

京都大学	博士（工学）	氏名	近藤 拓也
論文題目	ポストテンション方式 PC 鉄道構造物の腐食に着目した維持管理方法に関する研究		
（論文内容の要旨） 本論文は、鉄道橋で使用されているポストテンション方式 PC 構造物の腐食に着目した維持管理方法の確立を行うために、 PC 鋼材破断に至るまでの劣化過程に焦点を当て、劣化が生じた場合の挙動について実験および解析を行うことにより解明し、さらに得られた結果に基づいて維持管理方法の提言を行った。全 8 章から構成されている。 第 1 章「序論」では、ポストテンション方式鉄道 PC 構造物の腐食に対する維持管理方法に関する研究を行うこととなった背景、目的および本論文の構成について述べている。また、特に道路橋と異なる鉄道橋の特情について整理を行っている。 第 2 章「既往の研究および PC 構造物の維持管理の現状」では、PC 構造物の維持管理に関する現状の課題について整理を行っている。また特に筆者が所属する鉄道 PC 橋の維持管理の現状については詳細な整理を行っている。 第 3 章「ポストテンション方式 PC の腐食とコンクリートひび割れの関係」では、ポストテンション方式 PC 部材を模擬し、塩害等で腐食が生じた場合に生じるひび割れ発生要因について、電食試験および数値解析により検討を行っている。主な結果は以下のとおりである。 ① シース軸方向にグラウトの充填状況が一様な場合、シース外側、シース内側、PC 鋼材をそれぞれ電食した時、コンクリート表面にひび割れが生じるものはシース外側が腐食した場合のみである。 ② シース外側を電食した場合において、グラウト充填率が 0%の場合と 25%以上の場合では、かぶりコンクリートに発生する応力状態は異なる。グラウト充填率 0%では、シース腐食によりシースがグラウト内部側へ変形し、それに追従する形でコンクリートにせん断力を発生させる可能性がある。一方で、グラウトが充填されている場合は、腐食膨張圧により腐食箇所付近のコンクリートに引張力を作用させ、塑性ひずみおよびひび割れを生じさせる。 ③ シース外側を腐食させた場合、コンクリート表面に塑性ひずみが生じるシース膨張ひずみ量は、グラウト充填率により異なる。また、コンクリート表面にひび割れ発生以降、グラウト充填率が大きくなるとともに、ひび割れ幅開口速度は大きくなる。 第 4 章「腐食した PC 鋼より線の外観目視と力学的性質の関係」では、シース内空隙で生じると考える各環境で PC 鋼より線の暴露試験を実施し、各暴露環境における腐食傾向の把握を行い、さらに引張試験を行い力学的性質の変化の把握を行っている。この結果に基づき、実現場における検査を行う場合の着眼点について提案している。得られた結果は以下のとおりである。 ① 各環境で暴露試験終了後、腐食調査を行った結果、いずれの環境についても側線からの腐食が先行する結果が示された。芯線の腐食は、PC 鋼より線のより合わせ部が確認できなくなる程度まで腐食した段階で、断面減少および重量減少する。 ② 塩水噴霧した PC 鋼より線で引張試験を実施した場合、質量減少率 5%程度で JIS 規格を満足しなくなる傾向が示された。また、PC 鋼より線のより合わせ部が確認できなくなる程度まで腐食が進行すると、プレストレスが導入されている供用状態			

京都大学	博士（工学）	氏名	近藤 拓也
においても、腐食により PC 鋼より線の破断が生じうる。 ③ PC 鋼より線の質量減少率と最大荷重および弾性係数の関係が定量的に示された。また実構造物から採取された PC 鋼棒と比較すると、最大荷重残存率と質量減少率の関係は似た傾向が見られたが、弾性係数残存率と質量減少率の関係は、PC 鋼棒と比較して PC 鋼より線の低減率が大きい傾向が示された。 第 5 章「腐食 PC 鋼材のグラウト再注入による腐食抑制効果」では、実 PC 構造物のシース内における空隙を模擬し、腐食した PC 鋼材に塩水散布を実施した後にグラウトを注入し、約 450 日および約 700 日間暴露試験を実施後、各種解体調査を行っている。主な結果は以下のとおりである。 ① 特にグラウトと空隙の境界部において、空隙側 PC 鋼棒で腐食が著しく進行することが示された。このことから、シース内でグラウト未充填が確認された場合、グラウトと空隙の境界部における腐食の有無の確認が必要である。 ② PC 鋼材の直径測定結果から、グラウト再注入を実施した場合、特に塩水散布 63 日以下の腐食度を有する PC 鋼材で、明確な腐食抑制効果が示された。また、塩水散布 112 日以上の場合でもグラウト再注入を実施しない供試体と比較し直径減少量が明らかに小さいこと、およびグラウトと空隙の境界部付近で局所腐食の進展が認められないことから、今回実施した試験の範囲では、グラウト再注入による腐食抑制効果は非常に大きい。 第 6 章「シース腐食が生じた PC はりの曲げ耐荷性能」では、外的塩害やコンクリートの内的塩害により、PC 鋼材に腐食は生じていないもののシースが腐食することによりコンクリートにひび割れが生じた、約 10 年間暴露した PC はりの曲げ載荷試験を行い、健全供試体と比較した曲げ性能について検討を行っている。また、この解析モデルを用い、実 PC 桁に腐食ひび割れが生じた場合の曲げ耐荷性能について検討を行っている。主な結果は以下のとおりである。 ① シース腐食により腐食ひび割れが生じた PC はりの曲げひび割れ発生荷重は、健全 PC はりと比較し 20%程度低下する。 ② 曲げひび割れ発生以前では、はり高さ方向のひずみ分布は腐食ひび割れ発生有無に関わらず直線傾向を示したことから、曲げひび割れ発生以前では、シース腐食ひび割れが生じた PC はりについても、断面が一体化となり作用荷重に抵抗することが。 ③ はりモデルによる数値解析から、シース腐食が生じた PC はりの曲げひび割れ発生以降では、シース腐食面を境として重ねはり的な挙動が生じる可能性がある。 ④ 以上の知見を踏まえ、PC はりが健全な場合、シースが腐食した場合、およびシース腐食に加えて PC 鋼材に腐食が生じた場合の荷重－変位関係についてモデルが提案された。 第 7 章「腐食が生じたポストテンション方式 PC 鉄道桁の維持管理方法に関する提案」では、第 3 章から第 6 章までで検討し得られた結果に基づき、腐食に注目したポストテンション方式 PC 構造物の維持管理時における検査方法および劣化過程を目安とした維持管理方法について提案している。 第 8 章「結論」では、各章で得られた結論を総括するとともに、各章で得られた知見からコンクリート構造物の長寿命化対策技術に関する提言を述べ、今後の課題を取りまとめ、シナリオデザインについて述べている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、鉄道橋で使用されているポストテンション方式 PC 構造物の腐食に着目した維持管理方法の確立を行うために、ポストテンション方式 PC 構造物の PC 鋼材破断に至るまでの劣化過程に焦点を当て、劣化が生じた場合の挙動について実験および解析を行うことにより解明し、さらに得られた結果に基づいて維持管理方法の提言を行っている。得られた主な成果は次のとおりである。

1. シース軸方向にグラウトの充填状況が一様な場合、シース外側、シース内側、PC 鋼材がそれぞれ腐食した時、コンクリート表面にひび割れが生じるものはシース外側が腐食した場合のみであることが実験的および数値解析的に示された。また、シース外側が腐食した場合においても、シース内に充填されているグラウト充填量により、コンクリート表面に発生するひび割れ幅が異なることが実験的に示された。
2. 腐食 PC 鋼より線の健全度評価を行う場合、PC 鋼より線の外観評価で行うことができる可能性を示した。
3. 腐食 PC 鋼より線の最大荷重－破断伸びの関係が一意的に定まる可能性があることを実験的に示した。それらから、PC 鋼より線のより合わせ部が確認できないほど腐食が生じた場合、供用中に PC 鋼より線が破断する可能性を示した。
4. シース内にグラウト未充填箇所が存在すると、グラウト－空隙境界面の空隙側 PC 鋼材で局部的に腐食が進行することが示され、早期にグラウト注入することの必要性を示した。
5. PC 鋼材が腐食しているグラウト未充填箇所にグラウトを注入した場合、直径減少率が 3%程度であれば腐食をほぼ完全に抑制できることが示された。また、直径減少率が 5%程度であっても、腐食速度を低減できることを示した。
6. シース腐食が生じた PC はりの曲げ耐荷性能について、健全 PC はりと比較し、曲げひび割れ発生荷重の低下、最大荷重時の変位の増加、最大荷重以降での残留変位の増加が実験的および解析的に示された。
7. 一連の研究結果に基づき、実 PC 構造物の外観目視による検査方法の着眼点、PC 鋼より線の腐食健全度判定方法、グラウト再注入工の適用性について提案を行っている。

本論文は、プレストレストコンクリート構造物の維持管理方法を向上させる上で有益な結果が得られており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 2 月 3 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。