

(15) 10年間電気防食を施したPC梁に関する研究

運輸省 港湾技術研究所 正会員 ○青山 敏幸
 (研修生 (株) ピー・エス)
 早稲田大学 理工学部 関 博
 運輸省 港湾技術研究所 阿部 正美
 (株) ナカポーテック 井川 一弘

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物にも早期劣化が報告されるようになり、その対策として電気防食工法が注目を集めている。電気防食工法は、陽極材 (アノード) からコンクリートを介して鋼材 (カソード) に強制的に電流を流すことにより鋼材の腐食を防ぐものである。プレストレストコンクリート構造物に電気防食を適用するにあたっては、

- ①過防食による、PC 鋼材の水素脆化とそれに伴うコンクリートと鋼材の付着力の低下¹⁾
- ②電流印加による PC 鋼材周辺のコンクリート中の陽イオン集積による付着力の低下²⁾

等の問題が考えられる。

本研究は、これまでに行ってきた試験^{3),4)}に引き続き、10年間暴露したプレテンション方式 PC 梁の静的載荷試験、PC 鋼材の引張試験等の結果から、長期間暴露した電気防食試験体の性能について検討することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

プレテンション方式 PC 梁の試験体形状、電流印加方法を図-1 に示す。

コンクリートは、設計基準強度 50N/mm² となるよう、表-1 に示す配合を使用した。鋼材の腐食を促進するため、NaCl を 15kg/m³ 添加した。

鋼材は、PC 鋼より線 (SWPR7A T9.3) を使用した。初期緊張力は 1140 N/mm² である。スターラップには FRP 筋 (φ4) をスパイラル状に、圧縮側鉄筋にはエポキシ樹脂鉄筋を使用した。

電流の印加は、外部電源を用いた導電性塗料方式とした。陽極材には、一次電極として白金チタン線と導電性パテ、二次電極として導電性塗料を使用

した。陽極材の設置は、あらかじめ形成しておいた溝に白金チタン線を挿入し、導電性パテを用いて溝を埋めた。導電性パテが乾燥した後に導電性塗料を吹き付け、導電性塗料が乾燥した後に耐候性塗料を吹き付け保護した。

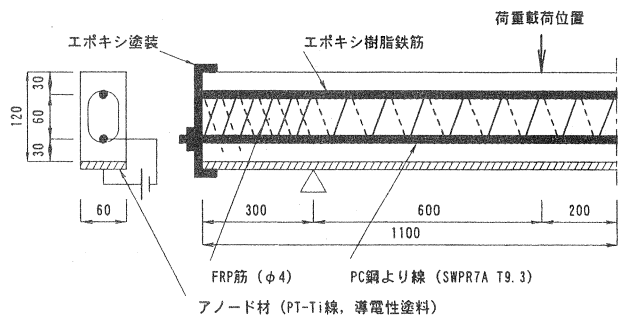


図-1 プレテンション方式 PC 梁概要図

表-1 コンクリートの示方配合

スランブ (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
8.0±2.5	2.0±1.0	37.2	41	160	430	737	1076	5.16

2.2 試験体種類

試験体の種類を表-2に示す。試験体のパラメータは、電気防食の有無、暴露環境、暴露期間である。

ここで、「DAMMY」試験体とは、暴露前の試験体である。

電気防食有り試験体は、20mA/m²(鋼材表面積あたり)の電流を直流電源装置により印加した。

暴露環境における海水噴霧とは、運輸省港湾技術研究所内の屋外暴露施設で1日2回約3時間ずつ海水噴霧を行うことにより乾湿繰り返しを与える環境である。

2.3 試験方法

1) 静的載荷試験

所定の暴露期間終了後、導電性塗料をはつりとり1000kN 万能試験機を使用して載荷試験を行った。図-1に示すよう、スパン1600mm、等曲げ区間400mmの2点曲げ載荷とした。計測項目は、荷重、スパン中央のたわみ、ひび割れ発生状況、ひび割れ幅とした。載荷ピッチはひび割れ発生荷重まで1kN、ひび割れ発生後は2kNとした。同一条件下で、2体試験を実施した。

3) PC鋼材引張試験

静的載荷試験終了後、試験体からPC鋼より線をはつりだし、500kN引張試験機を使用して試験を行った。計測項目は、引張強度、降伏強度とした。

3. 試験結果

3.1 静的載荷試験

(1) 荷重とたわみの関係、終局耐力の経時変化

表-3は、10年暴露時に載荷試験を行ったときのひび割れ発生荷重と終局耐力を示す。各々の荷重は、2体の平均値とした。図-2は、10年間暴露試験体に関して電気防食の有無、暴露環境をパラメータとした荷重とたわみの関係を示す。図-3は、電気防食を施した海水噴霧環境下試験体の暴露年数をパラメータとした荷重とたわみの関係を示す。それぞれ、2体のうち1体の結果を示す。図-4は、「DAMMY」試験体の終局荷重を基準とした、暴露期間と終局耐力の比率の関係を示す。

図-2より、「DAMMY」試験体と「屋内-有」試験体は、ほとんど同一の挙動を示している。表-3より、ひび割れ発生荷重、終局耐力もほとんど変わらないことがわかる。以上より、電気防食を施した試験体が、PC梁の力学的挙動に悪影響を及ぼすことはないと考えられる。また、図-2、図-4より「海水-有」と「海水-無」を

表-2 試験体の種類

試験体名	電気防食 有, 無	暴露環境	暴露期間 (年)
DAMMY	—	—	0
屋内-有	有	屋内放置	10
海水-有		海水噴霧	1,2,3,10
海水-無	無		

表-3 ひび割れ荷重、終局耐力
(10年間暴露試験体)

試験体名	ひび割れ荷重 (kN)	終局耐力 (kN)
DAMMY	12.0	26.1
屋内-有	11.0	26.5
海水-有	12.0	23.6
海水-無	11.5	22.0

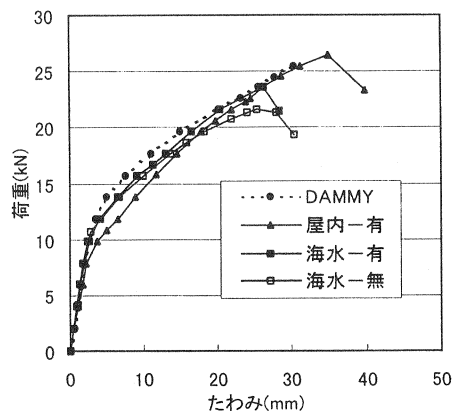


図-2 荷重とたわみの関係
(10年間暴露試験体)

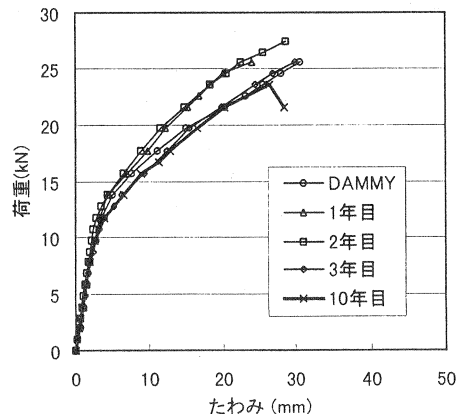


図-3 荷重とたわみの関係
(「海水-有」試験体)

比較すると、「海水-無」は、終局時の荷重が低下していることがわかる。これは、後述するが「海水-無」試験体の PC 鋼より線の機械的性質が、腐食による断面欠損により低下したためであると考えられる。

図-3 より、「海水-有」試験体の時間の経過に伴う変化はほとんど見られないことがわかる。しかし、図-4 に示すように、終局耐力が時間の経過に伴い若干低下していることがわかる。この理由のひとつとして、圧縮側コンクリートの腐食ひび割れ発生による劣化が考えられる。今回の実験では、圧縮側鉄筋にエポキシ樹脂鉄筋を使用したため、何らかの理由により樹脂に傷、あるいは剥離が生じていたため、鉄筋と被覆樹脂界面内に塩分が存在して腐食、腐食ひび割れが発生したため、早い段階でコンクリートが圧縮破壊したためだと考えられる。

(2) ひび割れの分散性状・ひび割れ幅

コンクリートと PC 鋼より線との付着が低下すると、ひび割れの分散性状が低下し、ひび割れの集中によるひび割れ幅の増大が考えられる。

図-5 にひび割れの分散性状を、図-6 に電気防食を施した海水噴霧環境下試験体の暴露年数をパラメータとした荷重とひび割れ幅の関係を示す。ひび割れ幅は、等曲げ区間内における最大ひび割れ幅を採用している。

図-5 より、10 年暴露試験体のひび割れ分散性状は、DAMMY, 1, 2, 3 年目試験体と比較してもほとんど変化がなく、ひび割れ間隔 10cm 程度に良好に分散していることがわかる。

図-6 より、10 年暴露試験体は他の試験体に比較して最大ひび割れ幅に大きな変化が見られないことがわかる。

以上の結果から、10 年間にわたり電流印加した PC 梁のコンクリートと PC 鋼より線との付着力の低下は生じなかったものと考えられる。

3.2 PC 鋼材引張試験

図-7 は、暴露期間と引張強度に関する耐力比を、図-8 は、暴露期間と降伏強度に関する耐力比の関係を示す。ここで、耐力比とは「DAMMY」試験体を基準とした、所定暴露年数経過において試験を実施した PC 鋼材の特性値の比率とする。各試験体とも、2 つの試験体から取り出した PC 鋼より線の平均値とした。暴露期間 10 年の「海水-無」試験体については、PC 鋼より線の腐食による断面欠損があったため降伏強度の測定は行わなかった。図-7 の暴露期間と引張強度の耐力比の結果から、「電気防食-有」試

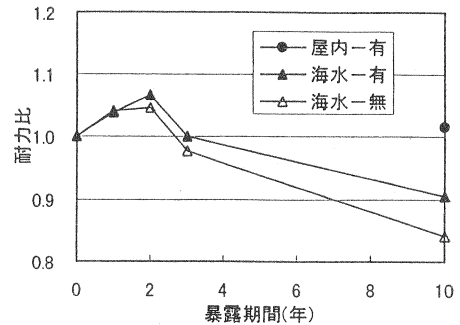


図-4 終局耐力の経時変化

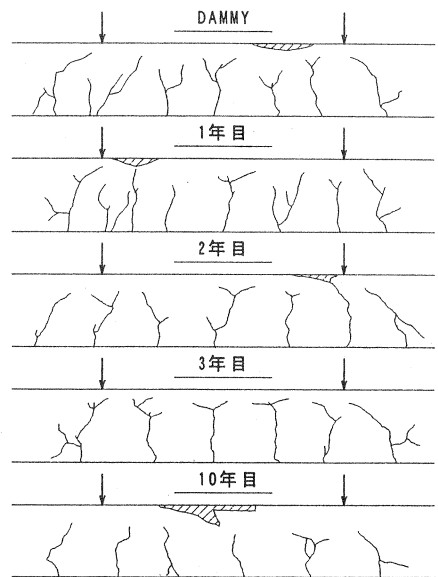


図-5 ひび割れの分散性状

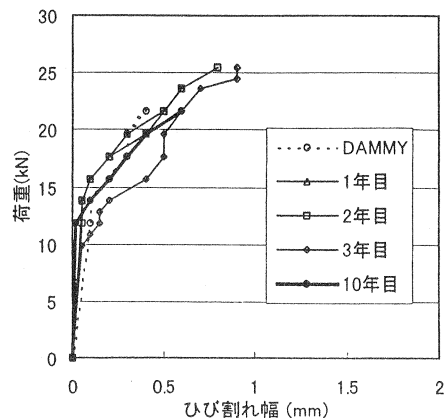


図-6 荷重とひび割れ幅の関係

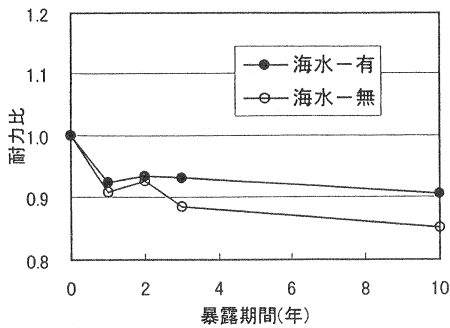


図-7 引張強度の経時変化

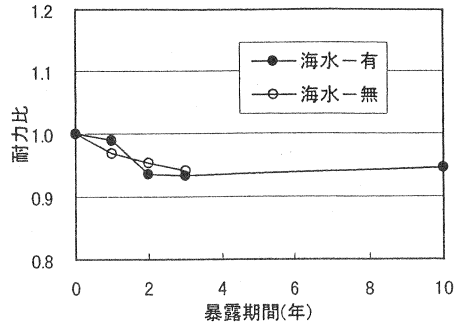


図-8 降伏強度の経時変化

験体は、暴露期間 1,2,3 年で行った試験と比較して、引張強度がほとんど低下していないことがわかる。一方、「電気防食-無」試験体は、暴露期間が長くなるにつれて引張強度が低下していることがわかる。

図-8 の暴露期間と降伏強度の耐力比の結果から、「電気防食-有」試験体は、引張強度の試験結果同様に暴露期間 1,2,3 年で行った試験と比較して、降伏強度が低下していないことがわかる。以上の結果から、10 年間にわたり電流印加した PC 鋼より線の機械的性質の変化は生じていないと考えられる。

4. まとめ

本研究では、10 年間電気防食を施したプレテンション方式 PC 梁の力学挙動に着目し、最適載荷試験、PC 鋼材引張試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ①電気防食を施したプレテンション方式 PC 梁の力学的挙動に変化は見られなかった。
- ②電気防食の副作用として考えられる PC 鋼材とコンクリートの付着劣化は生じていなかった。
- ③PC 鋼材の引張試験より、電気防食を施した PC 鋼材の機械的性質の変化はほとんど見られなかった。

謝辞:長期間にわたる研究の遂行に尽力された、運輸省港湾技術研究所 福手勤氏、濱田秀則氏、(株)ピー・エス 石井浩司氏、また 10 年暴露時の実験を遂行された早稲田大学 佐古武彦氏、(株)ピー・エス 桐川潔氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)石井浩司, 関博, 福手勤, 井川一弘, 杉橋直行: PC 鋼材の水素脆化に関する実験的研究, 土木学会論文集 No.532/V-30,pp131-140,1996.2
- 2)石井浩司, 関博, 福手勤, 千葉文夫, 杉橋直行: 電流を印加したセメントペーストの導電経路と物性変化に関する研究, 土木学会論文集 No.514/V-27,pp1-8,1995.5
- 3) 石井浩司, 関博, 福手勤, 井川一弘: 電気防食を施した PC 梁の力学的特性, プレストレストコンクリート, Vol.36, No1, Jan, pp47-55, 1994.1
- 4)石井浩司, 関博, 福手勤, 井川一弘: 電気防食を施したプレテンション PC 梁に関する実験的研究, 第 22 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp91-96, 1995.10