

苫小牧沿岸域における底質中の Fe による腐食への影響

Influence of Ferrum on corrosion in the sediment of Tomakomai coastline

苫小牧工業高等専門学校専攻科創造工学専攻
苫小牧工業高等専門学校創造工学科

○学生会員
正会員

中澤愁杜 (Shuto Nakazawa)
松尾優子 (Yuko Matsuo)

1. 研究背景

苫小牧港湾は国際拠点港湾にも指定されており、物流および工業の拠点として発展しており、多くの鋼構造物が港湾施設や工場施設に用いられている。そのため地域における腐食特性を把握することは重要である。一方、北海道苫小牧市湾岸は砂鉄鉱床であり、その底質中には強磁性の砂鉄が多く含まれている¹⁾。申請者らは、これまで苫小牧港湾内で鋼材の曝露試験²⁾を行っており、定期的に試験片の引上げ調査を行うなかで、海底付近(-4m)の鋼板には粒子が細かい砂鉄が鋼板全面に付着し、その部分は著しく腐食が進行していないことに気が付いた。これまで、海中の曝露試験等が行われてきたが、鋼板に砂鉄が付着する事例は報告されていない。また、砂鉄の主成分であるマグネタイトが鋼材の腐食に及ぼす影響に関する研究事例³⁾は少なく、それが腐食の促進または抑制効果をもたらすか明らかになっていない。

そこで、本研究では苫小牧沿岸域の底質に含まれる砂鉄に着目し、それらが鋼構造物の腐食に与える影響を明らかにすることを目的とする。本稿では、この底質中の Fe の状態分析と、陸上構造物への腐食を想定した腐食加速試験(サイクル試験)の結果を報告する。

2. 苫小牧沿岸域の底質中の Fe の状態分析

本研究で用いた砂鉄試料は、苫小牧沿岸域の海砂から磁石を用いて選別し試料(写真-1)とした。砂鉄量は採取した海砂の重量 10% を占め、密度は 3.35g/cm^3 であった。

(1) 蛍光 X 線分析

砂鉄試料の構成元素を調べるため、蛍光 X 線分析(真空雰囲気)により採取した試料の元素分析を行った。その結果を表-1 に示す。Fe や Ti、Mg など一般的な砂鉄成分のほか、Si、Ca についても構成元素として検出された。また、表内の質量%より Fe は試料全体の 56% を占めることが確認された。

(2) X 線回析分析

蛍光 X 線分析で確認された構成元素のうち、特に Fe 元素の状態を調べるため同一試料を 1000°C 、1h で焼成し X 線回析分析(Bruker D8 ADVANCE)を行った。図-1 に X 線回析分析の結果を示す。ここで縦軸は X 線光子の読み取り数 Counts を、横軸は角度 2θ を表し、図上の各記号は該当する化合物のピークが現れた箇所を示している。図よりマグネタイト(Fe_3O_4)、ヘマタイト(Fe_2O_3)、石英(SiO_2)、ドンピーコー輝石($\text{MnMgSi}_2\text{O}_6$)、が検出された。試料の色が黒色で磁性をもち、表-1 の構成元素で Fe の割合が多いことから、苫小牧沿岸域の砂鉄を構成する主成分はマグネタイトであることが推察される。

表-1 蛍光 X 線分析結果

元素	質量%
Fe	56.259
Si	23.908
Mg	5.706
Al	4.834
Ti	3.877
Ca	3.272
Mn	1.161



写真-1 砂鉄試料

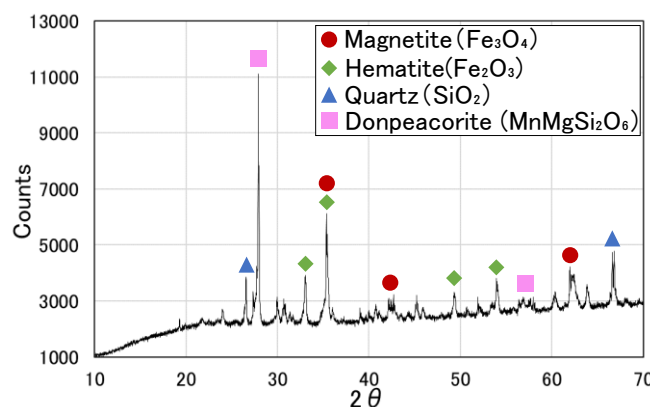


図-1 X 線回析分析結果

3. 腐食加速試験 (サイクル試験)

砂鉄が腐食に与える影響を調べるため、サイクル試験を以下の内容で 10 日間実施した。

- 試験片は鋼板 SS400(100×50×6mm)を使用し、保護材としてシリコンを鋼材側面と裏面に塗布した。試験条件は下記の 3 パターンで、2 枚ずつ設置した。
 - A: SS400 のみ(付与なし)
 - B: SS400 + 珪砂 30 cm^3 付与
 - C: SS400 + 砂鉄 30 cm^3 付与
 砂鉄は前項の分析した試料と同一の試料を用い、珪砂の粒度分布は砂鉄と均一(0.075mm~0.250mm)となるよう調整した。
- 乾湿サイクル(図-2)は恒温槽を用いて温湿度管理をした。湿潤状態(WET)では、槽内に水蒸気発生源を設置し槽内の湿度を 95%RH 以上に保持した。
- 塩水塗布には、海水に食塩を添加し塩分濃度 5% に調整した塩水を用いた。付着工程では、ピペットにて塩水 40 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ をまんべんなく塗布した。
- 腐食加速試験終了後、各試験片の重量減量、板厚減少量、腐食深さを測定した。

4. サイクル試験結果と考察

図-3にサイクル試験開始前および10日目の試験片の腐食状況を示す。試験片表面を比較すると、Aは比較的平坦な全面腐食であるのに対して、B、Cは凹凸がより顕著であることが確認できる。

図-4に各試験片の腐食量を示す。腐食量は電子秤(0.001g 精度)でサイクル試験前後の重量減量を測定し、試験片面積(50cm²)と試験時間(240hr)で除し、単位時間あたりとして算出した。なお、試験後の重量測定では、試験片を9.5%の塩酸に浸し腐食生成物を除去してから測定した。図-4より、条件Cの砂鉄を付与した試験片の腐食量がA、Bと比較してわずかに大きかった。

図-5に各試験片の凹部の腐食深さを示す。腐食深さは共焦点レーザー顕微鏡(0.001μm 精度)で、試験片の中心および腐食が著しい箇所4点、計5点の凹部の深さを測定し、その平均値とした。Aと比べB、Cの腐食深さが大きく、これは試験片に付与した珪砂、砂鉄試料が粒状であったために隙間腐食による孔食が発生したと考察される。また、Bと比較してCの腐食が約5μm深い。図-4が示すようにCは腐食量が大きく、深さ方向に腐食が進展したと考えられる。

図-6に各試験片の腐食速度を示す。棒グラフの腐食速度は超音波厚さ計(0.01mm 精度)で測定した試験前後の試験片厚さ(10点測定の平均値)の差異である。図より、腐食速度はC、B、Aの順に大きい。

次に、プロットで示す「腐食深さ/侵食度」は図-5の凹部の腐食深さと侵食度の比であり、侵食度は図-4の腐食量に試験時間を乗じ、鋼材密度(7.85g/cm³)で除したもので、平均的な減肉量を表している。図より砂鉄、珪砂を付与した鋼板は腐食が不均一で、局部的に腐食している傾向にあることがわかる。

5. 結言

本研究では以下のことが明らかになった。

- 1) 苫小牧湾岸域の砂鉄の主成分はマグネタイトであり、その他にヘマタイト、石英、ドンピコー輝石が構成化合物として検出された。
- 2) サイクル試験の結果では砂鉄を付与した鋼板の腐食量および腐食深さが大きくなった。
- 3) 珪砂、砂鉄を付与した鋼板は深さ方向に腐食が進行する傾向がみられた。

今後は海水浸漬試験を実施し、海水中での砂鉄と鋼材腐食の関係性を検討したい。

参考文献

- 1) 須藤定久、有田正史、藤橋葉子：北海道の浜と砂(5)石狩湾・積丹半島・噴火湾の砂、地質ニュース、No651、pp.58-68、2008。
- 2) 松尾優子、林和哉：苫小牧港湾の鋼板の腐食要因に関する検討、土木学会第77回年次学術講演会、I-49、2022。
- 3) 柴田俊夫、瀬尾真浩ほか3名：マグネタイト共存下における炭素鋼の腐食挙動に関する研究の現状と課題、材料と環境、No54、pp.2-8、2005。

塩水塗布(SST) 40μl/cm ² ,5%	SST	0.5h	1 day cycle
	WET	1.5h	
	DRY	1.5h	
湿潤(WET) 95%RH以上,70°C	SST	0.5h	
	WET	1.7h	
乾燥(DRY) 10%RH以下,80°C	DRY	1.5h	
	試験片外観撮影、SST	0.5h	
	WET	16.3h	

図-2 腐食加速試験サイクル条件

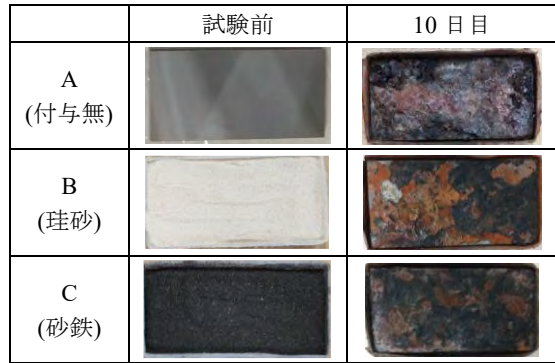


図-3 試験片腐食状況

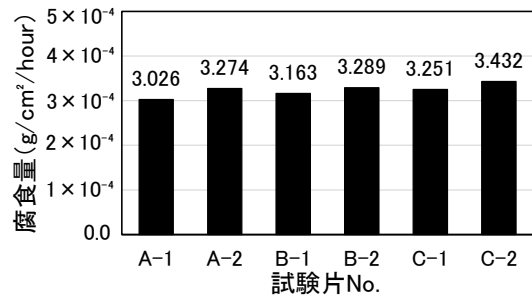


図-4 腐食量

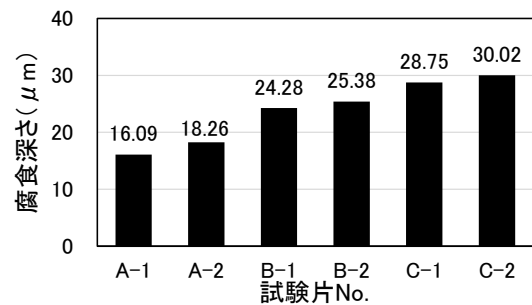


図-5 凹部の腐食深さ

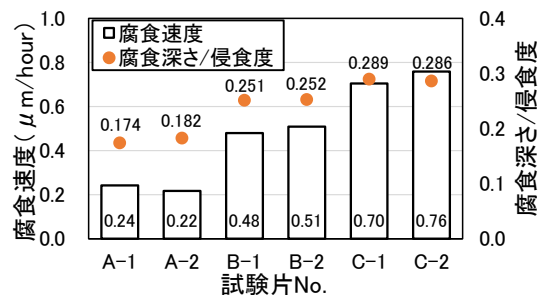


図-6 腐食速度