

### 3. 鋼船規則B編及びC編並びに同検査要領C編における改正点の解説 (低温海域を航行する船舶の鋼材の使用区分関連)

#### 1. はじめに

平成11年7月1日付規則第27号（英文は規則第34号）により鋼船規則B編及びC編1章並びに同日付達29号（英文は達34号）により鋼船規則検査要領C編C1の鋼材の使用区分に関する規定が改正された。本改正は、平成11年7月1日付にて施行されている。以下、改正された内容について解説する。

#### 2. 改正の背景

現行鋼船規則C編では、鋼材の使用に関する特別規定として、「長期間低温海域に就航する船舶又は低温貨物を搭載する船舶の場合、及び本会が必要と認めた場合、1.1.11の規定にかかわらず、さらに切欠じん性のすぐれた鋼材を要求することがある。」とある。低温貨物を搭載する場合の規定は、鋼船規則検査要領に設計温度及び鋼材の板厚に応じた鋼材の使用区分を示しているが、長期間低温海域に就航する船舶に対する取扱いがなかった。

一方、IACSにおいては、低温海域（一日の平均気温の最低値が $-20^{\circ}\text{C}$ 以下となるような海域）を就航する船舶の鋼材使用区分について、Recommendation No.7（以下、R. No. 7という。）を1980年に定めた。その後、鋼材の規格に対するURの改正（F級鋼の取り入れ、D級鋼の衝撃試験温度の変更等）に関連し、上記旧S6及びR. No.7の見直しが行われ、その結果、一般船舶に対する鋼材の使用区分及び低温海域を就航する船舶の鋼材の使用区分を統一してUR/新S6とし、1996年に制定した。

そこで、長期間低温海域を航行する船舶の鋼材の使用に関する規定をIACS UR /新S6の規定を参考に定めることとした。

#### 3. 改正の内容

##### 3.1 鋼材の使用区分の特別規定について

長期間低温海域を航行する船舶の鋼材の使用区分について、付録に示す検討方針、評価手順に基づきIACS UR/S6に定める鋼材の使用区分を評価し、その妥当性を確認し、それを取り入れた。

##### 3.2 主な改正点

##### 3.3.1 長期間低温海域を航行する船舶の鋼材の使用区分について

(1) 構造部材を強度上の重要度を考え、表1のように3種類に分類し、それが配置される場所に応じて材料クラスを設定した。

- (2) 設計温度（船舶の航行海域の通年における1日の平均気温の最低値）を表2のように4つに分類した。
- (3) 材料クラス、設計温度及び鋼材の厚さに応じ、それぞれ鋼種を設定した。
- (4) 長期間低温海域を航行する船舶の定義として、長期間という期間の定義は行わず、北極海又は南氷洋など航行海域を例示するにとどめた。
- (5) 長期間低温海域に航行する船舶の鋼材の使用区分に関する規定及び低温貨物を搭載する船舶の鋼材の使用区分に関する規定の適用は、船舶の入級申請に当たり、当該船舶の設計温度の申し出があった船舶とし、設計温度を鋼船規則B編に規定する中央横断面図に記載し、また、外板展開図に低温に曝される箇所（バラスト喫水線）を明記することとした。

表1 構造部材の分類

構造部材の分類	該当構造部材	材料クラス	
		中央部 0.4L間	中央部 0.4L間以外
Secondary	暴露甲板、船側外板、横隔壁	I	I
Primary	強力甲板、縦通隔壁等	II	I
Special	梁上側板、舷側厚板等	III	II

表2 設計温度の分類

設計温度( $T_D$ )の範囲 ( $^{\circ}\text{C}$ )	設計温度分類
$-25 \leq T_D \leq -20$	$T_{Da}$
$-35 \leq T_D < -25$	$T_{Db}$
$-45 \leq T_D < -35$	$T_{Dc}$
$-55 \leq T_D < -45$	$T_{Dd}$

##### 3.3.2 長期間低温海域を航行する船舶及び低温貨物を積載する船舶の入級に関する取扱いについて

本規定に適合する船舶は、構造部材が曝される温度に応じて一般船舶より切欠じん性の優れた鋼材を使用していることを示すために、設計温度分類又は貨物倉内の設計最低温度を船級符号に付記して登録することとする。

## [付録] 低温海域を航行する船舶の鋼材の使用区分

### 1. 鋼材の使用区分の検討方針

現行の鋼船規則C編において、長期間低温海域を航行する船舶に使用する鋼材は、切欠靱性を特別に考慮する必要がある旨を規定している。しかし、具体的な要件は定められていない。一方、IACSでは、URのS6の改訂（以下、新S6という。）を1996年に行い、これに対応する鋼材の使用区分を新たに制定した。

そこで、新S6の要求内容を低温海域を航行する船舶の鋼材使用区分として同検査要領で規定すべく、船体専門委員会の中に特別に編成された作業グループ（WG）において、以下の基本方針に基づき評価・検討を行った。

- ① 脆性破壊の発生特性（K概念）による破壊力学的手法を用い、一般船舶の鋼材使用区分の場合と同様の評価・検討を行う。
- ② 評価・検討の対象は、バラスト状態における喫水線より上方にある船体構造部材について、新S6の規定範囲（鋼種：YP24,YP32,YP36、最大板厚：50mm、温度：-20℃～-55℃）に同じとする。（注：喫水線より下方の構造部材は、一般船舶の鋼材使用区分を適用）

一般船舶の鋼材使用区分に係わる評価・検討の手法については、会誌248号で報告した通りである<sup>(1)</sup>。すなわち、任意の温度Tにおいて、構造部材に対する要求破壊靱性値 $K_{C(T)}$ と材料の最低破壊靱性値 $K_{C(T)}$ の間に、次式が成立すれば、

$$K_{C(T)} \leq K_{C(T)} \quad (1)$$

“当該亀裂からは脆性破壊は発生しない”と考える手法である。ここで、要求破壊靱性値 $K_{C(T)}$ は、

$$K_{C(T)} = \sigma_A \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

$\sigma_A$ ：作用応力

2a：亀裂長さ

と表すことができる。また、鋼材母材規格に対応する最低破壊靱性値 $K_{C(T)}$ は、中央切欠付広幅引張試験における脆性破壊発生温度 $iTK$ と破面遷移温度 $vTrs$ との相関式を用い、次式により求めることができる<sup>(2)</sup>。表1は、その計算結果の一例 [ $K_{C(-35^\circ C)}$ ]である。

$$K_{C(T)} = 3.81 \sigma_{y0} \exp \left\{ k_0 \left( \frac{1}{iTK} - \frac{1}{TK} \right) \right\} \quad (3)$$

ここで  $k_0 = 5.16 iTK - 170$

$$iTK = (0.0032 \sigma_{y0} + 0.391) vTrs + 2.74 \sqrt{t} - 5.44 (K)$$

$\sigma_{y0}$ ：公称降伏点 (kgf/mm<sup>2</sup>)

TK：任意の温度 (K)

t：板厚 (mm)

### 2. K概念による検討の概要

新S6の評価・検討にあたって、一般船舶の場合に用いた各種条件との相違点を以下にまとめる。

- ① 設計温度 ( $T_D$ )：温度範囲 (-20℃～-55℃) を4種類に区分し、各区分における最低温度を設計温度 ( $T_D$ ：-25℃, -35℃, -45℃, -55℃) とした。
- ② 作用応力 ( $\sigma_A$ )：船体縦曲げ応力  $\sigma_d$  として、船の長さ方向（中央部0.4L間とその外側）と、船の深さ方向の応力分布を考慮した。すなわち、会誌248号の図A-1に従い、強力甲板の中央部0.4L間を175N/mm<sup>2</sup>、その外側を中央部0.4L間の0.9倍とし、船側外板については強力甲板のそれぞれ0.8倍とした。有効溶接残留応力  $\sigma_r$  については、母材の公称降伏点  $\sigma_{y0}$  の0.25倍のままとした。よって、

$$\begin{aligned} \sigma_A &= \sigma_d + \sigma_r \\ &= \sigma_d + 0.25 \sigma_{y0} \end{aligned} \quad (4)$$

- ③ 亀裂長さ (2a)：構造分類の重要度と鋼材グレードとに応じて亀裂長さを設計温度別に想定した。すなわち、一般船舶に対して用いた亀裂長さ [2a(-10℃)]（会誌248号の表A-2の値参照）に、温度の係数である亀裂長さの比 [ $\gamma$ ：2a( $T_D$ )/2a(-10℃)] を乗ずることにより、設計温度 $T_D$ に対応するそれぞれの亀裂長さ [2a( $T_D$ )] を求めた。表2に、今回の評価・検討で用いた亀裂長さの値を示す。

ここで、亀裂長さの比 $\gamma$ の設定にあたっては、図1に示す推定フローに従い、海洋構造物の分野でこれまで安全使用実績のあるIACSのRecommendation 11 Materials Selection Guideline for Mobile Offshore Drilling Units（以下、R11という。）の要求内容をK概念を用いて逆解析し、その結果を利用することにした。図2は、R11が有する靱性水準の概要である。以下に、 $\gamma$ の設定手順について述べる。

- ・ 構造分類（Secondary, Primary, Special）に応じて使用する鋼材グレードが有する靱性水準として、許容亀裂長さ（計30点）を設計温度 ( $T_D$ ：-10℃, -20℃, -30℃, -40℃, -50℃) 別に推定した。
- ・ 亀裂長さの比 $\gamma$  [2a( $T_D$ )/2a(-10℃)] と設計温度 $T_D$ との相関として、これらのデータを統計処理し、 $\gamma$ に与える $T_D$ の影響を近似式（注：2標準偏差の下限線）で与えた。
- ・ 新S6の設計温度 ( $T_D$ ：-25℃, -35℃, -45℃, -55℃) に対応する $\gamma$ を設定した（表2参照）。

### 3. 鋼材使用区分の改正

IACS UR新S6の要求内容が脆性破壊の発生に対して安全性を確保しているかについて、具体的に破壊力学的手法を用いて評価・検討した。その一例を以下に示す。

#### A.[検討対象]

- ・構造部材 : Primary (中央部0.4Lの外側)  
Strength Deck Plating
- ・設計温度 TD : -35℃
- ・鋼材グレード : DH36
- ・使用板厚 : 35mm

#### B.[検討例]

$$\begin{aligned}
 \cdot K_{C(r)} &= \sigma_A \sqrt{\pi a} \\
 &= (\sigma_d + \sigma_r) \sqrt{\pi a(-35^\circ\text{C})} \\
 &= \left( \frac{17.5}{0.72} \times 0.9 + 0.25 \times 36 \right) \sqrt{\pi \times \frac{350}{2} \times 0.67} \\
 &= 593 \text{ kgf}\sqrt{\text{mm}} / \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\cdot K_{C(-35^\circ\text{C})} = 625 \text{ kgf}\sqrt{\text{mm}} / \text{mm}^2 \text{ (表1参照)}$$

以上より、(I)式が成立。すなわち、

$$K_{C(r)} \leq K_{C(-35^\circ\text{C})}$$

表3に、設計温度が-35℃の場合について、鋼種YP36に対する評価結果を取りまとめて示す。同時に、新S6の要求内容は、すべての条件下で(I)式を満足する靱性水準を有していることを確認した。

これにより、新S6の要求内容を全面的に取り入れて、現行鋼船規則検査要領に、低温海域を航行する船舶の鋼材使用区分として新たに規定することにした。その規定内容は、「脆性破壊の発生に対して安全側にある。」と言える。

#### 参考文献

- (1) 日本海事協会：「平成10年度版鋼船規則C編鋼材の使用区分関係規則改正の解説」、会誌No.248(1999)
- (2) 北田 博重：「TMCPによる降伏点40kgf/mm<sup>2</sup>級鋼板の実船適用にあたっての靱性要求基準に関する研究」、東京大学 工学部 学位論文、(1990)

表1 最低破壊靱性値 [Kc(-35℃)]

鋼材グレード		A	B	D	E	AH32	DH32	EH32	FH32	AH36	DH36	EH36	FH36
板厚 (t) (mm)	10	431	458	515	572	559	637	717	795	603	692	784	875
	15	419	447	503	560	544	621	702	780	586	674	767	858
	20	410	437	493	550	531	608	688	768	572	660	752	844
	25	401	428	485	542	520	597	676	756	560	647	738	831
	30	394	421	477	534	511	586	666	746	550	635	726	819
	35	387	414	469	526	502	577	656	736	540	625	715	808
	40	381	407	463	520	493	568	647	727	531	615	705	798
	45	375	401	456	513	486	560	638	719	523	606	696	788
	50	370	396	450	507	479	552	630	711	515	598	687	779

表2 設計温度別の亀裂長さ [2a(T<sub>D</sub>)]

鋼材グレード		A/AH	B	D/DH	E/EH	FH
構造分類	Secondary	270 * γ	300 * γ	330 * γ	360 * γ	390 * γ
	Primary	290 * γ	320 * γ	350 * γ	380 * γ	410 * γ
	Special	310 * γ	340 * γ	370 * γ	400 * γ	430 * γ

設計温度(TD)	-25℃	-35℃	-45℃	-55℃
γ	0.78	0.67	0.56	0.45

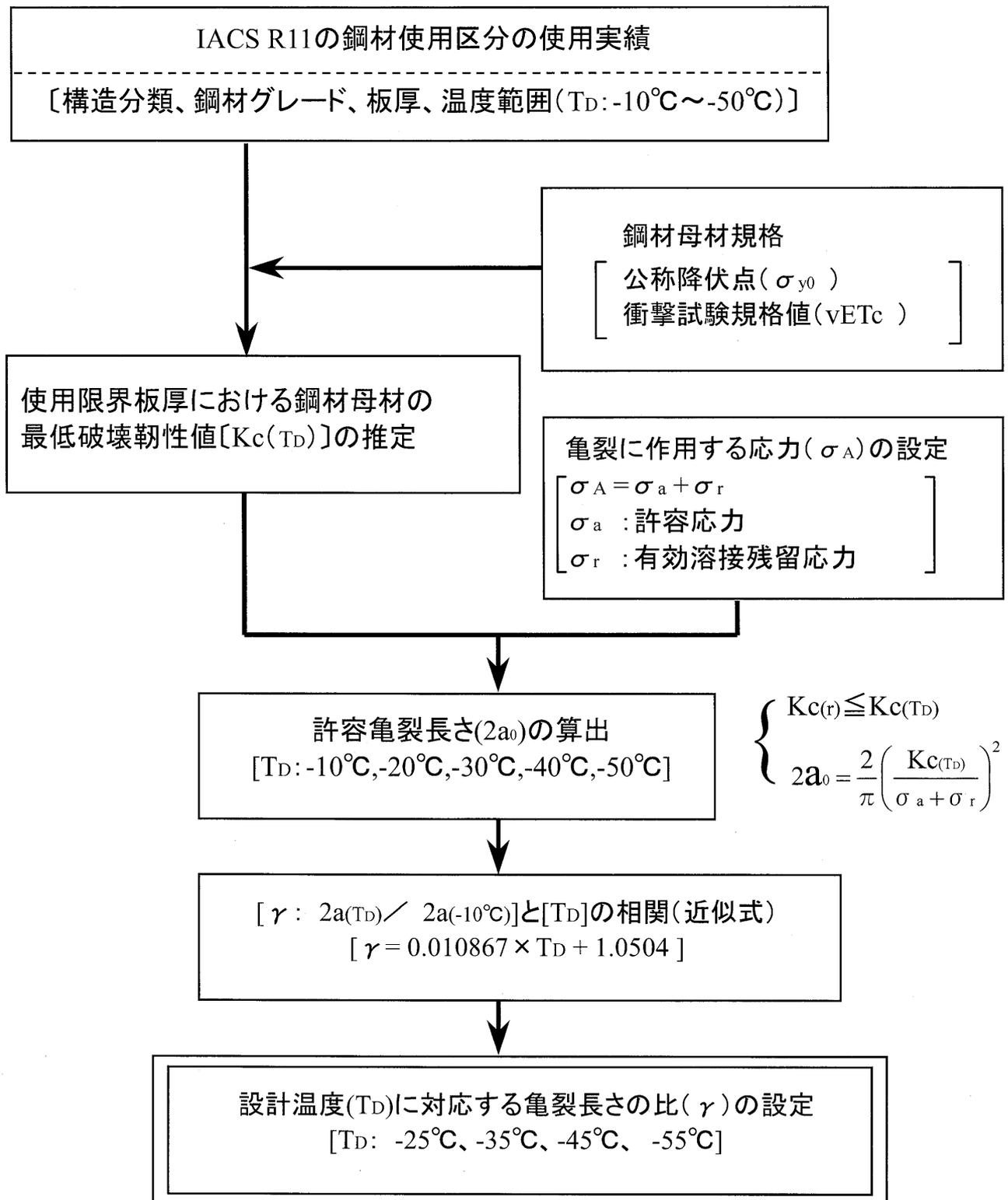


図1 亀裂長さの比の推定フロー  
—  $\gamma : 2a(TD) / 2a(-10^\circ C)$  の設定 —

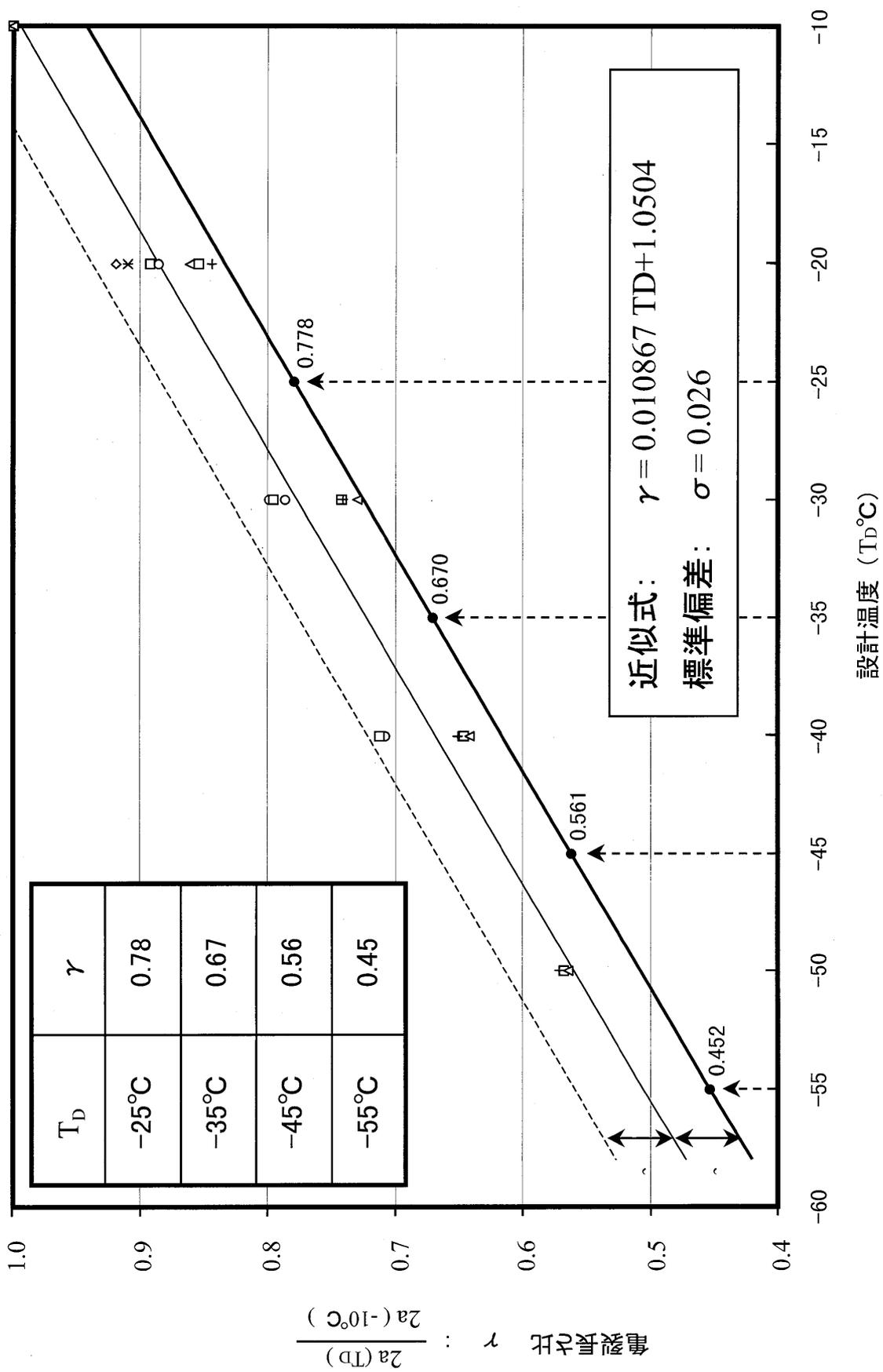


図2 亀裂長さ比に与える設計温度の影響

表 3 IACS UR 新 S6 に対する評価結果 [Kc(-35°C)/Kc(r)]

(YP36)

構造分類	構造部材	中央部0.4L間					中央部0.4L外				
		~10	~15	~20	~25	~30	~35	~40	~45	~50	
Secondary	Lower strake in longitudinal bulkhead	AH 1.07	DH 1.01	EH 1.06	AH 1.16	DH 1.08	EH 1.14				
	Deck plating exposed on weather, in general	AH 1.26	DH 1.18	EH 1.24	AH 1.35	DH 1.27	EH 1.33				
Primary	Strength deck plating										
	Continuous longitudinal members above strength deck, <i>excluding longitudinal hatch coamings</i>										
Special	Upper strake in longitudinal bulkhead		DH 1.03	EH 1.06	AH 1.12	DH 1.05	EH 1.11				
	<i>Vertical strake (hatch side girder) and upper sloped strake</i> in top wing tank										
Secondary	Strength deck plating at corners of large hatch openings	Case 1	DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10			
		Case 2		EH 1.06	FH 1.10		EH 1.06	FH 1.10			
Special	Sheer strake at strength deck	$L \leq 250$	1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
		$L > 250$		EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
Secondary	Stringer plate in strength deck	Other than the below	DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
		B > 70	DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
Special	Deck strake at longitudinal bulkhead	3 deck strakes	DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.13	EH 1.14	FH 1.18			
			DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
Secondary	Continuous longitudinal hatch coamings		DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			
			DH 1.05	EH 1.06	FH 1.10	DH 1.08	EH 1.11	FH 1.18			