



UDC 539.375 : 669.14



## 鋼構造物の破壊管理

金 沢 武\*

## Fracture Control of Steel Structures

Takeshi KANAZAWA

## 1. 緒 言

船舶・橋梁などの一般的鋼構造物の各種事故は、過去永年にわたる事故の苦い経過を踏まえた広範囲な安全対策についての研究の成果によつて、最近その数は著しく減少している。

たとえば鋼構造物に生ずる最も重要で致命的な損傷と考えられる脆性破壊の歴史を振り返つて見ると、今次世界大戦に当つて、急速に多数の商船を建造する必要にせまられた米国では、それまで全溶接船の設計、工作上的知識も十分にでなかつたにもかかわらず、建造期間の短縮、材料の節約などのために全面的に溶接工法を採用した。ところがこれらの全溶接船が就航する間もなく構造上の損傷が頻発し、1946年4月末で約5000隻の戦時特急造船のうち約1000隻の船舶に損傷が生じ、その件数は1500件にも及んだ。特に1943年1月16日の未明 Oregon 州 Portland 港で油槽船 Schenectady 号が、竣工後の試運転を終え造船所の艀装岸壁に繋留中に一大音響とともに真二つ折損し、その音響は遠く一哩四方にも及んだ(写真1)。この船に生じたき裂は船橋楼後端に生じ、船体中央部の甲板、左右の船側外板を横切り、船底に達するものであり、造船史上未だ分つてなかつた重大な損傷であつたので、当時米国朝野に一大衝撃を与えた。早速同年4月に国をあげての事故調査委員会が設置

され、その原因調査及び対策の検討が行われた。その後、溶接船の設計上の不備、工作の不良とともに、それまで一般にあまり関心が持たれていなかった船体用鋼材およびその溶接部の低温における破壊靱性値の低いことが、重大な原因の一つとみなされ、材質に関する規則が改訂され、その後の損傷件数は次第に減少した。

もちろんこのような損傷は米国船に限らず、他の国の溶接船にも生じており、特に1954年の冬季、北大西洋で英国船 World Concord 号が折損したことは、この船が脆性破壊に対する防止対策を十分考慮して建造されたものであつたために世界の造船界の注目を集め、船体用鋼材の材質の改善がさらに必要とされる契機となつた。

その後、数回に及ぶ鋼材および溶接部の要求破壊靱性値の向上、設計工作法の改良が行われて現在に及んでおり、脆性破壊による重大事故の件数は著しく減少している。しかしながら事故が皆無になつたわけではなく、1972年に米国の油槽船 Ingram 号が New York 州、Jefferson 港で真二つに折損する事故が生じており(写真2)、さらに1977年米国の沿海用油槽船 Chester A. Poling 号が Massachusetts 州 Ann 岬沖で嵐に遭遇してやはり真二つに折損している。これらの事故についての米国の調査<sup>1)</sup>によれば、前者については積荷の状

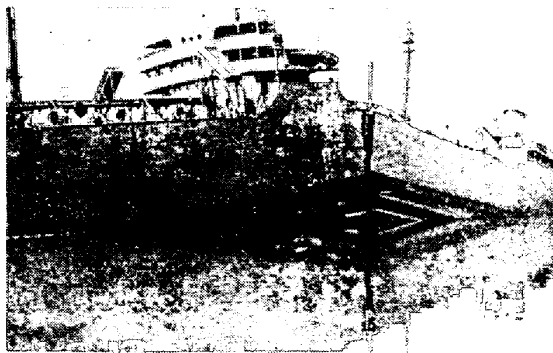


Photo. 1. Overall fracture of Schenectady in 1943.



Photo. 2. Overall fracture of Ingram Barge in 1972.

昭和55年10月18日 本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演

\* 東京大学工学部教授 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku 113)

態が不適當であり、また後者についてもバラスト水の分布が不適切な上に嵐に遭遇したため、船体に過大応力が生じたことによる脆性破壊事故であると結論されている。すなわち、これらは現在の船体用鋼材の要求破壊靱性値が不十分であったことによる事故ではなく、船の載荷についての適切な指針を確立することによつてこのような破壊を防止することができることを力説している。すなわち、船のような一般の鋼構造物では、その歴史は十分に古いものであり、永年にわたる損傷の経験を盛り込んで現在の規則 (Code)、たとえば日本海事協会鋼船規則をはじめ世界の主要因の規則が制定されており、破壊に対して十分な安全性があるものと考えられている。にもかかわらず、このような事故が生ずることは、船の破壊管理・制御には設計、建造中以外にその稼動中を含めて幅広いコントロールが必要であることを示すもので、この観点から現代の規則の改訂、精密化とその補完規則の整備によつて経済性と同時にその安全性が保証されるバランスのとれた船舶の実現が可能になることを示唆するものである。

一方最近の科学技術の発展と相まつて、高度化した社会の要請に対応して新しい形、あるいは非常に高度な性能が要求される構造物の建造が行われている。たとえば LNG 船、石油掘削船、あるいは航空機、宇宙船、原子力プラントなどが挙げられるが、これらは先に述べた橋梁、一般船舶に比べるとその歴史は浅く、事故の経験も比較的少ないものである。したがつて、その設計、建造あるいは稼働中を通じて、その安全性に対する管理について破壊力学をはじめとした現代の最新の技術的知見を十分に駆使し万全を期しているのが現状である。たとえば石油エネルギー危機に呼応して海底油田の開発が盛んに行われるようになり、それにつれて石油掘削船がここ数十年來多く建造され、現在稼働中であるが、1980年3月27日北海で起きた半没水型石油掘削船 Alexander Kielland 号 (海上ホテルに転用) の転覆事故は当時新聞、テレビなどにも大々的に報道されたので未だ記憶に生々しいものである (写真 3, 4 及び図 1)。この破損の原因は 5 本の脚を結ぶ水平部材の測深器の嵌め込み溶接部の欠陥からの腐食疲労き裂の伝播がその原因とされている。この種の海岸構造物では腐食疲労が最も重要な技術的問題であることは早くから認識されており、世界各国、とくに欧州諸国では大規模な共同研究が実施され、その成果の発表も間近い時期でもあつたので、世界各国に大きな衝撃を与えた。この事故は単に腐食疲労の問題に限らず、溶接欠陥の非破壊検査上の問題、さらには何故一本の水平部材の切断が、構造物全体の崩壊につながつたのかというフェイル・セーフ (Fail-Safe) 設計上の問題など破壊管理・制御上検討すべき点が数多く含まれている。このような比較的新しい構造物では、そのより完全な規則 (Code) 化にはなお曲折が予想されるが



Photo. 3. A sister oil drilling platform of Alexander Kielland Henrik.

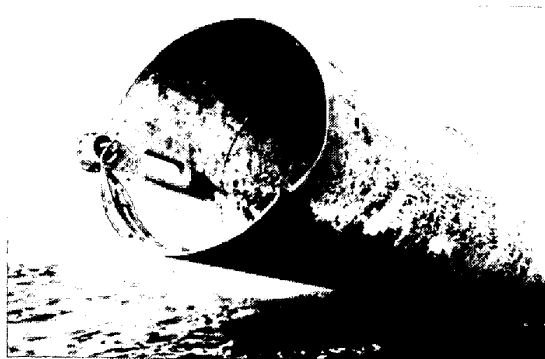


Photo. 4. Fracture appearance of a lower horizontal member of Alexander Kielland.

1954年の1月と4月に相次いで発生した世界最初のジェット旅客機 Commet 号の空中分解事故は、材料、設計の改良とともに、その原因とみられる低サイクル疲労の研究が進み、その後は同様な事故が生じないことを考えあわせると、経済性と安全性のバランスのとれた構造物の設計、製造、あるいは稼働中の破壊管理・制御に対するより完全な規則が制定されることは疑いのないところである。

さて一般に鋼構造物には、その製造時の溶接による各種の欠陥 (溶接われ、溶け込み不足、アンダーカット、目違い、角変形などの工作誤差も含む) のほか、構造的不連続による欠陥が、多かれ少なかれ含まれることは必然的なもので避けることができないが、さらに構造物の稼動中にこれらの欠陥が成長し、あるいは新たな欠陥が発生することは当然考慮されなければならない。構造物の設計、建造中、その完成直後、あるいは稼働中を通じて、構造物の破壊に対する裕度 (破壊耐容性、Fracture Tolerance) を把握することにより、その安全性を管理・制御する工学的方法を一般に構造物の破壊管理・制御 (Fracture Control of Structures) と呼んでおり、各種の構造物にその適用が検討されている<sup>2)~5)</sup>。

## 2. 破壊管理・制御の構成要素

構造物の破壊管理・制御を行うには、考慮すべき要因

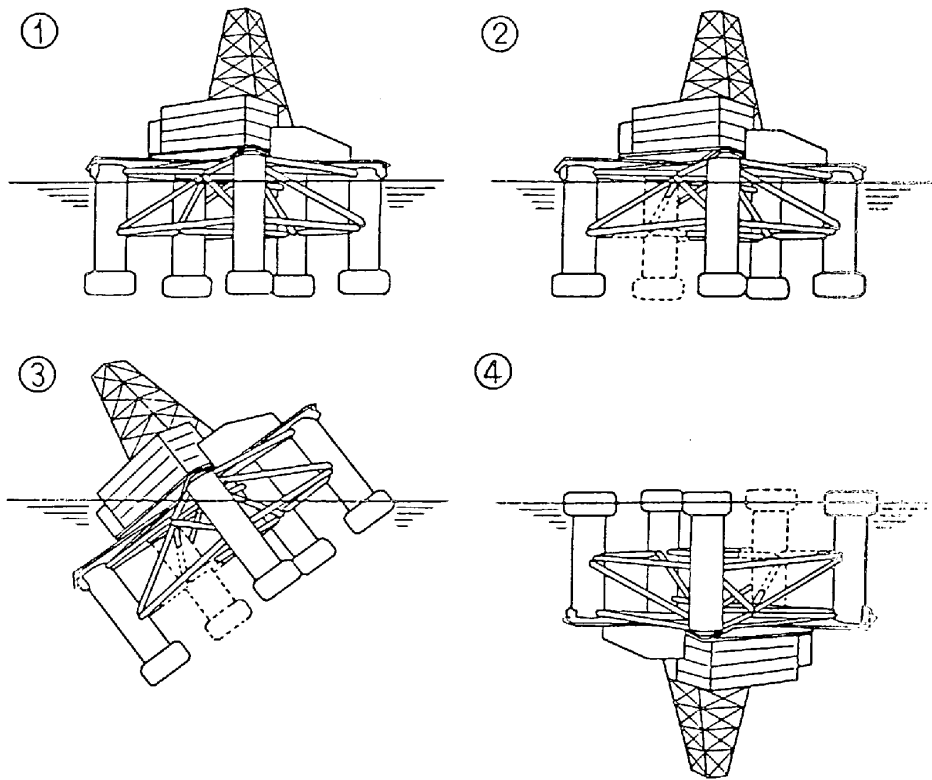


Fig. 1. Schematic illustration for accident of Alexander Kielland.

が数多くあり、これらのすべてを完全に考慮することは不可能であるが、不確実因子をなるべく少なくして、各要素を系統的に考慮することが必要である。以下 Rolfe らの報告<sup>3)</sup>、および日本造船研究協会第 169 研究部会報告<sup>4)</sup>などを参照して、その主な構成要素をあげると次のようなものがある。

### 2.1 基本設計条件(Fundamental Design Condition)

構造物の基本設計時に考慮すべき主な条件としては (a). 設計寿命 (Design Life): 構造物によつてはその耐用年数 (たとえば 20 年)、あるいは構造物が全寿命中に受ける荷重の繰返し数 (たとえば 20 000 000 サイクル) などで与えられることもある。なお構造物の全寿命 (Total Life) を延長するため、その部材の修理、代替を必要とするまでの中間寿命 (Intermediate Life) も当然考慮されるべきものである。

(b). 荷重 (Loads): 構造物の全寿命あるいは中間寿命を通じて、構造物に作用すると考えられる、風力、波力、地震力などの動荷重はもちろん、自重などの静荷重を含めてすべての荷重を考慮する必要がある。

(c). 環境 (Environmental Conditions): 構造物がさらされる最高温度とその持続時間、あるいはその繰返し数など、さらには海水、あるいは圧力容器などの内容物による影響などの環境条件の影響を十分考慮することが必要である。

(e). 安全率 (Safety Factor): 予知できない大きさの荷重、あるいは使用材料の性質の変動、工作誤差に対し

て、破損限界基準値 (座屈限界値、材料の降伏点、破壊靱性値、 $K_{IC}$  など) を実際よりも小さく見積もるか、あるいは構造物に作用する荷重を実際よりも大きく見積もつて、適当な安全率を設定することが必要である。

### 2.2; 材料選定 (Selection of Materials)

船舶・橋梁などの一般構造物では使用材料の機械的性質、あるいは靱性などが、規則に定められており、それに従つて自動的に選定される。しかし経験の浅い構造物、あるいは極限に近い高性能が要求される構造物に使用する材料については、その強度、延長、靱性、加工性、疲労特性、さらには構造物がさらされる環境の影響及びその経済性などを考慮して適当なデータ・ブック、ハンド・ブックなどによつて選定するか、場合によつては材料試験、模型実験などを行つて選定することが必要である。

### 2.3 構造設計 (Structural Design)

構造物が受ける荷重、さらされる環境のもとで、構造物の要素中に生ずる応力の算定を行つてその寸法を決定し、降伏、座屈、疲労、クリープ、脆性破壊などの考えられる損傷の生ずる確率を小さくすると同時に、構造物の材料、設計、工作及び稼動に要する費用を極力少なくして、しかも構造物に要求される機能を満足することが構造物の設計理念である。

(a) セーフ・ライフ設計 (Safe-life Design) とフェイル・セーフ設計 (Fail-safe Design): 破壊管理・制御設計を行うにあつては、セーフ・ライフ設計 (Safe-

life Design)とフェイル・セーフ設計(Fail-safe Design)との区別を明らかにしておく必要がある。セーフ・ライフ設計とは、構造物の建造直後に予想される初期損傷(工作誤差, 初期不整, 溶接われ, 溶け込み不良など)が全寿命にわたつての稼動中に致命的な損傷に発展しないという, いわばメンテナンス・フリー(Maintenance-free)の思想に通ずるものである。これに対して, フェイル・セーフ設計とは, 構造物の稼動中に, 一つあるいは複雑の要素が損傷してもその要素を見付け出し, 修理, 代替をするまでの期間中は, その構造物が安全であることが立証できる設計をいう。一般の構造物ではほとんど後者の理念によるフェイル・セーフ設計が行われている。

(b) 標準基本要素(Standard Fundamental Elements): 構造設計をするに際しては, 実績がありその特性が十分明らかになっている標準基本要素については, 別の種類の構造物に採用されているものであつても可能ながざり採用することが望ましい。たとえば不完全溶け込みの突合せ溶接継手, あるいはグラインダー仕上げをした突合せ溶接継手の疲労強度などの実績データの十分にある基本要素などがこれに相当する。しかし, 実績の不十分な場合は材料選定と同時に試験を行つて特性を把握することが必要である。

(c) 接合方法(Joining Process): 部材要素の接合方法, たとえば溶接方法について, 材料, 方法, 姿勢及び板厚範囲などを考慮して実績に基づいて選定することが必要であるが, 場合によつては溶接施工試験を行う必要がある。

## 2.4 解析(Analysis)

構造の種類によつて要求される解析の精度, その種類は異なるが, これらの解析は上述した構造設計の正当性を評価するもので, その主なものとしては次のようなものが挙げられる。

(a) 応力解析(Stress Analysis): 設計された構造物中に生ずる応力が十分な安全性の余裕があるかを確かめるために行うものであるが, 特に重要な細部構造については, 有限要素法などによる精密解析が要求されることが多い。

(b) 疲労解析(Fatigue Analysis): 繰返し荷重を受ける構造物では, 疲労曲線(S-N曲線)によつて疲労き裂の発生特性を解析し, 疲労損傷が十分低く安全であることを確認する解析が必要である。

(c) 破壊力学解析(Fracture Mechanics Analysis): 一般的構造物に対しては要求されることはほとんどないが, 比較的経験の浅い構造物あるいは高性能構造物では要求されることが多い。この解析は破壊力学を用いて初期欠陥からの安定き裂(疲労き裂など)の成長, 伝播停止を解析し, 初期欠陥あるいは生長した安定き裂からの不安定破壊(脆性破壊)の発生, あるいは伝播停止を解

析することによつて, 構造物の安全性を検討するものである。

(d) フェイル・セーフ解析(Fail-safe Analysis): 上述した諸解析を総合して, 構造物の一つあるいは複数の要素が損傷しても, その時点における残余強度(Residual Strength)と残余寿命(Residual Life)を把握して, その要素の代替, 修理までは構造物が安全である裕度, すなわち破壊耐容性(Fracture Tolerance)を求め, フェイル・セーフ設計が成立していることを確認する。

## 2.5 品質保証(Quality Assurance)

構造物の規則, あるいは性能仕様書に定められている要求に従つて設計された構造物が, 実際にその通りに建造されることを保証するための管理・制御システムを総称して品質保証といい, 以下に述べるような要素が考えられる。

(a) 各種の品質保証基準(Standards for Quality Assurance): 材料受納基準, 加工基準, 溶接法基準, 工作精度基準, 検査基準, 補修基準などの構造物の品質保証のための各種基準を設定して, それに従つて構造物の建造過程の管理・制御を行う必要がある。特に検査基準は許容初期欠陥寸法の大きさに直接影響する重要なものである。

(b) 追跡評価性(Traceability): 構造物に使用する材料特性, 履歴はもちろん, 加工・組立に関する記録を残しておくことは, 構造物の稼動中に発生する損傷の原因の研究, その補修に重要なものとなるので, 破壊の管理・制御の観点からは非常に重要なことである。

(c) 保証試験および実証試験(Proof Test and Verification Test): 圧力容器などは, 完成後水圧試験を行つてその安全性を保証することが行われているが, また小さな機器, あるいは大量に生産される自動車などでは, 実際より苛酷な条件下での加速試験を行つて, その安全性を確かめることが行われている。なおこれらの試験はその構造物の種類によつては行われぬ場合もある。

## 2.6 稼動中の管理・制御(In-service Control)

構造物の稼動中の状況を監視し, その破壊耐容性を常に把握することは, 構造物の破壊管理・制御のもつとも重要なことであるが, このため種々の方法が講じられている。

(a) 定期検査および修理基準(Periodic Inspection and Repair Standard): 構造物の稼動中に, その種類に応じた適当な時期に検査を行つて要素の損傷の有無を確かめ, 必要な場合には修理基準に従つて, 損傷部の修理あるいは代替を行うことになる。

(b) 稼動中のモニタリング(In-service Monitoring): 稼動中の状況を監視し, 異状状況の発生に対処して適切な処置がとれる態勢を確立しておくことが必要である。たとえば航空機に搭載しているフライトレコーダ

一、あるいは LPG 船、LNG 船に設置するガス漏洩感知装置などがこれに相当する。

(c) 構造物の操作マニュアル (Manual for Operation) : 構造物の稼働中の誤った操作による事故はかなり多い。このようなミスを防ぐためには、完全なマニュアルを作成し、それに従って操作する必要があるが、特に異常事態の発生に対処するためのマニュアルは重大事故を防止する上から重要なものである。

以上、構造物の破壊管理・制御を構成する主要要素について簡単に述べたが、これらの間の関係を図に示すと図 2 のようになる。もちろん上述した各要素以外にも構造物の種類によつては考慮しなければならないものも考えられるが、構造物の設計、建造あるいは完成後の稼働中を通じての破壊管理・制御によつてはじめて構造物の安全が確保されるものであることを理解する必要がある。

### 3. 独立方形タンク方式低温型 LPG 船タンクの破壊管理・制御解析

さきにも述べたように、船舶などの一般的構造物では、その歴史の古さと膨大な実績に立脚した規則がほぼ確立されており、これによつて破壊の管理・制御が行われているのが現状であるが、これまでに蓄積された実績からの類推が困難な特殊船の開発建造や、その歴史も比較的浅く、また万一の損傷時に大規模災害が発生する恐れのある船舶、LNG 船、LPG 船などの主要部分に対しては、破壊の管理・制御によるフェイル・セーフ設計・解析が必要となつてきている。たとえば従来、独立方形タ

ンク方式低温度 LPG 船に対しては、万一のタンクの破壊を考慮して、二次防壁となる船体内殻には、タンクと同等の低温用鋼の使用が義務付けられていたが、最近では就航中に万一タンク皮材に疲労き裂が発生・成長し、皮材を貫通し LPG の漏洩が検知された後、最少限 15 日間は、そのき裂が脆性破壊に移行することがない場合には、タイプ B タンクとして二次防壁を省略してもよい、すなわち船体内殻には一般船舶用の鋼材を使用してもよ

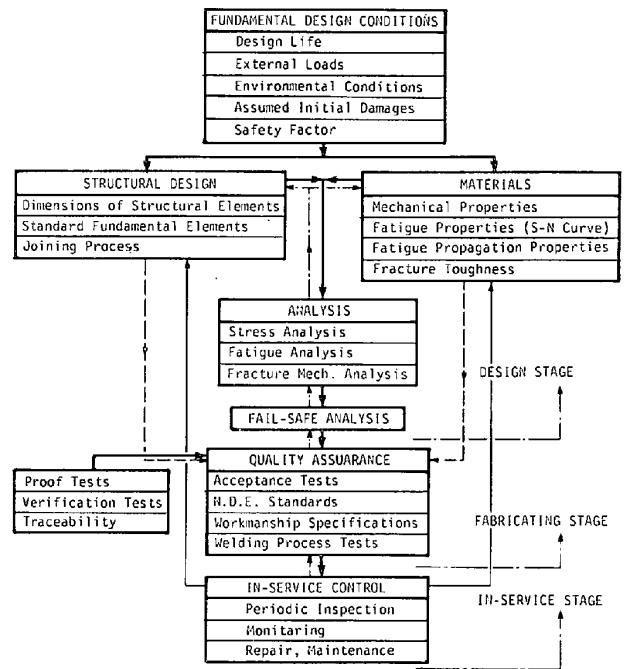


Fig. 2. Relation between constitutive elements of fracture control of steel structure.

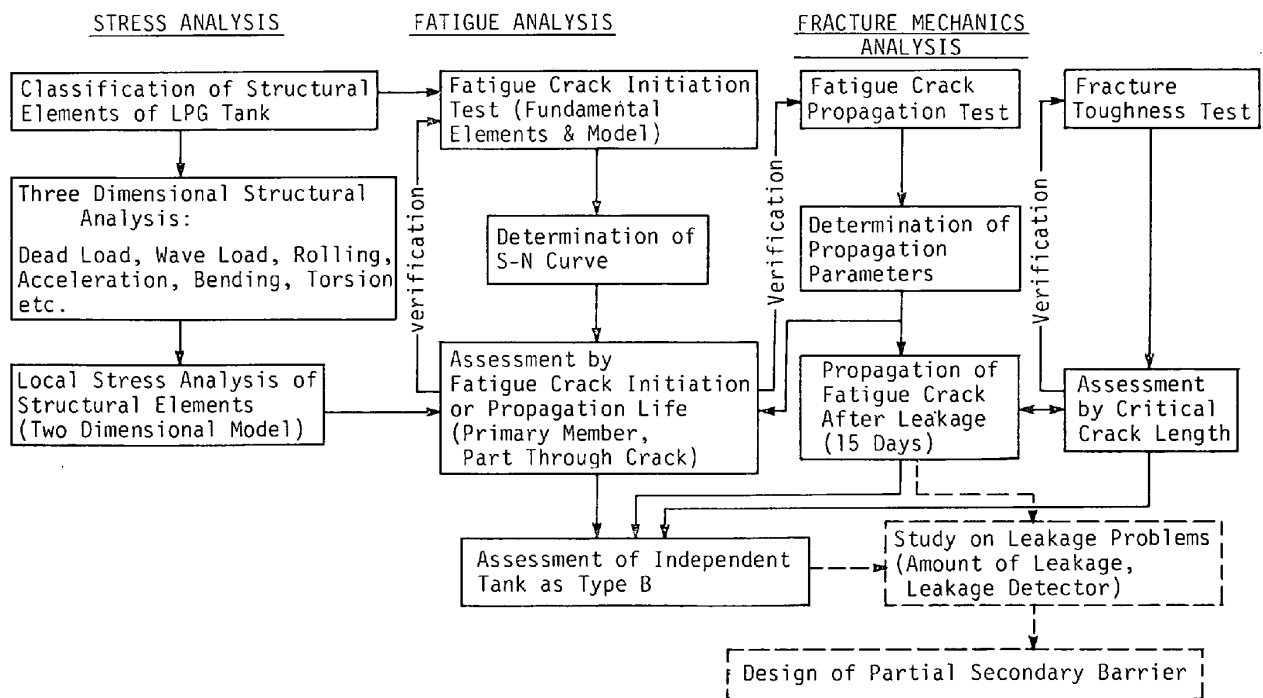


Fig. 3. Procedure for assessment of independent tank of LPG container ship as type B.

いことになった。なお上記の 15 日間の期間は損傷発生後、最寄りの港に入港して修理をするまでの期間として定められたものである。

図 3 は日本造船研究協会第 3 基準研究部会<sup>9)</sup> で検討されたタイプ B タンクとしての評価のフローを示したものである。すなわち、図に示すように応力解析、疲労解析、破壊力学解析を通じてフェイル・セイフを検証するものである。このようなフローに従って、まず応力解析として、タンクの主な構造要素 (主桁構造、タンク板防撓材・支持材ならびにタンク材) についてタンクの全体解析、局部解析を行い、その解析結果が正確であることを立証するために、タンク水張試験時の荷重条件での応力解析を行い、実測応力値と解析値とがよく一致することを確認する。つぎに解析で得られた応力値を用いて疲労解析、破壊力学解析を実施する。その結果、

(1) すべての解析対象箇所において、LPG 船の寿命 20 年間の疲労被害度は十分小さく、疲労き裂発生強度は十分であること。

(2) 疲労き裂が発生したと想定した場合、その伝播速度は非常に遅く、疲労損傷による大きき裂の発生はあり得ないこと、

(3) 疲労き裂が生長し、タンク板を貫通するなど、重要構造要素に疲労損傷による大きき裂が発生したと想定した場合でも、15 日間にその疲労き裂が脆性破壊 (不安定破壊) に転化することがないこと、

などが明確にされた場合には、タイプ B タンクとして評価されるわけである。このような手順を経た LPG 船の設計<sup>7)</sup>、建造が最近行われているが、その詳細は紙面の都合で省略することにする。

4. 一般船舶の破壊管理・制御設計の具体例

先にも繰返し述べたように、船舶・橋梁などの一般構造物については永年の経験にもとづいた規則が制定されているが、より完全な破壊管理・制御を進めるために

は、現行の規則の改良や精密化が必要であることが最近認識され、欧米各国で研究が盛んに行われており、我が国でも数年来、この方面に関する研究が、日本造船研究協会、第 153 研究部会<sup>8)</sup> で、引続いて第 169 研究部<sup>4)</sup> 会で行われている。この研究の内容は多岐にわたっているが、以下簡単にその概要を述べることにする。

まず船舶の種類として、油槽船、コンテナ船、ばら積貨物船を選び、これらの船殻をまず位置による対象構造 (Objective Structure) を部分構造 (Partial Structure) に分類し、さらにスチフナーやスロットなどの局部構造を含む構造要素 (Structural Element) に類別した。構造要素は単一あるいは数枚の板材の立体的組合せ、すなわち部材要素 (Local Element) の集積と考えられ、終局部には部材要素の集まりに分解した。油槽船の横桁、縦桁等のロンジ材貫通スロット部についての構造要素分類の例<sup>8)</sup> を図 4 に示す。

また部材要素をその形状と境界力の種類によつて類型化し、ほぼ実験室での試験片と同じ程度の対応を持たせたものが図 4 および図 5<sup>4)</sup> に示す基本要素 (Fundamental Element) である。これらの基本要素はき裂の発生

Table 1. Relation between fracture type and classified structure of ship hull.

Mode of fracture		Partial structure	Structural element	Local element	Fundamental element
Fatigue crack	Initiation	—	—	—	◎
	Propagation	—	○	◎	○
	Arrest	—	◎	◎	—
Unstable crack	Initiation	—	—	◎	◎
	Propagation	○	—	○	—
	Arrest	◎	◎	—	—

◎ : Mainly concern    ○ : Secondary concern

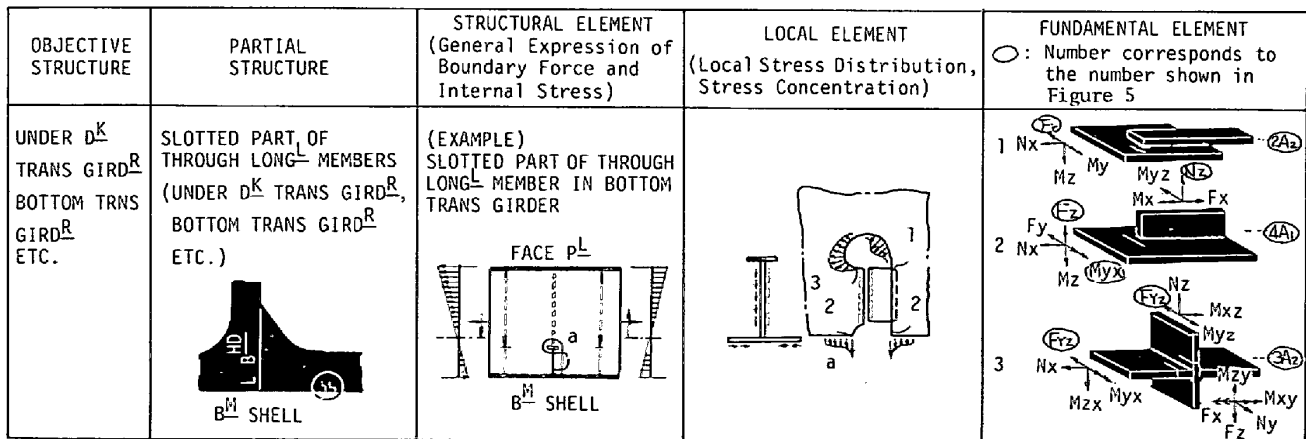




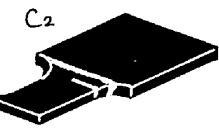



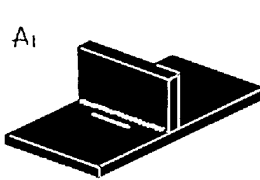
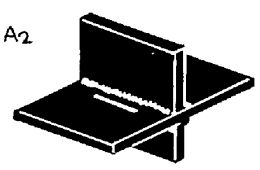
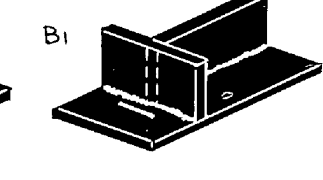
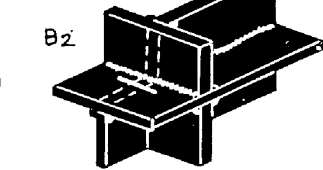
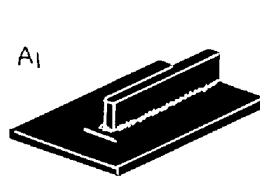
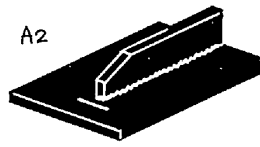
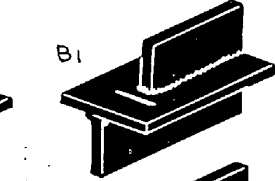
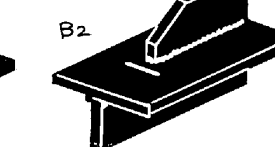
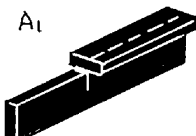
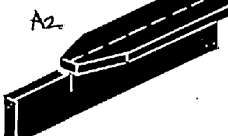


Fig. 4. An example of classified structure of oil tanker (Structure including transverse and vertical girders).

	FUNDAMENTAL ELEMENTS	GENERAL SHAPE		
1	STRUCTURAL STRESS CONCENTRATION PART AND BUTT WELD JOINT.	A 	B1  B2 	C1  C2 
2	LAP JOINT AND DISCONTINUOUS PART OF PLATE THICKNESS	A1 	A2 	B 
3	T JOINT AND CROSS JOINT	A1  A2 	B1  B2 	
4	END OF STIFFENER AND BRACKET ETC.	A1  A2 	B1  B2 	
5	END OF FACE BAR ETC.	A1 	A2 	

— : indicates a crack

Fig. 5. Fundamental elements of ship structure.

を対象とした場合にその基本となるものであるが、さらに伝播あるいはその停止を取扱う場合には、より広い範囲を対象とする必要がある。表1<sup>8)</sup>は構造パターンと破壊様式との関連を示したものである。

船殻部材一般を対象に、破壊力学解析を通じて、船舶の破壊管理・制御を行うことを考える場合には、すでに

1章で述べた材料選択基準、工作精度基準など実に多くの基準が関係しているが、図6<sup>4)</sup>は船体の外板に存在する欠陥からき裂が発生・伝播する場合と、内殻材からき裂が発生・伝播する場合の破壊力学解析の流れ図を示したものである。

本研究では、船体構造でき裂の発生がしばしば観察さ

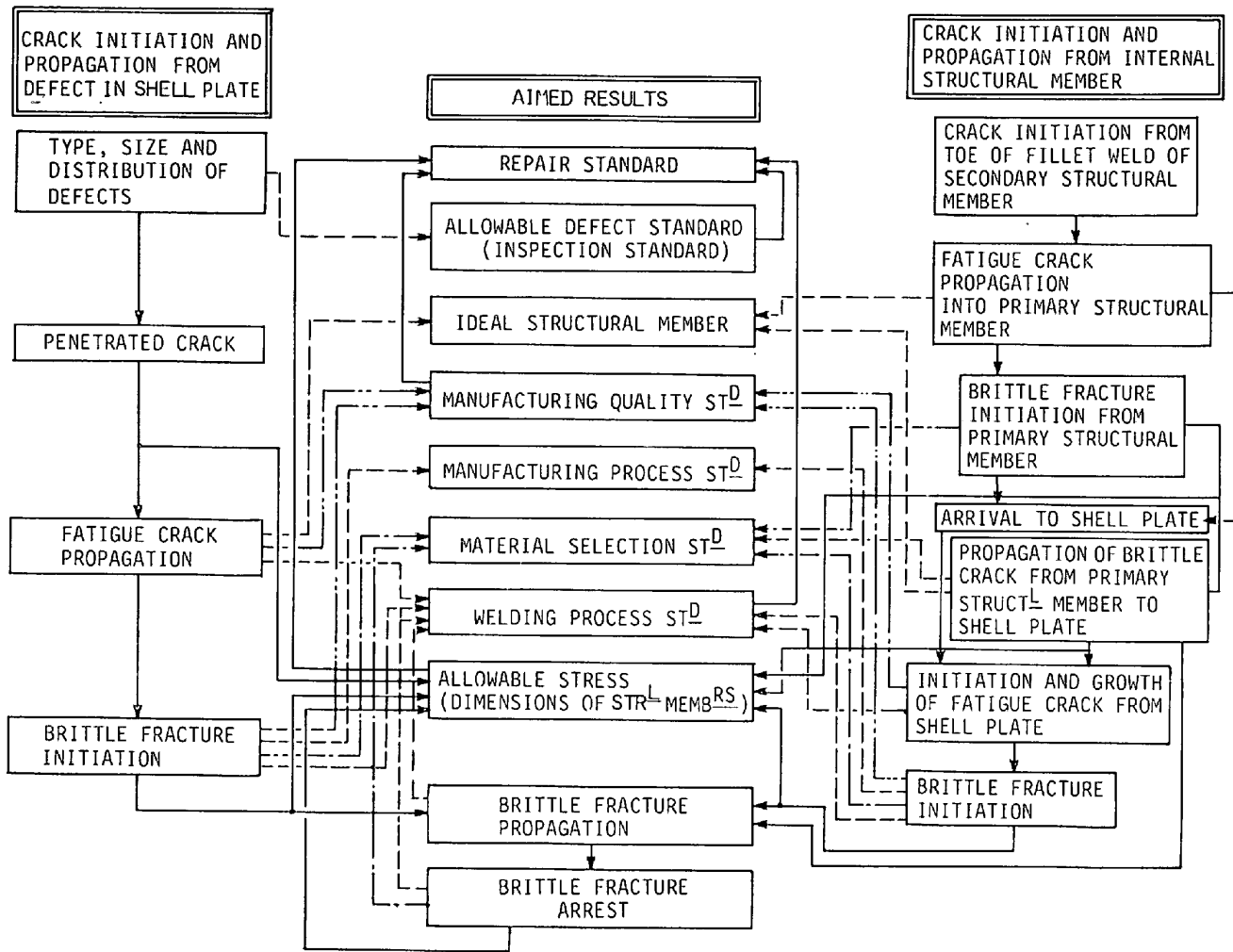


Fig. 6. Flow chart for fracture mechanics analysis ship hull structure.

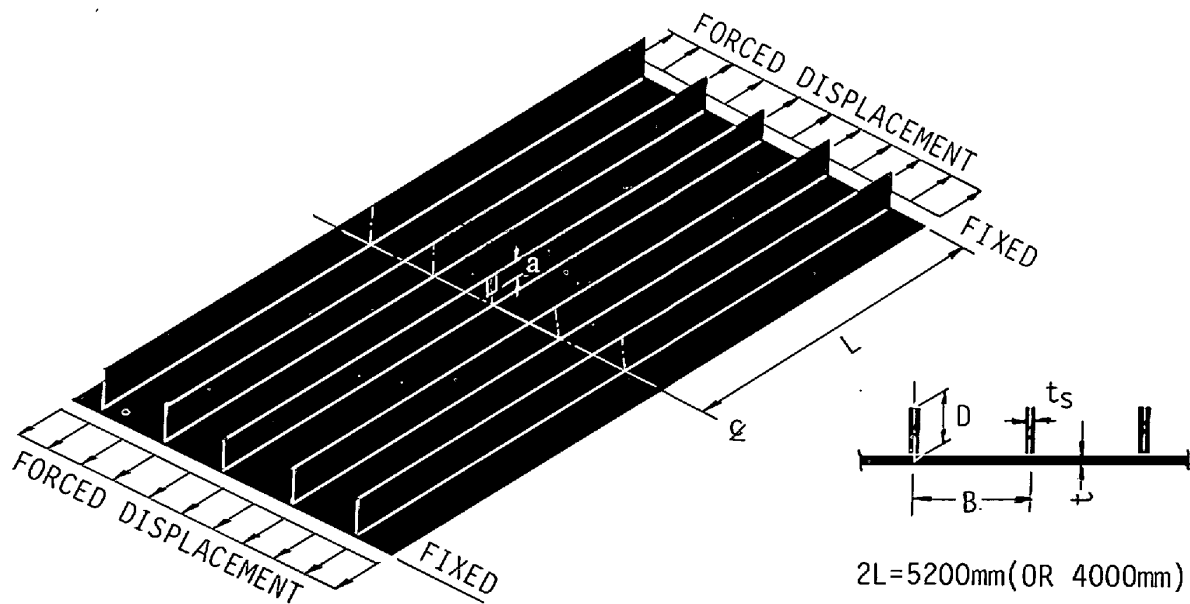


Fig. 7. A fundamental structure for case study.

$2L = 5200\text{mm (OR } 4000\text{mm)}$   
 $B = 1000\text{mm}$     $D = 500\text{mm}$   
 $t_s = 35\text{mm}$     $t = 25\text{mm}$





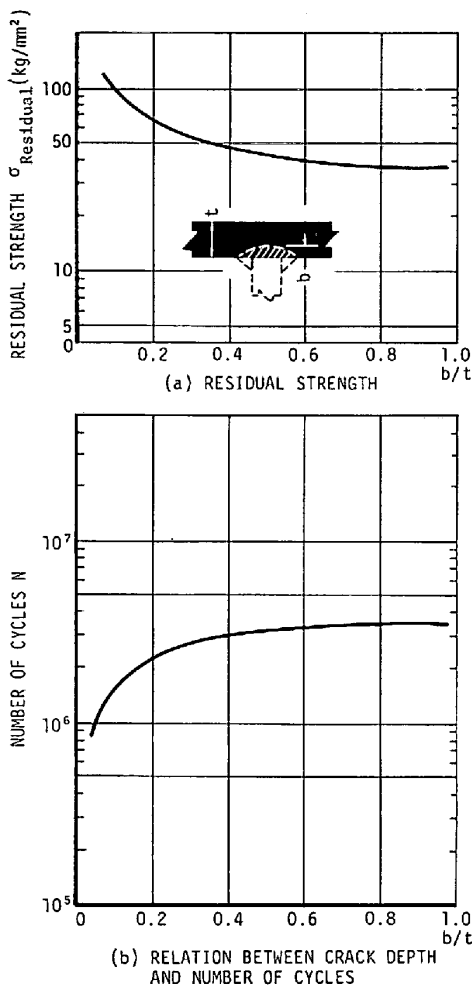


Fig. 10. Shape change and residual strength of a surface crack at crossing position of a stiffener and panel plate.

この図より、パネル板中のき裂半長、 $a$ 、が約 130 mm になった時点で残余強度が  $20 \text{ kg/mm}^2$  となり、異常状態荷重によつては脆性破壊に転化することがわかる。パネル板中のき裂がさらに進展して隣接スチフナに接近すると、図 12 に示すように、その拘束効果によつて、き裂先端の応力拡大係数、 $K$  値、が減少する。したがつて  $K_{IC} = K_{ARREST}$  の仮定によれば、たとえき裂半長が 130 mm 以降の状態でも脆性破壊が生じて、隣接スチフナの手前約 100~150 mm の位置で停止することが予想される。

以上一般船舶を対象とした破壊管理・制御の具体例として、日本で行われている研究のごく一部について簡単に述べたが、破壊力学解析自体に限つても、現在なお、その定量的な解析法自体にも数多くの問題が残されており、将来の研究に待たねばならない点が多いが、とくに面倒な解析でなく、構造設計者にも容易に使用できるような簡易推定式の提案が望まれている。この点、上述した共同研究は、破壊力学の研究者と設計技術者との緊密な連携で行われているもので、その成果が各方面から待

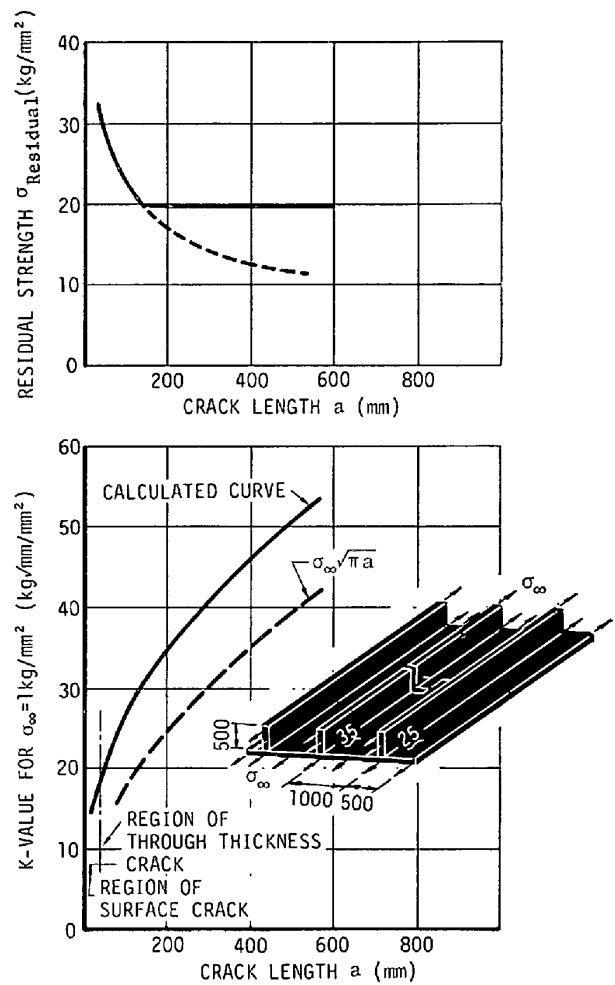


Fig. 11. K-value and residual strength of a crack propagated into panel plate.

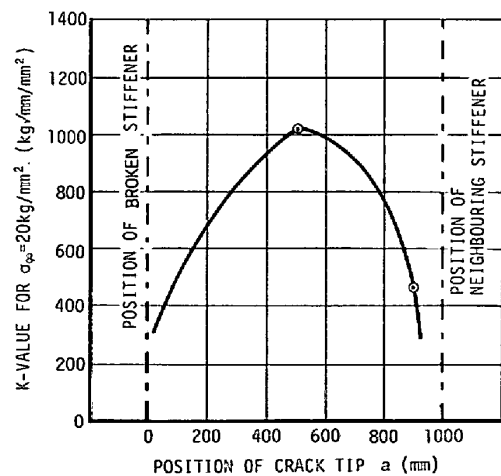


Fig. 12. Effect of a neighbouring stiffener on K-value of a crack propagated into panel plate.

望まれている。

## 5. 結 語

鋼構造の破壊管理・制御は、その設計・建造時はもちろん、その完成後の稼動中を含めた広範囲、また多岐にわたる工学的手法から構成されているものであるが、具体例として独立タンク形低温 LPG 船、および一般船舶について、その一部であるフェイル・セーフ解析について概説した。諸言でも述べたように経験の豊富な一般的構造物と、経験の浅い高性能構造物に対するその方法には、おのずから相違があるが、その境界を判然と定義することはできない。しかしながら、構造物の破壊管理・制御は研究者、設計技術者、建造技術者および構造物の操作員など広範囲な協力によつて、はじめて、安全でかつ経済性にすぐれたバランスのとれた構造物の実現が可能になるものである。

## 文 献

- 1) S. T. ROLFE, "Structural Integrity in Merchant Ship", *Journal of Engineering Materials and Technology*, 102 (Jan., 1980), 15
- 2) S. T. ROLFE, D. M. RHEA, and B. O. KUZAMANOVIC, "Fracture Control Guideline for Welded Steel Ship Hulls, "Ship Structure

Committee Report, NO. SCC 244 (1974)

- 3) H. T. McHENRY and S. T. ROLFE, "Fracture Control Practices for Metal Structures", NBSIR 79-1623, (Jan., 1980)
- 4) 日本造船研究協会第 169 研究部会, "船体構造の破壊・管理・制御設計に関する研究報告書" 日本造船研究協会研究資料 No. 297, (昭和 55 年 3 月), 研究資料 No. 315, (昭和 54 年 3 月) および研究資料 No. 326 (昭和 55 年 3 月)
- 5) 渡辺昌建, 矢島 浩, 川野 始, "船殻構造の破壊管理・制御設計", 三菱重工技報, 16(1979)
- 6) 日本造船研究協会第 3 基準研究部会, "危険物の特性および運搬船の特殊設備に関する調査研究報告書", 日本造船研究協会研究資料 No. 68R (昭和 53 年 3 月) および研究資料 No. 78R (昭和 54 年 3 月)
- 7) 渡辺昌建, 矢島 浩, 伏見 彬, 飯塚晴彦, 他: "低温式 LPG 船独立型方形タンクの IMCO タイプ立証のための破壊機構解析", 三菱重工技報, 17(1980)
- 8) 日本造船研究協会第 153 研究部会, "厚鋼板大入熱溶接継手の脆性破壊強度および疲労強度に関する研究報告書 II", 日本造船研究協会研究資料 No. 267-2 (昭和 52 年 3 月)