

(16) プレストレストコンクリート構造物への電気防食の適用に関する基礎研究

早稲田大学 理工学部土木工学科

関 博

運輸省港湾技術研究所 構造部材料研究室

福手 勤

中川防蝕工業 技術開発研究所

井川一弘

ピー・エス・コンクリート 技術研究所

正会員 ○ 石井浩司

1. まえがき

プレストレストコンクリート構造物は、高品質でメンテナンスフリーと考えられてきたが、近年、塩害による早期劣化現象が報告されるようになってきた。この塩害は、特に海洋コンクリート構造物などの鋼材腐食とそれに伴う損傷、劣化によるものである。

コンクリート中の鋼材腐食は電気化学反応に基づいており、その原理、特徴に関しては既に多くの知見が得られている。また維持、補修に関して様々な方法が研究発表され、施工段階に至っている。一方欧米においては、最も有効な防食方法として電気防食が注目され、研究発表、施工されており、我が国においても研究、開発⁽¹⁾⁽²⁾が行なわれつつある。

電気防食は、外部より防食電流を流すことにより鋼材上のアノード部とカソード部の電位差を無くし、マクロセルを消滅させ防食する方法であり、

(1) 塩分、酸素、水分等を遮断する必要がない。

(2) コンクリートのはつり作業が少ない。

(3) 防食効果のモニタリングが可能である。

(4) 長期の寿命と安価な維持費が期待できる。

等の特徴がある。

本研究はこの電気防食に注目し、海洋環境下での長期暴露試験(写真-1)、室内試験を通してプレストレストコンクリート構造物への適用性を検討することを目的とするものであり、

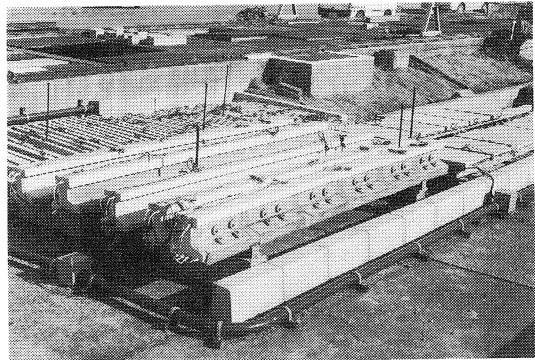


写真-1 長期暴露試験状況

表-1 供試体一覧表

試験内容	試 験 要 因														供試体形状 cm						
	室内設置	野外設置	塩分量 kg/m ³				電流密度 mA/m ²				鋼材			期間年			供試体個数				
			0	15	0	10	20	40	H ₂	①	②	③	0	1		2		3			
水素脆性に対する影響 (1)	○	○	○	○	○							○	○					○	12	6×6×180	
水素脆性に対する影響 (2)	○											○		○				○	—	—	
付着に対する影響	○		○	○	○	○						○	○						○	32	φ15×15
梁部材の力学的特性に対する影響	○	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	60	6×12×220
コンクリートの力学的・材料特性に対する影響	○		○	○	○													○	○	84	φ10×20
補修効果に対する評価		○	○											○					○	12	70×6×90
各種アノード材料を使用した電気防食適用試験		○	○											○					○	5	S106-325

①:SR24 φ9

②:SWPR7A T9.3

③:SWPR1 φ5

H₂:水素発生電流

表-1の試験一覧表に示すような項目、要因に対して試験を実施している。

今回は、表-1中の水素脆性に対する影響(2)の項目に関する試験結果の一部を報告する。

2. 試験方法

2-1 試験概要

防食電流を流すことによりカソード部の鋼材表面では、酸素還元反応



が起こり、さらにカソード分極が進むと、水素発生反応



が起こる。この生成した原子状水素の一部が鋼材へ吸蔵される。電気防食をプレストレストコンクリート構造物に適用する場合、この吸蔵された水素がPC鋼材の脆化を引き起こす可能性があるため重要な問題となりうる。

水素脆性の感受性評価試験方法は、応力の負荷方法により、①定荷重試験方法、②定ひずみ試験方法、③低ひずみ速度試験方法³⁾の3種類に大別される。

本研究は、定量性、迅速性、簡便さの点で優れている③の低ひずみ速度試験方法を用い試験片(SWPR1 φ5)の水素脆性感受性をひずみ速度、分極電位を試験要因にとり検討することにした。

2-2 試験方法

(1) 試験片

試験片としては、JIS G 3536に準拠したPC鋼線(SWPR1 φ5)のブルーイング処理材を用いた。試験に先だって中央部を切削加工(図-1)し、表面研磨後アセトンによる脱脂を行い、平行部以外はテフロンテープにより電気的に遮断した。表-2に試験片の機械的性質を示す。

(2) カソード分極試験

図-2に示すようにガラス製セルにコンクリート模擬水溶液として飽和Ca(OH)₂水溶液を入れ、塩分濃度は0, 3, 5%とした。試験片は(1)に示した試験片の無加工なものとし、対極に亜鉛アマルガム、白金メッキチタン、参照電極に酸化水銀電極、飽和カロメル電極を使用した。カソード分極試験は、上記水溶液を窒素ガスにより脱気し、カソード電解を行なった後に、20mV/minの掃引速度で行なった。

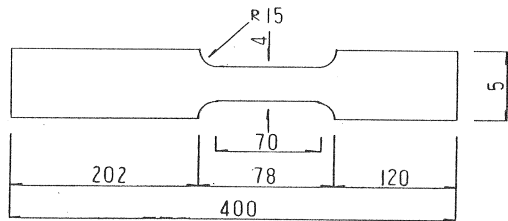


図-1 試験片形状

表-2 試験片の機械的性質

引張強さ (kg/mm ²)	降伏点強度 (kg/mm ²)	弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
175	158	2.0×10 ⁴	4.5	29.0

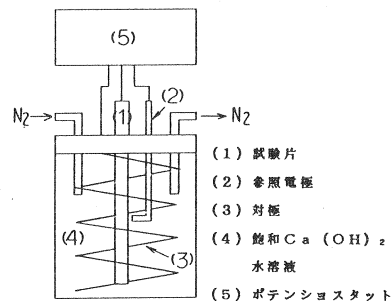
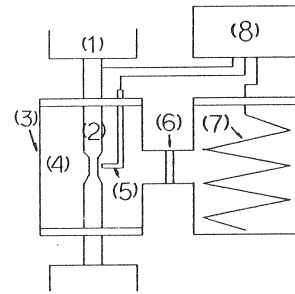


図-2 カソード分極試験概要図

(3) 低ひずみ速度試験

図-3に示すように樹脂製セルに塩分濃度0%の飽和Ca(OH)₂水溶液を入れ、参照電極に飽和カロメル電極、対極に白金メッキチタンを使用し、ポテンシヨスタットを用いてカソード分極を行い、同時に様々なひずみ速度で試験を行なった。なお、水溶液の温度は約20℃に保ち、脱気は行なわなかった。



(1) 低ひずみ速度試験機 (2) 試験片 (3) 試験槽
(4) 飽和Ca(OH)₂水溶液 (5) 参照電極
(6) 隔膜 (7) 対極 (8) ポテンシヨスタット

図-3 低ひずみ速度試験概要図

3. 試験結果

3-1 カソード分極試験

図-4にカソード分極曲線を示す。水素発生電位は、カソード分極曲線の右半分の直線部分を外挿することにより求めた。図より塩分濃度を0, 3, 5%に変化させても約-1000mV(vs SCE)であり、理論値とほぼ一致している。

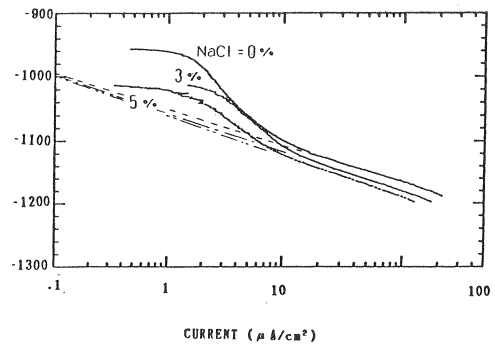


図-4 カソード分極試験

3-2 低ひずみ速度試験

(1) ひずみ速度の影響

図-5にひずみ速度を7.6, 3.8, 0.76 × 10⁻⁶ sec⁻¹に変化させ、水素発生電位・-1000mV(vs SCE)にカソード分極させた場合の絞り(断面収縮率)の変化を示す。これによると、空気中では絞りはひずみ速度に関係なくほぼ一定の値を示すが、カソード分極した場合、絞りはひずみ速度の減少にともない減少している。

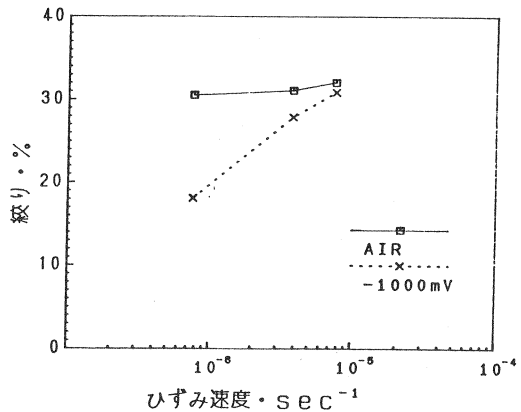


図-5 ひずみ速度の影響

カソード分極による水素チャージの下ではひずみ速度依存性を示すようになり、ひずみ速度が小さくなる程水素脆性感受性が増してくるものと考えられる。このため、以下の低ひずみ速度試験による水素脆性感受性評価試験では、主として0.76 × 10⁻⁶ sec⁻¹のひずみ速度を採用することにした。

(2) 分極電位の影響

図-6に分極電位を-800, -1000, -1200mV(vs SCE)に変化させた場合の応力-伸び線図の一例を示す。カソード分極を増すに従って試験片の機械的性質が低下していることがわかる。

また、試験片の脆化度の評価に脆化率・I (%) を用いた。

ここに脆化率・I は

$$IX = (X_{AIR} - X_{CATHOD}) / X_{AIR} \times 100$$

X: 伸び, 絞り, 降伏点強度, 引張強度, 破断強度

のように定める。

分極電位と脆化率の関係を図-7に示す。伸びを除き、他の機械的性質は-1000mV (vs SCE) よりカソード分極を増すと脆化率が大きくなり水素脆性感受性が増していることがわかる。しかし、SEMによる破面観察によると脆化している様子は見られず、いずれも延性破面であった。

4. まとめ

低ひずみ速度試験によりPC鋼線の水素脆性感受性評価試験を行なった結果をまとめると次のようになる。

(1) 水素発生電位は塩分量0, 3, 5%にかかわらず、約-1000mV (vs SCE) であった。

(2) 水素脆性感受性は、空気中ではほとんどひずみ速度依存性を示さないが、カソード分極のもとでは依存性を示すようになり、ひずみ速度が小さい程感受性は大きくなる。

(3) 水素発生電位より卑な電位に分極すれば、水素脆性感受性が増加し、機械的性質が低下する。

以後、水素脆性の感受性評価試験においては、塩分量の影響、溶存酸素の影響、pHの影響等試験要因を増やし詳細な試験を実施する予定である。

(謝辞) 本試験の実施、データ整理は、小筆之総君(現: 榊間組)、奈良正君(現: 日本鋼管株)に担当して頂いた。謹んで感謝の意を表する次第である。

(参考文献)

- 1) 関, 福手, 阿部, 千葉, 井川, 石井: プレストレストコンクリート港湾構造物への電気防食の適用に関する基礎実験, 第37回腐食防食討論会, 1990, 8
- 2) 建設省: コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書, 1988, 8
- 3) 高野道典: SSR T法による応力腐食割れ, 日本金属学会会報, Vol 118, No 8, 1979

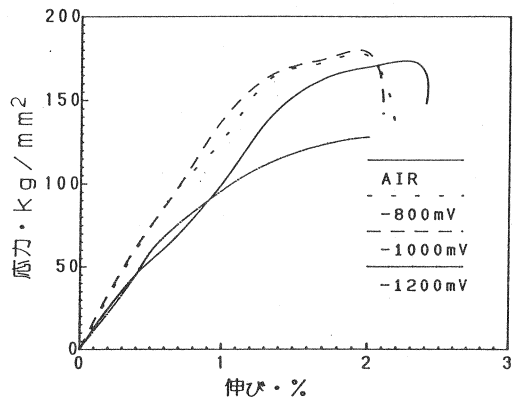


図-6 応力-伸び線図

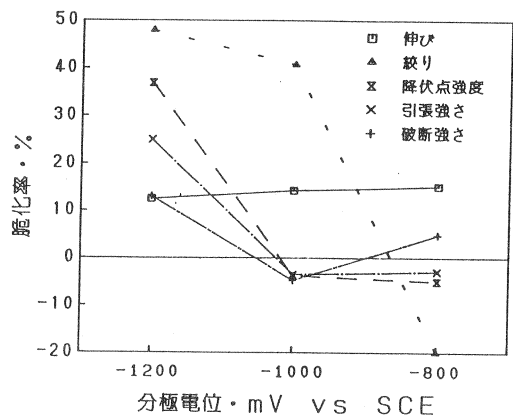


図-7 分極電位の影響