

特集：溶接構造物の破壊防止 –アレスト性

アレスト設計と溶接-2：船体構造-2  
(コンテナ船、構造アレスト)

ジャパンマリンユナイテッド株式会社 木治 昇、豊田 昌信  
株式会社 IHI 猪瀬 幸太郎

1. はじめに

船舶では、溶接の適用当初から、ぜい性破壊による船体の破壊を防止することが課題であった。図 1 は、ぜい性破壊の代表的な事例である米国で建造された戦時標準船の事故を示したものである。第 2 次世界大戦中の 1943 年 1 月に造船所の艀装岸壁に係留中の「スケネクタディ号」が、ぜい性破壊により船体が真二つに折損した<sup>1)</sup>。この事例以外にも同形船で折損事故が多数報告されたため、その原因調査と対策の検討が行われた。戦時標準船に使用されていた鋼板の V ノッチシャルピー試験が米国の船体構造委員会で行われた結果、使用温度でシャルピー値が 20J (15ft・lb) 以下の場合、ぜい性破壊の危険があると結論された<sup>2)</sup>。

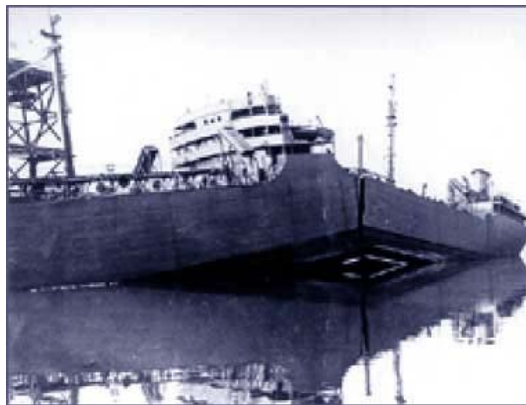


図 1 ぜい性破壊したスケネクタディ号<sup>1)</sup>

その後も船舶のぜい性破壊を完全には防ぐことができなかった。1954 年 11 月 27 日午前 1 時 55 分、猛烈な嵐の中リバプールからシリアに向かうため、アイルランド海の南端を航行していた World Concord 号が、ぜい性破壊により船体中央部から真二つに折損した<sup>4)</sup>。図 2 は折損して漂流中の船体の写真である。この World Concord 号は全溶接で建造された、当時世界最大のタンカーであった。船体の湾曲部外板 (Bilge Strake) や舷側厚板 (Sheer Strake)、梁上側板 (Deck Stringer) は、1950 年にロイド船級協会が使用していた品質と試験材料に関する規則における「特殊品質」の鋼板であったが、その他の部分は「通常の造船品質」の鋼板であった。また、損傷が発生した温度 (~12°C) でのシャルピー吸収エネルギーが調査され、「特殊品質」の鋼板では 40J を超えていたが、「通常の造船品質」の鋼板では、27J 未満であった<sup>5)</sup>。鋼板のシャルピー試験結果を図 3 に示す。



図2 航海中に船体が真二つに折損した World Concord 号<sup>4)</sup>

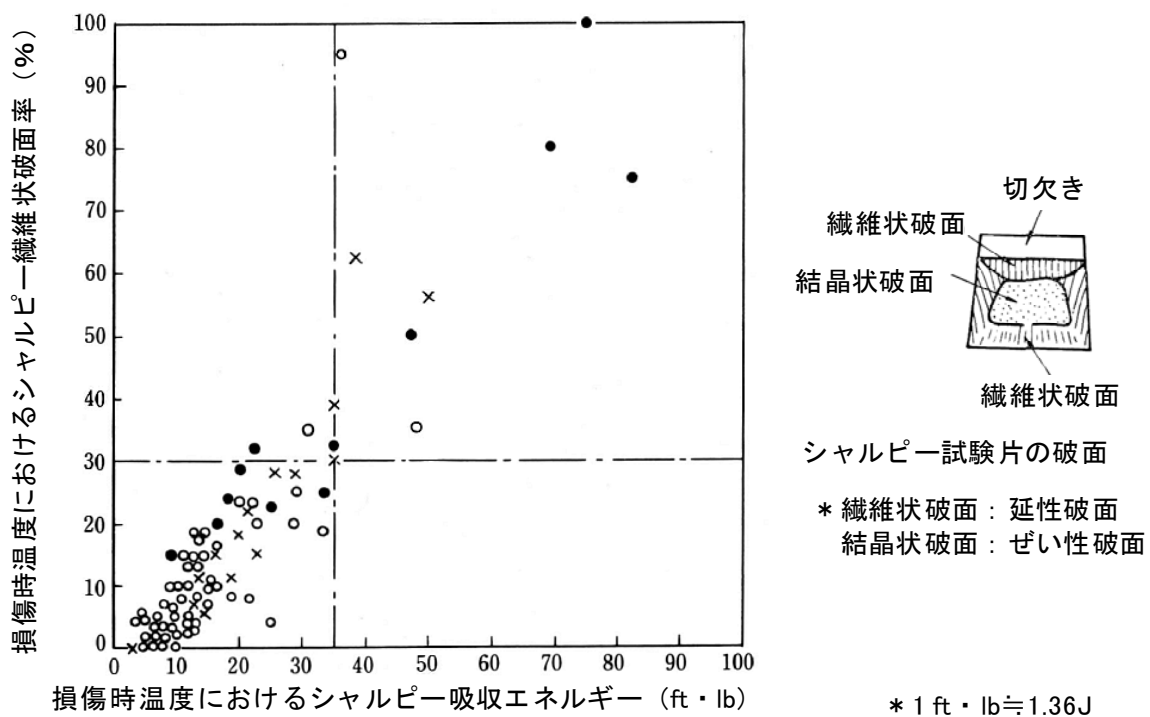


図3 ぜい性破壊事故鋼板のシャルピー試験結果<sup>2),3)</sup>

1957年、この事故の調査結果などをもとに、ロイド船級協会は、溶接船に使用される鋼板に対して0°Cで少なくとも47Jのシャルピー吸収エネルギーが必要であるとの要件を規則に採り入れた<sup>5)</sup>。この当時、各船級は独自の鋼材規格を持っていたが、1959年にIACS（国際船級協会連合）により軟鋼に関する規格がUR（Unified Requirements）1として統一された。この規格では、切欠きじん性によりAからEまでの5種（後にA、B、D、Eの4種）にグレード分けされ、初めてシャルピー試験が正式に採用されている<sup>6)</sup>。図4に長期間に於ける船の遭遇温度の調査結果を示す。遭遇する温度範囲は-10~40°Cであるが、0°C以下になる頻度は7%程度であるため、最低使用温度は0°Cとされた<sup>6)</sup>。この0°Cで47J以上あればぜい性破壊を生じない鋼材としてD級鋼が、リベット継手が要求される箇所を溶接継手とする場合に用いられる鋼板で、ぜい性亀裂の伝播を停止させる性能を持つ鋼材（クラックアレスター鋼）としてE級鋼の規格が定められた<sup>6)</sup>。

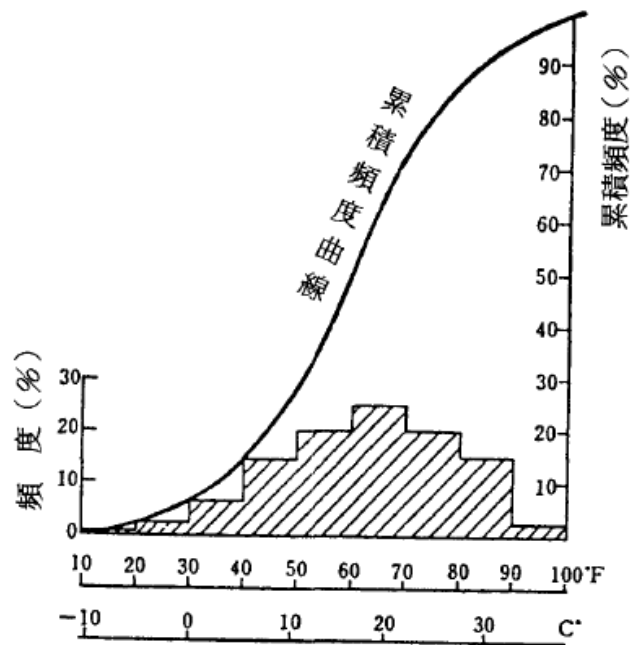


図4 就航船の遭遇温度の頻度分布<sup>6)</sup>

1958年に進水した「剛邦丸」(図5)は、当時国内最大(載貨重量47,000DWT)のタンカーで、全溶接船として計画され、溶接に適した船体設計および工作法を採用することによって鋼材重量の削減および建造期間の短縮を達成した<sup>8)</sup>。前述の鋼材規格の統一や製鋼・圧延技術の発展によりクランクアレスター鋼が採用されるようになり1960年代以降に完成したほぼすべての船は、全溶接構造になっていたと思われる。

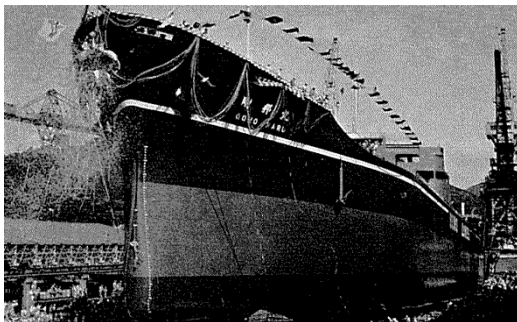


図5 「剛邦丸」<sup>7),8)</sup>

全溶接船の登場とともに、急速に船体の大型化が進み、1960年代以前は載貨重量が10万トン程度であったものが、1970年代には50万トンに迫る巨大タンカーが建造されるようになった。コンテナ船に関しても、1950年代に登場した当初は、1000TEU(Twenty-foot Equivalent Unit、20フィートコンテナ換算)にも満たない小さなものであったが、2000年代に入り急速に大型化が進み、現在では20,000TEUを超える超大型コンテナ船が就航している(図6)。とくに、コンテナ船では、適用される鋼板の極厚化・高強度化が顕著であり、板厚100mmのYP460級高張力が適用されるようになっている。これが、近年再び大型船において船体のぜい性亀裂に対するアレスト性能の重要性が見直されているきっかけとなった。

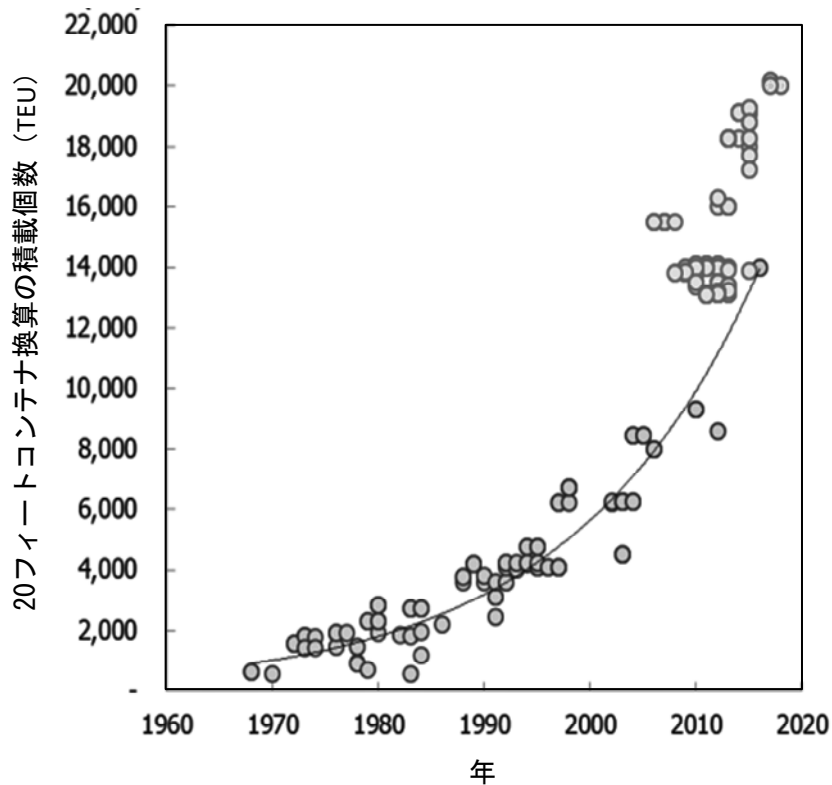


図6 コンテナ船の建造年と積載個数

## 2. ぜい性亀裂の伝播停止性能

ぜい性破壊は、降伏点よりはるかに低い応力で破壊が発生、亀裂の伝播速度は 1000m/sec を超える場合もあり、破壊がいったん発生すれば構造物の大規模な破壊につながる危険性が非常に大きい。万一、ぜい性破壊が発生した場合においても、亀裂を停止させて破壊を最小限にとどめることは非常に重要である。

亀裂の伝播を停止させる性能を持った構造要素は、クラックアレスターと呼ばれる。日本造船研究協会 第169委員会 船体構造の破壊管理制御設計に関する研究 (SR169) の報告書 (1978年度)<sup>16)</sup> に、クラックアレスターについて、下記のような説明が記述されている。

クラックアレスターとは、亀裂が進展しようとする力より大きな材料の抵抗力を何らかの方法で実現させ亀裂を停止させようとするものである。船体構造ではかなり以前から経験的知見をもとに実際に行われている。大別して以下の4種類に分類できる。

- (1) 伝播亀裂の進展力減少により、停止させる
- (2) 高じん性の材料を配し、突入する亀裂を停止させる
- (3) 亀裂進展力の減少と材料の抵抗力の増大を同時に実現する
- (4) 継手の一体性、連続性を小さくすることにより、一方を伝播してきた亀裂が、他方に伝播しないようにする

ここで、(2) が材料アレスト、(4) が構造アレストということになる。

SR169では、上記(4)に相当するすみ肉溶接で構成された直交交差継手の大形構造モデル(板厚20mmの軟鋼)を用いた亀裂伝播試験が実施され、アレスト能力の比較が行われている。

交差継手の形式は、図7に示すように大きく2つに分類される。亀裂が伝播する板にスチフナが挿入されているシナリオ1、亀裂が伝播する板が連続しており、その板にスチフナが取り付けられているシナリオ2である。

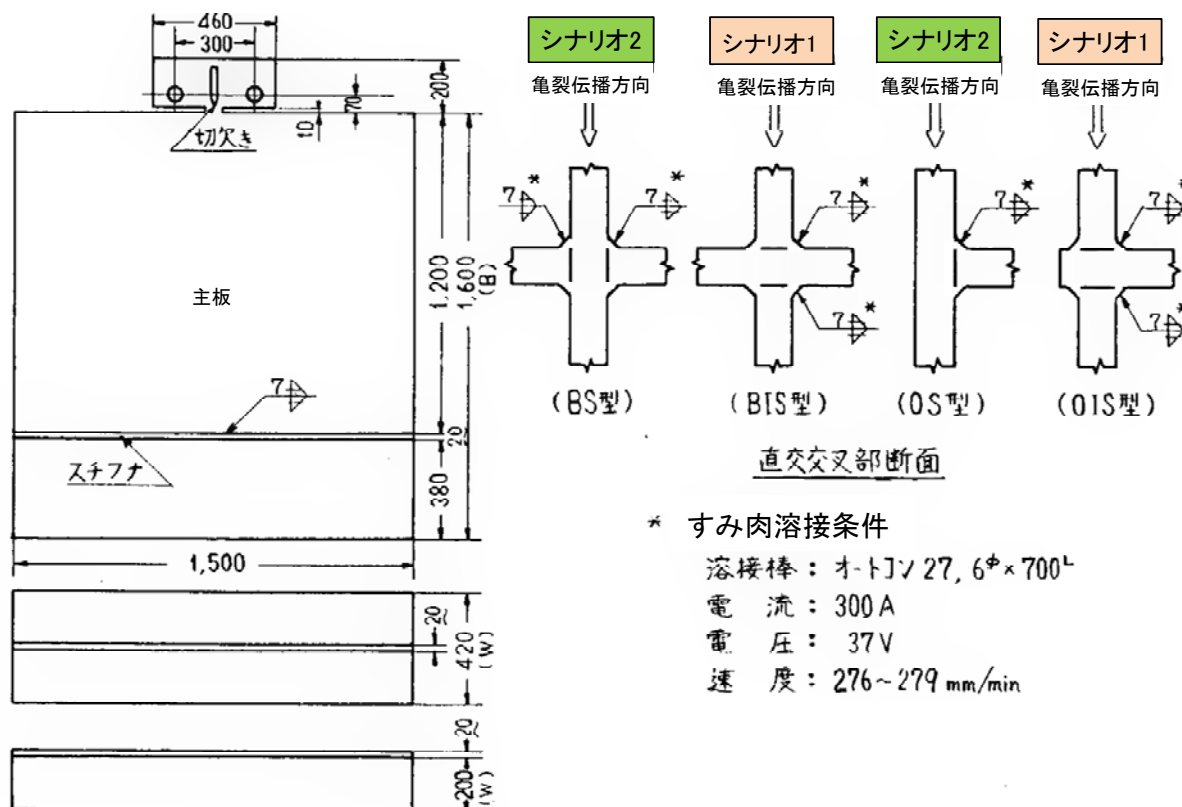


図7 直交交差部構造要素モデル形状

図8に試験結果を示す。同じ温度で比較すると、例えば-10℃においては、シナリオ1では交差部に亀裂が突入する前にアレストしているが、シナリオ2では、交差部に突入後アレストしている。また、-20℃のシナリオ2（BS-2）では、ぜい性亀裂は交差部を伝播しているが、より温度の低い-25℃においてもシナリオ1（BIS-4）はアレストしている。これらの結果から、シナリオ1と比較してシナリオ2のほうが、ぜい性亀裂が伝播しやすい（アレストしにくい）ことが分かる。逆に、シナリオ1の方が、より低温で亀裂をアレストできることから、亀裂伝播停止性能（アレスト性能）優れているといえる。

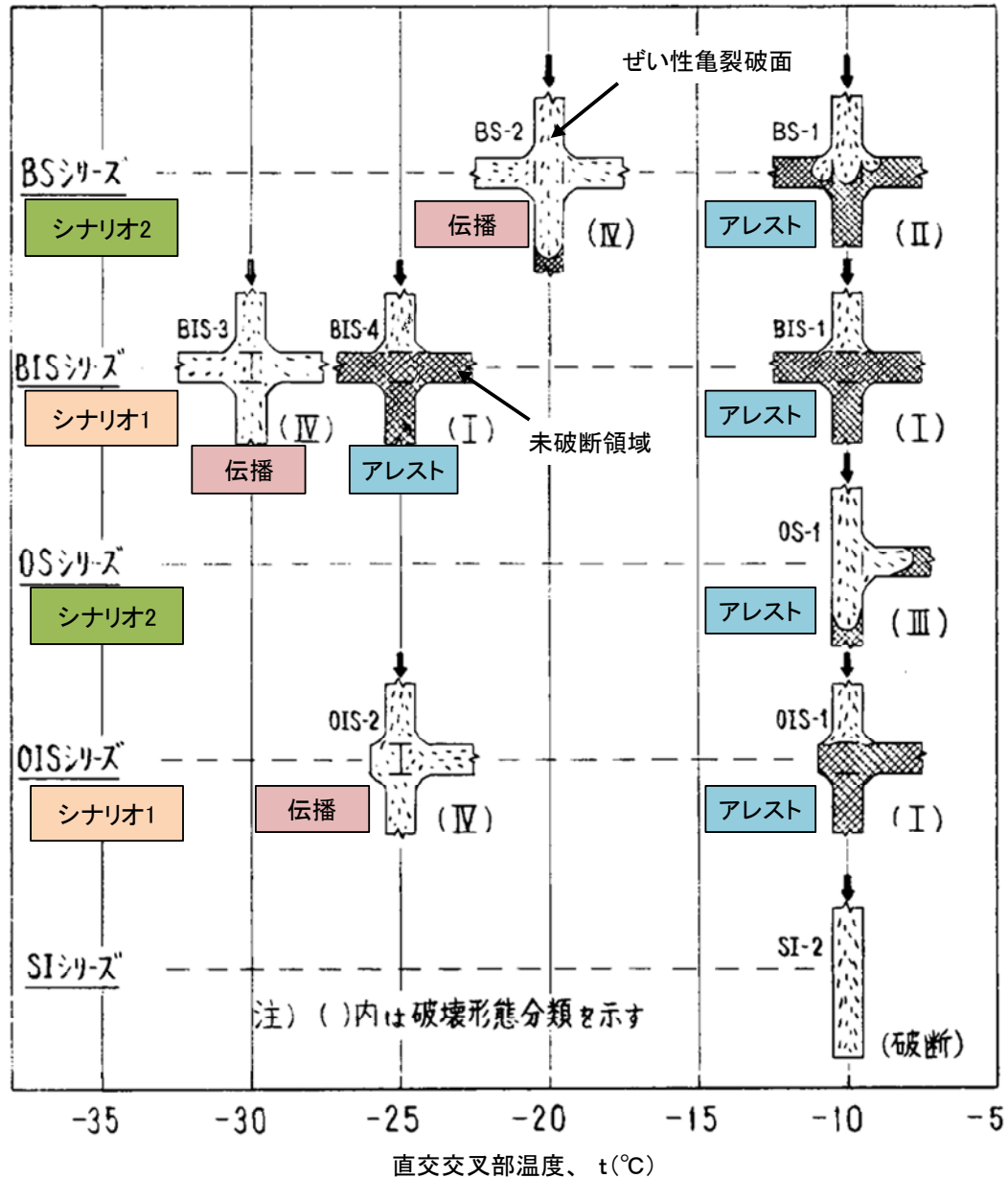


図8 直交交差構造要素モデルでのぜい性破壊伝播・伝播停止試験結果

### 3. 船舶への構造アレスト設計の適用

リベット継手は、クラックアレスターとして1960年代まで適用されていた。図9に、1957年にNational Bulk Carriers, Inc.の呉造船所で作成されたエレクション継手の施工要領を示す。Bilge StrakeやDeck Stringer、Sheer Strakeでは溶接とリベット継手の混用継手を使用されていたことが分かる。混用継手は、ぜい性亀裂の伝播を妨げる目的で採用されていた。この要領は、1962年には改定され、混用継手が廃止されている。現在では、当該箇所にはEグレードの鋼材が適用され全溶接で建造されており、リベット継手による構造アレストは材料アレストに取って代わられた。

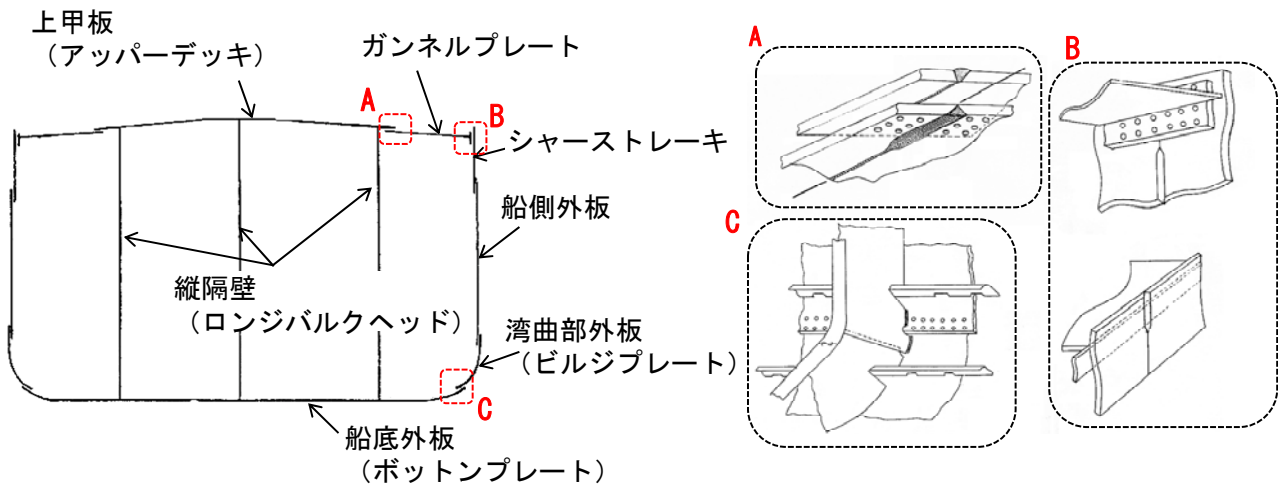


図9 溶接とリベット継手の混用継手

(1957年 National Bulk Carriers, Inc.の呉造船所 社内資料)

コンテナ船は、タンカーの箱型断面とは異なり、コンテナを積み下ろすための大きな開口が上甲板にある特徴的な船体構造を有している（図10）。海上を航行する際には、図11に示すように船全体を曲げるような波の力が働くため、この力に耐えうる船体の強さが必要であるが、船体が大きくなるにつれて波の力が飛躍的に大きくなる。そのため、船体の強度を確保しつつ、軽量化するためには、二重船側の上部にわずかに残る強力甲板とハッチサイドコーミングに高強度かつ、極厚の鋼板を適用している（図10、12）。

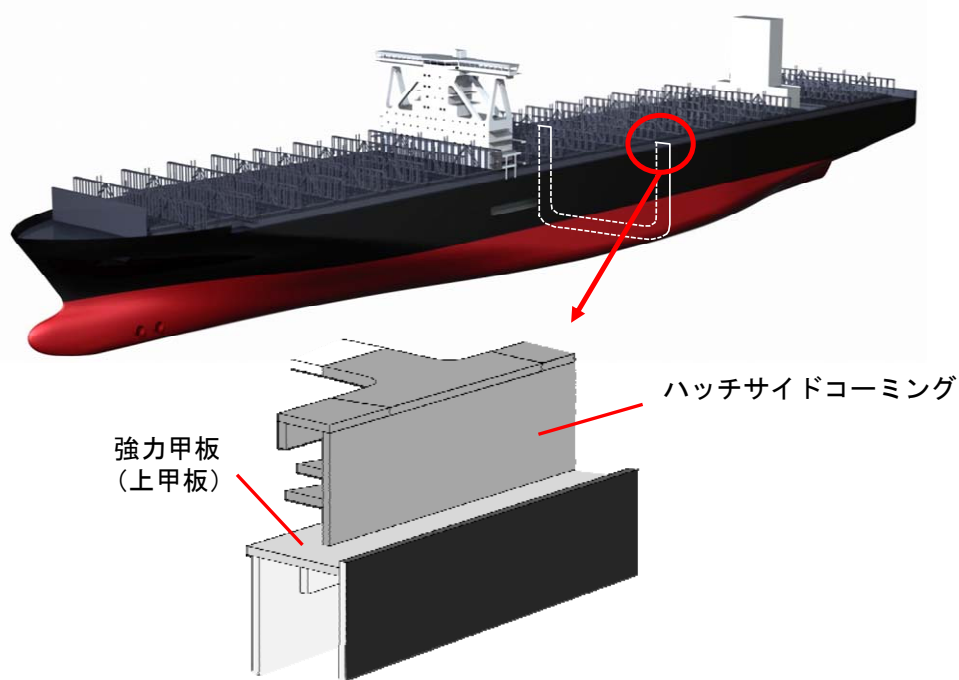
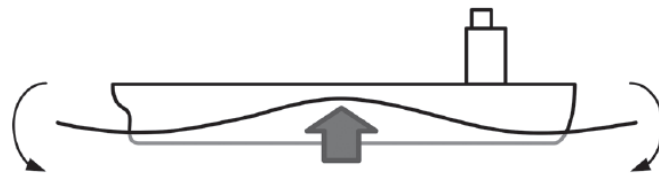


図10 大型コンテナ船と厚板適用箇所



(a) ホギング (船体が凸形状に曲げられる状態)



(b) サギング (船体が凹形状に曲げられる状態)

図 11 航行中に船体に作用する波の力

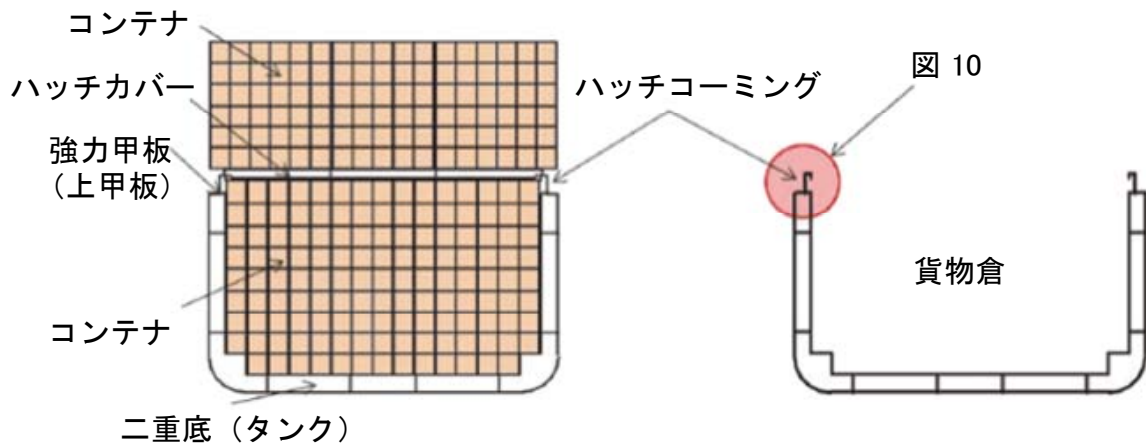


図 12 大型コンテナ船の断面構造

一方で、鋼板の極厚化・高強度化は、鋼板や溶接継手の粘り強さ（じん性）を低下させることが知られており、従来よりも厚い高強度な鋼板を船体に適用するには、船体を一瞬で二つに分断しかねないぜい性亀裂の伝播を防止するアレスト設計の適用が必要である。Class NK の「ぜい性亀裂アレスト設計指針」では、基本要件として下記を要求している。

(1) 表 1、図 13 に示す 2 つのシナリオを満足するようなぜい性亀裂アレスト設計を考慮する。

表 1 想定するぜい性亀裂の伝播・停止シナリオ

	シナリオ 1	シナリオ 2
発生部材	ハッチサイドコーミング	強力甲板（上甲板）
停止部材	強力甲板（上甲板）	ハッチサイドコーミング

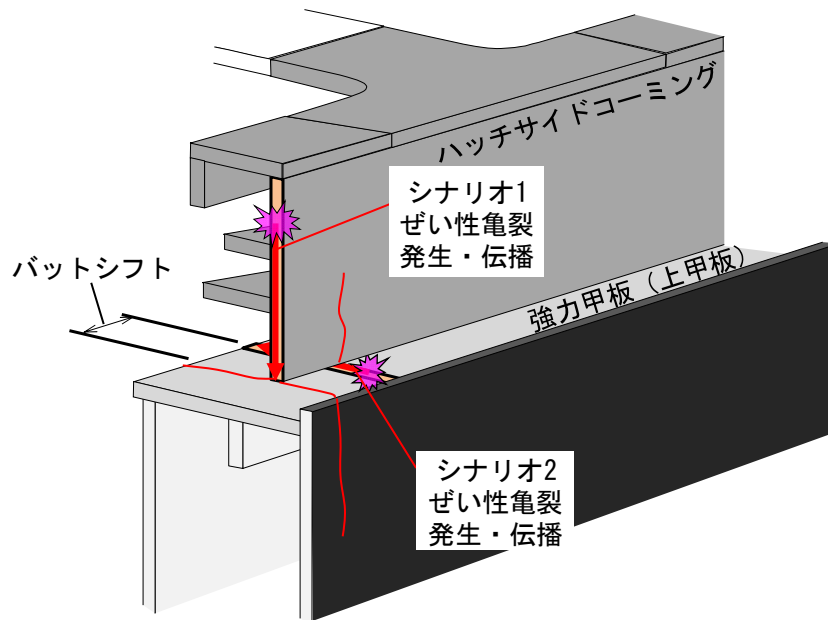


図 13 ぜい性亀裂の発生・伝播シナリオ

(2) バットシフト

ハッチサイドコーミングの突合せ溶接継手と強力甲板の突合せ溶接継手は、原則として 300mm 以上離さなければならない。

また、ぜい性亀裂の伝播を停止させる代表的なアレスト設計として、強力甲板、ハッチサイドコーミングに高アレスト鋼（アレスト特性  $K_{ca} > 6,000\text{N/mm}^{1.5}$ ）を用いることが示されている（材料アレスト）。一方、構造アレスト設計などの異なるアレスト設計を適用する場合は、大形の構造モデルを用いたぜい性破壊試験を行いその有効性を検証することを求めている。

極厚化とともに、材料のアレスト性能を確保することが難しくなるため、構造アレスト設計が有効であると考えられる。コンテナ船のハッチサイドコーミングと強力甲板との継手に作用する応力は、せん断応力が主であることから、図 14 に示すようにすみ肉溶接にすること可能である。2項で示した様に、すみ肉溶接で形成された交差部でぜい性亀裂が停止する現象は古くから知られているが、積極的にすみ肉溶接継手をクラックアレスターとして利用することはほとんどなかった。そこで、すみ肉溶接継手を用いた構造アレスト設計をコンテナ船に適用するための各種試験が実施され、その有効性が実証された。

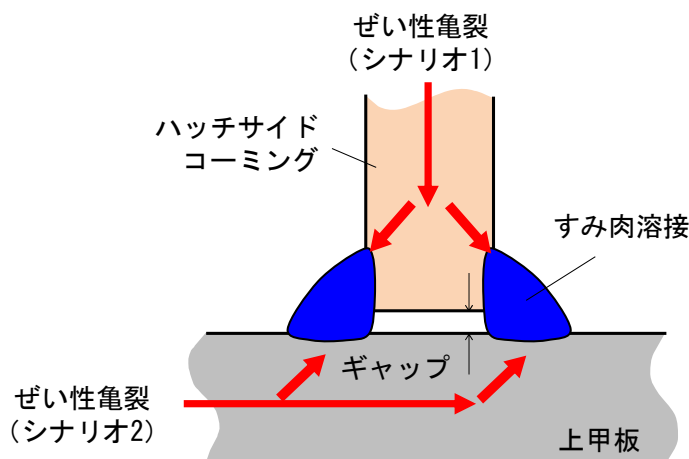


図 14 ハッチサイドコーミングと強力甲板のすみ肉溶接継手

#### 4. 構造アレスト性能の実証

##### 4.1 すみ肉溶接継手の未溶着部の効果<sup>17)</sup>

極厚板のハッチコーミングを伝播し、交差継手に突入するぜい性亀裂（シナリオ 1）に対する構造アレスト性能に関して、交差継手の未溶着部寸法の影響を調査した。図 15 に示すように、板厚 65mm のぜい化鋼板を板厚 60mm のテスト板に開先形状を変え取付けた T 継手を作製した。開先形状を変化させ、未溶着幅が 0mm（完全溶込み）、33mm（部分開先）、65mm（すみ肉）の 3 種類の継手を作製した。表 2 に製作条件および溶接部の断面マクロ写真を示す。

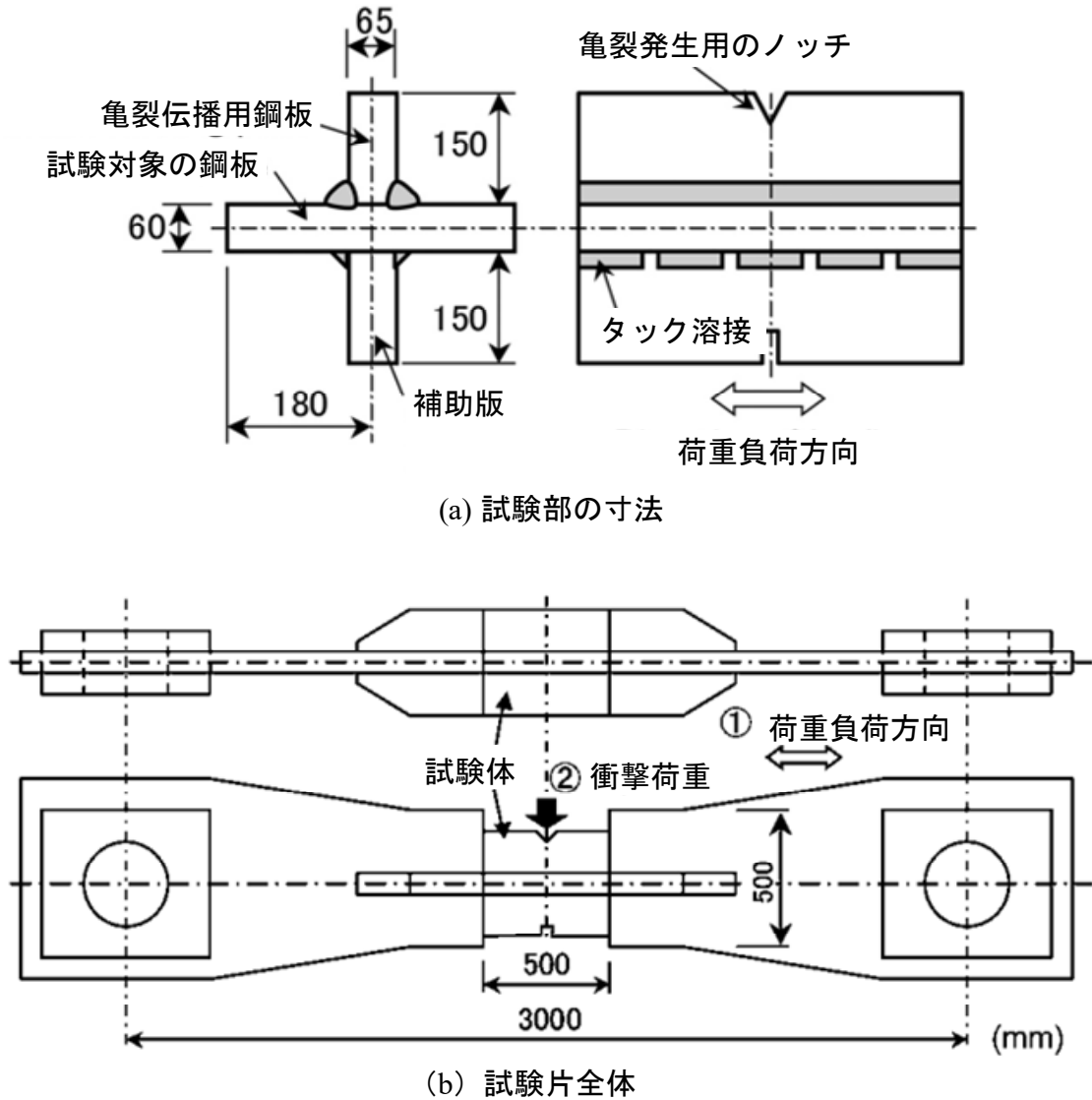


図 15 交差継手の構造アレスト試験の試験体形状

表 2 交差継手の構造アレスト試験の試験体作製条件

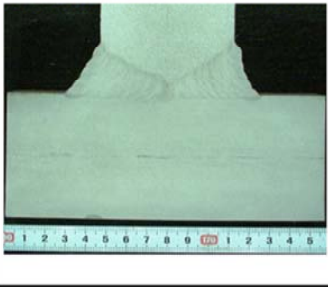
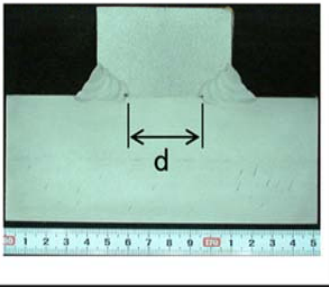
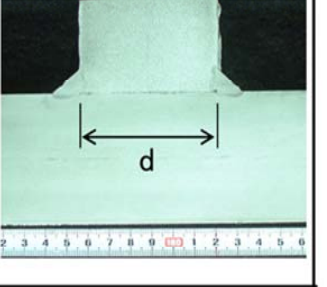
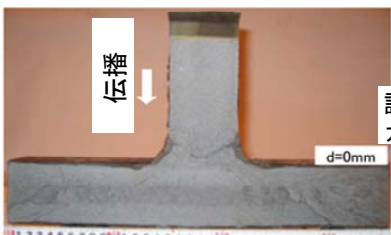
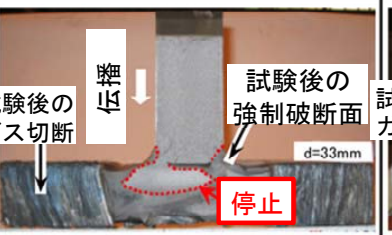

ルートフェースの幅 (d)	0mm (完全溶込み)	33mm (部分溶込み)	65mm (すみ肉)
溶接継手の断面			
溶接方法	CO <sub>2</sub> 溶接		
溶接材料	YFL-C504R φ1.2mm, CO <sub>2</sub>		
溶接姿勢	Horizontal fillet welding		
溶接条件	180-280A, 20-34V, 20-45cm/min		
溶接層数とパス数	9層 20~24/パス	4層 7/パス	2層 3/パス

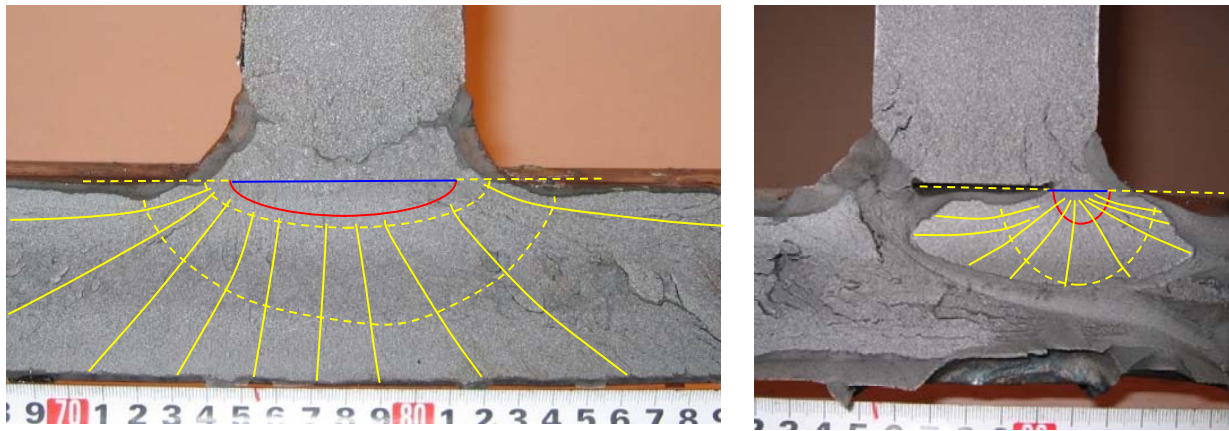
表 3 に、試験結果を示す。未溶着幅 0mm では、ぜい性亀裂は、溶接金属を貫通しテスト板に伝播、テスト板が破断した。一方、未溶着幅 33mm では、ぜい性亀裂はテスト板に伝播した後に停止した。未溶着幅 65mm では、ぜい性亀裂はテスト板に伝播せずに溶接金属部の境界付近で停止した。この結果から、未溶着寸法が大きいほど構造アレスト性能が優れていることが確認できた。

表 3 交差継手の構造アレスト試験結果

試験温度	-10°C		
負荷応力	235N/mm <sup>2</sup>		
ルートフェース幅	0mm (完全溶込み)	33mm (部分溶込み)	65mm (すみ肉)
破面の外観			
結果	伝播	停止 (アレスト)	停止 (アレスト)

未溶着寸法の効果を定量的に評価するため、弾性有限要素法 (FEM) 解析を行った。まず、図 16 (b) に示す部分開先継手のぜい性亀裂停止状況から、ぜい性亀裂のアレスト性能に対する未溶着部の効果は、テスト板にぜい性亀裂が伝播してテスト板内にぜい性亀裂が突入した後に生じるものと考えられるため、部分溶込モデルと完全溶込モデルにおいて、同じ深さだけ亀裂がテスト板に伝

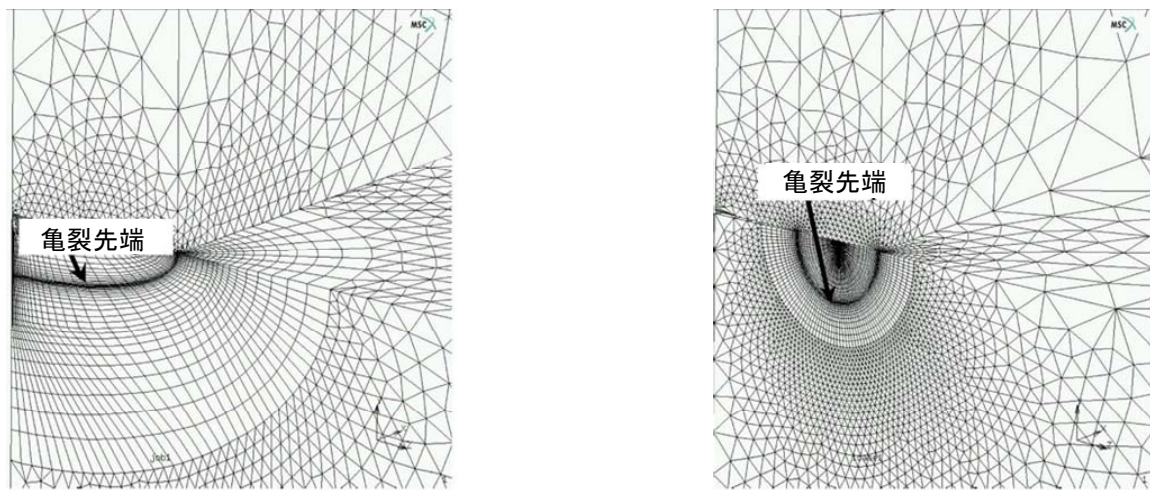
播した時点の応力拡大係数を比較した。ここで、応力拡大係数とは、亀裂を有する板に応力が作用したとき、亀裂先端近傍の応力の大きさを線形破壊力学に基づいて表したパラメータである。テスト板に伝播した後の亀裂形状は、**図 16** のシェブロンパターンを基に設定した (**図 17**)。



(a) ルートフェース幅 = 0mm

(b) ルートフェース幅 = 33mm

**図 16 ぜい性亀裂の形状と寸法**



(a) ルートフェース幅 = 0mm

(b) ルートフェース幅 = 33mm

**図 17 ぜい性亀裂のモデル化**

**図 18** に、亀裂がテスト板に突入した瞬間と深さ 10mm まで伝播した時点の応力拡大係数の分布を示す。完全溶込および部分溶込共に、突入した瞬間と比較して、亀裂が伝播することで応力拡大係数が低下することが分かる。また、完全溶込みと部分溶込みを比較すると、テスト板に突入した瞬間では、部分溶込みのほうが大きいですが、亀裂が 10mm まで伝播した時点では、逆に部分溶込モデルの方が小さくなるのが分かる。部分溶込の応力拡大係数の低下は、亀裂がテスト板に伝播したときの亀裂形状（亀裂深さ／亀裂幅比）が、完全溶込と大きく異なることが一因として考えられる。一般的に、表面亀裂では、亀裂深さ／亀裂幅比が大きくなると、亀裂最深部付近の応力拡大係数が小さくなることが知られている。テスト板に伝播した後の亀裂深さ／亀裂幅比のより大きな部分溶込モデルの方が、完全溶け込よりも亀裂最深部付近の応力拡大係数の値が小さくなるのは、亀裂形状の観点から妥当な結果である。

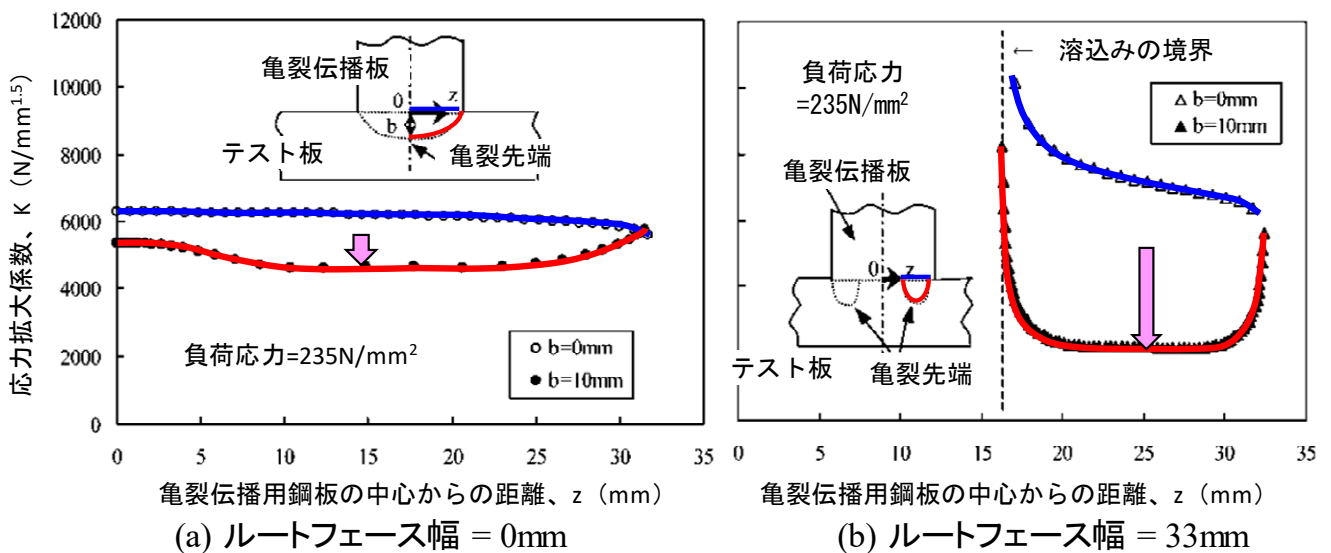


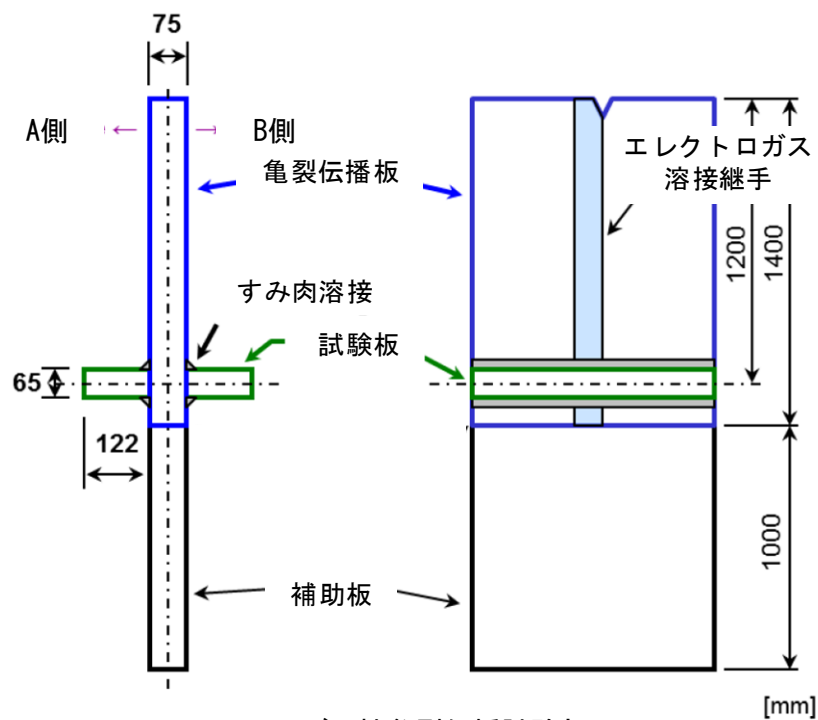
図 18 応力拡大係数の解析結果

この解析の結果から、部分溶込みモデルでは、未溶着部の効果でテスト板に突入する亀裂の深さ／幅比が大きくなるため、テスト板に亀裂が突入後、亀裂先端の応力拡大係数が急激に低下するため、亀裂が停止したと考えられる。

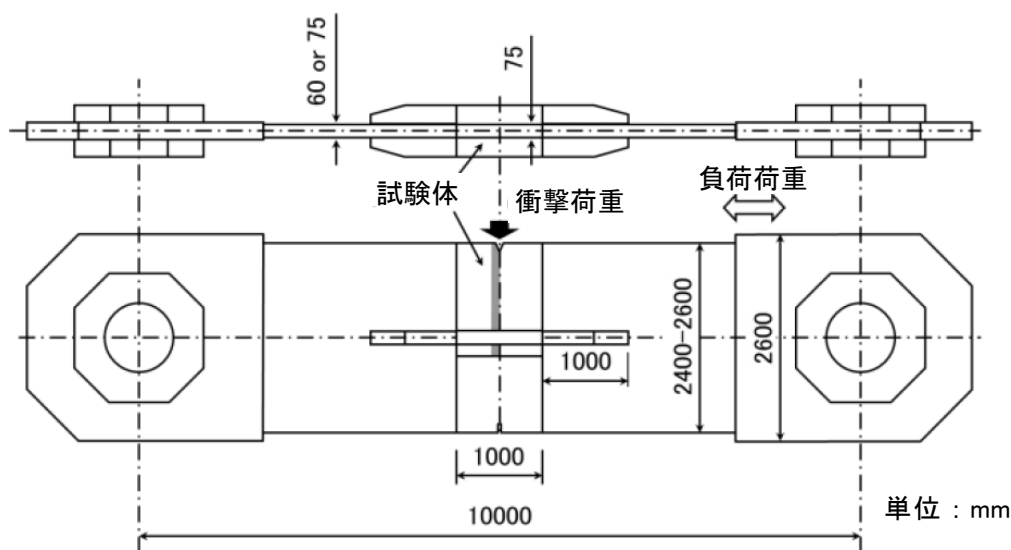
#### 4.2 すみ肉溶接金属特性と脚長の影響<sup>18)</sup>

実際のすみ肉溶接継手の施工において、強力甲板とハッチサイドコーミングの取り合い部にすきま (Gap) が生じた場合、すみ肉溶接の増し脚長が必要となる。すみ肉溶接脚長が大きくなった場合、長大ぜい性亀裂のアレスト性能に対して、溶接金属部のじん性レベルが影響すると考えられる。そこで、交差継手構造において、すみ肉溶接の脚長と溶接金属のじん性レベルを変化させた超大型構造モデル試験を実施し、長大ぜい性亀裂停止条件を調査した。

図 19 に超大型構造モデル試験体を示す。ハッチサイドコーミングを模擬したウェブ用の鋼板には、船体構造用の EH 級の厚鋼板 (板厚 65mm) を用いた。この鋼板に、冷却後に引張荷重を与えてぜい性亀裂を発生・伝播させる大入熱溶接 (エレクトロガスアーク溶接) で接合した板厚 75mm の鋼板をすみ肉溶接で取付け、交差継手を作製した。溶接脚長を 19, 21, 24mm (Gap をそれぞれ 5, 7.5, 10mm) の 3 水準、使用する溶接ワイヤーと溶接条件を変更することにより、すみ肉溶接金属部のじん性を 4 水準に変化させ、6 種類のすみ肉溶接継手を作製した。各すみ肉溶接金属部のじん性レベルは、同等溶接条件にて作製した突合せ溶接継手のシャルピー試験により確認し、それぞれシャルピー破面遷移温度  $vTrs$  は、 $-38 \sim -41^{\circ}\text{C}$  (WM1)、 $-52 \sim 58^{\circ}\text{C}$  (WM2)、 $-67 \sim -91^{\circ}\text{C}$  (WM3) および  $< -80^{\circ}\text{C}$  (WM4) であった。試験体を試験機にセッティング後、亀裂伝播部の周辺を  $-10^{\circ}\text{C}$  に冷却し、板厚 1mm あたり 1 分 (75 分) 以上保持の後、EH36 鋼板の最大許容応力  $243\text{N/mm}^2$  に相当する荷重を負荷し、機械ノッチ部に打撃を与えてぜい性亀裂を発生・伝播させた。図 19 (b) に示すようにタブ板を含めた試験体の荷重負荷点間の距離は 10m である。



(a) ぜい性亀裂伝播試験部



(b) 試験体全体

図 19 超大型構造モデル試験体の形状

図 20 に、試験後のぜい性亀裂が伝播した試験体の外観と亀裂が突入したすみ肉溶接部の外観を示す。また、図 21 に、試験条件（脚長、溶接金属のじん性）および試験結果と試験後の破面状況を示す。今回試験を実施した脚長 19mm を超えるすみ肉溶接においても、長大ぜい性亀裂がすみ肉溶接金属部で停止することが確認された。図 22 に、脚長および溶接金属じん性と亀裂の伝播／停止の関係を示す。この図には、過去に実施した脚長 16mm の場合の結果<sup>19)</sup>も併せて示している。すみ肉溶接金属部のじん性が良好で、すみ肉溶接脚長が小さいほど長大ぜい性亀裂はアレストしやすくなる傾向が認められる。

すみ肉溶接脚長に応じてすみ肉溶接金属のじん性レベルを適切に調節することにより、長大ぜい性亀裂をすみ肉溶接金属部でアレストさせることが可能であることが確認された。



(a) 伝播したぜい性亀裂

(b) すみ肉溶接へのぜい性亀裂の突入部

図 20 ぜい性亀裂が伝播した試験体の外観

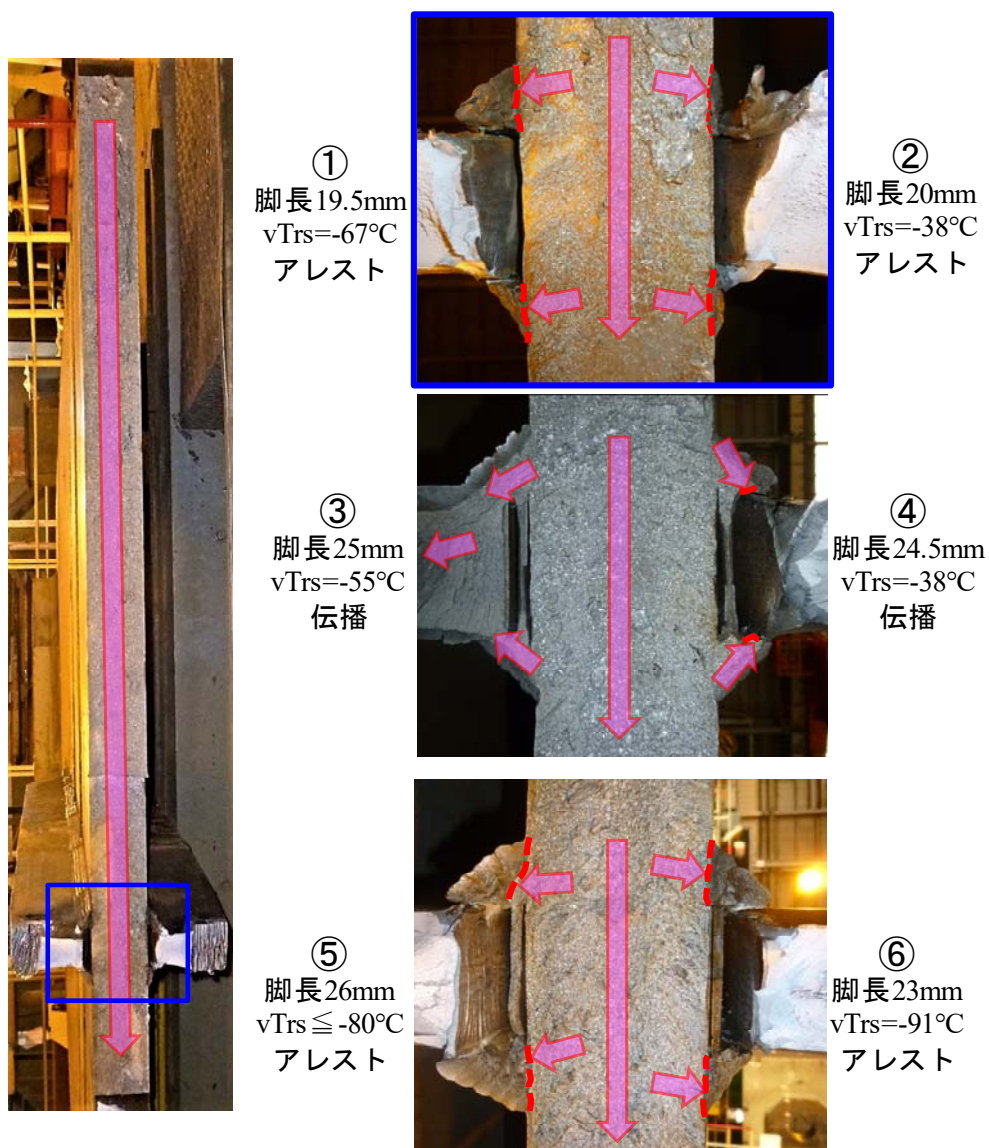


図 21 超大型構造モデル試験の試験結果



図 22 すみ肉溶接脚長および溶接金属じん性とぜい性亀裂の伝播／停止の関係

## 5. 現場での精度・施工管理

すみ肉脚長や溶接金属のじん性がアレスト性能に影響を与えるため、建造にあたっては精度管理と溶接施工管理が重要である。精度管理では、鋼材の切断からブロックの組立、溶接に至るすべての工程において、寸法や取付位置の管理が必要である。また、溶接工程では、溶接施工要領に則った溶接施工条件の設定、脚長の管理等が必要である。図 23 に実船における精度管理状況を示す。

極厚板・高強度鋼を用いて建造される船舶への構造アレスト設計の適用は、溶接施工を考慮した設計、材料や施工技術の開発、適用のための教育、現場での確実な施工など、素材メーカーおよび造船所の設計、研究・開発、現場が一体となった取り組まなくては、実現不可能である。



(a) ギャップ精度の管理



(b) 溶接施工中の脚長の確認

図 23 構造アレスト性能が要求されるすみ肉溶接の施工状況

## 6. おわりに

造船では、リベット継手から溶接への接合方法の転換に伴い、ブロック工法などの新しい建造方法が採用され、さらに、片面溶接法や自動化ラインの導入、半自動溶接の採用により、生産性を大きく向上してきた。溶接の適用当初は、造船に限らずぜい性破壊による大規模な損傷事故を経験している。そのため、ぜい性破壊を防止するための鋼材開発、溶接施工法、溶接構造などに関する数多くの研究がなされてきた。現在は、高いじん性を有する高性能の鋼材や溶接材料、新しい溶接施工法や溶接構造物の応力・ひずみの解析手法などの研究が進み、大規模な損傷事故は発生しにくくなっていると言える。しかし、構造部の大型化や高層化、より過酷な温度や環境条件での使用など、条件が厳しくなっている中で、予想もしない構造物の破壊が発生する可能性がないとは言えない。

そこで、高強度の極厚板が使用される大型コンテナ船では、ぜい性破壊の発生を防止することに加え、万一発生した場合に備えて、ぜい性亀裂を停止させる機能を持たせる 2 重の安全性を持たせる設計思想となっている。その手法としての構造アレスト設計は、溶接構造の持つ交差継手の未溶着部でのぜい性亀裂伝播の駆動力解放に着目し、通常用いられる鋼板でも、適正な低温じん性を有する溶接部により、ぜい性亀裂を停止させることが可能な合理的な手法といえる。

## 参考文献

- 1) Schenectady T2 tanker, <https://www.twi-global.com/media-and-events/insights/schenectady-t2-tanker>, Accessed 2019.11.17
- 2) 溶接・接合技術 溶接学会編 産報出版, 1993
- 3) 金沢, 低温用鋼材と脆性破壊, 鉄と鋼 53(14), 1605-1627, 1967
- 4) This Ship Died-but Lived Again, POPULAR SCIENCE, November 1956
- 5) B. HAYES, Classic brittle failures in large welded structures, Engineering Failure Analysis, Vol 3, No. 2, pp. 115-127, 1996
- 6) 造船の溶接 35年の歩み 船舶・鉄構海洋構造物部会
- 7) アムテック資料館, [http://www.jmuc.co.jp/amtec/jsiry/keii\\_sengo.html](http://www.jmuc.co.jp/amtec/jsiry/keii_sengo.html), Accessed 2019.11.17
- 8) 田宮賞受賞事績集 田宮記念事業会 50周年記念
- 9) SR147 研究部会, 1976
- 10) (公社) 日本船舶海洋工学会 極厚板大入熱溶接部強度検討 FS 委員会 活動報告書, 2007.
- 11) (一財) 日本船舶技術研究協会 超大型コンテナ船の構造安全対策検討委員会: 超大型コンテナ船の構造安全対策の検討にかかわる調査研究 報告書, 2009.
- 12) (一財) 日本船舶技術研究協会 大型コンテナ船極厚板研究委員会: 大型コンテナ船の極厚板溶接継手からの脆性破壊発生防止に関する調査研究報告書, 2011.
- 13) (一財) 日本船舶技術研究協会 超大型コンテナ船の構造安全対策検討委員会: 超大型コンテナ船の構造安全対策の検討に係る調査研究 (別冊) 超大型コンテナ船の極厚鋼板溶接継手部の脆性破壊防止に関する提言, 2009.
- 14) (一財) 日本海事協会: 大型コンテナ船の YP47 鋼の使用に関するガイドライン, 2009.
- 15) IACS: UR-W31 Application of YP47 Steel Plates, 2013.
- 16) 日本造船研究協会 第 169 委員会 船体構造の破壊管理制御設計に関する研究 (SR169) の報告書 (1978 年度)

- 17) 半田ら,T 継手部の脆性き裂伝播停止挙動に及ぼす未溶着寸法の影響,溶接学会論文集 第 26 巻 第 2 号 p. 124-130 ,2008
- 18) 半田ら,T 継手に突入する長大脆性亀裂伝播停止挙動に及ぼす隅肉溶接金属靱性と脚長の影響,日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 26 号 2018S-GS7-4,2018
- 19) 半田ら,T 継手に突入する長大脆性亀裂伝播停止挙動に及ぼす隅肉溶接金属靱性の影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 19 号,2014A-GS9-7,2014

<筆頭著者略歴>

**木治 昇(きじ のぼる)**

---

1994 年 大阪府立大学 大学院 工学研究科 金属工学専攻 修士課程修了  
1994 年 石川島播磨重工業株式会社 (現、株式会社 IHI)入社 技術開発本部 配属  
2016 年 大阪大学 大学院 工学研究科 博士 (工学) 取得  
2019 年 ジャパンマリンユナイテッド株式会社 商船事業本部  
生産センター 生産イノベーショングループ グループ長  
現在に至る