

二相ステンレス鋼の ケミカルタンカー実船適用へ向けた 設計・施工に関する研究開発 (第二期)

平成28年 4月12日

一般財団法人 日本海事協会 “業界要望による共同研究”

主体： 株式会社臼杵造船所

指導者： 矢島材料強度研究所

矢島代表

久留米工業高等専門学校 谷野准教授

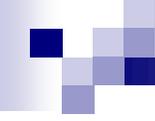
塾 船大工

森 主宰

目的

ケミカルタンカーの建造に**二相ステンレス鋼**を実用することを目標として、

- ・第一期研究により、実船適用可能であることを確認。
第二期研究では、最適な溶接条件で製作した溶接継手部の疲労強度を把握・確認。
- ・十字溶接継手部の疲労強度を詳細に検討するための基礎として、十字溶接継手止端部の応力集中係数を、荷重条件、溶接脚長、深溶け込み、目違い、ルートギャップなどを因子として、静的FEM解析により検討・把握。
- ・コルゲートバルクヘッドの、コーナー部の応力に及ぼすコーナー半径、傾斜角、面材幅と板厚との比の影響およびコルゲートの有効幅について検討・把握した。



溶接継手部の疲労強度

疲労試験 実施項目

・突合せ溶接継手

SUS329J3L鋼板同士（溶接のまま，グラインダードレッシング，TIGアークドレッシング）
SUS316LN鋼板同士（グラインダードレッシング）

・荷重伝達型 完全溶け込み十字溶接継手

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板（溶接のまま，グラインダードレッシング，
TIG溶接後グラインダードレッシング，TIGアークドレッシング，
ビード表面グラインダー後TIGアークドレッシング，TIG溶接ドレッシング）

・荷重非伝達型 完全溶け込み十字溶接継手

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板（溶接のまま，グラインダードレッシング，
TIGアークドレッシング，TIG溶接ドレッシング）

・荷重伝達型 十字隅肉溶接継手

SUS329J3L鋼板同士（溶接のまま，TIGアークドレッシング）

・荷重非伝達型 十字隅肉溶接継手

SUS329J3L鋼板同士（溶接のまま，グラインダードレッシング，TIGアークドレッシング）

疲労試験 供試材

化学成分

供試鋼板	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
SUS329J3L (t:16)	0.008	0.56	1.80	0.025	0.001	22.5	5.8	3.1	0.16
SUS316LN (t:17.5)	0.019	0.69	0.60	0.027	0.001	18.22	10.60	2.83	0.17
SUS316Lクラッド* (t:3+12)	0.008	0.54	0.77	0.024	0.001	16.94	12.11	2.84	-

* 合せ材 3mm (SUS316L鋼板) の成分を示す。

機械的性質

供試鋼板	板厚 (mm)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HV)
SUS329J3L	16	615	772	38	255
SUS316LN	17.5	399	679	48	194
SUS316Lクラッド* (3+12)	15	-	476	35	-

* SUS316Lクラッド鋼板としての強度を示す。

疲労試験 試験機

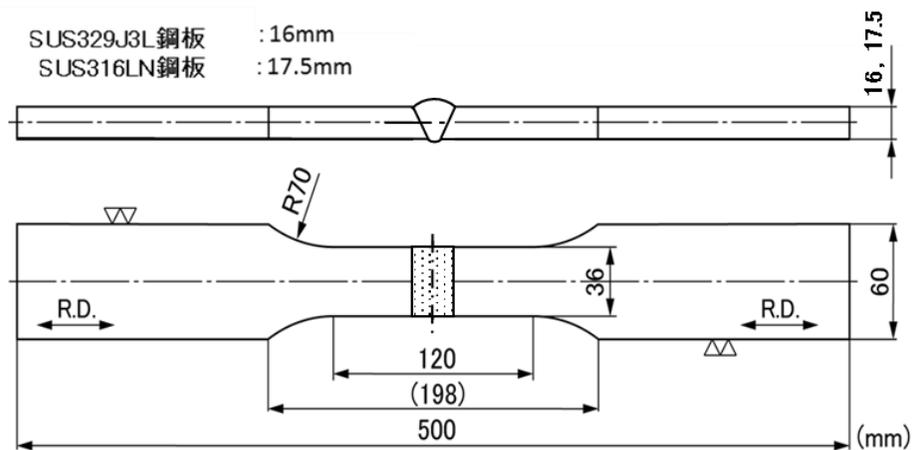


500 kN電気油圧式 疲労試験機

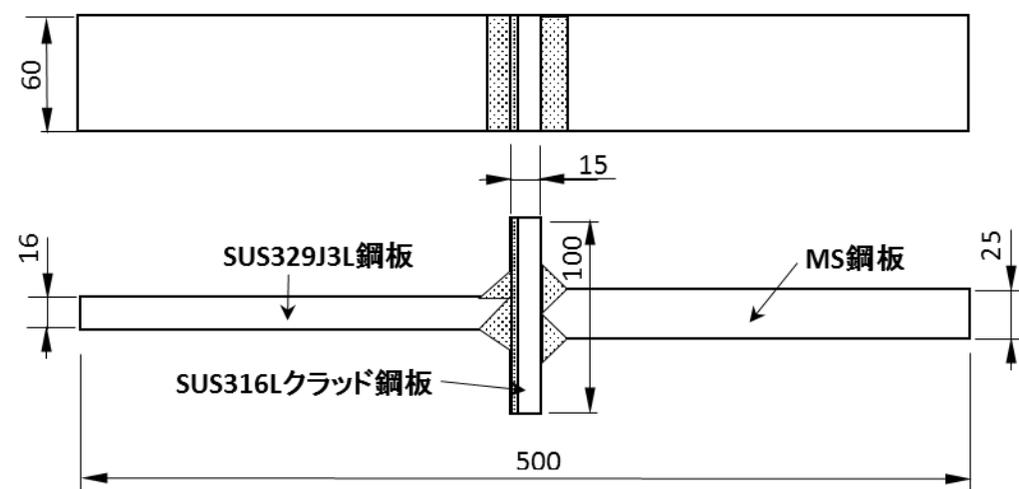
疲労試験条件

制御方式	荷重制御
負荷形式	軸力引張り
試験波形	正弦波
応力比(R)	0.1
繰返し速度(Hz)	3~10
試験環境	室温大気中

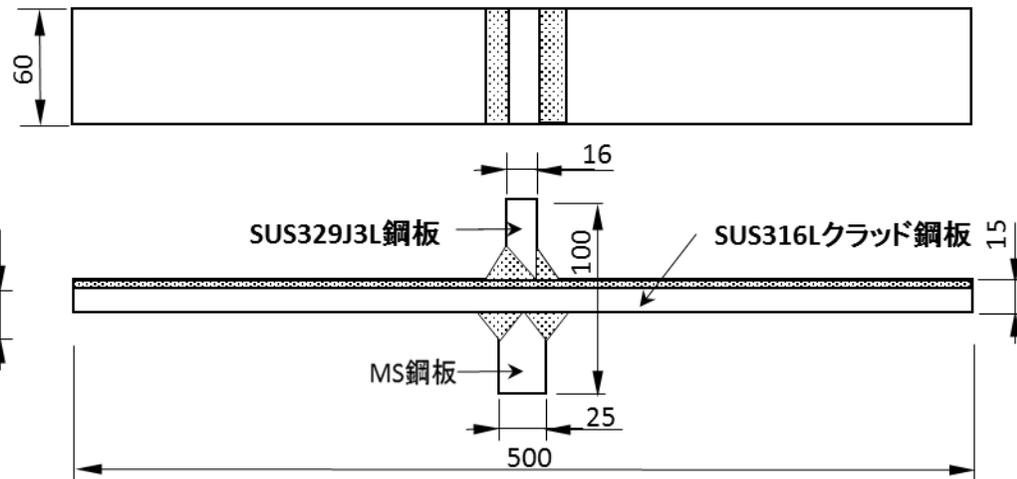
疲労試験 試験片形状・寸法



突合せ溶接継手

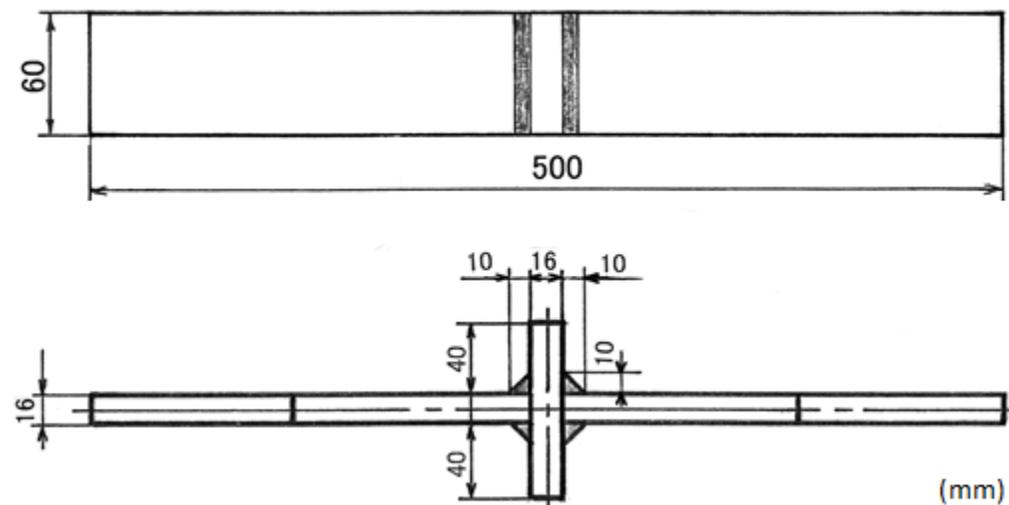


荷重伝達型 完全溶け込み十字溶接継手

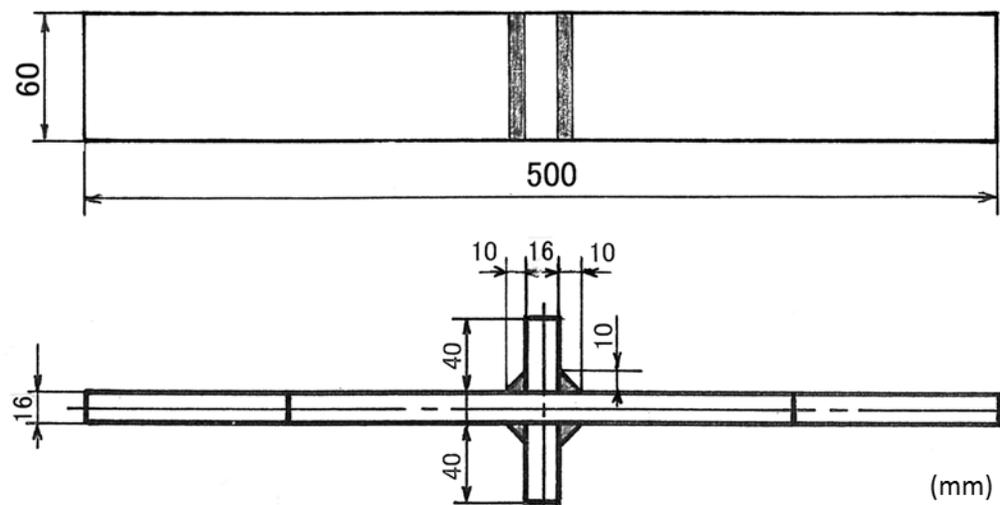


荷重非伝達型 完全溶け込み十字溶接継手

疲労試験 試験片形状・寸法



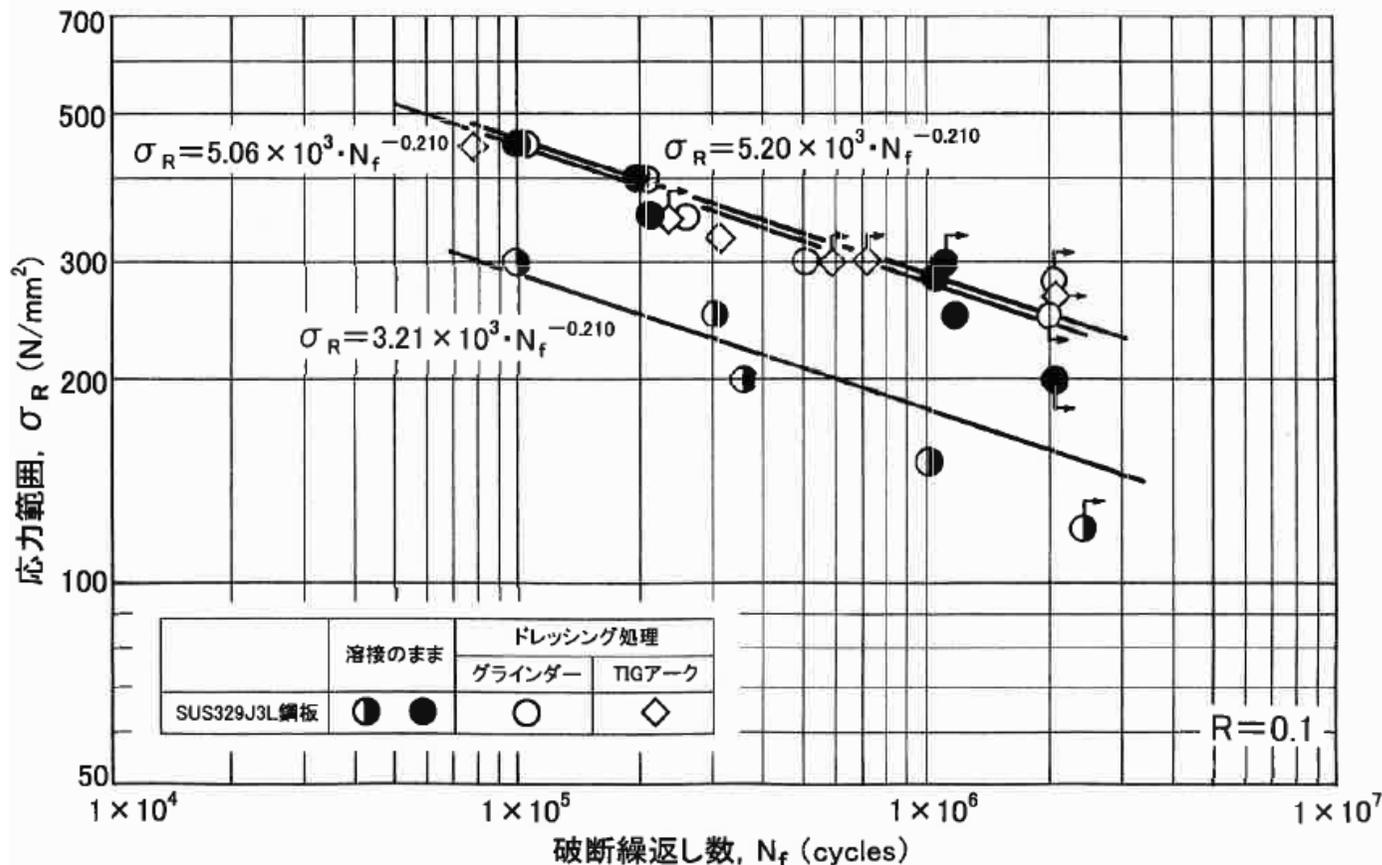
荷重伝達型 十字隅肉溶接継手



荷重非伝達型 十字隅肉溶接継手

疲労試験 SUS329J3L鋼板同士の

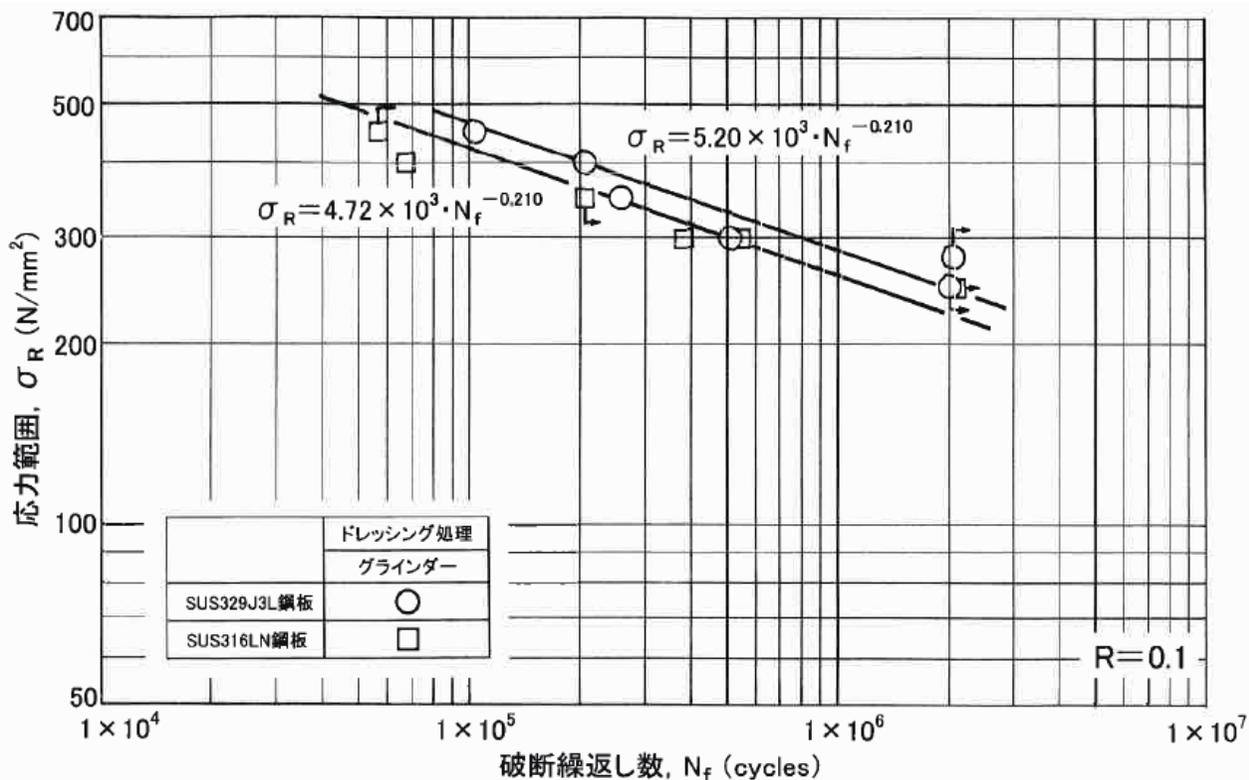
突合せ溶接継手



グラインダーやTIGアークによるドレッシングは、溶接のまま●に比べ疲労強度は約1.6倍向上。

溶接のまま●に比べ、溶接止端部形状を意識した溶接のまま●では、グラインダーやTIGアークと同等の効果が得られる。

疲労試験 SUS329J3L同士とSUS316LN同士 の突合せ溶接継手

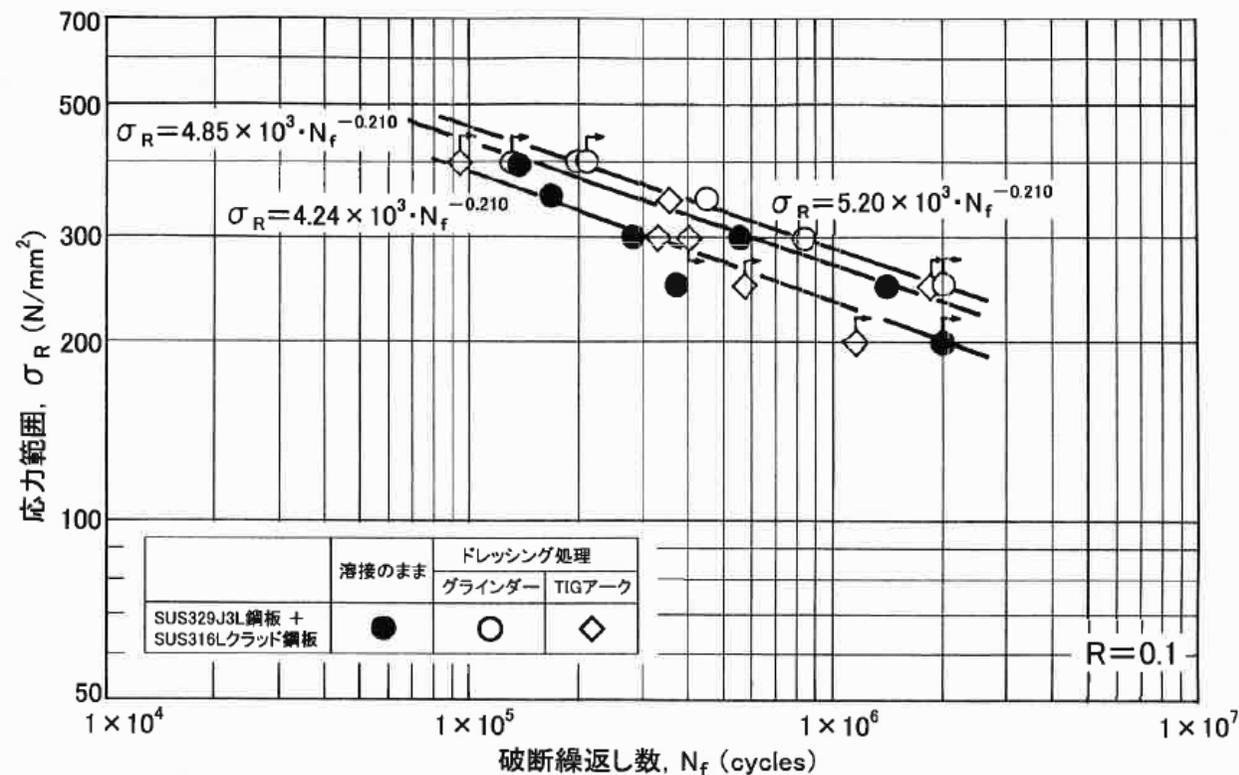


SUS329J3L鋼板同士の突合せ溶接継手と
SUS316LN鋼板同士の突合せ溶接継手とでは、
疲労強度は約10%**SUS329J3L鋼板**
同士の方が強いという結果であった。

疲労試験

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との

荷重伝達型 完全溶け込み十字溶接継手



グラインダーによるドレッシングは、溶接のままに比べ疲労強度は約1.2倍向上。

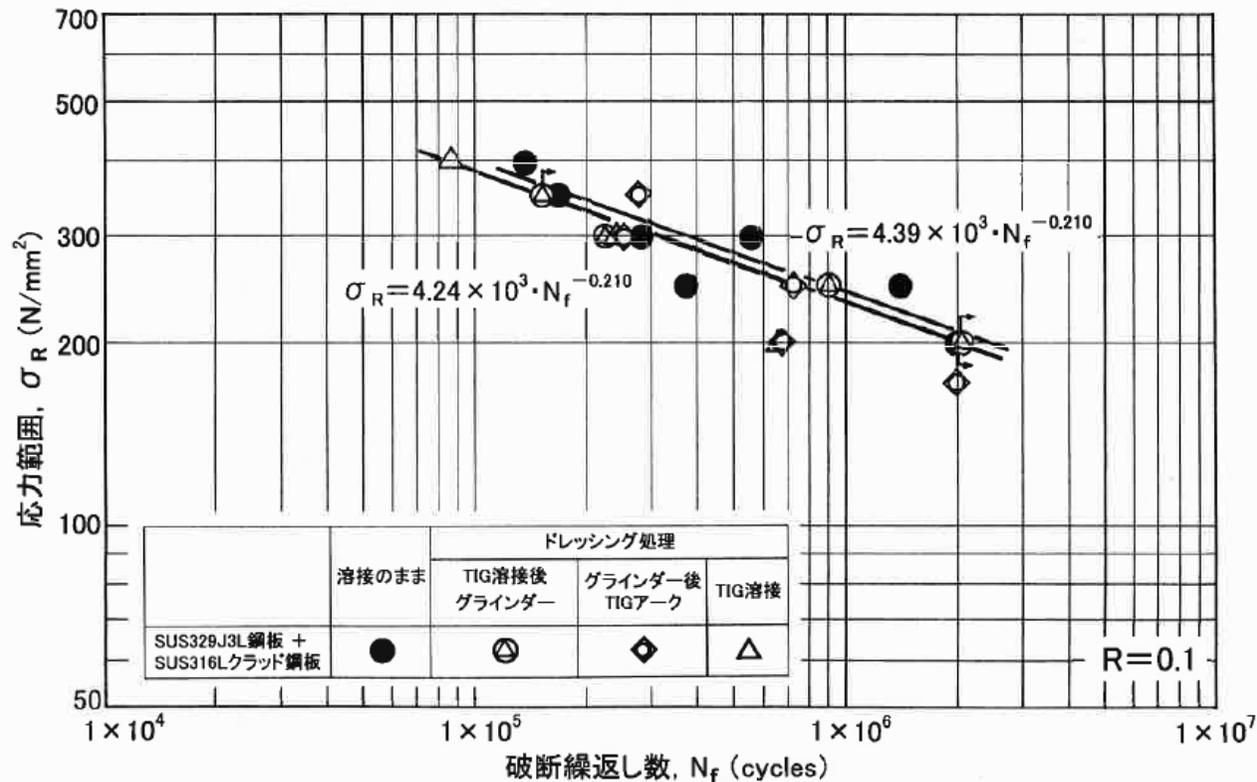
TIGアークによるドレッシングは、溶接のままに比べ疲労強度は約1.1倍向上。

溶接のままは、止端形状を意識した溶接施工のため、疲労強度は向上。

疲労試験

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との

荷重伝達型 完全溶け込み十字溶接継手



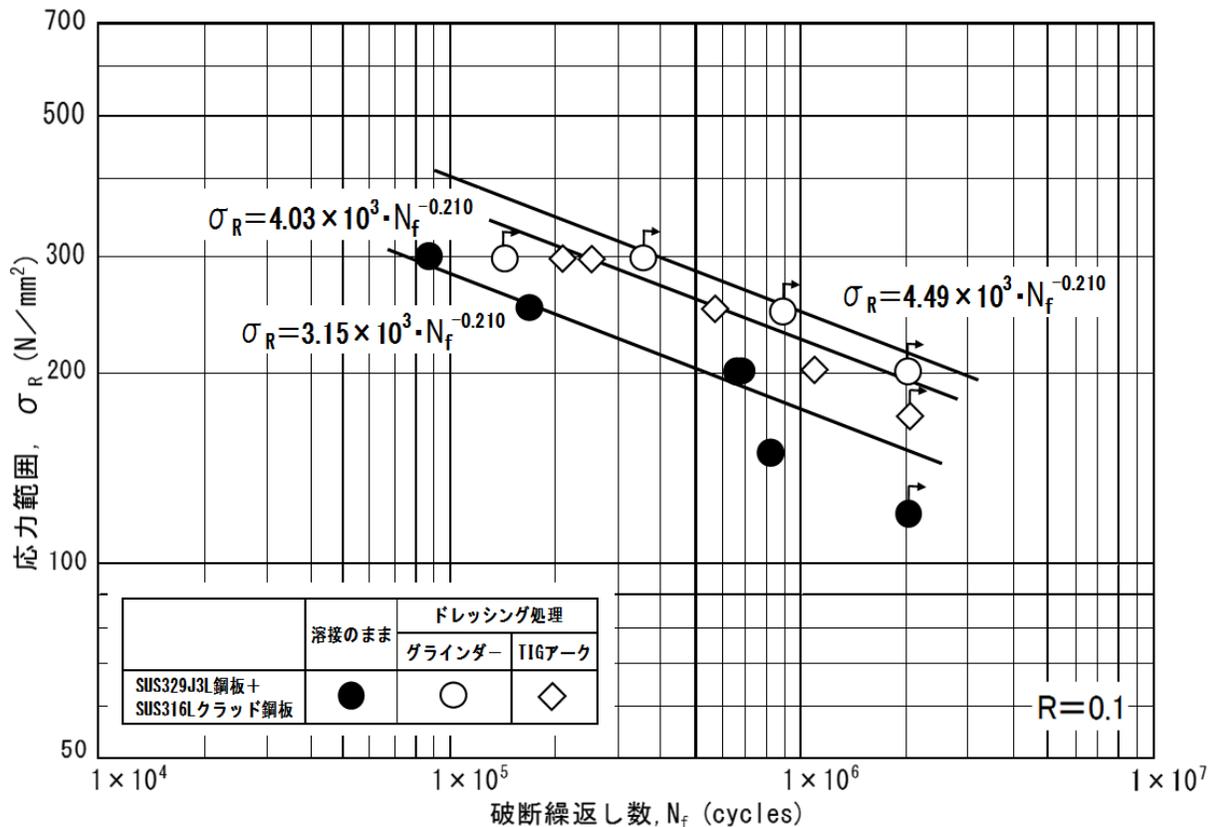
溶接のままの継手は、
止端形状を意識した
溶接施工のため、疲労強度は
向上。

止端形状を意識した溶接のままと、
TIG溶接後グラインダー
グラインダー後TIGアーク
TIG溶接
によるドレッシングの
疲労強度は同等である。

疲労試験

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との

荷重非伝達型 完全溶け込み十字溶接継手



溶接のままの継手は、
止端形状を意識した
溶接施工のため、疲労強度は
向上。

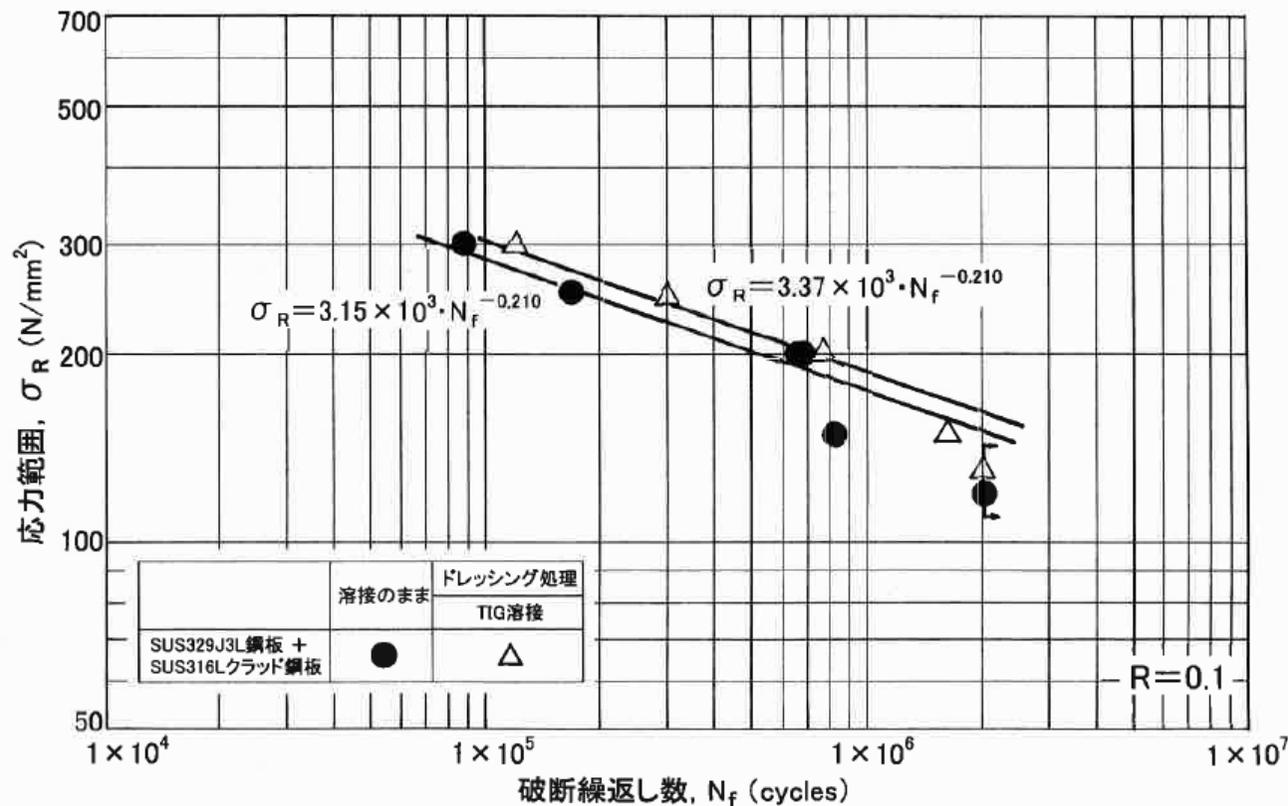
グラインダーによるドレッシングは、
溶接のままに比べ疲労強度は
約1.4倍向上。

TIGアークによるドレッシングは、
溶接のままに比べ疲労強度は
約1.3倍向上。

疲労試験

SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との

荷重非伝達型 完全溶け込み十字溶接継手

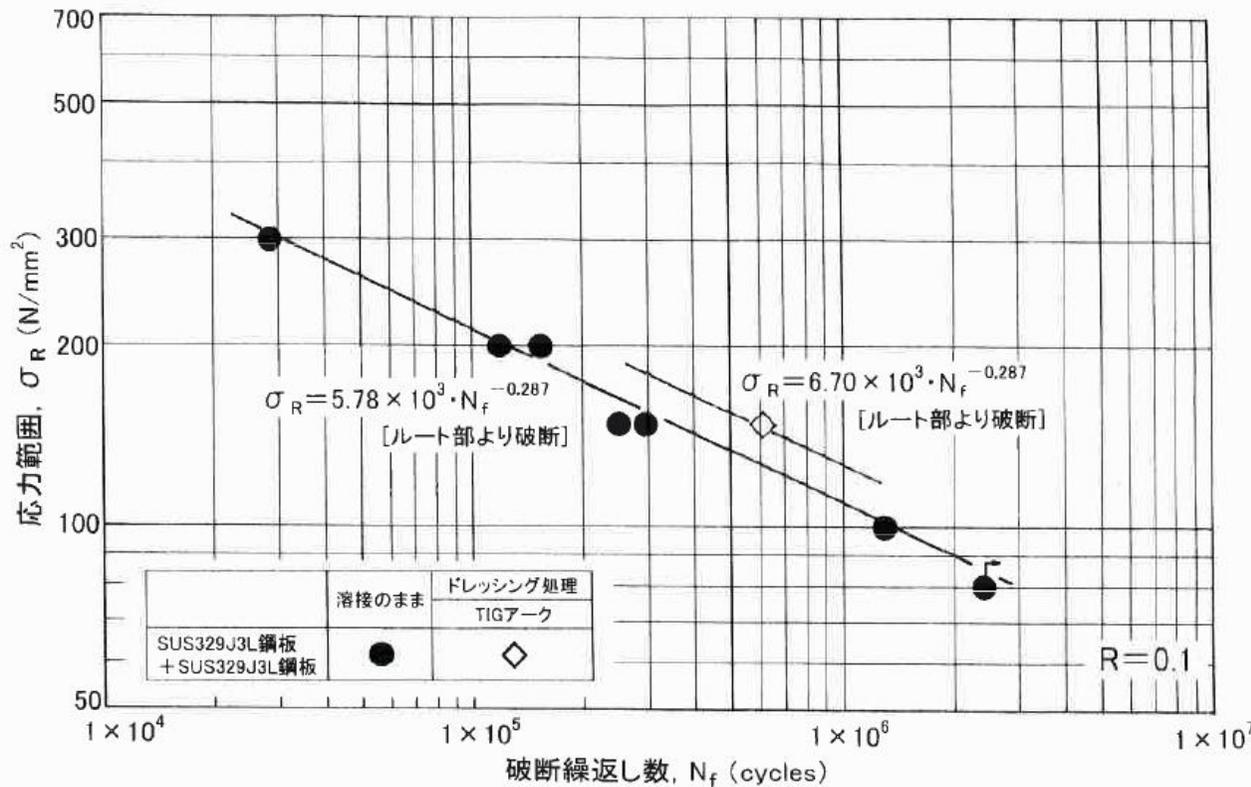


溶接のままの継手は、
止端形状を意識した
溶接施工のため、疲労強度は
向上。

止端形状を意識した溶接のままと
TIG溶接
によるドレッシングの
疲労強度は同等である。

疲労試験 SUS329J3L鋼板同士

荷重伝達型 十字隅肉溶接継手



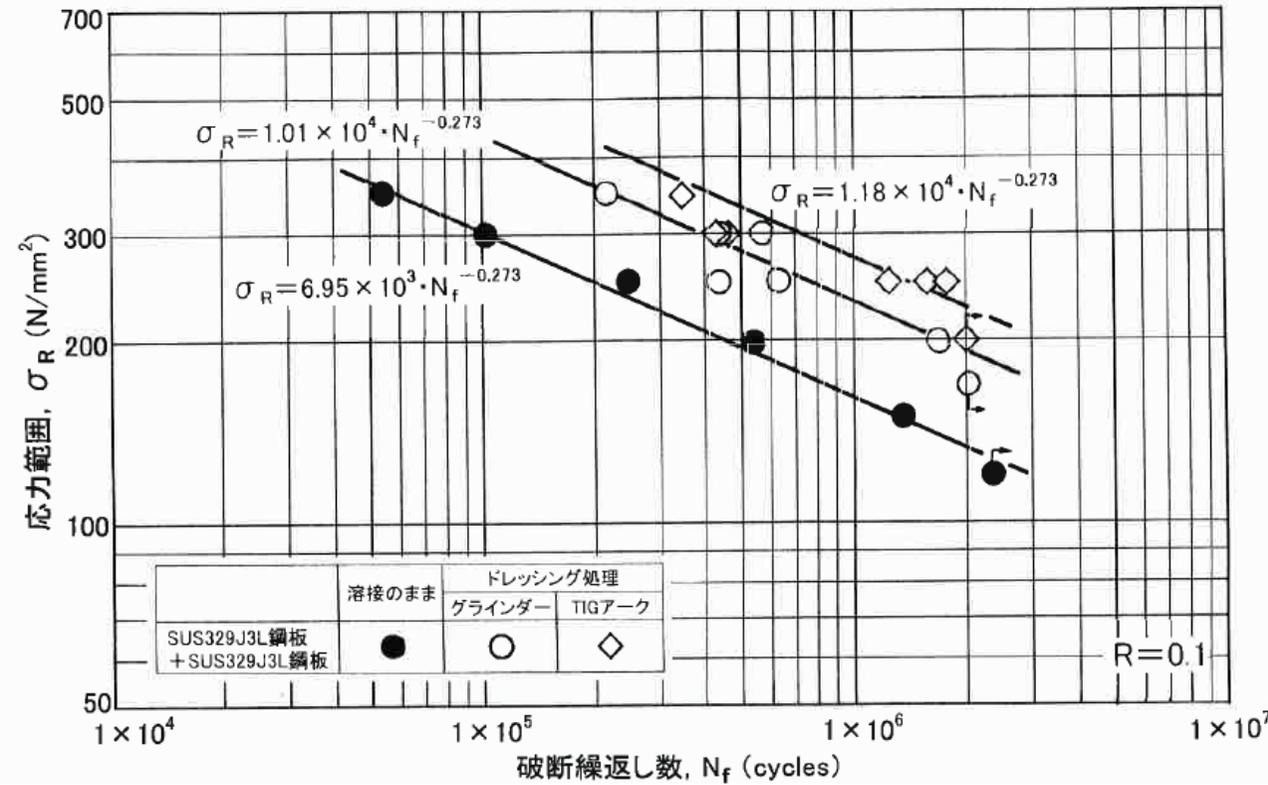
本研究で供試された疲労試験片では、全てルート破壊した。脚長と板厚との比は平均値で1.04程度。

脚長と板厚との比が0.7程度以上であればトウ破壊になり、0.7程度以下であればルート破壊になると判断されていた。

疲労試験

SUS329J3L鋼板同士の

荷重非伝達型 十字隅肉溶接継手



溶接のままは、止端形状を意識した溶接施工のため、疲労強度は向上。

グラインダーによるドレッシングは、溶接のままに比べ疲労強度は約1.5倍向上。

TIGアークによるドレッシングは、溶接のままに比べ疲労強度は約1.7倍向上。

応力集中係数を考慮した疲労強度補正

(突合せ溶接継手)

(SUS329J3L鋼板同士)

Ktを考慮して応力範囲を補正すると,

$$\sigma_R = 5.90 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$$

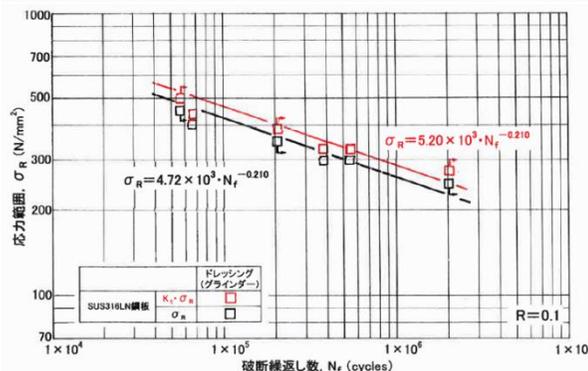
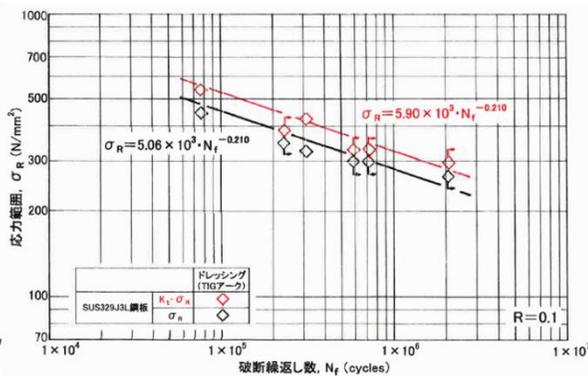
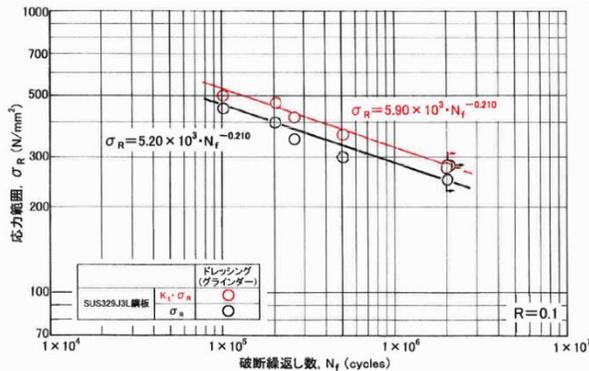
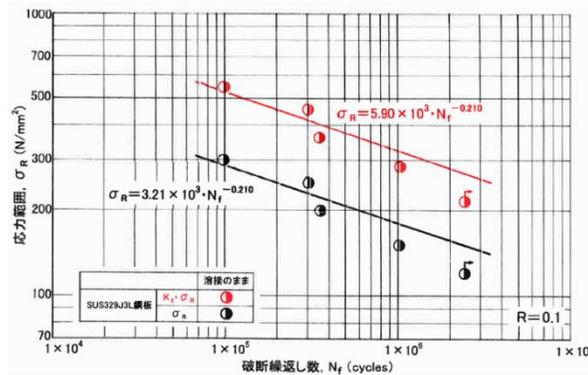
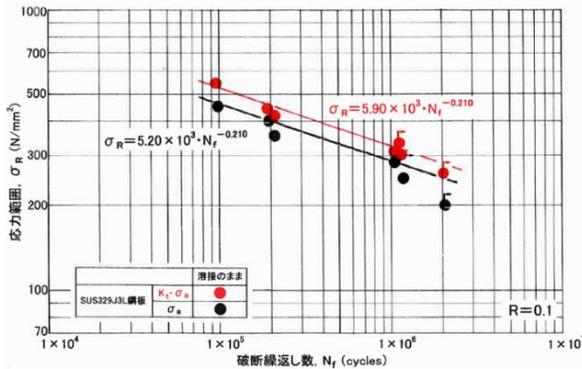
平滑仕上げ加工された突合せ溶接継手の $\sigma_R - N_f$ 線図。

(SUS316LN鋼板同士)

Ktを考慮して応力範囲を補正すると,

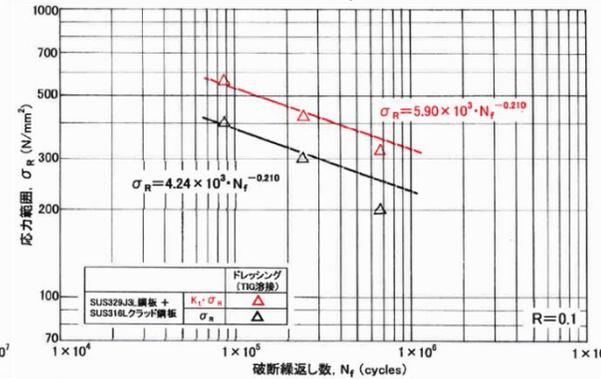
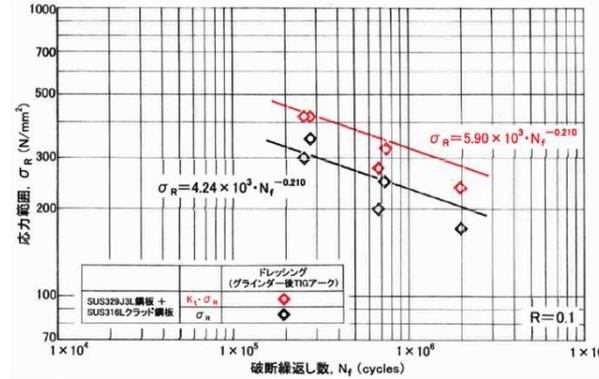
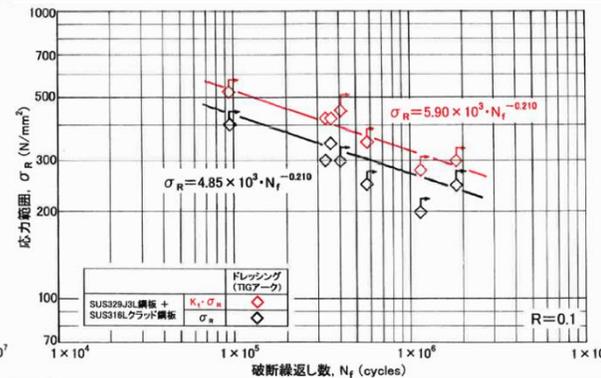
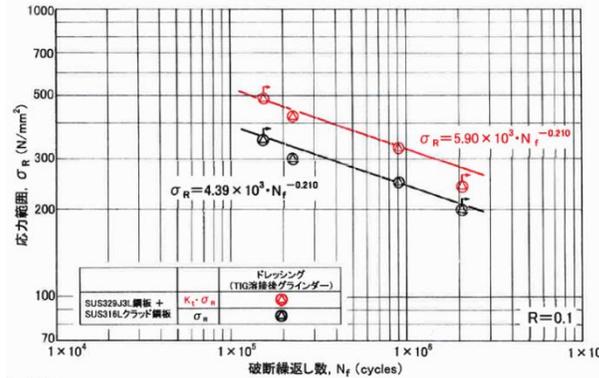
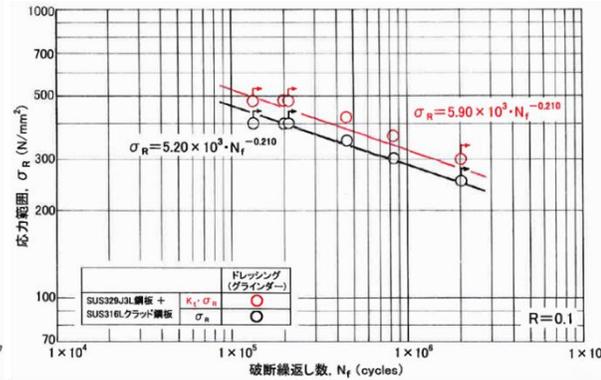
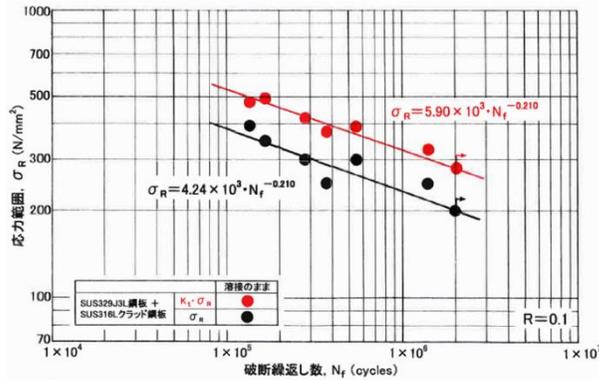
$$\sigma_R = 5.20 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$$

平滑仕上げ加工された突合せ溶接継手の $\sigma_R - N_f$ 線図。



応力集中係数を考慮した疲労強度補正

(荷重伝達型 完全溶け込み十字溶接継手)



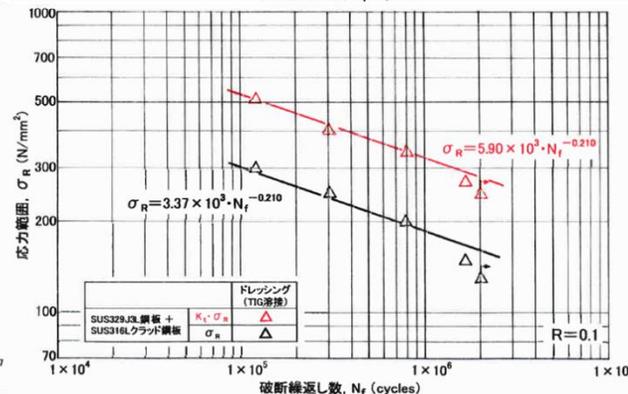
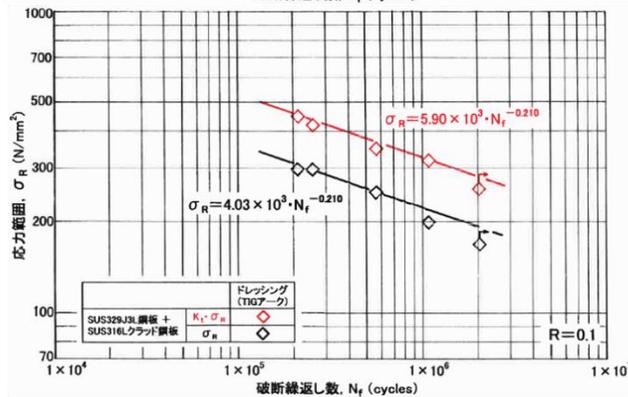
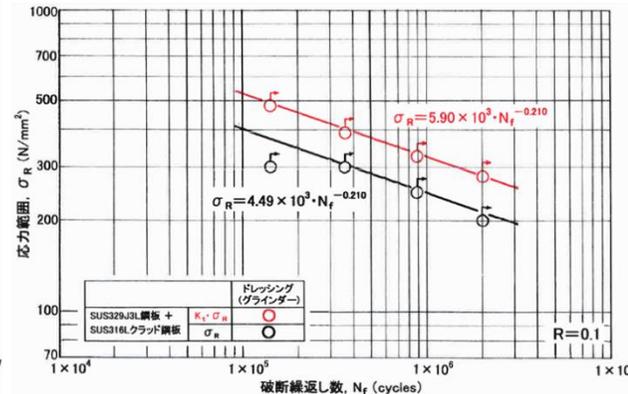
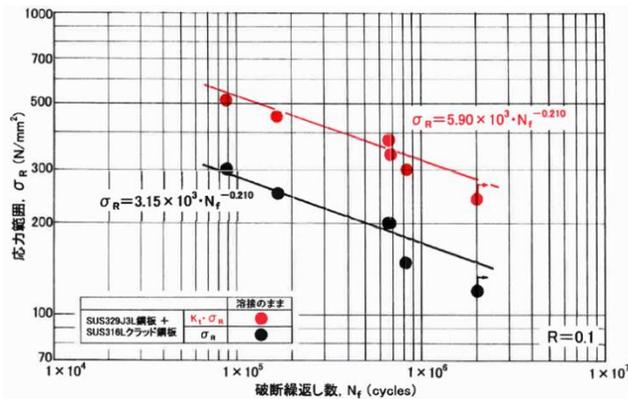
(SUS329J3L鋼板と SUS316Lクラッド鋼板)

Ktを考慮して応力範囲を補正すると,

$$\sigma_R = 5.90 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$$

応力集中係数を考慮した疲労強度補正

(荷重非伝達型 完全溶け込み十字溶接継手)



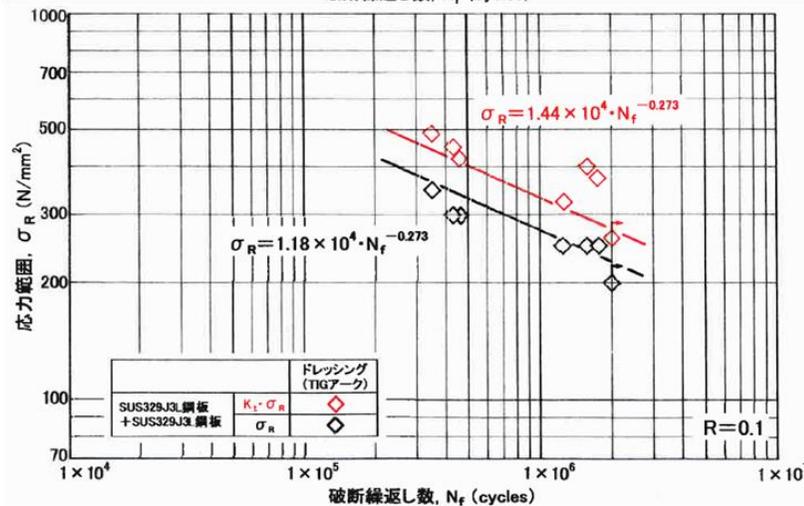
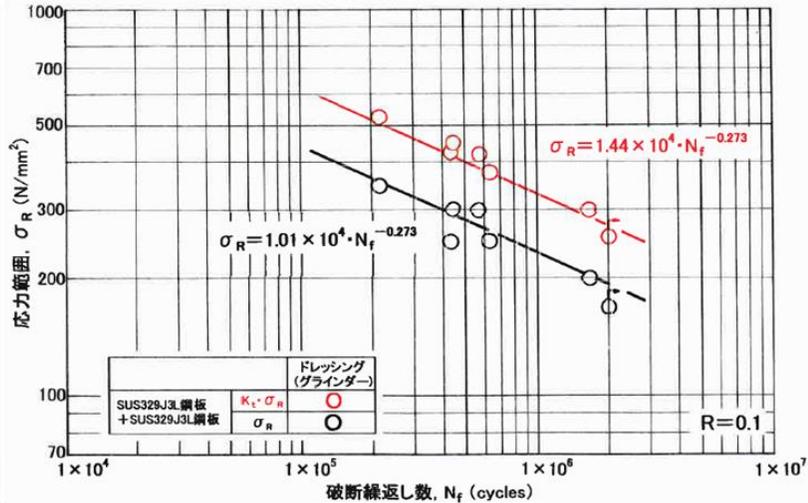
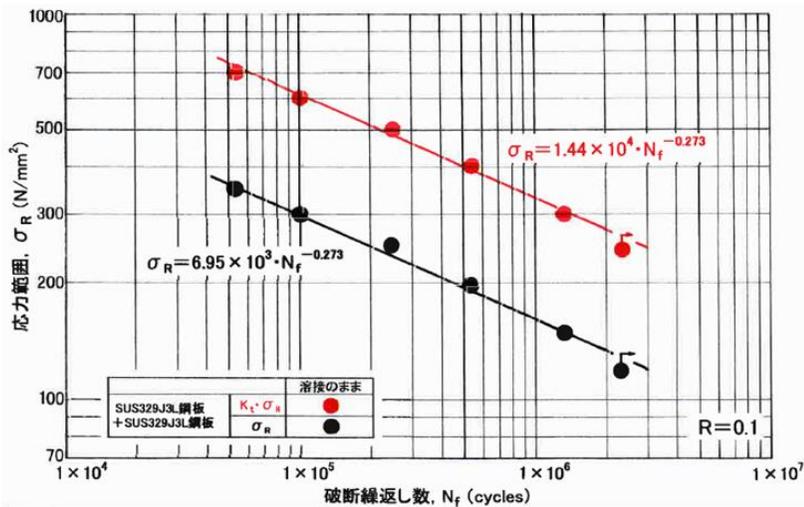
(SUS329J3L鋼板と
SUS316Lクラッド鋼板)

Ktを考慮して応力範囲を補正すると,

$$\sigma_R = 5.90 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$$

応力集中係数を考慮した疲労強度補正

(荷重非伝達型 十字隅肉溶接継手)



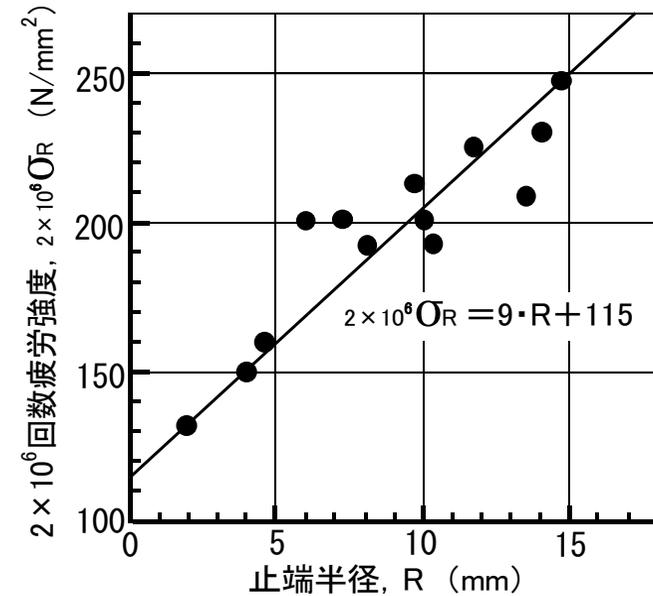
(SUS329J3L鋼板同士)

Ktを考慮して応力範囲を補正すると,

$$\sigma_R = 1.44 \times 10^4 \cdot N_f^{-0.273}$$

2 × 10⁶回疲労強度に及ぼす止端半径の影響

完全溶け込み十字溶接継手・十字隅肉溶接継手疲労試験結果			2 × 10 ⁶ 回 疲労強度 2 × 10 ⁶ σ _R (N/mm ²)	止端半径 (平均値) R (mm)
SUS329J3L鋼板+SUS316Lクラッド鋼板				
荷重伝達型 完全溶け込み 十字溶接継手	溶接のまま	$\sigma_R = 4.24 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	201	7.3
	グラインダーによるドレッシング処理	$\sigma_R = 5.20 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	247	14.7
	TIG溶接後グラインダーによる ドレッシング処理	$\sigma_R = 4.39 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	209	13.5
	TIGアークによるドレッシング処理	$\sigma_R = 4.85 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	230	14.0
	ビード表面グラインダー仕上げ後 TIGアークによるドレッシング処理	$\sigma_R = 4.24 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	201	10.0
	TIG溶接によるドレッシング処理	$\sigma_R = 4.24 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	201	6.0
SUS329J3L鋼板+SUS316Lクラッド鋼板				
荷重非伝達型 完全溶け込み 十字溶接継手	溶接のまま	$\sigma_R = 3.15 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	150	4.0
	グラインダーによるドレッシング処理	$\sigma_R = 4.49 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	213	9.7
	TIGアークによるドレッシング処理	$\sigma_R = 4.03 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	192	10.3
	TIG溶接によるドレッシング処理	$\sigma_R = 3.37 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	160	4.6
SUS329J3L鋼板+SUS329J3L鋼板				
荷重非伝達型 十字隅肉 溶接継手	溶接のまま	$\sigma_R = 6.95 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$	132	1.9
	グラインダーによるドレッシング処理	$\sigma_R = 1.01 \times 10^4 \cdot N_f^{-0.210}$	192	8.1
	TIGアークによるドレッシング処理	$\sigma_R = 1.18 \times 10^4 \cdot N_f^{-0.210}$	225	11.7



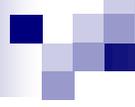
止端半径Rが10mm以上になるようなドレッシング処理をすれば、応力比0.1の条件で、2 × 10⁶回疲労強度は、200N/mm²程度以上確保出来るものと考えられる。

疲労試験 まとめ

- ・溶接継手止端部をグラインダーでドレッシング処理した，SUS329J3L鋼板同士の突合せ溶接継手とSUS316LN鋼板同士の突合せ溶接継手とでは，疲労強度は 約10 % (約1.1倍) SUS329J3L鋼板同士の方が強いという結果であった。
- ・溶接継手止端部の，グラインダーによるドレッシング処理とTIGアークによるドレッシング処理は，疲労強度向上効果が大きいことが明らかになった。
- ・今回供試した溶接のままの継手では，止端形状を意識して溶接施工したため，止端部TIG溶接後グラインダーによるドレッシング処理，ビード表面グラインダー仕上げ後TIGアークにとるドレッシング処理などで，疲労強度の向上はほとんど無かった。実船の溶接作業において，溶接要員の技量にばらつきがあるため，今回供試した溶接のままの継手と同等の溶接施工は難しいと考える。そのため，特に疲労強度に考慮が必要な個所は，止端Rが10mm程度になるドレッシング処理が必要になると考える。

疲労試験 まとめ

- ・応力集中係数を考慮して応力範囲を補正すると、SUS329J3L鋼板同士の突合せ溶接継手(4種類)と、SUS329J3L鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との荷重伝達型(6種類)・荷重非伝達型(4種類)完全溶け込み十字溶接継手全てが同一の式， $\sigma_R = 5.90 \times 10^3 \cdot N_f^{-0.210}$ で表わせることが明らかになった。
- ・同様に、SUS329J3L鋼板同士の荷重非伝達型十字隅肉溶接継手(3種類)は、 $\sigma_R = 1.44 \times 10^4 \cdot N_f^{-0.273}$ で表わせることが明らかになった。
- ・SUS329J3L鋼板同士の溶接のままの荷重伝達型十字隅肉溶接継手を供試したところ、全てルート部から疲労亀裂が発生して破断した。以前実施された疲労試験結果では、脚長と板厚との比が0.7程度以上であればトウ破壊になり、0.7程度以下であればルート破壊になると判断されていた。本研究で供試された疲労試験片では、脚長と板厚との比は平均値で1.04程度であったが、全てルート破壊した。ルート部の溶け込み形状に問題があったものと考えられる。



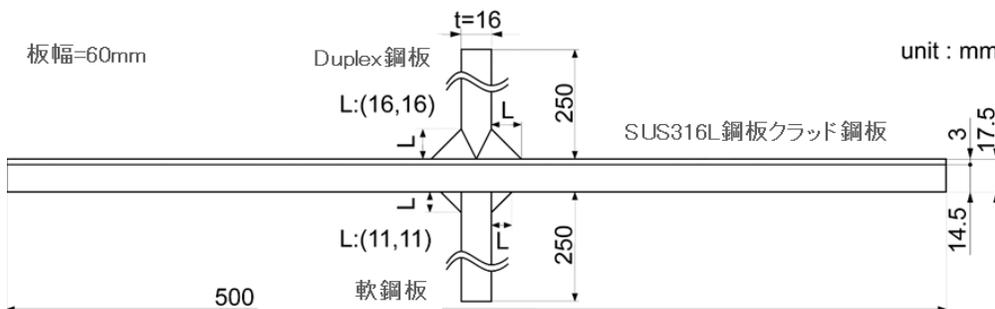
バルクヘッドと二重底との 十字溶接継手部の 応力集中係数

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部について、FEM解析により以下の項目を検討した。

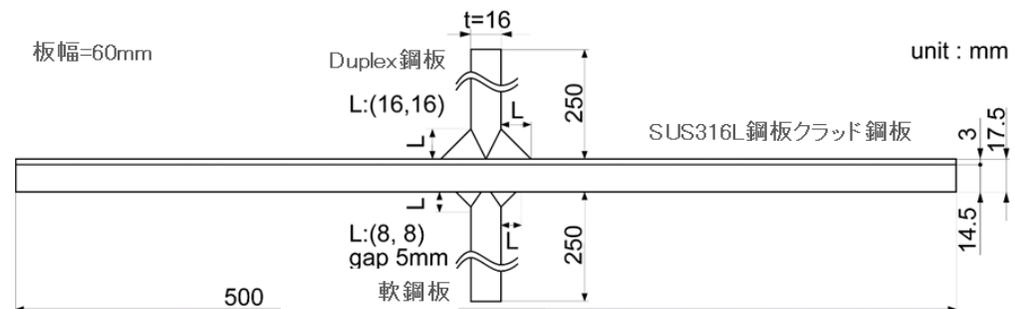
- ・脚長寸法の影響
- ・軟鋼板側 溶接条件の影響
- ・目違いの影響
- ・モールドの影響
- ・増脚長の効果
- ・ルートギャップの影響
- ・ルート部溶け込み形状の影響

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

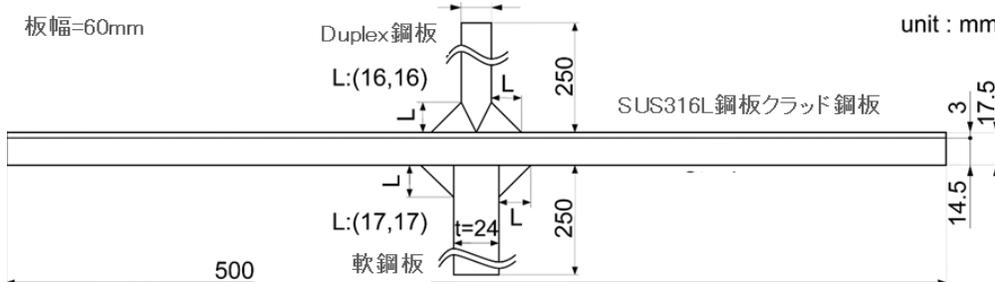
応力集中係数 ～溶接継手モデル形状一例～



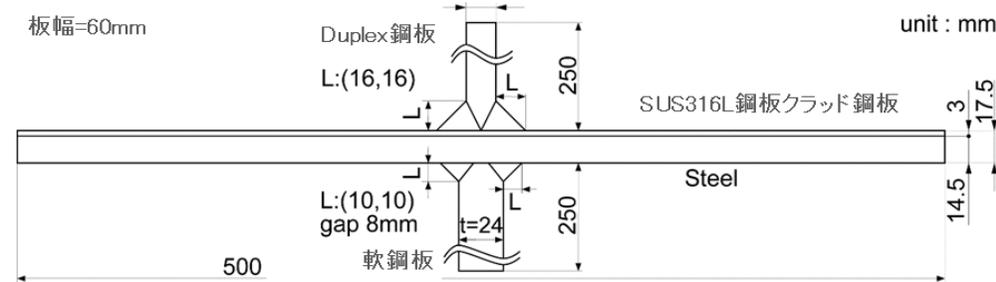
同厚材 脚長(16,16) (11,11) 軟鋼板側 隅肉



同厚材 脚長(16,16) (8,8) 軟鋼板側 深溶け込み



異厚材 脚長(16,16) (17,17) 軟鋼板側 隅肉

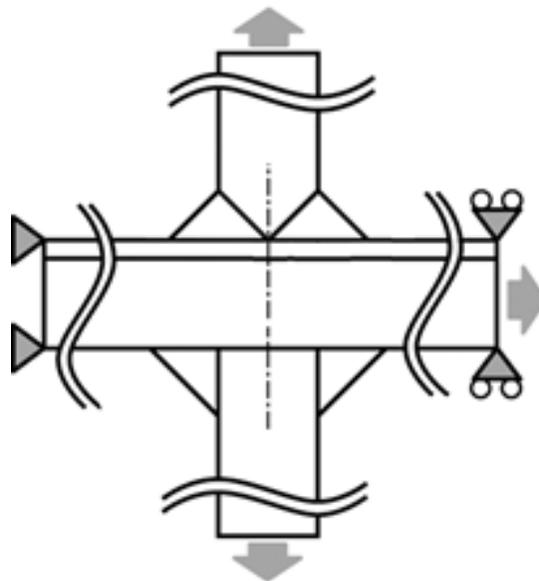


異厚材 脚長(16,16) (10,10) 軟鋼板側 深溶け込み

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

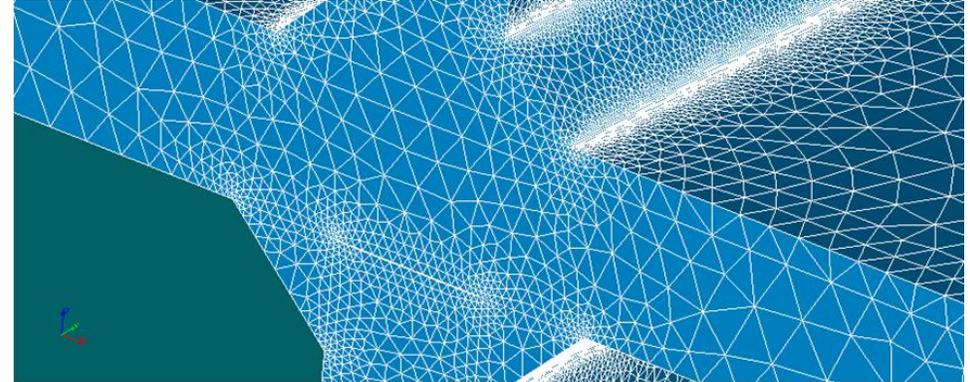
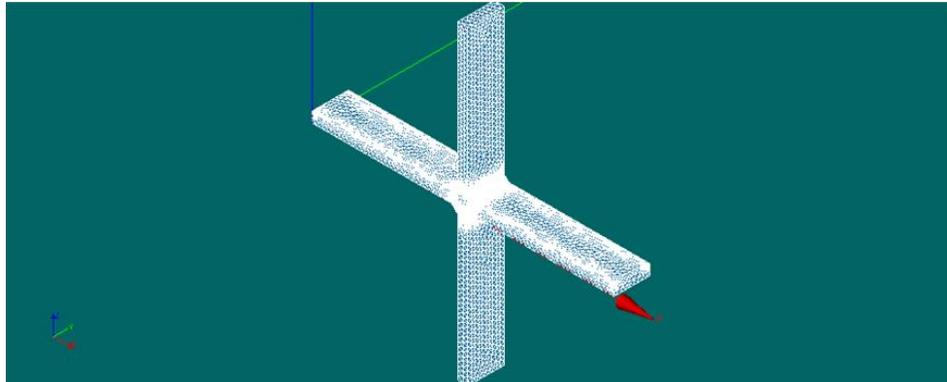
応力集中係数 ～荷重条件～

	一軸引張	二軸引張			
L方向荷重 (Pa)	1	1	1	1	1
T方向荷重 (Pa)	0	0.2	0.5	1	2



バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～計算格子～

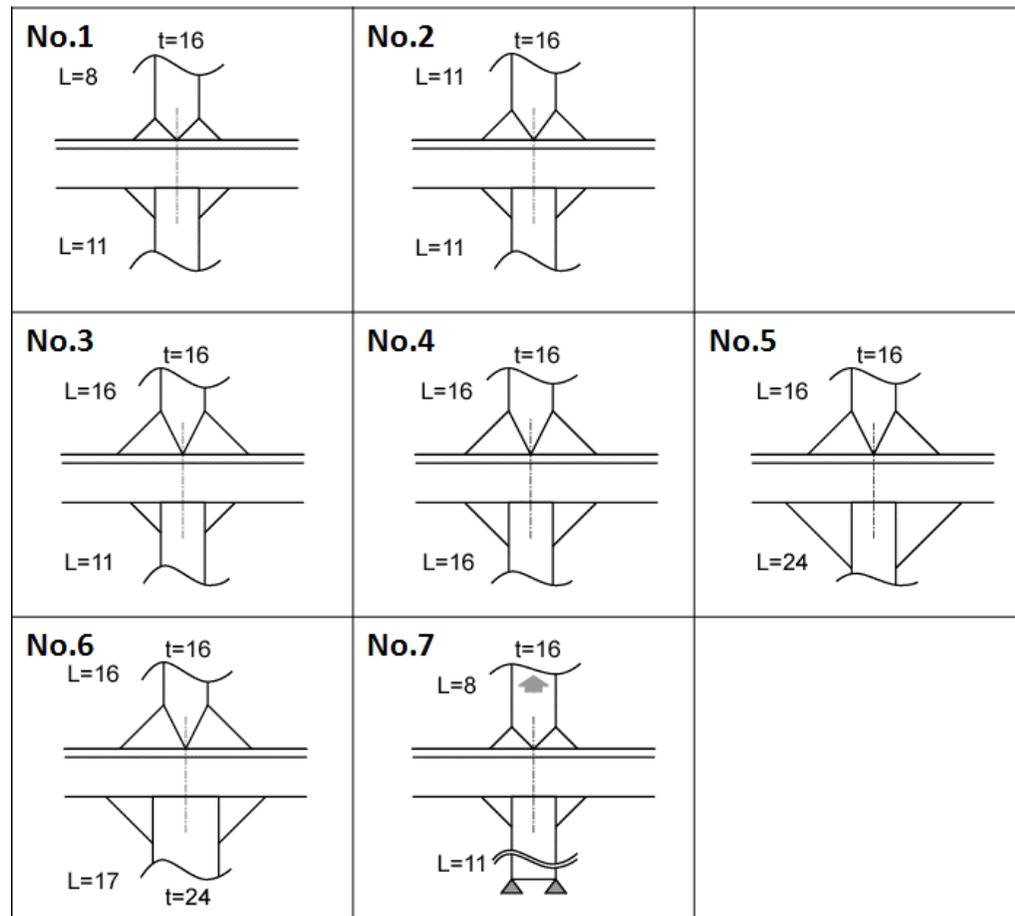


- 非構造格子
- 最小格子幅(溶接止端部, ルート端部): **0.3mm**

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

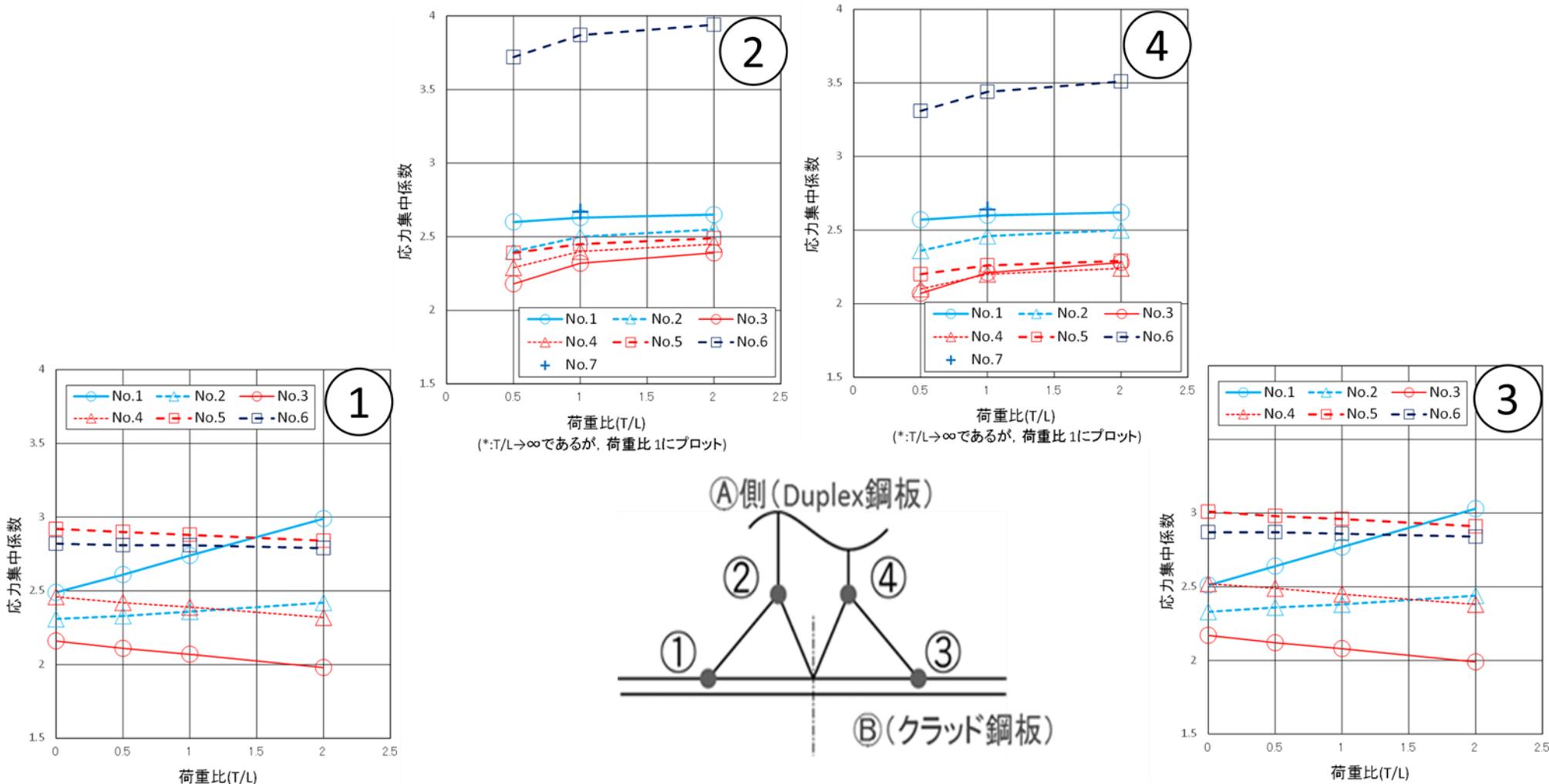
応力集中係数 ～脚長寸法の影響～

(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

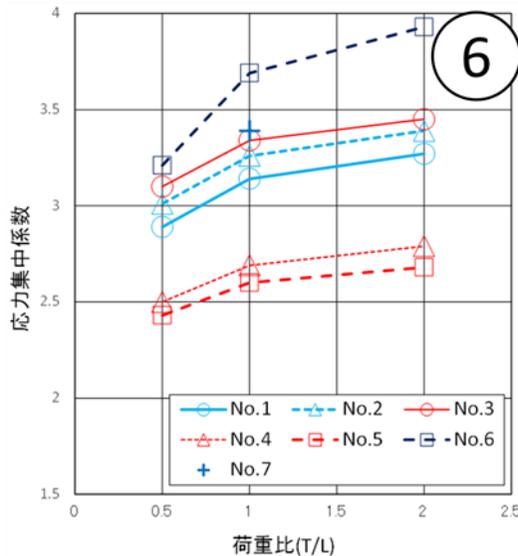
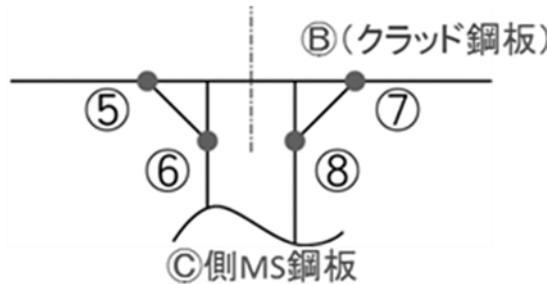
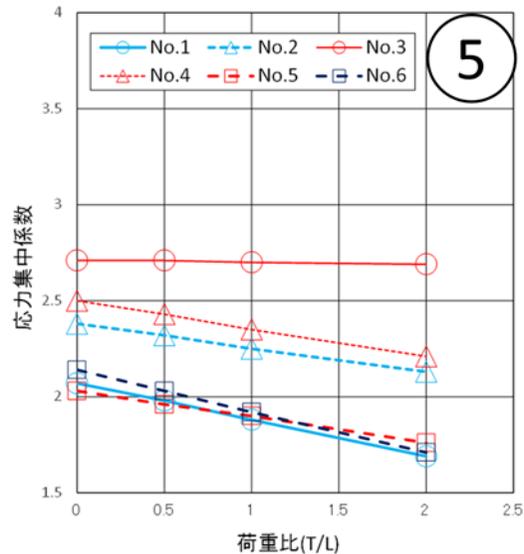
応力集中係数 ～脚長寸法の影響～



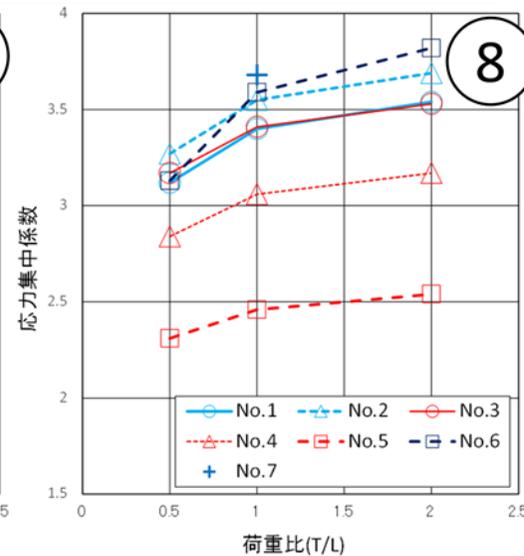
バルクヘッド側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

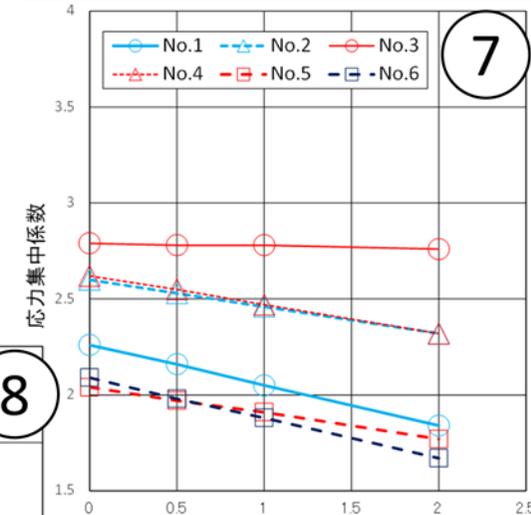
応力集中係数 ～脚長寸法の影響～



(*:T/L→∞であるが, 荷重比 1にプロット)



(*:T/L→∞であるが, 荷重比 1にプロット)

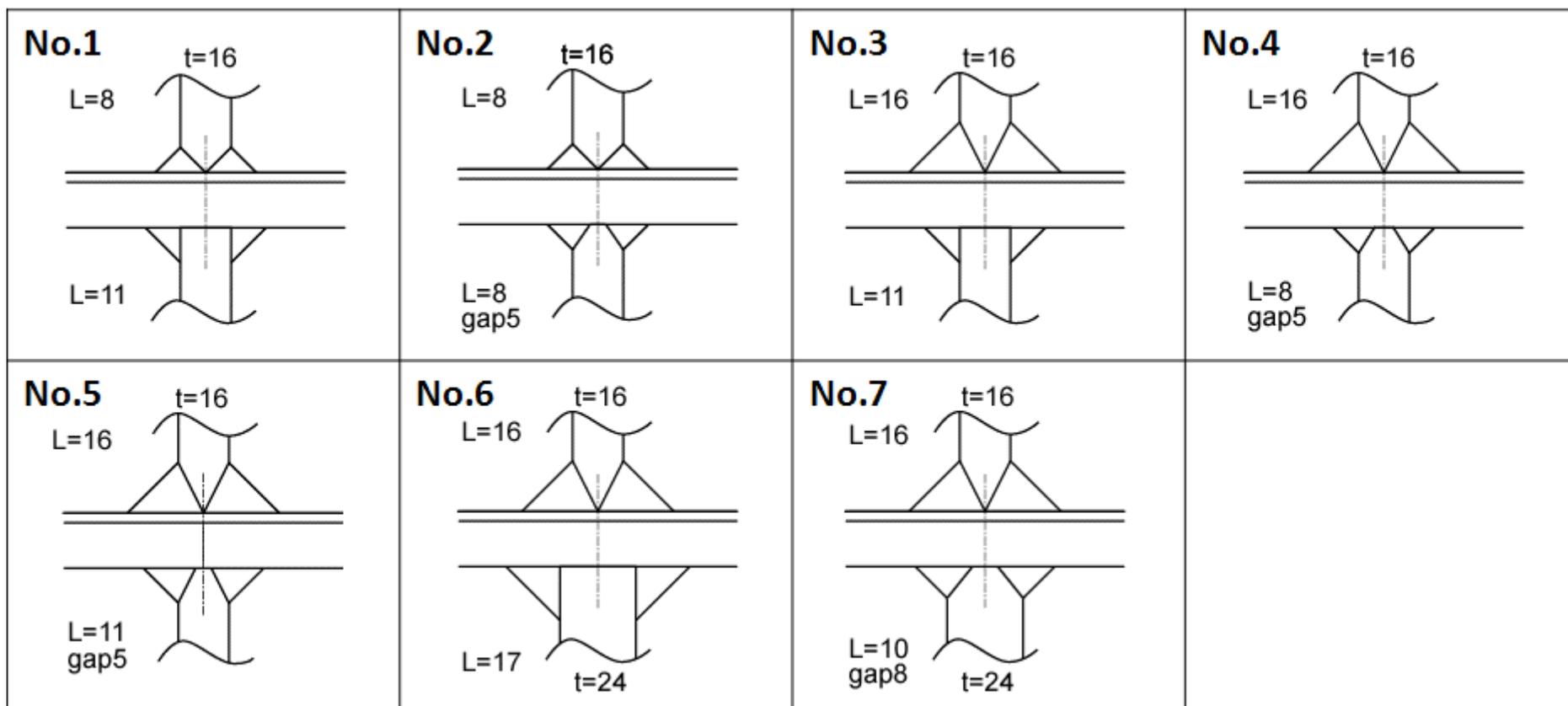


二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～軟鋼板側 溶接条件の影響～

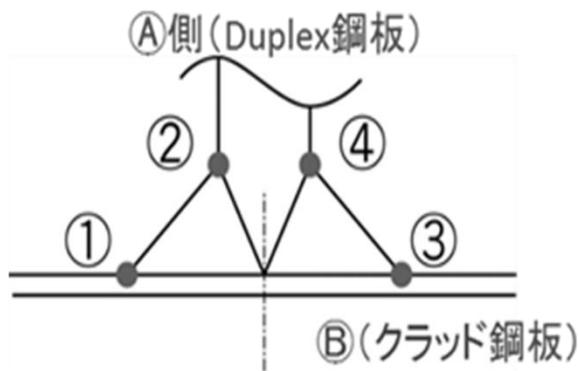
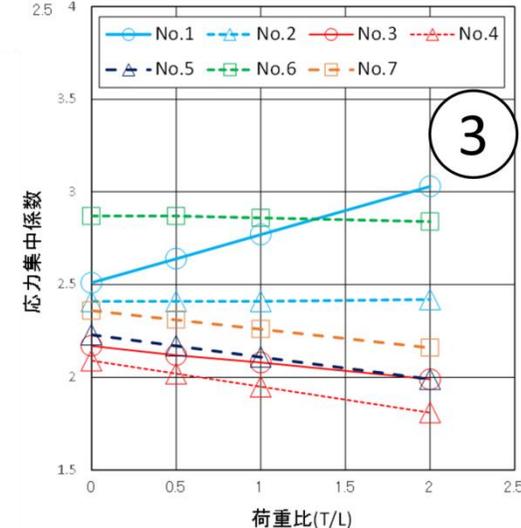
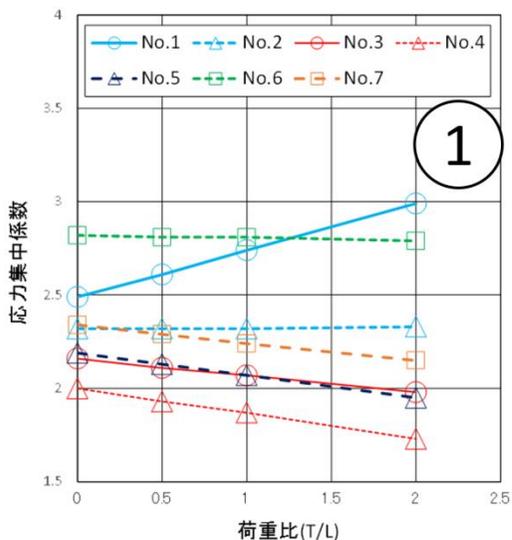
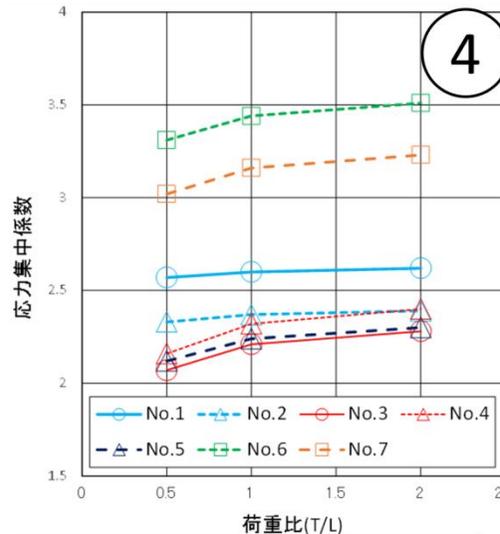
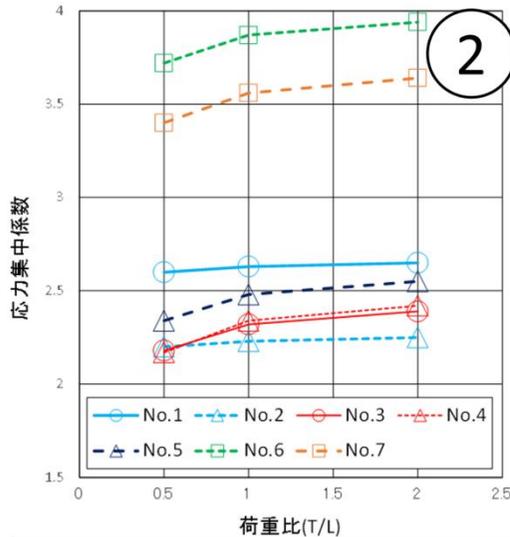
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



軟鋼板側 隅肉溶接 と 深溶け込み溶接の比較

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～軟鋼板側 溶接条件の影響～

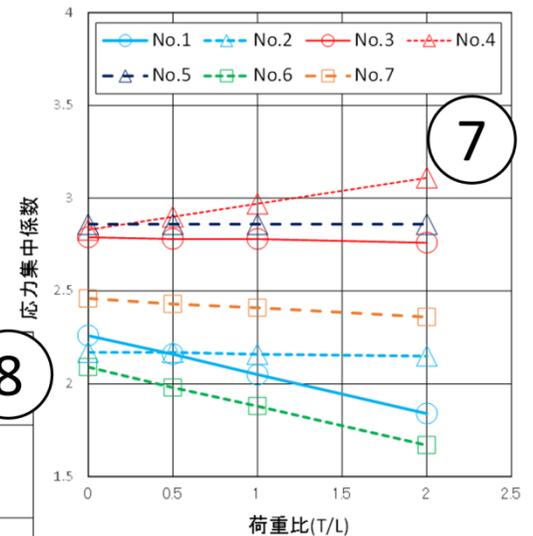
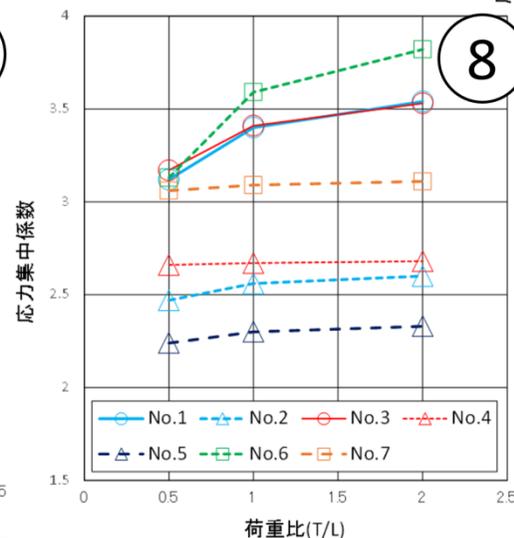
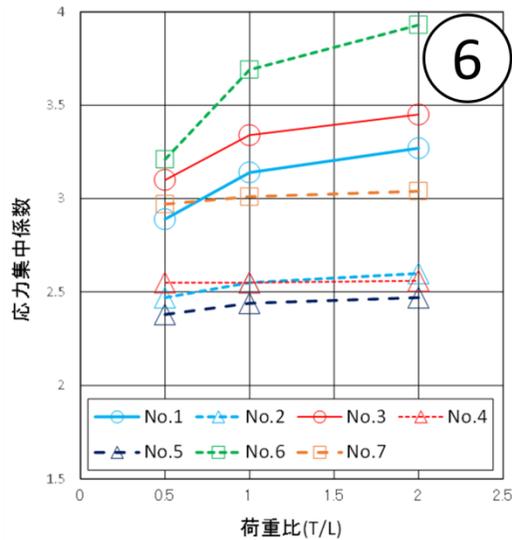
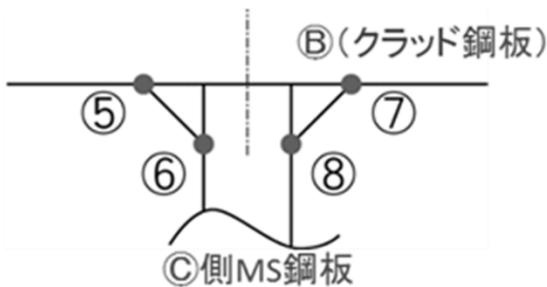
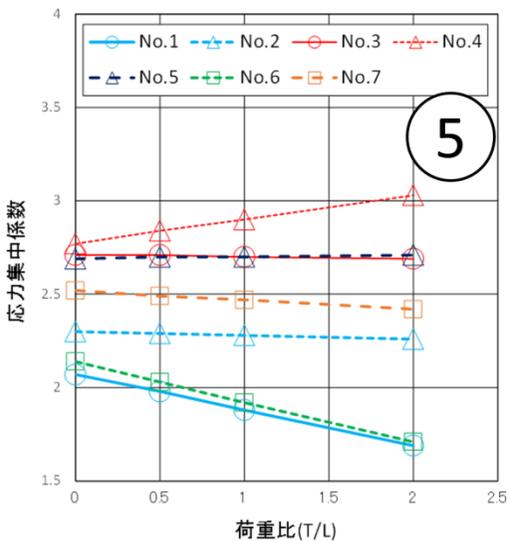


バルクヘッド側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数

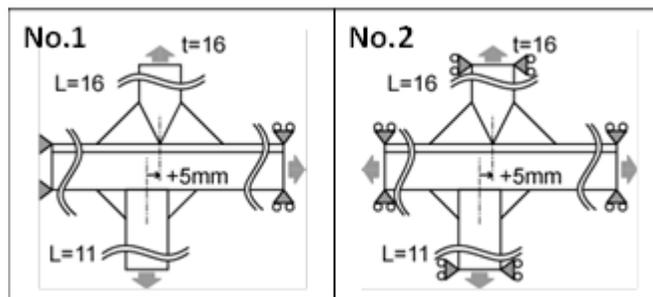
～軟鋼板側 溶接条件の影響～



二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～目違いの影響～



No.1

No.2

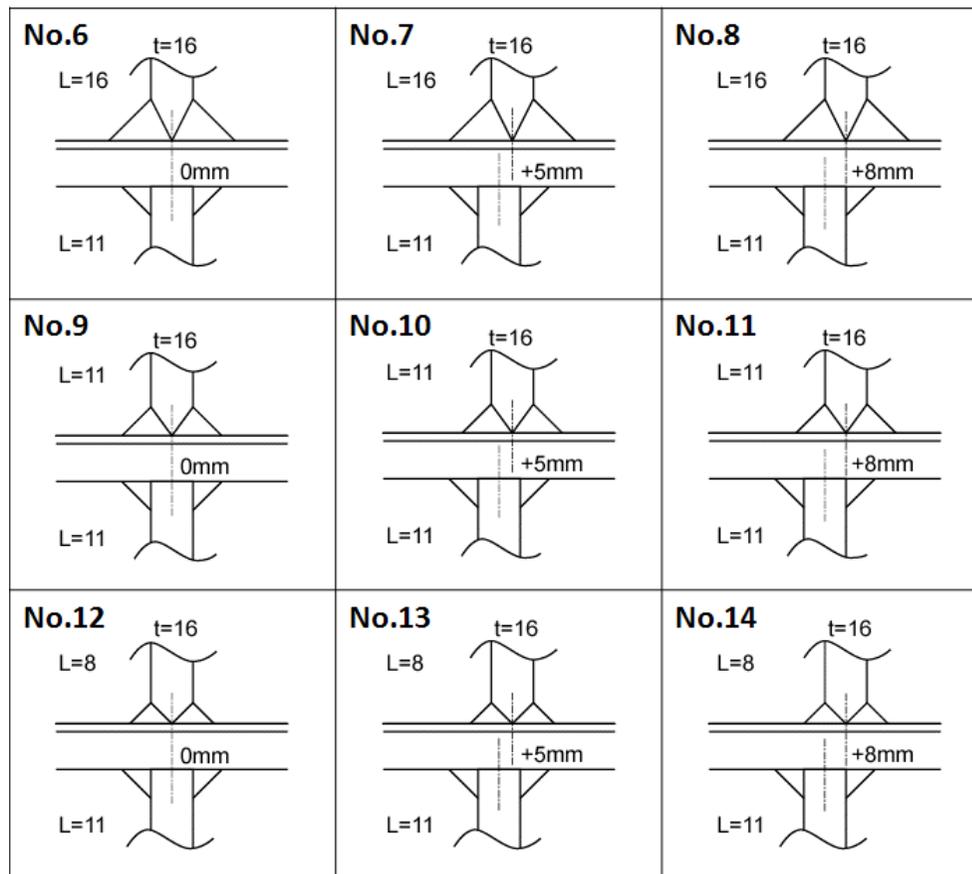


No.2の支持方法による変形がより实际的であり、目違い十字溶接継手ではNo.2の支持方法が適切な拘束方法。

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ~ 目違いの影響 ~

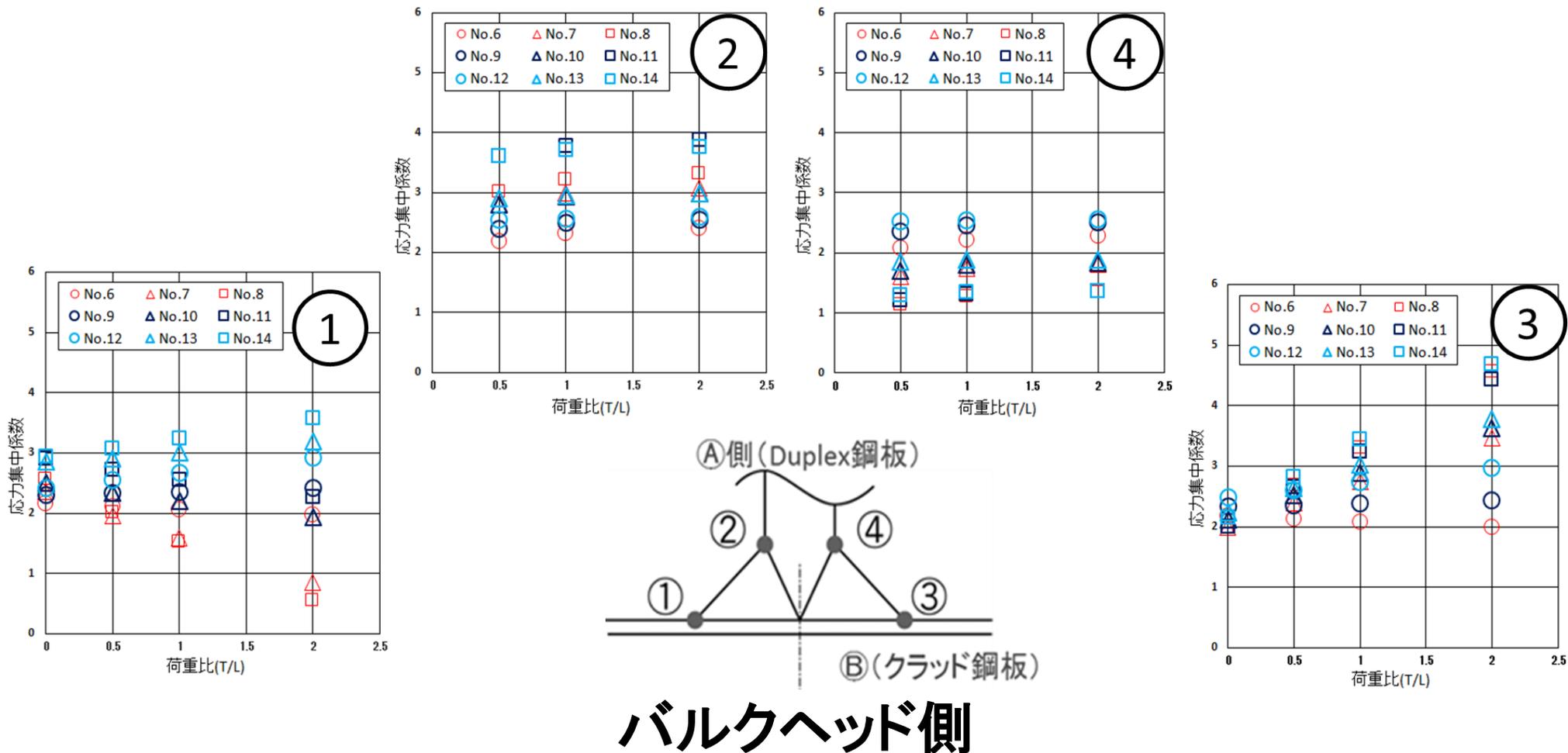
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



軟鋼板側 隅肉溶接の場合

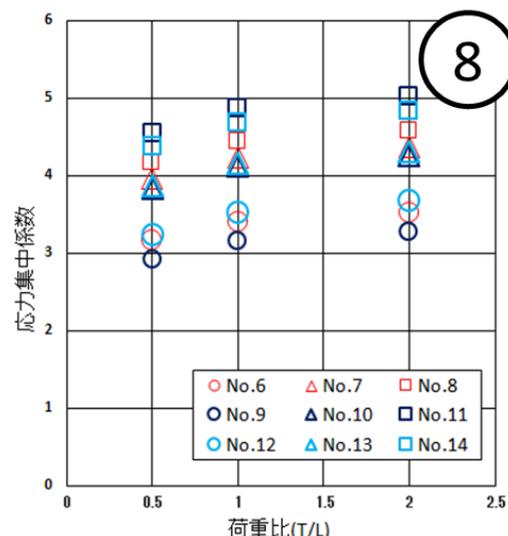
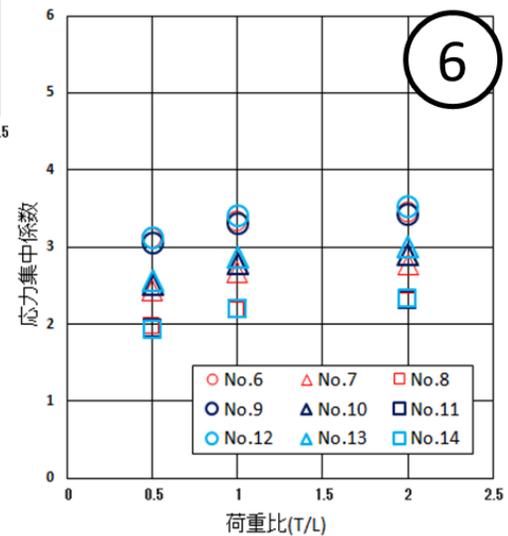
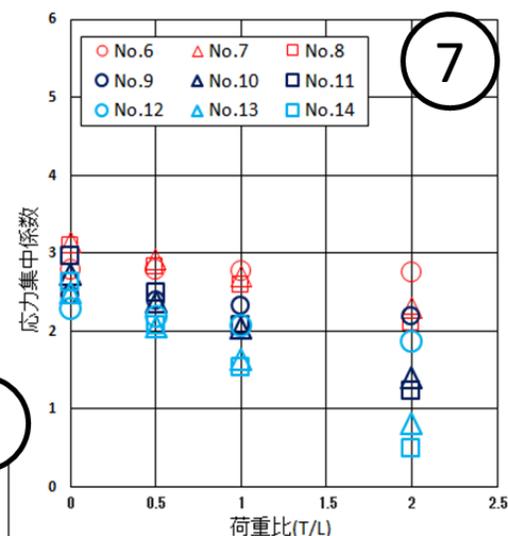
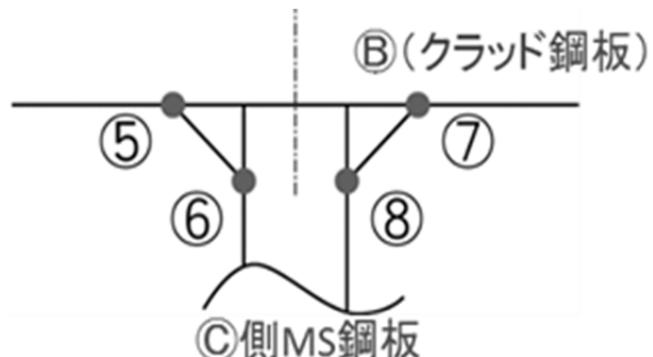
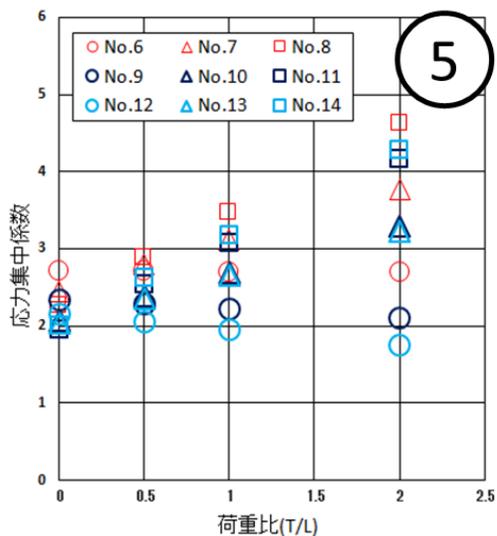
バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～目違いの影響～



バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～目違いの影響～

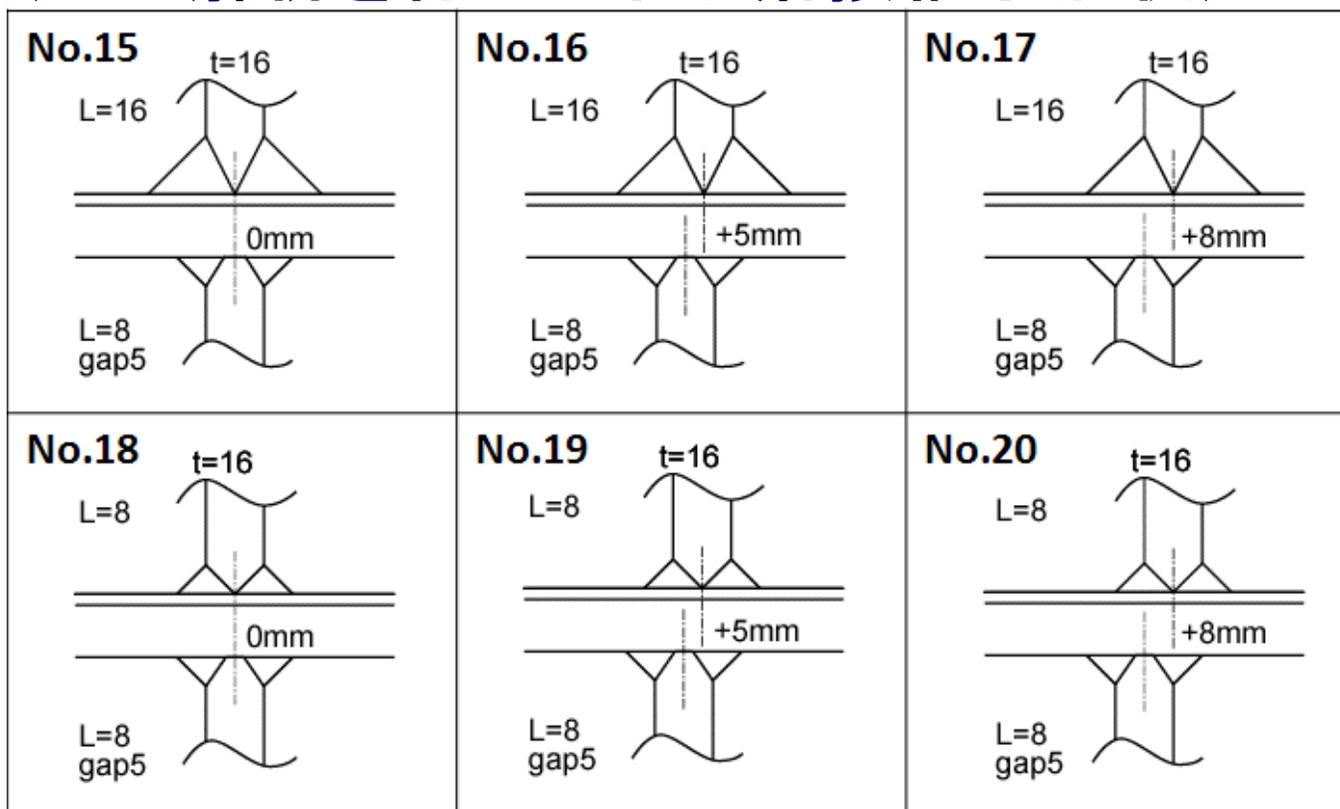


二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ~ 目違いの影響 ~

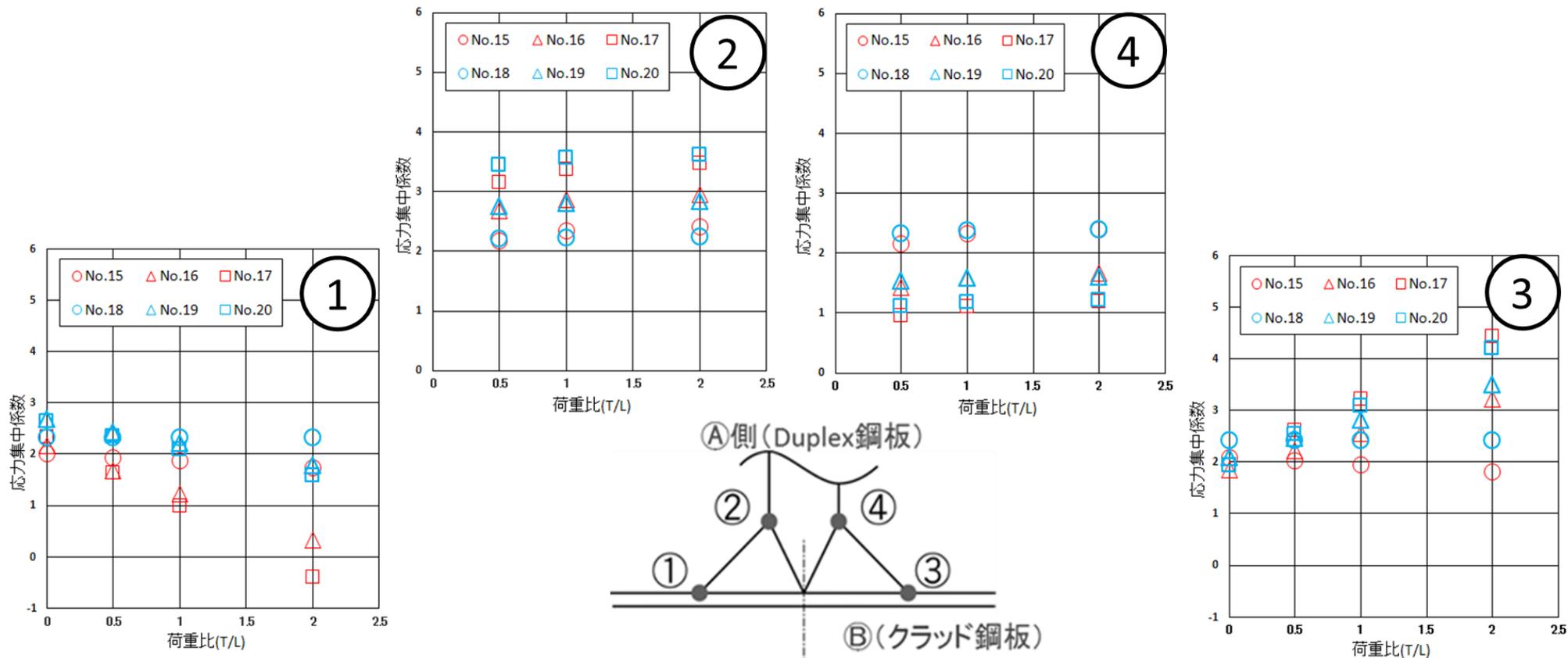
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



軟鋼板側 深溶け込み溶接の場合

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

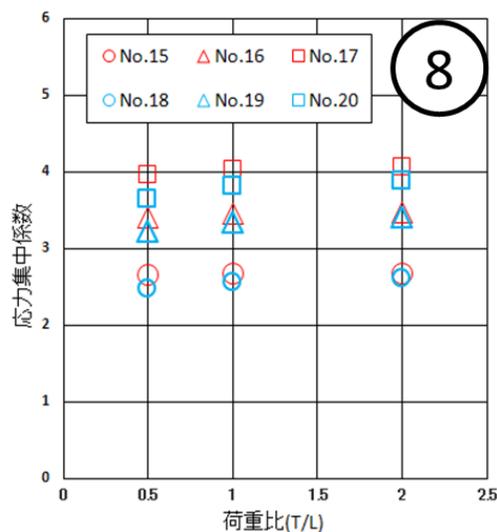
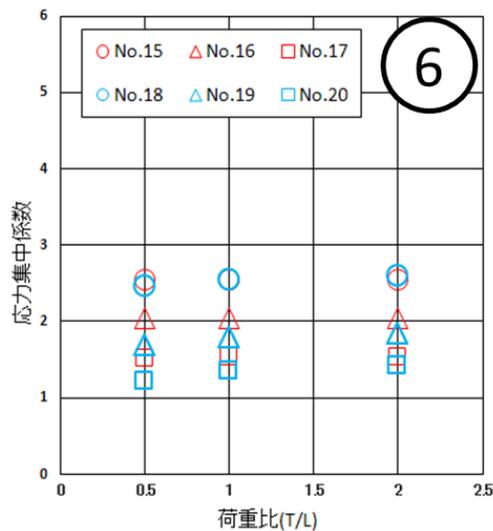
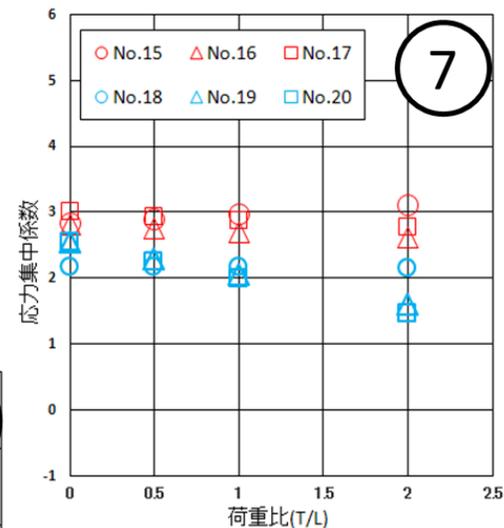
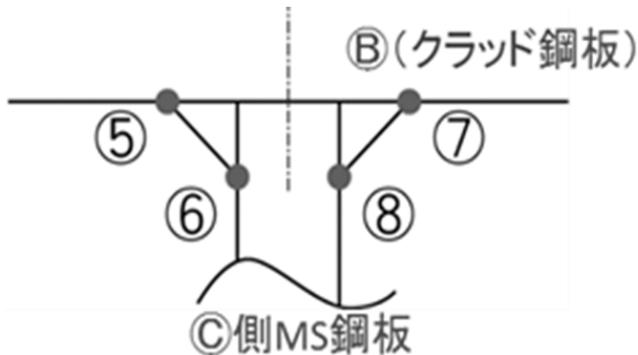
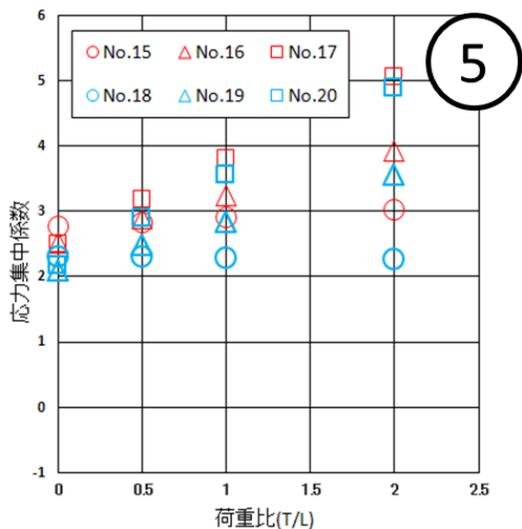
応力集中係数 ～目違いの影響～



バルクヘッド側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～目違いの影響～

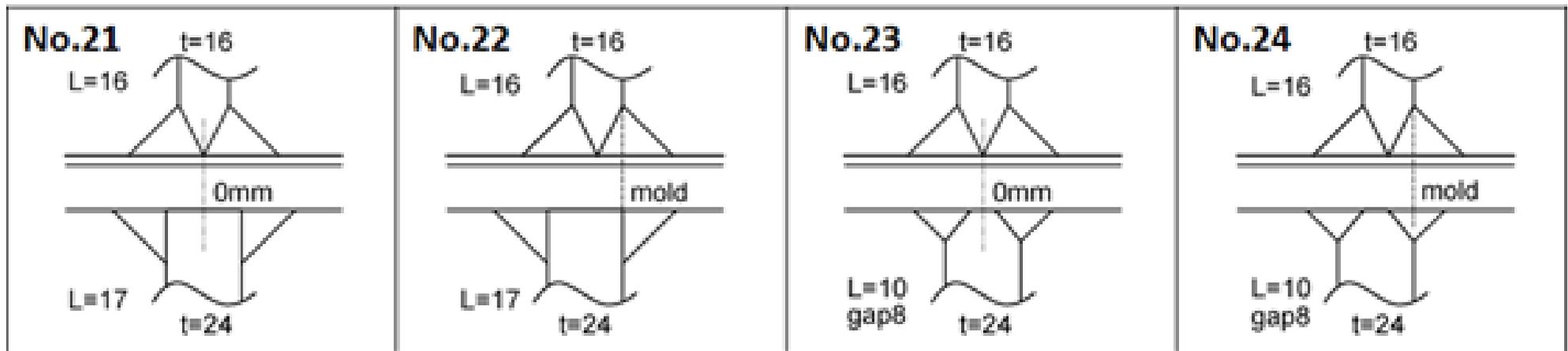


二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～モールドの影響～

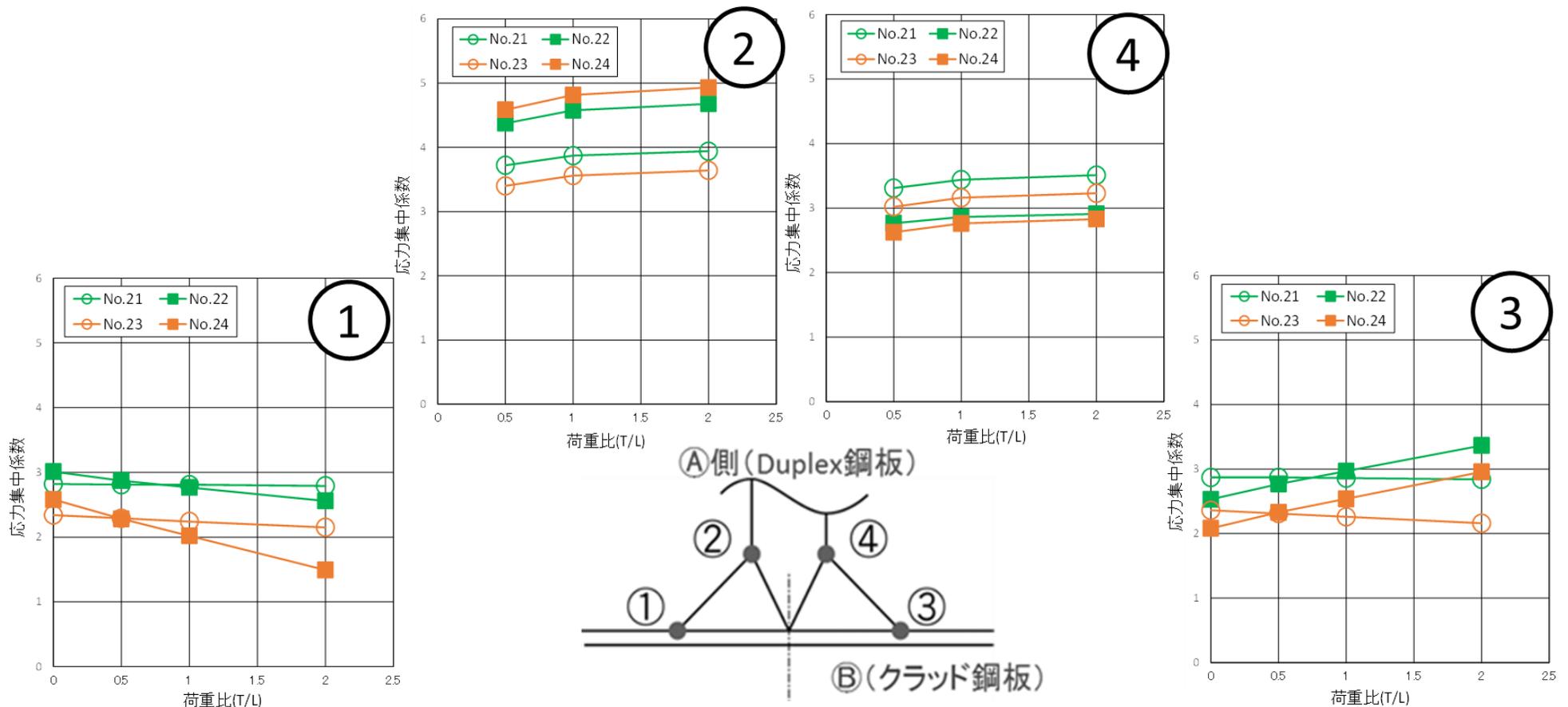
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



同軸継手 と モールドの比較

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

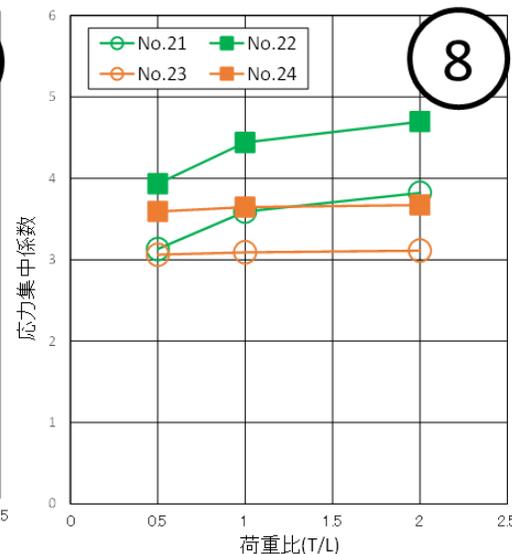
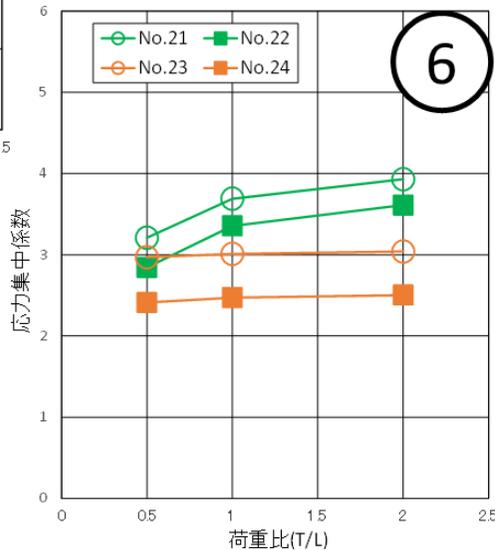
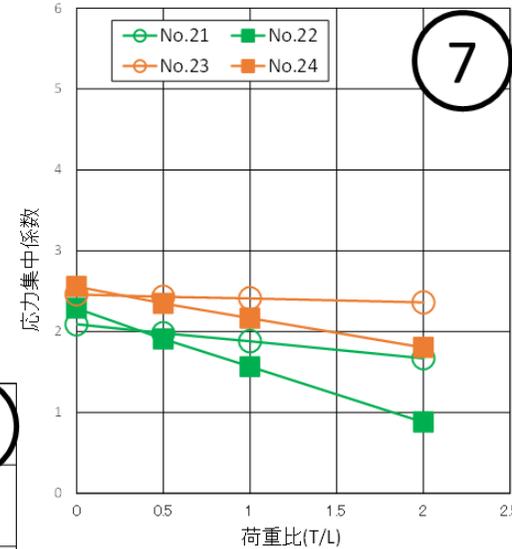
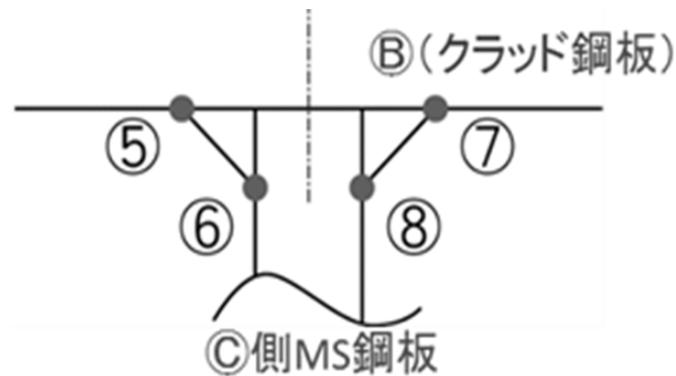
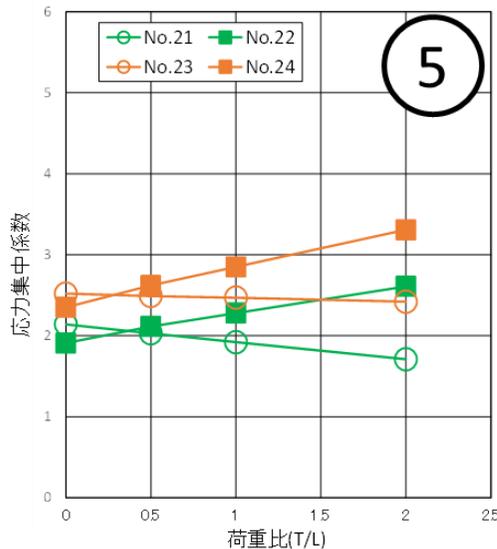
応力集中係数 ～モールドの影響～



バルクヘッド側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～モールドの影響～

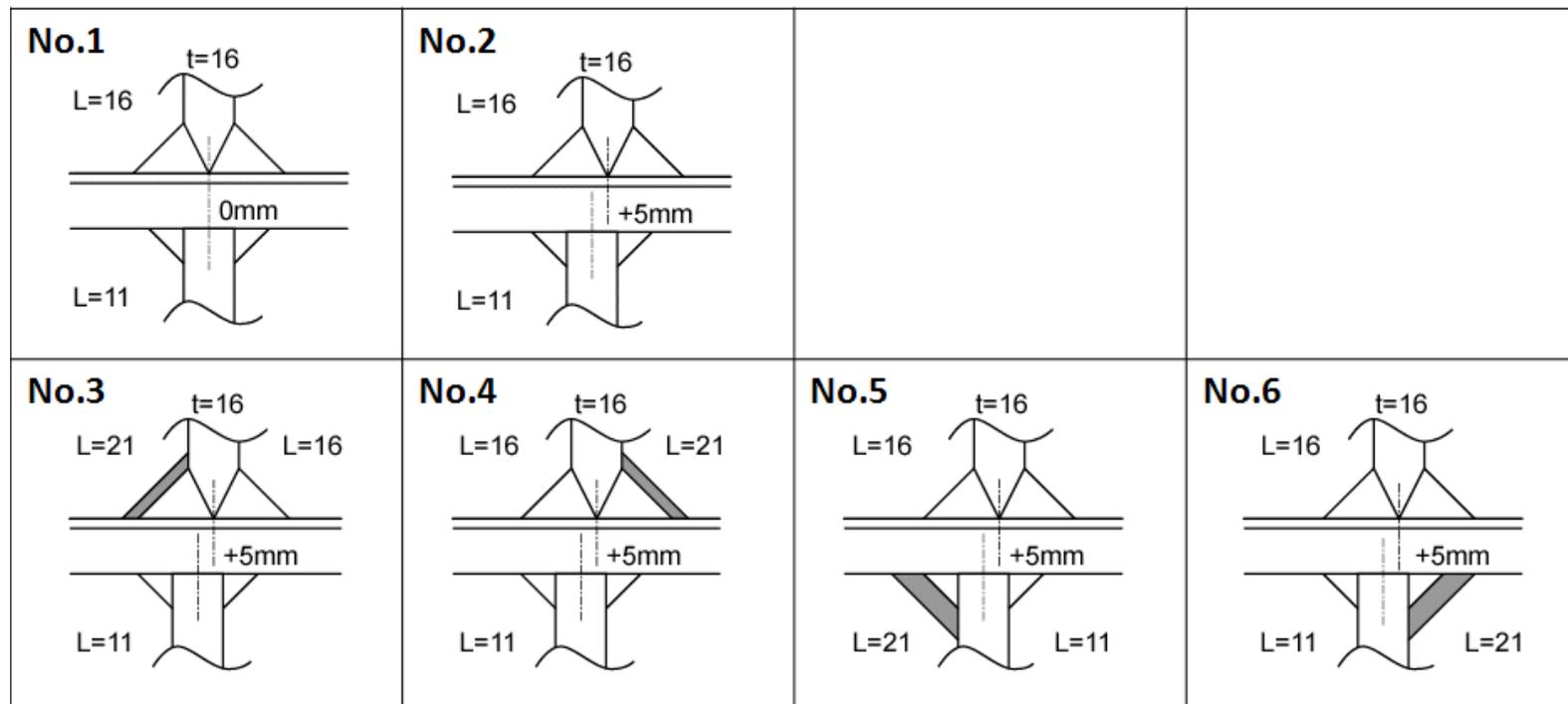


二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～増脚長の効果～

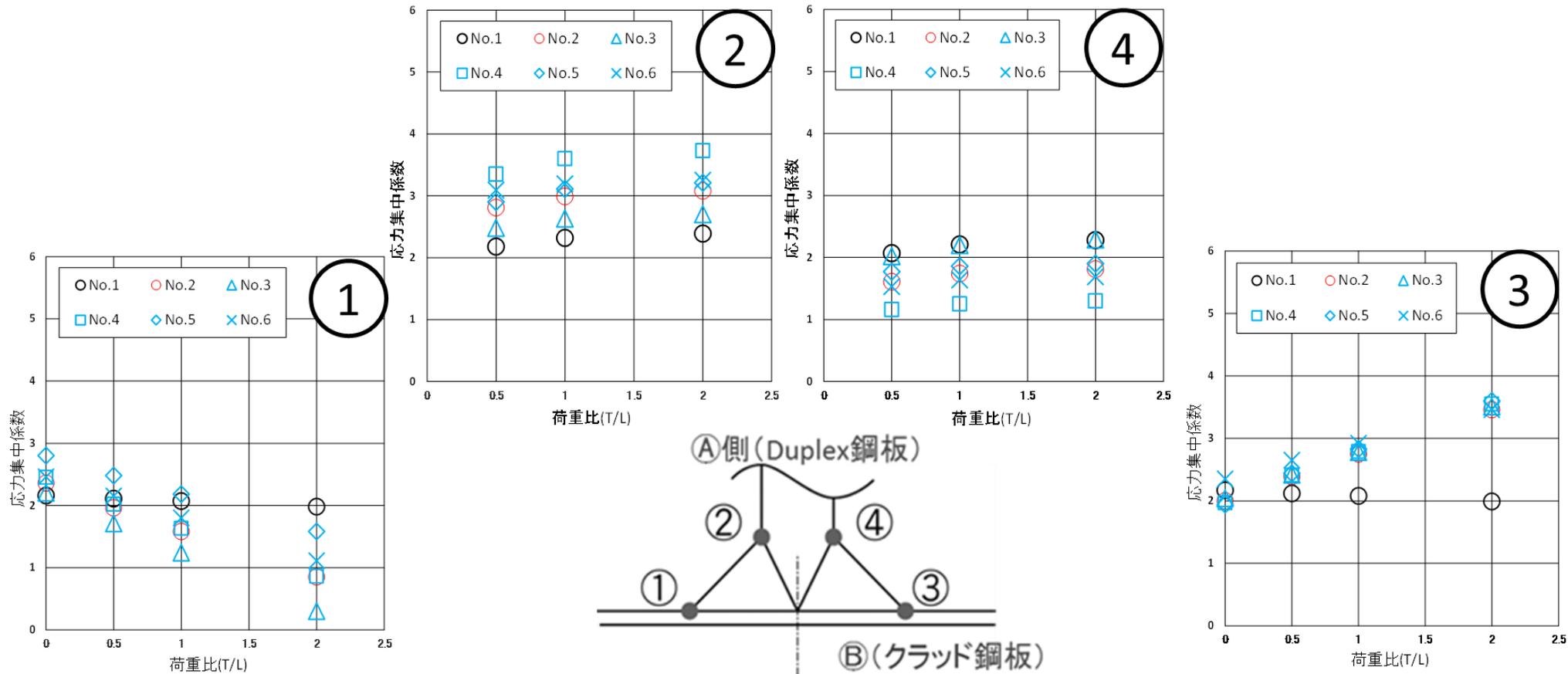
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



増脚長の検討

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

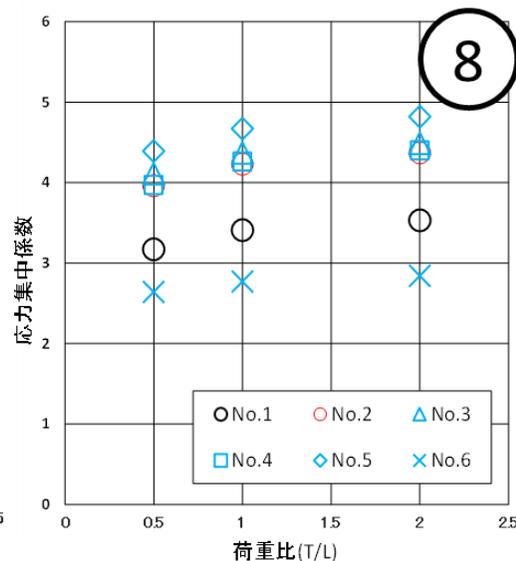
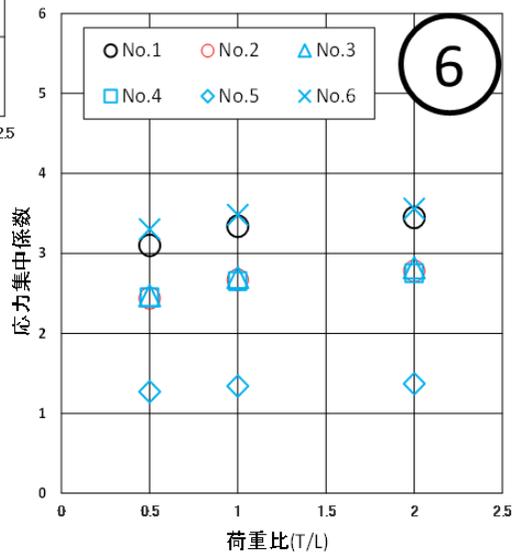
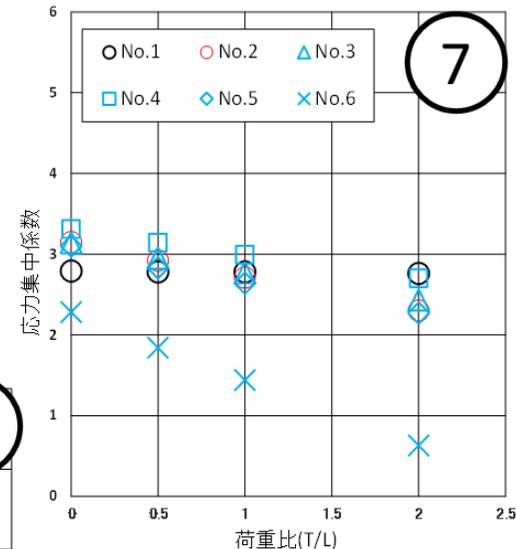
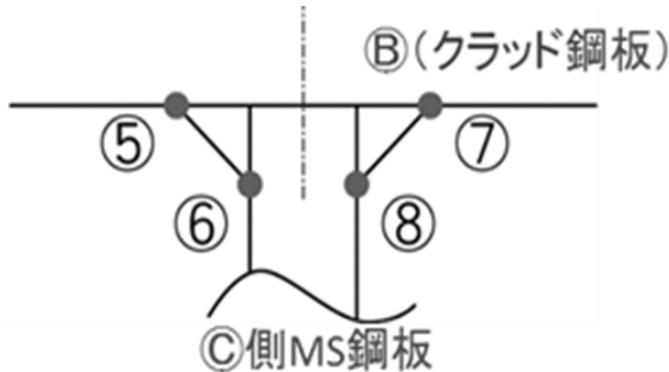
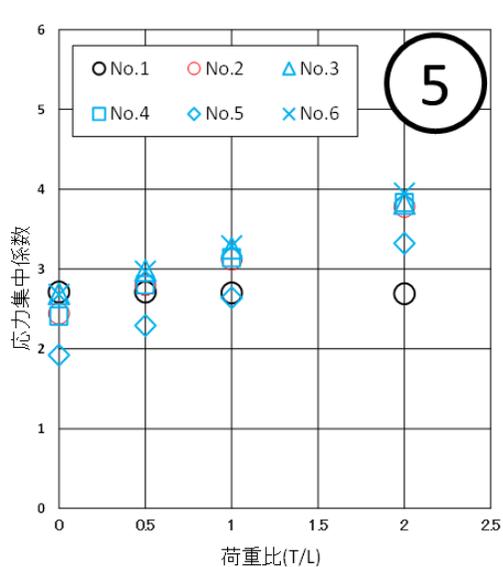
応力集中係数 ～増脚長の効果～



バルクヘッド側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～増脚長の効果～

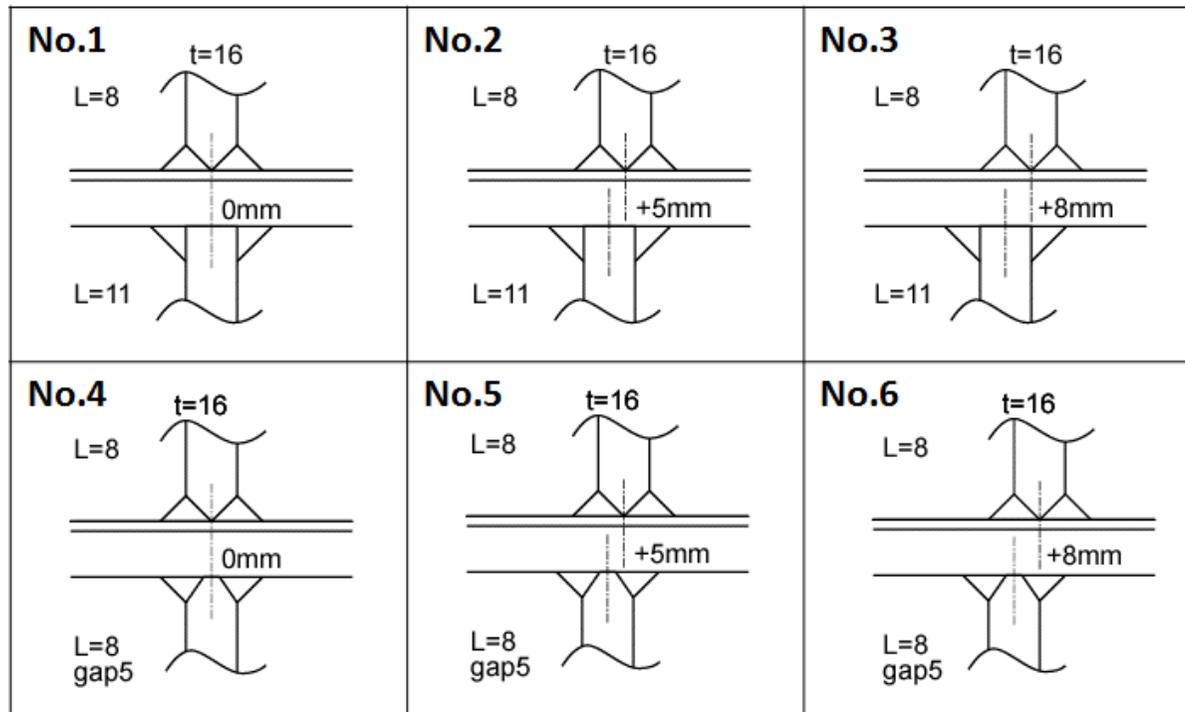


二重底側

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～ルートギャップの影響～

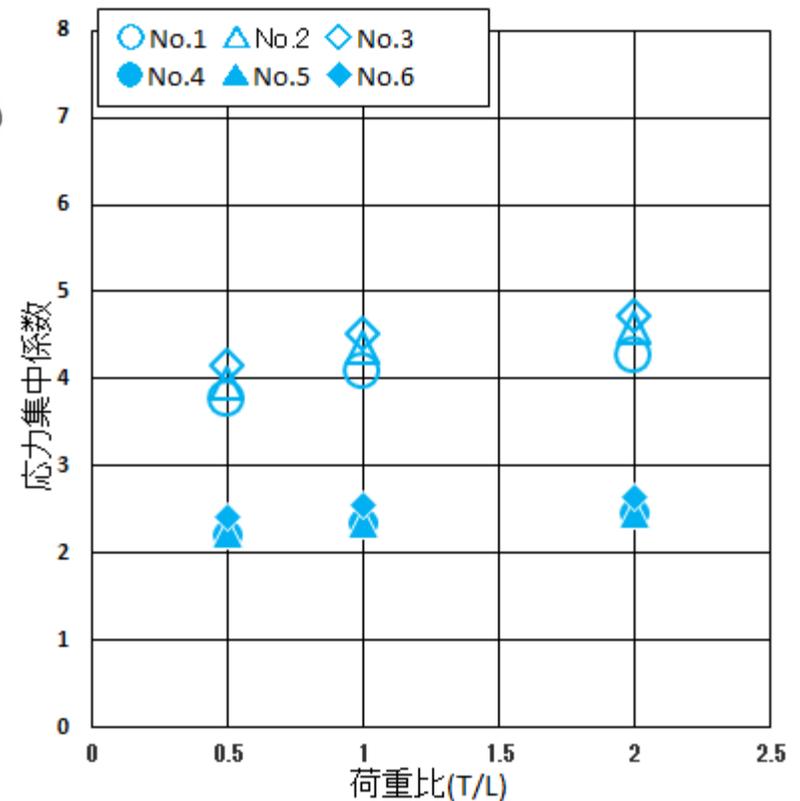
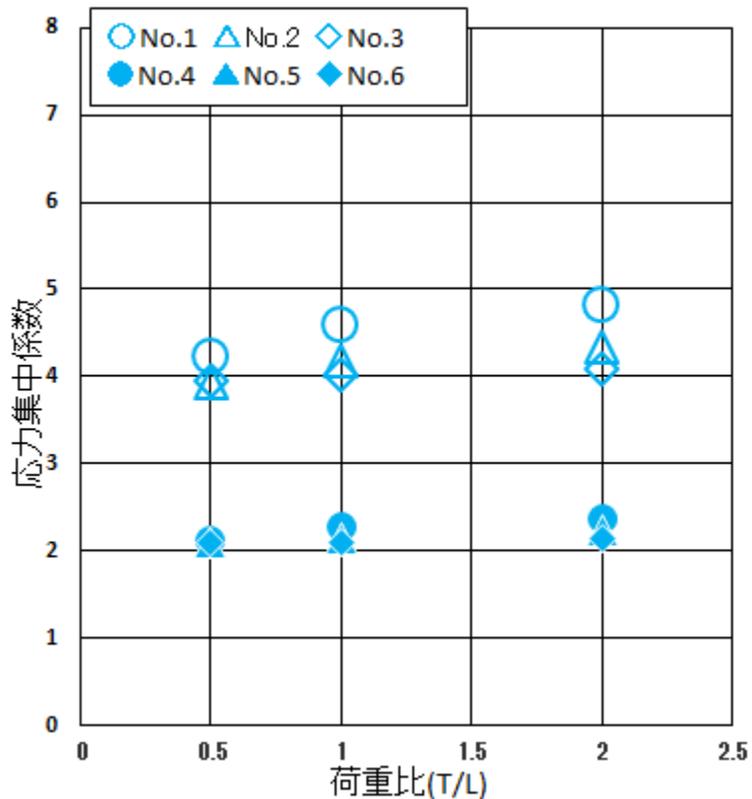
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)



Duplex鋼板側 脚長8mm の場合

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～ルートギャップの影響～



ルート両端部の応力集中係数

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

応力集中係数 ～ルートギャップの影響～

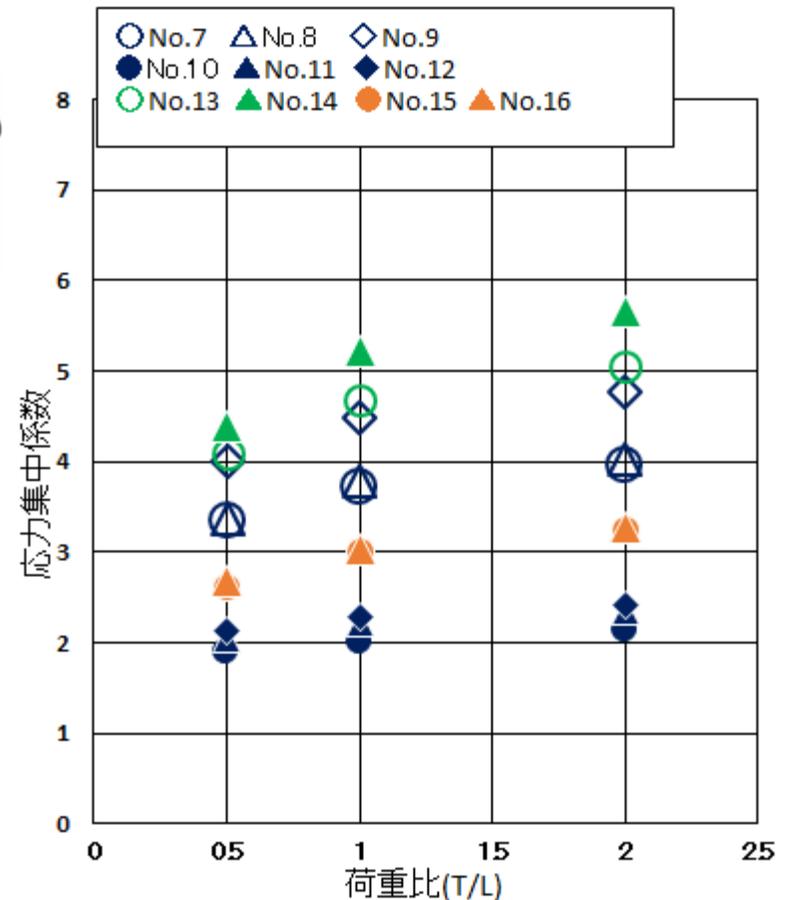
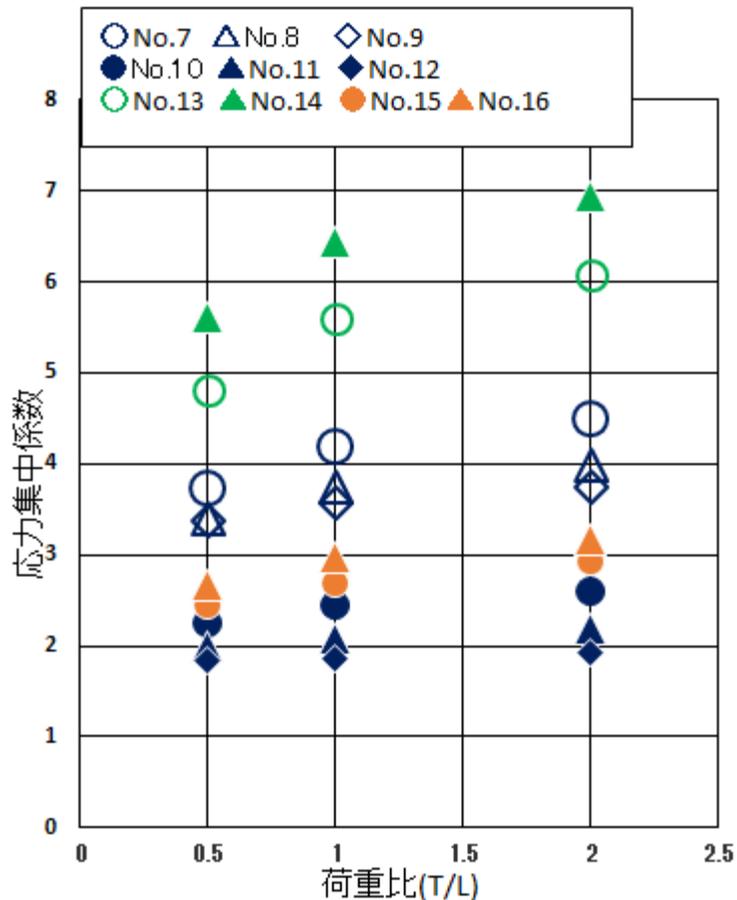
(FEM解析を行った十字溶接継手形状)

No.7 t=16 L=16 0mm L=11	No.8 t=16 L=16 +5mm L=11	No.9 t=16 L=16 +8mm L=11	
No.10 t=16 L=16 0mm L=8 gap5	No.11 t=16 L=16 +5mm L=8 gap5	No.12 t=16 L=16 +8mm L=8 gap5	
No.13 t=16 L=16 0mm L=17 t=24	No.14 t=16 L=16 mold L=17 t=24	No.15 t=16 L=16 0mm L=10 gap8 t=24	No.16 t=16 L=16 mold L=10 gap8 t=24

Duplex鋼板側 脚長16mm の場合

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

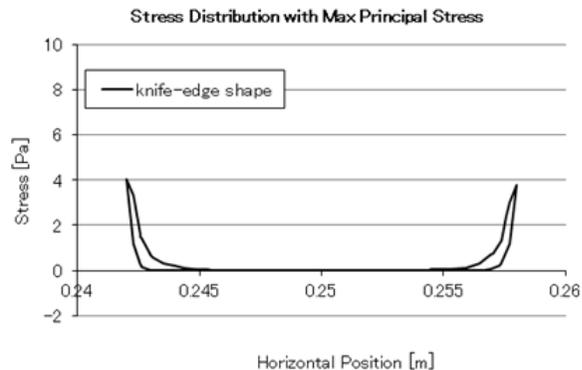
応力集中係数 ～ルートギャップの影響～



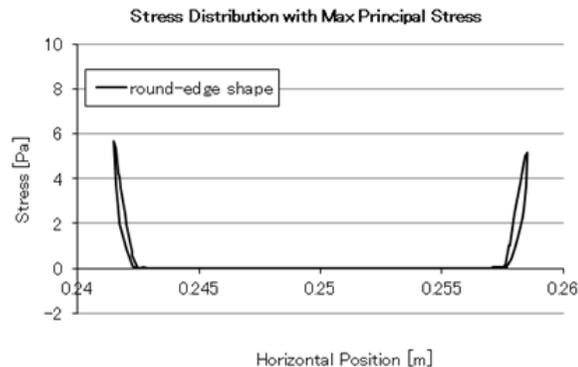
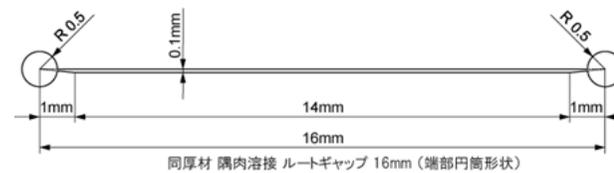
ルート両端部の応力集中係数

バルクヘッドと二重底との十字溶接継手部の

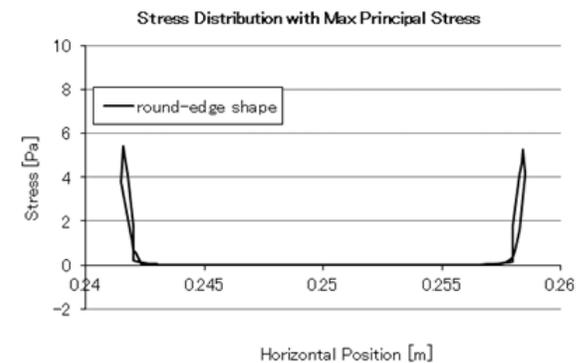
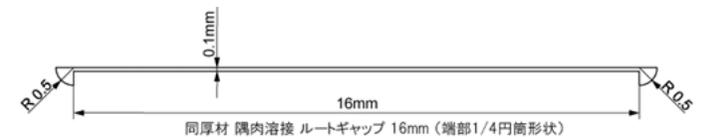
応力集中係数 ～ルート部溶け込み形状の影響～



刃先形状



鈍頭形状(円筒)



鈍頭形状(1/4円筒)

ルートギャップ端部の形状は、端部が半径0.5 mm程度の鈍頭形状であっても、先端が鋭い刃先形状と同程度以上の応力集中が発生する。

応力集中係数 まとめ

・脚長寸法の影響

バルクヘッド側の脚長寸法(0.5t~1.0t)について、脚長1.0tの場合が、荷重比の増加に伴い応力集中係数が大きくなる溶接止端部では、応力集中係数は最も小さくなった。

二重底フロア側が隅肉溶接の場合、バルクヘッド側と二重底フロア側の脚長は揃えた方が良いと言える。

・軟鋼板側 溶接条件の影響

バルクヘッド側と二重底フロア側の板厚が同厚で、二重底フロア側が深溶け込み溶接の場合、脚長は、バルクヘッド側の脚長と同程度（水平軸対称となる形状）にするのが良い。

・目違いの影響

目違いにより、十字溶接継手部の中心から離れた位置にある水平部材側溶接止端部、および中心に近い垂直部材側溶接止端部の応力集中係数は増大する。

特に、水平部材側溶接止端部では、垂直方向荷重の増加とともに応力集中係数が高くなるため、十分な配慮が必要である。

応力集中係数 まとめ

・モールドの影響

バルクヘッド側の垂直部材に対して、二重底フロア側の垂直部材の板厚を厚くした場合、同軸合わせに比べ、モールド合わせでは、二重底フロア側の溶接部の開先形状に関係なく、極端な応力集中の増減部分が生じるため、モールド合わせは避けることが望ましい。

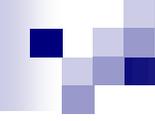
モー

・増脚長の効果

増脚長の効果を検討した結果、JSQSに記載の処置方法が、Duplex鋼板についても適用できると考えられる。ただし、水平部材側止端部の応力集中緩和に対する増脚長は、他の止端部の応力集中増加を伴う場合があり、十分な配慮を要する。

・ルートギャップの影響

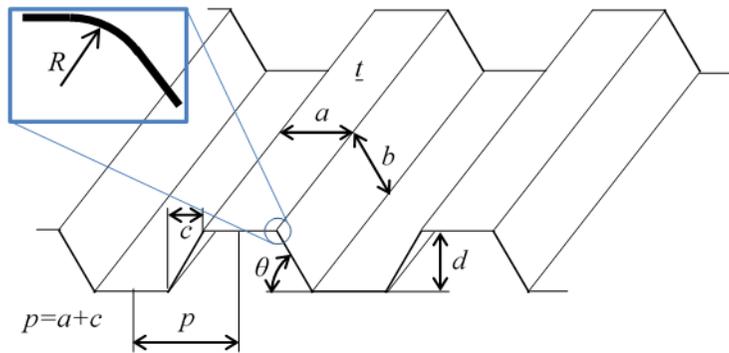
二重底フロア側ルートギャップ端部の応力集中について、バルクヘッド側と二重底フロア側の垂直部材の板厚が同厚であれば、垂直方向荷重の変化および目違いが応力集中に及ぼす影響は小さい。ただし、二重底フロア側垂直部材の板厚を厚くし、隅肉溶接とした場合、深溶け込み溶接に比べ、隅肉溶接は応力集中は明らかに大きくなる。



コルゲート バルクヘッド コーナーのピーク応力

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

- ・ コーナー半径 (R)
 - ・ 傾斜角 (θ)
 - ・ 面材幅と板厚との比 (a/t)
- の影響について検討する。



コーナー半径	0, 30, 60, 90, 120mm
傾斜角	55, 62.5, 70 度
面材幅板厚比	50, 60, 65, 70

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

(計算モデル)

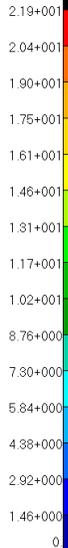
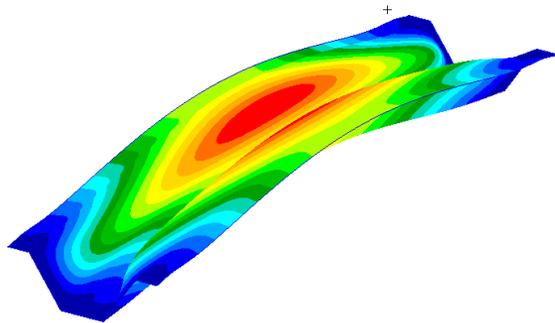
- ・両端固定のスパン10mとし等分布荷重 147N/m^2 (15t/m^2)を負荷。
- ・コルゲートのピッチ方向境界条件は対称条件。メッシュサイズは $8.9\sim 12\text{mm}$ 。
- ・コーナー半径 0mm の場合はメッシュ境界線上にビーム要素を追加。

計算結果例: $R=0$, $\theta=55$ 度, $a/t=50$ ($t=14.4\text{mm}$)

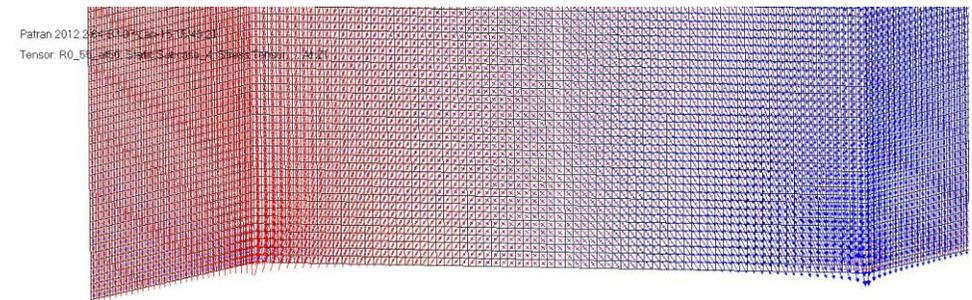
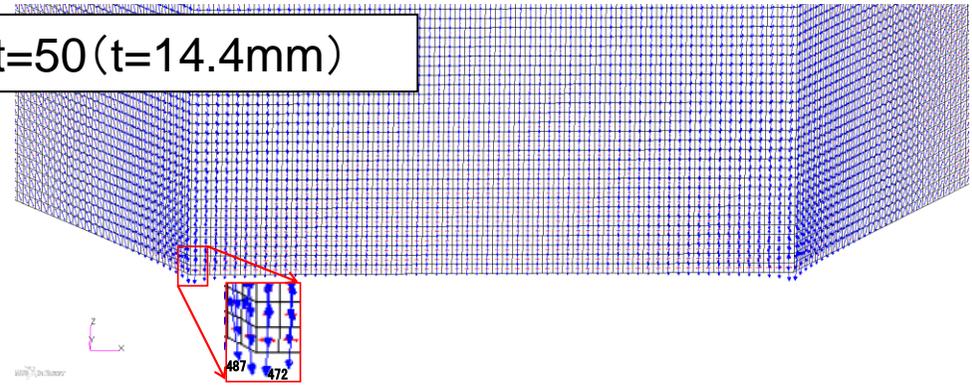
Patran 2012.2 64-Bit 07-Jan-15 13:01:51

Fringe: R0_55_at50, Static Subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)

Deform: R0_55_at50, Static Subcase, Displacements, Translational.

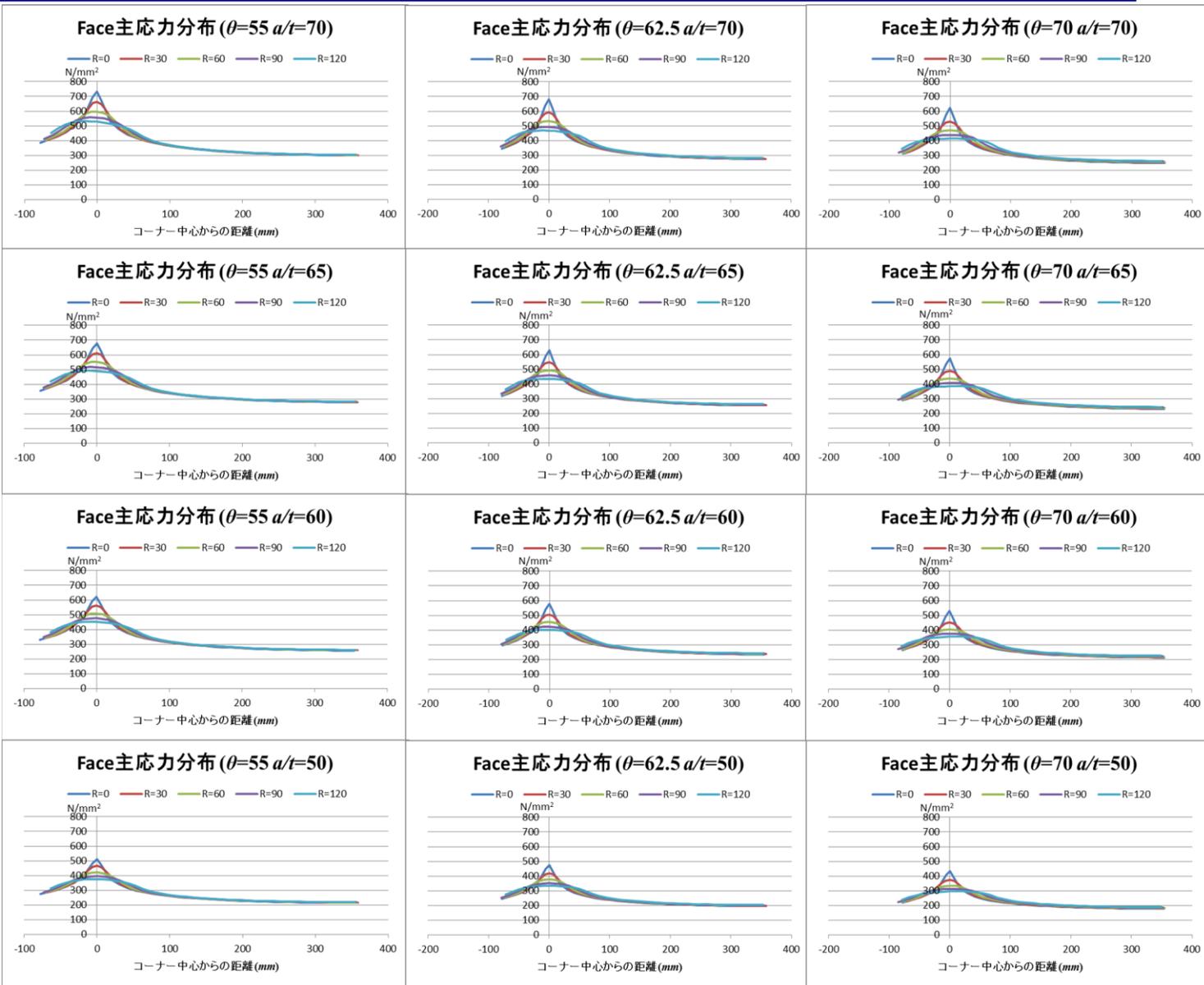


default_Fringe :
Max: 2.19+001 @Nd 512850
Min: 0. @Nd 1
default_Deformation :
Max: 2.19+001 @Nd 512850



コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

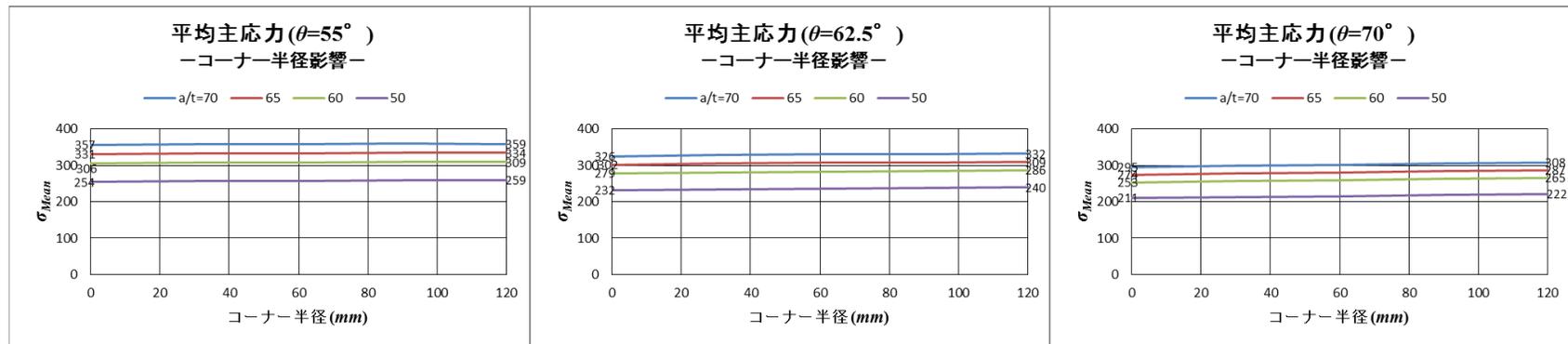
(面材応力分布)



コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

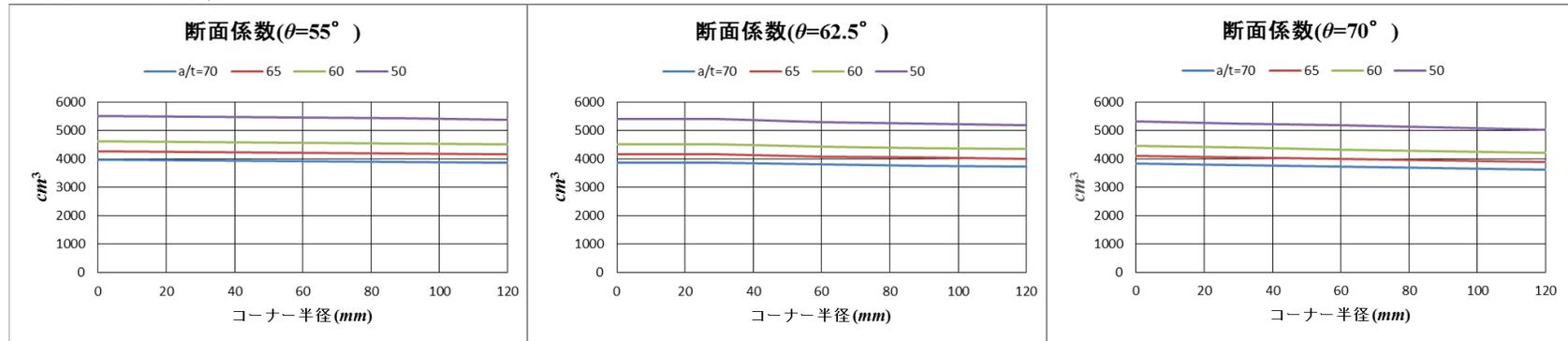
コーナー半径の影響

(平均主応力)



コーナー半径が大 \Rightarrow 応力は僅かに高くなりR=120mmではR=0に較べ約5%程度高くなる。

(断面係数)

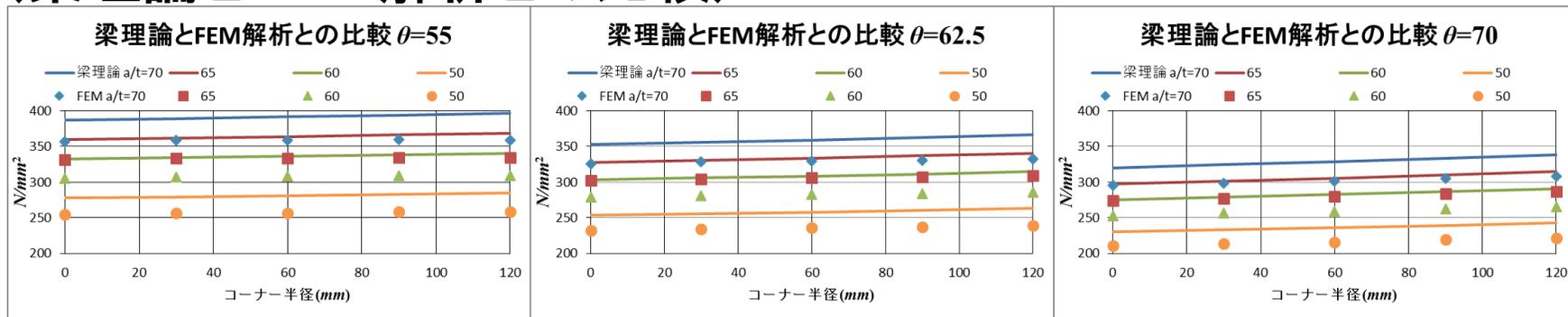


原因:コーナー半径が大きくなると共に断面係数が小さくなるためと考えられる。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

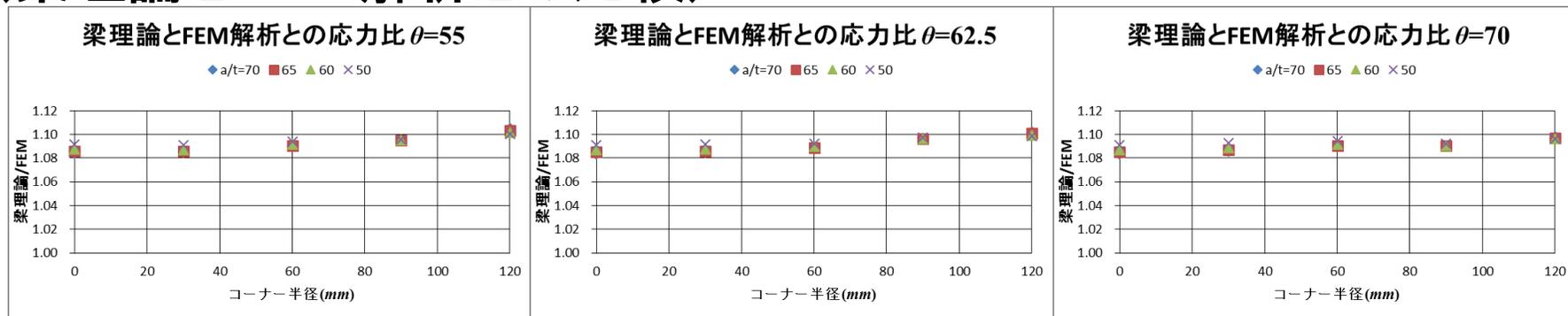
コーナー半径の影響

(梁理論とFEM 解析との比較)



梁理論応力が高い。

(梁理論とFEM 解析との比較)

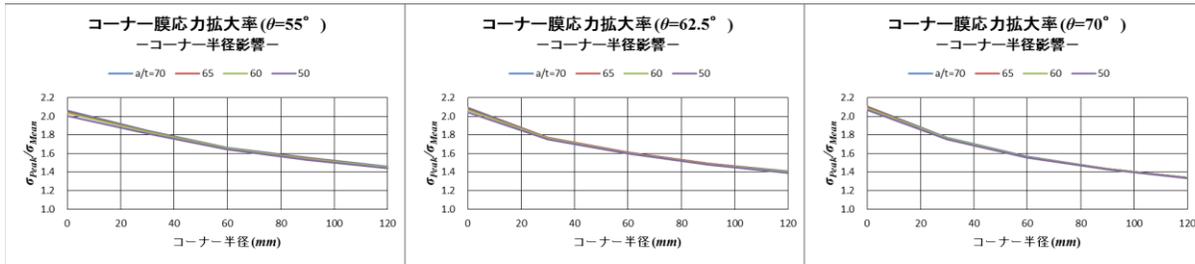


応力比は8%~10%程度梁理論応力が高い。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

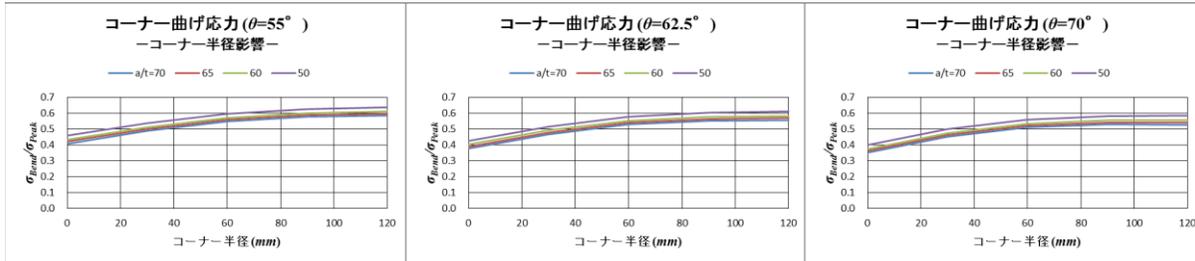
コーナー半径の影響

(コーナー膜応力)



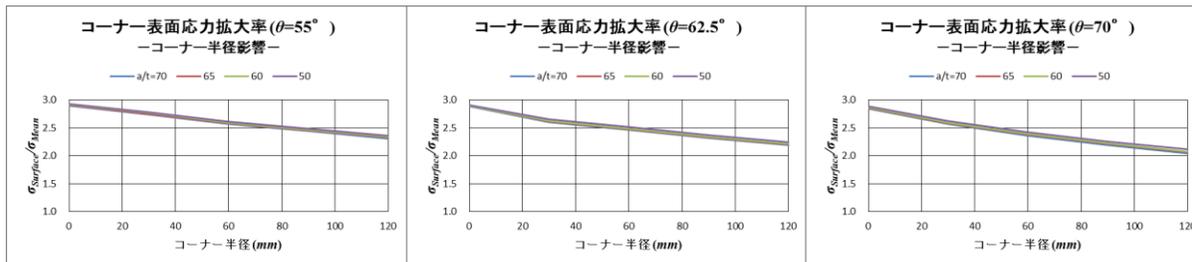
コーナー半径が大きいと拡大率は小さく、コーナー半径が小さくなると急激に拡大率は大きくなる。

(コーナー曲げ応力)



コーナー半径が大きくなると曲げ応力は高くなりつつ収斂する。

(コーナー表面応力)

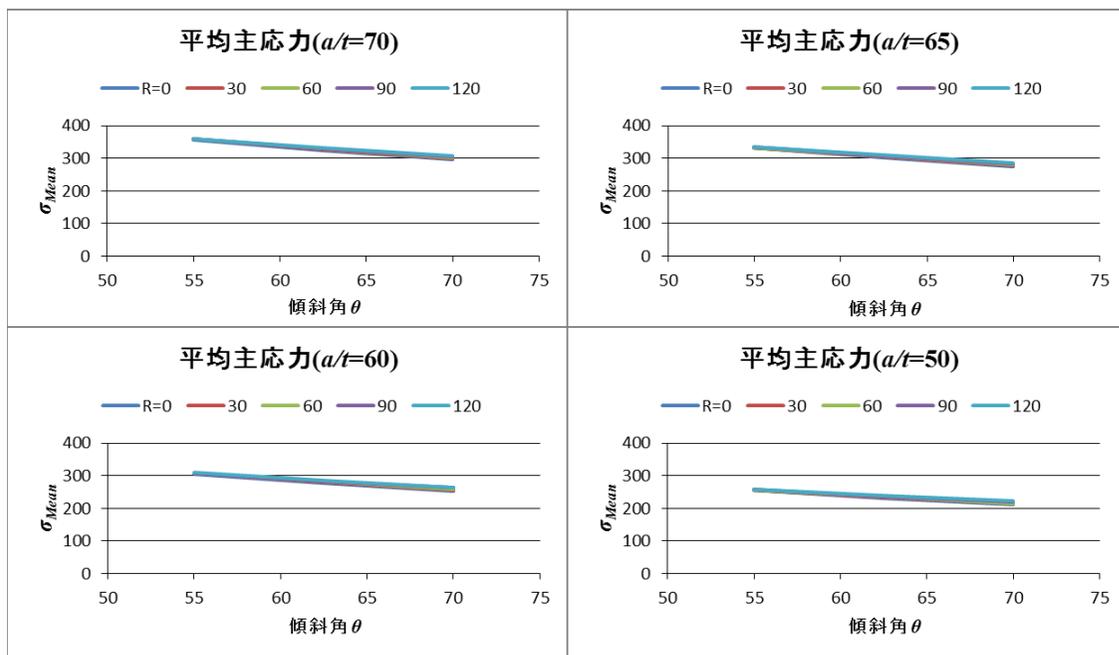


コーナー半径が小さくなると表面応力も高くなる。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

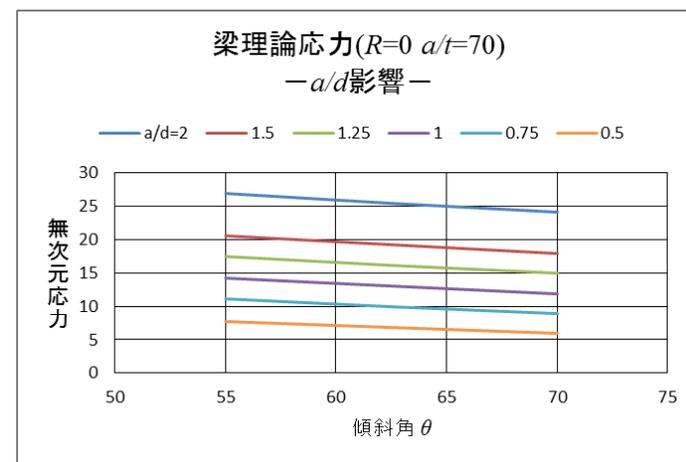
ウェブ傾斜角の影響

(平均応力)



傾斜角が大きくなると
平均応力は低くなる。

(梁理論応力)

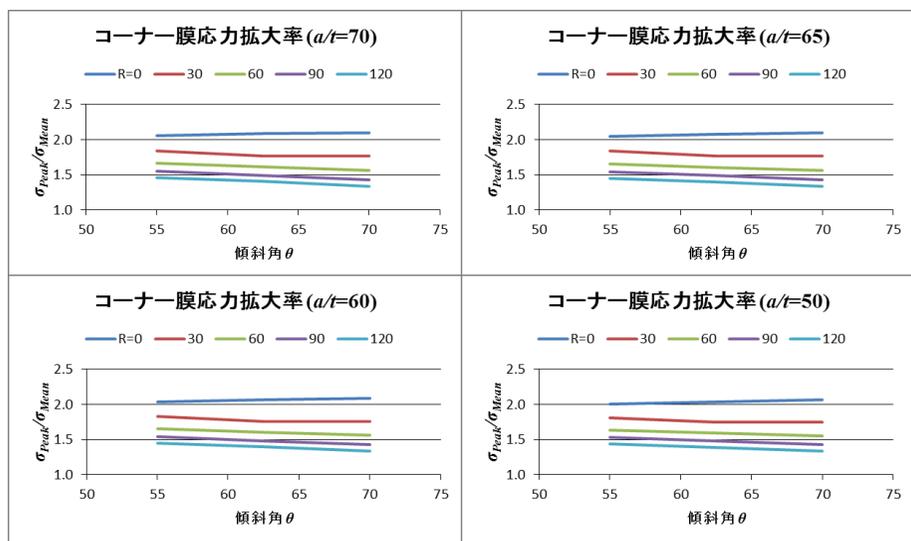


a/d が変わっても傾斜角が
大きくなると、応力は低く
なる。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

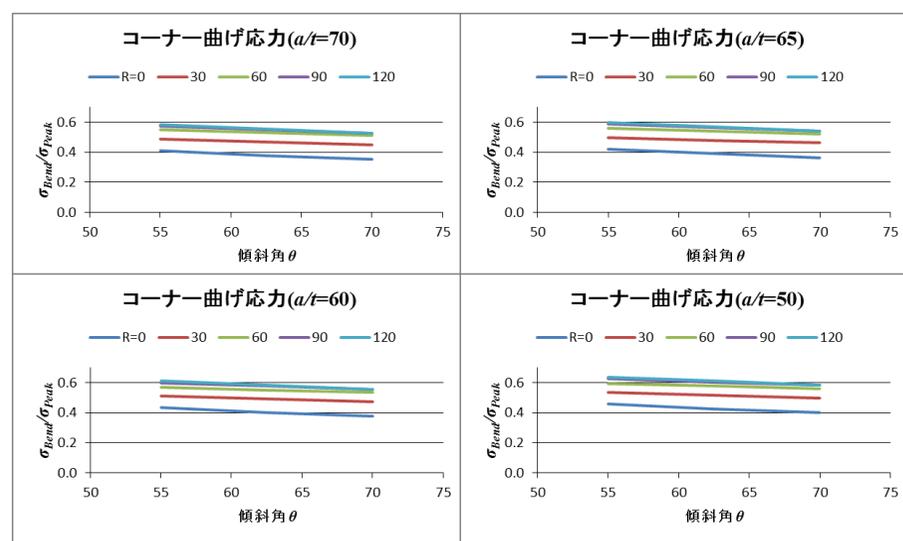
ウェブ傾斜角の影響

(コーナー膜応力)



R=0以外はコーナーの膜応力の拡大率は傾斜角が大きくなると小さくなっている。対し、R=0の場合は若干大きくなっている。

(コーナー曲げ応力)

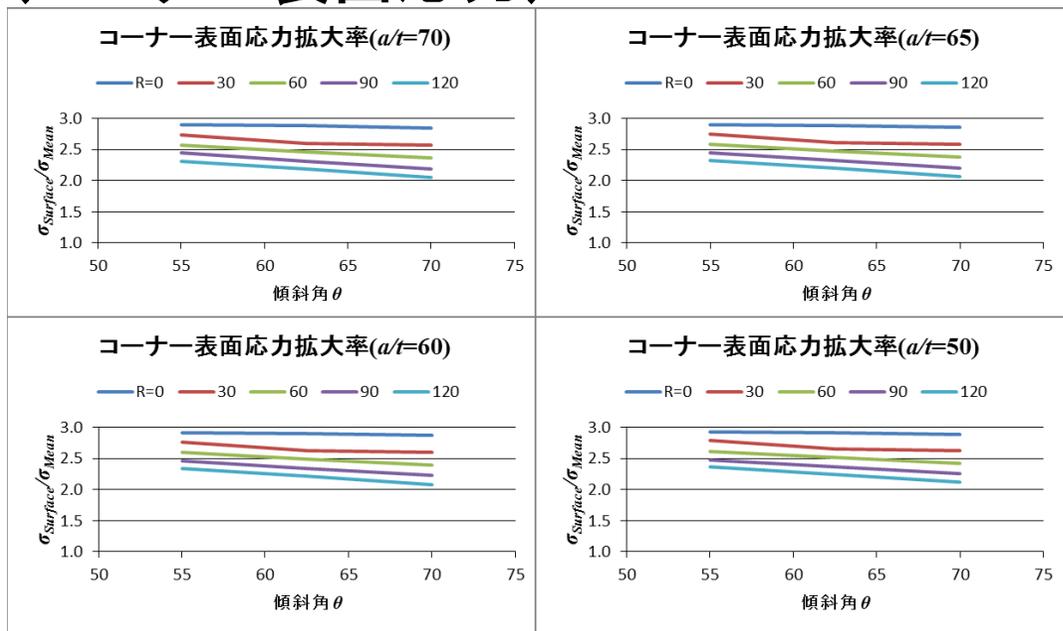


コーナー半径の有無に拘わらず傾斜角が大きくなると低くなる。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

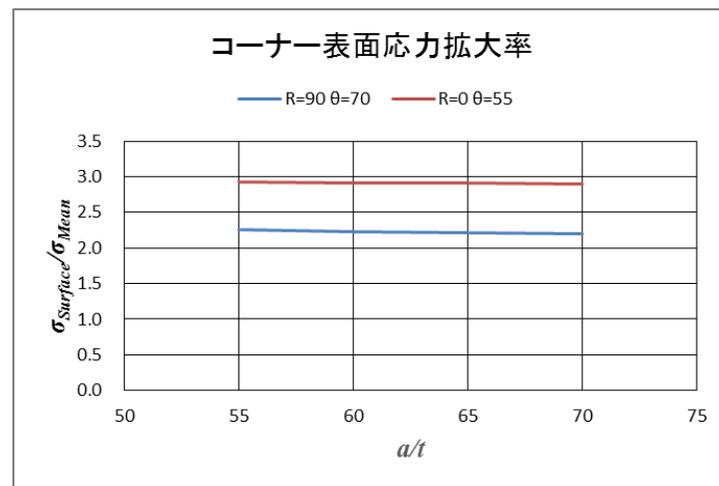
ウェブ傾斜角の影響

(コーナー表面応力)



傾斜角が大きくなると表面応力は低くなる。

コーナーRと傾斜角の影響

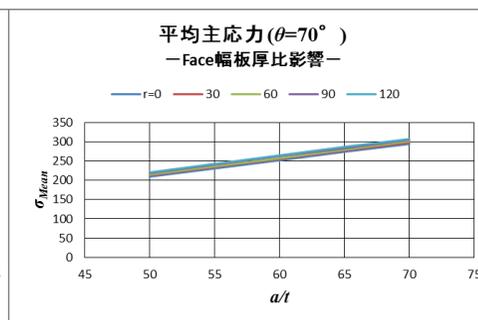
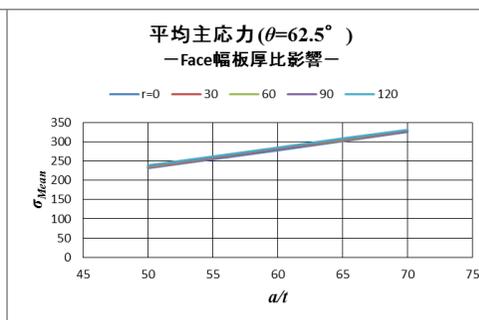
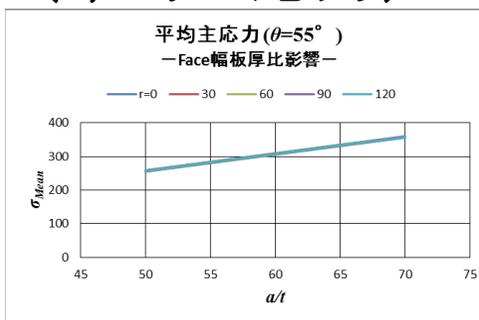


約30%の差が有り
疲労強度に影響を
及ぼす。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

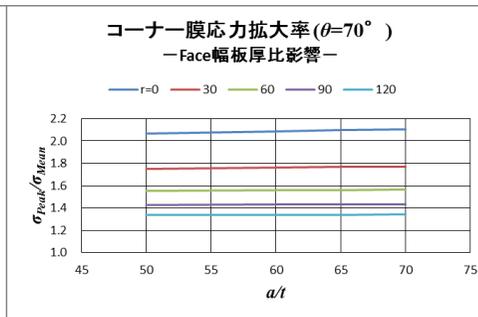
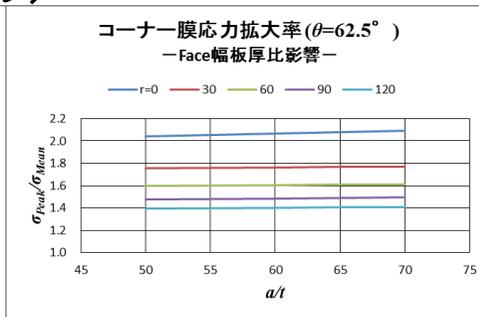
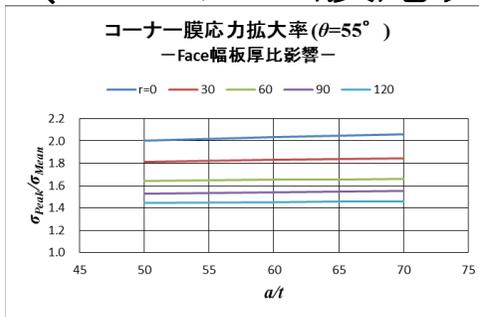
面材幅と板厚比の影響

(平均主応力)



a/t が大きくなると板厚が薄くなるので、平均主応力は高くなる。

(コーナー膜応力)

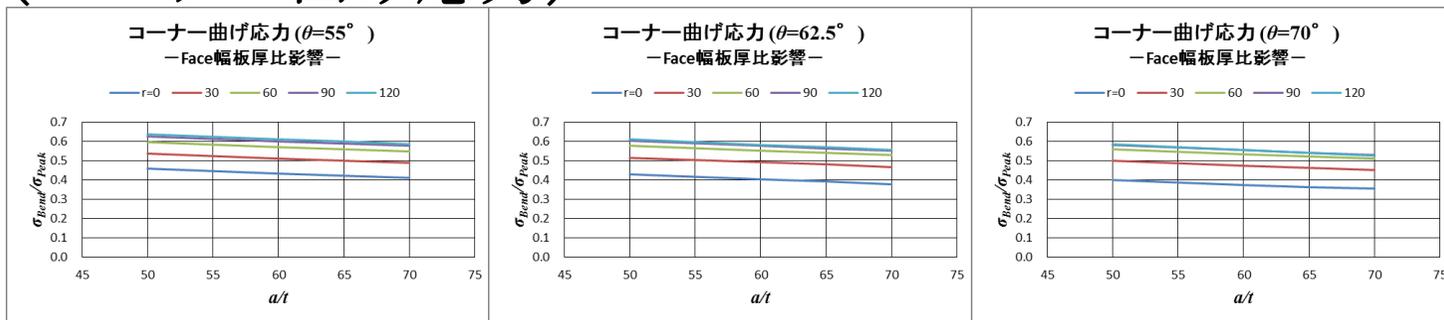


a/t が大きくなると拡大率はごく僅かに大きくなるが影響は小さい。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

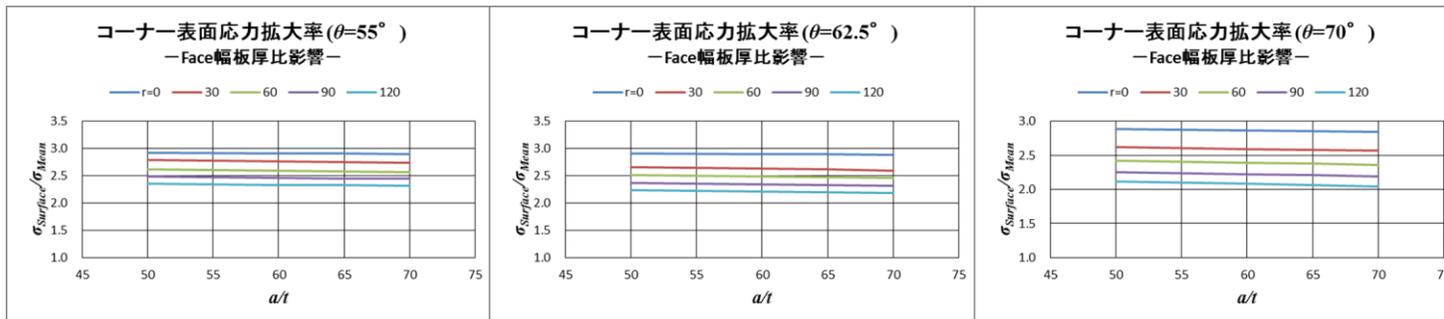
面材幅と板厚比の影響

(コーナー曲げ応力)



a/t が大きくなると曲げ成分は小さくなる。

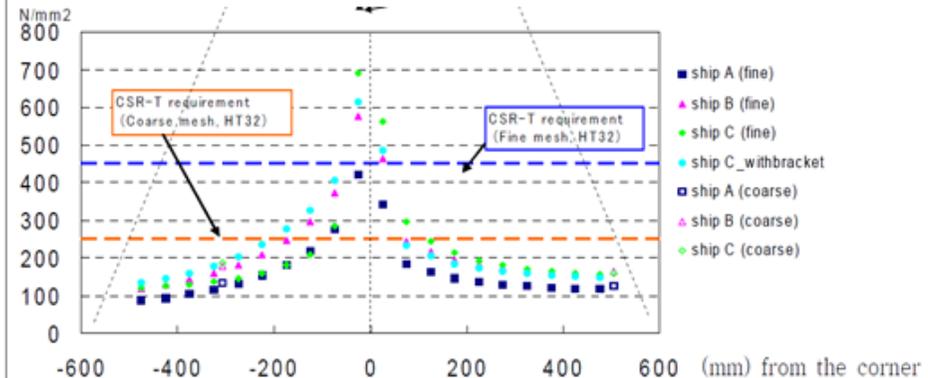
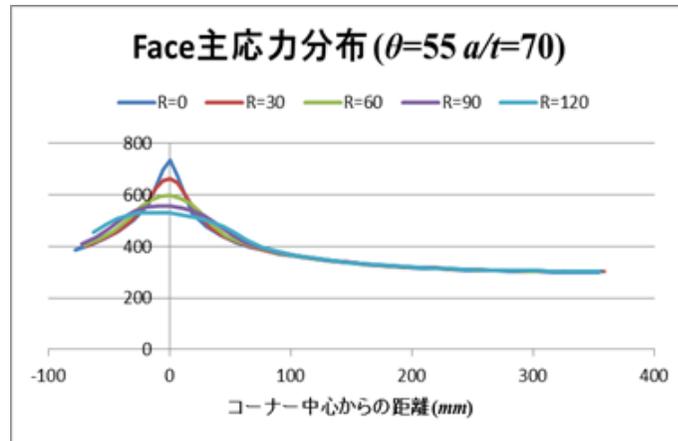
(コーナー表面応力)



a/t の影響はほとんど無い。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

コルゲートの有効幅



最大応力と最小応力の比が，今回の解析はNK解析に較べ小さい。
今回の解析よりもNK解析では有効幅が狭いと推測される。
その原因は荷重状態と境界条件に起因していると考えられる。

コルゲートバルクヘッドコーナーのピーク応力

まとめ

- ・コーナー半径を大きくすると断面係数は小さくなるが、コーナー表面応力は低くなり、大きいコーナー半径が疲労強度上は有利。
- ・ウェブの傾斜角を立てると、平均応力もコーナー表面応力も低くなり傾斜角を立てた方が疲労強度上有利。
- ・高強度材を採用し薄板化した場合、平均応力に対するコーナー部応力の拡大率が大きくなることが心配されたが拡大率は変わらなかった。
- ・フェースの有効幅は通常 両端固定が最も狭くなると言われるが、両端の固着度の組合せ次第では、両端固定よりも狭くなる場合があると考えられる。

謝 辞

本研究開発は、一般財団法人 日本海事協会の
“業界要望による共同研究”のスキームにより、
研究支援を受けて実施したものであります。

関係各位に厚く御礼申しあげます。