

竹中技術研究所 ○ 吉岡 保彦
米澤 敏男

1. まえがき 鉄筋の腐食の限界量は、海洋コンクリート構造物等のコンクリート構造物の寿命を評価するうえで、腐食の発生条件や腐食速度等とともに重要な要因である。腐食量がある量に達すると腐食膨張応力により鉄筋にひびわれが発生し、鉄筋とコンクリートの付着強度が低下し、以後の腐食速度も著しく大きくなるため、この時点¹⁾を腐食の限界状態とする考え方が、Tuutti, Browne²⁾その他の各氏によって報告されている。この状態に対応する腐食量を、部材の形状、鉄筋径、かぶり、鉄筋間隔等の多くの要因を考慮して評価するためには、鉄筋周囲に発生する腐食応力を把握する必要があるが、そのために必要な腐食生成物の力学的特性に関するデータは、今の所皆無である。そのため、海洋環境を想定した塩水中での電食により一次的に腐食を発生させ、腐食生成物の力学的特性について基礎的な検討を行った結果を本文で報告する。

2. 実験概要 川崎製鉄製異形棒鋼D51から $15.5 \times 3.5 \times 2.5$ cmの直方体を切り出し、800番サンドペーパーで研磨した 15.5×3.5 cmの二面に対し、 $15.5 \times 3.5 \times 6.0$ cmのモルタルを打設したものを供試体とし、モルタルと鋼材との付着面に腐食を発生させた。実験は、自由に腐食膨張させる場合と、丸鋼(φ12, φ10, φ8の三種)4本による拘束条件下で腐食膨張させる場合について行った。鋼材の非腐食面とモルタル表面の鋼材側半分は、ウレタン系塗料とゴム系アスファルトシートによりコーティングした。供試体の概要を拘束条件下のものについて図-1に示す。腐食による鋼材厚さの変化は、 Ω 型変位形(出力 2000×10^{-6} mm)により測定した。腐食による膨張応力は丸鋼の歪から換出した。モルタルには普通セメントと標準砂を使用し、 $W/C=0.55$, $S/C=1.6$ とした。またセメント量の0.1%に相当するNaClを添加した。電解液としては、3% NaCl水溶液を使用し、陰極には銅板を用いた。電食は14Vの定電圧で行った。試験はモルタルの材令2日から開始した。通電終了後、万能試験機を用いて腐食面に垂直に載荷し、腐食生成物の応力～歪曲線を求めた。その後、ASTM, G1に準じてAmmonium Cytrate水溶液により除錆を行い重量減少を測定した。

3. 実験結果 重量減少と通電した電気量との関係を図-2に示す。腐食による鋼材厚さの増加と腐食したものの鋼材の厚さの比として求めた膨張率も、重量減少に対してプロットしたものを図-3に示す。拘束下の膨張率は、通電終了後、丸鋼による拘束を解除した時点での変位による膨張率である。載荷試験により求めた腐食生成物の応力～歪曲線を図4, 5に示す。腐食膨張が極めて大きな変形であるため、基準

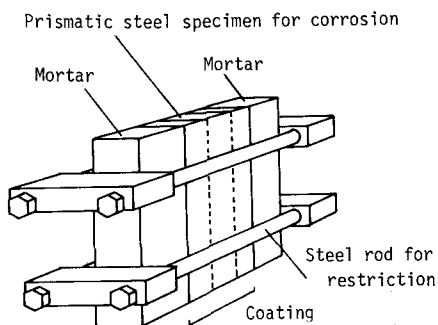


図-1 供試体の概要(拘束下)

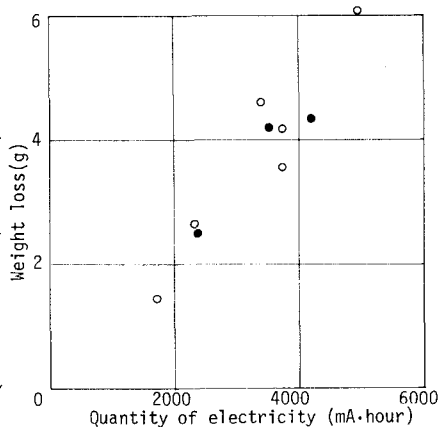


図-2 重量減少と電気量の関係

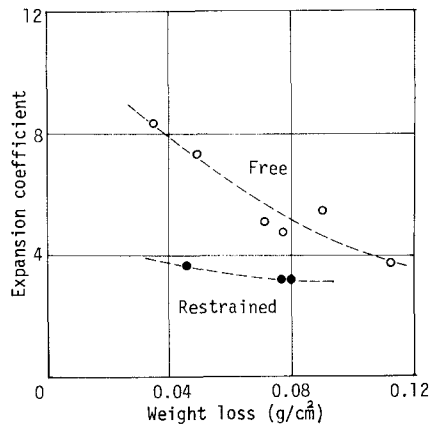


図-3 腐食膨張率と重量減少の関係

の長さによって歪量は大きく相異なるが、図-4, 5の歪は、載荷試験直前の腐食生成物の厚さを基準として求めたものである。図-6は、腐食膨張応力の経時変化を、図-7は、通電量と重量減少とが比例していることから、腐食量の代用特性として電気量を用い、単位の電気量に対する腐食応力増加の経時変化を示したものである。

4. 考 察 図-4の非拘束条件下の腐食生成物の応力～歪曲線は下に凸の形状を示し極めて塑性的性質の強い固体であるのに対し、図-5の拘束条件下の生成物は、比較的弾性的性質の強い固体であることがわかる。図-5の生成物は、図-6に示したように各々ある腐食応力を生じた後、除荷し、再載荷したものであるにもかかわらず図-4の非拘束下の生成物の除荷、再載荷の応力～歪曲線のパターンを示さない事は、両者が極めて性質の異った固体であることを示すものであり、非拘束下の膨張率と応力～歪特性から拘束下の応力を算定する通常の応力解析の手法が、腐食生成物には適用できない事を示している。しかし、拘束下の生成物の応力～歪曲線が、比較的弾性的で、2000～3000 kg/cm²程度のヤング率を示し、しかも拘束度、腐食度の違いに強くは影響されていないと考えられることから、この応力～歪曲線を腐食応力の算定に用いる事が可能と考えられる。これはまた図-7の単位の腐食量（電気量）の増加に対する応力の増加が、拘束度によって相異はしても、ある量腐食した後は、ほぼ一定である事からもある程度裏付けられる。ただし図-7の腐食量の少ない領域で発生する大きな応力については別の検討が必要であろう。図-3に示した拘束条件下の生成物の膨張率3～4は、非拘束条件下の膨張率程ではないが、重量減少にある程度依存するものの、拘束下の腐食生成物が比較的弾性的であるとする、腐食膨張応力を解析するための膨張率と考えるとよさそうである。

5. あとがき この実験により腐食生成物の腐食膨張率、剛性等に関する基礎的な知見を得ることができたが、実構造物における腐食応力を解析するためには、電食による腐食生成物と実際の腐食生成物との関連、腐食速度が腐食生成物の特性に及ぼす影響等、さらに検討が必要である。

5. あとがき この実験により腐食生成物の腐食膨張率、剛性等に関する基礎的な知見を得ることができたが、実構造物における腐食応力を解析するためには、電食による腐食生成物と実際の腐食生成物との関連、腐食速度が腐食生成物の特性に及ぼす影響等、さらに検討が必要である。

<参考文献> 1) RILEM Symposium 1979. 2) ACI SP-65 他

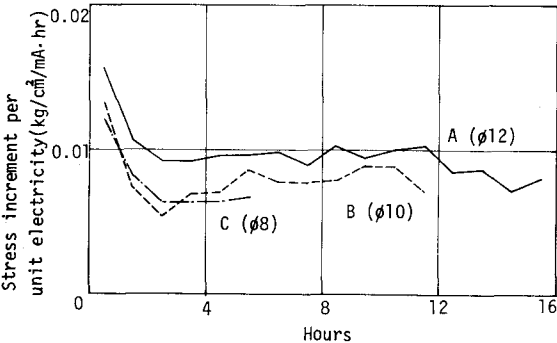


図-7 単位電気量当りの腐食膨張応力の経時変化

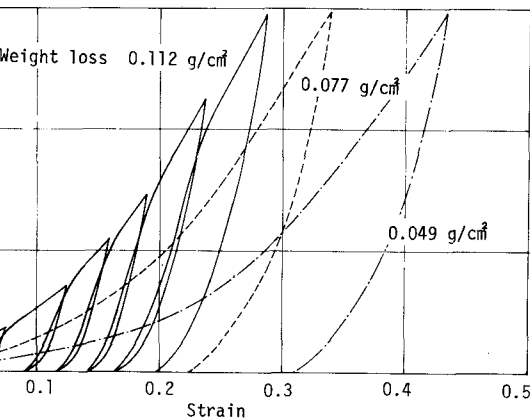


図-4 腐食生成物の応力～歪曲線（拘束なし）

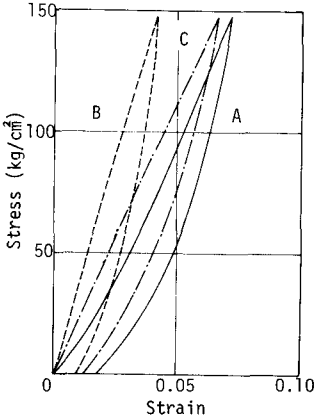


図-5 腐食生成物の応力～歪曲線（拘束下）

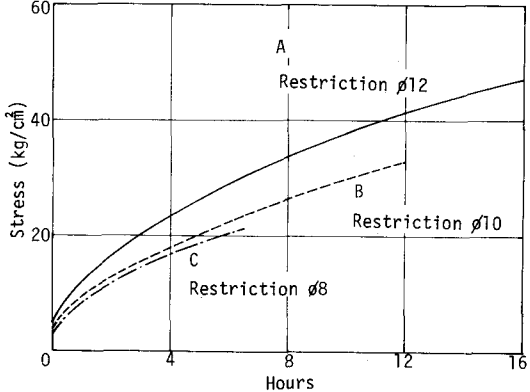


図-6 腐食膨張応力の経時変化