

鑄鉄の黒鉛化現象について

池野一成*, 山谷尚弘**, 高橋淳***,
中村慎太郎****, 中谷俊彦*****

About the graphitization phenomenon of cast iron

IKENO Kazunari*
YAMATANI Naohiro**
TAKAHASHI Jun***
NAKAMURA Shintaro****
NAKATANI Toshihiko*****

The degree of corrosion of steel in seawater is approximately 0.2 mm/year, regardless of the location. For cast iron, the corrosion of the base iron and leaving only graphite on the surface is called graphitization corrosion. Cast iron valves are often used in seawater system piping on ships, and we thought that the force applied to the seawater system piping caused damage to the seawater valve. and examine the degree of corrosion.

キーワード：鑄鉄，黒鉛化現象

1. はじめに

鉄鋼の海水中の侵食度は場所によらずほぼ0.2 mm/Year 程度である。鑄鉄は地鉄が腐食されて、黒鉛のみが表面に残る。これを鑄鉄の黒鉛化腐食と呼ばれ、黒鉛化した表面は機械的に弱いが下地を保護する能力がある。今回の研究では、海水系配管には鑄鉄製バルブが多用されており、海水系配管のずれによりバルブ本体に引っ張り、圧縮力がかかり海水弁が急に破損に至る場合があるのではないかという疑念から海水流路中に応力を掛けた試験片を置き、腐食の程度を調査することとした。

* 練習船若潮丸
e-mail: ikeno5176@nc-toyama.ac.jp
** 練習船若潮丸
e-mail: yamatani@nc-toyama.ac.jp
*** 練習船若潮丸
e-mail: jtakahashi@nc-toyama.ac.jp
**** 練習船若潮丸
e-mail: nakamura0116@nc-toyama.ac.jp
***** 商船学科
e-mail: nakatani@nc-toyama.ac.jp

2. 鉄(Iron)と鋼(Steel)

鉄鉱石をコークスで溶かして銑鉄ができる。銑鉄は多量の C の他に Mn, Si, P, S 等の不純物を含みもろくて鍛錬ができないので製鋼用原料とするほか、鑄造用として適当な物は、鑄鉄(Cast Iron)としてそのまま用いられる。鑄鉄品ができる工程を図1に示す。(1), (2)

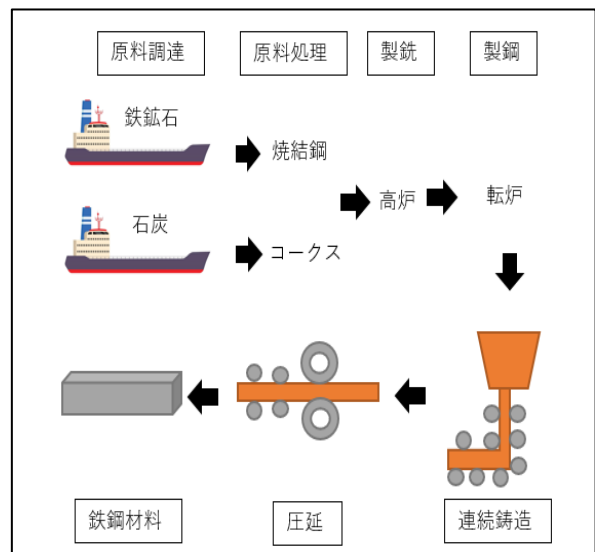


図1 鑄鉄品のできるまで

製鋼は、静鉄と鉄くずを原料として炭素その他の不純物をのぞき鋼塊(Ingot)をつくる。銑鉄は堅くてもろいが、鋼は粘りと伸びの性質がある。鑄鉄と鋼の区別は、C が鉄中で完全に固溶する最大限の2%で分けC量が0.008%~2.0%が鋼で、2.0%以上が鑄鉄となる。鑄鉄は、鉄・炭素及び珪素などからなる合金で鑄物に使用されることから名付けられた名称である。鑄鉄の組織は、含有化学成分・冷却速度などにより著しく異なる。鑄鉄の組織を考える上で重要なことは、鑄鉄中の炭素形状・寸法・量及び分布状況である。鑄鉄中の炭素は、鉄と固溶体を作るほか、鉄と炭素のかたい化合物であるセメンタイトとして存在するか、または遊離して黒鉛となって存在するかの3通りである。鑄鉄を破面の状態で分けると、ねずみ鑄鉄、白鑄鉄、まだら鑄鉄となる。ねずみ鑄鉄は破面がねずみ色で材質は柔らかく粘り。パーライト鑄鉄は、組織がパーライトと黒鉛からなる。フェライト鑄鉄は、フェライトと黒鉛からなる。パーライト・フェライト鑄鉄は、パーライト、フェライト、黒鉛からなる。(3), (4), (5) ねずみ鑄鉄の組織の模型を図2に示す。

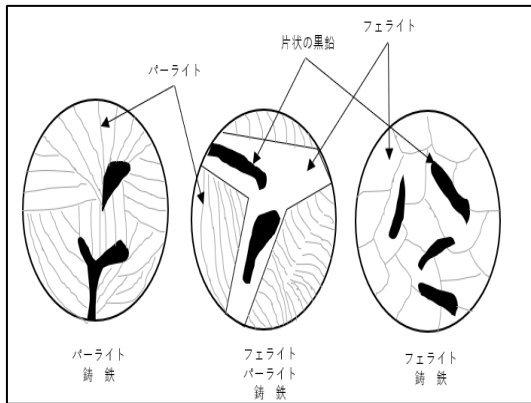


図2 ねずみ鑄鉄の組織の模型

3. ねずみ鑄鉄の組織と性質

図3に分布黒鉛の各種形態を示す。図3に見るように、パーライトにフェライトを混ぜた基地粗大片状黒鉛が分布するかたちとなる場合が多い。黒鉛の形状と分布状態も鑄鉄の性質に大きな変化をもたらす物で、黒鉛の形状・分布の調整は機械的

性質の改善上非常に重要なことである。(6)

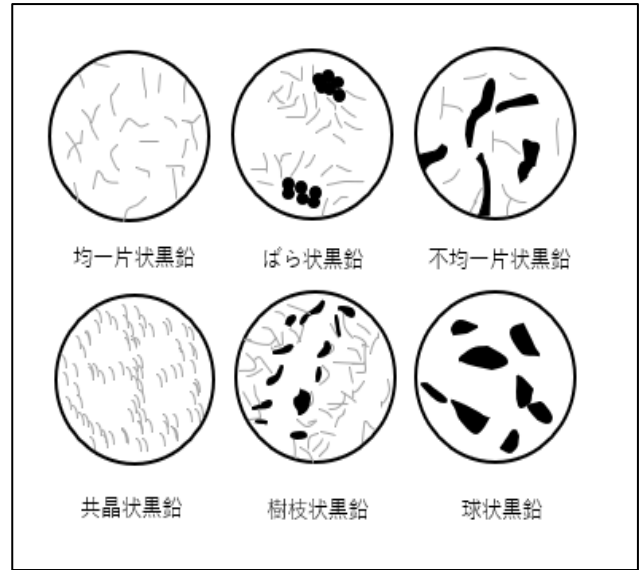


図3 分布黒鉛の各種の形態

鉄中のCは鑄鉄の性質に与える影響がもっとも著しいが、その他にSi,P,S,Mnの機械的性質を表1に示す。その他に与える影響として、物理的性質強さについて、鑄鉄の機械的性質はフェライト、パーライト、及び黒鉛の割合、形状分布により著しく異なり、圧縮強さは、引っ張り強さの3~4倍である。疲れ強さは、引っ張り強さの0.4~0.9倍である。耐摩耗性は、優れているため、シリンダライナ、ピストンリング、クラッチ板に用いられる。遊離黒鉛を析出しているため黒鉛そのものが柔らかく潤滑作用をなすばかりでなく、潤滑油を使用したとき黒鉛が潤滑油を保持し、良好な油膜形成を助ける。耐熱性は、使用温度に限界がある。高温に長時間さらすか、加熱・冷却を繰り返すと、高温で不安定な状態にあるセメンタイトが、鉄と黒鉛に分解し、黒鉛化によって鑄鉄が膨張して在室がもろくなり酸化を受けて使用に耐えなくなる。耐振性について、鑄鉄製のクランク軸、カム軸は振動による影響が少ない。鑄鉄の減衰性能は公に比べて黒鉛の存在によりきわめて良好である。耐食性について、ブローホールがあると局部的に侵食されやすい。水道管や水道のバルブに鑄鉄が用いられるのは水による耐食性に優れているからである。黒鉛がさびなどの腐食性物質の間に挟まり腐食の侵攻を防ぐと考えられている。キャビテーションが起

こる場合は、著しく侵される。海水に対してもかなり強い耐食性があるとされるが、港やドックの近くの不純な海水は耐食性を悪くする。(5)、(6)

表1 機械的性質

Si	量が多くなれば黒鉛は多くなる。流動性を改善するが、3%以上になると鑄鉄はもろくなる。
P	大部分のFeと化合してかたいリン化鉄を作る。フェライト、セメントタイトと三元共晶のステタイトを形成し鑄鉄をかたくするが、靱性を減少させる。
S	鑄鉄の流動性を低下させる。ブローホールの発生原因をつくり、収縮量を増して亀裂を発生させることがある。
Mn	Sの害を防止させるため0.4%~0.9%添加され、MSnとして脱流作用をする。

4. 実験方法

サニタリ系統(海水ライン)に2つの試験片を置き、応力有り、応力無し黒鉛化状態を比較検討する。鑄鉄弁の材質は、JIS F 7307で5k鑄鉄弁の弁箱またはJIS G 5501 FC200、弁棒、弁座はBC,SUSに区分けされる。FC200の機械的性質である引っ張り強さは、200N/mm²以上、硬さHBは223以下である。試験片は、板状試験片とし、鑄鉄バルブと肉厚が同じ14B号試験片の形状寸法で実験を開始した。試験片の概要を図4に示す。幅(W)は、8T以下、肩部の半径(R)は、15以上、厚さ(T)はもとの厚さのままである。標点距離(L)と平行部(P)について以下に数式で示す。単位mmである。(4)

$$L = 5.65\sqrt{A} \quad (1)$$

$$P = L + 1.5\sqrt{A} \sim L + 2.5\sqrt{A} \quad (2)$$

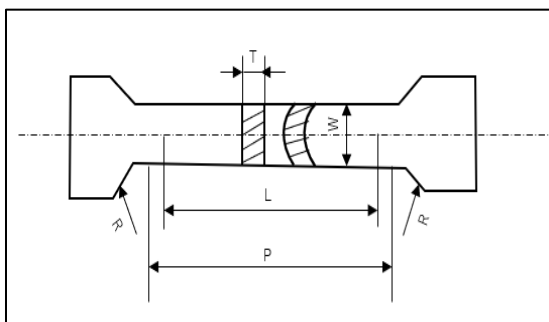


図4 試験片概要

試験片は9Φ×50mm 鑄鉄棒を用い一方は肌締め、もう一方は肌締めから1回転締め付けて設置した。図5のようにポンプ出口上流側と下流側に試験片を取り付けた。

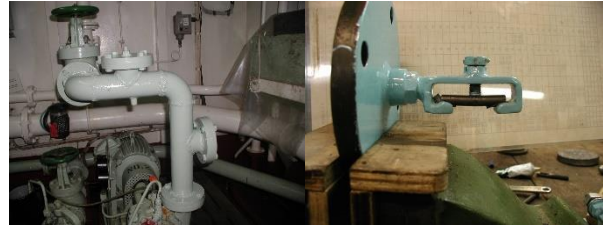


図5 試験片設置状況

5. 実験結果

図6は設置後10日間海水を流したのち試験片を取り出したものである。左側は肌締めから1回転締めて応力を掛け、右側は肌締めのみである。はっきりとはわからないが右側中央部には、若干の黒鉛化現象なるものがすでに現れ始めている。図7は、40日後の写真で、左が応力有り試験片、右が応力無し試験片である。図8は、60日後の写真であり、左が応力有り試験片、右が応力無し試験片である。図9は、左が応力有り、右が応力無しの写真である。図10は試験片をウェスで拭き取った写真であり、左が応力有り、右が応力無しの写真である。図11がウェスで拭き取り後にサンドペーパーで削った試験片の写真である。試験片を海水から取り出したのみでは、表面の錆が進行しているのは確認できる。ウェスで拭き取ると、応力無しの試験片の方が大きめの穴が多く見られた。サンドペーパーで削ると左の応力有りの試験片の方にクロス状の傷が多数見られ、大きめの穴はやはりかわらず応力無しの試験片に多く見られた。



図6 10日後の写真



図7 40日後の写真



図8 60日後の写真



図9 65日後の写真



図10 ウェス拭取試験片



図11 ペーパー削り試験片

6. おわりに

今回の実験では、応力を掛けた方が傷や穴が多く見られると考えていたが、結果としては応力有りの方は引っかき傷やクロスした傷等が見られたが、応力無しの方が傷の程度としては全体的にひどい印象を受けた。そうなれば、海水系配管のずれよりバルブ本体に引っ張り、圧縮力が掛かっていても海水弁の急な破損との結びつきがあるのかは、この結果で因果関係ありそうとはならなかった。今回、サニタリ系統では、ポンプの切り替えを月ごとに行っているため、約1月の休止期間があった。今後は試験片置き場をセントラル冷却海水系統に移して実験を行うこととしたい。海水吸入口（シーチェスト）と中間弁の間のストレーナー部に試験片を挿入予定。バルブに掛かる応力を計測するべく計測器具を選定し、3つの試験片を置き（応力を掛けない、少し応力を掛ける、もう少し応力を掛ける）黒鉛化状態及び機械的弱さを比較検討していきたい。評価の方法としては、外部の目視、引っ張り強さの計測を実施しようと考えている。

参考文献

- (1) 日本鋳鉄連盟,
<https://www.jisf.or.jp/kids/shiraberu/index.html>
- (2) 井川克也, 鋳鉄における新技術, 鉄と鋼 67(16), 2580-2587(1981)
- (3) 腐食防食協会, 材料環境学入門, 丸善出版, P73 (1993)
- (4) 川口忍, 濱中亮, 田川哲哉, 片状黒鉛鋳鉄の疲労強度に及ぼす平均応力の影響とその支配機構, 鉄と鋼, 98(8), 442-448(2012)
- (5) 茶川隆次, 大谷利勝, 各種純鉄の諸性質. 鉄と鋼, 50(1), 42-47(1964)
- (6) 腐食防食協会, 金属の腐食・防食Q&A, 丸善出版, P6(1988)