

# すみ肉溶接を用いた大型コンテナ船向け脆性亀裂伝播停止技術

## Brittle Crack Arrest Technique for Large Container Ships Using Fillet Welding

半田 恒久 HANDA Tsunehisa	JFE スチール スチール研究所 接合・強度研究部 主任研究員 (副部長)・博士 (工学)
村上 善明 MURAKAMI Yoshiaki	JFE スチール スチール研究所 鋼材研究部長
伊木 聡 IGI Satoshi	JFE スチール スチール研究所 接合・強度研究部長 (理事)・博士 (工学)
豊田 昌信 TOYODA Masanobu	ジャパンマリンユナイテッド 商船・海洋・エンジニアリング事業本部 海上物流イノベーション推進部 イノベーション企画グループ長・博士 (工学)
木治 昇 KIJII Noboru	ジャパンマリンユナイテッド 商船・海洋・エンジニアリング事業本部 生産センター 生産イノベーショングループ長・博士 (工学)
猪瀬幸太郎 INOSE Koutarou	株式会社 IHI 技術開発本部 技術基盤センター 溶接グループ 部長・博士 (工学)

### 要旨

コンテナ船ハッチサイドコーミングに突入する長大脆性亀裂を対象とした、実構造サイズに近い超大型構造モデル試験を実施し、長大脆性亀裂停止条件に及ぼすすみ肉溶接金属靱性および鋼板板厚の影響を調査した。その結果、ハッチサイドコーミングとアッパーデッキからなる T 継手を開先無しすみ肉溶接構造とし、鋼板板厚に応じてすみ肉溶接金属靱性を適切に調節することにより、長大脆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となった。また、実際のすみ肉 T 継手部の施工において、アッパーデッキとハッチサイドコーミングの間にすきま (Gap) が生じ、増し脚長が必要となる場合であっても、すみ肉溶接脚長に応じてすみ肉溶接金属靱性を適正化することにより、同様に長大脆性亀裂をアレストさせることができた。

### Abstract:

The effect of fillet weld metal toughness and steel plate thickness on the long brittle crack arrest condition in a hatch side coaming of container ships was investigated. If a Tee joint composed of a hatch side coaming and a strength deck is constructed by fillet welding without a groove, long brittle cracks could be arrested in the fillet weld metal part by appropriately adjusting the fillet weld metal toughness according to the steel plate thickness. In addition, in the actual construction of the fillet Tee joint, even if a clearance (gap) was generated between the strength deck and the hatch side coaming, and an additional leg length was required, long brittle cracks could be arrested by optimizing the fillet weld metal toughness according to the fillet weld leg length.

## 1. はじめに

近年、海上輸送の活発化に伴い船舶の大型化が進んでいる。特にコンテナ船の大型化は顕著であり、2005 年に 10 000 TEU (Twenty foot equivalent unit : 20 フィートコンテナの積載可能数) クラスの船が登場して以降急速に大型化が進み、最近では 20 000 TEU クラスの超大型船が建造されている。コンテナ船は、船殻構造から上部構造部材であるアッパーデッキやハッチサイドコーミングで船体強度を確保する設計となっているため、これら部材には板厚 50 mm を超える極厚高強度鋼板が用いられている。

50 mm を超える極厚鋼板では、板厚効果による破壊靱性

の低下に加え、溶接入熱の増大が溶接部破壊靱性の低下に拍車をかける傾向にある。極厚鋼板の溶接継手で、溶接部から発生した脆性亀裂が溶接部に沿って直進伝播することが実験的にも示されており<sup>1)</sup>、極厚鋼板を船体構造へ適用する上での課題となっていた。

このため、船体の安全性確保、脆性破壊防止の観点から、バットシフトなどの構造対策とともに、アレスト靱性値 (Kca) が 6 000 N/mm<sup>3/2</sup> 以上の脆性亀裂伝播停止性能 (アレスト性能) に優れた鋼材のアッパーデッキ、ハッチサイドコーミングへの使用など、脆性亀裂が万一発生した場合に伝播を停止させる設計の適用が、国際船級協会連合により義務づけられた<sup>2,3)</sup>。

一方、極厚鋼板を使用するハッチサイドコーミングとアッパーデッキからなる T 継手の溶接は、開先を取らないすみ

肉溶接, または, 部分溶込み溶接で施工される。本研究では, 極厚溶接継手に直交する T 継手部で脆性亀裂を停止させることを目的として, 溶接部を直進伝播する脆性亀裂がハッチサイドコーミングとアップパーデッキの T 継手部に突入することを想定した大型モデル試験を実施し, T 継手部における脆性亀裂の伝播, 停止挙動を調査することにより, 実構造において脆性亀裂が T 継手部の溶接金属部で停止する条件を明らかにした。

## 2. 構造アレスト技術

日本海事協会発行の「脆性亀裂アレスト設計指針」<sup>4)</sup>等では, ハッチサイドコーミングで発生した脆性亀裂がアップパーデッキへ進展することを防ぐシナリオ 1, 逆に, アップパーデッキで発生した脆性亀裂がハッチサイドコーミングへ進展することを防ぐシナリオ 2, の二つのシナリオ (図 1) を満足

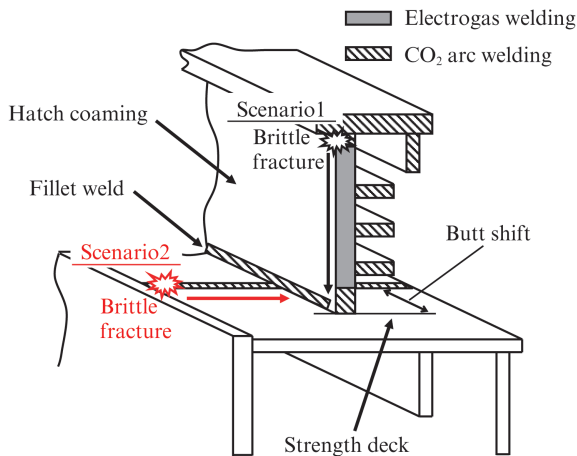


図 1 想定される脆性亀裂の伝播

Fig. 1 Brittle crack propagation assumed in this research

する脆性亀裂アレスト設計を考えることとしている。両シナリオとも, 溶接部非破壊検査での許容欠陥寸法より小さい初期欠陥が突合わせ継手部に内在していることを仮定し, この欠陥が波との遭遇等による縦曲げ変動応力により徐々に進展し, それを起点として脆性亀裂が発生, 突合せ継手部を伝播することを想定したものである。

構造アレスト設計は, 図 2 に示すとおり, ハッチサイドコーミングとアップパーデッキの T 継手部に非溶着部が存在することを利用して脆性亀裂を停止させる手法である。脆性亀裂が停止するのは, 非溶着部により脆性亀裂の伝播経路が物理的に制限され, 亀裂伝播の駆動力を開放するためと考えられ, 実験により効果が検証されている<sup>5)</sup>。図 2 は非溶着幅によるアレスト性能の違いを示しており, 非溶着部の無い完全溶込み溶接では脆化板を伝播してきた脆性亀裂が試験鋼板を貫通しているのに対し, 非溶着幅の広がる部分溶込み溶接では, 脆性亀裂は試験鋼板に突入後, 停止している。

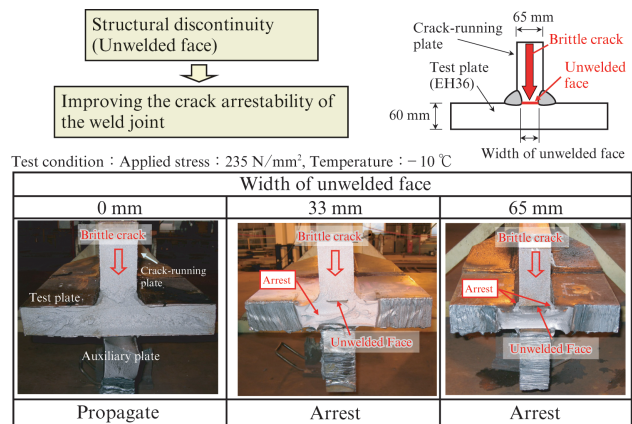


図 2 T 継手部の脆性亀裂伝播停止挙動に及ぼす非溶着幅の影響

Fig. 2 Effect of structural discontinuity on brittle crack propagation/arrest behavior in Tee joint

Specimen	Scenario 1	Scenario 2	
	Crack-running plate [Hatch side coaming]	Crack-running plate [Strength deck]	Crack-running plate [Hatch side coaming]
Width of root face	60 mm	55 mm	
Leg length	12 mm	12 mm	16 mm
Wire for welding	JIS Z 3313 T 49 4 T1-1 C A-U [φ1.2 mm]		
Test temperature	-10 °C		
Applied stress	283 N/mm <sup>2</sup>		
Result	Arrest	Arrest	Arrest

図 3 超大型構造モデル試験結果

Fig. 3 Results of ultra-large construction model tests

さらに、非溶着幅が最も広い開先無しのみすみ肉溶接では、脆性亀裂は試験鋼板に突入することなく停止していることがわかる<sup>5)</sup>。また、大型コンテナ船のハッチサイドコーミングを模擬した実物大の超大型試験でも、この非溶着部による脆性亀裂伝播停止効果が確認されている(図3)<sup>6)</sup>。なお、これらの試験で用いられた脆性亀裂が突入する試験鋼板は、母材での高いアレスト特性を保証していない一般的な船体用鋼板である。このことから、溶接部の非溶着幅やすみ肉溶接の脚長を適切にコントロールすることにより、一般に用いられている船体用鋼板でも脆性亀裂を停止できると言える。

ここに述べた、船体上部構造溶接部ディテールの厳格な制御により脆性亀裂の伝播を停止させる技術を「構造アレスト」と称する。この技術に関し、特に重要なのは、非溶着部により伝播経路が制限された脆性亀裂を停止させるために必要な溶接金属部の特性である。たとえば、図3の例では、低温靱性が極めて良好となる低温用鋼用溶接材料をすみ肉溶接に適用することにより、伝播した脆性亀裂をすみ肉溶接金属で停止させることができている。

構造アレスト技術は、船体溶接構造の持つT継手非溶着部での脆性亀裂伝播の駆動力解放に着目し、通常の鋼板と適正な低温靱性を有する溶接材料を用いて脆性亀裂を停止させる合理的な設計手法と言える<sup>7)</sup>。

### 3. T継手に突入する長大脆性亀裂の伝播停止挙動に及ぼす鋼板板厚とすみ肉溶接金属靱性の影響

本章では、構造アレスト技術により長大脆性亀裂をアレストするのに必要なすみ肉溶接金属部の靱性、および鋼板

の板厚がさらに増加した場合の影響を明かにするため、板厚と溶接金属靱性レベルを変化させたT継手構造の超大型構造モデル試験を実施した結果を詳述する。

図3からわかるとおり、アッパーデッキの突合せ継手部で発生、伝播してきた脆性亀裂をハッチサイドコーミングで停止させるシナリオ2は、シナリオ1に比べ、より高い脆性亀裂停止性能が必要となる<sup>8)</sup>。また、極厚鋼板の場合でも、シナリオ2はシナリオ1に比べより高い脆性亀裂停止性能が必要となることが最近の研究<sup>9)</sup>により確認されている。これらのことから、本検討はシナリオ2を対象として実施した。

#### 3.1 実験方法

ハッチサイドコーミングを模擬した鋼板には、船体構造用のEH級の厚鋼板(板厚60~80mm)を用いた。各鋼板は、脆性亀裂を発生、伝播させるための溶接継手(エレクトロガスアーク溶接により作製)の両側に開先無すみ肉溶接(脚長16mm)、あるいは比較のため部分溶込み溶接(脚長5mm)により取付ける。表1に溶接条件を示す。シールドガス組成および溶接材料種を変化させることにより、すみ肉溶接金属部の靱性を3水準に変化させた。溶接金属部の靱性レベルは、同等溶接条件で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た。また、表2に示す通り、一部の部分溶込み溶接においては、表1に示す3レベルの溶接材料とは別に、低温靱性がより良好な低温用鋼に適用される高靱性すみ肉溶接材料WMD(JIS Z 3313 T 55 6 T1-1 C A-N3)も比較のために用いた。

鋼板板厚とすみ肉溶接金属部靱性レベルの組合せを変えて、計6体の超大型構造モデル試験体を作製した。表2に試験条件を、図4に超大型構造モデル試験体の形状を示す。

表1 T継手の溶接条件

Table 1 Welding conditions of Tee joints

Tee joint	Partial penetration, Fillet welding		
Geometry of groove			
Leg length	Partial penetration: 5 mm, Fillet welding: 16 mm		
Welding method (Shielding gas)	GMAW (6-8%N <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> )	GMAW (100%CO <sub>2</sub> )	GMAW (100%CO <sub>2</sub> )
Wire for welding	WMa [φ1.2 mm]	WMb [φ1.2 mm]	WMc [φ1.2 mm]
Preheating	130~150°C	None	None
Welding position	Horizontal /Flush fillet welding	Horizontal /Flush fillet welding	Horizontal /Flush fillet welding
Welding condition	300A-33V-34 cpm	300A-33V-30 cpm, 320A-34V-28 cpm	300A-33V-30 cpm, 320A-34V-28 cpm
vTrs <sup>*1</sup> of weld metal	+4°C	-30°C	-62°C

\*1: Charpy fracture appearance transition temperature obtained by toughness level survey tests using butt welding

表 2 超大型構造モデル試験条件および結果

Table 2 Test conditions and results of ultra-large construction model tests

Test temperature	-10°C						
Applied stress	257 N/mm <sup>2</sup>						
Test No.	Crack-running plate thickness [UD] t <sub>U</sub> (mm)	EH steel plate thickness [HSC] t <sub>H</sub> (mm)	EH steel plate width W <sub>H</sub> (mm)	A side		B side	
				Tee joint / Wire for welding	Arrest or propagate at WM	Tee joint / Wire for welding	Arrest or propagate at WM
Test 1	75	75	300	Partial / WMa	Propagate	Fillet / WMa	Propagate
Test 2	60	60	300	Fillet / WMc	Arrest	Fillet / WMb	Arrest
Test 3	75	75	300	Fillet / WMc	Arrest	Fillet / WMb	Propagate
Test 4	60	60	120	Fillet / WMa	Propagate	Fillet / WMb	Arrest
Test 5	75	80	115	Fillet / WMb	Propagate	Fillet / WMa	Propagate
Test 6	60	60	120	Fillet / WMa	Propagate	Partial / WMd	Propagate

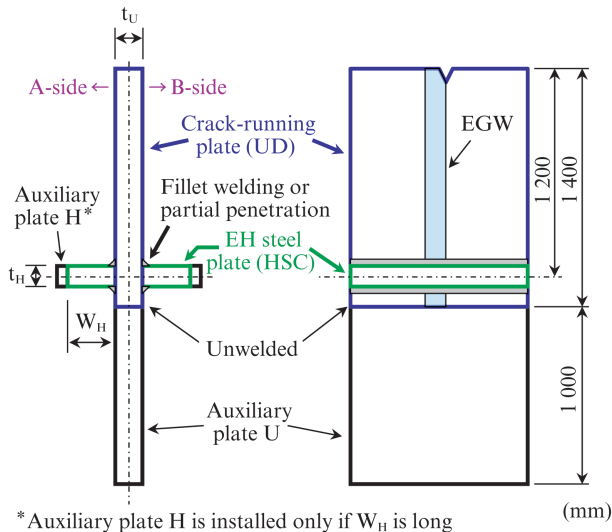


図 4 超大型構造モデル試験体形状

Fig. 4 Dimension of ultra-large construction model test specimens

脆性亀裂を発生、伝播させるための溶接継手（助走板）の両側に配置する T 継手はそれぞれ評価対象継手であり、別の試験条件が適用されている。ただし、引張荷重を付与する際に曲げ応力が生じないように、両側の EH 級厚鋼板の板厚と幅は同じにした。開先無すみ肉 T 継手は、脆性亀裂アレスト条件に及ぼす板厚と溶接金属靱性レベルの影響をみるため、溶接脚長は 16 mm で一定とした。比較用の部分溶込み T 継手の溶接脚長は 5 mm（開先を取る場合の標準的な値）とした。

試験は、試験体を -10°C に冷却し、板厚 1 mm あたり 1 分（60～80 分）以上保持した後、EH40 鋼板の最大許容応力 257 N/mm<sup>2</sup> に相当する荷重を付与し、機械ノッチ部に打撃を与えて脆性亀裂を発生、伝播させて行った。図 5 に試験体の試験機タブ板へのセット図を示す。ピン間（荷重負荷点間）の距離は 10 m である。

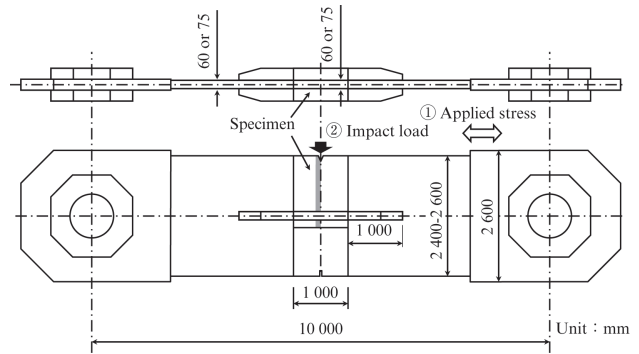


図 5 超大型構造モデル試験寸法

Fig. 5 Dimension of ultra-large construction model tests

### 3.2 実験結果

表 2 に試験結果を示す。部分溶込み構造では、高靱性すみ肉溶接材料を用いた場合でも、長大脆性亀裂はアレストしなかった（表 2, Test 6, B side）が、開先無すみ肉溶接構造では、すみ肉溶接金属でアレストするケースが認められた。例えば、板厚 75 mm の Test 3 においては、vTrs = -30°C のすみ肉溶接金属側（B side）では長大脆性亀裂はアレストしなかったが、vTrs = -62°C のすみ肉溶接金属側ではアレストした。また、図 6 に示す板厚 60 mm の Test 4 においては、vTrs = +4°C のすみ肉溶接金属側ではアレストしなかったが、vTrs = -30°C のすみ肉溶接金属側ではアレストした。vTrs = -30°C のすみ肉溶接金属側では、板厚 75 mm ではアレストしなかったが、板厚 60 mm ではアレストする結果が得られた。

表 3 および図 7 に、開先無すみ肉溶接構造（脚長 16 mm）における超大型構造モデル試験結果をまとめて示す。すみ肉溶接金属部の靱性が良好で鋼板板厚（アッパーデッキを模擬した鋼板の厚さ）が薄いほど、長大脆性亀裂はアレストしやすくなる傾向が認められる。

開先無すみ肉溶接構造（脚長 16 mm）とし、すみ肉溶接



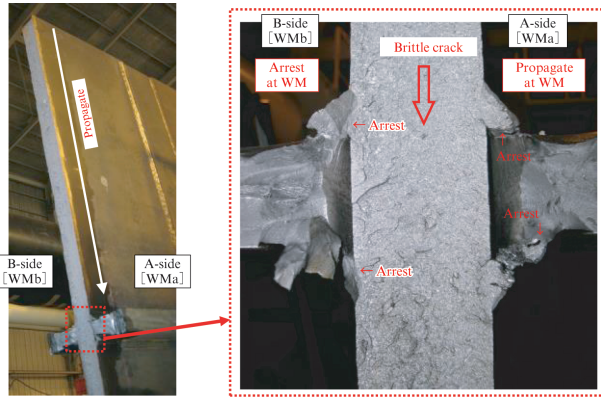


図 6 超大型構造モデル試験体破面

Fig. 6 Fracture surface of ultra-large construction model test specimen [Test 4 (HSC = 60 mm, UD = 60 mm)]

表 3 すみ肉溶接金属靱性と超大型構造モデル試験結果まとめ

Table 3 Summary of the fillet weld metal toughness and ultra-large construction model test results in fillet Tee joint structure

Tee joint		Fillet welding (Leg length = 16 mm)		
Applied stress		257 N/mm <sup>2</sup>		
Test temperature		-10°C		
Wire for welding		WMA	WMB	WMC
vTrs (°C)		+4	-30	-62
vE <sub>20°C</sub> (J)		19	82	135
HSC = 60 mm	UD = 60 mm	Propagate	Arrest	-
HSC = 60 mm	UD = 60 mm	Propagate	Arrest	Arrest
HSC = 75 mm	UD = 75 mm	Propagate	Propagate	Arrest
HSC = 80 mm	UD = 75 mm	Propagate	Propagate	-

金属の靱性レベルと鋼板板厚を適切に組合せることで、長大脆性亀裂をすみ肉溶接金属部でアレストさせられることを確認した<sup>10)</sup>。

#### 4. すみ肉T継手に突入する長大脆性亀裂の伝播停止挙動に及ぼすすみ肉溶接金属靱性と脚長の影響

実際のすみ肉T継手部の施工においては、アッパーデッキとハッチサイドコーミングの間にすきま (Gap) が生じ、増し脚長が必要となる場合がある。脚長が増すと亀裂伝播の駆動力が開放されにくくなり、脆性亀裂はアレストしにくくなる。すみ肉溶接脚長が増した場合の長大脆性亀裂をアレストするのに必要なすみ肉溶接金属部の靱性レベルを明らかにするため、T継手構造のすみ肉溶接脚長とすみ肉溶接金属靱性レベルを変化させた超大型構造モデル試験を実施し、長大脆性亀裂伝播停止条件を調査した。

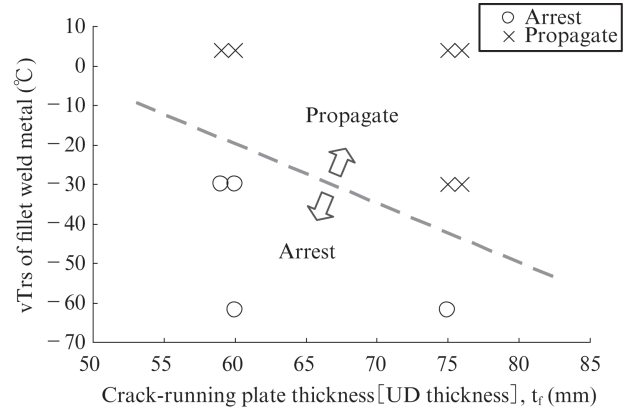


図 7 すみ肉溶接金属の vTrs および鋼板厚さと長大脆性亀裂伝播/停止の関係

Fig. 7 Relationship between crack-running plate thickness and vTrs of fillet weld metal and long brittle crack propagation/arrest [leg length: 16 mm, applied stress: 257 N/mm<sup>2</sup>, test temperature: -10°C]

#### 4.1 実験方法

ハッチサイドコーミングを模擬した試験鋼板には、船体構造用の EH 級厚鋼板 (板厚 65 mm) を用いた。脆性亀裂を発生、伝播させる大入熱溶接継手 (エレクトログラスアーク溶接継手, 板厚 75 mm) に試験鋼板をすみ肉溶接で取付け、T継手を作製した。前章の試験結果を受け、T継手部の構造は脆性亀裂伝播停止性能の良好な開先無すみ肉構造とし、溶接脚長を 19 mm, 21 mm, 24 mm (Gap を 5 mm, 7.5 mm, 10 mm) と変化させた。表 4 に溶接条件を示す。使用する溶接材料を変えることにより、すみ肉溶接金属部の靱性を変化させた。各すみ肉溶接金属部の靱性は、同等溶接条件

表 4 Gap 付き T継手の溶接条件

Table 4 Welding conditions of Tee joints with gap

Tee joint	Fillet welding						
Geometry of groove							
Target leg length (Gap)	19, 21, 24 mm (5, 7.5, 10 mm)						
Welding method	GMAW (Shielding gas: 100%CO <sub>2</sub> )						
Welding position	Horizontal fillet welding						
Welding condition	200-290A, 27-32V, 21-68 cpm						
Wire for welding	WM1 (φ 1.2 mm)	WM2 (φ 1.2 mm)	WM3 (φ 1.2 mm)	WM4 (φ 1.2 mm)			
Heat input <sup>*1</sup> (kJ/cm)	20	10	20	10	20	10	10
vTrs <sup>*1</sup> of weld metal (°C)	-38	-41	-52	-58	-67	-91	<-80

\* 1: Toughness level survey test results using butt welding

表 5 超大型構造モデル試験条件

Table 5 Test conditions of ultra-large construction model tests

Test temperature	-10°C						
Applied stress	243 N/mm <sup>2</sup>						
Test No.	Crack-running plate thickness [UD] t <sub>U</sub> (mm)	EH steel plate thickness [HSC] t <sub>H</sub> (mm)	EH steel plate width W <sub>H</sub> (mm)	Tee joint [Fillet weld structure]			
				A side		B side	
				Target leg length [Gap] (mm)	Wire for welding	Target leg length [Gap] (mm)	Wire for welding
Test 7	75	65	122	19 [5]	WM1	19 [5]	WM3
Test 8	75	65	122	24 [10]	WM1	24 [10]	WM2
Test 9	75	65	122	21.5 [7.5]	WM3	24 [10]	WM4

表 6 Gap 付 T 継手構造の超大型構造モデル試験結果まとめ

Table 6 Summary of ultra-large structural model test results in fillet Tee joint structure with gap

Tee joint	Fillet welding (HSC = 65 mm, UD = 75 mm)			
Applied stress	243 N/mm <sup>2</sup>			
Test temperature	-10°C			
Wire for welding	WM1	WM2	WM3	WM4
vTrs (°C)	-38~-41	-52~-58	-67~-91	<-80
Target leg length = 19 mm (Actual leg length = 19.5-20.0 mm)	Arrest [Test 7]	-	Arrest [Test 7]	-
Target leg length = 21.5 mm (Actual leg length = 23.0 mm)	-	-	Arrest [Test 9]	-
Target leg length = 24 mm (Actual leg length = 24.5-26.0 mm)	Propagate [Test 8]	Propagate [Test 8]	-	Arrest [Test 9]

で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た。各溶接金属部のシャルピー破面遷移温度 vTrs は、溶接入熱 10~20 kJ/cm の範囲で、-38~-41°C [WM1]、-52~-58°C [WM2] および -67~-91°C [WM3] であった。WM4 の vTrs は、入熱 10 kJ/cm の条件で -80°C より低温であった。

すみ肉溶接脚長とすみ肉溶接材料の組合せを変え、前記入熱範囲で、計 3 体 (計 6 条件) の超大型構造モデル試験体を作製した。表 5 に試験条件を示す。試験は、3.1 節と同じ要領で、EH36 鋼板の最大許容応力 243 N/mm<sup>2</sup> に相当する荷重を付与して実施した。

4.2 実験結果

表 6 に試験結果、図 8 に試験体の亀裂突入部の外観と破面の一例を示す。すみ肉溶接脚長が 16 mm を超える場合でも、長大脆性亀裂がすみ肉溶接金属でアレストするケースが認められた。例えば、目標脚長 24 mm の Test 8 では、vTrs = -52~-58°C のすみ肉溶接金属 [WM2] で長大脆性亀裂はアレストしなかったが、目標脚長 19 mm の Test1 では、vTrs = -38~-41°C のすみ肉溶接金属 [WM1] でも長大脆性亀裂がアレストした。また、図 8 に示す目標脚長 21.5 mm および 24 mm の Test 9 においては、vTrs = -67~-91°C の

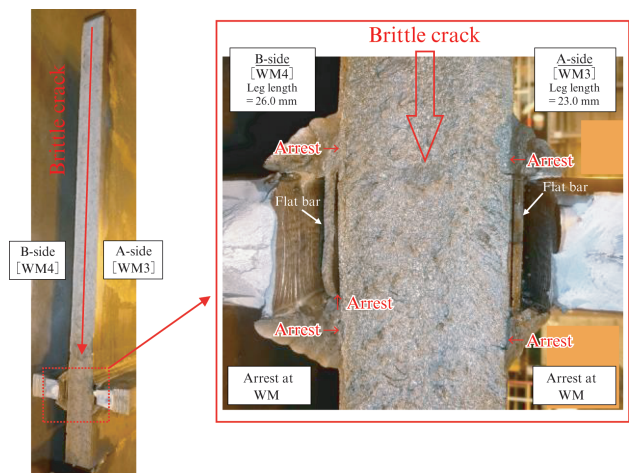


図 8 超大型構造モデル試験体破面

Fig. 8 Fracture surface of ultra-large construction model test specimen [Test 9]

すみ肉溶接金属部 [WM3] および vTrs < -80°C のすみ肉溶接金属部 [WM4] で長大脆性亀裂をアレストさせることができた。

図 9 に、すみ肉溶接脚長が 16 mm を超える開先無すみ肉溶接構造の超大型構造モデル試験結果をまとめて示す。図 9 には 3.1 節のすみ肉溶接脚長 16 mm の場合の結果も併せて

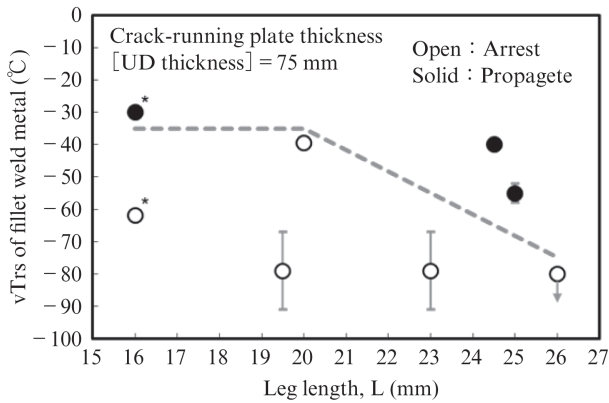


図9 すみ肉溶接金属のvTrsおよび脚長と長大脆性亀裂伝播/停止の関係

Fig. 9 Relationship between leg length and vTrs of fillet weld metal and long brittle crack propagation/arrest [UD thickness: 75 mm, applied stress: 243 N/mm<sup>2</sup> (\*: 257 N/mm<sup>2</sup>), test temperature: -10°C]

示している。すみ肉溶接金属部の靱性が良好ですみ肉溶接脚長が短いほど、長大脆性亀裂はアレストしやすくなる傾向が認められる。

開先無すみ肉溶接構造では、すみ肉溶接脚長が16 mmを超える場合であっても、すみ肉溶接脚長に応じてすみ肉溶接金属の靱性レベルを適切に調節することにより、長大脆性亀裂をすみ肉溶接金属部でアレストさせられることを確認した<sup>11)</sup>。

## 5. おわりに

非溶着部を有するすみ肉T継手構造の、ハッチサイドコーミングに突入する長大脆性亀裂を対象とした実構造サイズに近い超大型構造モデル試験を実施し、長大脆性亀裂停止条件に及ぼす鋼板板厚、すみ肉溶接金属靱性および脚長(Gap)の影響を調査した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 部分溶込み構造(板厚60 mm, 脚長5 mm, 非溶着幅t/3)では、高靱性溶接材料(JIS Z 3313 T 55 6 T1-1 C A-N3)を適用した場合でも、長大脆性亀裂はすみ肉溶接金属部でアレストしなかった。
- (2) 開先無すみ肉構造(板厚60~80 mm, 脚長16 mm)では、長大脆性亀裂がすみ肉溶接金属部でアレストするケースが認められ、すみ肉溶接金属部の靱性が良好で鋼板板厚(アッパーデッキ厚さ)が薄いほど、長大脆性亀裂はアレストしやすくなった。
- (3) 開先無すみ肉溶接構造として、溶接脚長、すみ肉溶接金属靱性および鋼板板厚を適正化することにより、長大脆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。
- (4) 開先無すみ肉構造(アッパーデッキ厚さ75 mm, ハッチサイドコーミング厚さ65 mm)では、すみ肉溶接脚

長が16 mmを超える場合であっても、長大脆性亀裂がすみ肉溶接金属部でアレストするケースが認められ、すみ肉溶接金属部の靱性が良好ですみ肉溶接脚長が小さいほど、長大脆性亀裂はアレストしやすくなった。

- (5) 実際のすみ肉T継手部の施工において、アッパーデッキとハッチサイドコーミングの間にすきま(Gap)が生じて、増し脚長が必要となる場合であっても、すみ肉溶接脚長に応じてすみ肉溶接金属靱性を適切に調節することにより、長大脆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。

## 参考文献

- 1) 山口欣弥, 北田博重, 矢島浩. 超大型コンテナ船の開発—新しい高強度極厚鋼板の実用—. KANRIN. 2005, no. 3, p. 70-76.
- 2) 国際船級協会(IACS)統一規則UR S33 "Requirements for Use of Extremely Thick Steel Plates in Container Ships" (2013年1月制定, 2015年9月改訂, 2019年12月再改訂)
- 3) 国際船級協会(IACS)統一規則UR W31 "YP47 Steels and Brittle Crack Arrest Steels" (2013年1月制定, 2015年9月改訂, 2019年12月再改訂)
- 4) 日本海事協会. 脆性亀裂アレスト設計指針. 2009, p. 2.
- 5) 木治昇, 中西保正, 豊田昌信, 與倉隆人, 半田恒久, 鈴木伸一. 厚板T継手の脆性き裂伝播停止特性. 溶接学会全国大会講演概要. 2006, no. 79, p. 164-165.
- 6) 半田恒久, 伊木聡, 木治昇, 豊田昌信, 武田尚, 猪瀬幸太郎, 遠藤茂, 潮海弘資. 隅肉T継手部に突入する長大脆性亀裂の伝播停止挙動. 日本船舶海洋工学学会講演会論文集. 2011, no. 13, p. 61-64.
- 7) 豊田昌信, 半田恒久. 大型コンテナ船の構造アレスト設計. 溶接学会誌. 2012, vol. 81, no. 6, p. 485-488.
- 8) 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—報告書—. 1979, p. 118-136.
- 9) Kubo, A.; Yajima, H.; Aihara, S.; Yoshinari, H.; Hirota, K.; Toyoda, M.; Kiyosue, T.; Inoue, T.; Handa, T.; Kawabata, T.; Tani T.; Yamaguchi Y. Experimental study on brittle crack propagation behavior with large scale structural component model tests -Brittle crack arrest design for large container ships -5-. ISOPE-2012. P. 36-43.
- 10) 半田恒久, 豊田昌信, 木治昇, 猪瀬幸太郎, 渡辺盛太, 潮海弘資, 伊木聡, 大井健次. 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. 日本船舶海洋工学学会講演会論文集. 2014, no. 19, p. 459-462.
- 11) 半田恒久, 豊田昌信, 木治昇, 池田倫正. 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. 日本船舶海洋工学学会講演会論文集. 2018, no. 26, p. 291-294.



半田 恒久



村上 善明



伊木 聡



豊田 昌信



木治 昇



猪瀬幸太郎