半世紀経過した護岸用鋼矢板の腐食挙動*

溝口 茂**, 山本 一雄**, 杉野 和男**, 沢井 章***

** 新日本製鐵株式会社八幡技術研究部

*** 新日本製鐵株式会社八幡製鐵所

Corrosion Behaviour of a Sea Wall Sheet Piling Passed through Half a Century*

Shigeru Mizoguchi**, Kazuo Yamamoto**, Kazuo Sugino**
and Akira Sawai***

** Yawata Technical Research Laboratories, Nippon Steel Corp.

*** Yawata Works, Nippon Steel Corp.

In order to find out the corrosion behaviour of practical sheet pile for sea wall, the U-type sheet pile (YSP-II) which was used for half a century was investigated. Summary of the results was as follows; (1) the corrosion occurred in coast-site mainly and was observed a little in on-shore-site and under sea-bottom, (2) the inside of joint was not corroded severely because of the packing effect of the initial corrosion products and soil, and (3) the tensile strength of the web location decreased in proportion to the decrease of its thickness, but the joint strength has been kept according to the initial design. From the above-mentioned summary, the maintenance-free system of the sheet pile in a long service period can be established by the protection of the coast-site web and flange, for example, polyethylene.

1. 緒 言

鋼矢板は、我が国では昭和の初期から港湾、河川などの護岸や岸壁に使用されてきた。鋼矢板構造物の多くは、海水や河川水などの環境で長期間にわたって継続使用されるため、腐食による老朽化が問題になる。このため各種の腐食調査も行われている¹⁾²⁾が、その大部分は非破壊検査によるもので、腐食量を鋼矢板ウェブの板厚減少量で評価したものである。したがって、港湾構造物として問題になると考えられる。腐食にともなう鋼矢板の強度低下の測定及び継手を含む鋼矢板全断面の腐食挙動を詳細に調査した例はほとんど見当たらない。

本報は、半世紀経過した護岸用鋼矢板を引き抜いて破壊調査を行い、その腐食挙動及び腐食にともなう鋼矢板の強度変化を定量評価すると同時に、長期間(40年~50年)メンテナンスフリー鋼矢板の開発指針を得ようとし

たものである。

2. 調査鋼矢板の履歴

調査した鋼矢板は、昭和9年(1934年)~昭和58年(1983年)までの半世紀間、千葉県銚子漁港導流堤護岸に使用されていた YSP-II 型鋼矢板 (Table 1 No. 1 供試材) で、Fig. 1 に示すような利根川河口に面した全長8メートルの凹鋼矢板である。

なお No. 1 供試材には、その構造上飛沫帯が存在しない。そこで、参考のために8.5年経過した北九州市戸畑放水路護岸の YSP-III 型鋼矢板 (Table 1 No. 2 供試材) の飛沫帯に相当する箇所の一部を切り取り、特に継手部の腐食挙動の調査を行った。

Table 1 に、それぞれの調査鋼矢板の化学成分、形状(寸法)などの詳細な履歴を示す。

3. 調査項目及び調査方法

3.1 腐食量及び腐食形態

全長8mのNo.1供試材を0.25m長さに32分割した後、酸洗(インヒビター添加)による除錆を行い、Fig. 2 に示すようにウェブ及びフランジは全幅を、継手

* 第32回腐食防食討論会(於北海道大学)で発表

** 〒805 北九州市八幡東区枝光 1-1-1 (1-1-1 Edamitsu, Yawata Higashi-ku, Kitakyushu, 805 Japan)

*** 〒805 北九州市八幡東区枝光 1-1-1 (1-1-1, Edamitsu Yawata Higashi-ku, Kitakyushu, 805 Japan)

Table 1 Sheet piles used for sea wall.

Sample No.	1	2																								
Construction Era	1934	1975																								
Ageing of pilling (yr)	50	8.5																								
Dimension of Sheet Pile (mm)	<p><u>YSP-II</u></p>	<p><u>YSP-III</u></p>
Anticorrosion System	None	None																								
Chemical Composition (%)	<table><tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th><th>Cu</th></tr><tr><td>0.33</td><td>0.07</td><td>0.52</td><td>0.013 (≤ 0.05)*</td><td>0.048 (≤ 0.04)*</td><td>0.21 (≥ 0.25)*</td></tr></table>	C	Si	Mn	P	S	Cu	0.33	0.07	0.52	0.013 (≤ 0.05)*	0.048 (≤ 0.04)*	0.21 (≥ 0.25)*	<table><tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th><th>Cu</th></tr><tr><td>0.30</td><td>0.04</td><td>0.85</td><td>0.012</td><td>0.018</td><td>0.26</td></tr></table>	C	Si	Mn	P	S	Cu	0.30	0.04	0.85	0.012	0.018	0.26
C	Si	Mn	P	S	Cu																					
0.33	0.07	0.52	0.013 (≤ 0.05)*	0.048 (≤ 0.04)*	0.21 (≥ 0.25)*																					
C	Si	Mn	P	S	Cu																					
0.30	0.04	0.85	0.012	0.018	0.26																					

* standard, JIS-SY 30

Fig. 1 Detailed location of YSP-II sheet pile (passed through half a century).

は特定の箇所（打設前の最小厚み部）について、それぞれの板厚をポイントマイクロメーターにて測定し、元厚（公称板厚）との差を求めて腐食量とした（腐食量を実質経過年数の49年で除した値を腐食速度とした）。

あわせて、断面形状及び表面性状を観察し、深度方向と継手各部の腐食形態も調査した。

なお、飛沫帯のみのNo. 2 供試材は鋼矢板の凸凹両面から腐食される環境であったため、腐食の定量評価は行わず、腐食形態特に継手内部の腐食挙動を観察した。

3.2 鋼矢板の強度

半世紀経過後の鋼矢板の強度変化をウェブ及び継手の両方で評価した。すなわち3.1節の調査が完了したNo. 1 供試材の32分割した試験片のウェブ中央から、深度方向0.25~0.5 m ピッチでFig. 3（左）に示すようなJIS 5号引張試験片を各2本宛切り出して引張試験を行い、降伏荷重及び破断荷重を測定し、腐食による鋼矢板ウェブの強度変化を定量評価した。

またNo. 1 供試材の深度方向の干満部、水中部、土

Fig. 2 The location of thickness measurement.

中部を代表する箇所の、それぞれの左右の継手を組み合わせて Fig. 3 (右) のような嵌合試験片を製作して、嵌合引張試験による継手嵌合引張強度を定量評価した。

4. 調査結果と考察

4.1 鋼矢板深度方向の腐食挙動

Fig. 4 に No. 1 供試材の断面部位別すなわちウェブ、フランジ及び継手それぞれの 深度-最小板厚 の関係を示す。また Fig. 5 には深度方向の腐食環境を代表する鋼矢板横断面プロフィールを、Fig. 6~Fig. 8 には対応する凸凹両面の表面状態を示す。

(1) 鋼矢板ウェブには L.W.L 直上 (平均干潮位=M.L.W.L 直下と推定される) に最大腐食部すなわち腐食量のピークが存在し、L.W.L~水中部にかけて漸減する。この腐食量のピークは、平均干潮位より上方の干満部との通気差電池の形成により生じたマクロセル腐食と考えられる。

なお海底土中部では、土質にかかわらず腐食量は小

さい。

(2) 鋼矢板フランジの深度方向の腐食量はウェブの傾向と似ているが、L.W.L 直上の腐食量のピークは顕著に現れない。なお、フランジの左右の腐食量の差は、腐食量の小さい海底土中部でも認められることから、打込当初の厚み (元厚) が異なっていたことが考えられる。

(3) 鋼矢板継手の場合も L.W.L 直上の腐食量のピークは明瞭に現れず、干満部と水中部の腐食量はほぼ等しく、海底土中部の腐食量は小さい。

(4) 腐食速度の絶対値は、鋼矢板ウェブの L.W.L 直上が最も大きくて 0.18 mm/year, ついで水中部の 0.14 mm/year, 海底土中部では 0.085 mm/year に低下する。フランジ及び継手の腐食速度は、いずれの腐食環境でもウェブより小さい。

(5) Fig. 5 及び Fig. 6, Fig. 7 で明らかなように、ウェブの最大腐食部である L.W.L 直上 (+0.25 m) は全面腐食タイプであり、水中部も同様の腐食形態である。また、フランジの腐食形態も全面腐食である。

(6) 鋼矢板の腐食は水に接する側 (面) が支配的であり、土壌に接する陸側 (Fig. 6~Fig. 8 の凸面) 及び海底土中部 (Fig. 8 の凹面) はロールマーク (縞状の腐食模様) も残存しているほどで、その腐食は局部的であり腐食量も小さい (Fig. 6 及び Fig. 7 のウェブ両サイドの矢印部は矢板を引き抜くために補強板を添接した際の溶接金属であり、腐食とは無関係である)。なお、Fig 9 に示すように、海底土中部のみならず水中部でも、半世紀経過後も圧延文字が明瞭に観察されることから、L.W.L 直上の最大腐食部以外の腐食は、それほど大きくないことがうかがえる。

Fig. 3 Specimen machined from YSP-II sheet pile.

Fig. 4 Corrosion losses of YSP-III sheet pile.

Fig. 5 Corrosion figures at each representative location under cross-section (YSP-II sheet pile).

Concave Side

50mm

Convex Side

50mm

Fig. 6 Appearances of a corroded YSP-II sheet pile at tidal zone (+0.25 m).

Concave Side

50mm

Convex Side

50mm

Fig. 8 Appearances of a corroded YSP-II sheet pile at mud zone (-4.50 m).

Concave Side

50mm

Convex Side

50mm

Fig. 7 Appearances of a corroded YSP-II sheet pile at immersed zone (-0.75 m).

Immersed Zone (-2.25m)

50mm

Mud Zone (-5.00m)

50mm

Fig. 9 Stamping-mark remained on a sheet pile passed through half a century.

Fig. 10 Appearance of corroded inner joint location at each zone (YSP-III sheet pile).

Fig. 11 Cross-section of the joint of YSP-III sheet pile at splash zone.

4.2 鋼矢板継手内部の腐食挙動

鋼矢板の継手部は適当な回転角度を維持するためのクリアランスが必要であり、打込み時には摩擦も生じる。このため、継手内部の防食施工はウェブやフランジのように簡単ではない。そこで、特に継手内部に着目して腐食挙動を観察した結果を、Fig. 10 及び Fig. 11 に示す。

(1) Fig. 10 は No. 1 供試材の深度方向の干満部、水中部及び土中部の、それぞれの腐食環境を代表する箇所の継手内部性状を示したものであるが、ウェブに最大腐食を生じる干満部 (+0.25 m) でも圧延きずが残存しており、水中部や土中部でも同様である。したがって、半世紀経過後も、干満部以下では継手内部の腐食は極めて小さいといえる。

(2) Fig. 11 は 8.5 年経過した No. 2 供試材の飛沫部横断面であるが、継手の外面は厚い腐食生成物(錆)におおわれており、継手内部にも腐食生成物が充満している。この継手横断面形状に打込み前の継手形状に相当する標準断面(原型)を重ね合わせたものが Fig. 12 である。この図から、継手外面からの腐食が大きく、継手内部はほとんど腐食していないことがわかる。

(3) 飛沫部～土中部の鋼矢板全長にわたって継手内部の腐食は小さい。この理由としては、継手内部は初期

腐食錆の充満あるいは打込み時の土砂の充填により酸素や水の侵入がさまたげられて、以降の腐食が抑制されることが考えられる。また、外面腐食生成物の遮蔽効果により同じような結果(酸素や水の継手内部への侵入防止)をもたらすこともあり得る。

4.3 鋼矢板ウェブの強度

Fig. 13 に半世紀経過後の鋼矢板ウェブの深度方向の引張強度(破断荷重、降伏荷重)の変化を、10 点平均残厚と対応させて示す。

(1) 深度方向の降伏荷重及び破断荷重の変化は、いずれも 10 点平均残厚の変化と良い相関が認められる。したがって、干満部～水中部の強度低下は単純な板厚減少効果に起因するものであり、環境脆化などの現象は生じていない。

(2) 健全部すなわち腐食が少ないために強度低下が生じない海底土中部に対して、最も腐食が大きい L.W.L 直上の強度は約 1/2 に低下している。

(3) 海底土中部の降伏点の平均は 30 kgf/mm²、引張強さの平均は 52 kgf/mm² であった。したがって、打込み時の鋼矢板強度は現行の JIS 規格 (SY 30; Y.P ≥ 30 kgf/mm², T.S ≥ 50 kgf/mm²) をほぼ満足していたといえる。

Fig. 12 Comparison of the original design and the corroded figure at each joint location (YSP-III sheet pile at splash zone).

Fig. 13 Results of tensile test at each depth location (YSP-II sheet pile).

Fig. 14 Results of inter-lock tension test at each zone (YSP-II sheet pile).

4.4 鋼矢板継手嵌合強度

Fig. 14 に半世紀経過した鋼矢板の深度方向の干満部、水中部及び海底土中部を代表する箇所の継手嵌合引張試験結果を示す。

(1) 鋼矢板ウェブの腐食が大きい干満部及び水中部と、腐食が小さい海底土中部との嵌合強度の差はほとんど

Fig. 15 An example of maintenance-free sheet pile in corrosive environments.

ど認められない。これは 4.1 節 Fig. 4 に示したように、継手の腐食が少なく、かつ深度方向の差が小さいためである。

(2) YSP-II 型鋼矢板の嵌合強度の規定は存在しないが、近年の実績では 75 tonf/m が平均的な値である。したがって、調査鋼矢板の嵌合強度 60 ton f/m はやや小さいといえる。この原因としては、母材強度の差すなわち近年の鋼矢板 (SY-30) の引張強度が 55 kg f/mm² レベルであるのに対して、調査鋼矢板が 52 kgf/mm² であること、あるいは腐食による若干の板厚減少の影響も考えられる。

4.5 長期間メンテナンスフリー鋼矢板の防食仕様

鋼矢板の腐食による強度低下は海水に接する側のウェブの腐食によって支配され、継手の嵌合引張強度は半世紀経過後もあまり低下しない。したがって、Fig. 15 にその一例を示すように、水に接する側のウェブ、フランジ及び継手の外面を特殊な下地処理を施した上に、耐食

性・耐衝撃性に優れた数mm厚のポリエチレンやウレタン層などで被覆し、継手の内部は充填材を塗布することによって、40～50年間メンテナンスフリーの鋼矢板が得られると考えられる。

5. 結 論

半世紀経過した護岸用鋼矢板 (YSP-II 型) の腐食挙動及び腐食による強度変化を調査し、以下の結論を得た。

(1) 鋼矢板の腐食は水に接する側が支配的であり、土壤に接する陸側及び海底土中部の腐食は軽微である。また鋼矢板の断面部位別の腐食量はウェブ→フランジ→継手の順に小さくなる。

(2) 半世紀経過後も、鋼矢板ウェブ強度及び継手嵌合強度の環境脆化は認められない。したがって既設鋼矢

板の強度は、腐食が最も大きい鋼矢板ウェブの厚み減少によって評価できる (ただし、孔食が支配的な飛沫部にはこのような評価は適用できない)。

(3) 鋼矢板の防食は、水に接する側をポリエチレンシートなどによって完全に保護すればその目的を達成できる。一方、土壤に接する陸側、海底土中部及び継手内部は裸のままでも、半世紀間は使用可能と考えられる。

(Received September 8, 1986)

文 献

- 1) 善 一章: 海中構造物・腐食の実態と対策, 鹿島出版会, 昭和 49 年 7 月発行.
- 2) 善 一章: 防食技術, 34, 184 (1985).