

鋼船規則B編及び同検査要領P編改正の解説

まえがき

昭和63年2月23日及び6月17日に制定された改正規則のうち、海洋構造物に関連する鋼船規則B編及び同検査要領P編の改正について解説する。これらの改正のうち、要領P編は昭和63年4月1日に、規則B編は昭和63年9月1日にそれぞれ施行された。

今回の主要な改正点は次の通りである。

- (1) 海洋構造物の船体及び艀装関係の定期的検査に対する具体的な規定（規則B編10章）
 - (2) 甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶に使用する構造部材の分類についての具体的な規定、並びに降伏応力 420 N/mm^2 (43 kgf/mm^2) 以上の鋼材に対する使用区分の規定（要領P編P 3.2）
 - (3) 疲労強度に関する具体的な規定（要領P編P 5.1.5）
- 以下に、これら各項目の改正についての解説を述べる。

なお、鋼材の使用区分の決定法に関する詳細な解説を付録A 1に示す。また、疲労強度に関しては、その具体的な検討方法が要領付録P 1に参考資料として採り入れられているが、これについての詳細な説明は本号に別途解説記事を掲載しているのでそちらを参照されたい。

I. 海底資源掘削船の定期的検査

B編 船級検査

10章 海洋構造物及び作業船等に関する検査の特例

10.3 定期的検査

10.3.2 船体及び艀装

鋼船規則P編「海洋構造物及び作業船等」の適用を受ける船舶の定期的検査は、旧規則ではドック入れ又は上架等に関する規定を除き、B編他章の一般船舶に対する規定によることになっていた。しかしながら、海洋構造物のうちでも特に海底資源掘削船はその用途、構造形式及び操作上の特殊性から、検査に関しては一般船舶と異なる点が多いので、この特殊性を考慮した検査規定を設ける必要がある。そこで、今回は船体構造及び艀装に關し、特に注意すべき点を新たに規定することとした。

具体的な要件については、本会にすでに入級している海底資源掘削船の定期的船級検査の実態並びに他船級協会の規則をも参考にして定めている。

ここで、海底資源掘削船の特殊性としては、構造上重要な結合部が多数あること、バラスタングの健全さが安全な操船のために重要であること等が挙げられる。まず、接合部については、非破壊検査を要求している。ただし、この検査は、必要に応じてあらかじめ登録検査の図面審査の時点から実施箇所を指定することを考慮した。また、バラスタングについては、1次1種定期検査後の1次中間検査（すなわち、建造後6年後）から2年おきに内部検査を要求することとした。また、これら以外の特殊な構造等についても具体的に名称をあげ規定した。

なお、本章では、海洋構造物等に特有な構造のみに関する検査の特例について規定したので、検査の実施にあたっては、B編他章の規定（例えば、3章、4章）も適用される。

II. 構造部材の分類及び鋼材の使用区分等

P編 海洋構造物及び作業船等

P 3 船体構造及び艀装に関する通則

P 3.2 材料

P 3.2.2 甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶の構造部材の分類

海洋構造物に使用される構造部材の分類については、現行の鋼船規則P編3.2.2において、甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶の構造部材の例示的な分類が規定されている。今回、IACS Recommendation No. 11 “Material Selection Guideline for Mobil Offshore Drilling Units” (1984年)の要件に合わせて、検査要領に甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶の構造部材の具体的な分類を規定した。これに伴い、規則P編3.2.2に示される例示的な分類は、次のような概念的な分類に解釈しても差し支えない。

- (1) 一次構造部材：船舶の主要構造部材で、構造物全体の保全性に重要な係わりのある部材
- (2) 二次構造部材：前(1)に規定する構造部材の内部構成

部材等で、それが損傷しても構造物全体の保全性に直接影響を及ぼさないとみなされる部材

- (3) 特殊構造部の部材：前(1)に規定する構造部材の結合部等で、構造上特に重要な荷重伝達箇所又は応力集中部等の部材

P3.2.3 材料の設計温度の定義

現行の鋼船規則P編3.2.3において、軽荷喫水線以下の部分に対して設計温度を0℃未満とする必要がないという規定を設けているが、甲板昇降型船舶においては、稼働状態において船体上部構造の軽荷喫水線以下の部分が空中に常に露出するので、この規定の対象外とする旨を検査要領に加えた。また、甲板昇降型船舶の底部マツト及びフーティング、並びに半潜水型船舶のローワーハルについては、これらは稼働状態において常に海中に没水している部分であるので、設計温度を0℃未満とする必要がないものとした。

P3.2.4 鋼材の使用区分

甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶に使用する圧延鋼材の使用区分に関する現行鋼船規則P編3章の表P 3.1 から表P 3.3の規定は、鋼材の靱性特性を考慮して定めたもので、軟鋼材及びHT32、HT36に対してWES3003(昭和52年)¹⁾の計算式を適用している。昭和62年9月1日より、降伏応力が420N/mm²(43kgf/mm²)以上の鋼種に対する規格が鋼船規則K編3.8構造用調質高張力圧延鋼材として規定されたことに対応して、今回、これら新鋼種に対する使用区分を検査要領に加えた。

使用区分の決定方法は、現行区分と同様、WES3003の計算方式を適用しているが、同式は昭和58年に改訂されているため、同改訂²⁾の考え方にに基づき使用区分を定めた(付録A1参照)。

この新しい使用区分は、調質高張力鋼を二つのグループに分けて規定している。すなわち、規格降伏応力が420N/mm²、460N/mm²及び500N/mm²の鋼材グループ(AQ1, DQ1, EQ1, FQ1)、並びに、550N/mm²、620N/mm²及び690N/mm²の鋼材グループ(AQ2, DQ2, EQ2, FQ2)に対して、それぞれ、降伏応力を500N/mm²(51kgf/mm²)及び690N/mm²(70kgf/mm²)としてWES3003の計算式を適用した計算結果に基づき使用区分を定めた。

また、-2.として、主要な荷重が鋼材の板厚方向に加わる場合に対して板厚方向特性が特別に考慮された鋼材の使用を求める規定は、いわゆる耐ラメラティア鋼(Z鋼)の使用を要求するものであり、半潜水型船舶のブレーシング継手部、主桁交差部等において板厚方向に大きな引張応力が生じる部材等に適用する。

- 1) 「WES3003(旧WES136)G種改訂案について」日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会(昭和52年2月)
- 2) 「低温構造用鋼板判定基準WES3003G種改訂案について」日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会(昭和58年2月)

III. 疲労強度

P 5 強度計算

今回の改正では、強度計算に関しては疲労強度に関してのみ具体的要領及び参考資料が加えられた。疲労強度計算の前提条件である全体強度解析の要領については従来通り本会の適当と認めるところによる。

P5.1 一般

P5.1.5 疲労強度

半潜水型船舶及び甲板昇降型船舶に代表される海洋構造物においては、多用される溶接継手部等の応力の集中部における疲労強度の検討が設計上重要な項目であり、IACS統一規則D編(MODU等)においても、従来の規定(D3.4.4)の改正が行なわれた(1987年)。

今回の改正では、IACSの改正に沿って海洋構造物の疲労強度に関するより具体的な規定を検査要領に設けた。

-1. 一般の(1)に、半潜水型船舶及び甲板昇降型船舶については、原則として、疲労強度の検討の検討を行なう規定を設けているが、例えば、使用期間が5年程度以内に限定されている場合、あるいは稼働海域が平穏な内海に限定される場合などにおいては、予想される繰返し荷重の大きさ及び回数を考慮して疲労強度の詳細な検討を省略することができる。半潜水型船舶だけでなく甲板昇降型船舶についても疲労強度の検討を要求する規定は、IACSの要件に従ったものである。甲板昇降型船舶は、部材に発生する応力集中部が稼働海域の水深及び作業状態に依存して大きく変動するので、稼働海域が特定できない場合、疲労強度の合理的な推定に困難な面があるが、予想される平均的な荷重特性を設定するなどして検討を行なうものとする。

-1.(1)では、疲労設計寿命を20年又は船舶の設計寿命のうちどちらか大きい方の値とすることを標準としている。例えば、船舶の設計寿命が20年より大幅に短く波の穏やかな内海で主に使用される場合でも、流れの強い海域で使用され周期の短い渦励振による繰返し荷重が疲労強度に影響を及ぼすと考えられる場合には、疲労強度計算を行なうものとするが、この場合、流れの強い海域で使用される期間を考慮して疲労設計寿命を斟酌でき

る。ただし、疲労強度計算により推定される疲労被害度あるいは疲労寿命は、計算法の種類及び応力集中係数の推定精度などに大きく依存するので、実施する疲労強度計算の程度に応じて許容される疲労被害度、すなわち、疲労設計寿命に対する推定疲労寿命の安全余裕を斟酌する。

疲労強度計算に使用する応力の長期分布、疲労設計線図及び計算法は本会の適当と認めるものとするが、溶接継手の疲労強度計算はホットスポット歪を基準とする方法を推奨する。このホットスポット歪による基本疲労設計線図及び疲労強度計算法を要領付録P 1に参考資料として採り入れており、その詳細な解説を本号別途掲載記事に示す。この方法は、応力の集中する形状不連続部における応力の最も高い所（ホットスポット）の局部塑性まで考慮した歪（ホットスポット歪）に基づくもので、溶接継手部の場合、継手形状による応力集中だけでなく、溶接趾端部形状による応力集中も同時に考慮するものである。この方法によれば、疲労設計線図は、継手形状によらず一本の設計曲線で表現できる。なお、従来設計でよく行われている部材継手形状に応じて用意された部材の公称応力を基準とした設計曲線に基づく方法によることも認められるものとした。

付録A 1 COD 概念に基づく鋼材の使用区分決定法

1. 適用計算式

鋼船規則K編 3.8に規定する構造用調質高張力圧延鋼材の甲板昇降型船舶及び半潜水型船舶に対する使用区分の新設に当たり適用した計算式などは、昭和58年日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会 WR 委員会制定「低温構造用鋼板判定基準 WES3003G 種改訂」に基づいている。なお、この計算式は工学単位系で表示されている。

2. 計算手法の概略

2.1 要求 COD 値 (δ_{req}) の決定

図1の想定亀裂モデルにおいて、要求 COD 値は、次式から求められる。

$$\delta_{req} = 3.5a(\sigma_d + \sigma_r)/E \quad (1)$$

ここで、 δ_{req} ：要求 COD 値 (mm)

$2a$ ：想定亀裂長さ (mm)

σ_d ：設定応力 (kgf/mm²)

σ_r ：溶接残留応力 (kgf/mm²)

E ：ヤング率 (kgf/mm²)

$\sigma_d = \alpha \sigma_{yo}$, $\sigma_r = 0.6 \sigma_{yo}$ とおくと、(1)式より、

$$\delta_{req} = 3.5a(\alpha + 0.6)\sigma_{yo}/E \quad (2)$$

σ_{yo} ：室温規格降伏応力 (kgf/mm²)

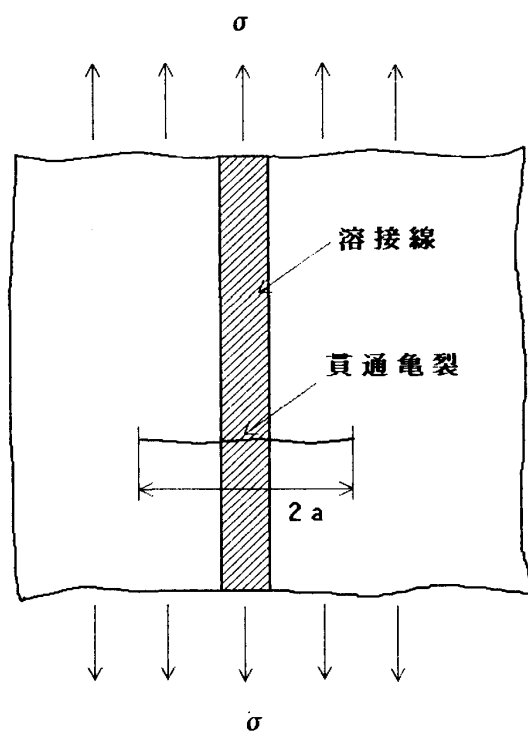


図1 想定亀裂モデル

となる。ここで、 α を構造部材に応じて次のように設定する。

$$\alpha = \begin{cases} 0.2 & (\text{二次構造部材}) \\ 0.4 & (\text{一次構造部材}) \\ 0.8 & (\text{特殊構造部の部材}) \end{cases}$$

また、想定亀裂半長は、次式により設定される。

$$a = \begin{cases} 1100/\sigma_{yo} & (\sigma_{yo} \geq 40 \text{ kgf/mm}^2) \\ 106 \exp(-\sigma_{yo}/30) & (\sigma_{yo} > 40 \text{ kgf/mm}^2) \end{cases} \quad (3)$$

2.2 限界 COD 値 (δ_c) の推定

(1) 限界 COD 値 (δ_c) とシャルピー吸収エネルギー (vE) の相関

COD 試験と V ノッチシャルピー試験のデータより、次の関係式が与えられている。

$$\begin{cases} \delta_c(T_d) = 0.01 vE(T_d + \Delta T) \\ \Delta T = 133 - 1.23 \sigma_{yo} - 6 \sqrt{t} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 δ_c ：使用温度 T_d (°C) における限界 COD 値
 $vE(T_d + \Delta T)$ ： $T_d + \Delta T$ (°C) におけるシャルピー吸収エネルギー ((kgf・mm))

t ：板厚 (mm)

(2) シャルピー吸収エネルギー (vE) とシャルピー吸収エネルギー遷移温度 (vTE) の相関

V ノッチシャルピー試験のデータより、次の関係式が与えられている。

$$vE(T) = \begin{cases} \sigma_{yo}/3 + \sigma_{yo}(T - vT_E)/100 & (\sigma_{yo} \leq 40 \text{ kgf/mm}^2) \\ 13.3 + 0.4(T - vT_E) & (\sigma_{yo} > 40 \text{ kgf/mm}^2) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 vT_E ：シャルピー吸収エネルギー遷移温度(°C)

(5)式において $\Delta T = T_d + \Delta T$ 及び $T = T_c$ を代入し、両式より vT_E を消去すると次式となる。

$$vE(T_d + \Delta T) = \begin{cases} \sigma_{yo}(T_d + \Delta T - T_c)/100 vE(T_c) & (\sigma_{yo} \leq 40 \text{ kgf/mm}^2) \\ 0.4(T_d + \Delta T - T_c) + vE(T_c) & (\sigma_{yo} > 40 \text{ kgf/mm}^2) \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 T_c ：シャルピー試験温度(°C)

$vE(T_c)$ ： T_c (°C)におけるシャルピー吸収エネルギーの規格値(L方向)(kgf・m)

(3) 限界 COD 値(δ_c)の推定

(4)式及び(6)式により、 δ_c は鋼材の規格(降伏応力、シャルピー吸収エネルギー)、板厚及び使用温度に応じて推定される。

2.3 使用区分の決定法

ある使用温度 T_d において次式が成立する最大板厚 $t_{\max}$ を各鋼材に対して求める。

$$\delta_{\text{req}} \leq \delta_c \quad (7)$$

3. 計算結果

本手法による計算条件は表1の通りであり、その計算結果を他船級協会規則と比較して示したものが表2から表7である。ここで、降伏応力 420 N/mm^2 (43 kgf/mm^2) 以上の調質高張力鋼を、降伏応力 500 N/mm^2 (51 kgf/mm^2) 以下の鋼材グループ(NK*)と、 550 N/mm^2 (59 kgf/mm^2) から 690 N/mm^2 (70 kgf/mm^2) の鋼材グループ(NK*)とに分けて、それぞれ規格降伏応力を 51 kgf/mm^2 , 70 kgf/mm^2 として計算している。計算結果による各使用温度に対する板厚の上限は、表2から表7の破線で示すものであり、この計算結果の基づき、表中で実線で示す使用区分が決定された。

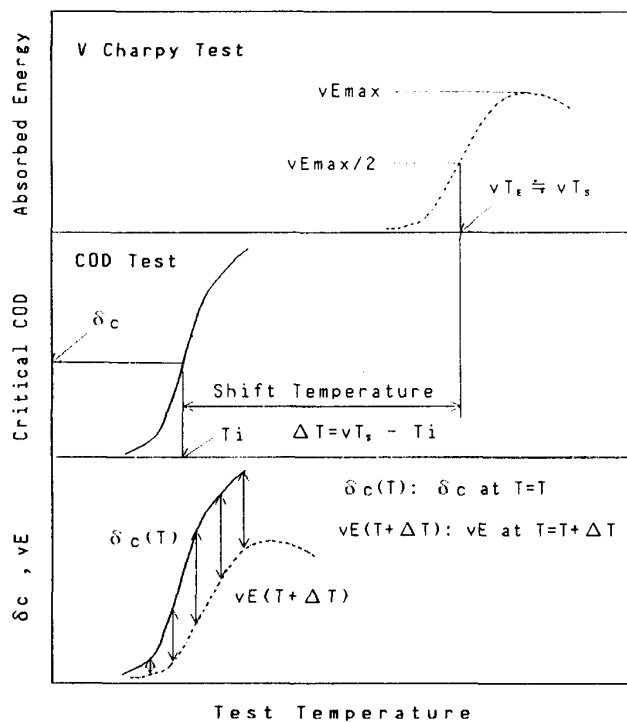


図2 COD試験とシャルピー試験との相関の方法

表1 計算条件

記号	材料記号	規格降伏応力 σ_{yo} (N/mm ²)	シャルピー試験 温度 T_c (°C)	シャルピー吸収 エネルギー $vE(T_c)$ (J)	想定亀裂半長 a (mm)
AQ1	KA43 KA47 KA51	500 (51kgf/mm ²)	0	41 (4.2kgf・m)	19.4
DQ1	KD43 KD47 KD51		-20		
EQ1	KE43 KE47 KE51		-40		
FQ1	KF43 KF47 KF51		-60		
AQ2	KA56 KA63, KA63N KA70, KA70N	690 (70kgf/mm ²)	0	41 (4.2kgf・m)	10.3
DQ2	KD56 KD63, KD63N KD70, KD70N		-20		
EQ2	KE56 KE63, KE63N KE70, KE70N		-40		
FQ2	KF56 KF63, KF63N KF70, KF70N		-60		

表2 鋼材の使用区分比較表 (使用温度 0℃)

Service/Design Temperature : 0 °C		
Application	CLASS	Thickness t(mm)
Categories		5 10 15 20 25 30 35 40 45
Secondary	DnV	DX EX
	ABS	AQ
	NK *1	AQ 1
	NK *2	AQ 2 DQ 2
Primary	DnV	DX EX
	ABS	DQ
	NK *1	AQ 1 DQ 1
	NK *2	AQ 2 DQ 2
Special	DnV	DX EX FX
	ABS	EQ
	NK *1	AQ 1 DQ 1
	NK *2	AQ 2 DQ 2 EQ 2

表3 鋼材の使用区分比較表 (使用温度 -10℃)

Service/Design Temperature : -10 °C		
Application	CLASS	Thickness t(mm)
Categories		5 10 15 20 25 30 35 40 45
Secondary	DnV	DX EX
	ABS	EQ
	NK *1	AQ 1 DQ 1
	NK *2	AQ 2 DQ 2
Primary	DnV	DX EX FX
	ABS	EQ
	NK *1	AQ 1 DQ 1
	NK *2	AQ 2 DQ 2 EQ 2
Special	DnV	DX EX FX
	ABS	EQ
	NK *1	AQ 1 DQ 1 EQ 1
	NK *2	DQ 2 EQ 2

表4 鋼材の使用区分比較表 (使用温度-20℃)

Service/Design Temperature : -20 ℃													
Application	CLASS	Thickness t(mm)											
Categories		5	10	15	20	25	30	35	40	45			
Secondary	DnV	DX					EX					FX	
	ABS	EQ											
	NK *1	AQ 1				←		DQ 1					
	NK *2	AQ 2	DQ 2				←		EQ 2				
Primary	DnV	DX			EX				FX				
	ABS	EQ											
	NK *1	AQ 1		←		DQ 1				←			EQ 1
	NK *2	DQ 2				←		EQ 2					
Special	DnV	EX			FX								
	ABS	EQ											
	NK *1	DQ 1			EQ 1								
	NK *2	DQ 2	EQ 2				FQ 2						

表5 鋼材の使用度分比較表 (使用温度-30℃)

Service/Design Temperature : -30 ℃													
Application	CLASS	Thickness t(mm)											
Categories		5	10	15	20	25	30	35	40	45			
Secondary	DnV	DX				EX				FX			
	ABS	EQ											
	NK *1	AQ1				DQ1				EQ1			
	NK *2	DQ2				EQ2							
Primary	DnV	DX	EX				FX						
	ABS	EQ											
	NK *1	DQ1				←				EQ1			
	NK *2	DQ2				EQ2				← FQ2			
Special	DnV	EX	FX										
	ABS	FQ											
	NK *1	DQ1				EQ1				FQ1			
	NK *2	EQ2				←				FQ2			

表 6 鋼材の使用区分比較表 (使用温度-40℃)

Service/Design Temperature : -40 ℃		
Application	CLASS	Thickness t(mm)
Categories		5 10 15 20 25 30 35 40 45
Secondary	DnV	DX EX FX
	ABS	FQ
	NK *1	DQ1 EQ1
	NK *2	DQ2 EQ2 FQ2
Primary	DnV	EX FX
	ABS	FQ
	NK *1	DQ1 EQ1 FQ1
	NK *2	EQ2 FQ2
Special	DnV	FX
	ABS	FQ
	NK *1	EQ1 FQ1
	NK *2	EQ2 FQ2

表 7 鋼材の使用区分比較表 (使用温度-50℃)

Service/Design Temperature : -50 ℃		
Application	CLASS	Thickness t(mm)
Categories		5 10 15 20 25 30 35 40 45
Secondary	DnV	EX FX
	ABS	FQ
	NK *1	DQ1 EQ1 FQ1
	NK *2	EQ2 FQ2
Primary	DnV	EX FX
	ABS	FQ
	NK *1	EQ1 FQ1
	NK *2	EQ2 FQ2
Special	DnV	FX
	ABS	FQ
	NK *1	EQ1 FQ1
	NK *2	EQ2 FQ2