

京都大学	博士 (工学)	氏名	橋野 哲郎
論文題目	既存PC橋の耐荷性能評価と改築更新に適したコンクリートの開発に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、老朽化が進む既存ストックの増加とメンテナンスに関わる労働力や財源の減少といった課題に対して、既存ポストテンションPC橋（ポステンPC橋）の健全度評価・判定技術の向上と部分更新や改築が必要とされた既存PC橋の高耐久化や施工の効率化に寄与する技術についてまとめたものである。</p> <p>第1章では、序論として論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第2章では、グラウト充填不足に起因するポステンPC桁のシース・PC鋼材の腐食が生じたPC桁の耐荷性能の評価に関する取組み、PC橋の改築・更新に適した高耐久コンクリートとして高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート、についての既往の研究を整理し、本研究の取組みと学術的な意義について明確にしている。</p> <p>第3章では、ポストテンションPC桁の腐食ひび割れとプレストレスの関係について、実橋のグラウト充填調査結果のデータ分析および供試体による鋼製シースとPC鋼材の腐食実験を実施し、腐食ひび割れの発生や進展がプレストレスに与える影響について検討を行っている。得られた結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 1970年代に建設されたポステンPCT桁100径間（687主桁）のグラウト調査結果を分析した結果、シース沿いに発生しているひび割れの約7割の箇所がグラウト充填不良であることが分かった。また、シースに沿ったひび割れの長さおよび幅と、グラウト充填不足長には、若干の正の相関が認められた。 ② 曲げ上げ定着部にグラウト充填不足を再現した供試体の電食実験では、腐食ひび割れはグラウト充填不良部と充填完了部の境界から発生する傾向にあった。さらに、PC鋼材の腐食は、この境界部から進行する傾向にあることから、実橋の点検では、シース沿いひび割れの発生箇所を目標に内部のPC鋼材の状態を確認することを提案した。 ③ グラウト充填不良部で腐食が生じたPC鋼材の緊張力は、鋼材断面の減少率だけではなく、充填不良部の断面減少を生じている鋼材の軸方向範囲の影響も受けることを理論式で示し、実験によってこの現象を確認した。 ④ PC鋼より線の素線に破断が生じた場合、各素線の緊張力分担率に偏りが生じ、断面減少率以上の緊張力低下が生じることを実験で確認した。この現象は、素線の破断に伴うより線断面の重心変化によって生じる断面内のモーメントの変化が影響していると考察し、残存プレストレスの評価において留意する必要があることを示した。 <p>第4章では、腐食ひび割れが生じたポストテンションPC桁の耐荷性能について、3章で作製した供試体の載荷実験を実施し、外観ひび割れやグラウト充填完了部と不良部の境界部が耐荷性能に与える影響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。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① グラウト充填不良が生じやすいPC鋼材曲げ上げ部にグラウトが充填されていなくても、PC鋼材に腐食が生じていなければ、グラウトが充填されたものと同程度の耐荷力を有していることを確認した。 ② グラウト充填不良部に2割程度のPC鋼材腐食が生じた供試体の載荷実験では、素線破断によるせん断破壊が生じた。曲げ上げ部がグラウト充填不良の場合、斜めひび割れの進展が顕著になり、せん断補強筋としても抵抗している曲げ上げ部PC鋼 			

京都大学	博士（社会基盤工学）	氏名	橋野哲郎
<p>材で、これと交差する斜めひび割れの開口に伴い張力増加が生じ、PC 鋼材の破断を起点とする脆性的なせん断破壊リスクが高まることが明らかになった。</p> <p>③ 供試体への電食実験を対象として PC 鋼材腐食進行解析モデルの構築を試み、耐荷性能評価との連成において、シーズに直接膨張ひずみを与え、PC 鋼材の腐食による質量減少を断面減少として考慮することで、腐食によるひび割れの進展や荷重によるひび割れの進展挙動を比較的精度良く評価することが可能であることを示した。</p> <p>④ グラウト充填不良範囲やグラウト再注入が耐荷性能に与える影響を解析的シミュレーションで検討し、曲げ上げ定着部のグラウト充填不良が生じた PC 梁について、腐食ひび割れ長さが初期剛性に影響を与えることや、グラウト再注入が終局荷重を向上させる明確な効果は無いものの、斜めひび割れ発生後の剛性保持に寄与することを明らかにした。</p> <p>第5章では、部分更新や改築が必要とされた既存 PC 橋の高耐久化や生産性向上に寄与する技術として、高耐久で環境負荷低減が期待できる高炉スラグ細骨材（BFS）を用いたコンクリートに着目し、PC 橋へ適用するための基礎的な研究に取り組んでいる。得られた結果は以下のとおりである。</p> <p>① BFS は製造元によって品質に違いがあるため、現在入手が可能な各種 BFS を用いてコンクリート供試体を作製し、クリープ・乾燥収縮を中心に物性の確認を実施している。いずれの BFS を用いた場合でも、天然骨材に比べて高い耐久性と 2～3 割程度のクリープ・乾燥収縮の低減効果が得られることを確認した。</p> <p>② BFS コンクリートの耐凍害性が向上するメカニズムについて、小片試験体による凍結融解試験を実施し、細孔構造の変化に加えて、BFS の水和反応がモルタル中のカルシウムイオンの溶出を減少させ、空隙の増加抑制につながることを確認した。</p> <p>③ BFS コンクリートは、材料分離の抑制や耐久性向上の観点から増粘剤の添加が必要とされ、比較的水セメント比の小さな PC 構造物向けの配合の場合、高粘性な性状と硬化速度の速さが相まってフィニッシュビリティに課題があった。そのため、仕上げ補助剤の使用が BFS コンクリートの耐久性に与える影響や、高炉スラグ微粉末（GGBS）の添加がフレッシュ性状に与える影響について検討を行ない、PC 橋へ適用する BFS コンクリートの配合計画に資する基礎データを整理した。</p> <p>④ 既設 PC 橋を拡幅する改築工事において、新旧 PC 桁の接合までの養生期間短縮を目的として、クリープ・乾燥収縮の低減効果を有する BFS コンクリートの適用を検討し、それらを考慮した構造解析による工程短縮効果の検証や、実装する BFS コンクリートの配合による性能確認試験、実橋ひずみ計測による効果検証を実施し、今後の同種工事の計画に BFS コンクリートを適用できるようにした。</p> <p>第6章では、3章から5章で得られた研究の成果を整理し、膨大な建設数を有するポステン PC 橋の改築や更新を含めたメンテナンスの本格化に対して、効率的な予防保全型のメンテナンスサイクルのシナリオを示し、シナリオの実現に資する技術の一端として、グラウト充填不足部を有する既存ポステン PC 橋の耐荷性能評価に関する提案と、改築や部分更新が必要となった PC 橋の高耐久化や施工の効率化に関する提案を行っている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、老朽化が進む既存ストックの増加とメンテナンスに関わる労働力や財源の減少といった課題に対して、既存ポストテンション PC 橋 (ポステン PC 橋) の健全度評価・判定技術の向上と部分更新や改築が必要とされた既存 PC 橋の高耐久化や施工の効率化に寄与する技術についてまとめたものであり、以下の主な成果が得られている。

1. 既存ポステン PC 橋の点検の着目点に関して、グラウト充填不良部で腐食が生じた PC 鋼材の緊張力は、鋼材断面の減少率だけではなく、グラウトによる付着がない区間の断面減少範囲の影響を受けることを理論式で示した。また、PC 鋼より線の場合は、素線の一部が破断あるいは断面減少すると各素線の張力分担に偏りが生じ、素線の断面減少率以上に緊張力の低下が生じることを明らかにした。

2. 供試体による電食実験を対象として腐食進行解析モデルの構築を試み、耐荷性能評価との連成において、シーズに直接膨張ひずみを与え、PC 鋼材の腐食による質量減少を断面減少として考慮することで、腐食によるひび割れの進展や荷重によるひび割れの進展挙動を比較的精度良く評価できることを明らかにした。さらに、グラウト充填不良範囲やグラウト再注入が耐荷性能に与える影響を数値解析シミュレーションで示し、曲げ上げ定着部のグラウト充填不良が生じた PC 梁について、腐食ひび割れ長さが初期剛性に影響を与えることや、グラウト再注入が終局荷重を向上させる明確な効果は無いものの、斜めひび割れ発生後の剛性保持に寄与することが明らかとなった。

3. PC 構造で拡幅や部分的な更新を行う場合、既設構造物との一体化の時期は一般的に新設 PC 桁の製作後、クリープ・乾燥収縮を進行させるために 6 か月間の養生期間を必要とするが、クリープ・乾燥収縮の低減効果に優れた BFS コンクリートを新設桁に用い、部材寸法の変化を低減することで養生期間の短縮が可能となることを明らかにした。また、PC 構造物に用いる水セメント比の小さな富配合の BFS コンクリートは、フニッシュビリティーの低下が課題となるが、仕上げ方法の改善手法や高炉スラグ微粉末の併用によりフレッシュ性状を改善でき、今後の同種工事への適用が可能となることを示した。

以上より、本論文は、既存ポステン PC 橋の健全度評価・判定技術の向上と部分更新や改築が必要とされた既存 PC 橋の高耐久化や施工の効率化に貢献する研究であり、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、令和 6 年 2 月 22 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。