値を求めると、最大応力 σ_{\max} 及び最大歪速度 ϵ'_{\max} は以下のようになる。

$$\sigma_{\max} = \frac{\rho k y}{8I} X_{\max} \quad (1.6.11)$$

$$\epsilon'_{\max} = \frac{24y}{\ell^2} \left(\frac{I}{I_E} \right) v \quad (1.6.12)$$

但し $X_{\max} = v \sqrt{\frac{m}{k}}$ 梁中央の最大変位

I : 梁の断面二次モーメント

I_E : 梁端部の断面二次モーメント

y : 梁端部の外径の $1/2$

梁端部に氷板が衝突した場合(ケースC)も同様な考え方のもとに計算を行う。

(4) 計算結果

以上の計算方法により、ケースA～ケースDについてそれぞれ σ_{\max} , ϵ'_{\max} を求めると以下のような結果が得られる。

| ケース | σ_{\max} (kg/mm ²) | ϵ'_{\max} ($1/2$) |
|-----|---------------------------------------|------------------------------|
| A | 19.2 | 0.0237 |
| B | 3.6 | 0.0034 |
| C | 8.3 | 0.0202 |
| D | 38.0 | 0.0066 |

ϵ'_{\max} について見ると、その値は衝突の起こる位置、衝突する物体、TDB, HTBによって多少の差はあるもののオーダー的には $10^{-2} \sim 10^{-3}$ となっている。

参考文献

30) Arctic Deployment of USSGC Polar Star winter 1982

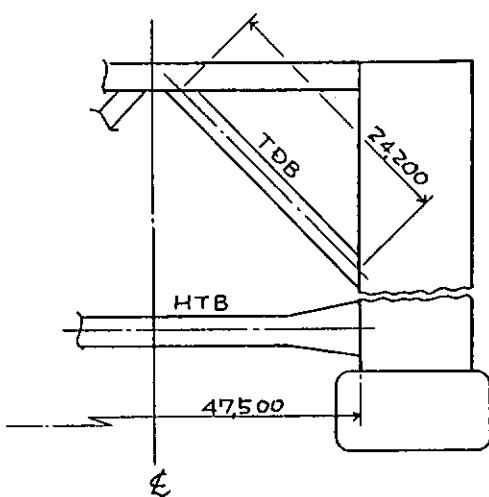


図 1.6.16

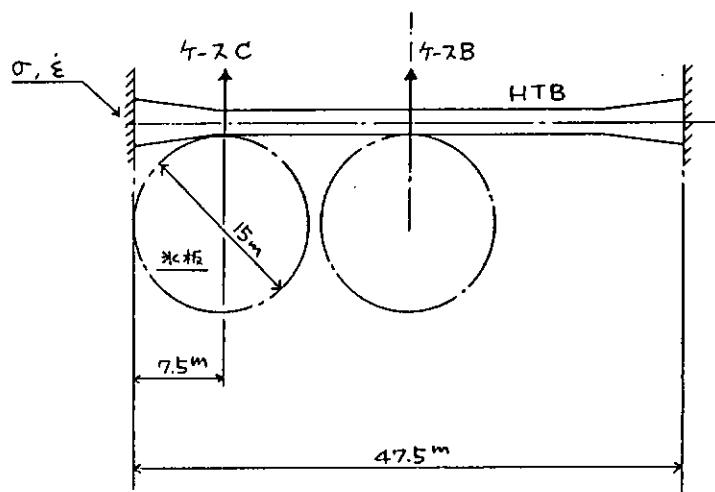


図 1.6.17

2 欠 陷 調 査

海洋構造物に内在するであろう最大初期欠陥寸法の把握を目的に実施した欠陥寸法のアンケート調査の整理結果について述べる。

2.1 調査内容

本章末にアンケートの内容を示す。海洋構造物またはそのモデル試験体において発見された補修前の割れ、融合不良、溶込不足、アンダーカットを対象とし、基本的にそのサイズのみを調査したものである。回収されたデータ総数（欠陥個数）は 580 個で、うち欠陥深さまで記入のあったものは 201 個であった。

2.2 整理結果

扱っている欠陥は、埋没欠陥、表面欠陥であるが、アンケート上では両者の区別はしていない。そこで記号は表面欠陥の場合に準じることにした。すなわち、

欠陥長さ： $2a$ (mm)

欠陥深さ： b (mm)

板 厚： t (mm)

としている。（章末付録「溶接欠陥の調査書き込み要領の図を参照）

(1) データの分類

表 2.1 はデータの基本統計量を示したものである。全データについて $2a$, b , $2a/t$, b/t およびアスペクト比 b/a のデータ数、最大値、最小値、平均値、標準偏差を示してあるが、他に部材別（一般部材、ノード部材）、鋼種別（MS, HT 50, HT 60, HT 80）、欠陥種類別（割れ、融合不良、溶込み不足、アンダーカット）それぞれについてもまとめてある。例えば、平均値と標準偏差について見てみると、数値そのものに関する限り、分類別（例えば MS と HT 50 など）に大きな差がみられる。これはある程度その集合の特性を表わしているのではあるが、基本的にデータ数の大小に差がありすぎ同一のレベルで比較することは難しい。

次にヒストグラムによる比較を行なう。図 2.1～2.3 は全データについての欠陥長さ、深さ、アスペクト比に関するヒストグラムである。この程度データがあればかなりな分布形状が得られているようである。以下では、主として欠陥長さ、深さ共に板厚で無次元化した量を扱う。これは板厚の大小による差を除きたいためである。図 2.4 (a), (b) は部材別の $2a/t$ のヒストグラム、図 2.5(a), (b) は同じく b/t のヒストグラムである。また図 2.6 (a), (b) は鋼種別の $2a/t$ のヒストグラムである。（鋼種別では b/t についてはデータ数にかたよりがありすぎるので除き、また欠陥種類別は、最終目的にとって欠陥種類別に危険度が異なるとすることもなかろうから除いた。） $2a/t$ または b/t について図 2.1 から図 2.6 まで通して比較しても、表 2.1 の数値で見るほどには分布形に差のないことがわかる。

以上より、データ数の少ない集合の信頼性が低くなることも考慮して、ここでは全データをまとめて分布形を定めることにする。

(2) 欠陥長さと深さの相関

次に、 $2a$ と b の間の相関の有無を調べる。 $2a$ と b が同時に記入されているデータに対し、両者の関係を 2 次元のヒストグラム（個数は数値で表わす）で示す。図 2.7(a) は $2a$ と b 、図 2.7(b) は $2a/t$ と b/t の関係である。相関係数 R は各々 -0.045 , -0.106 と極めて低く、また図から直観的にも相関関係は存在しないようである。よって欠陥長さと深さは各々独立として取り扱うこととする。図 2.7(c) は参考として $2a/t$ とアスペクト比 b/a の関係をみたものである。この場合は $b/t \leq 1$ の条件よりデータの存在範囲は $b/a \leq 2/(2a/t)$ となること

に注意する必要がある。

(3) 分布関数へのあてはめ

ここでは 2 母数のワイブル分布

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right\} \quad (2.1)$$

ここで α : 形状母数, β : 尺度母数

へのあてはめを考える。図 2.8(a) はワイブル確率紙への 2 a (全データ) のプロットであるが、図で下側の曲線が生データそのものである。(以後もそうであるが、横軸は 10m を乗じて調整してある) 図のようにワイブル確率紙上でデータが直線関係にならないのは、基本的に (2.1) 式があてはまらない場合(例えば 3 母数ワイブル分布)がまず考えられるが、ここでは考慮すべき点が他にある。つまり、扱っているデータは「発見された」という条件つきのデータであり、極めて値の小さいデータは見落とされていると考えるのが自然である。今、100 A % のデータが(ヒストグラムで言えば、最小クラス以下で) 見落とされていたとするならば見かけの累積相対度数を $F'(x)$ として、真の $F(x)$ は

$$F(x) = A + (1 - A) F'(x) \quad (2.2)$$

で求まることになる。A は未知であるが、2 母数ワイブル分布に従うという仮定の下では、ワイブル確率紙上で直線となるなら A を定めてやればよい。図 2.8(a) の上側の線はそのようにして求めたもので、左端の数字が A を示している。以下、同様にして全データに対して $2a/t$, b , b/t , b/a のワイブルプロットが図 2.8(b)~(e) である。

以下に得られた関数形を示す。

2a :

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{30}\right)^{0.5}\right\} \quad (2.3)$$

2a/t :

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{1.73}\right)^{0.38}\right\} \quad (2.4)$$

b :

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{9.0}\right)^{0.75}\right\} \quad (2.5)$$

b/t :

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{0.33}\right)^{1.0}\right\} \quad (2.6)$$

b/a :

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{0.39}\right)^{0.75}\right\} \quad (2.7)$$

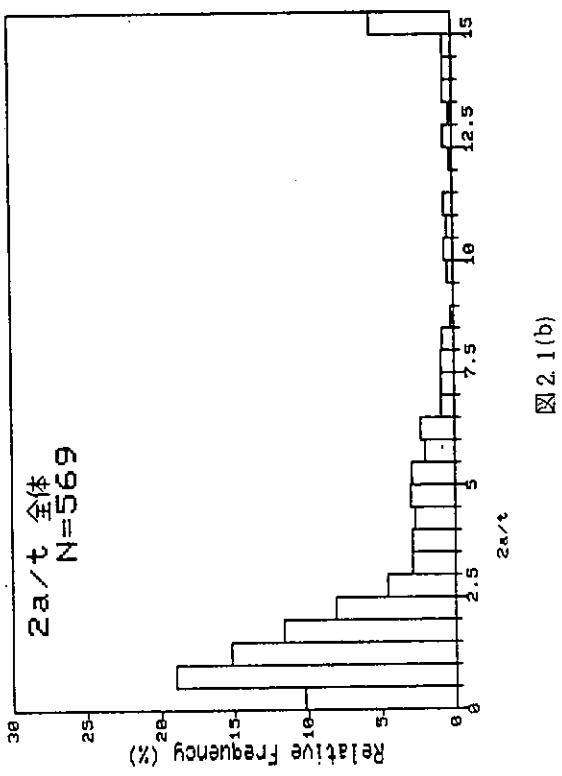
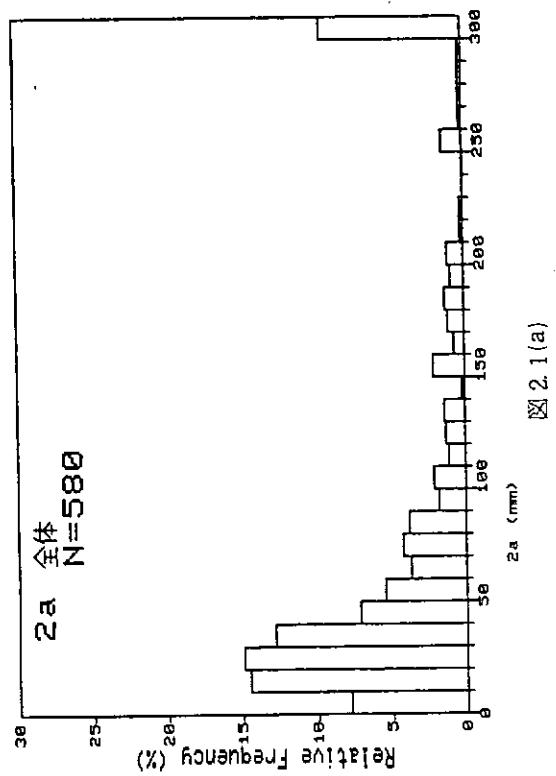
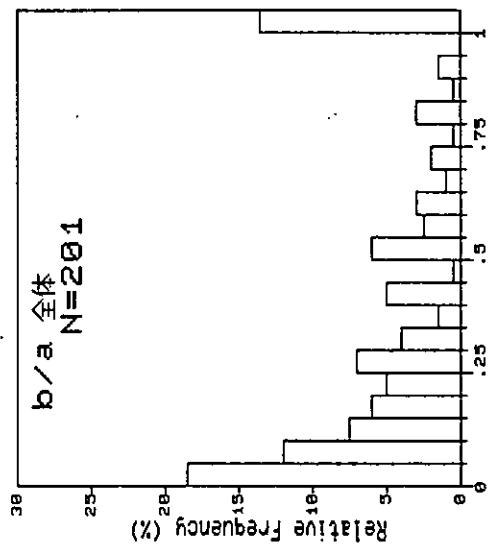
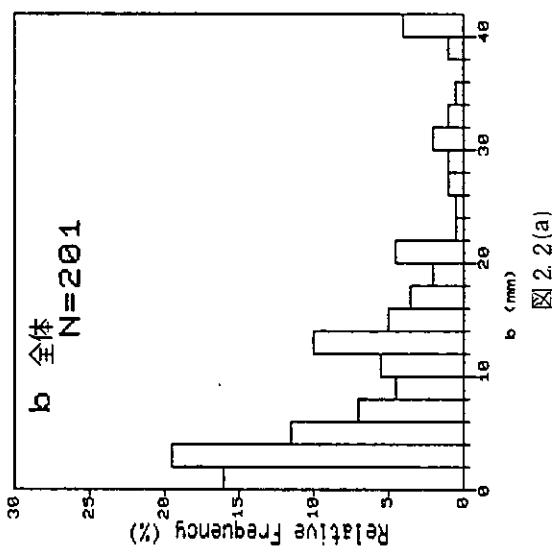
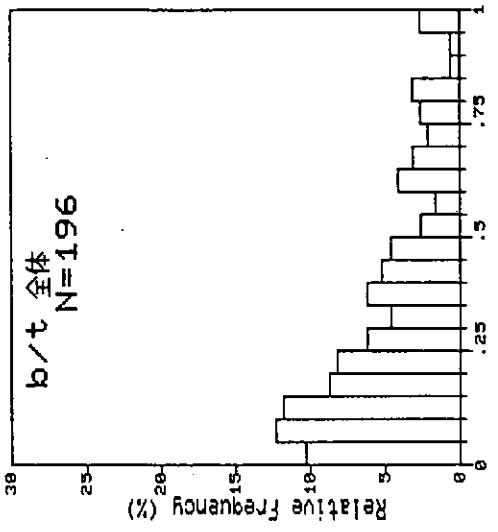
2.3 まとめ

以上、欠陥調査に関して本年度に行った整理結果について述べた。まとめると、収集したデータは部材別、鋼種別などに分類せず全体として取りまとめるようになったが、欠陥長さと深さの独立性の確認およびワイブル分布へのあてはめを行なった。次年度においては、ここでの結果をもとに、欠陥率、発見率などを考慮して最大欠陥寸法の設定を行なう予定である。

表 2.1 欠陥データの基本統計量

| | | 個数 N | 最大値 | 最小値 | 平均値 | 標準偏差 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 全体 | 2 a | 580 | 3100 | 1.5 | 106.1 | 217.6 |
| | b | 201 | 45 | 0.5 | 10.29 | 10.52 |
| | 2a/t | 569 | 80.0 | 0.04 | 3.91 | 6.98 |
| | b/t | 196 | 1.0 | 0.01 | 0.316 | 0.258 |
| | b/a | 201 | 2.364 | 0.003 | 0.433 | 0.502 |
| 部材別 | 一般部材 | 357 | 740 | 1.5 | 90.8 | 144.7 |
| | b | 73 | 45 | 0.5 | 11.71 | 12.66 |
| | 2a/t | 346 | 31.58 | 0.04 | 3.31 | 4.83 |
| | b/t | 68 | 1.0 | 0.01 | 0.380 | 0.333 |
| | b/a | 73 | 2.286 | 0.005 | 0.654 | 0.561 |
| ノード部材 | 2 a | 223 | 3100 | 6 | 130.5 | 297.8 |
| | b | 128 | 41 | 1 | 9.473 | 8.968 |
| | 2a/t | 223 | 80.0 | 0.3 | 4.84 | 9.30 |
| | b/t | 128 | 0.807 | 0.024 | 0.283 | 0.200 |
| | b/a | 128 | 2.364 | 0.003 | 0.307 | 0.414 |
| 鋼種別 | M S | 55 | 300 | 7 | 36.2 | 53.4 |
| | b | 9 | 3.5 | 1 | 1.83 | 0.85 |
| | 2a/t | 55 | 31.85 | 0.3 | 3.23 | 5.23 |
| | b/t | 9 | 0.175 | 0.042 | 0.089 | 0.044 |
| | b/a | 9 | 0.348 | 0.02 | 0.175 | 0.118 |
| HT50 | 2 a | 323 | 3100 | 3 | 106.8 | 253.6 |
| | b | 181 | 41 | 0.5 | 10.27 | 9.77 |
| | 2a/t | 312 | 80.0 | 0.06 | 4.15 | 8.23 |
| | b/t | 176 | 1.0 | 0.01 | 0.324 | 0.256 |
| | b/a | 181 | 2.364 | 0.003 | 0.434 | 0.499 |
| HT60 | 2 a | 78 | 400 | 10 | 57.6 | 75.6 |
| | b | 0 | - | - | - | - |
| | 2a/t | 78 | 16.0 | 0.68 | 2.71 | 2.88 |
| | b/t | 0 | - | - | - | - |
| | b/a | 0 | - | - | - | - |
| HT80 | 2 a | 124 | 740 | 1.5 | 165.7 | 204.7 |
| | b | 11 | 45 | 3 | 17.45 | 18.42 |
| | 2a/t | 124 | 15.96 | 0.04 | 4.36 | 5.85 |
| | b/t | 11 | 1.0 | 0.094 | 0.387 | 0.302 |
| | b/a | 11 | 1.8 | 0.171 | 0.636 | 0.628 |
| 欠陥種類別 | 割れ | 2 a | 139 | 400 | 3 | 39.6 |
| | b | 46 | 32 | 0.5 | 5.95 | 55.7 |
| | 2a/t | 128 | 20.0 | 0.04 | 1.87 | 9.12 |
| | b/t | 41 | 1.0 | 0.01 | 0.222 | 2.78 |
| | b/a | 46 | 2.133 | 0.176 | 0.415 | 0.312 |
| 融合不良 | 2 a | 360 | 3100 | 1.5 | 141.9 | 266.3 |
| | b | 117 | 41 | 1 | 12.19 | 9.74 |
| | 2a/t | 360 | 80.0 | 0.15 | 4.78 | 8.19 |
| | b/t | 117 | 0.942 | 0.042 | 0.360 | 0.233 |
| | b/a | 117 | 2.364 | 0.003 | 0.413 | 0.486 |
| 溶込み不足 | 2 a | 54 | 250 | 5 | 51.7 | 45.8 |
| | b | 23 | 45 | 2 | 15.13 | 13.60 |
| | 2a/t | 54 | 25.0 | 0.1 | 2.31 | 3.53 |
| | b/t | 23 | 0.8 | 0.06 | 0.417 | 0.216 |
| | b/a | 23 | 2.286 | 0.16 | 0.827 | 0.557 |
| アンダカット | 2 a | 27 | 300 | 6.5 | 79.7 | 71.6 |
| | b | 15 | 2 | 0.7 | 1.33 | 0.56 |
| | 2a/t | 27 | 23.62 | 0.65 | 5.12 | 5.72 |
| | b/t | 15 | 0.125 | 0.037 | 0.077 | 0.031 |
| | b/a | 15 | 0.16 | 0.005 | 0.045 | 0.046 |

(注 : 2a, b 単位 mm)



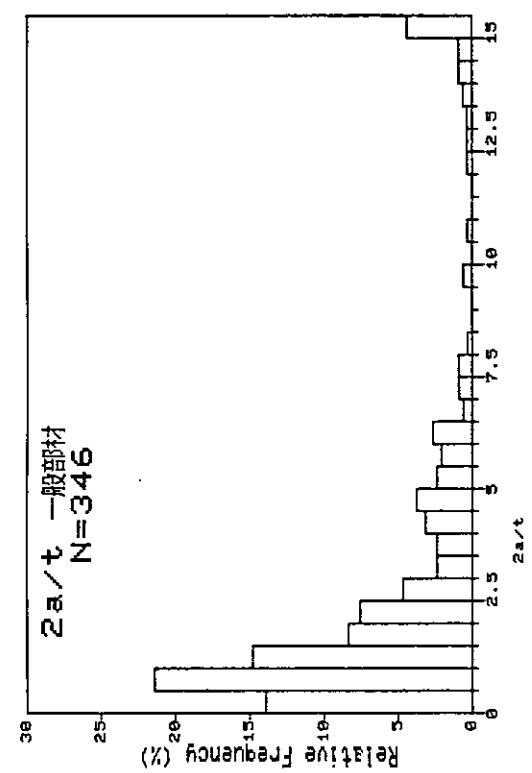


図2.4(a)

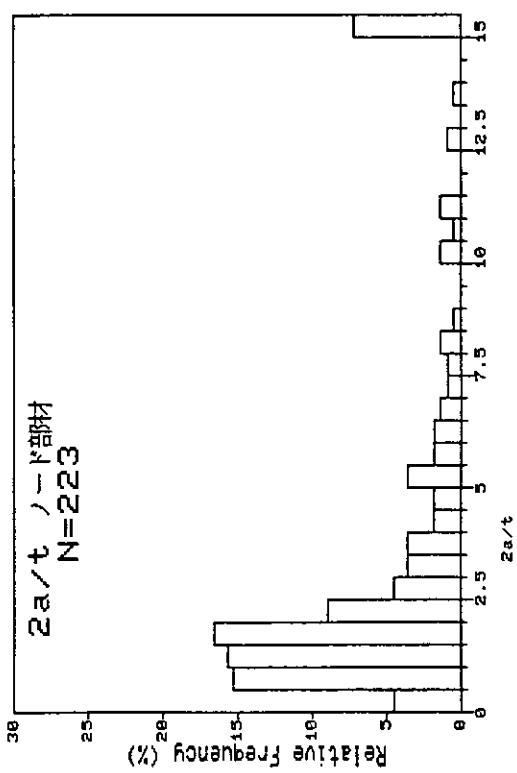


図2.4(b)

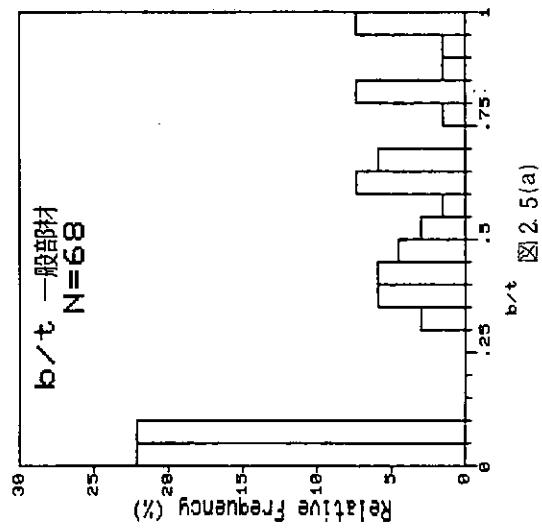


図2.5(a)

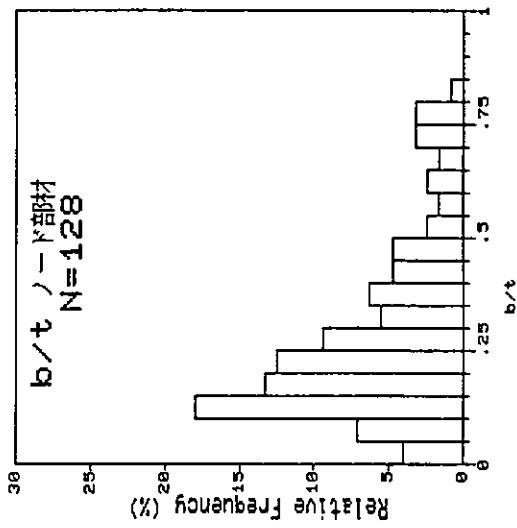


図2.5(b)

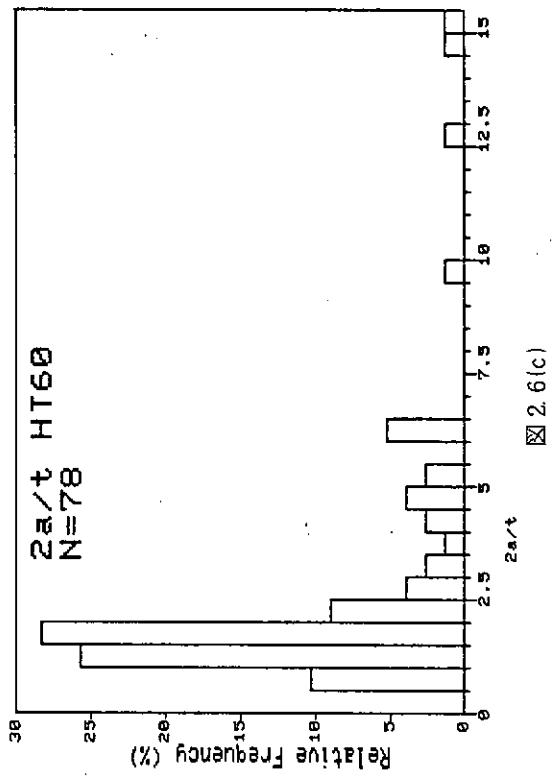


図 2.6(c)

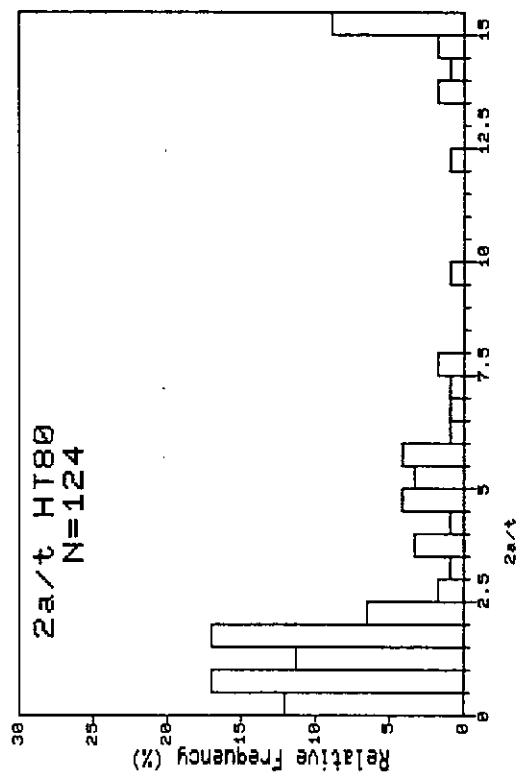


図 2.6(d)

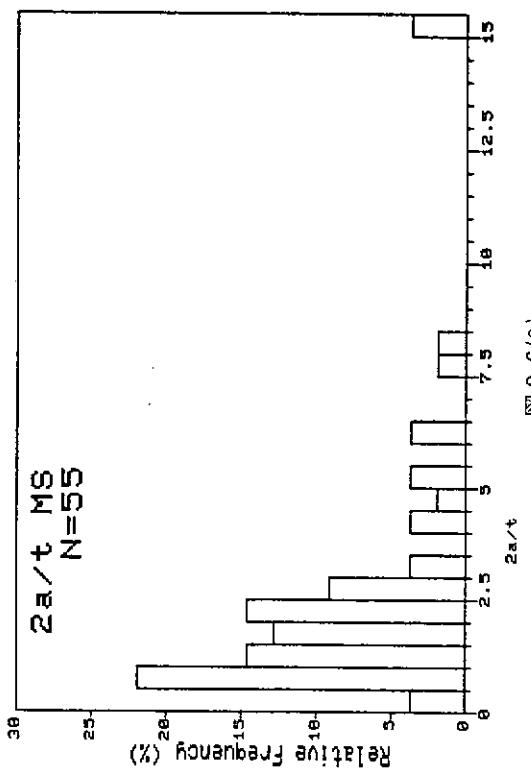


図 2.6(a)

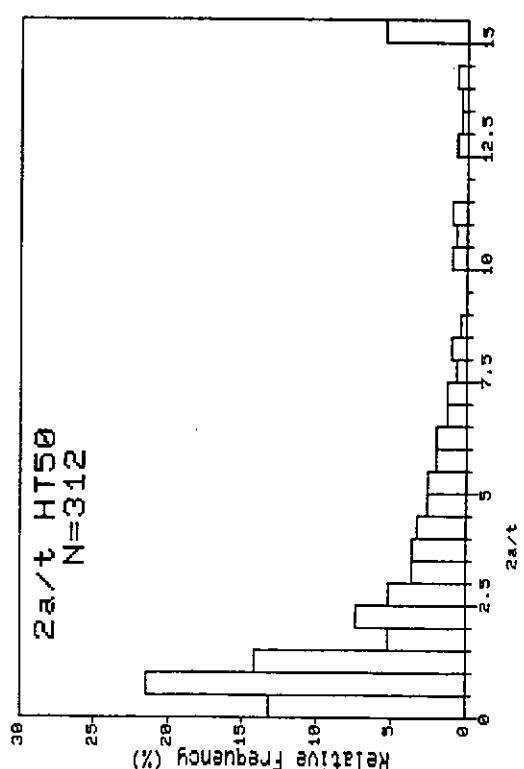


図 2.6(b)

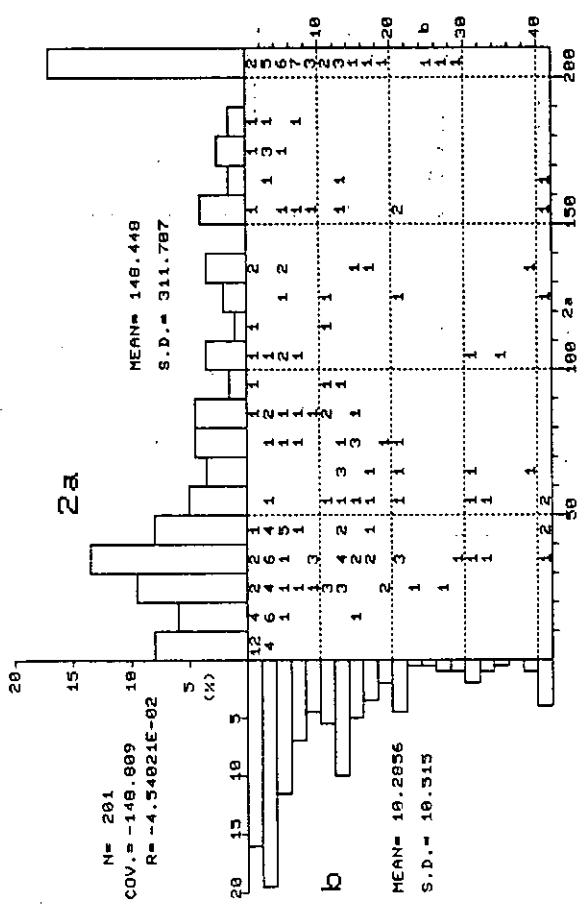


图 2.7(a)

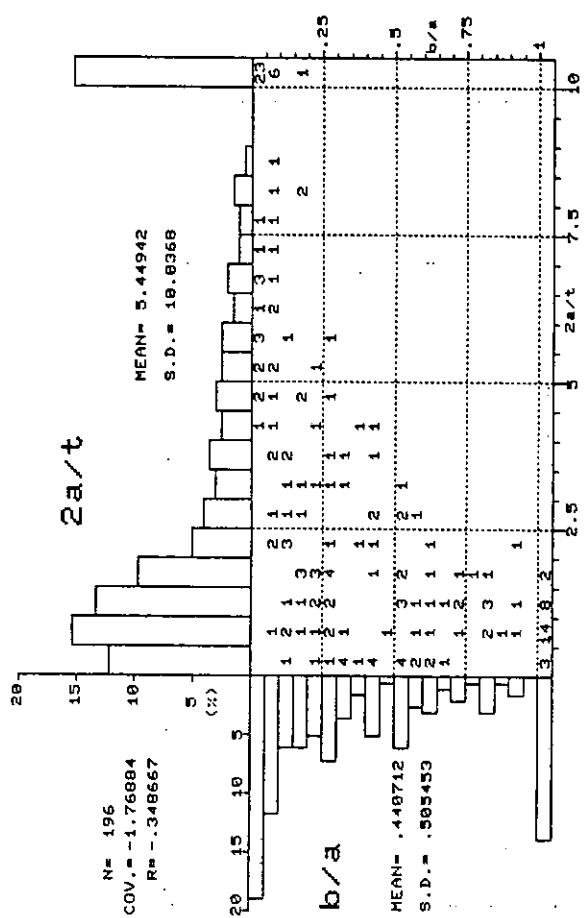


图 2.7(b)

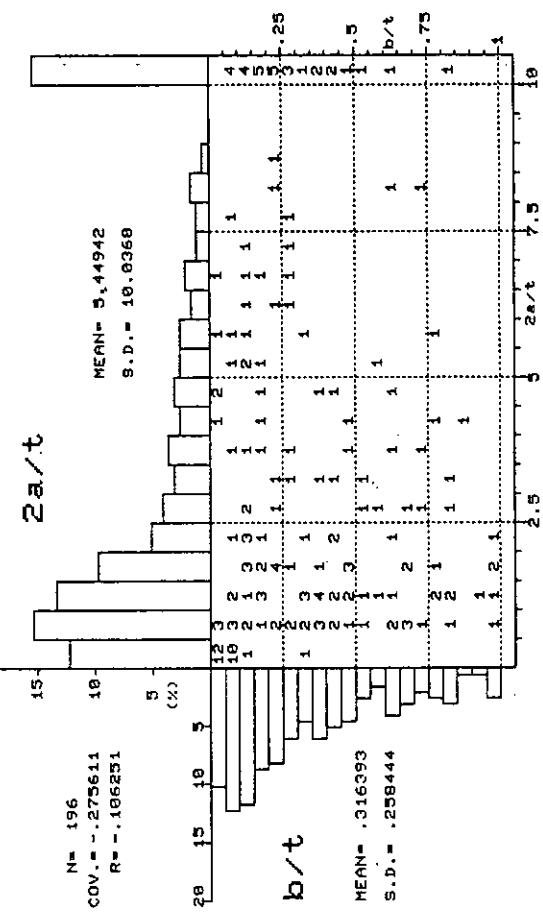


图 2.7(c)

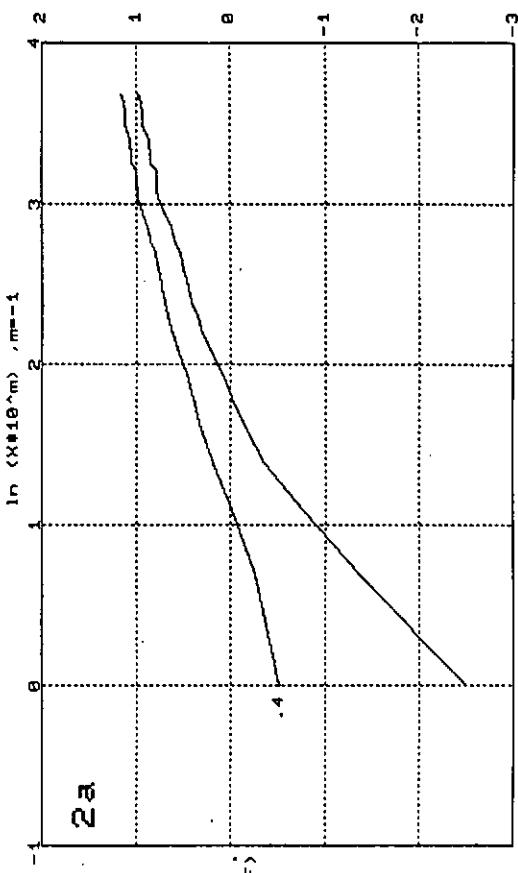


图 2.8(a)

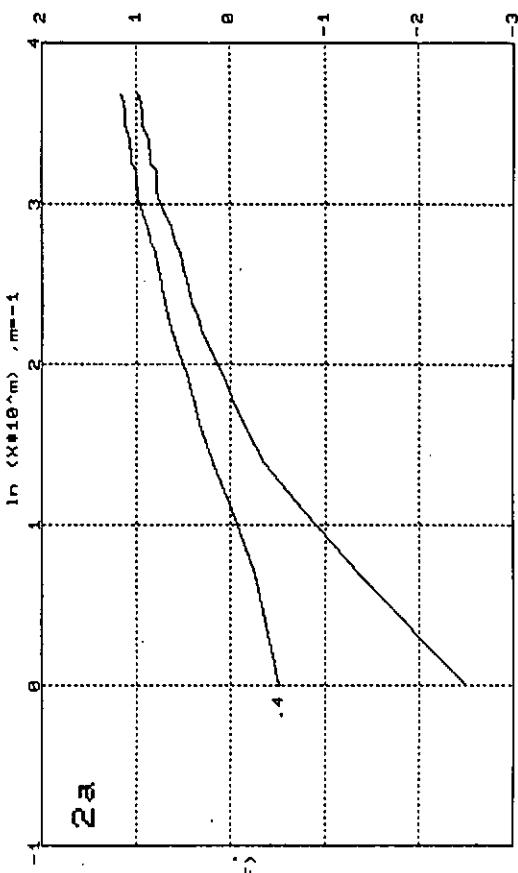


图 2.8(b)

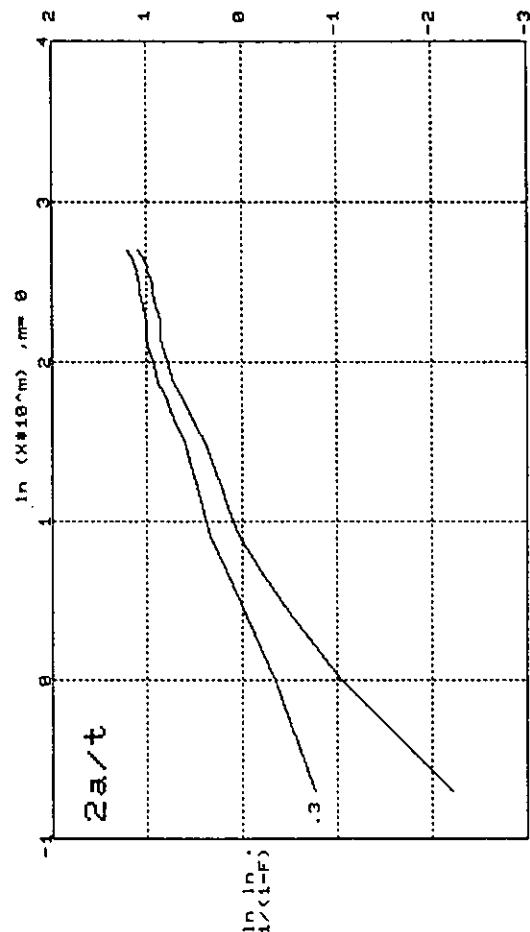


図 2.8 (a)

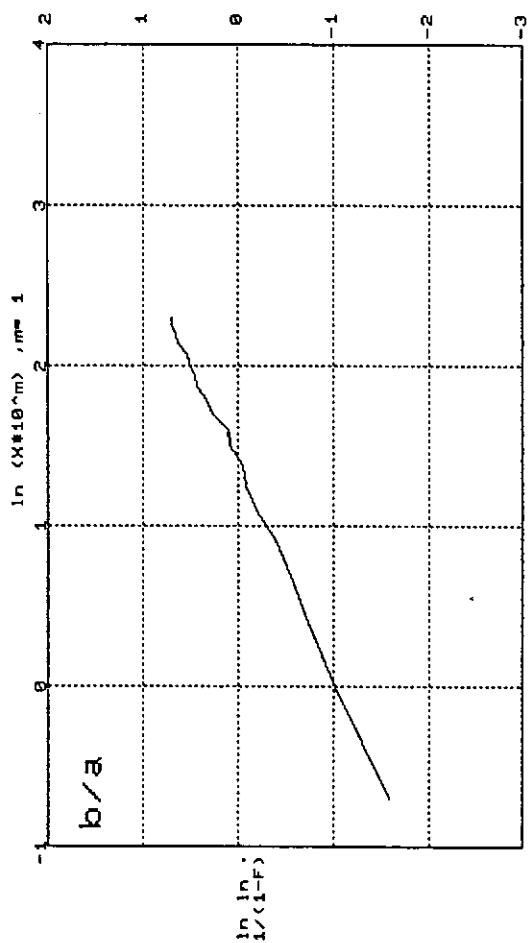


図 2.8 (b)

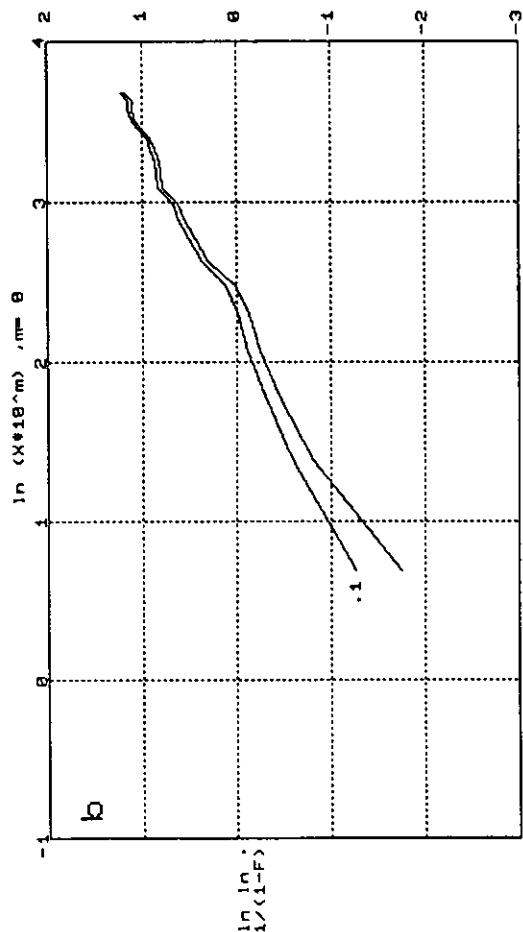


図 2.8 (c)

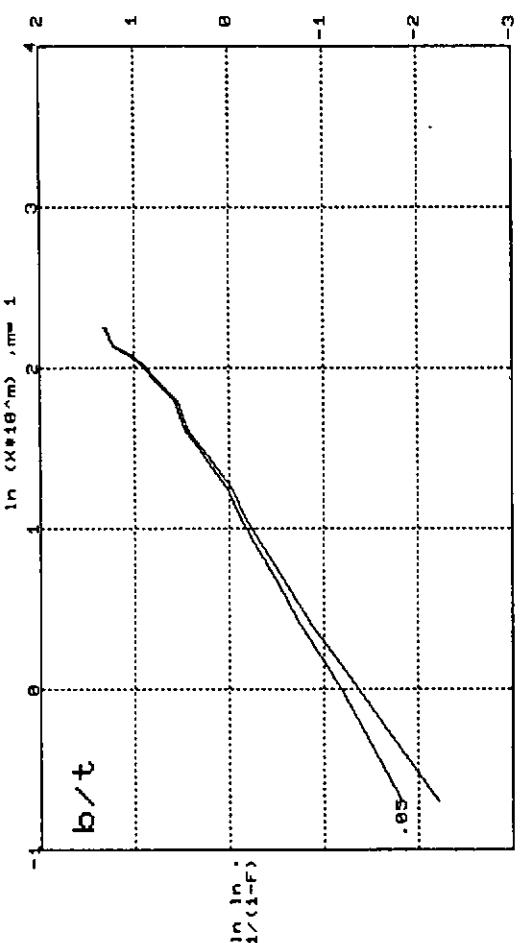


図 2.8 (d)

付録 [溶接欠陥の調査書込み要領]

1) 対象構造物
海洋構造物 (ジャケット含む)、および海洋構造物の疲労強度試験などのモデル試験体

2) 対象欠陥
割れ、融合不良、溶込不足、アンダーカット

(ブローホール、スラグ巻込みは対象からはずす)
3) 欠陥の長さ、深さは下図のように定義して下さい。



埋没欠陥
表面欠陥

4) アンケートに記入していただきたい欠陥
割れ、融合不良、溶込不足、アンダーカットの欠陥 (欠陥の種類が前記のように特
定されなくてても良い) で、この欠陥の大きさ (長さだけが判明しているもの、あ
るいは深さだけが判明しているものでも良い。) が判明しているものについて、すべ
て記入して下さい。なおアンケート用紙の全ての欄がうまらなくても結構です。

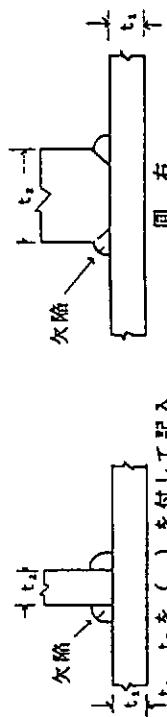
5) アンケート用紙各欄への記入方法
盤理番号： ここでは記入の必要はありません。

板厚： 欠陥の存在した箇所の板厚

a) 突合せ触手の場合



b) すみ肉熔接触手



例：(40.0, 18.0)

なお、板厚がわからぬ場合は空欄でも結構です。

欠陥長： 3) を参照下さい。なお、この長さは非破壊検査で調べた場合の長
さです。ガウジング等で長さを直接測定した場合には数字を ()
で示して下さい。この時非破壊検査で例えば10.0mmと判定し、直
接測定した値が9.0mmの場合には10.0(9.0)と記入して下さい。

欠陥深さ： 3) を参照下さい。欠陥の深さ方向の位置は不用です。欠陥深さの
測定は通常行なわれないと想いますが、補修時にガウジングし
て行く時に、欠陥の深さを測定しておられたり、あるいは精密超音
波探傷などで測定されるなどして欠陥深さが判明しておられました
ぜひ記入して下さい。深さが測定されない場合でも欠陥長が測
定されているときは、この欄を空白のままにして下さい。

欠陥深さの測定手段： 欠陥深さを測定した時の方法を記入して下さい。
欠陥深さが測定されていない時は空白にして下さい。

欠陥の種類： 割れ、融合不良、溶込不足、アンダーカットなどの判定区別を記入
して下さい。判定されていない場合は記入しなくても結構です。
適用NDI： 欠陥を発見された時の発見手段 (アンダーカットでは目視も含む)
を記入して下さい。

部材： ノード部か一般部かを記入下さい。記録に残っていない場合は記入
は不要です。

鋼種： MS, HT-50, HT-60, HT-80等の俗称をわかれば
記入して下さい。

その他： 記入例を参照下さい。

溝挖・欠陥記入用紙

溝挖・欠陥記入用紙

| 番号 | 板厚 (mm) | 欠陥長 (mm) | 欠陥深さ (mm) | 欠陥深さの種類 | 測定手段 | 適用NDI | 部材種類 |
|----|------------|-------------|--------------|---------|--------|-------|-------|
| 4 | 50.0 | 36.0 | | 融合不良 | UT | ノード部 | HT-80 |
| 5 | 50.0 | 36.0 | " | " | " | " | " |
| 8 | 40.0 | 16.5 | 11.5 | ガウジング | 割れ | RT | 一般部 |
| 10 | 45.0 | 26.5 | 4.8 | 精密UT | 割れ | UT | HT-50 |
| 12 | 53.5 | 53.5 | " | " | " | UT | " |
| 14 | 75.0 | 68.4 | 0.5 | モールド | アンダカット | 目視 | 一般部 |
| 15 | 20.0 | 8.0 | 6.5 | 破面 | 割れ | ノード部 | HT-80 |

| 番号 | 板厚 (mm) | 欠陥長 (mm) | 欠陥深さ (mm) | 欠陥深さの種類 | 測定手段 | 適用NDI | 部材種類 |
|----|------------|-------------|--------------|---------|------|-------|------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | |