2008 年度研究開発成果の紹介 － ①

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

2009年　7月

目次

- はじめに（脆性破壊防止の歴史）
- 研究開発の背景
- 研究開発の概要
  - アレスト設計の基本コンセプト
  - 脆性亀裂アレスト設計指針の開発
- まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

船体構造の脆性破壊防止の歴史

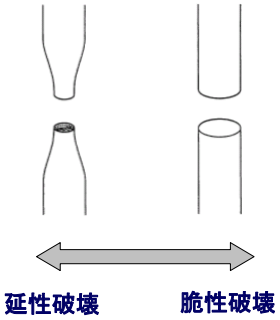
鋼材の破断の二つのモード

延性破壊

- 引張り強さを超える大きな荷重が作用
- 大きな変形（伸び、絞り）を伴う

脆性破壊

- 比較的小さな荷重でも発生
- 低温、脆い材料
- 変形を伴わない
- 瞬間的に破断



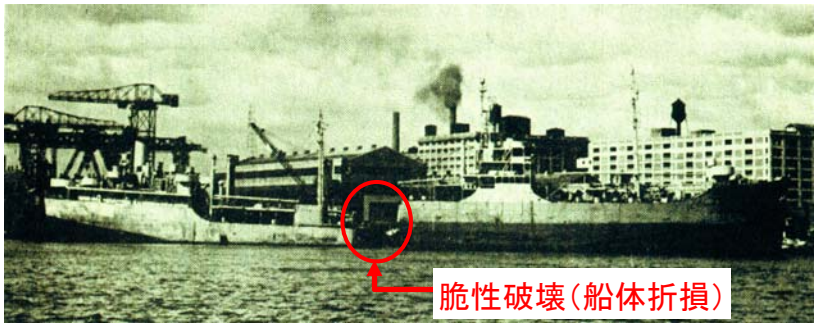
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

船体構造の脆性破壊防止の歴史

船舶の脆性破壊事故

1940年代、米国 戦時標準船（全溶接船）で発生

（岸壁係留中、低温下）



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

船体構造の脆性破壊防止の歴史

脆性破壊した船舶の鋼板調査
（Hodgson, Boyd / LR）

- 亀裂が発生した鋼板
- 亀裂が通過した鋼板
- 亀裂が停止した鋼板

シャルピー衝撃試験を実施

船体用鋼材のシャルピー衝撃試験規格、鋼材の使用区分

脆性破壊が防止可能な領域

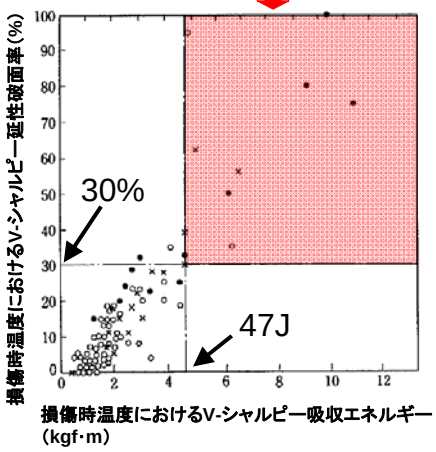


図　脆性破壊した船舶の鋼板調査（Hodgson 他）

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

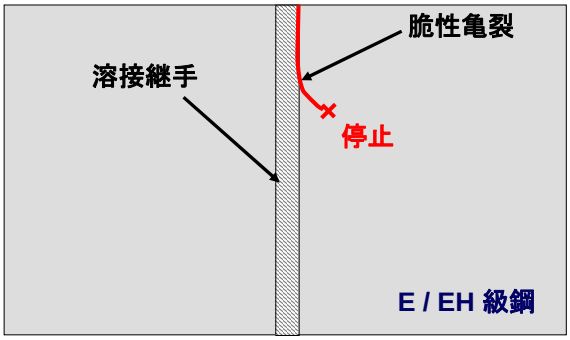
船体構造の脆性破壊防止の歴史

日本造船研究協会での調査研究（SR147）（1973～76年）

板厚35mm 程度以下について、万一 脆性亀裂が発生しても

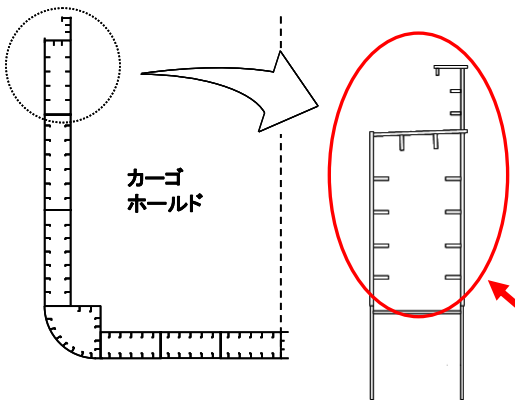
✓ 溶接継手を伝播する脆性亀裂は、母材へ曲進

✓ 母材が船級規格のE, EH級鋼であれば、脆性亀裂は停止



- はじめに（脆性破壊防止の歴史）
- 研究開発の背景
- 研究開発の概要
  - アレスト設計の基本コンセプト
  - 脆性亀裂アレスト設計指針の開発
- まとめ

コンテナ船の大型化（極厚鋼板の使用）



強力甲板部に
大きな開口

↓

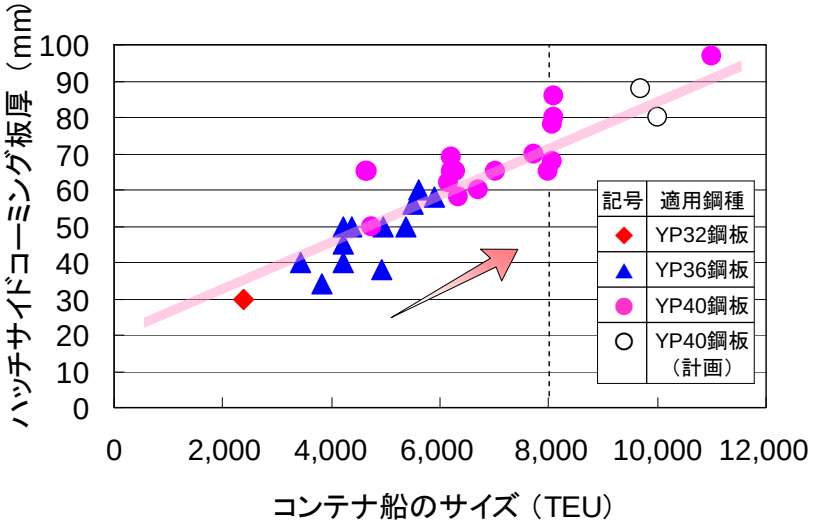
限られた縦通部材
による縦強度確保

↓

強力甲板部構造の
高強度化、極厚化

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

ハッチサイドコーミングの極厚化



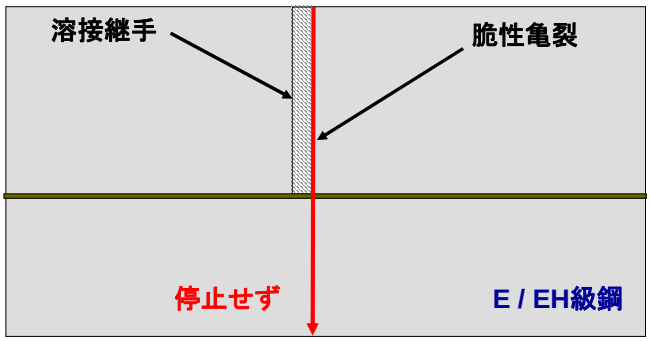
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

極厚化に対する問題提起

ClassNK共同研究（2005年），船舶海洋工学会FS委員会（2006年）

板厚70mm 程度になると、万一 脆性亀裂が発生した場合

- ✓ **溶接継手を伝播する脆性亀裂は、逸れずに直進**
- ✓ **E，EH級鋼の母材に突入しても、停止しない可能性**



極厚化に対する調査検討

極厚鋼板溶接継手の脆性破壊防止についての
調査検討（2007年～）

脆性亀裂の発生防止
脆性破壊の防止において、まず第一義的に重要

脆性亀裂の伝播停止
万一 発生した脆性亀裂を適切な位置で停止させることで、船舶の大規模破壊を防止（アレスト設計）

プロアクティブな対応

共同研究（造船所、鉄鋼メーカ、大学、船技協、海技研）

脆性亀裂発生防止に関する対策

脆性亀裂アレスト設計指針

アレスト設計研究委員会

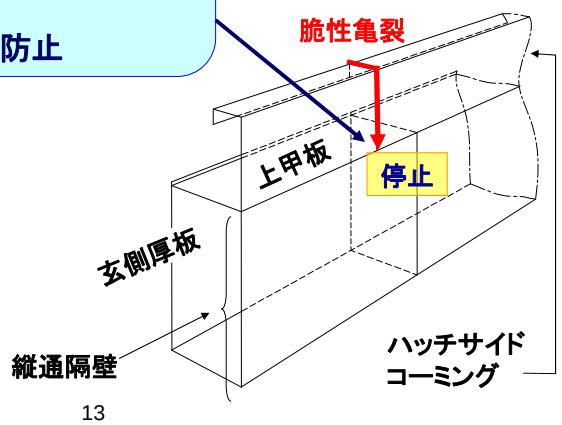
- はじめに（脆性破壊防止の歴史）
- 研究開発の背景
- 研究開発の概要
  - アレスト設計の基本コンセプト
  - 脆性亀裂アレスト設計指針の開発
- まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計の基本コンセプト

① 脆性亀裂アレスト設計とは？

- 万一の脆性亀裂発生に対応
- 発生した脆性亀裂を、適切な位置で停止（アレスト）
- 船舶の大規模破壊を防止



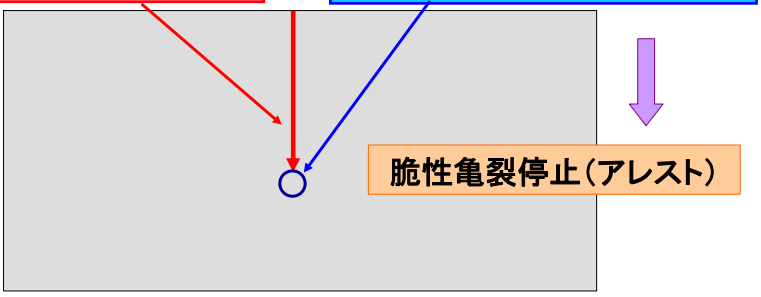
2009年ClassNK春季技術セミナー

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計の基本コンセプト

② 脆性亀裂伝播停止（アレスト）の原理

亀裂を進展させる力（亀裂進展力） < 亀裂を停止させようとする力（材料抵抗力）



① 抵抗力の高い材料を配置して亀裂を停止（基本）

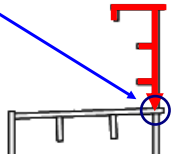
② 亀裂進展力を減少させて亀裂を停止

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

主な調査研究項目

- 想定すべき脆性亀裂の発生箇所、および亀裂を停止させるべき箇所の検討
- 材料抵抗力（脆性亀裂伝播停止破壊靭性値Kca値）の測定・評価方法
- 脆性亀裂を停止させるのに必要な材料抵抗力（Kca値）
- 構造不連続（すみ肉構造等）の影響・効果（亀裂進展力への影響）



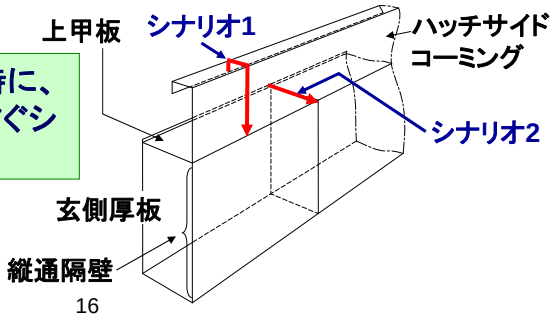
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂アレスト設計のシナリオ検討
（脆性亀裂発生箇所、脆性亀裂を停止させるべき箇所の検討）

シナリオ1 ：ハッチサイドコーミングで発生した脆性亀裂を上甲板で停止
シナリオ2 ：上甲板で発生した脆性亀裂をハッチサイドコーミングで停止

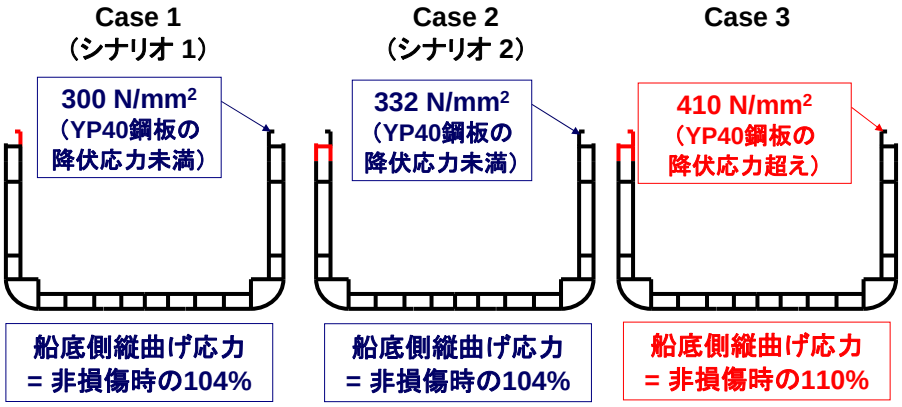
万一の脆性破壊発生時に、船舶の大規模破壊を防ぐシナリオとして選定



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂アレスト設計のシナリオ検討（8,000TEUコンテナ船の検討例）
（脆性亀裂発生箇所、脆性亀裂を停止させるべき箇所の検討）



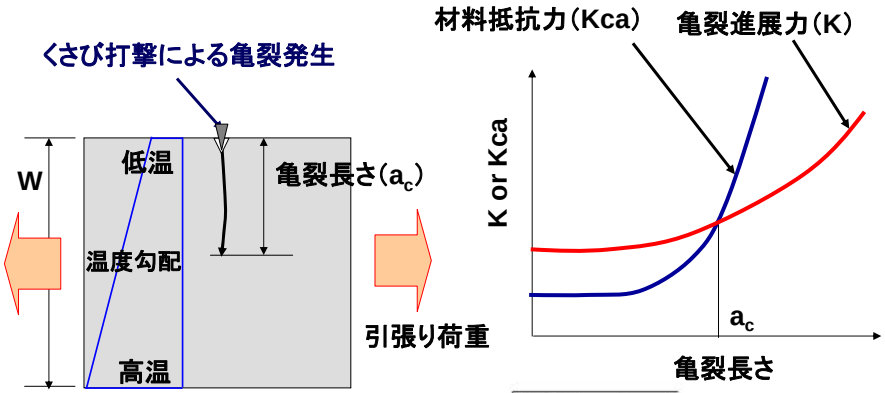
Case 1： ハッチサイドコーミング（片玄）のみ破断
Case 2： 上甲板、玄側厚板、縦通隔壁最上層板が破断（片玄）
Case 3： ハッチサイドコーミング、上甲板、玄側厚板、縦通隔壁最上板は破断（片玄）

2009年ClassNK春季技術セミナー

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂伝播に対する材料抵抗力（Kca値）の評価方法
（基本概念）



$$K = \sigma\sqrt{\pi a}\sqrt{\left(\frac{2W}{\pi a}\right)\tan\left(\frac{\pi a}{2W}\right)}$$

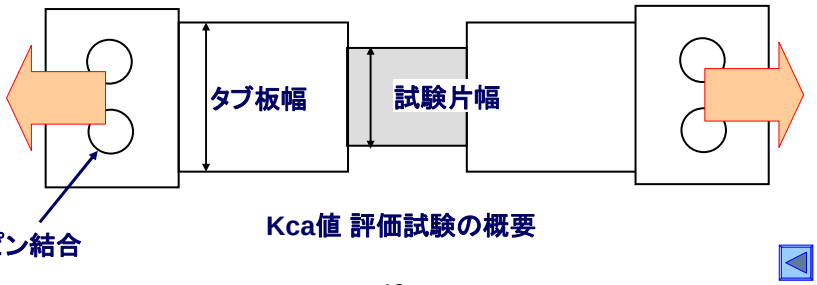
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂伝播に対する材料抵抗力（Kca値）の評価方法
（評価試験方法の標準化）

- タブ板厚と試験片板厚の関係
- タブ板、試験片の幅
- 試験片の温度勾配　等

標準を策定



Kca値 評価試験の概要

2009年ClassNK春季技術セミナー

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂伝播停止に必要な材料抵抗力（Kca値）の把握
（必要Kca値の把握）

- 伝播亀裂が長くなるにつれ、亀裂進展力は増加
- 亀裂を停止させるために必要な材料抵抗力を把握するためには、実船スケールでの亀裂伝播停止試験が必要

試験片幅 約2m、突入脆性亀裂長さ 約1mの
大型破壊試験を実施

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

大型破壊試験の実施

目的: 極厚鋼板を使用したコンテナ船強力甲板部で発生した脆性亀裂の停止に必要な材料抵抗力(最小Kca値)の把握

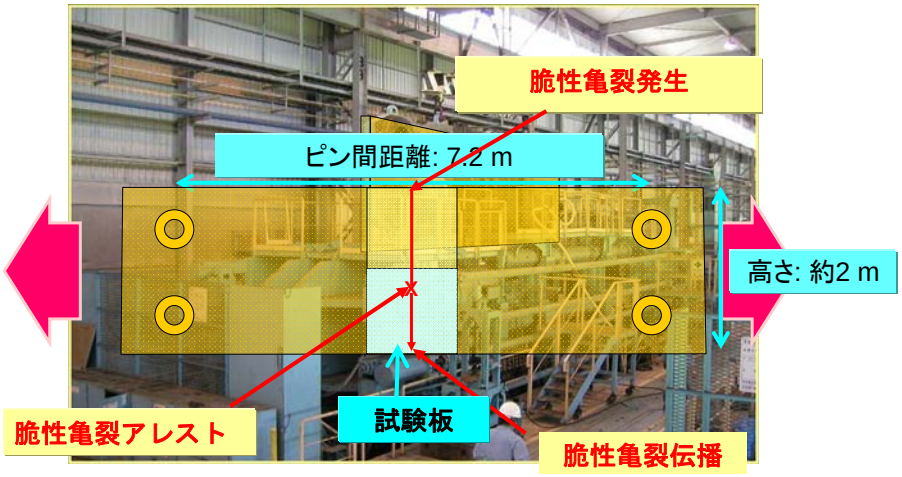
新日本製鐵 8,000t 試験機

JFEスチール 8,000t 試験機

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

[大型破壊試験の概要]



(写真提供: 新日本製鐵殿)

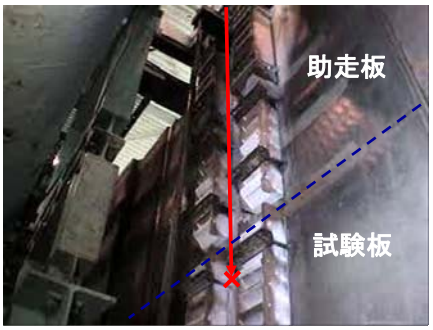
亀裂停止に必要なKca値を把握

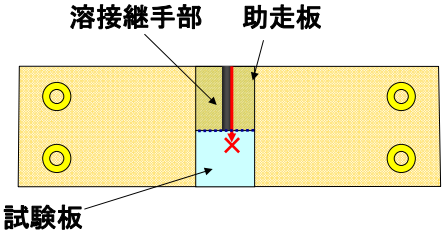
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

［大型破壊試験 例1］

作用応力: 船体縦曲げ応力レベル
試験温度: -10℃





Kca値（材料抵抗力） 6,000N/mm$^{3/2}$

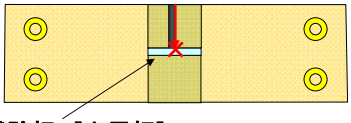
脆性亀裂は試験板でアレスト

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

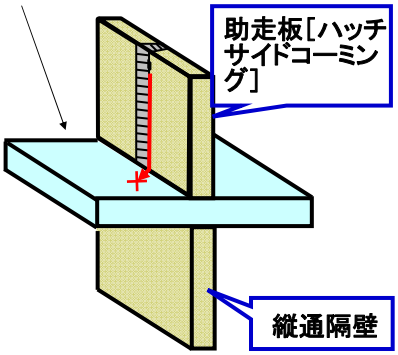
脆性亀裂アレスト設計指針の開発

［大型破壊試験 例2］

作用応力: 船体縦曲げ応力レベル
試験温度: -10℃



試験板 ［上甲板］
Kca値（材料抵抗力） 6,000N/mm$^{3/2}$



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

大型破壊試験の結果

脆性亀裂伝播停止のための基本的要件

- ✓ 材料抵抗力（最小Kca値） 6,000 N/mm$^{3/2}$
- ✓ ハッチサイドコーミングと上甲板とのバット継手シフト（原則300mm以上）

脆性亀裂アレスト設計指針の作成

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂アレスト設計指針の構成（目次）

1. 一般
1.1 アレスト設計の目的
1.2 適用
2. 脆性亀裂アレスト設計の基本要件
2.1 機能要件
2.2 バットシフト
3. 代表的な脆性亀裂アレスト設計
3.1 ハッチサイド コーミングからの脆性亀裂発生に対するアレスト設計
3.2 強力甲板からの脆性亀裂発生に対するアレスト設計
4. 代表的なアレスト設計以外の脆性亀裂アレスト設計について

附録1 脆性亀裂伝播停止Kca試験方法
附録2 アレスト設計に対する検証手順の例

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

脆性亀裂アレスト設計指針の開発

脆性亀裂アレスト設計指針の概要

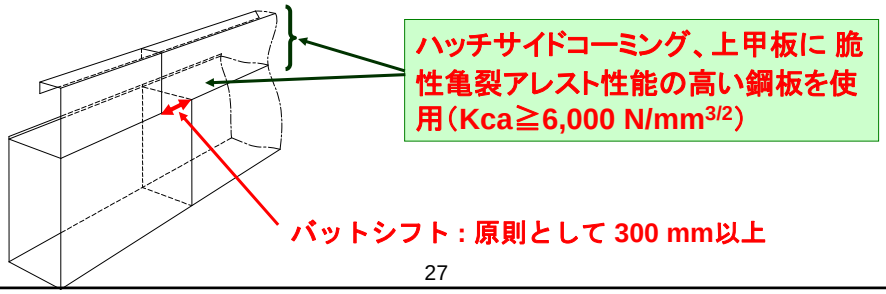
1. 適用

ハッチサイドコーミング，上甲板，玄側厚板，縦通隔壁最上板のいずれかの板厚が50mmを超えるコンテナ船に適用

2. 作用応力

脆性亀裂を停止させる箇所のハルガーダー応力が 257 N/mm^2 を想定

代表的なアレスト設計例



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

- はじめに（脆性破壊防止の歴史）
- 研究開発の背景
- 研究開発の概要
  - アレスト設計の基本コンセプト
  - 脆性亀裂アレスト設計指針の開発
- まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

船体構造の極厚化に関する研究開発

コンテナ船船体構造の極厚化に関するNKの研究開発成果

- 船体用YP47鋼使用に関するガイドライン
- 脆性亀裂アレスト設計指針
- 極厚鋼板溶接継手の脆性亀裂発生防止に関する対策

2009年からの第2次中期研究開発計画

「超大型コンテナ船の脆性破壊防止に関する研究」

⇒ アレスト設計指針、脆性亀裂発生防止対策を発展

- Kca 評価のための小型試験方法開発
- 構造不連続（すみ肉構造）によるアレスト設計　等々

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

ご静聴ありがとうございました。