

討18 海洋構造物のラメラテア防止に必要な鋼材特性

新日本製鐵株式会社

金沢正午 権藤 永

山戸一成 ○井上尚志

高橋大輔 林 照男

1. 緒 言

海洋構造物は厚肉パイプを用いた多円柱仕口やインサート仕口が特徴的な構造で、溶接部は板厚方向の拘束が厳しく、溶着量も多いためラメラテア発生の危険が大きい。ラメラテアは溶接時の収縮応力が鋼板の板厚方向に作用する場合に鋼中の非金属介在物を起点として発生する溶接割れであり、溶接時の水素も重要な要因である¹⁾。これより定性的には Fig.1 に示すような対策が考えられる。これらの対策はいずれもコスト上昇につながるのではどのような対策を講ずるかに当っては対象構造物の使用目的に応じて綿密な検討を要す。

現在、鋼板のラメラテア感受性評価方法として板厚方向引張試験時の絞り値(以下、 ϕ_z)が良いとされ、それによる耐ラメラテア鋼の分類試案も提示され²⁾、優れた耐ラメラテア鋼の製造方法も確立してきた³⁾。

一方、これら耐ラメラテア鋼の適用に当って、その最適な鋼材の選択は重要な課題である。そこでここでは海洋構造物のラメラテア防止に必要な鋼材特性について、種々の小型試験とノード部の大型モデル実験により検討した結果を述べる。

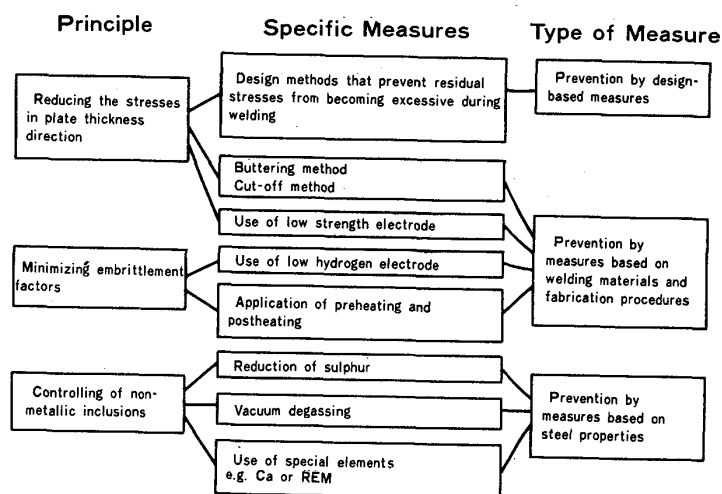


Fig. 1 Methods of Preventing Lamellar Tearing

2. 小型再現試験による必要特性の検討

ラメラテアを小型でよく再現する方法として Fig.2 に示すような Z 方向窓わく試験が考えられる。この試験により、開先形状、継手の拘束度、板厚などを変えた場合の必要特性について検討した。

2-1 Z 窓わく試験体の拘束度と残留応力の関係

Fig.3 に示す Z 窓わく試験体の拘束度を拘束度計⁴⁾を用いて測定した。拘束度はスリット長さ(B_s)によって変わるが、 B_s が短い程端部で高く中央部で低い。この平均値と B_s の関係を Fig.4 に示す。佐藤⁵⁾によれば H 型拘束試験における拘束度 R_F は次式で与えられる。

$$R_F = E \cdot t / (Bc + (Lc/2Ls)Bs + Bc') \quad (1)$$

この計算による結果も図中に示したが上式の適用範囲 ($b/\ell \geq 1$) 外であるが良い対応が

Tested plate	Shape of rigid plate	Groove	Welding condition
HT-50 t=20, 25, 30, 50, 63.5			L-55 Preheat 100°C Interpass 100°C L-55 Preheat R.T. Interpass ≤100°C

Fig. 2 Tested conditions of various joints

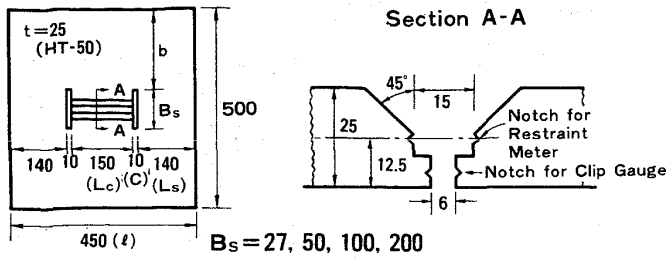


Fig. 3 Z-type window test specimen for measurement of restraint intensity

みられている。次に Fig.2 に示した試験体 ($t=25$) においてひずみゲージを用いて切り出し法にて残留応力を測定した。その結果を Fig.5 に示す。このような多層溶接の場合には残留応力と拘束度が直線関係とならず、低拘束でもかなり高い残留応力が発生する。

2-2 ラメラテア発生に与える開先形状の影響

先ず板厚を 25 mm に限定して、種々の ϕ_z 値を有する HT-50 を供試鋼として Fig.2 に示す試験体で、①開先なし、②パーシャル・ペネトレーション、③フル・ペネトレーション、④フル・ペネの突出しなしと変えて試験を行なった。拘束度 (R_F) と ϕ_z によるラメラテア発生状況を Fig. 6 に示す。①、②、③の順に割れ発生領域は高 ϕ_z 側になるが、比較的低拘束でも低 ϕ_z の材料では割れ発生がみられる。④の場合には高 ϕ_z の材料でも Photo.1 に示すようなガス切断面よりの微小な割れがみられた (割れ深さ 2 mm 以下)。しかし、この割れを除くと割れ発生領域はほぼ③と同じになる。

2-3 板厚の影響

次に試験板の板厚を 20~63.5 mm に変え板厚の影響を調査した (拘束板は 30 mm と 50 mm)。その結果を Fig.7 に示す。板厚が厚くなると同じ R_F でも割れは発生しにくくなる。これは板厚が厚い程表層部の介在物の少ない層が厚くなることと発生応力は拘束板の板厚が厚い程 R_F のわりに低くなることによるためである。⁶⁾ これらから試験板の板厚と拘束板の板厚がほぼ同じような継手では R_F を拘束板の板厚 (t_2) で割ったパラメーターで整理すると実験式的によく対応が付き、 R_F と必要 ϕ_z の関係は(2)式ようになる。

$$\phi_z \geq 0.25 (R_F / t_2) + 5 \quad (2)$$

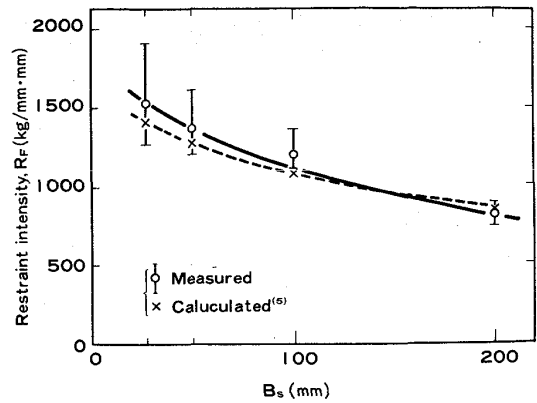


Fig. 4 Relation between B_s and R_F

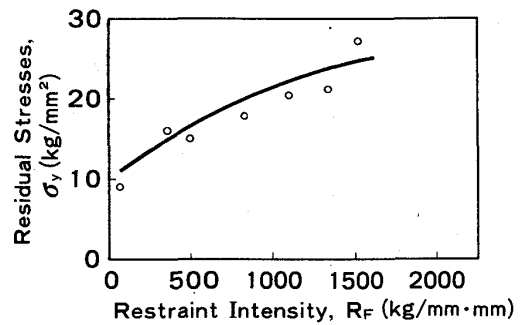


Fig. 5 Relation between R_F and σ_y

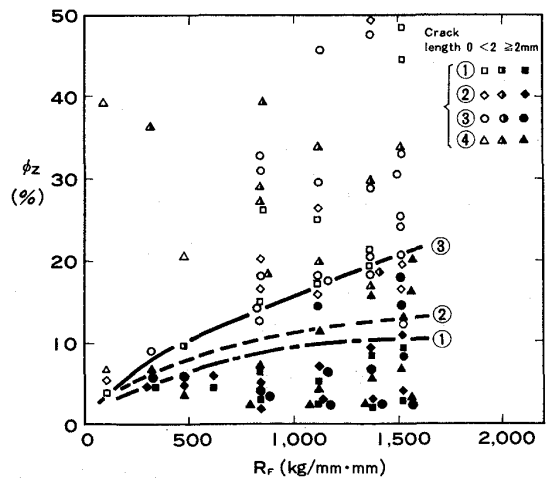


Fig. 6 Representation of lamellar tearing occurrence with criteria of ϕ_z and R_F

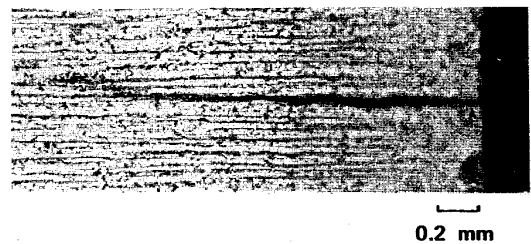


Photo. 1 Crack observed at the edge of specimen in test ④

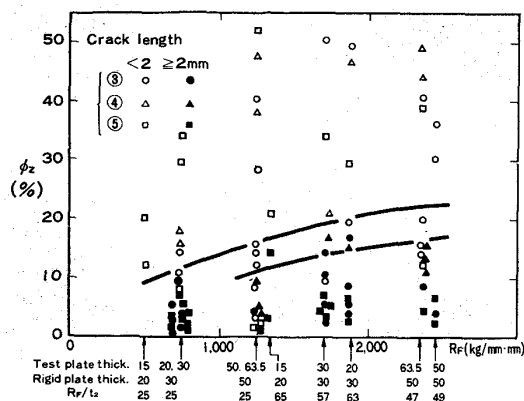


Fig. 7 Representation of lamellar tearing occurrence with criteria of ϕ_z and R_F ($t = 15, 20, 30, 50, 63.5$)

3. 大型モデル実験による検討

小型窓わく試験による結果を確認するため、Fig. 8に示すような海洋構造物ノード部の実物大モデルを作製した。このモデルを同図に示すように4つの部分に分け、それぞれ耐ラメラテア特性の異なる材料を用いて製作した(Table 1)。製作に当って拘束度の測定を行ない、製作後残留応力の測定、割れ検査などを行なった。

3-1 拘束度および残留応力の測定

拘束度の測定は油圧ジャッキとコンタクトストレンゲーターにて行なった。その測定状況をPhoto. 2に、また代表的な測定結果をTable 2に示す。この結果よりこのようなノード部での(R_F/t)はたかだか $30 \text{ kg/mm}^2 \cdot \text{mm}$ でさほど高くない。次にひずみゲージを用いて切り出し法にて残留応力を測定した結果、小型試験の結果より幾分高い値が得られた。これは①予熱条件が異なること、②多軸応力となること、③全体的な剛性による曲げ拘束の影響が入ることなどによるためと考えられる。

3-2 ラメラテア発生状況

Gr I, IIではほぼ $\geq 100\%$ 近くラメラテアが発生した(Photo. 3)。一方Gr. IVではまったく割れず優れた耐ラメラテア特性を示す。 ϕ_z 値によって割れ発生状況をまとめると(R_F/t)の増大とともに割れ率は増大するが、同じセット・オンのT継手でも薄物に厚物を溶接する場合が、逆の場合に比し割れ率が高く、板厚比(取付物の板厚との比)の影響が大きい。これは取付物の板

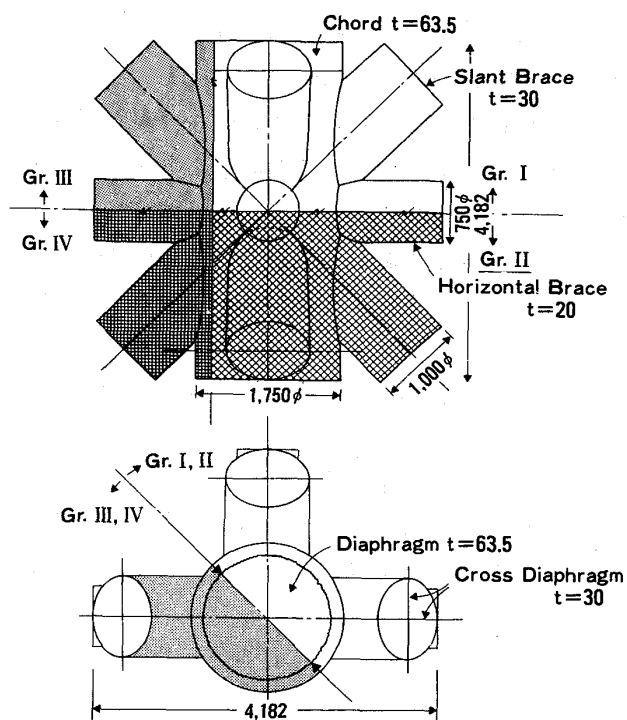


Fig. 8 A model of node in offshore structure

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of steels used in the model test

	Chemical compositions							Thickness	Mechanical Properties				Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Nb	V		Y.P.	T.S.	El	φ _z	
Gr. I	0.14	0.47	1.44	0.023	0.024	0.03	0.05	20	40	55	27	3	high S steel
Gr. II								30	39	55	30	6	
								63.5	38	54	32	5	
Gr. III	0.14	0.44	1.42	0.014	0.008	0.03	0.06	20	39	54	28	9	low S steel
								30	39	54	32	11	
								63.5	36	52	35	18	
Gr. IV	0.13	0.44	1.49	0.015	0.002	0.03	0.05	20	38	53	29	39	lamellar tear resistant steel
								30	37	53	35	44	
								63.5	35	52	34	59	

Table 2 Measured restraint intensity in the model test

Joints	$R_F/t (\text{kg/mm}^2 \cdot \text{mm})$
Joint between chord and diaphragm	30
Joint between slant brace and diaphragm	13
Cross joint of diaphragm in slant brace	16

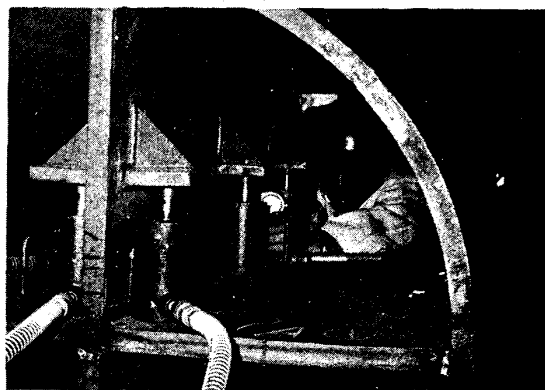


Photo. 2 A view of measuring restraint intensity

厚 (t_2) が厚くなるほど剛性と溶着量がふえて応力が増加する一方板厚方向に応力が作用する方の材料の板厚 (t_1) が増加すると前述のごとく清浄な表層部でひずみが吸収されるためである。この結果より先述の(2)式に板厚比を加味して整理すると Fig. 9 に示すごとく良い相関がみられる。実際には先述の残留応力の結果よりさらに数%加算した方が望ましく、(3)式のような必要絞り値が考えられる。

$$\phi_z \geq 0.25 (R_F/t_2) + 5 \ln(t_2/t_1) + 5 + \alpha \quad (3)$$

R_F : 継手の拘束度 (kg/mm, mm)

t_2 : 取付物の板厚 (mm)

t_1 : 板厚方向に応力が作用する方の材料の板厚 (mm)

α : 局部予熱などによる応力の増加を考慮したファクターで 0 ~ 5%

この結果、比較的薄物のブレース材にも耐ラメラテア特性が必要である。

ここでさらに注意を要するのは、斜ブレース端部のように開先角度が非常に狭い溶接部では、Photo. 4 に示すように通常と反対のブレース部にもラメラテアが発生し進展してトウクラックとなることがある。このようなところでは極低水素系の溶材を用いるなど施工と相俟った対策を要す。

4. まとめ

海洋構造物のラメラテア防止に必要な鋼材特性について検討し、下記の結果を得た。

- ① 継手別の必要な鋼材の特性の目安として(3)式を得た。
- ② ①の結果より比較的薄物のブレース材にも耐ラメラテア特性を要す。
- ③ 斜ブレースの端部のように開先角度が非常に狭い溶接部では通常ラメラテアが発生すると考えられる側と反対のブレース材にも発生し、進展してトウクラックとなることがある。このようなところでは施工と相俟った対策を要す。

参考文献

- (1) 金沢他; 溶接学会誌 45(1976) No. 2 p128
- (2) 金沢他; 溶接学会誌 45(1976) No. 3 p238
- (3) 金沢他; 溶接学会誌 46(1977) No. 1 p58
- (4) 夏目他; WD-10-71
- (5) 佐藤; 溶接学会誌 30(1961) No. 4 p212
- (6) 寺崎他; 溶接学会講演概要第25集(1979)p394

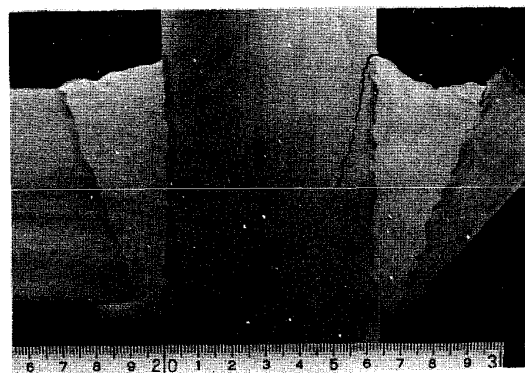


Photo. 3 An example of lamellar tearing occurred at the joints between chord and diaphragm, and slant brace.

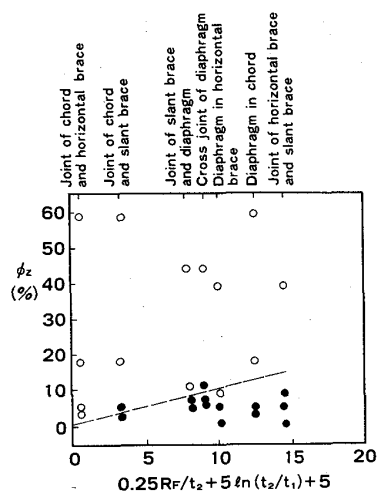


Fig. 9 Representation of lamellar tearing occurrence with criteria of ϕ_z and parameter with R_F/t_2 and thickness ratio, t_2/t_1 .



Photo. 4 Lamellar tearing occurred at the opposite side plate and propagated to the toe