

事業計画書課題名

**高張力鋼溶接部疲労特性向上のための溶接施工法の開発  
-伸長ビード溶接施工法の船舶への適用のための基礎研究-**

(2012年4月～2013年3月)

**大阪大学接合科学研究所**

志賀千晃

村川 英一

平岡和雄

**長崎総合科学大学**

矢島 浩

谷野忠和

# 背景

スティフナー角廻し溶接部の疲労強度は母材に比べ顕著に低いため、船体の設計荷重や寿命の向上に著しい悪影響を与えている。

日本の将来を見据えると、後進国を含めた他国に対して差別化した新しい造船技術の開発は必須で、特に角廻し溶接部の疲労特性の顕著な改善溶接法はその中核技術となる。



## 【新技術の提案】

角廻し溶接部疲労特性の著しい向上を可能にする、マルテンサイト変態点 Ms350℃以下の低変態温度溶接ワイヤーを用いた新溶接施工法（伸長ビード溶接施工法）を提案。

溶接まま継手で、顕著な疲労特性向上を確認。



## 【技術開発の目的】

- ① 新しい伸長ビード溶接施工法の開発により、疲労特性の顕著な向上を図り、他国にない低燃費で安全性の高い高性能な船舶新製造への基盤技術への貢献。
- ② 稼働中の船舶の補修、補強への適用により疲労寿命の大幅な延 長を可能とする伸長ビード溶接施工法のアドバンス化により、疲労亀裂の減少と定期補修作業の軽減。

# 実施課題：伸長ビード溶接施工法の船舶への適用のための基礎研究 (2012年4月～2013年3月)

本提案溶接施工法における対象鋼材は800～1000MPaクラスの高張力鋼で、顕著な疲労特性改善が見いだされている。



500から600MPaレベルの船体用高張力鋼とは引張応力レベルが異なる。  
また船体用高張力鋼の鋼成分含有量は800～1000MPaクラスに比べると低くなるので溶接時の溶接金属の成分も異なり、残留応力やこれに支配される疲労強度も変わる。



従って、船舶への適用を実現するためには、

- ①実継手部に近い溶接部を用いての疲労試験での向上度の検証、
- ②高能率溶接施工法の確立、
- ③低変態温度溶材の低コスト化の検討

の視点からの基礎研究をまず実施する。

並行して、

接合研が開発した熱弾塑性FEMなどのコードを用いた計算シミュレーションを実施し、残留応力と応力集中の予測分析により疲労向上メカニズムを解明する。

## 供試鋼材

疲労試験片に使用した船体用降伏点 400MPa 級AH40 鋼板(板厚 20mm)

化学成分(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	Nb	Al	Ti	Ceq.
0.12	0.29	1.34	0.008	0.002	0.01	0.01	0.03	0.001	0.017	0.036	0.01	0.35

\* Ceq. =  $C + Mn/6 + Cu/15 + Ni/15 + Cr/5 + Mo/5 + V/5$

機械的性質

板厚 (mm)	方向	降伏点 Y.P. (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	伸び EL. (%)	vE0°C (J)	
20	T	486	539	25	315 339 345	AVE. 333

G.L. = 200 mm

## 溶接材料(ワイヤ)

①CO<sub>2</sub>溶接用／一般造船用フラックスコアードワイヤ (市販MX-Z200)

溶着金属の化学成分(mass%)

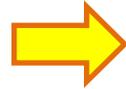
C	Si	Mn	P	S
0.06	0.5	1.4	0.013	0.009

②マグ溶接用／低変態温度 (LTT) ソリッドワイヤ (既開発済の 10Cr-10Ni 系ワイヤ)

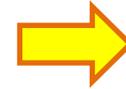
③ CO<sub>2</sub>溶接用／低コスト低変態温度フラックス入りワイヤ (Ni低減型試作ワイヤ)

# 疲労試験体の施工手順

**Step 1 すみ肉溶接施工**  
(全試験体共通)

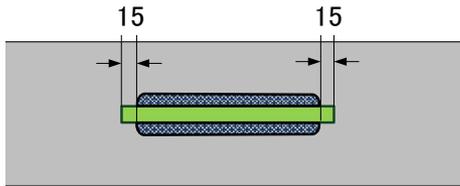


**Step 2 廻し溶接施工**  
(全試験体共通)



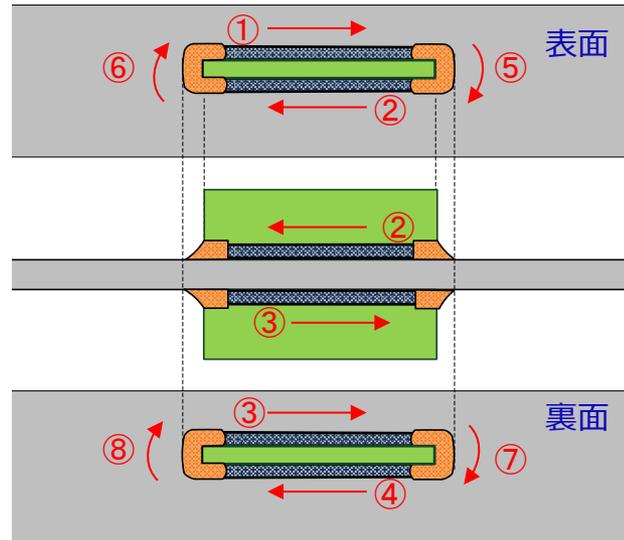
**Step 3 伸長ビード溶接施工**

MX-Z200ワイヤでのCO<sub>2</sub>溶接

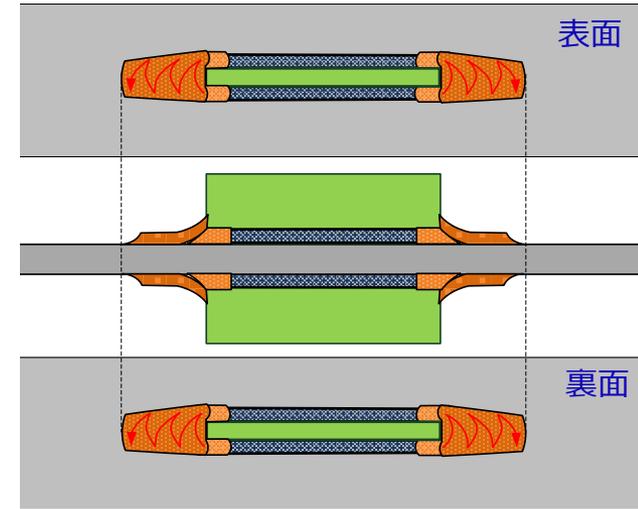


\* すみ肉溶接は、スティフナー両端部15mmを残す。

\* 廻し溶接は、スティフナー両端部20mmまで回り込む。

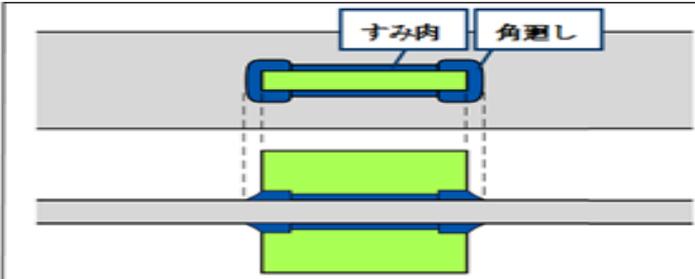


1. 表面①、②の溶接、室温まで冷却後③、④の溶接
2. 室温まで冷却後表面廻し溶接⑤、⑥の実施
3. 室温まで冷却後裏面廻し溶接⑦、⑧の実施



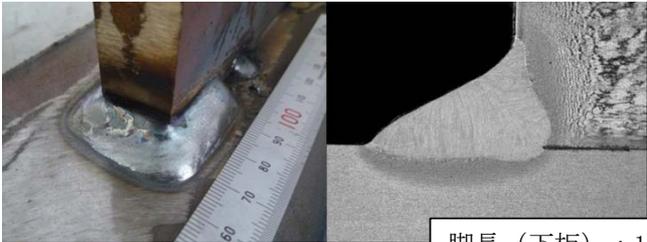
\* 廻し溶接後即、伸長ビードの溶接を行う。

# 試験片タイプA,B,C,Dに使われた溶接材料の種類と溶接施工法のまとめ

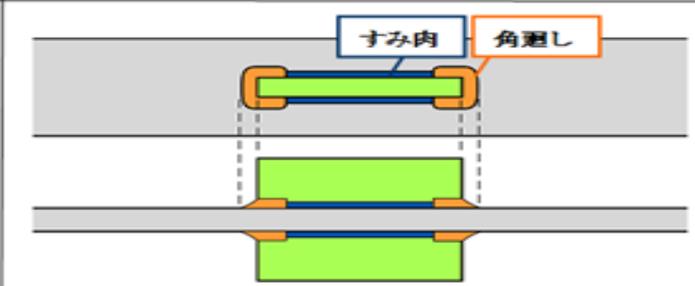


試験片タイプA  
試験片No.A-1~4

【溶接ワイヤ】  
(すみ肉溶接)MX-Z200  
(角廻し溶接)MX-Z200

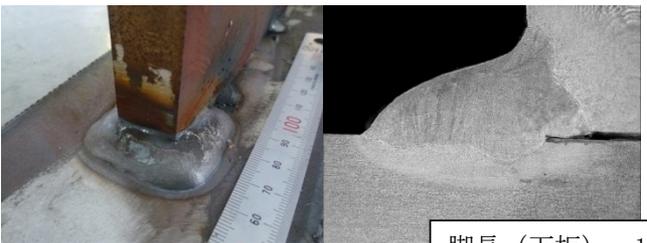


脚長 (下板) : 10 mm

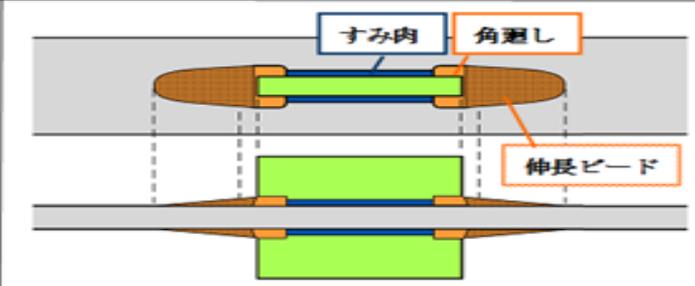


試験片タイプB  
試験片No.B-1~4

【溶接ワイヤ】  
(すみ肉溶接)MX-Z200  
(角廻し溶接)100Q~10Ni

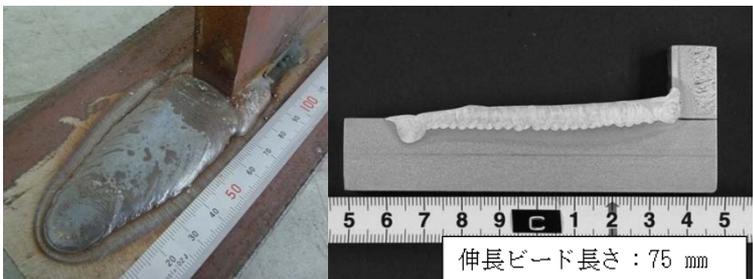


脚長 (下板) : 11 mm

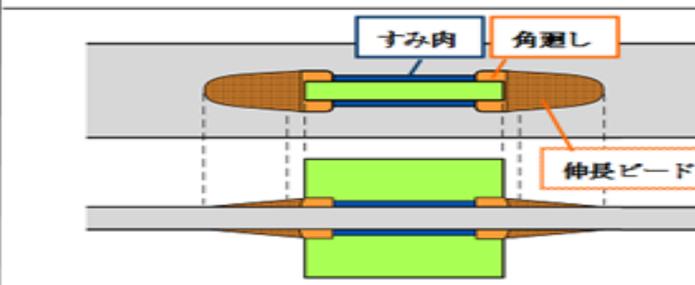


試験片タイプC  
試験片No.C-1~4

【溶接ワイヤ】  
(すみ肉溶接)MX-Z200  
(角廻し溶接)100Q~10Ni  
(伸長ビード)100Q~10Ni

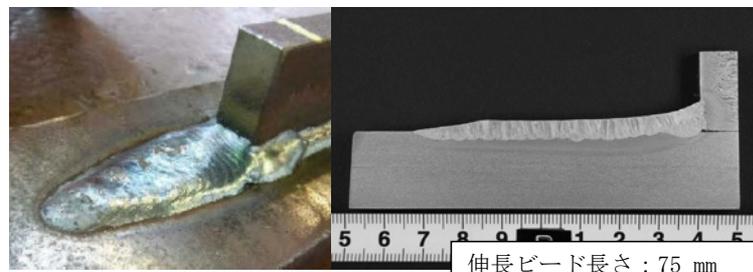


伸長ビード長さ : 75 mm



試験片タイプD  
試験片No.D-1~4

【溶接ワイヤ】  
(すみ肉溶接)MX-Z200  
(角廻し溶接)低コスト試作ワイヤ  
(伸長ビード)低コスト試作ワイヤ



伸長ビード長さ : 75 mm

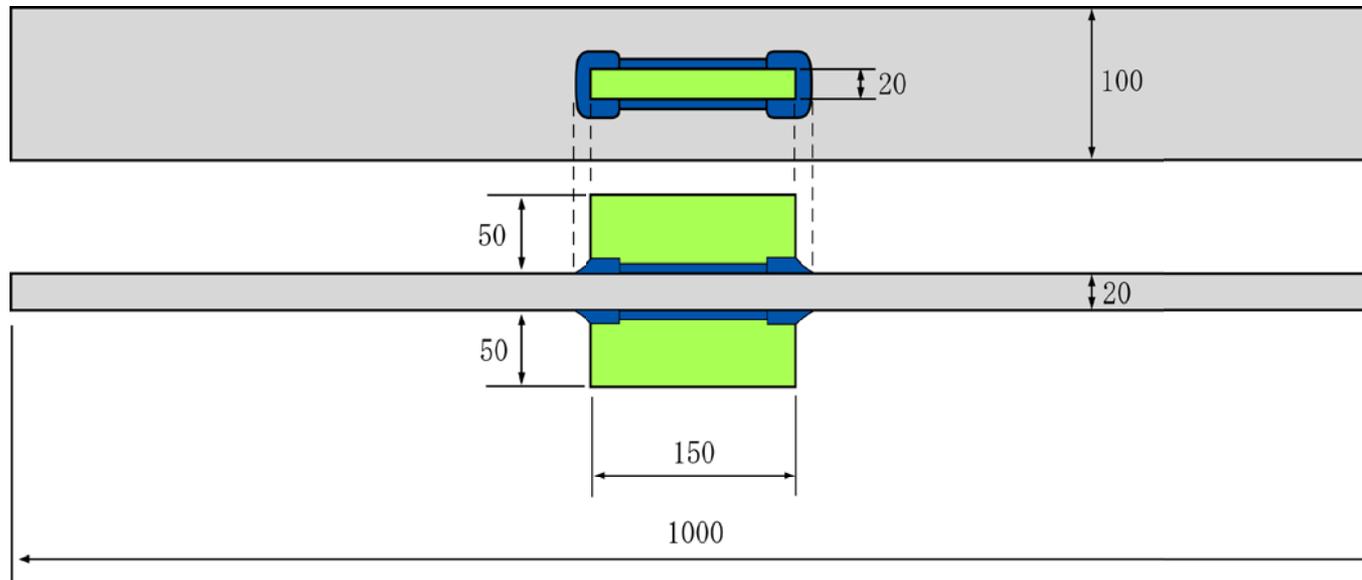
## 試験片タイプA,B,C,Dの疲労試験

室温，大気中，繰返し速度3～5Hz

応力比 $R=0$ の軸力片振引張荷重制御方式

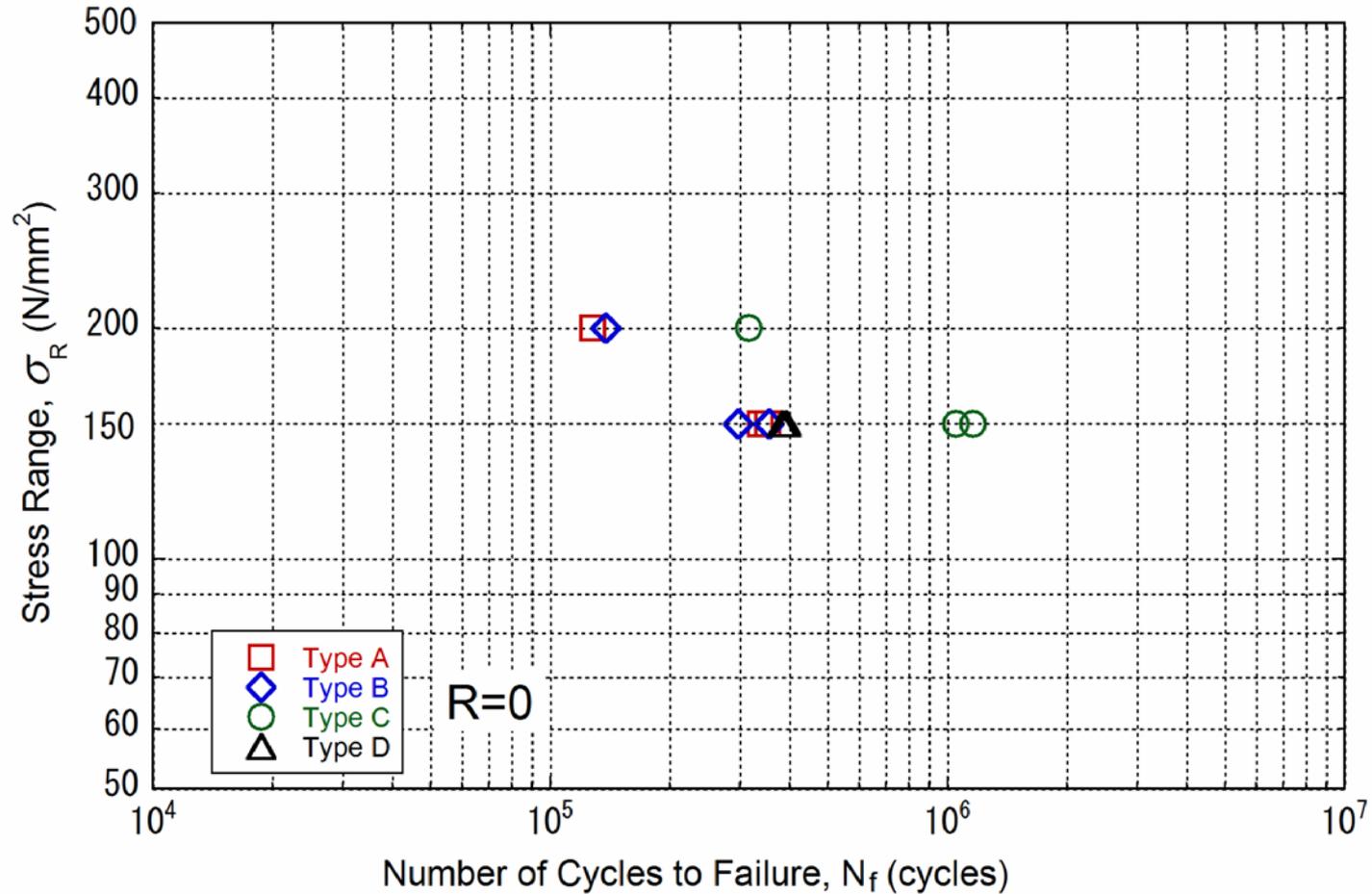
荷重波形は正弦波で実施

疲労試験体の形状



単位：mm

## 疲労試験結果



**タイプCは従来タイプAの2.5~3.2倍の寿命向上**

# 疲労破壊後の破断面

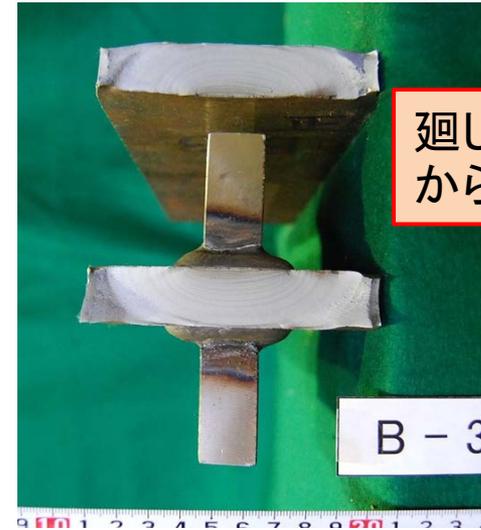


廻しビード止端  
から破壊

150N/mm<sup>2</sup>,  
3.38 × 10<sup>5</sup>  
cycles

A - 2

タイプA試験体



廻しビード止端  
から破壊

150N/mm<sup>2</sup>,  
3.56 × 10<sup>5</sup> cycles

B - 3

タイプB試験体



すみ肉ルート  
から破壊

150N/mm<sup>2</sup>,  
1.16 × 10<sup>6</sup>  
cycles

C - 3

タイプC試験体



すみ肉ルート  
から破壊

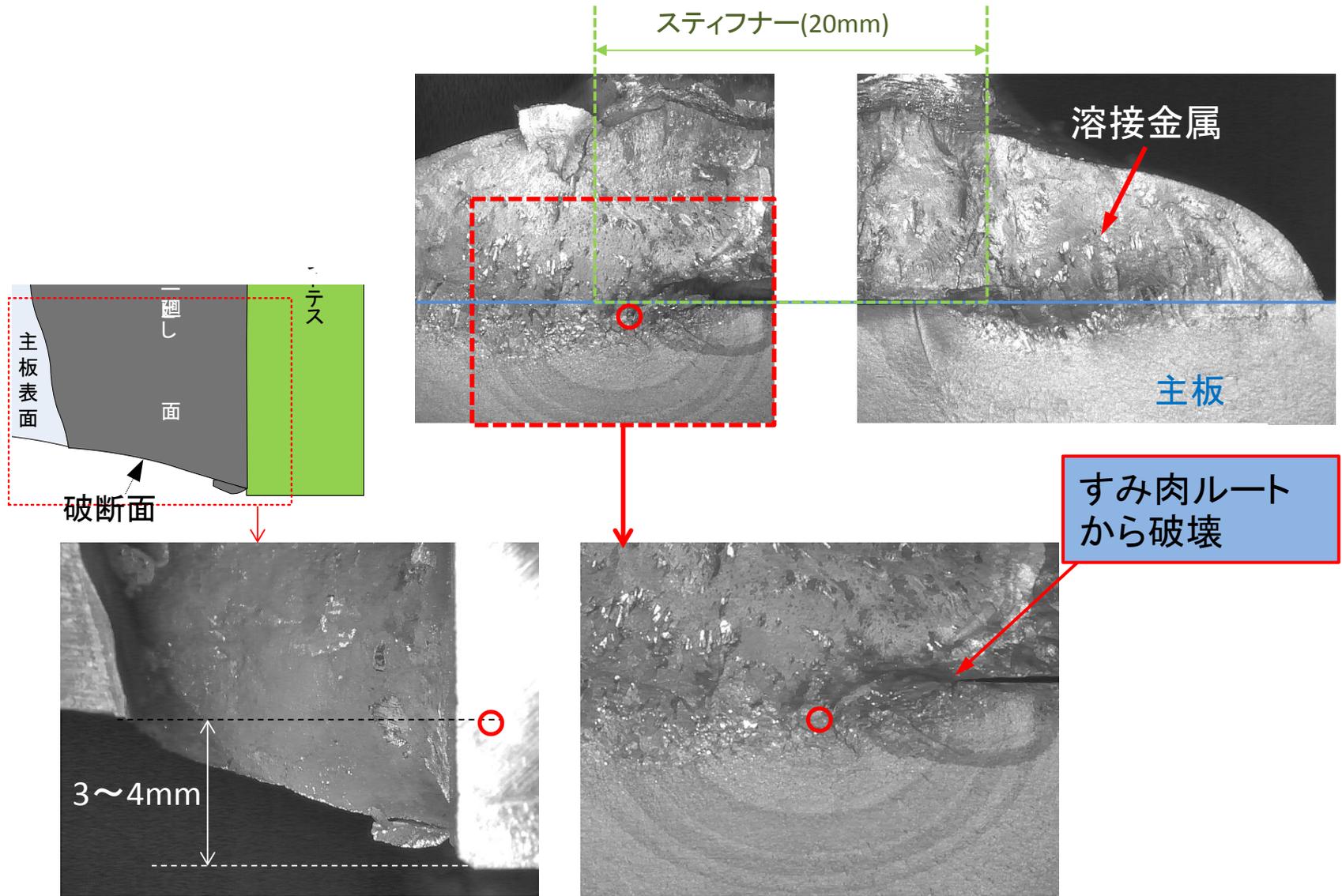
150N/mm<sup>2</sup>,  
3.93 × 10<sup>5</sup> cycles

D - 2

タイプD試験体

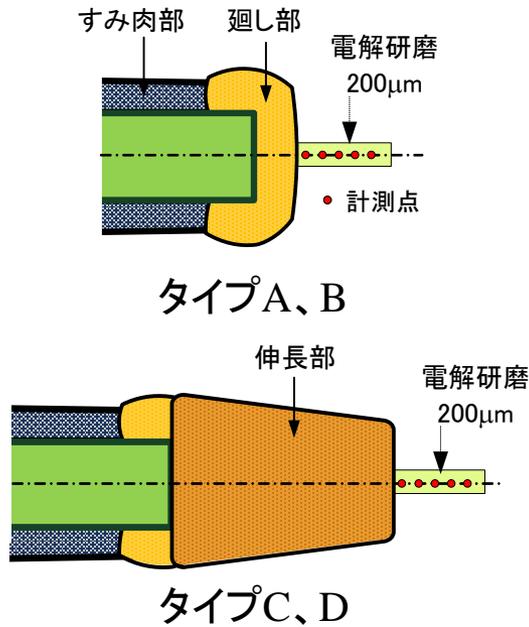
タイプCとD試験体の破壊位置は、廻しビード止端部でなくすみ肉ルート部で生じる

# タイプC (C-3) 疲労破面詳細

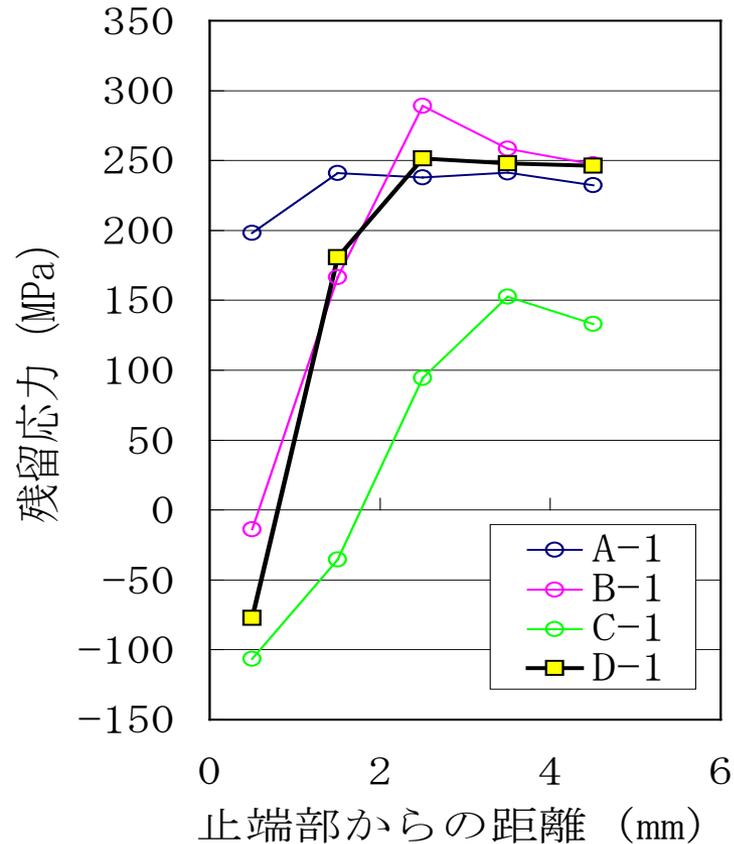


# X線残留応力測定

測定装置	X線応力測定装置		
特性X線	Cr-K <sub>α</sub>	回折面	(211)
管電圧	30 kV	管電流	10 mA
応力定数	-318 MPa/°	回折角(2θ)	156.4°
測定方法	並傾法	X線照射領域	1 mmφ
ψ角	5~45° を11点	X線照射時間	100 s/ψ
測定位置、方向	図1参照	ピーク決定方法	半価幅中点法



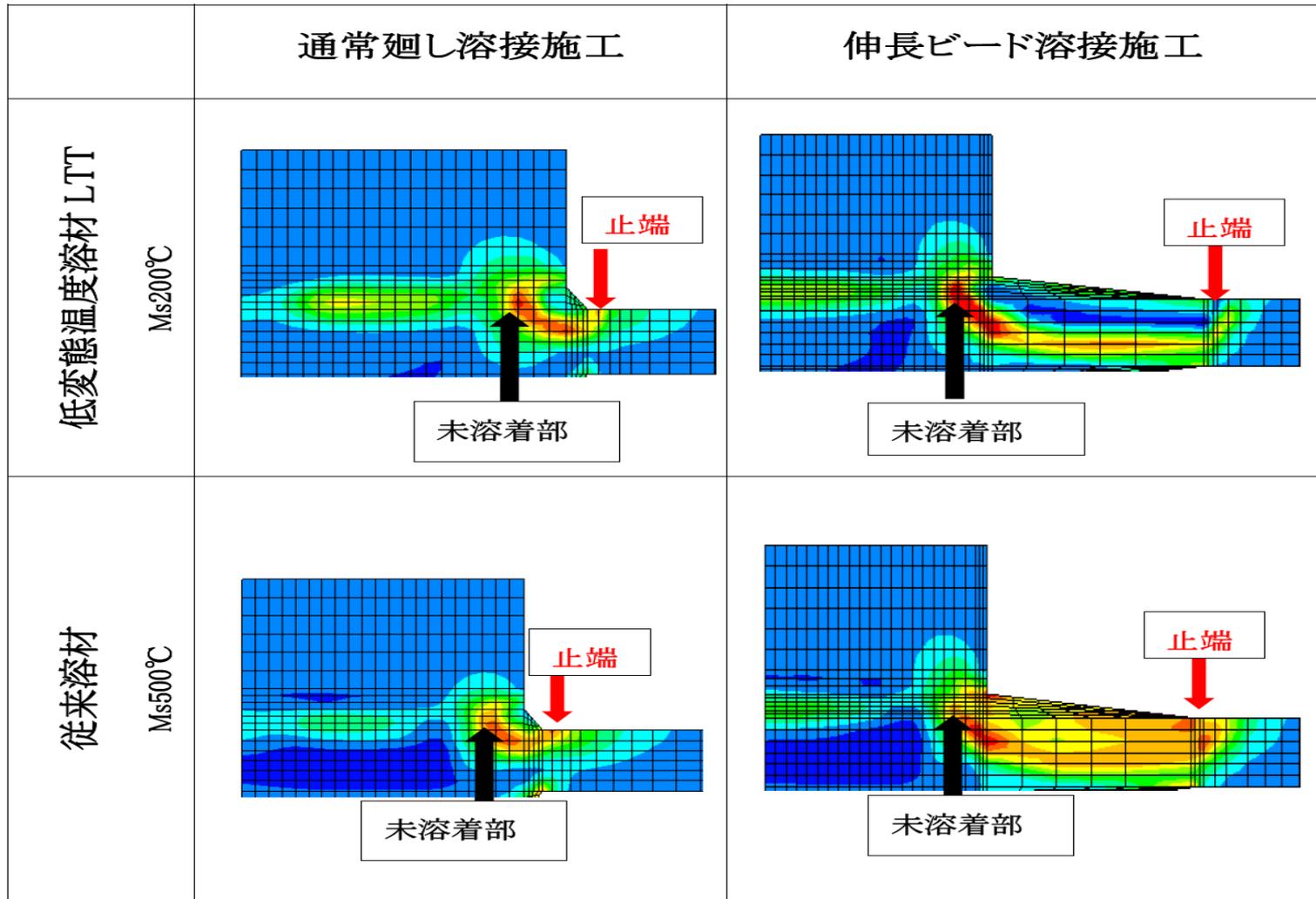
\* 止端部から0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5mm位置をX線照射径1mmで測定



**タイプC試験体の止端部に、最も大きい圧縮残留応力が生じ、その領域も広い。計算シミュレーション結果と一致する。**

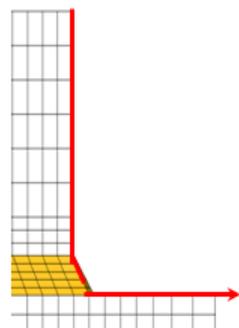
# 残留応力シミュレーション

試験片中央切断部の長さ方向断面の残留応力分布についての応力カラーマップ

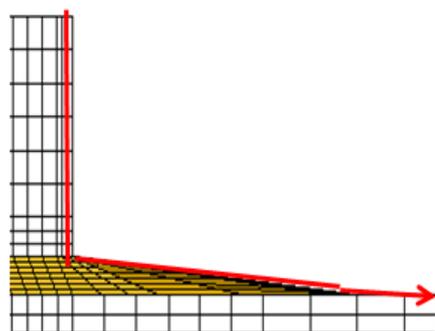


LTT溶材と伸長ビードを組み合わせた場合のみが、止端部に圧縮を表す青色成分が観察される。いずれの場合も隅肉ルート部（未溶着部）に引張を表す赤色成分が存在。

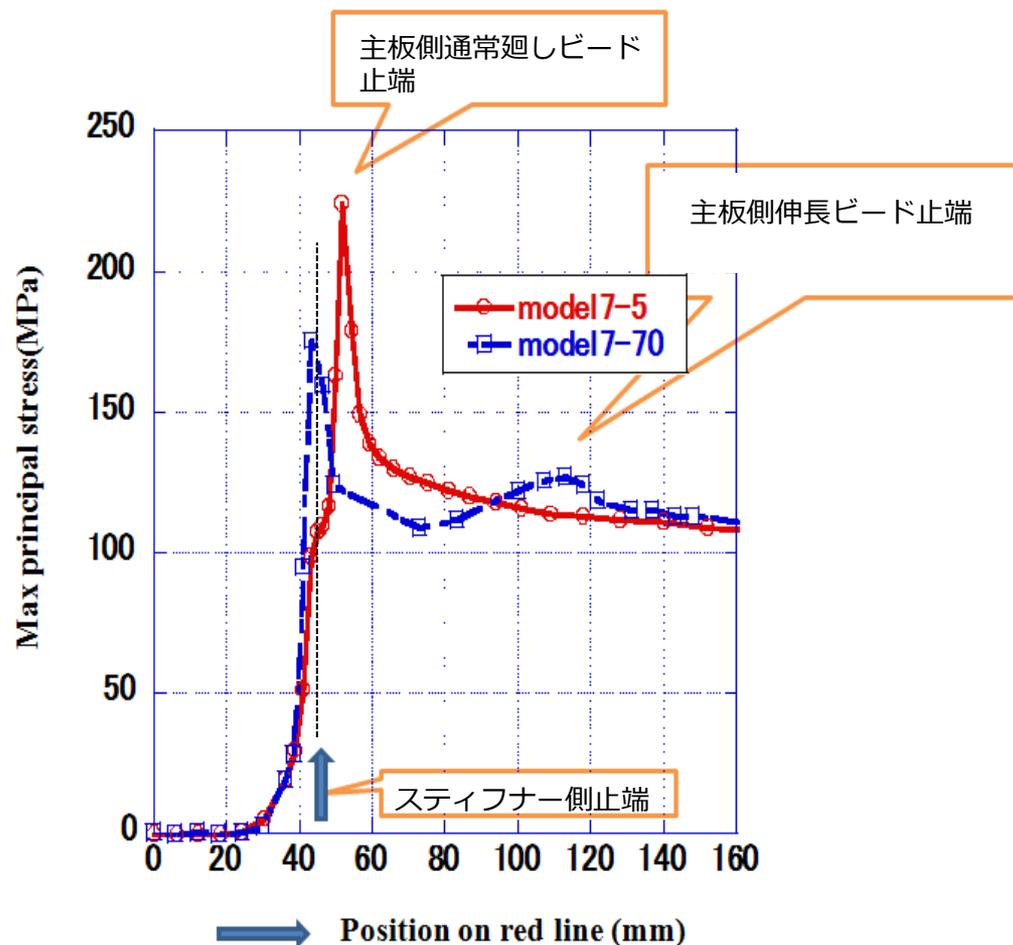
## 廻し溶接部 & 伸長ビード止端の応力集中



通常廻しビード



伸長ビード

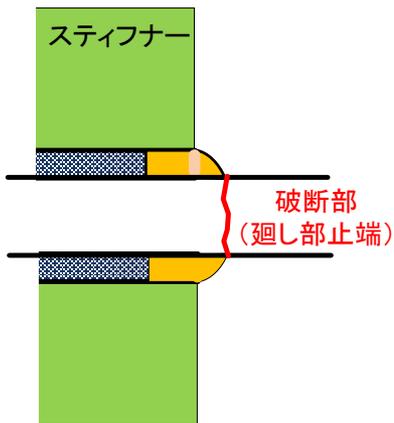
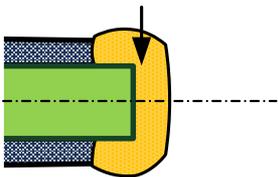


伸長ビードでは、主板側ビード止端の応力集中度は通常の廻し溶接止端に比べ、230から130MPa下がる。応力集中の緩和が生じる。

# 「伸長ビード形成による疲労強度向上」での成果の整理

タイプA: 通常ワイヤ

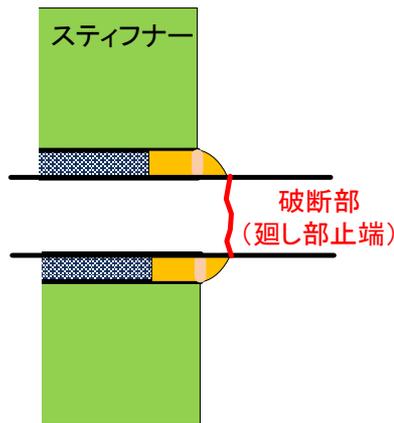
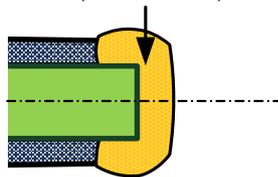
廻し溶接ビード  
(従来型)



疲労寿命: 基準値 1

タイプB: LTT ワイヤ

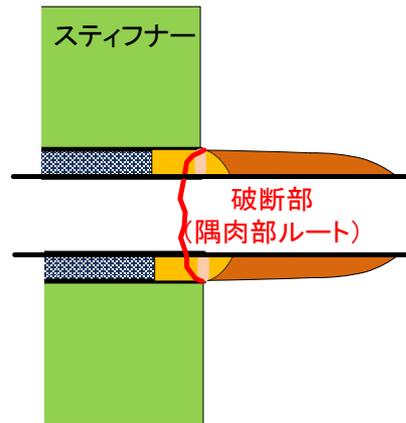
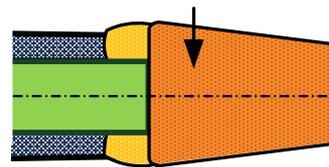
廻し溶接ビード  
(従来型)



疲労寿命:  $\approx 1$

タイプC: LTT ワイヤ

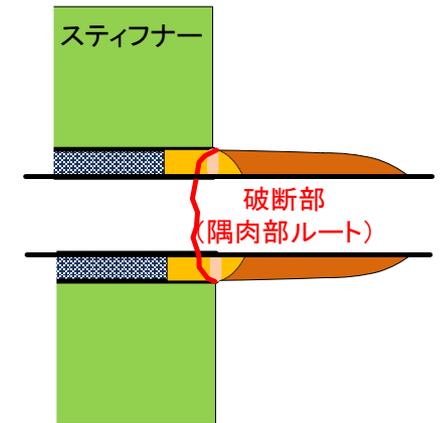
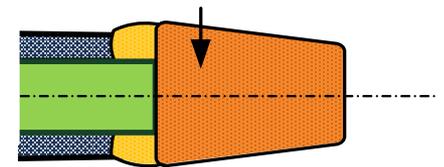
伸長ビード  
(新開発)



疲労寿命:  $\approx 3$

タイプD: 新LTT ワイヤ

伸長ビード  
(新開発)



疲労寿命:  $\approx 1.5$

破断位置が、廻し部止端から隅肉部ルートに移動することによって疲労寿命が延びる

# まとめ

高張力鋼溶接構造物の廻し溶接部に於ける疲労強度向上を目指し、低変態温度溶材LTTと伸長ビードを組み合わせた新溶接施工法を、500から600MPaクラスの船体用高張力鋼に適用し、疲労強度向上を検証した。また接合研が開発した熱弾塑性FEMなどのコードを用いたシミュレーションを実施しその向上メカニズムを解明した。

- 1) 従来の廻し溶接施工法で単純に溶材を低変態溶材温度LTTに置き換えるだけでは疲労寿命の向上が観察されないが、**伸長ビード溶接施工法を併用すると約3倍の疲労寿命延長が検証された。**
- 2) この著しい疲労寿命の向上は、伸長ビード止端位置では**圧縮残留応力（-100 MPa）の生成と応力集中緩和（57%）の両効果が重なることに起因する。**