

「大型コンテナ船のYP47鋼の使用に関するガイドライン」の概要

1 適用

YP47鋼板は新しい高張力鋼板である。船体構造への適用に際しては、適用部材の設計要件と、それを満足するための鋼板及び溶接継手部が有すべき性能について、個々に検討する必要がある。同ガイドラインでは、現実的な設計として、大型コンテナ船のハッチサイドコーミングにYP47鋼板を使用する場合を対象とした。ハッチサイドコーミング以外にYP47鋼板を使用する場合は、同ガイドラインを参照し、必要な設計、材料に関する要件について個々に検討することとなる。

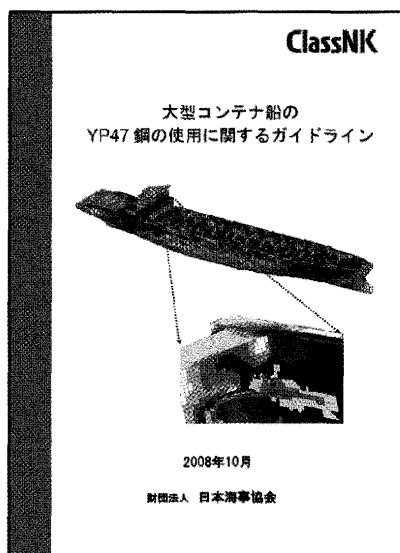


図1 大型コンテナ船のYP47鋼の使用に関するガイドライン

2 ハルガーダー強度（ハイテン係数の設定）

ハルガーダー強度の評価に用いるハイテン係数（以下、ハイテン係数という。）は、0.62とした。図2に、YP47鋼板と現行規則に規定する高張力鋼板（YP32鋼板、YP36鋼板及びYP40鋼板）のハイテン係数を示す。ハイテン係数の設定にあたっては、降伏強度の上昇と併せて、引張強度に対する余裕度も考慮した。同図に示すように、YP47鋼板のハイテン係数は、引張強度に対して、現行の高張力鋼板と同等の余裕度を有しているといえる。また、同ハイテン係数の妥当性については、疲労強度、船底側座屈強度や破壊靱性などの検討において検証している。

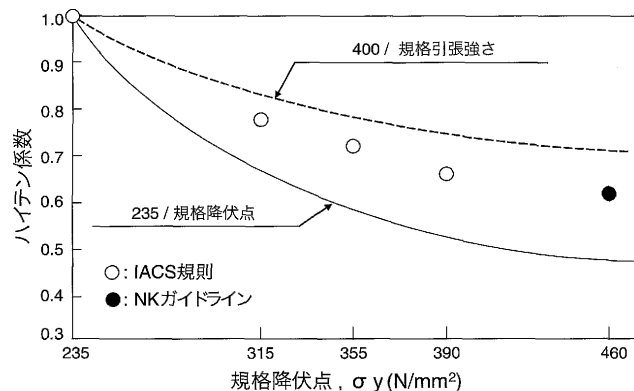


図2 ハイテン係数と規格降伏点の関係

3 疲労強度

高張力鋼板を船体構造に使用する場合に、留意すべき最も重要な強度上の課題の一つが疲労強度である。本会では、コンテナ船に高張力鋼板を使用した場合の船体構造の疲労強度評価について、過去の疲労損傷経験および種々の研究成果を踏まえた技術基準“Guidelines for Fatigue Strength Assessment of Container Carrier Structures”（以下、疲労技術基準という。）を確立している。

YP47鋼板の使用にあたっては、同疲労技術基準をベースに、以下のとおり規定した。

- ・ 鋼板および溶接継手部が現行規則に規定する高張力鋼板と同等以上の疲労強度を有していること（製造法承認時の疲労試験により確認）
- ・ ハッチコーミングおよび強力甲板の応力集中部に対して、同疲労技術基準により疲労強度（累積被害度）の評価を実施すること

上記に加え、強力甲板部構造に取り付けられるハッチカバーパッド等の種々の艤装品に対し、船体構造との取合い部（Connecting parts）の疲労強度を評価することとした。また、艤装品の取り付け方法に関する注意事項を詳細に規定した。

4 鋼材の使用区分

脆性き裂の発生防止の観点からは、船体構造部材に使用される鋼板の材質を合理的に決定する必要がある。具体的には、鋼材規格で規定されるYP47鋼板のグレード材をいかに適切に配置するかという鋼材の使用区分の設定が重要となる。

図3に、鋼材の使用区分を検討対象としたK概念に基づく破壊靱性評価の概念図を示す。

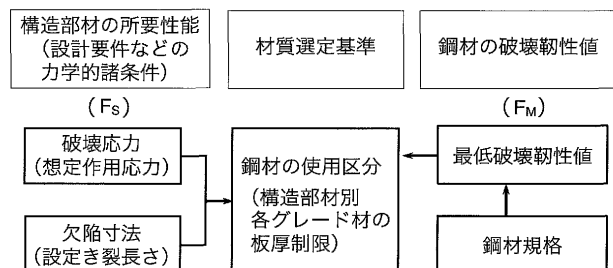


図3 破壊力学に基づいた破壊靱性の評価手法（K概念）

これは、破壊力学パラメータである破壊応力、欠陥寸法及び靱性値の三者の関係を用いて、構造部材の所要性能（破壊応力、欠陥寸法）を満足するように使用鋼板の材質（必要な靱性値）をいかに選定するかという評価法である。ここで、下式が成立すれば、脆性き裂は発生せず、設定した鋼材の使用区分の安全性が確保できる。

構造部材に対する要求破壊靱性値 $(F_s) <$

使用鋼材の最低破壊靱性値 $(F_M) \cdots (1) \text{式}$

同ガイドラインでは、母材および溶接継手に対して破壊靱性評価を実施し、現行の船級規則が有しているのと同程度以上の安全性を確保するよう、鋼材の使用区分と溶接継手部の靱性要求を制定している。

5 脆性き裂アレスト設計

船舶においては、脆性き裂が発生しないよう設計、建造するのが基本である。そこで、船級規則（同ガイドラインを含む）では、脆性破壊の発生防止に必要な破壊靱性を有するように、鋼材規格、鋼材の使用区分、溶接継手規格、溶接施工方法及び非破壊検査を含む検査に関する規定を定めている。

同時に、YP47鋼板を強力甲板部構造に使用する場合には、下記の状況を鑑み、万一脆性き裂が発生した場合のバックアップ機能として、ハルガーダーが脆性き裂伝播停止性能を有するよう明の形で規定することは、脆性き裂発生防止と同様に重要である。

- ・ 現行規則が規定する高張力鋼板に比べて、作用応力が上昇すること
 - ・ 最近の研究において、極厚鋼板の溶接継手部に発生した脆性き裂の直進伝播事例が報告されていること
- 脆性き裂の伝播を停止するための設計（以下、脆性き裂アレスト設計という。）としては、下記が考えられる。

- ① 母材のアレスト性能（脆性き裂伝播停止靱性値、 K_{Ic} 値）により、脆性き裂を停止させる。
- ② 構造不連続を用いて、脆性き裂を停止させる。
- ③ 上記二つの組み合わせにより、脆性き裂を停止させる。

図4に、脆性き裂アレスト設計の一例として、ハッチサ

イドコーミングの溶接継手部で発生した脆性き裂を、強力甲板で停止させる場合の設計例を示す。このような脆性き裂アレスト設計の採用により、YP47鋼板を使用した大型コンテナ船の安全性がより一層向上することになる。

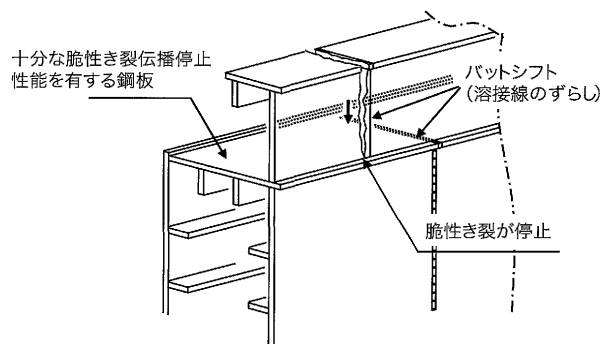


図4 脆性き裂アレスト設計（一例）

6 鋼材規格

表1に、YP47鋼板（KE47-H）の機械的性質の規格値を示す。Vノッチシャルピー衝撃試験値は、作用応力の上昇および板厚の増加も考慮しながら、試験温度および要求吸収エネルギーを設定した。

さらに、YP47鋼板を実用するには、船体用鋼板として大入熱溶接継手部での破壊靱性、小入熱溶接における耐低温割れ性能等の溶接性、あるいは加工性の確保が不可欠となる。そこで、熱処理は、低炭素化および低炭素当量（低 C_{eq} ）化が可能なTMCPに限定した。

表1 YP47鋼板の機械的性質（ $50\text{mm} < t \leq 70\text{mm}$ ）

グレード	引張試験			Vノッチシャルピー衝撃試験	
	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	伸び ($5.65\sqrt{S}$) (%)	試験温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最小平均吸収エネルギー(J) L方向
KE47-H	460以上	570-720	17 以上	-40	53

一方、新しい船体用鋼板の適用に際しては、予め製鉄所において詳細な製造法承認試験を実施し、鋼板の詳細な特性について確認しておく必要がある。そこで、通常の承認試験（顕微鏡組織、引張試験、曲げ試験、シャルピー衝撃試験等）に加えて、脆性破壊試験（母材および溶接継手に対するディープノッチ試験、CTOD試験）、標準ESSO試験、疲労試験（母材及び溶接継手）等を追加実施し、十分な強度、破壊靱性、加工性、溶接性等を有していることを確認することとした。

7 溶接施工方法

表2に、YP47鋼板（KE47-H）溶接継手部の機械的性質の規格値を示す。

YP47鋼板のような高強度鋼板の溶接継手部では、溶接熱影響部の軟化について特別に配慮する必要がある。そこで、引張試験は、軟化部に対して試験片形状の影響が小さいU2B号小型試験片を用いることとした。また、小型試験片で規格値を下回った場合の対応として、広幅引張試験片を用いて、実際の溶接継手により近い拘束条件にて溶接継手部の引張強さを評価してよいこととした。

溶接継手部の破壊靱性値に関して、硬さの不均一の影響が報告されている。具体的には、溶接継手部の硬さの不均一が大きい場合、実際の溶接継手部破壊靱性値が、シャルピー衝撃試験結果から期待される破壊靱性値よりもかなり小さくなるとの試験結果である。そこで、溶接工事においては、溶接継手部の硬さの不均一について十分配慮するように規定した。また、溶接施工法承認試験では破壊靱性試験を実施し、破壊靱性値を直接確認することとした。

表2 YP47鋼板溶接継手部の機械的性質（50mm＜t
≤70mm）

グレード	引張試験	Vノッチシャルピー衝撃試験	
	引張強さ (N/mm ²)	試験温度 (℃)	最小平均 吸収エネルギー(J) L方向
KE47-H	460以上	-20	53

8 溶接施工管理基準

YP47鋼板は、現行規則の規定する船体用高張力鋼板と同等の溶接性、加工性を確保すべきとの観点から、化学成分は従来の船体用高張力鋼板と同一の規格値とし、熱処理もTMCPに限定している。また、各種の確性試験において、TMCPで製造されたYP47鋼板の溶接性、加工性に関する諸特性は、YP40鋼板と同等の性能を有することが確認されている。

そこで、ガイドラインでは、TMCPで製造されたYP47鋼板の溶接施工管理基準として、下記の①～④に示した基準を提案する。

- ① ショートビード : 最小ビード長50mm（アークストライクは禁止）
- ② 予熱施工 : 気温≥5℃の場合、予熱不要

これらは、従来規則において十分な安全使用実績を有するYP40鋼板に対する溶接施工管理基準と同一の基準が、YP47鋼板の溶接施工においても適用可能であるとの観点で設定するものである。ただし、合理的な溶接施工管理基準作成のためには十分な実用実績が不可欠であり、今後実施され

る試験結果や適用実績に基づく基準の見直しが期待される。

9 非破壊試験基準

極厚の鋼板では、母材や溶接継手部の靱性確保の諸問題とは別に、板厚の増大に伴い、欠陥の検知や除去が困難となる場合が多々ある。特に溶接継手部の品質確保が構造信頼性の確保の見地から重要な課題となる。

そこで、建造中に発生した溶接欠陥をより確実に検知、除去すべく、非破壊検査を強化した。具体的には、板厚50mmを超える全ての強力甲板構造縦通部材（骨材を含む）の溶接継手全線に対して、非破壊試験を実施することとした。