造船用鋼材の腐蝕に関する一実験*

(前歴歪および溶接の影響)

吉 識 雅 夫** 金 沢 武** 藤 田 讓**

On the Corrosion of Ship Structural Steel (Effects of Pre-Strain and Welding)

Masao YOSHIKI, Takeshi KANAZAWA and Yuzuru FUJITA (Tōkyō University)

In order to study the effects of prestrain and welding on the corrosion of ship structural rimmed steel, we have performed some experiments to decide the degree of corrosion by measuring the electrical resistance increment of test pieces.

The results obtained are as follows:

- (1) Steel becomes more sensitive to corrosion as the amount of pre-strain increases.
- (2) Particularly, the corrosion of steel which contains weldment is seriously precipitated.
- (3) The effects of pre-strain on the corrosiveness of steel have been reduced by welding which produces a large quantity of heat such as union melt welding.
- (4) The rim part of steel is more anticorrosive than the core part. (Received July 25, 1956)

1. 緒 言

溶接および塑性歪が鋼材の腐蝕に如何なる影響を与えるかは、船舶の腐蝕の原因を究明し、その対策をたてるための基礎資料として、まず解明しなければならない問題であろう。

筆者らは従来、普通に腐蝕量の決定法として用いられてきた重量測定法の代りに電気抵抗の変化を測定する方法を考案して、溶接および前歴歪(pre-strain)が造船用鋼材に与える影響について実験を行った。

2. 試験片形状、種類および実験方法

2.1 試験片形状、種類

試験片は厚さ 12mm の造船用リムド鋼より採取したが、その化学成分および機械的性質は第 1 表に示すようなものである。

圧延のままのもの、前歴歪 5% および 10% をあたえたものを、それぞれ手溶接およびユニオンメルト溶接で溶接し、第 2 表に示すような試験片採取材を製作した。

手溶接は 60° の開先を取り B-17, 5

Table 1. Chemical composition and mechanical properties.

	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
%	·22	·63	·015	·030	·04	·05	·039	·015

Elongation 22% (Gauge length : 200 mm)

Ultimate strength 47·2 kg/mm²

Yielding stress 28·7 kg/mm²

Table 2. Shape of the plates from which test pieces were cut out.

Shape of the plates from which test pieces were cut out (mm)	Prestrain (%)	Direction of the axis of test specimens
	0	Parallel to weld bead
	5	
	10	
	0	Vertical to weld bead
	5	
	10	

* 原稿受付 昭和31年7月25日

** 東京大学工学部

Table 3. Size and designation of test pieces.

Size of test pieces

Designation of test pieces

	Location of test pieces % Prestrain	Parent metal (P)		Weld metal (W)	Heat affected zone (H)		Vertical to welded bead (A)	
		Core (PC)	Rim (PR)	Core (W)	Core (HC)	Rim (HR)	Core (AC)	Rim (AR)
Manual weld (M)	0 (0M)	PC-0M	PR-0M	W-0M	HC-0M	HR-0M	AC-0M	AR-0M
	5 (5M)	PC-5M	PR-5M	W-5M	HC-5M	HR-5M	AC-5M	AR-5M
	10 (10M)	PC-10M	PR-10M	W-10M	HC-10M	HR-10M	AC-10M	AR-10M
Unionmelt (U)	0 (0U)	PC-0U	PR-0U	W-0U	HC-0U	HR-0U	AC-0U	AR-0U
	5 (5U)	PC-5U	PR-5U	W-5U	HC-5U	HR-5U	AC-5U	AR-5U
	10 (10U)	PC-10U	PR-10U	W-10U	HC-10U	HR-10U	AC-10U	AR-10U

mmφの溶接棒を用い 200 A, 30 V で, 表は back step 法, 裏は progressive 法により 4 層盛の溶接を行つた. ユニオンメルト溶接は開先をとらず #50 フラックス, #43, 3/16" φ の心線により表溶接は 650 A, 32 V で, 裏溶接は 750 A, 32 V で行なつた. 試験片はその実験方法より細長いほどよいわけであるが, 本実験では断面 2 mm×2 mm, 長さ 500 mm とした. その抵抗値はだいたい 0.031~0.034 ohm である. 上述の試験片採取材より第 3 表に示す種類の試験片総計 84 本を作成した. すなわち, 試験片の種類は次のとおりである.

- (1) 試験片採取位置による種類
  - (a) 溶接線に平行に採取したもの
    - (i) 母材部(P)・溶接線より充分遠くはなれた位置より採取したもの
    - (ii) 変質部(H)・溶接混溶部より採取したもの
    - (iii) 溶着部(W)・溶接中心の溶着金属より採取したもの
  - (b) 溶接線に直角に溶接部を試験片の長さの中心に含むよう採取したもの(A)
  - (c) 板の表面近くの部分(リム部)(R)および中心部(C)より採取したもの.

- (2) 前歴歪の相違による種類
前歴歪 0, 5% および 10% の 3 種類の材料より採取した. (0, 5, 10)

- (3) 溶接法の相違による種類
母材部を除き, 手溶接(M), ユニオンメルト溶接(U)について試験片を採取した.

2. 2 実験方法

腐蝕槽としては 600 mm×350 mm×120 mm の鉄製

ホウロウ引きパットにビニール生地で内張りを行ない, 試験片相互の反応を避けるために, ガラスの隔壁を約 3 cm 間隔に設けた. 試験片は中央部 450 mm を残してその両端に導線を半田付し, この部分に腐蝕液が侵入しないようにビニールチューブで覆い, セメダインで固め腐蝕槽内に吊した.

第 1 図に示すように, 試験片を基準抵抗 (母材部試験片を用いた) と直列につなぎ, ロータリースイッチを介してポテンシオメーターに接続し, 500~600 mA の一定の電流を通じて基準抵抗および各試験片の端子電圧を測定し, 試片の腐蝕度を求めた.

Fig. 1. Circuit for measurement of corrosion.

浸漬時間は長い方がよいが, 日時の関係上試験片を三つのグループに分け, 腐蝕時間は 310~330 時間とし, 測定はだいたい 24 時間おきに腐蝕液より試験片を引上げて行つた.

なお, 試験片の腐蝕度を示す量として試験片の抵抗変化率を用いたが, この量は次のようにして求めることができる. いま,

E_x = 試験片のポテンシオメーターの読み
 E_s = 基準抵抗のポテンシオメーターの読み

R_x' = 導線の抵抗をも含めた試験片の抵抗値

R_s = 導線の抵抗をも含めた基準抵抗の抵抗値

R_x = 試験片の腐蝕される部分 (長さ 450 mm の部分) の抵抗値

δR_x = 試験片の腐蝕される部分の抵抗増加量

とすれば,

$$R_x' = R_s \cdot E_x / E_s$$

なる関係があるから, 腐蝕前の状態を添字 0 を附して ( )₀ で示すと,

$$\delta R_x = R_x' - (R_x')_0 = R_x - (R_x)_0$$

$$= R_s \cdot \frac{E_x}{E_s} - \left(R_s \cdot \frac{E_x}{E_s} \right)_0 = R_s \left\{ \frac{E_x}{E_s} - \left(\frac{E_x}{E_s} \right)_0 \right\}$$

$$\therefore \delta R_x / (R_x)_0 = R_s / (R_x)_0 \{ E_x / E_s - (E_x / E_s)_0 \}$$

したがって, あらかじめ基準抵抗, 試験片の抵抗値を正確に測定しておけば測定した各試験片の端子電圧から, この式を用いて抵抗変化率を求めることができる。

抵抗の変化率は, もし試験片の長さ方向に一樣な腐蝕を起こす時は正確に腐蝕度を示すことになるが, 実際には腐蝕は一樣でなく局部的に進行するのが一般であり, この場合には抵抗の変化率が腐蝕量を正しく定量的に示すとはいえないが, 点蝕 (pitting corrosion) の程度を示すには従来の重量法よりもすぐれていると考えられる。また, 本実験法によれば, ポテンシオメーターを用いることにより試験片と基準抵抗との電位差の比が, 常に正確に求めることができるなどの利点がある。

3. 実験結果および考察

実験によつて得られた結果により抵抗変化率と時間の関係を示すと, 試験片の種類によつて腐蝕の進行の傾向にかなりの差異が認められた。本節では実験結果を次の点について分類, 考察することにする。

- (1) 前歴歪が腐蝕におよぼす影響
- (2) 母材部, 溶着部, 変質部などの場所の相違による腐蝕度の変化
- (3) 手溶接とユニオンメルト溶接の相違と腐蝕の関係
- (4) 鋼板の中心部と表面部とで腐蝕度の相違があるか。

以下, これら 4 点について簡単に考察を進めることにする。

3.1 前歴歪が腐蝕におよぼす影響

(a) 溶接部を含む試験片 (A) 第 2 図は手溶接で中心材の場合 (AC-0, 5, 10 M) の実験結果を示したものである。前歴歪のない AC-0M-1 に対して前歴歪が 5% (AC-5M-1, 2), 10% (AC-10M-1, 2) と増加するにつれて腐蝕度は増加し, その時間に対する増加度もはるかに大きくなっている。

Fig. 2. Effects of pre-strain (AC-0, 5, 10 M).

すなわち, 前歴歪の大きいほど腐蝕されやすいことがわかる。この傾向は手溶接で表面材の場合にも同様な結果が得られている。

ユニオンメルト溶接で中心材 (AC-0, 5, 10U) の場合は腐蝕時間が 200 時間程度までは前歴歪の影響が現われなかつたが, 腐蝕時間が充分にたてば, やはり前歴歪が大なるほど腐蝕度が大きくなった。また, ユニオンメルト溶接で表面材の場合には腐蝕度の絶対値は小さいが, 前歴歪のあるものが, ないものに比して腐蝕度は大きくなった。なお, 溶接部を含む本試験片は後述する母材部, 変質部などに比して腐蝕度ははるかに大きい。

Fig. 3. Effects of pre-strain (PR-0, 5, 10 U).

(b) 母材部 (P) 第 3 図にユニオンメルト溶接表面材 (PR-0, 5, 10 U) についての結果を示してある。この場合は当然溶接の影響は現われないが, 前歴歪があるために腐蝕度は大きくなっている。なお, 前歴歪 5% の PR-5U-1 は前歴歪 10% のものよりも腐蝕度が大きくなっているが, さらに腐蝕時間が大となれば, 曲線の形状より前歴歪 10% のものの方が腐蝕が大となるのではないかと考えられる。

(c) 変質部 (H) 第 4 図に手溶接中心材 (HC-0, 5, 10 M) の場合の結果を示してある。圧延のままのものは明らかに前歴歪を与えたものよりも腐蝕度は小さいが, 前歴歪 5%, 10% のものは明らかでない。

これに対してユニオンメルト溶接の場合には全く差異が認められなかつた。これはユニオンメルト溶接は手溶接の場合に比して熱量が大きいために, 溶接前に

Fig. 4. Effects of pre-strain (HC-0, 5, 10 M)

母材に与えた前歴歪の影響が打消されたものであろう。

3. 2 母材部, 溶着部, 変質部などの腐蝕度の比較 (P.W.H.)

(a) 前歴歪のない場合 手溶接の場合には溶着部と母材部とはだいたい同じ程度の腐蝕度を示し, 変質部はこれらよりもやや小さい腐蝕度を示した。ユニオンメルト溶接の場合 (P, W, H-0 U) には溶着部が一番腐蝕されがたい。しかし変質部は1箇所は溶着部と同程度, 他の1箇所は母材部と同程度の腐蝕度を示した。一般に変質部より試験片を採取する場合に微妙にその位置がずれると, あるいは母材に近い性質を, あるいは溶着部に近い性質を示すことが充分考えられる。

(b) 前歴歪のある場合 前歴歪をあたえた板を溶接したのであるから, 溶着部には当然前歴歪は与えられていない。したがって, 溶接法の差異に関係なく, 母材部, 熱影響部が溶着部より腐蝕を受けやすいことは前項で述べたことから明らかである。

3. 3 手溶接とユニオンメルト溶接の相違と腐蝕の関係 (M.U)

(a) 溶着部 (W) 第5図 (W-0, 10; M, U) よりこの場合には, ユニオンメルト溶接の場合が手溶接の場合に比して腐蝕を受けがたいことがわかる。この結論は当然, 溶接棒の種類などによつて変化することも考えられるが, 本実験で採用した溶接の溶着金属の成分 (C, Mn, P など) を比較すれば首肯できることである。

Fig. 5. Effects of welding method (W-0, 10; M, U).

(b) 変質部 (H) 前歴歪のない場合の表面材 (HR-0; M, U) についての結果では, 明らかにユニオンメルト溶接の変質部の方が手溶接の変質部よりも格段に腐蝕されやすいことが認められた。この理由については変質部の腐蝕は溶着金属と熱影響をうけた母材部との混在部であり, これらの間の電気化学的作用であると考えられ, 次のように説明できる。

すなわち, 前項で述べたように, 母材部, ユニオンメルト溶着部, 手溶接溶着部3者の間の腐蝕されやすさは, 母材 $\geq$ 手溶接溶着部 $>$ ユニオンメルト溶着部の順であり, これらの間の電極電位もこの順であると思われる。

したがって, 母材—ユニオンメルト溶着部の組合わせの方が, 母材—手溶接溶着部の組合よりも電気化学作用が活発で腐蝕度が大きであると考えられる。

Fig. 6. Effects of welding method (HR-10; M, U).

次に前歴歪のある場合の一例として10%前歴歪表面材 (HR-10; M, U) についての結果を第6図に示してある。この図ではやはりユニオンメルト溶接の方が腐蝕度が大きくなっているが, その差は前歴歪のない時に比して小さい。また, 図には示さなかつたが, 中心材についてはほとんど相違が認められなかつた。しかし, 全体として前歴歪のために腐蝕度が上昇していることはもちろんである。

これは先にも述べたように, ユニオンメルト溶接の場合には, その熱効果のために手溶接の場合に比し前歴歪の影響が小さくなっているためであろう。

(c) 溶接部を含む試験片 (H) 前歴歪のない場合に表面材 (HR-0; M, U) では第7図に示すように, ユニオンメルト溶接の方が手溶接よりも大きい腐蝕度

Fig. 7. Effects of welding method (A[R]-10[M]-10[U]).

を示した。しかし、中心材については両者の差は認められなかつた。表面材は純度高く均一であるから、溶着部との間に電気化学的作用をおこして腐蝕するが、両者の間の電位差は先にも述べたように、ユニオンメルト溶接の場合がより大きいと考えられ、したがって、手溶接の場合よりも大きい腐蝕度を示す。しかし、中心材では母材が不純物を不均一に含むため母材自体の腐蝕が大きく影響し、母材と溶着部間の電気化学的腐蝕が表面材の場合ほど大きな割合を占めないことに基因するものであろう。

前歴歪をうけた場合の表面材 (AR-10; M, U) についての結果も第7図に示されている。この場合には手溶接の場合がユニオンメルト溶接の場合よりも腐蝕度が大きく、前歴歪のない時と逆の結果を示している。中心材については最初手溶接の方が大きい腐蝕度を示したが、次第にユニオンメルト溶接との差が小さくなる結果を示した。この表面材についての結果はユニオンメルト溶接の場合には、前歴歪の影響は熱影響部にはその熱効果のためにあらわれなくなり、前歴歪をうけた母材部と溶着部間の電気化学的作用が、この熱影響部の介在のために小さくなったためではないかと推察される。

中心材の結果については、先に前歴歪のない場合について述べた理由によるものであろう。

3.4 中心部と表面部とでの腐蝕の相違(C, R)

母材部、溶着部を含む試験片の場合には、明らかに中心材は表面材に比して腐蝕度が高かつた。これはリムド鋼の特性より考えて当然のことである。第8図は前歴歪のない母材部 (P, C, R-0U) についての結果を

示したものである。

Fig. 8. Comparison of the rim and core parts of steel $(P\{C\}_R-OU)$.

4. 結 語

以上が今回造船用鋼材について前歴歪及び溶接が、その腐蝕に如何なる影響を及ぼすかについて行つた実験の結果である。その結果、一般に前歴歪が与えられた鋼材は前歴歪のない場合よりも腐蝕されやすく、その程度は前歴歪の大なるほど大きい。特に溶接部を含むものは腐蝕度が大きい。また、ユニオンメルト溶接のように熱量の大きい場合には、前歴歪の影響を打消すような効果がみられ、この結果、溶接法の相違により種々の結果が現われることが判明した。

なお、当然のことであるが、リムド鋼では表面部は中心部に比して耐蝕性にすぐれている。

本実験は、東大工学部船舶工学科卒業生、播磨、原田、大川、杉山、山形、尾川の諸君に負うところ大であり、試験材は浦賀船渠、石川島重工の好意によるものであり、ここに感謝の意を表する次第である。

最後に、本研究は昭和29年度、30年度文部省試験研究費によるものであることを附記する。