

電気防食を施したPC梁の力学特性

石井 浩司*1・関 博*2・福手 勤*3・千葉 丈夫*4

1. 序 論

プレストレストコンクリート構造物は、スパンの増大、自重軽減、プレキャスト製品の利用による工期短縮等の特長を生かし、橋桁や港湾構造物等様々な構造物に利用されている。しかし、従来高品質でメンテナンスフリーと考えられてきたプレストレストコンクリート構造物も、鉄筋コンクリート構造物と同様に塩害による劣化が報告されるようになってきた¹⁾。塩害による劣化の原因は、かぶり不足、海水作用や海砂使用によるコンクリートへの塩化物の浸透により鋼材腐食が生じることにある。

この対策として断面修復、ライニング工法等様々な方法が研究・開発され、施工段階に至っている²⁾。しかし、いったん許容量以上の塩化物イオンがコンクリート中に浸透した場合には、鋼材腐食を抑制することは非常に困難となるため^{3),4)}、さらに確実な防食方法が望まれているのが現状である。

最近、最も有効な防食方法として電気防食が注目されている。この電気防食は、コンクリート表面に取り付けた陽極からコンクリート中の鋼材に電流を印加することにより鋼材腐食を根本的に抑制する電気化学的方法⁵⁾であり、主として鉄筋コンクリート構造物に試験的に数多く適用されてきた。現在までこの電気防食の適用に問題が生じたとする報告は見あたらない。

一方、この電気防食をプレストレストコンクリート構造物に適用しようとする場合、鉄筋コンクリート構造物とプレストレストコンクリート構造物の構造上の相違により、①力学特性への影響⁶⁾、②水素脆性への影響⁷⁾など検討し解決しておかなければならない問題点がある。

本研究は、電気防食を行ったプレテンション方式の梁

の静的、繰返し載荷試験を実施することで電気防食の力学挙動へ及ぼす影響を検討するとともに、電気防食の防食効果、二次的効果についても検討を加えた。

2. 実験方法

2.1 実験概要

本実験では、図-1のようにプレテンション方式の梁に(以下PC梁とする)、外部電源方式の電気防食を適用し、カソード電流を印加した。通電中は、PC鋼材の①ひずみ測定、②電気化学的測定を実施し、PC鋼材の応力状態、防食状態を検討した。また通電終了後は、①PC梁の静的、繰返し載荷試験、②PC鋼材の腐食面積、③PC鋼材の引張試験、④PC鋼材近傍のコンクリート中の塩化物量測定を実施し、PC梁の力学挙動に及ぼす電気防食の影響、電気防食の防食効果、二次的効果等を検討した。

2.2 供試体の製作

セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、コンクリートは設計基準強度が500 kgf/cm²となるように配合した。表-1にコンクリートの示方配合表を示す。また腐食を促進させるために、コンクリート中の塩化物量が15 kg/m³となるようにNaClを練混ぜ水に混入し

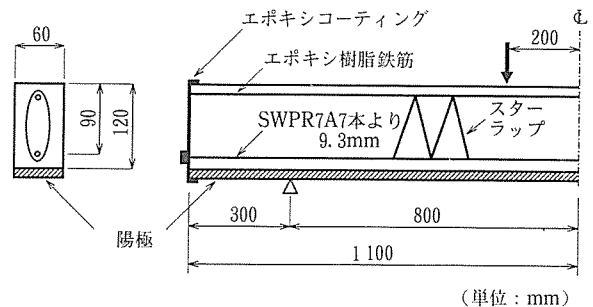


図-1 供試体概要図

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
20.0	8.0±2.5	2.0±1.0	37.2	41.0	160.0	430	737	1 076	5.16

*1 Kouji ISHII : (株)ピー・エス技術研究所

*2 Hiroshi SEKI : 早稲田大学理工学部

*3 Tsutomu FUKUTE : 運輸省港湾技術研究所

*4 Takeo CHIBA : (株)ナカボーテック技術開発研究所

◇論文◇

使用した。

図-1に示したようにPC鋼材にストランド(SWPR 7 A 7本より9.3 mm)を使用し、スターラップには電気防食、腐食の影響を取り除くためFRP(繊維:ガラス繊維, 結合材:ビニルエステル)を使用することにした。PC鋼材の初期引張応力は約120 kgf/mm²とした。有効プレストレス量は約79 kgf/mm²と推定される。電気防食システムとして、一次電極に白金メッキチタン線、二次電極として導電性塗料を使用し、PC梁底面に施工した。またPC梁端部から塩化物の浸透を避けるため両端面にエポキシコーティングを施した。

コンクリートの各種強度を管理供試体(φ10×20 cm)で試験すると同時に、電流印加の各種強度に及ぼす影響を把握するため、上記管理供試体の両端面に図-2に示すように電極を取り付け、電流を印加した。

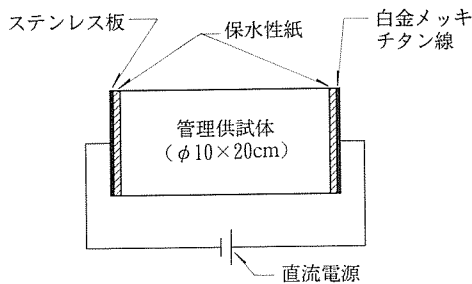


図-2 通電方法

2.3 暴露, 通電方法と各試験方法

製作した供試体は室内放置として恒温恒湿槽内、屋外放置として神奈川県横須賀市運輸省港湾技術研究所内の屋外暴露実験施設、海水散布として上記屋外暴露実験施設と同条件で、さらに海水を1日2回、3時間程度散布する実験施設に暴露した。

暴露と同時に定電流方式により電流を印加し、電流密度は0, 20, 40 mA/m²(ストランド表面積あたり)とした。実験の組合せを表-2に示す。

通電中の電気化学測定として、無通電供試体に対して、PC鋼材の自然電位、分極抵抗を、通電供試体に対

表-2 実験要因

Type	暴露条件	コンクリート中のNaCl量(kg/m ³)	電流密度 ¹⁾ (mA/m ²)
A	屋外放置	0	0
B	室内放置	15	20
C	海水散布	0	20
D		15	0
E		15	0 → 20 ²⁾
F		15	20
G		15	40

1) 鋼材表面積に対する電流密度
2) 暴露途中から通電開始

してはPC鋼材の通電時電位、通電遮断直後(約1秒後)、24時間後の各々の電位、分極抵抗を測定した。

載荷試験は、図-1に示したようにスパン160 cm、せん断スパン60 cmの2点載荷方式とし、静的載荷試験では破壊荷重、たわみ、ひびわれ幅等を測定した。繰返し載荷試験では、暴露前の静的載荷試験結果、繰返し載荷試験結果より破壊形式がPC鋼材破断となるように、上限荷重、下限荷重をそれぞれ1.3, 0.6 tfの片振りとして設定した。

静的載荷試験終了後、供試体よりPC鋼材を取り出し、セロハン紙への写し取りによる腐食面積測定、引張試験(JIS G 3536)を実施し、またPC鋼材付近のコンクリートを採取し、塩化物量測定試験(JCI-SC 4)に供した。

3. 電気化学的測定によるPC鋼材の状態、通電状態の検討

図-3(a)に無通電供試体のPC鋼材の自然電位測定結果の一例を、図-3(b)に通電供試体のPC鋼材の通電時電位、分極量の一例を示す。ここで分極量は、通電遮断直後(約1秒後)と遮断後24時間後のPC鋼材電位の差を示す。

無通電供試体のPC鋼材の自然電位は約-200 mV(SCE)前後を示しており、ASTM⁸⁾によると不確定領域にあり腐食状況は不明である。一方、通電供試体のPC鋼材の分極量は電流密度20, 40 mA/m²の供試体とも200 mV以上あり、100 mVシフト基準に照らし合わせてみて十分に防食されていると推定される⁹⁾。図

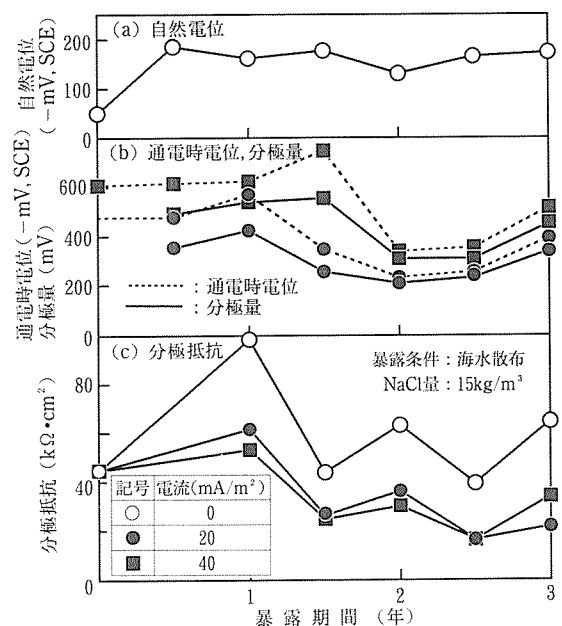


図-3 PC鋼材の電気化学的測定結果

中、通電2年前後で通電時変位、分極量が急激に減少しているのは、海水散布、通電の一時中断時期と一致し、これによる影響と考えられる。

図-3(c)に無通電、通電供試体のPC鋼材の分極抵抗測定結果の一例を示す。ただし通電供試体の測定は一時的に通電を遮断した後に行った。これによると、上記供試体のPC鋼材の分極抵抗値はそれぞれ50~70 kΩ・cm²、20~30 kΩ・cm²の範囲にあり、通電供試体のPC鋼材の分極抵抗が小さい値を示している。通常、分極抵抗は自然状態にある鋼材の腐食速度、鋼材腐食のモニタリングに使用される指標であり、Stern-Geary式¹⁰⁾によると、

$$i_{corr} = K/R_P \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 i_{corr} : 腐食速度

K : 比例定数

R_P : 分極抵抗

(1)式から R_P が小さければ腐食速度が大きく、また鋼材腐食の可能性が高いと判断される。同様に考えると、本実験では通電供試体の腐食速度が大きという矛盾した結果となっている。これは電気防食により、①鋼材表面上で皮膜還元反応が生じ、その結果分極抵抗が小さくなった、②コンクリート中水分の鋼材近傍への移動にともなう電流分布の変化と測定時の高周波数側と低周波数側の位相差の変化、等が考えられるが、現在までのところ明確になっていない。

4. 電気防食のPC梁の力学挙動に及ぼす影響

4.1 電流印加によるイオンの移動とコンクリートの物性変化

多量のイオンを含む電解質水溶液に電圧を加えると電気伝導現象が観察される。これは、イオンが電場により移動すること(電気泳動現象)により生ずる現象である。

一方、コンクリートをミクロ的に見た場合には多くの孔隙が存在しており、近年の研究によれば孔隙水の化学組成は主としてセメントから溶出したNa⁺、K⁺、OH⁻が大部分を占めている¹¹⁾。C.L.Page¹²⁾らの研究からも明らかのように、上記電気泳動現象がコンクリートに電流を印加した場合にも生じることがわかる。

電気防食の場合、コンクリート表面から鋼材へと電流を印加するため、アルカリイオンは鋼材表面へ移動し、鋼材付近のコンクリートに集積することになる。この集積によりコンクリートが軟化する可能性がある¹³⁾。

この現象は、プレレストコンクリート構造物、特にプレテンション方式の構造物の機能にとって重要な問題となりうる。

4.2 通電中のPC鋼材ひずみ

図-4にPC鋼材のひずみ測定結果の一例を示す。伝

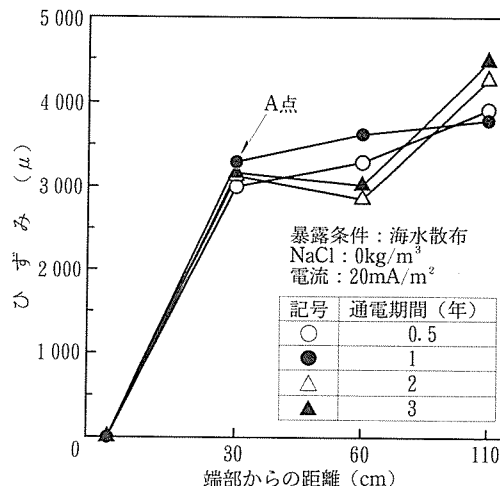


図-4 PC鋼材のひずみ分布の一例

達長は、PC鋼材直径、表面形状、コンクリートの強度、供試体形状等により影響される。本実験においては坂¹⁴⁾らの研究を参考にして、伝達長端部付近、供試体中央、その他1箇所ひずみゲージを貼り付けることにした。

プレテンション部材においてPC鋼材とコンクリートの付着力が低下した場合、伝達長が増加するものと考えられる。つまり、部材中央の応力低下より先に伝達長付近の応力が低下すると考えられる。

このように考えれば、伝達長付近(図-4中A点)のPC鋼材ひずみが低下するものと考えられるが、通電の有無により変化は認められず、応力低下はないものと考えられる。

4.3 静的載荷試験

(1) 電流印加とコンクリート強度

図-5に通電のコンクリートの強度に及ぼす影響なら

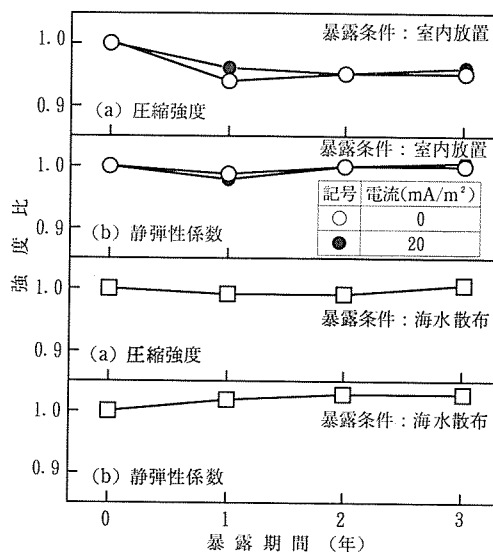


図-5 コンクリート強度の経時変化

◇論文◇

びに海水散布暴露によるコンクリート強度の変化を示す。通電は室内にて実施したため、乾燥等による若干の強度低下は認められるものの、通電による影響はほとんど認められない。また海水散布暴露によるコンクリート強度の変化はほとんど認められない。したがって、通電の有無、海水散布暴露による載荷試験に及ぼすコンクリート強度への影響は無視できると考えられる。

(2) ひびわれ耐力比, 破壊耐力比

暴露, 通電前の静的載荷試験から得られたひびわれ, 破壊荷重に対する暴露, 通電終了後のひびわれ, 破壊荷重の比を耐力比とし, 図-6 にその経時変化を示す。

図より, ひびわれ耐力比にばらつきが認められる。載荷ピッチをひびわれ発生までは0.1 tfとし, ひびわれ発生を載荷ピッチごとに目視により確認しているため, 測定したひびわれ発生荷重は実際のひびわれ発生荷重と比較して最大で0.1 tfの誤差が生じていることになり, この0.1 tfは耐力比に換算すると8%に相当する。ひびわれ耐力比のばらつきは, この耐力比の測定誤差の影響があるものと考えられ, 通電による影響とは考え難い。

破壊耐力比に関してはほとんど変化は認められず, 通電による影響は認められない。

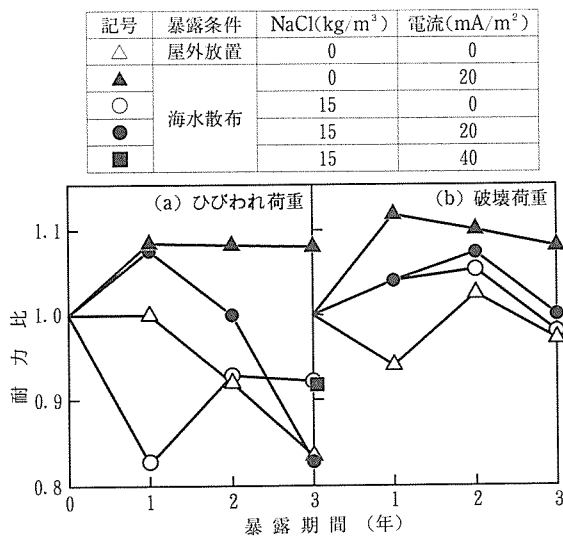


図-6 耐力比の経時変化

(3) ひびわれ発生状況とひびわれ幅

図-7 にひびわれ発生状況の一例を示す。付着劣化が生じているとすればPC鋼材に沿って軸方向ひびわれが発生すると考えられるが, その傾向は認められず, 通電による影響は認められない。

また, 図-8 に純曲げ区間の主要ひびわれ幅と荷重の関係を示す。同一荷重に対するひびわれ幅は通電供試体の値が小さい傾向にある。

もし, 4.1 に示したように, アルカリイオンの集積に

暴露条件: 海水散布
暴露期間: 3年
NaCl量: 15kg/m³

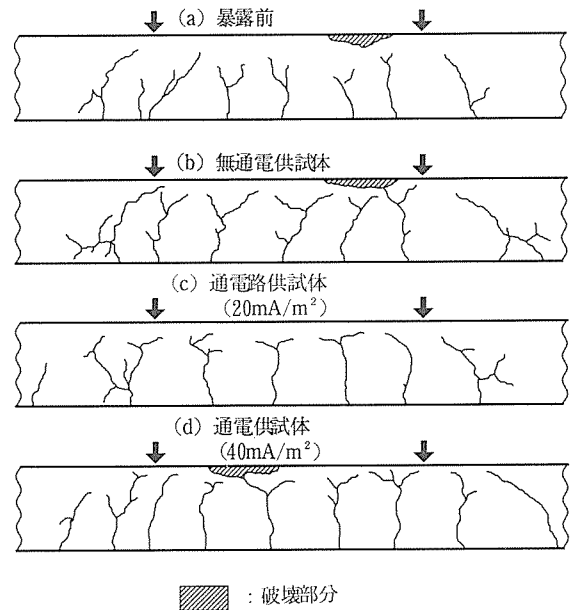


図-7 ひびわれ発生状況の一例

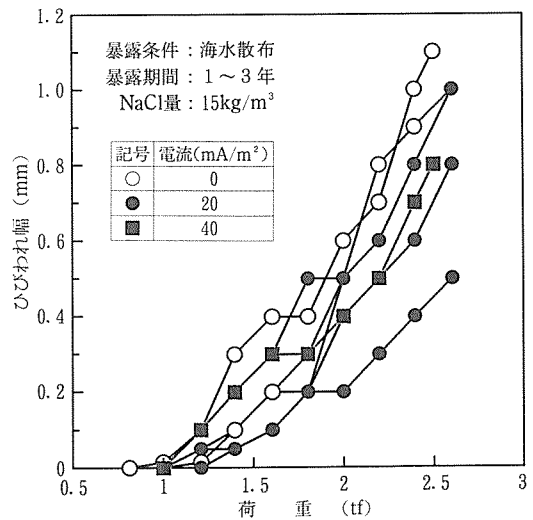


図-8 荷重と主要ひびわれ幅の関係

よりコンクリートの軟化が生じた場合には付着劣化が生じ, ひびわれ幅が大きくなることが予想される。しかし本実験の場合, むしろ小さくなる傾向にあるため, 付着劣化の兆候は認められないといえる。

付着力低下が観測されたとする一つの研究¹⁵⁾によると, 電流密度=約 30 mA/m², 積算電流密度=約 980 Ah/m²で付着力低下を引抜き試験で確認している。本実験では, 電流密度=40 mA/m²の場合, 積算電流密度=約 1 050 Ah/m²となっており, 電流密度, 積算電流密度はほぼ同程度と考えられるが, 結果は相違している。この原因としては, ①コンクリートの品質, ②使用

鋼材の種類, ③通電環境条件, ④プレテンション部材の付着メカニズム (Transfer Bond, Flexural Bond) があり, 引抜き試験だけでは評価できない) 等の相違が考えられる。

ひびわれ幅, 間隔の性状は, 鋼材種類等の多くの要因の影響を受けるが, 本実験の場合にはコンクリートと鋼材の付着強度が影響を与えた可能性があげられる。この付着強度の影響について, ①電流密度=20 mA/m², 積算電流密度=175 Ah/m²程度で同様の傾向が認められ, 同条件程度では, アルカリイオンの集積はほとんど認められない¹⁵⁾, ②図-7に示したように, ひびわれ間隔に電流印加の影響は認められない, ③3.に示したように電流印加によるPC鋼材近傍への水分の移動, 等を考慮すれば, アルカリイオンの集積ではなく, 水分移動によりPC鋼材とコンクリートの界面領域でのセメントの水和反応が促進し, その領域での微小硬度が増大した¹⁶⁾結果, 付着強度がひびわれ間隔に影響を及ぼさない程度増加した可能性が考えられるが, 現在までのところ明確になっていない。

(4) 荷重と変位の関係

図-9に荷重とスパン中央の変位の関係を示す。ひびわれ発生以後, Bransonの3乗式により有効断面二次モーメントを求め変位を算出した理論値にほぼ一致するものの, ひびわれ発生以後, 通電供試体の変位が, 無通電供試体のそれより小さい傾向を示している。この原因として, 一般的には①コンクリートの静弾性係数の増加, ②PC鋼材のプレストレスの増加, ③断面二次モーメントの増加, ④コンクリートとPC鋼材の付着力増加等が考えられる。

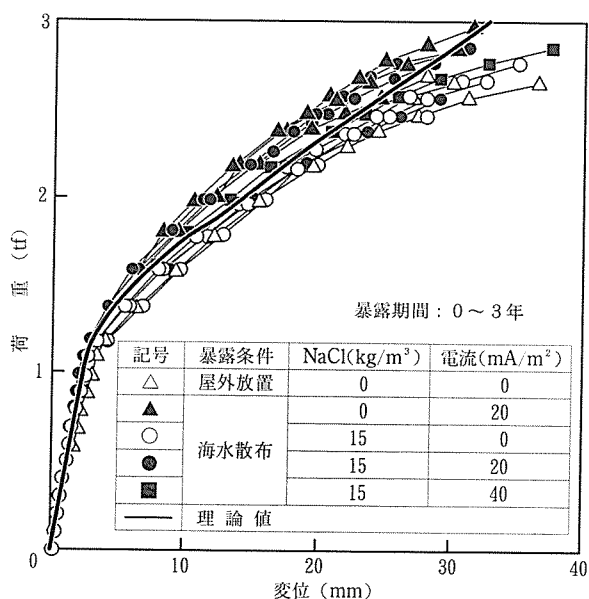


図-9 荷重—変位の関係

4.2, 4.3(1)において, 通電の有無がコンクリート強度, PC鋼材の応力変化に影響を及ぼしていないことより, ①, ②は原因とは考えられない。またひびわれ発生後の断面二次モーメントに関しては, 図-7に示すようにひびわれの発生状況に変化がないこと, 4.3(2)に示したようにひびわれ発生荷重に大きな変化はないことなどを考慮すれば, ③も原因と考え難い。一方, コンクリートとPC鋼材との付着に関しては, 図-8に認められたように通電供試体のひびわれ幅が無通電供試体のそれと比べて小さい傾向にあることを考慮すれば, ④は原因として考えられる。4.3(3)にも記述したが, この原因は明確ではない。

いずれにせよ, 通電供試体の変位が小さくなる事実はマイナス効果とは考えられず, 現在までは通電による影響はないものと考えられる。

4.4 繰返し載荷試験

(1) 繰返し回数と変位, ひびわれ幅

図-10に繰返し回数とスパン中央の上限荷重時の変位, 残留変位の関係を示す。通電による付着劣化が生じているならば, 変位は大きくなると考えられる。しかし, そのような傾向は認められず, 通電供試体, 無通電供試体ともほぼ同様な傾向を示している。また静的載荷試験時に認められたように, 通電供試体の変位が無通電供試体のそれより小さい傾向を示すことは, 繰返し載荷試験では認められなかった。

図-11に繰返し回数と主要ひびわれ幅 (上限荷重時) の関係を示す。付着劣化によるひびわれ幅の増大, 静的載荷試験時に認められたような通電供試体のひびわれ幅が小さい傾向は, 繰返し載荷試験では認められなかった。

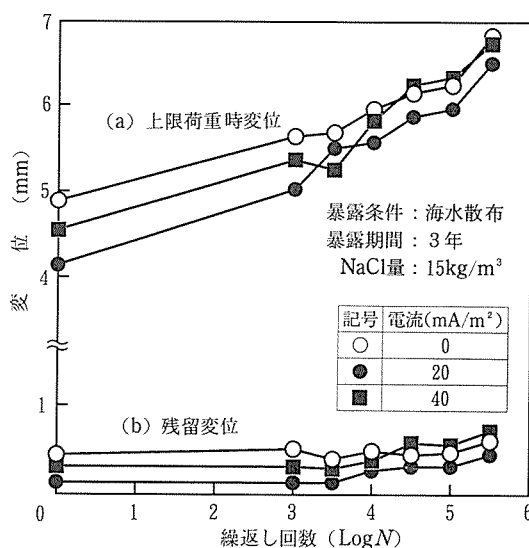


図-10 繰返し回数と変位の関係

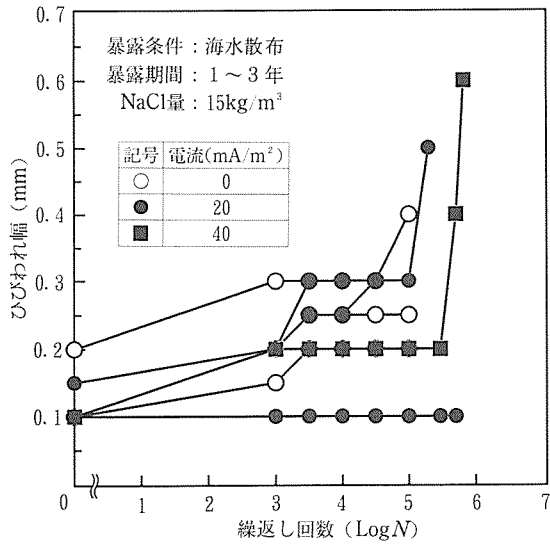


図-11 繰返し回数と主要ひびわれ幅の関係

(2) 破壊形式と疲労寿命

破壊形式はすべて純曲げ区間の PC 鋼材の破断であった。これは試験終了後、PC 鋼材を供試体より取り出し、PC 鋼材の破断面を観察することで確認した。

図-12 に繰返し荷重比と疲労寿命の関係を示す。ここで繰返し荷重比とは (上限荷重)/(静的破壊荷重) を表す。PC 梁の疲労寿命は、プレストレス量、断面形状、断面の大きさ等により変化する¹⁷⁾ため、本実験においては一般的な疲労寿命を検討するには適してはいないが、相対的な比較により通電の有無の影響を論ずることは可能と考えられる。図からわかるように、供試体ごとのばらつきがあるものの 4.4 (1) の結果をも考慮すれば、通電による影響はほとんどないものと考えられる。

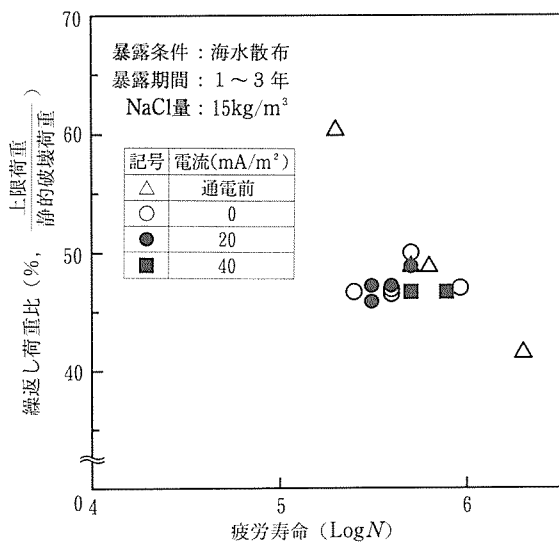


図-12 繰返し荷重比と疲労寿命の関係

5. 電流印加による塩化物の移動

4.1 ではコンクリートに電流を印加した場合、電気泳動現象によりアルカリイオンが鋼材付近に移動することを示した。一方、電気防食を適用しようとするコンクリート構造物は鋼材腐食による劣化が認められる構造物と考えられる。したがって、コンクリート中には既に塩化物が浸透しているものと考えられ、浸透した塩化物の一部はセメント化合物中に取り込まれ、残りは孔隙水中に塩化物イオンとして存在している。この塩化物イオンは負に帯電しているため電流印加によりコンクリート表面に移動することがしばしば指摘されている。本実験では PC 鋼材付近のコンクリート中の塩化物の移動を検討した。

試料採取位置は図-13 に示すように PC 鋼材上部〔採取位置 (1)〕、下部〔採取位置 (2)〕とし、積算電流密度と塩化物量の関係を図-14 に示す。

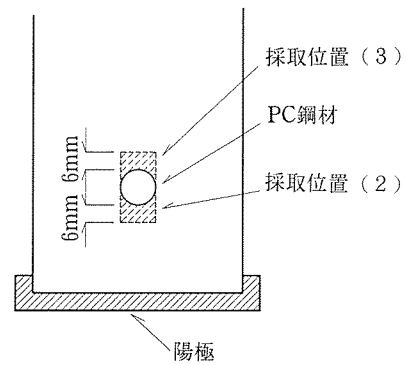


図-13 コンクリート試料採取位置

(a) 式: $\text{NaCl} (\%) = 0.77 - 1.10 \times 10^{-4} \times it$ ($r = 0.72$)
 (b) 式: $\text{NaCl} (\%) = 1.02 - 3.04 \times 10^{-4} \times it$ ($r = 0.99$)
 (it : 積算電流密度, r : 相関係数)

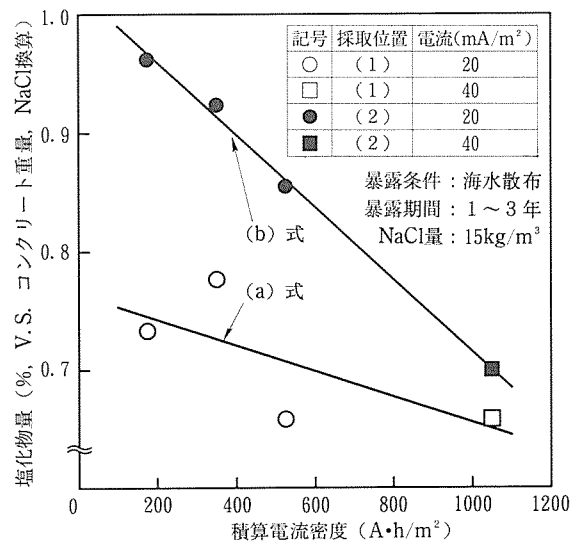


図-14 積算電流密度と塩化物の移動

採取位置(2)のコンクリートに含まれる塩化物量が多いのは、PC鋼材下面にブリージング水がたまることによると考えられる。採取位置(1)で塩化物移動があることより、本実験のようにPC梁底面(通電面)から電流を印加した場合でも、通電面に対して裏側のPC鋼材表面にまで電流が流入していることがわかる。また塩化物の移動量は積算電流密度と比例関係にあり、移動速度(図中直線傾き)は採取位置で相違している。これは、①PC鋼材表面に流入する電流量が場所によって相違する、②各イオンの全電流に対する寄与率を表す輸率*を考慮すれば、塩化物イオン濃度の差により塩化物イオンの分担する電流量が相違する、等原因として考えられる。本実験では図-13に示したように、PC鋼材表面より6mm程度の範囲のコンクリートを検討したが、PC鋼材により近いコンクリート中では、さらに大きな塩化物の移動があるものと推定される。

このように電気防食は、鋼材近傍から陽極へ向かっての塩化物の移動、いわゆる脱塩という二次的効果が期待できる。

6. 電気防食の防食効果

静的載荷試験終了後、PC鋼材をコンクリート中より取り出し、腐食面積測定、引張試験に供した。

測定した腐食面積をストランド表面積($4\pi D/3$, D :ストランド公称径)で除して腐食面積率とし、その電流印加の有無による経時変化を図-15に示す。

暴露、通電期間0年で腐食面積率が約6%程度になっているのは、暴露、通電開始まで材令で約3か月経過しており、この期間による影響と考えられる¹⁹⁾。無通電供試体の腐食面積は増加する傾向にあるが、20, 40 mA/m²の電流密度を印加した通電供試体の腐食面積は、通電開始時の腐食面積率と大きな変化はなく、電気防食の防食効果が明らかである。また3.では、200 mV以上の分極量があったことから十分防食されていると推定したが、腐食面積の測定結果から200 mV以上の分極量で十分防食されていることもわかる。

*輸率¹⁸⁾

イオン*i*の電気泳動による部分電流密度 J_i (mig)と全電流密度 J (mig)との比を、その溶液におけるイオン*i*の輸率(T_i)といい、

$$T_i = \frac{J_i \text{ (mig)}}{J \text{ (mig)}} = \frac{|Z_i| N_i U_i}{\sum_i |Z_i| N_i U_i}$$

ここで、 Z_i :イオン*i*の電価

N_i :イオン*i*のモル濃度

U_i :イオン*i*のイオン移動度

で表される。

以上の関係より、イオン*i*の輸率は、電価、移動度が大きいほど、濃度が高いほど増大する。

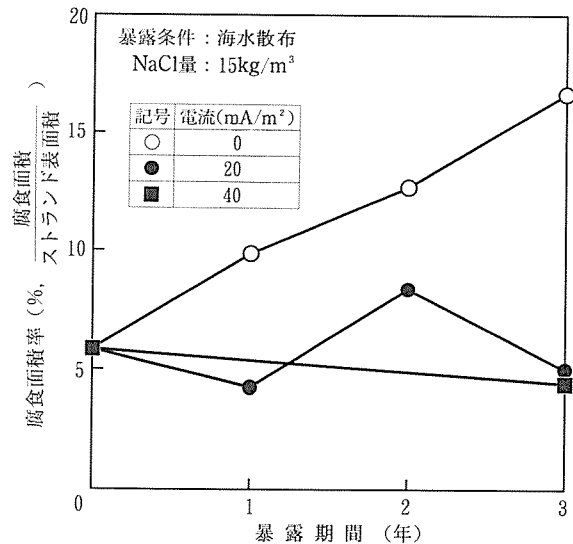


図-15 腐食面積率の経時変化

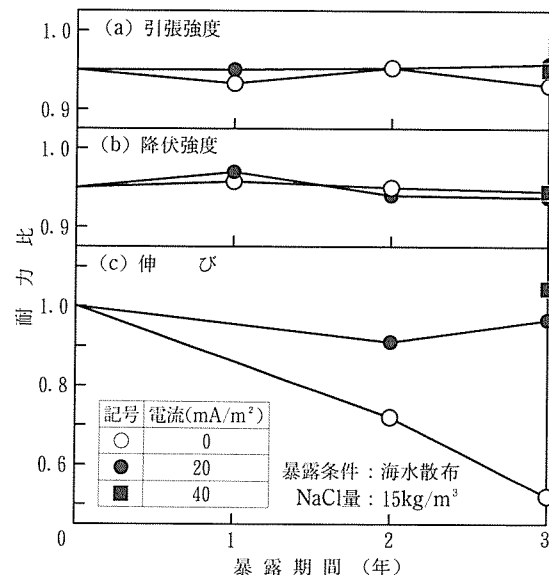


図-16 PC鋼材の耐力比の経時変化

通電、暴露前のPC鋼材の機械的特性値に対する通電、暴露終了後のPC鋼材の特性値の比を耐力比として、図-16に示す。

引張強度、降伏強度に関してはほとんど変化は認められないが、伸びに関しては無通電供試体中のPC鋼材のそれは低下が著しい。①図-15で示したように、PC鋼材に腐食が発生していたこと、②PC鋼材に孔食形態の腐食が存在する場合は、伸びが低下すること、等を考慮すれば、この伸びの著しい低下は腐食によるものと考えられる。一方、通電供試体のPC鋼材ではこのような低下は認められなかったことから、電気防食の防食効果と同時に、電流の印加によるPC鋼材への影響はないことを示している。

7. 電流密度、積算電流密度と電気防食の影響

電気防食をコンクリートに適用した場合、防食電流密度は、分極量、鋼材の腐食状態によって相違するが、50～100 mA/m² (鋼材表面積)²⁰⁾と報告されている。しかし、50～100 mA/m²といった大きな電流を印加することは、①電気防食システム(陽極、オーバーレイ材)の寿命を短くする危険性がある、②健全な部分を過防食にする、ため望ましいとは考えられない。電気防食を適用する場合には、防食電流密度をできるだけ低下させるように、コンクリート劣化部の鋼材の錆を除去するなど、低防食電流密度での通電環境をつくることが重要と考える。

これまでのわが国での電気防食の例を参考にすると、特殊な場合を除いて5～10 mA/m² (コンクリート表面積)程度の防食電流密度であり、この値を鋼材表面積当たりの電流密度に換算すると(鋼材表面積はコンクリート表面積の2倍程度と仮定)10～20 mA/m²となり、本実験で使用した電流密度20 mA/m²は妥当であると考えられる。

また、積算電流密度から異なる電流密度に対応する通電期間に換算することには多少の問題はあるが、本実験の範囲において、①電流密度が極端に大きくない、②40 mA/m²の電流密度において、図-3に示したようにPC鋼材の通電時電位が電流密度20 mA/m²のPC鋼材の通電時電位に比較して極端に卑な電位を示していない、③5.に示したように塩化物の移動量が積算電流密度と比例関係にある、等を考慮すれば、通電期間を換算したとしても大きく相違するとは考えられない。本実験において40 mA/m²、3年間の通電で、①PC梁の力学挙動への電気防食の影響は認められなかった、②PC鋼材の機械的性質への電気防食の影響は認められなかった、が明確となり、またこれまでのわが国の電気防食における防食電流密度を参考にすると、上記通電条件は10～20 mA/m²、6～12年に相当することになる。したがって、10年程度の電気防食の適用はPC梁の力学挙動に影響をあたえることはないものと考えられる。

8. 結 論

本実験は、プレテンション方式の梁に電気防食を適用しカソード電流を印加した場合のPC梁の力学挙動への影響を検討するとともに、塩化物移動、電気防食の防食効果をも検討した。本実験の範囲において以下のような結論が得られた。

- 1) 電気防食を適用した場合、鋼材の分極抵抗値は低下する。
- 2) 電気防食の適用によりPC鋼材とコンクリートの

付着劣化は生じていない。

- 3) PC梁の静的載荷試験において、電気防食の適用により変位が小さくなる傾向が認められたが、マイナスの影響とは考えられない。またひびわれ発生状況、破壊耐力等には影響は認められなかった。
- 4) PC梁の繰返し載荷試験においては、静的載荷試験で認められたように変位の影響は認められなかった。また、疲労寿命は供試体自体のばらつきもあり明確な影響は認められなかったが、変位の経時変化を考慮すれば電気防食の繰返し載荷試験への影響はないものと考えられる。
- 5) 電気防食により、コンクリート表面への塩化物の移動という二次的効果が期待できる。また、その効果は、通電面に対してPC鋼材の裏側においても、程度の差はあるものの期待できる。さらに塩化物の移動量は積算電流密度と比例関係にある。
- 6) 腐食面積の測定より、電気防食の防食効果が明らかであり、200 mV以上のカソード分極があれば腐食の進行はないと考えられる。
- 7) PC鋼材の引張試験より、電気防食の効果、PC鋼材への悪影響がないことが明らかとなった。
- 8) 積算電流密度から換算すれば、本実験は10年程度の通電期間に相当すると考えられる。

参 考 文 献

- 1) M. Schupack, M. G. Suarez : Some Recent Corrosion Embrittlement Failures of Prestressing System in the United State, PCI Journal, Vol. 27, No. 2, pp. 38～55, 1982.
- 2) 日本コンクリート工学協会：鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術, 1989.
- 3) D. K. Phillips : Bridge Deterioration : Statement of Problem, Proc. Conf. on Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Decks, NACE, Paper No. 1, 1985.
- 4) P. R. Vassie : Concrete Coatings : Do They Reduce Ongoing Corrosion of Reinforcing Steel?, Third Int. Symp. on Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, Society of Chemical Industry, 1990.
- 5) R. P. Brown : Fundamentals of Cathodic Protection, Proc. Cong. on Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Decks, pp. 25～28, 1985.
- 6) K. Ishii, H. Seki, T. Fukute, K. Ikawa : Effect of Cathodic Protection on the Mechanical Behavior of PC Beams, FIP, Symp. on Modern Prestressing Techniques and their Applications, pp.1631～1638, 1993.
- 7) 石井浩司, 関 博, 杉橋直行ら：PC部材の電気防食における鋼材の水素脆化に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No. 45, pp. 532～537, 1991.
- 8) ASTM : ASTM Standard C 876-80.
- 9) NACE : NACE Standard RPO 290-90.

- 10) H. H. ユーリック：腐食反応とその制御，産業図書，pp. 411～415, 1989.
- 11) S. Diamond：Effect of Two Danish Flyashes on Alkali Contents of Pore Solutions of Cement-Fly-ash Pastes, Cement and Concrete Research, Vol. 11, pp. 383～394, 1981.
- 12) C. L. Page, G. Sergi, D. M. Thompson：Development of Alkali-Silica Reaction in Reinforced Concrete Subjected to Cathodic Protection, Proc. 9th Int. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp. 774～778, 1992.
- 13) 森 仁明, 峰岸敬一, 太田 威ら：C₃S 硬化体の微細構造におよぼすアルカリの影響, セメント技術年報, pp.40～47, 1971
- 14) 坂 静雄, 六車 熙, 森田司郎：ストランドの定着時の付着効果に関する実験的研究, 材料試験, Vol. 8, No. 69, 1959.
- 15) C. E. Locke：Effect of Impressed Current on Bond Strength Between Steel Rebar and Concrete, Corrosion/83, Paper No. 178, 1983.
- 16) 五十嵐心一, 川村満紀：新素材繊維セメントペースト界面領域の組織と付着強度, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11-1, pp. 765～770, 1989.
- 17) 松下博通, 牧角龍憲：プレテンションPC梁の疲労強度に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol. 21, No. 5, 1979.
- 18) 玉虫伶太：電気化学, 東京化学同人, 1988.
- 19) 福手 勤, 阿部正美, 関 博ら：プレ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40回腐食防食討論会, pp. 545～548, 1993.
- 20) 武若耕司：コンクリートの電気防食, 海洋構造物の耐久性向上に関する技術委員会資料, 1991.

【1993年9月9日受付】

◀刊行物案内▶

Prestressed Concrete in JAPAN —1990— (FIP Hamburg, 1990)

[日本のプレレストレストコンクリート (1990年FIPハンブルグ大会)]

<英・和文併記>

体 裁：A4判140頁

頒布価格：会員 2500円, 非会員 3000円 (送料：350円)

内 容：鉄筋コンクリート固定アーチ別府明礬橋／バイプレ工法による中央公園橋／PCラーメン橋—東名阪高架橋—／本州四国連絡橋 兎島・坂出ルートのPC橋梁群／PC・V脚ラーメン橋—常磐自動車道 十王川橋—／CLCA工法により施工されたコンクリートアーチ橋—城址橋—／PCケーブルを用いた曲線桁の片持ち張出し工法—万江川橋(下り線)—／逆ランガーコンクリートアーチ橋—中谷川橋—／PC斜張橋—新綾部大橋—／PC5径間連続ラーメン箱桁橋—岡谷高架橋—／複線3主PC下路式鉄道橋—大北川橋梁—／北陸自動車道“親不知海岸高架橋”の施工／新素材によるPC橋—新宮橋—／人工軽量骨材コンクリートを使用した鉄道橋—汐見川橋—／PC斜張橋における新しい片持ち張出し工法—衝原大橋—／架設アウトケーブルを用いた不等径間Tラーメン橋—筒石川橋(上部工)—／大型移動吊り支保工により施工した都市内PC高架線／PC斜張橋—呼子大橋—／FC合成床工法による人工地盤／プレキャストPC高層建物—日立物流ハイテクセンター—／出雲大社神楽殿／LNG地上式タンク用PC製防液堤／横浜市におけるPC卵形消化タンク／PCタンク—大名調整池—／PCプレキャスト版による供用中の滑走路の改修舗装工事／横浜博覧会「海のパビリオン」—H.M.S.(多角形浮体構造物)—／PCスノーシェルター—正善寺シェルター—／プレレストレストコンクリート構造ウエーブジェッド