

19.5年海洋曝露された鋼アングル材の腐食形態

山沢 哲也¹・野上 邦栄²・伊藤 義人³・渡邊 英一⁴・杉浦 邦征⁵・藤井 堅⁶・永田 和寿⁷

¹正会員 鹿島建設(株) 土木設計本部設計技術部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)
E-mail: yamasawa@kajima.com

²正会員 首都大学東京准教授 都市環境学部都市基盤環境コース (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail: nogami-kuniei@c.metro-u.ac.jp

³フェロー会員 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: itoh@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴フェロー会員 京都大学名誉教授・(財)大阪地域計画研究所理事長 (〒561-0834 豊中市庄内栄町 2-21-1)

⁵正会員 京都大学大学院教授 工学研究科都市環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁶正会員 広島大学大学院准教授 工学研究科社会環境システム工学専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

⁷正会員 名古屋工業大学大学院准教授 工学研究科社会工学専攻 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

19.5年(19年6ヶ月)海洋曝露された無防食普通裸材(アングル材)を対象にして、レーザ式表面形状測定装置を用いて精密な腐食形状計測を行い、腐食形状および板厚分布を把握した。これらのデータから海上部、飛沫帯、干満帯、海中部の腐食損傷度に関して、計測ピッチの違いによる表面形状の再現性を明らかにした。さらに、過去の計測データである2.5年、5.5年、9.5年、14.5年経過時のマイクロメータによる計測結果と対比させながら腐食形態と腐食速度の関係を明確にし、板厚計測する測定箇所の設定および板厚評価法の基礎資料を提供した。

Key Words : corrosion, oceanic exposure, steel angle, laser equipment

1. はじめに

港湾施設には、維持管理の対象となる鋼構造物として、矢板式および栈橋式係留施設がある。使用する鋼矢板、鋼管矢板および鋼管柱は、海水あるいは沿岸環境に直接曝露される最も厳しい腐食環境にあるため、腐食等に対する維持管理が重要になる。しかし、沿岸環境における構造物の防食対策は、材料の耐久性や自然条件に大きく依存し、長期間におよぶ評価といった困難さを伴うため、これまでに多くの要素技術が実用化されてきたにもかかわらず、それらの系統化は十分にはなされていない。

また、海洋鋼構造物は腐食表面のデータ採取は、他の構造物に比べて一般的に容易でないため、幅広い環境下における精度の高い腐食実測データの蓄積が必要である。さらに、それらの腐食実測データから得られる腐食形態(腐食形状、腐食深さ・大きさ、腐食不均一さ、腐食位置など)を明らかにするとともに、腐食表面の凹凸が力学的挙動に与える影響に関する実験的研究および解析的研究¹⁾が求められている。

そこで、平成16年度から、著者らは19.5年間(19年6ヶ月)海洋環境に曝露された鋼管杭から切り出した腐

食鋼管の圧縮試験、および弾塑性有限変位解析を実施しており、腐食鋼管およびそこから切り出した鋼板の有効板厚評価^{2),3)}および簡易な耐荷力評価法^{4),5)}を提案している。現在、性能評価ガイドライン策定に向けての研究が継続中である。

港湾施設の点検・診断⁶⁾は、一般に目視調査などを中心とした簡易で日常的な一次点検と、目視困難な箇所、および一次点検で十分に把握できない場合などに行う二次点検に区分される。一次点検は、陸上部からの目視調査であるため、腐食の激しい飛沫帯および干満帯の観察は低潮位時に行う。二次点検では、潜水士による板厚測定が行われることが多く、海水中の鋼材の腐食量や腐食傾向を定量的に把握するため実施される。

板厚計測する測定箇所は、局部腐食の激しい部位、最大応力発生点のような構造物の安全上重要な位置などを含めて、対象構造の腐食形態を定量的に評価できるように選定する必要がある。しかし、これらの腐食計測箇所の設定および各測定点から得られるデータによる板厚評価・診断法については不明確な点が多い。現在の防食・補修に関する基準類^{7),8)}における測定箇所は、鉛直方向に平均干満帯付近、干潮帯付近および最大曲げモーメント発生点付近とし、集中腐食のある

点も選定する必要があるとしている。また、構造物延長方向に20m間隔で計測している。各測定点においては、100 × 100mm の範囲内の数点(一般に5点)に超音波厚み計の探触子を当てて、鋼材の板厚を測定し、これら数点の平均値をその箇所(筒所)の板厚としている。さらに、3mm 以上の局部腐食の激しい部位は詳細な腐食形状の把握を求めている。

このような背景のもと、本研究では、19.5 年海洋曝露された無防食普通鋼材(アングル材)を対象にして、レーザー変位計を用いて精密な計測を行い、腐食形状、板厚減少量および腐食速度などの腐食形態の評価、および現在の板厚計測する測定箇所(筒所)の設定法および各計測点における板厚評価法の確立に向けた基礎資料を提供するものである。

2. 曝露試験体

(1) 曝露位置と試験体寸法

対象とした試験体は、初期板厚 $t_0=20\text{mm}$ (規格値)の普通鋼L型アングル材(SS400,無防食鋼材)で、19.5年間海洋環境下に無防食曝露したものである(写真-1)。曝露試験は、静岡県志太郡大井川町の沖合約250mに設置された海洋技術総合研究施設において実施した。この地域の環境は、ISO腐食環境分類G4に採択された厳しい腐食環境下にある¹²⁾。

この試験体を図-1に示すように、長さ3800mm、幅約100mmの2枚の平板状に切り出した。このうちA面については、さらに長さ200mm、幅100mmの17枚の小片に機械切断した。それぞれの試験体は、ケレン及びサンドブラスト後、JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」の腐食生成物除去方法に従い、化学的方法により素地を露出させた。腐食形状の測定に備えて、中和処理の後、表面にごく薄く油膜を引いた。

表-1 卓上レーザー式深度計測装置の諸元

計測範囲	X=300mm, Y=300mm	
レーザー変位計	LE-4010	
基準距離	30mm	
測定範囲	± 5mm	
分解能	0.1 μm	

表-2 表面形状計測装置の諸元

計測範囲(X)	1000mm	基準距離	80mm
計測範囲(Y)	1000mm	測定範囲	± 15mm
奥行方向ストローク	100mm	分解能	3 μm
リニアスケール読み	10 μm	計測速度(1mm 間隔)	200data/min
レーザー変位計	LK-080	移動装置および固定装置付き	

(2) 腐食状況

a) 試験体表面の腐食状況

図-1中にB面(a)~(e)で示した代表的な表面腐食状況を、写真-2に示す。満潮位(H.W.L.)よりも上部の飛沫帯では、写真-2(a),(b)に示すように孔径1~4mm程度の孔食が全面に観察された。この孔食の深さは孔径の2倍程度で、飛沫帯全面に密に分布していた。外洋側には50~80mm程度の広口のクレーター状の腐食が見られた。これは海生物起因の腐食と考えられ、生物が剥落することで鋼材表面が露出し、局部電池が形成されて腐食が進行したものと考えられる。

満潮位と干潮位(L.W.L.)との間の干満帯の内、平均海面(T.P.)よりも上部の区間では、写真-2(c)に示すように腐食量は小さいが、孔径3~8mm程度の孔食が観察された。この孔食の深さは孔径の1~2倍程度で、飛沫帯にある孔食よりは疎に分布していた。

干満帯のうち、平均海面より下部の区間および干潮位よりも下部の海中部では、写真-2(d),(e)に示すように周期的な層状さびが観察された。

b) 試験体側面の腐食状況

試験体側面における腐食状況も、表面の腐食状況と同様な分布を示していた。写真-3に曝露試験体の側面の全体写真を示す。これを見ると、飛沫帯の海水位[+1500,+1800]の区間の残存板厚が最も薄く、飛沫帯の腐食が激しいことがよくわかる。一方、干満帯のうち平均海面よりも上部の区間[±0,+800]では、他の部位と比較して残存板厚が大きいことがわかる。干満帯に位置する鋼材は、酸素供給量差によって形成される腐食電池のカソードとして作用する。その結果、海水表層部の鋼材を犠牲陽極とする電気防食を受けていることになり、腐食速度が抑制される。一方、干満帯直下に位置する海面表層部の鋼材は、アノードとして作用するので、腐食量が大きくなる。

孔食の分布状況や、その孔径・深さの形態も、表面のそれと同じく、飛沫帯には孔径が1~4mm程度の小さな孔食が全面に分布し、干満帯に近い部分では孔径の大きな腐食をいくつか観察することができた。干満帯の腐食は孔径が3~8mm程度となり、海中部では層状さび形態を示していた。

3. 腐食計測方法

試験体の腐食量や腐食表面性状を把握するために、2種類のレーザー式表面形状計測装置を用いて表面形状を精密に計測し、残存板厚を算出した。A面試験体については、計測間隔 d を2 μm から1000 μm (=1mm)までの範囲で変化させ、腐食表面性状のマイクロ特性につい

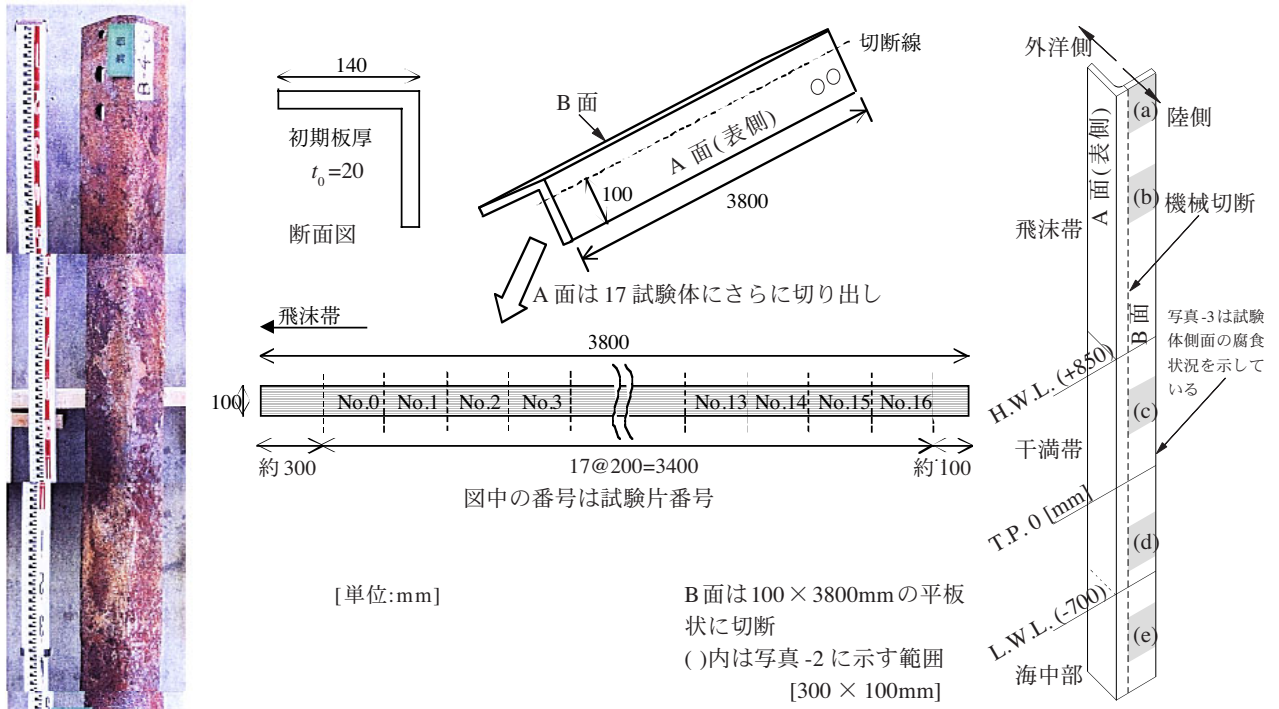


図-1 曝露試験体の切出し加工



写真-1 曝露試験体 (さび落とし前)

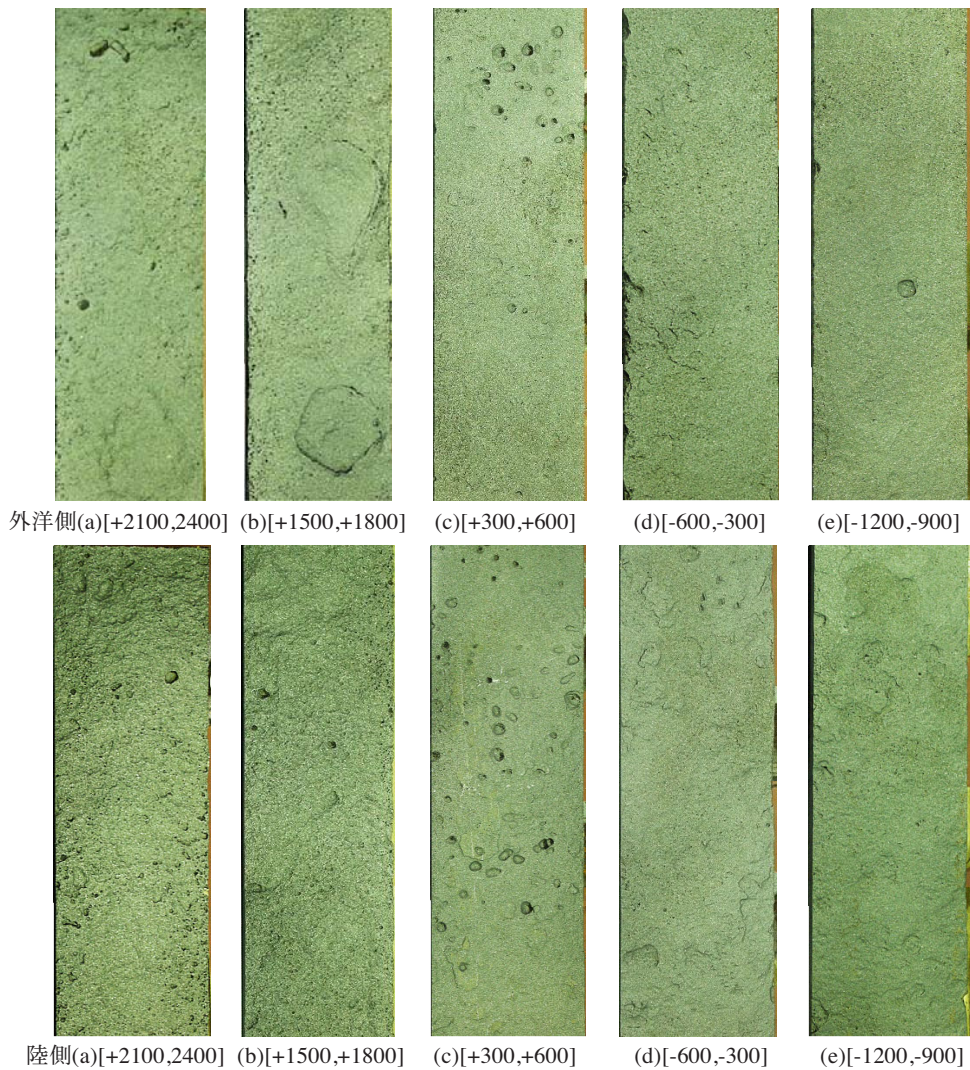


写真-2 B面試験体の腐食状況

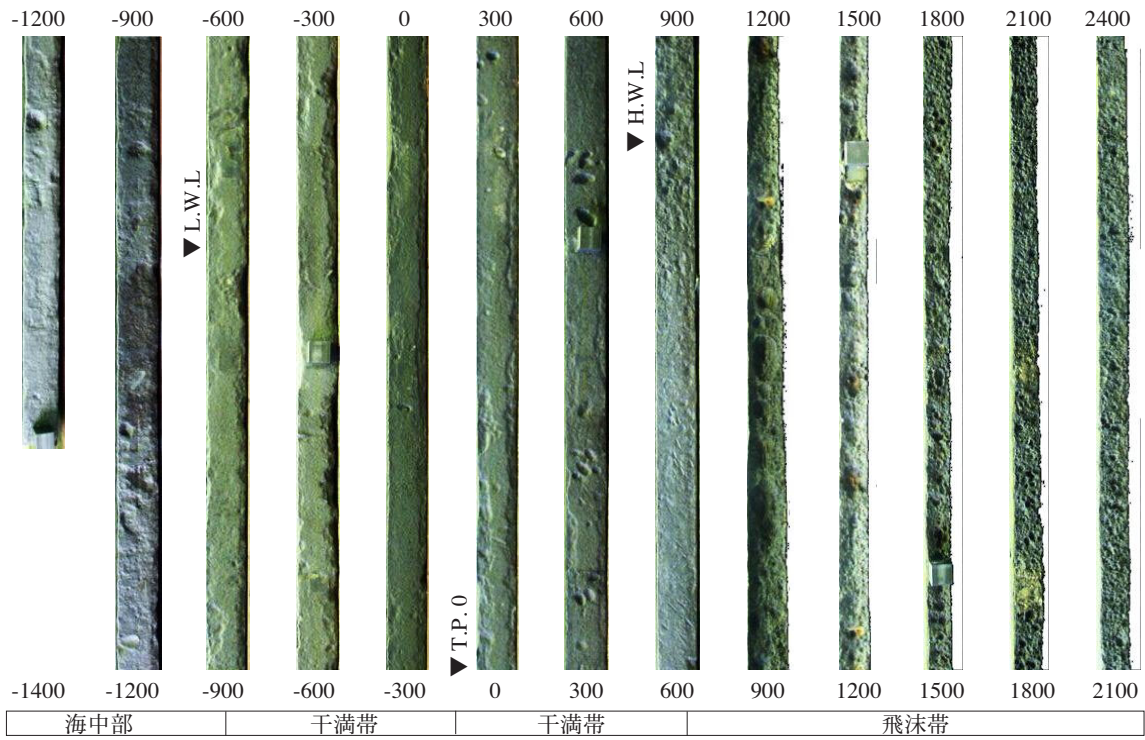


写真-3 B面試験体側面の腐食状況 (単位:mm)

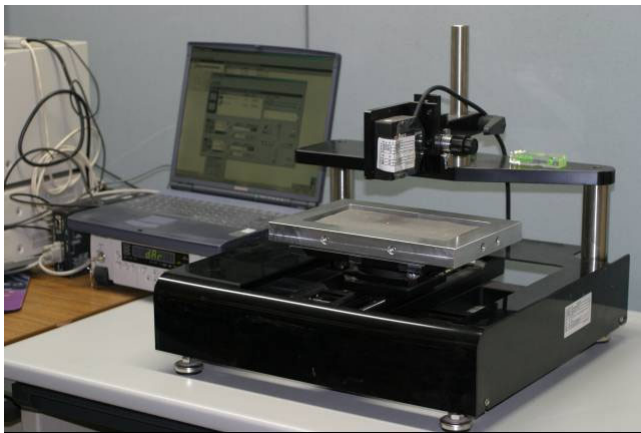


写真-4 卓上レーザ式深度計測装置

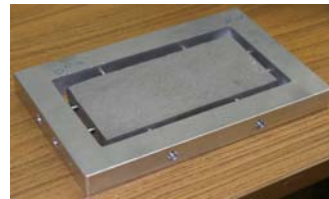


写真-5 試験片固定治具

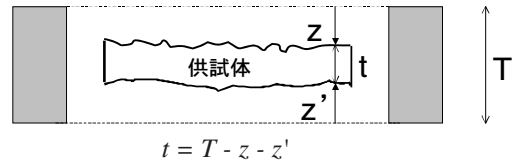


図-2 板厚の算出方法

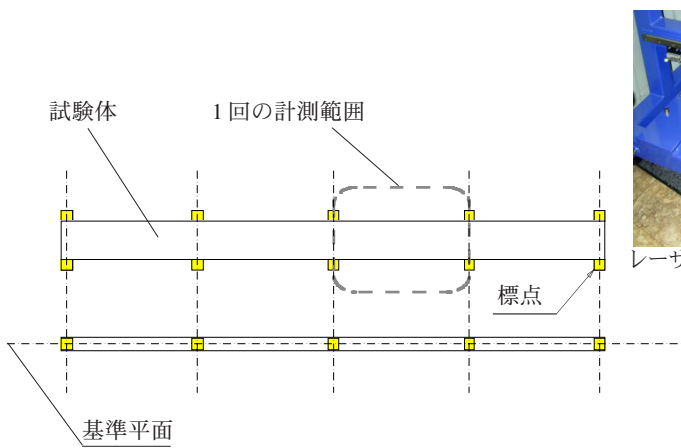


図-3 標点の取付け



写真-6 レーザ式表面形状計測装置

て調べることを主目的とした。また、B面試験体については、試験体全体の腐食特性を把握することを目的とし、計測間隔を1mmから32mmの範囲とした。

(1) 卓上レーザ式深度計測装置

A面試験体の計測に用いた卓上式レーザ式深度計測装置(写真-4)の諸元は表-1に示す通りである。写真-5及び図-2に示すように、試験体周囲に板厚 T が既知である固定治具を設置し、表裏から試験体の表面形状を計測することで試験体板厚 t を算出する。ここで、表裏からの計測値をそれぞれ z, z' とすると、

$$t = T - z - z' \quad (1)$$

となる。

(2) レーザ式表面形状計測装置

一方、B面試験体は長尺で大型であるので、写真-6に示すようなレーザ式表面形状計測装置を用いて計測を行なった。諸元は表-2に示す通りである。このレーザ式表面形状計測装置は、レーザ式変位計が取り付けられたヘッド部が1000×1000×100mmの範囲を自由に動くことができ、予め指定した領域内を自動計測し、相対座標値を集録するものである。基準距離・計測範囲や分解能が異なるその他のレー

ザ式変位計に取り替えることも可能である。

試験体の腐食表面の計測にあたっては、図-3に示すように、部材を長さ950mmの領域に分割し、表裏の表面形状をすべて1mm間隔で計測した(38万点×2面)。このとき標点を設けることで、表裏共通の仮想基準平面を設定した。

表面腐食形状は、基準平面を水平面とした、最も減厚量の小さい測定点を通る基準面に平行な最尤面を定義して算出する。残存板厚は、元板厚から表裏の腐食量の和を差し引くことで与えられる⁹⁾。

4. 残存板厚と計測精度

(1) 計測間隔の検討

まず、レーザ式深度計測装置を用いてミクロ的な腐食表面性状を把握するために必要な計測間隔 d について検討した。基準計測間隔 d_0 は、計測装置の分解能を考慮して $d_0=2\mu\text{m}$ とし、 $d_j=50, 100, 300, 500, 1000\mu\text{m}$ と変化させ、式(2)で定義される計測残差 e によって最適計測間隔について検討した。

$$e = (z_2 - z_j)^2 \quad (2)$$

ここで、 z_2 ：計測間隔 $2\mu\text{m}$ のときの測定値

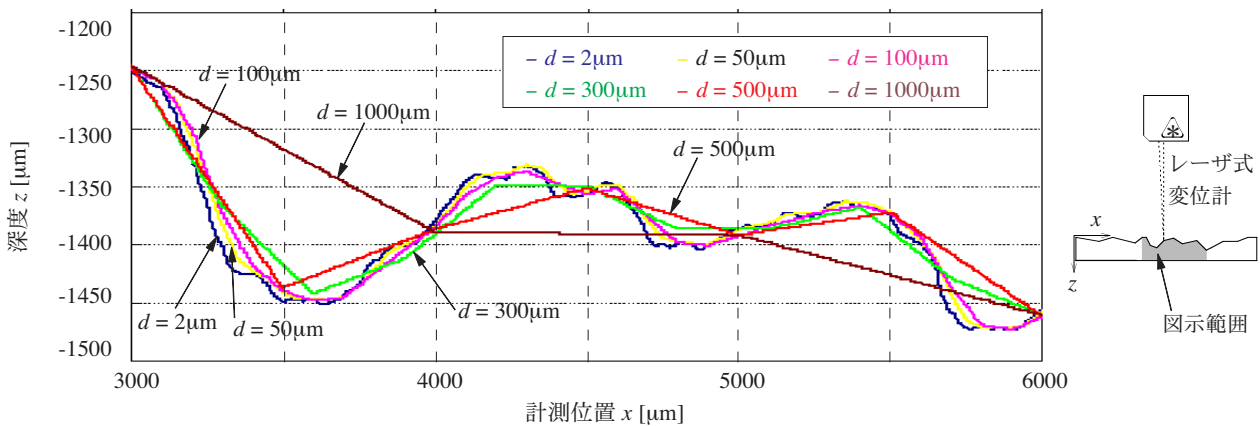


図-4 計測間隔と腐食深度との関係

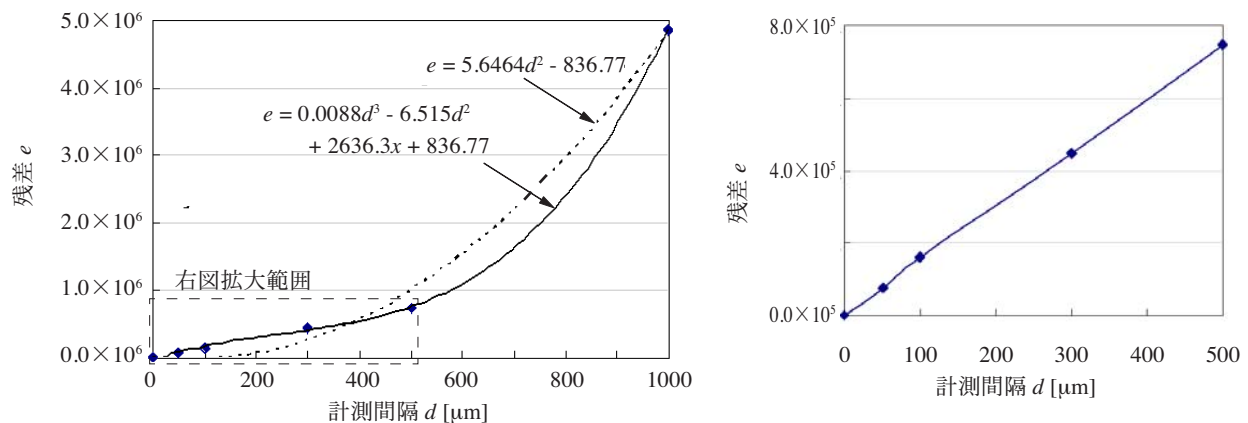


図-5 計測間隔と残差との関係

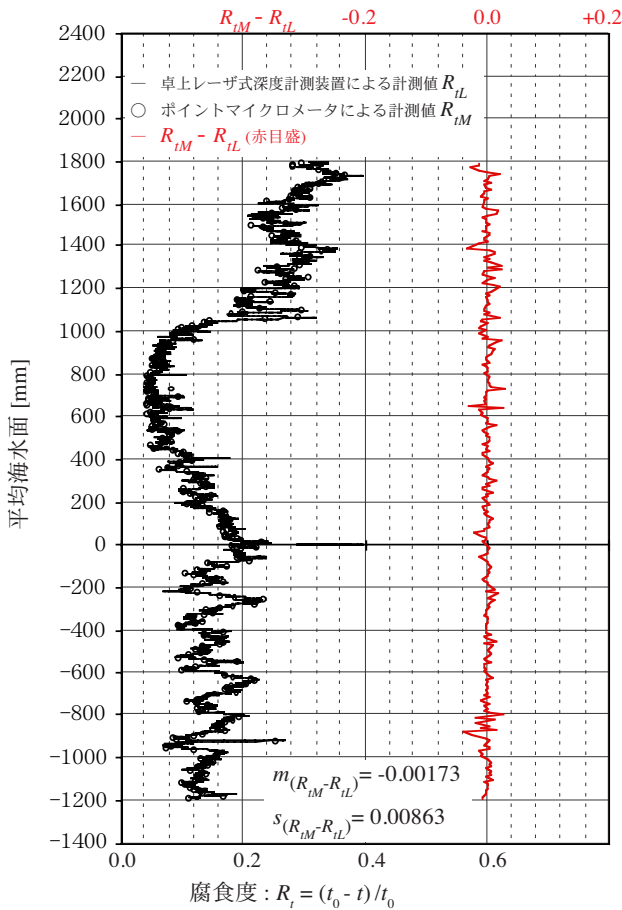


図-6 卓上レーザ式深度計測装置による計測精度

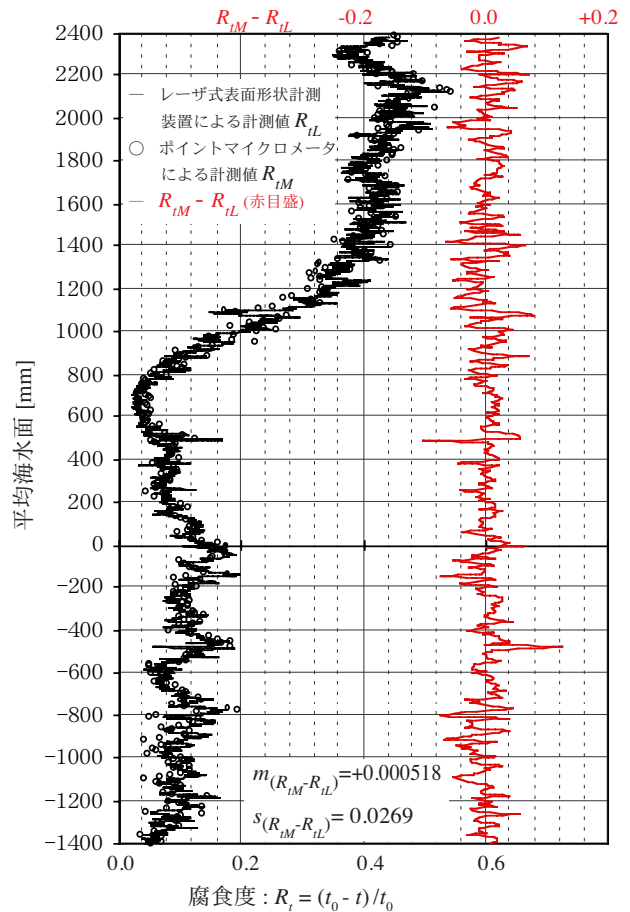


図-7 レーザ式表面形状計測装置による計測精度

z_j : 計測間隔 j [μm]のときの測定値

図-4 に計測間隔を変化させた結果の一例を示す。この計測範囲は、試験体の中で表面形状が最も粗い部分を選定した。具体的には、目視によって表面形状が最も粗い 10mm 四方の部分を選定し、その部分を卓上レーザ式深度計測装置を用い、計測間隔 j を変化させて深度 z を計測した。その結果からさらに粗い部分、すなわち変動係数が最大となった 3mm 部分を取り出した。

図-5 に $2\mu\text{m}$ の測定値を基準として式(2)を用いて算出した各計測間隔の残差 e_j を示す。図中の点線が2次式、実線が3次式の近似曲線である。両線の交点から、3次曲線の変曲点は今回の計測範囲では約 $300\mu\text{m}$ 付近であることが分かる。一方、 $d=500\mu\text{m}$ までの残差 e_j は、ほぼ比例関係になっていた。図-4 および図-5 から、 $d=1000\mu\text{m}$ では詳細な腐食表面性状までは捉えきれず、腐食形状のマイクロ特性を把握する上では粗すぎるのがわかる。よって $d=300\mu\text{m}$ を腐食表面の凹凸を精度よく表現できる限界とみなした。

A 面試験体の片側 (200cm^2) の計測所要時間は、 $d=500\mu\text{m}$ で 3 時間 40 分、 $d=300\mu\text{m}$ では 8 時間であった。 $d=100\mu\text{m}$ の場合は、実際に計測していないが、 $d=300\mu\text{m}$ の計測所要時間から推測すると 72 時間程度

は必要である。計測間隔は小さい程、腐食表面性状を正確に捉えることができることは当然であるが、時間的制約から A 面試験体 17 体の計測には $d=300\mu\text{m}$ を採用し、ミクロ的な腐食表面性状を把握することとした。また、B 面試験体については、全体的な腐食性状を把握することを目的として $d=1\text{mm}$ を採用し、計測を実施した。

(2) 板厚算出の精度

今回のレーザ式表面粗さ計測装置は、直接板厚を計測する方法ではない。そこで、算出された板厚の信頼性を検証するために、ポイントマイクロメータによる板厚の直接計測結果との比較を行った。今回計測に用いたマイクロメータは、先端角度 15° 、最小表示量 0.001mm 、測定精度 $\pm 3\mu\text{m}$ 、定圧装置付きの電子表示型である。

計測対象とした断面は、A 面と B 面の両試験体ともに図-1 に示した切断線から内側に 10mm の位置とした。ポイントマイクロメータでは、計測間隔を $d=10\text{mm}$ とし、A 面試験体で 285 点、B 面試験体で 380 点の計測を行なった。測定間隔は、A 面試験体は $d=300\mu\text{m}$ 、B 面試験体は $d=1\text{mm}$ 間隔とし、それぞれ 9963 点および 3781 点の計測を行なった。図-6 およ

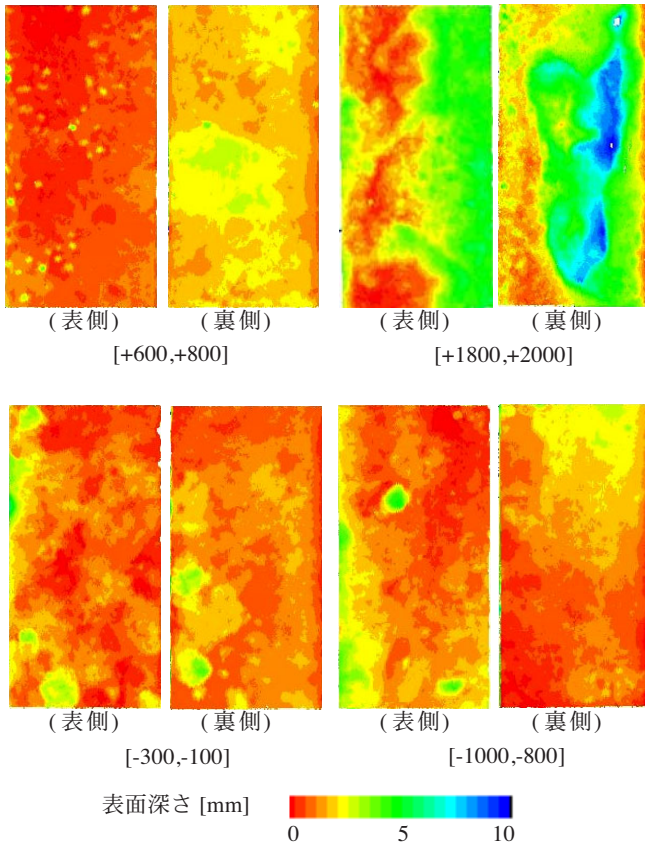


図-8 卓上レーザ式表面深度計測装置による表面性状計測 (A面)

び図-7にレーザ式表面粗さ計測装置による結果との比較を示す。横軸は、残存板厚($t_0 - t$)を初期板厚 t_0 で除した無次元量 R_t である。図中の赤線は、ポイントマイクロメータによる計測結果 R_{tM} からレーザ式表面粗さ計測装置による結果 R_{tL} を差引いた無次元化相対誤差を表している。また $m(R_{tM} - R_{tL})$ は平均相対誤差を、 $s(R_{tM} - R_{tL})$ は誤差の標準偏差を表している。

両者の計測位置が必ずしも一致していないこともあって相対誤差量が大きい部分も見られるが、相対誤差全体の平均は0.00173または0.000518となっている。これは、板厚換算値で0.035mmまたは0.010mmであり、本手法における板厚算出は、妥当な精度を有しているといえる。

(3) 腐食表面性状マップ

図-8にA面試験体の腐食表面性状の計測結果の一例を示す。精緻な計測によって腐食表面性状をデジタルデータ化することができ、飛沫帯・干満帯・海中部それぞれの腐食形態の様子をよく捉えられていることがわかる。

(4) 曝露期間と残存板厚

図-9および図-10に、腐食表面形状計測結果から

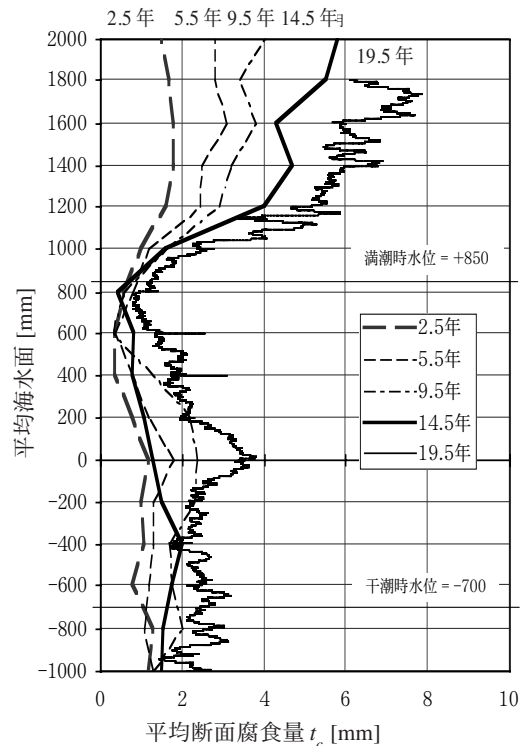


図-9 板厚分布と平均断面腐食量 (A面)

算出した残存板厚($t_0 - t$)の分布図と平均断面腐食量 t_c をそれぞれ示す。ここで平均断面腐食量とは、海水位座標ごとに、試験体の幅方向100mmにある板厚算出点数 n_T (A面で333点, B面で100点) の平均値であり、式(3)のように定義される。

$$t_c = \frac{1}{n_T} \sum_{i=1}^{n_T} (t_i - t_0) \tag{3}$$

試験体上部から腐食量は、飛沫帯では断面平均値で8~9mm腐食している部分が見られるが、満潮位付近では急速に腐食量が少なくなっている。干満帯のうち平均海水面より下部にかけて再び腐食量は増大し、海中部では飛沫帯のほぼ半分程度の腐食量となっている。この傾向は、どの曝露期間においても同様の板厚分布となっている。なお、曝露期間が14.5年以下の結果は、同じ曝露試験場で行なわれた、同鋼材における曝露試験実績である。ただし、板厚計測点は長手方向に200mm間隔、同じ海水位断面では2点であり、マイクロメータを用いて直接板厚を計測した結果である¹⁰⁾。一部曝露期間と腐食量との間に逆転関係が生じているが、これらの試験体は各々異なった試験体であり、所要の曝露期間が経過するごとに、試験体を引き上げて測定し、その都度同一試験体を海中に戻してはいないためである。

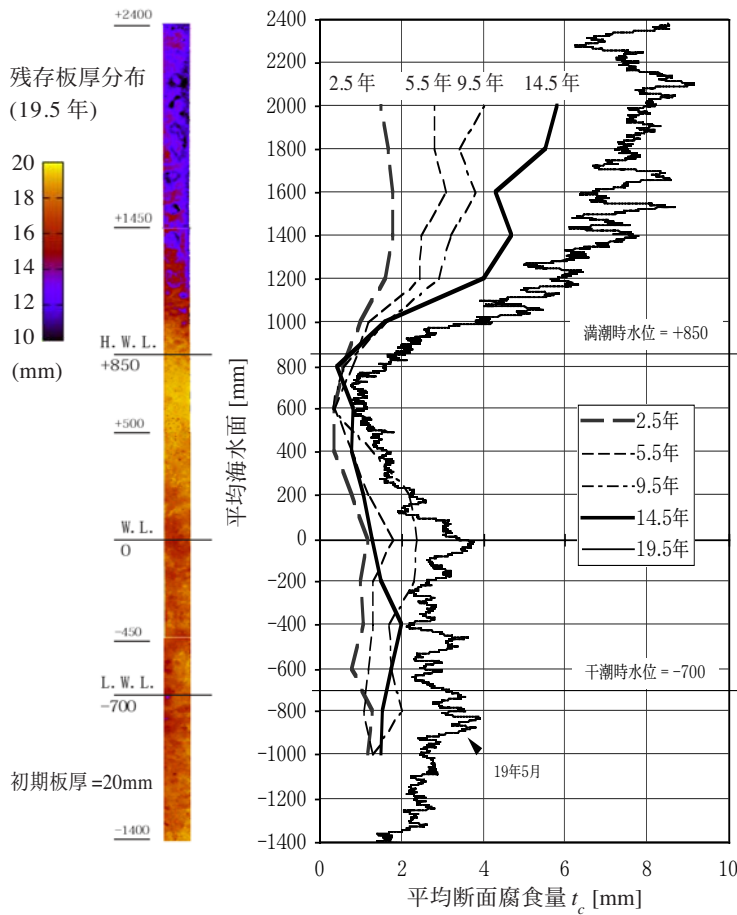


図-10 板厚分布と平均断面腐食量 (B面)

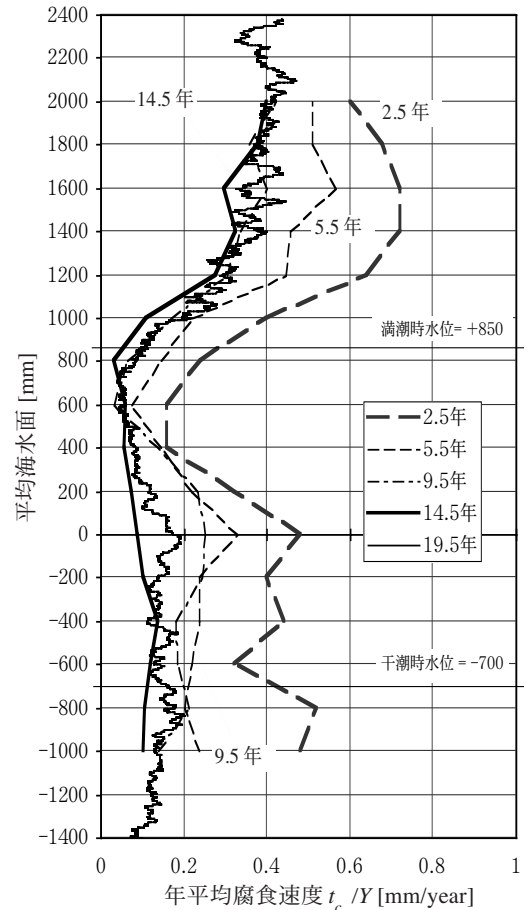


図-11 曝露期間と年平均腐食速度 (B面)

(5) 曝露期間と腐食速度

図-10の腐食量を曝露期間 Y によって除して、横軸を年平均腐食速度として書き換えると図-11のようになる。これを見ると、年平均腐食速度が最も大きいのは、曝露期間が2.5年の試験体であり、最大値で0.7mm/年である。次に5.5年の試験体の年平均腐食速度が大きく、それ以降は、海中部の一部を除いて曝露期間による差異は小さい。

飛沫帯・干満帯(平均海面より上側・下側)・海中部の4つの領域に分割したとき、曝露期間 Y と年平均腐食速度 t_c/Y との関係は、図-12のようになった。

今回の試験体では曝露直後の腐食速度が大きく、10年経過後はほぼ一定速度で腐食が進行していることが読み取れる。以上より、19.5年間海洋環境下に曝露された普通鋼裸試験体の年平均腐食速度は、飛沫帯は平均約0.4mm/年、干満帯は平均約0.1~0.2mm/年、海中部では平均約0.2mm/年という結果が得られた。これらの平均腐食速度は、厳しい海洋環境下における結果であるため、飛沫帯の結果が標準値0.3mm/年よりも大きな値を示しているが、港湾における無防食鋼材の腐食速度の標準値¹¹⁾と概ね一致する傾向となった。

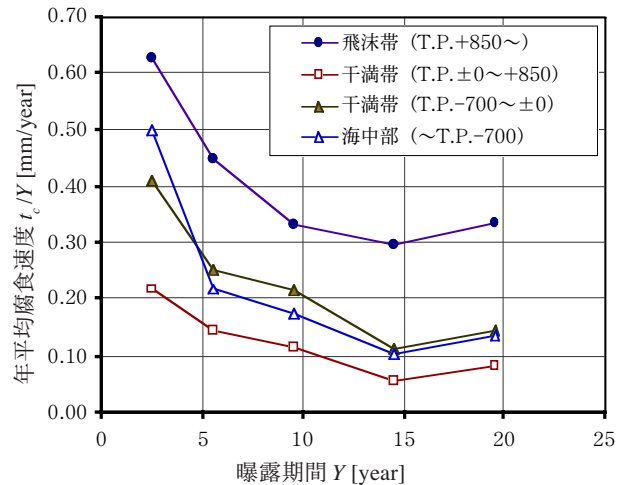


図-12 部位と曝露期間による年平均腐食速度の違い

(6) 計測間隔と板厚分布

ミクロ的な腐食表面性状の把握に対して、腐食による鋼構造部材の残存耐力低下を評価するためには、部材全体の腐食特性値を調べることも興味深い。4.(1)ではミクロな腐食表面性状を把握するために必要な計測間隔 d について検討したが、ここではもう少し広範囲の腐食性状を表現する因子として、平均板厚 t_m と分散 s を取り上げ、計測間隔によって、こ

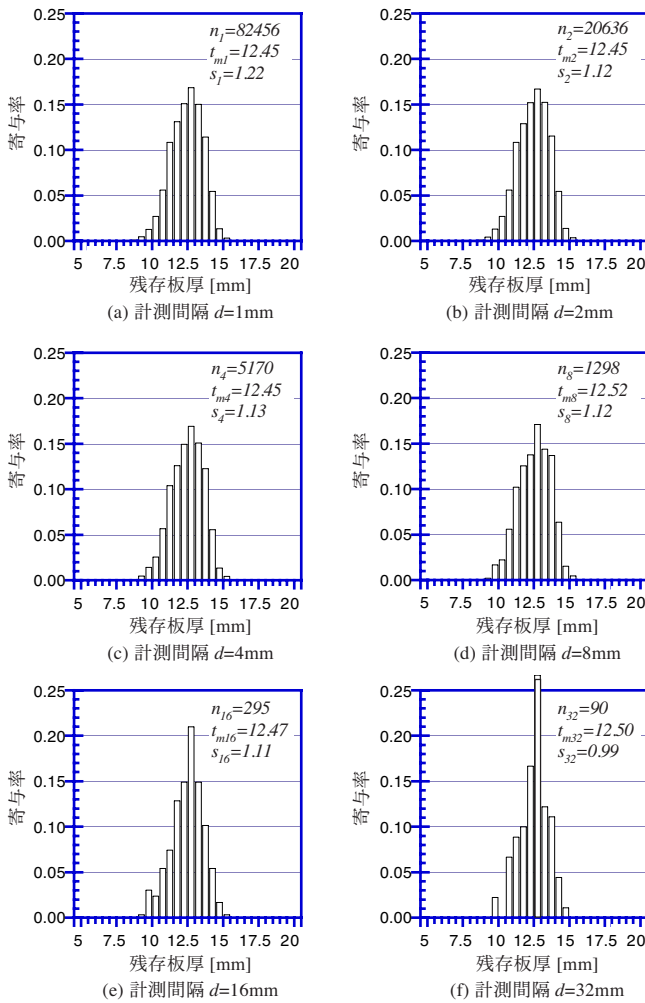


図-13 計測間隔と残存板厚分布

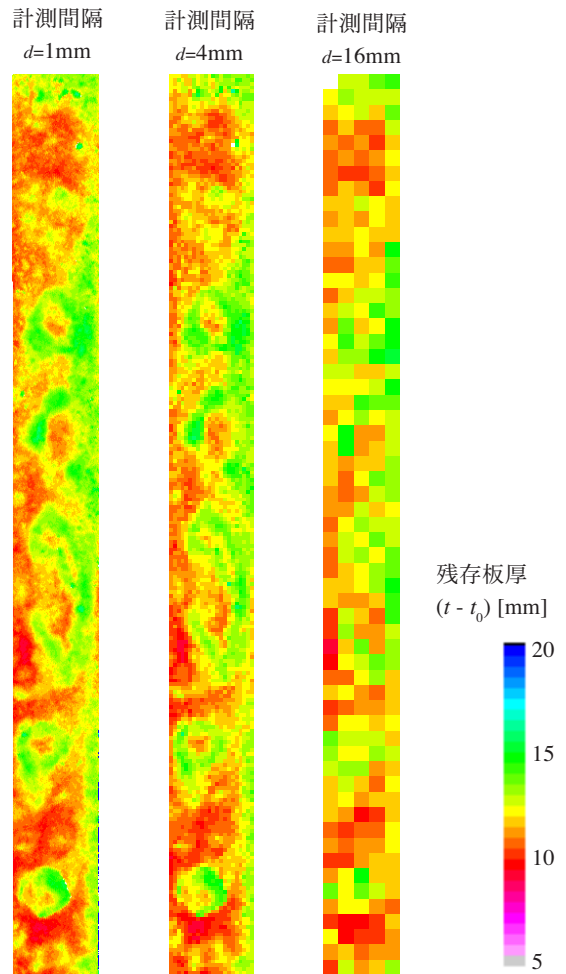


図-14 計測間隔と残存板厚分布

これらの腐食特性値がどのように変化するかを検討する。

今回のレーザ式変位計を用いたB面試験体の腐食計測では、計測間隔 $d=1\text{mm}$ としたが、ここでは計測間隔 d_i を2,4,8,16,32mmと大きくした場合について考える。図-13および図-14は、飛沫帯の一部分[+1450,+2400]において、計測間隔を拡げた場合の計測点数 n_i 、平均板厚 t_{mi} 、標準偏差 s_i (ここで i は計測間隔 d を意味する)および板厚分布を示したものである。図-13の板厚頻度分布は、0.5mm区間ごとの頻度を n_i で除した無次元量である寄与率で表している。

図-13を見ると、(a)から(f)へ計測間隔 d が32mmとなっても、平均残存板厚は12.45mmから12.50mmへとほとんど変化しないが、標準偏差については、 $d=2$ において $s_2=1.12$ となっている。これは、この飛沫帯において観察された腐食モードに、孔径が1mm程度の腐食が多く存在したことで、これらの腐食モードを捉えきれなくなったためと考えられる。 $d=4\sim 16\text{mm}$ では、頻度分布形状もほぼ $d=2\text{mm}$ の場合と変わりなく、標準偏差も1.12前後である。 $d=32\text{mm}$ と

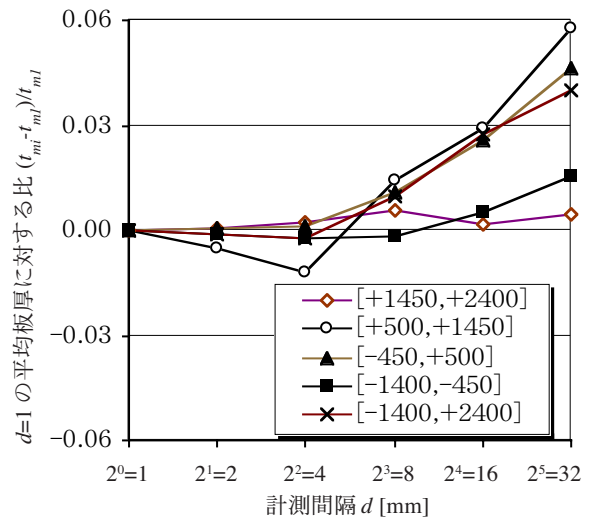


図-15 計測間隔と平均板厚推定精度との関係

なると、 $s_{32}=0.99$ と変化が見られ、満潮位付近に存在するやや大きめの孔径の腐食モードを捉えきれなくなっていることがわかる。

その他の計測区間においても同様に、それぞれ計測間隔と平均板厚との関係を調べると、図-15のようになる。ここで縦軸は、 $d=1$ の場合を基準とした平

均板厚の無次元量で、正の側は $t_{mi} > t_{m1}$ を、負の側は $t_{mi} < t_{m1}$ を意味する。

飛沫体上部(◇:[+1450,+2400])と比較して、干満帯～飛沫帯下部(○:[+500,+1450]及び▲:[-450,+500])では、計測間隔が大きくなると、平均板厚は徐々に大きくなり、 $d=16\text{mm}$ よりも大きい計測間隔では、 $d=1\text{mm}$ の場合と比べて約3%以上の違いが生じている。この理由として、図-10に示すように干満帯における試験体の板厚変化が大きいことに加えて、この範囲の腐食形状が、2.(2)で示したように直径3～8mmの孔食によって支配されており、この腐食モードを捉えきれなくなったためであると考えられる。結果として凹の腐食モードを把握できなくなるために、 $t_{mi} > t_{m1}$ となった。

海中部区間(■:[-1400,-450])では、周期が長い層状さびが形成されているため、計測間隔の影響は干満帯～飛沫帯下部よりも大きくなかった。

測定範囲全区間(×:[-1400,+2400])では、 $d=8\text{mm}$ での平均板厚 t_{m8} の t_{m1} に対する誤差は0.96%となった。

以上のように、計測間隔と板厚分布との間には、対象とする腐食試験体の腐食性状によって異なる特性を示す。干満帯等の標準偏差が大きい腐食性状を有する場合において平均板厚を推定する場合は、腐食形状に即して測定間隔を密にする必要がある。

一方、海中部のように標準偏差が小さく穏やかな腐食周期を示す場合は、それほど計測間隔を密にしなくても、精度よく平均板厚を推定することが可能である。飛沫帯も全面に大きな腐食量を有するので、標準偏差は小さい。このような場合は10mm程度の計測間隔でも、十分な精度で平均板厚を推定できる。

5. 結語

本研究では、19.5年海洋曝露された普通鋼アングル材(SS400)を対象にして、精密な測定を行ない、腐食形状、板厚減少量、腐食速度などの腐食形態の評価および計測間隔の違いによる表面形状の再現性などについて検討した。以下に本研究で得られた成果を示す。

(1) 海洋環境下に曝露された鋼アングル材を、レーザ式深度計測装置を用いて残存板厚を精度よく計測した。海洋環境下で腐食した鋼材のミクロ的な腐食表面性状を正確に再現するためには、 $d=300\mu\text{m}$ 程度の計測間隔があればよい。

(2) 腐食損傷の激しい部分は飛沫帯であり、その年平均腐食速度は0.4mm/年程度であった。次いで海中

部、干満帯の順の腐食速度となった。

(3) 曝露開始後の早期の腐食速度が大きく、10年経過後はほぼ一定の腐食速度となった。曝露開始直後から曝露期間10年にかけて腐食速度が低下している要因としては、腐食生成物の蓄積や生物の付着の影響によるものと考えられるが、より詳細な調査研究が待たれるところである。

(4) 分散が大きい腐食性状を有するほど、精度よく平均板厚を推定するためには、計測間隔を小さくしなければならぬ。今回の曝露試験体では、腐食の最も著しい飛沫帯において、10mm程度の計測間隔で、十分な精度で平均板厚を推定できることが分かった。従って、気中部、飛沫体、干満帯、海中部の各々の平均板厚を用いて、腐食部材の残存耐荷力評価を行うことができる。

今回の成果は、厳しい腐食環境下で曝露されたある特定の無防食試験体の計測結果であるため、その適用性については、今後無防食および防食鋼材を対象として多くの異なる環境下におけるデータを蓄積していく必要がある。

謝辞：本研究は、(社)土木学会・構造工学委員会・沿岸環境における鋼・複合構造物の防食および耐久性評価に関する研究小委員会の研究成果をまとめたものである。社団法人日本鉄鋼連盟および委員の方々から貴重な試験体の提供ならびに有益な助言を頂いた。ここに記して、深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山本正弘, 広沢規行, 吉田耕太郎, 加藤忠一, 羽田隆司: 海洋で曝露した鋼材の腐食形態の解析, Zairyo-to-Kankyo, No.41, pp.803-808, 1992.
- 2) 田村 巧, 渡邊英一, 伊藤義人, 藤井堅, 野上邦栄, 杉浦邦征, 永田和寿, 岡扶樹: 海洋環境において腐食した鋼管の形状計測と残存耐力に関する検討, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1103-1110, 2005.
- 3) 杉浦邦征, 田村巧, 渡邊英一, 伊藤義人, 藤井堅, 野上邦栄, 永田和寿, 岡扶樹: 腐食鋼板の力学特性評価のための板厚計測および有効板厚に関する考察, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.679-687, 2006.
- 4) 藤井 堅, 近藤恒樹, 田村巧, 渡邊英一, 伊藤義人, 杉浦邦征, 野上邦栄, 永田和寿, 岡扶樹: 海洋環境において腐食した円形鋼管の残存圧縮耐力, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.721-730, 2006.
- 5) 杉浦邦征, 渡邊英一, 伊藤義人, 藤井堅, 野上邦栄, 永田和寿: 腐食鋼板の圧縮強度の簡易評価法に関する検討, 土木学会論文集A, Vol.63, No.1, pp.43-55, 2007.1.
- 6) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 1999.

- 7) (財) 沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(改訂版)，1993.
- 8) 東京都港湾局：東京港腐食対策手引書(改訂版)，1998.4.
- 9) 山沢哲也，野上邦栄，森猛，塚田祥久：腐食鋼辺材の腐食形状計測と曲げ耐力実験，構造工学論文集，Vol.52A，pp.711-720，2006.
- 10) (社)鋼材倶楽部：海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究・共同研究記録(その16) 1998年度，1999.
- 11) (社)日本鋼構造協会：土木構造物の点検・診断・対策技術，第11章港湾構造物，pp.291-303，2005.
- 12) (独)土木研究所，(財)土木研究センター，(社)日本鉄鋼連盟，(社)プレストレストコンクリート建設協会：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－海洋曝露20年の総括報告書－，2006.
- (2007.3.6 受付)

CORROSION SHAPES OF STEEL ANGLE MEMBER
UNDER OCEANIC EXPOSURE DURING 19.5 YEARS

Tetsuya YAMASAWA, Kuniei NOGAMI, Yoshito ITOH, Eiichi WATANABE,
Kunitomo SUGIURA, Katashi FUJII and Kazutoshi NAGATA

This paper discusses the corrosion shapes and measurement method of steel angle member under oceanic exposure which measured precisely with two types of laser equipment. From the measurement result, the distribution of remaining thickness and property of corrosion shapes are obtained. We also compared the measured thickness by a laser equipment with the past data which measured by a micrometer.