

PCグラウト充填までの期間に関する検討 － 恒温恒湿槽内暴露実験 －

オリエンタル白石(株)	正会員	博(環境)	○二井谷	教治
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	工修	青木	圭一
住友電工スチールワイヤー(株)	正会員	工修	勝田	浩一
神鋼鋼線工業(株)	正会員		山家	芳大

1. はじめに

2012年12月に、公益社団法人プレストレストコンクリート工学会から「PCグラウトの設計施工指針 [改訂版]」(以下、指針改訂版とする)が発刊された。これは、その7年前に最初の指針(以下、旧指針とする)が発刊されて以降、材料や施工方法などの開発・改良が進み、それらの最新技術や知見を反映させるとともに、より高品質で合理的なPCグラウトの施工を行うことを目的として改訂されたものである。

PC鋼材は、速やかにPCグラウトを注入し、有害な錆が生じないようにしなければならない。このことについては、道路橋示方書¹⁾にも同様の記述があり「できるだけ早い時期にグラウトの注入作業を行う必要がある」と記されているが、「速やか」とはどの程度の期間なのかが同示方書および旧指針においても明確ではなかった。そこで、指針改訂版の発刊にあたり、「速やか」が環境条件に応じてどの程度の期間なのかを明らかにするため、厳しい環境を模擬した恒温恒湿槽内にPC鋼材を設置し、暴露実験を行った。所定期間暴露した後、PC鋼材を槽内から取り出し、その腐食程度と機械的特性を調査および評価し、PCグラウト充填までの許容期間を検討した。さらに、本実験および別途行った屋外暴露実験の結果とあわせて、指針改訂版におけるPCグラウト充填までの期間および寒中グラウト工の規定に反映したので、その概要についても報告する。なお、屋外暴露実験については別稿にて報告するので参照されたい。

2. 実験方法

2.1 実験概要

別途行った屋外暴露実験では、雰囲気温度の平均値は19℃程度であった。一方、近年の日本の夏季においては猛暑日も珍しくなく、PC構造物の実施工を考えると、夏季を想定した厳しい環境条件でPCグラウト充填までの期間を検討しておくことも必要であると考えられた。そこで、温度30℃、湿度90%一定とした恒温恒湿槽内に、PC鋼材(SWPR7B, 1S12.7, L=400mm)を暴露した。写真-1に実験に用いた恒温恒湿槽およびPC鋼材の設置状況を示す。暴露期間中は、定期的に腐食状況などを観察するとともに、所定期間暴露したPC鋼材は、恒温恒湿槽から取り出し、健全性の調査を行った。

実験要因は、表-1に示すように、暴露開始時のPC鋼材の状態を示す「初期濡れ」のある場合とない



写真-1 恒温恒湿槽および暴露状況

表-1 実験要因

試料名称	長さ	本数	初期濡れ	暴露期間
S-1	400mm	3本	なし	42日
S-2	400mm	3本	あり	42日

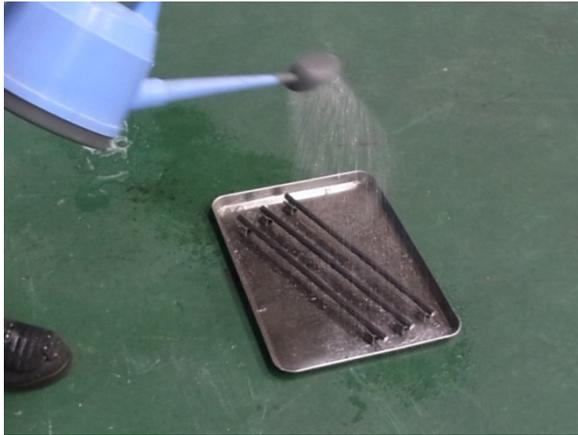


写真-2 PC鋼材への散水状況



写真-3 乾布による表面水分の拭取り状況

場合のみとした。「初期濡れ」とは、実施工において、PC鋼材をシースに挿入する前に誤って濡らし、乾いた布で水分を拭き取った後に挿入することを想定したものである。すなわち、**写真-2**および**写真-3**に示すように、一旦PC鋼材に散水を行った後に乾布で表面水を拭き取り、PC鋼材の表面は乾いているが素線間が濡れた状態で暴露を開始した。

2.2 測定項目および判定基準

PC鋼材は、ダクトへ挿入後、PCグラウトを注入するまで錆が全く生じないのが理想的であるが、実施工では現実的とはいえない。そこで、表面的な極軽微な錆は許容し、有害な錆が発生する前にPCグラウトを注入することが合理的である。したがって、実験においても許容できる錆を定義することとした。それらは、以下の通りである。a) 錆の形成：錆が発生したときの暴露材齢と目視による腐食程度の観察、b) 錆の程度：柔らかい乾布で錆が拭き取れること、c) 機械的特性：暴露PC鋼材の引張強度が同一のロットから採取した初期濡れなしで暴露も行わないPC鋼材（以下、ブランクとする）と比較して95%以上であること、の3項目である。これらを総合的に検討し、PC鋼材に錆が発生した場合、それが有害なさびかどうかを判定することとした。なお、「柔らかい乾布で拭き取れる錆」は、有害ではなく許容できる錆であると判定したが、これはFIPの文献²⁾を参考にした。また、PC鋼材の引張強度を95%以上としたのは、試験誤差も加味して設定した値であり、5%の強度低下を容認するものではない。

3. 実験結果

表-2に実験結果を示す。初期濡れのなかったS-1のPC鋼材は、暴露12日で錆が発生したが、暴露42日においても柔らかい乾布で拭き取れる程度の軽微なものであった。一方、初期濡れを実施したS-2のPC鋼材は、暴露5日で錆が発生した。錆は、暴露14日では乾布で拭き取れる軽微なものであったが、暴露42日においては完全には拭き取ることができず、錆が一部残存した。**写真-4**は、S-2のPC鋼材に発生した錆の暴露14日における状況と、拭取り後の状況を示す。

表-2 実験結果

試料名称	初期濡れ	腐食発生時期	柔らかい乾布による錆の拭取り除去の可否		引張強度率 ^{※1}
			暴露 14日	暴露 42日	暴露 42日
S-1	なし	暴露 12日	できる	できる	99.5%
S-2	あり	暴露 5日	できる	錆残存	99.8%

※1：ブランク試料の引張強度を100%とした時の各暴露試料の引張強度率

PC鋼材の引張強度は、暴露42日においても、初期濡れのあるなしに関わらず引張強度率は100%前後であり、ブランクのPC鋼材に対して強度の低下はみられなかった。

以上の結果から、雰囲気温度が30℃で湿度が90%という厳しい環境においても、暴露2週までは十分に許容できる軽微な錆しか発生しないことが確認できた。

4. 実験結果の規準への反映

4.1 PC グラウト充填までの期間

別稿にて報告する屋外暴露実験および本稿で報告した恒温恒湿槽内暴露実験により、環境の厳しさに応じ、発生した錆が許容範囲に留まる期間が概ね明らかとなった。それらをまとめると、次のようであった。雰囲気温度の平均値が19℃程度の穏やかないし中程度の環境において暴露したPC鋼材では、錆は8週程度で確認されたが、16週においても十分許容できる程度の錆であった。一方、雰囲気温度が30℃の厳しい環境において暴露したPC鋼材では、錆は5日で発生したが、2週までは十分許容できる程度のものであった。

これらの実験結果を受け、指針改訂版では、環境条件に応じてPC鋼材をダクトへ挿入後、次の期間を限度としてPCグラウトの注入を実施してもよいこととした。a) 厳しい環境の場合（期間中の日平均気温が30℃以上になると予想される場合、または海上での施工）：2週間以内。b) 中程度の環境の場合（期間中の日平均気温が30℃未満と予想される場合）：4週間以内。c) 穏やかな環境の場合（期間を通して日平均気温が20℃未満と予想される場合）：8週間以内。ただし、上記期間内であっても、できる限り速やかにPCグラウトの注入を行うことが原則である。これらの期間は、PC鋼材をダクトに挿入してからのものであり、実施工の工程に加え、PC鋼材の腐食に対する安全性や施工の合理性などを加味すれば、ほぼ妥当なものであると考えられる。なお、海上での施工は、気温に関係なくPC鋼材の腐食に対して厳しい条件であるため、厳しい環境の範疇とした。これらと同様の記述は、fibの文献³⁾⁴⁾にも見ることができる。

また、PC鋼材に散水を行った後に乾布で表面水を拭き取る「初期濡れ」のPC鋼材を用いた実験結果を参考にしてPCグラウト注入までの期間を示したことから、実施工における注意喚起も、次のように指針改訂版に記述した。PC鋼材の挿入は降雨時を避けることが基本であるが、やむを得ない場合はシートで覆うなどして雨を直接PC鋼材にあてないよう処置をしなければならない。誤ってPC鋼材を濡らした場合には、乾いた布などで水分を拭き取ってからシートに挿入しなければならない。

4.2 寒中グラウト工

別稿にて報告する屋外暴露実験では、速やかにPCグラウトを注入することが困難である場合や、寒冷地における冬季施工などで、例示したPCグラウト注入までの期間を守ることが不合理であったりすることも想定されるため、速やかにPCグラウトを注入することができない場合の一時防錆対策に関する実験も行った。一時防錆対策として、防錆油を塗布したPC鋼材およびダクト内の湿度が60%を上回らないような制御をした乾燥空気をダクトに通風する方法を選定して検証した。その結果、両対策とも一定以上の効果があり、暴露25週でも許容できる錆で抑えられることが確認できた。

この結果を受け、先に示した環境に応じたPCグラウト注入までの期間を超えて注入作業が行えないことが想定される場合には、以下に示す一時的な防錆対策のうち、いずれかを行わなければならない



(a) 拭取り前



(b) 拭取り後

写真-4 暴露14日におけるPC鋼材
(初期濡れあり)の錆状況

ことを指針改訂版に記述した。a) 防錆油によってコーティングされた PC 鋼材を使用する。b) 乾燥空気（ダクト内の湿度が 60%を上回らないような制御をする）を連続的または間欠的にダクトに通風をしなければならない。上記のいずれの場合でもプラスチック製シーシースを用いることを標準とし、その場合は、PC 鋼材をダクトに挿入後 25 週程度まで有効であることが実験によって確認されていることも記述した。ただし、可能な限り速やかに PC グラウトの注入を行わなければならないことに変わりはない。なお、防錆油に関する実験は fib の文献⁴⁾にも紹介されており、冬季に緊張した状態の PC 鋼材を実環境のダクト内に暴露したところ、6 か月間でごくわずかな部分的な錆しか発生しなかったことも報告されている。

また、上記の対策を実施しても、PC 鋼材の腐食が避けられない事例となることが想定される場合には、PC 鋼材の恒久的な防錆対策を実施することが望ましい。恒久的な防錆対策としては、樹脂被覆 PC 鋼材の使用がある。これを用いる場合には、関連基準を参考にするとよい。

5. まとめ

厳しい環境を模擬した恒温恒湿槽内において PC 鋼材の暴露実験を行った。実験結果から次のような結論が得られた。また、別稿にて報告する屋外暴露実験の結果とあわせ、指針改訂版へ次のように反映した。

- 1) 厳しい環境を模擬した暴露実験では、初期濡れを実施した PC 鋼材は暴露5日で錆が発生したが、暴露14日でも乾布で拭き取れる軽微なものであった。また、暴露42日においても PC 鋼材の引張強度の低下はみられなかった。
- 2) 屋外暴露実験および厳しい環境での槽内暴露実験の結果を受け、PC 鋼材をダクトへ挿入後から PC グラウト注入までの期間を、環境に応じて指針改訂版に例示した。
- 3) 屋外暴露実験の結果を受け、速やかに PC グラウトを注入することができない場合の一時防錆対策を指針改訂版に示した。

本報告が、より高品質で合理的な PC グラウト施工の一助になれば幸いである。なお、本実験および検討は、プレストレストコンクリート工学会 PC グラウトの設計施工指針改訂委員会 施工 WG において行ったものである。委員の構成は、青木圭一主査、近藤拓也副査、二井谷教治副査、勝田浩一委員、山家芳大委員、今川隆広委員、武部行男委員、舩野浩司委員、細野宏巳委員、大和信夫委員、東洋輔委員である。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，2012.3
- 2) FIP：FIP Recommendations, Corrosion Protection of Prestressing Steels, 1996.9
- 3) fib：Bulletin 20, Grouting of Tendons in Prestressed Concrete, 2002.7
- 4) fib：Bulletin 33, Durability of Post-Tensioning Tendons, 2005.12