

船体の脆性破壊事故例について

大谷 碧
大阪大学工学部
上田 幸雄

1. ま え が き

船舶においては安全性というものが保証されねばならないが、近年においても破壊による事故が報告されている。

船体構造において材料の破壊による損傷には、主として疲労によるものと脆性破壊によるものがある。疲労破壊では、応力の繰返しにより亀裂が生じるまでに幾年も経過することが必要な場合もあり、かなり、ゆっくりと伝播して行き亀裂によって横断面の面積が減少し強度が不足するために、最終的な破壊となるのが一般である。この疲労破壊では亀裂が発生するまでに応力が変化する必要があり、そのために時間が一つの大きな要素になっている。

一方、脆性破壊は突如として発生し急速に伝播するので、この場合には、構造物の経過年数に関係なく、疲労の場合の時間に代って温度が危険な影響を及ぼすことになる。さらに構造物の応力状態およびそれに集積されたエネルギーが亀裂の進展に決定的な役割を果すことになる。疲労破壊の場合は応力の変化が問題であって圧縮応力の場合も生じるが、脆性破壊は常に引張応力によってのみ惹起されることが特徴である。

構造物の疲労強度に関する研究はずっと以前よりなされて来たが、溶接構造物の脆性破壊が重要な問題として取り上げられるようになったのは、第2次大戦中に米国で建造された全溶接の戦時標準船リバターに連続して発生した脆性破壊による大事故以来である。それ以後、脆性破壊に関する調査と研究が活発に始められ多くの成果を収めている。

溶接構造物の脆性破壊事故調査に関してはアメリカの船体構造委員会の報告書¹⁾を始め幾つかの著名な文献²⁾がある。一方、国際溶接学会が数年来この種の調査を国際的な規模で行っており、一昨年その中間報告³⁾が発表された。

ここでは、この国際溶接学会の報告を中心とし、特に船体構造に注目し脆性破壊事故例の紹介と共に、その影響因子について検討する。

2. 事 故 例

上記の国際溶接学会の中間報告の中から、幾つかの船体構造事故例を引用し紹介する。

2.1 冷凍船 (図1)

1957年に建造された載荷重量7,000トンの冷凍船が、1958年4月に入渠中、冷凍室の甲板に大亀裂が発生した。その時の冷凍液は -30°C で外部に対する温度の絶縁が悪く船のトランク・ユームイング附近は -25°C になっていた。

この事故の要因としては、まず最初に冷凍パイプの絶縁不良による他の部材の温度低下が挙げられる。この他、開口部補強板が手動ガス切断されていたため内周隅部に鋭い角を残していたし、温度差により甲板の広範囲に熱応力が生じていた。また、使用鋼板のV切欠シャルピー衝撃試験における破壊が、延性から脆性に移る遷移領域は -20°C であって -25°C の温度状態における脆性破壊の発生と、 -15°C ～ -20°C の伝播を防げなかったと考えられる。

2.2 タンカーの上甲板 (図2)

1952年に建造された排水量12,000トンのタンカーが、1960年12月、停泊中に、中央上甲板に大亀裂が発生した。その亀裂の発生位置は油量計測口で亀裂は約2.6Mにも及んでおり、破面の最初の100mmは錆びていた。この部分の亀裂は高応力疲労によるものと考えられる。この場合は図2に示したように長円形をした油量計測口が、船の長さ方向に生じる引張応力と直角になっており大きい応力集中を生じることになる。さらに計測口がガス切断のまままで仕上げられておらなかったことも局部的高応力の発生をうながし、塑性疲労亀裂の発生となった。なお、鋼材の切欠靱性は、やや劣っており疲労によって生じた亀裂の伝播が促進されたことになる。

2.3 タンカーの梁上側板 (図3)

載荷重量15,400トンのタンカーが1945年に建造され、1959年2月13日、14,141トンの原油を積んで入港し、翌14日、荷おろしを完了した。それから15日に、燃料油1,500トン第1および第2番の中央タンクに積んだとき爆音と共に破壊した。

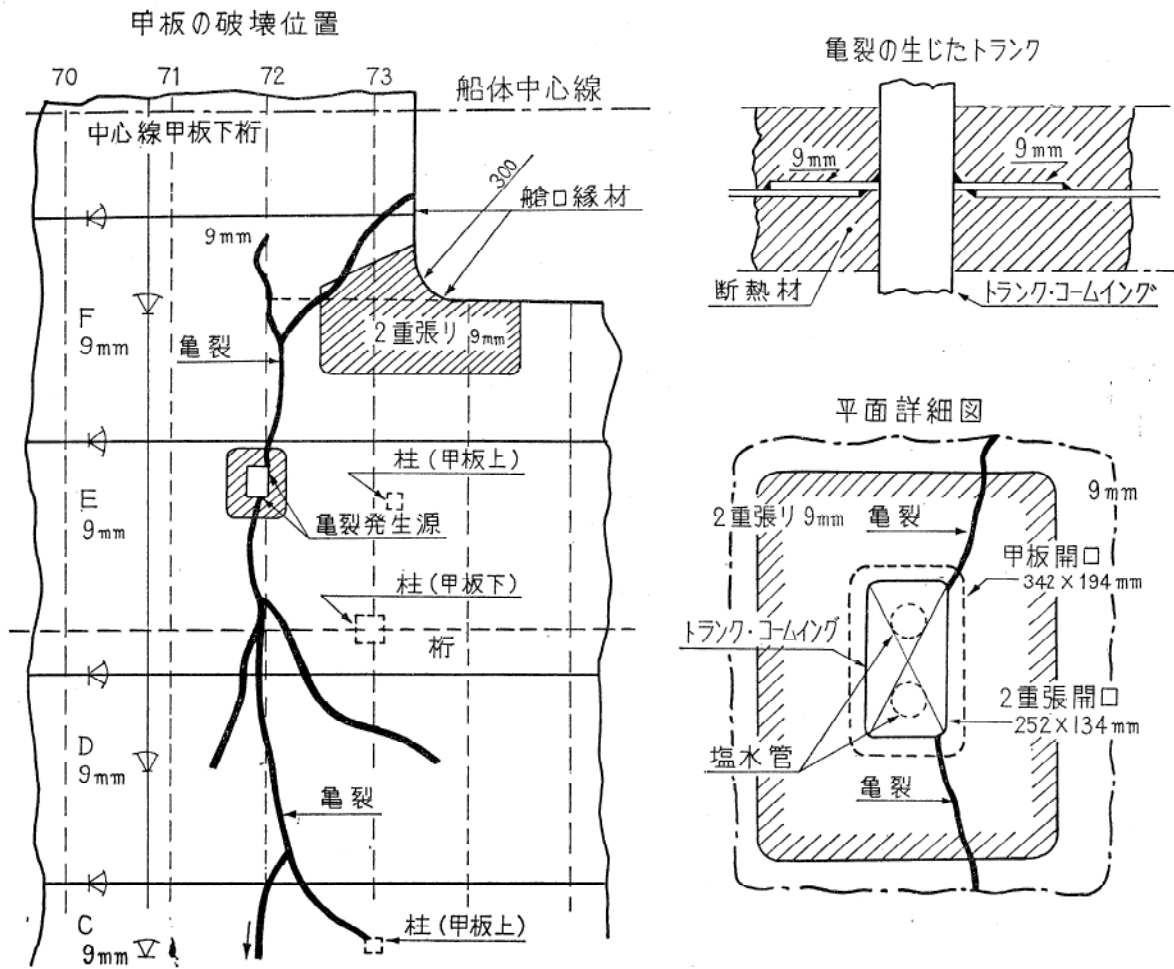


図1 冷凍船

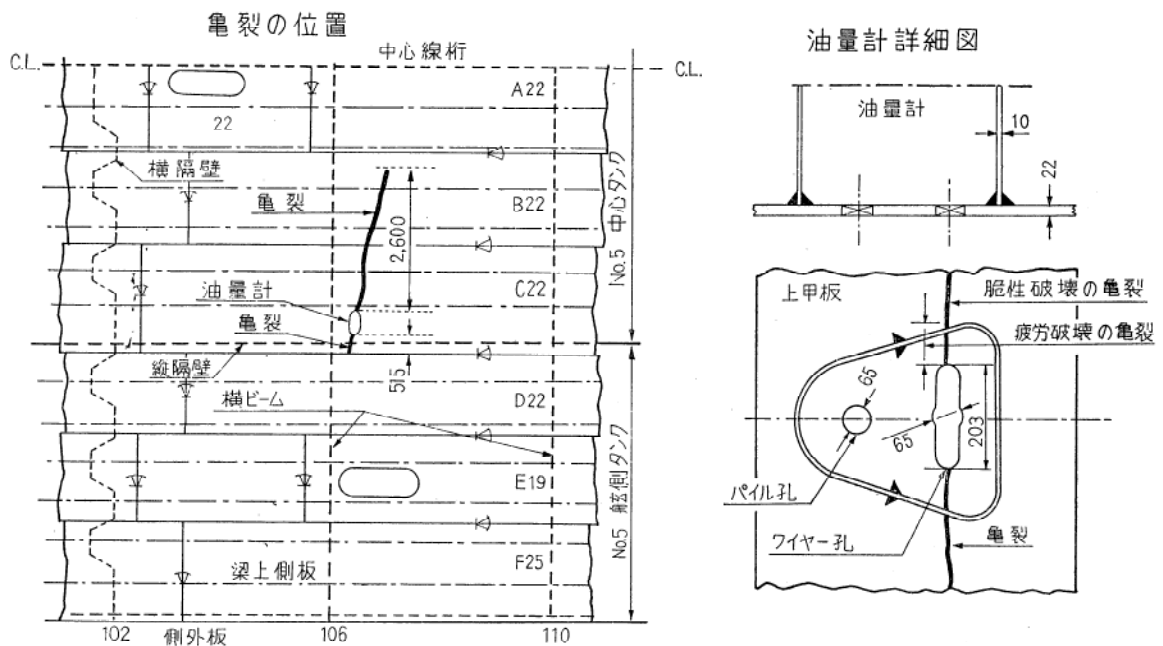


図2 タンカーの上甲板

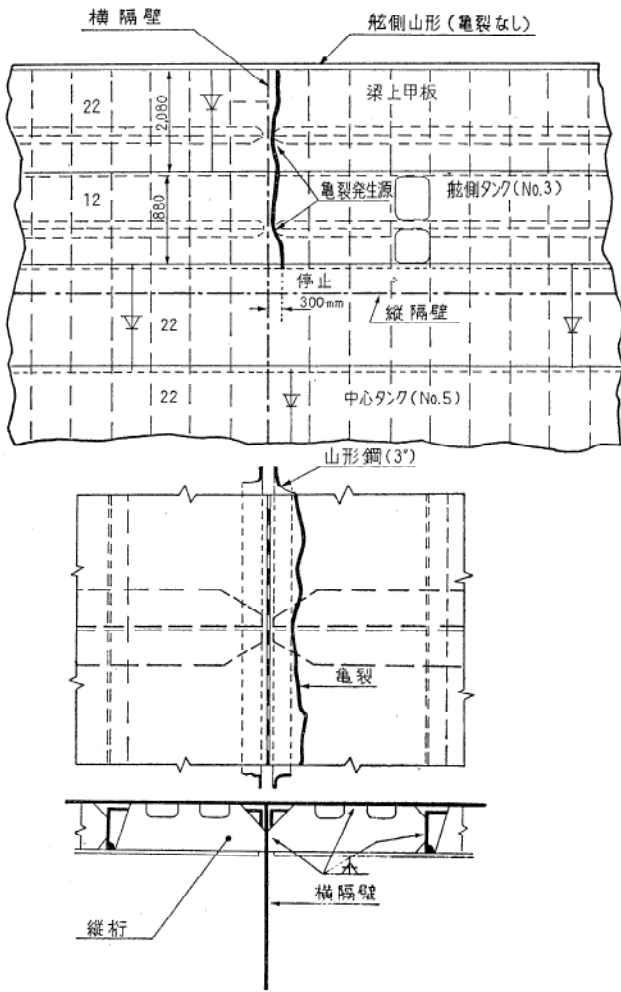


図3 タンカーの梁上側板

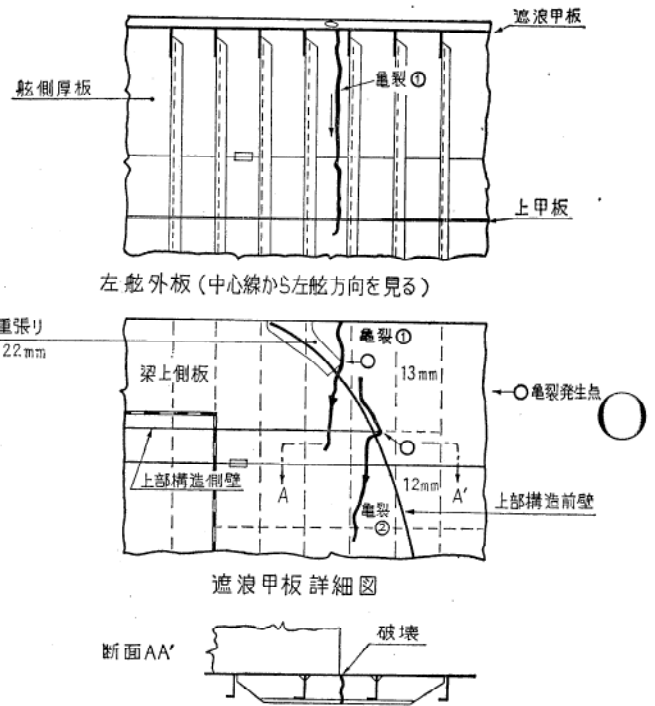


図4 貨物船の遮浪甲板

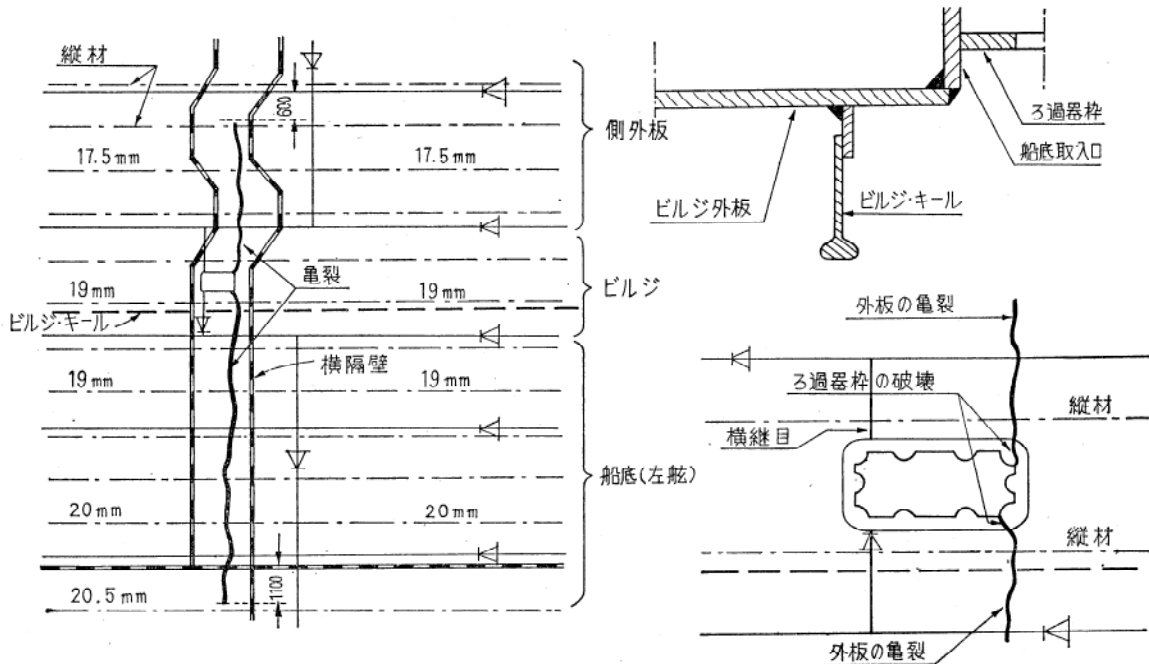


図5 タンカーのビルジ外板

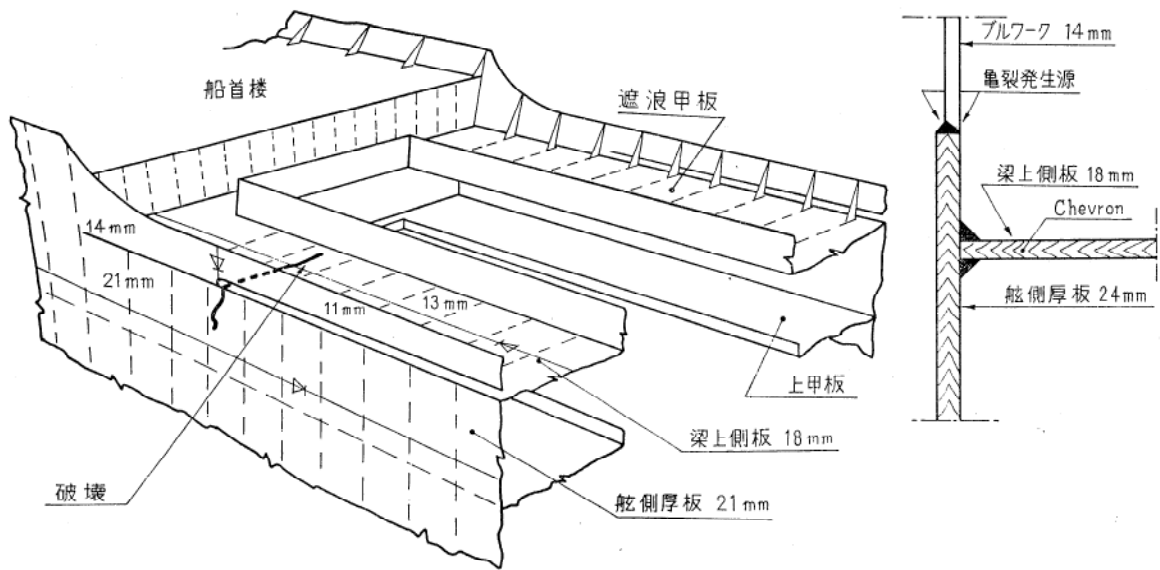


図6 遮浪甲板型貨物船の梁上側板と舷側厚板

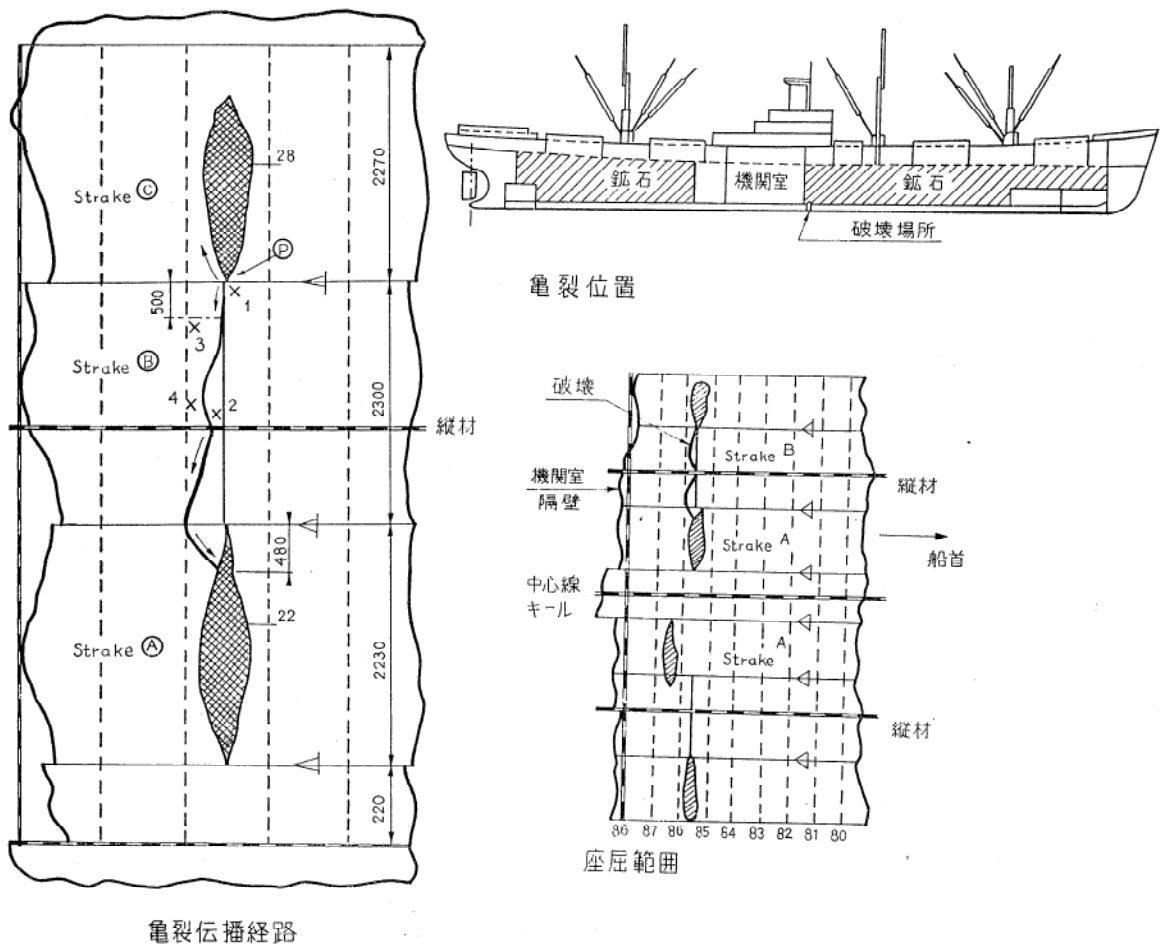


図7 リバティー船の船底

表1 船体の脆性破壊

破壊発生場所または種類	数
開口を有する甲板	3
部材の不連続部	8
船底外板	1
船側外板またはビルジ外板	1
船舶の修理中	3
タンクの水密試験中	1
合計	17

この船は鋸と溶接の混用船であったが、横隔壁のところで甲板下桁が不連続となっているため構造上の剛性の急激な変化があったこと、および積油状態が悪くかなり高応力になっていたことが主な原因であると考えられる。

2.4 貨物船の遮浪甲板(図4)

事故を起した船は、上甲板の上にさらに遮浪甲板と呼ばれる甲板を一層設けた貨物船で、1949年建造され載貨重量は8,400トンであった。事故は北太平洋で荒天を航行中、爆音と共に2つのクラックが遮浪甲板上の上部構造前壁との継目の隅肉溶接から発生した。

要因としては、高い外力と幾つもの部材の集ったための構造的な応力集中および溶接残留応力などが考えられる。

2.5 タンカーのビルジ外板(図5)

1947年に建造された載貨重量、18,500トンのビルジ外板の損傷例である。損傷の発生したものは1956年2月で16,790トンの油を積み航海中、北海で荒天にあいポンプ室に浸水した。

このタンカーの場合には、ビルジ外板に大きな引張応力が作用したのが直接の原因と考えられるが、海水取入口の枠の材質が悪くなかったことおよび就航後8年を経過しており、脆性破壊の起因になった亀裂が疲労によって生じていたことが認められている。

2.6 遮浪甲板型貨物船の舷側厚板と梁上側板(図6)

1953年に建造された載貨重量6400トンの貨物船に1959年2月、荒天中で亀裂が発生した。その発生点は舷側厚板とブルワークとの接合部の排水孔前端で、その点には鋭い角による切欠効果と溶接止端部のへこみにおける割れが事故の要因と思われる。

2.7 リバテ船の船底(図7)

米国で建造された戦時標準貨物船(載貨重量10,700トン)が、1961年2月、荷物を満載し荒天を航海中(水温15°C)船底にクラックを生じた。

破壊部には船底凹損が認められた。この凹損は船の中央部の最も大きい曲げモーメントが働く場所に起っており、高い圧縮応力のもとでの局部座屈によるものである。また凹損によって船底の剛性が低下し、比較的大きい局部変形を生じることと、歪時効による材質の脆化が原因しているものと考えられる。

3. 調査結果と解析

以上においては、国際溶接学会の中間報告に含まれた破壊事故の数例を紹介したが、船体の脆性破壊例は上例のものを含めて17件あり、これらをまとめると表1のようになる。

事故例の説明でその要因を挙げたが以下では17件の報

告事故を解析し、原因と考えられる主な因子を取り出し脆性破壊に及ぼすこれらの影響について考察する。

3.1 幾何学的形状—構造物の内的因子—

切欠のある部材に引張力を作用させると、切欠部では大きい応力集中を生じ破壊発生の主因の1つになり得る。このように構造部材の形状の急変や工作上的欠陥は、切欠として働くもので、悪影響が大きいものと考えられる。したがって部材に働く引張応力と直角方向の切欠となるような開口とか、部材の剛性を急変させるとかの良くない設計が原因になったと思われるものは事故例の約半数にも達している。

この他、溶接欠陥は多くの脆性破壊事故の発生源となっており、これには微小なクラック、溶込み不足、空孔、アンダー・カット、アークストライク等がある。また建造時に取付け冶具を溶接した場合には、その後処理が十分でなければ、特に引張部材に対しては悪影響がある。

脆性破壊の発生以前に疲労クラックが存在したことが明らかであったのは3例である。このような疑いのあるものは全体の1/3に達するが疲労クラックが実際に存在したかどうかははっきりしていない。もし疲労クラックが存在した場合には、それが、脆性破壊の重大な発生源となる危険性がある。

ガス切断した場合の切断面に残る切欠も上述の因子と同様な悪影響があり事故の約1/3に見出されており、船体修理中に起った事故の3例では、ガス切断孔の隅から脆性破壊が発生している。

3.2 荷重状態—構造物の外的因子—

事故の約半数は高い外力のもとで発生している。これらの荷重状態は、荒天とかの外部荷重による場合が多いが、この他では温度差による熱応力とか、溶接による残留応力の存在によって破壊が発生した場合もある。しかしながら、荷重状態は幾何学的形状が破壊の発生に及ぼす影響のように明確でなく、また大きくもないと考えられる。

通常、船体に働く外力としては、自重、浮力および積荷によるものなどが考えられ、実際にはこれらの荷重の差が船体に外力として働くことになる。したがって平水中でうまく釣り合った載荷状態になっていても、荒天では波浪による大きい外力が船体に作用することもある。

構造部材が拘束されている場合には、各部材における温度差により伸縮量が異なるために応力が生じる。このような例には船体内の油を加熱したり、冷却装置の断熱不良などがあり熱応力が関係した事故も少なくない。

最近ではほとんどの船体は溶接構造物であり、大きい残留応力が存在しているものと考えられる。このような残留応力は形状ノッチによる応力集中と共に働く場合に、低温においては、脆性破壊を促進させる因子となる。

3.3 鋼材

これまでに述べた幾何学的形状等の構造物の内的因子、および外力とか温度という構造物の外的因子の他に、船舶の使用温度における鋼材の靱性が脆性破壊に重要な関係を持っている。ただし、報告事故において破壊の生じた鋼材のすべては、国際溶接学会規格のA級またはB級に合格したものであった。

ここで破壊が発生した鋼板の事故温度における衝撃値を調べると、12例の平均が、12ft-1bs (2.0kg-m/cm²) であり、このうち事故温度でのVシャルピー試験結果で、20ft-1bs (3.5kg-m/cm²) を越えたのはほとんどなく、この値が1つの基準値になると考えられる。また試験片の破面の延性は極めて乏しかった。

一方、Vシャルピー試験の20ft-1bs(3.5kg-m/cm²) に対して、試験片の破壊が延性から脆性に移る温度、すなわち遷移温度(TTKV)は事故温度より高かった。これに対して、破壊が停止した板の事故温度でのVシャルピーを調べ、7例について前者と比較すると破壊停止板の衝撃値は、22ft-1bs (3.8kg-m/cm²) であり発生板の16ft-1bs (2.7kg-m/cm²) より高いものであった。

4. あとがき

これまでに、脆性破壊事故例を紹介し、これらの事故の幾つかの重要な因子について検討した。脆性破壊はこれらの因子が組合わせられた結果、発生するものであるが、いずれにしても構造物の内的因子の影響を出来るだけ小にし、外的因子に対して十分な安全性を持つようにせねばならない。また使用鋼材の選択に当っては、破壊の発生と伝播に対して安全性を保證するような靱性あるものとすべきであろうが、実際面において明確にされていない点もあり、これからの研究成果に待つべきところが未だ多く残されている。

文 献

- 1) M. L. Williams & G. A. Elliuger: Welding J., Oct. (1953)
- 2) J. Hodgson & G.M. Boyd: Inst. Naval Arch., March 1958, Paper No.1
- 3) Sub-Commission D, Provisional Report on an International Investigation of Brittle Fractures, IIW Doc. IX-461-65 (1965)