

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	既設コンクリート部材内に固定定着した PC 鋼棒を用いたプレストレス補強工法の開発
氏 名	三本 竜彦
<p>既設コンクリート構造物を補強する場合、一般的な補強工法は補強対象部材の周辺に補強材を配置する空間が必要になるため、周辺環境条件やコスト、技術的な問題等により実施が困難であるケースが少なくない。また、既設コンクリート構造物を打ち継いで新たにコンクリートを追加する場合、コンクリート部材同士はあと施工アンカーにて定着した鉄筋を用いた RC 構造とすることが一般的である。この構造では、あと施工アンカー用の多数の削孔が必要となることがあり、鉄筋を避けた削孔が困難となることもある。さらに、耐久性の観点から弱点となりやすい打継ぎ部が RC 構造であるため、PC 構造に比べ耐久性が劣るものと考えられる。</p> <p>このような課題に対処するため、既設コンクリート内部を拡張削孔し、そこに固定定着した PC 鋼材を用いてプレストレスを導入することで、既設構造物の内部補強あるいは新旧部材の一体化を図る工法を開発した。この工法の主な特長は、削孔や緊張に必要な作業空間のみ確保できればプレストレスによる部材補強が可能であり部材周辺に追加部材を設置する空間が不要であること、新旧コンクリートを一体化する場合にはプレストレスにより樹脂アンカー本数を少なくできること、新旧コンクリートの打継目にプレストレスが作用するためひび割れ抵抗性が向上することである。</p> <p>本研究ではこのプレストレス補強工法の実用化を目的として、$\phi 23\text{mm}$ の PC 鋼棒 B 種 1 号を緊張材に使用した構造を想定し、固定定着構造に焦点を当てた要素実験により構造詳細を定めた後、実大供試体を用いて固定定着構造の定着耐力と長期定着性能を明らかにした。さらに本工法を適用した場合の補強効果を実大はり実験を用いた曲げ載荷実験によって調べた。</p> <p>本論文は全 6 章の構成であり、各章の内容は以下のとおりである。</p> <p>第 1 章「序論」では、コンクリート構造物の維持管理に関する現状について述べるとともに、プレストレストコンクリートの概要と補強への適用事例を例示し、本研究の背景を述べた。また、本研究に関係する既往の研究についてまとめた。その上で、本研究の目的を明らかにした。</p> <p>第 2 章「開発したプレストレス補強工法の特徴」では、既設コンクリート部材内に固定定着した PC 鋼棒を用いたプレストレス補強工法について、優位性や適用対象、工法の施工手順、固定定着構造を構築するための拡張削孔方法を概説し、固定定着構造の定着機構を推定した。また、工法の適用範囲や留意点を示した。</p> <p>第 3 章「PC 鋼棒の固定定着構造に関する実験的検討」では、緊張材を定着するコンクリート部材寸法、固定定着構造のくさび形状、充てん材種類をパラメータとして、固定定着構造を模した実大要素供試体を用いた押抜き載荷試験を行い、パラメータが耐荷力におよぼす影響について実験的検討を行った。その結果、高強度モルタル充てん材を用い、かつ定着する既設コンクリート部材寸法が 400mm 以上あれば固定定着構造は十分な性能を有していること、固定定着構造の形状が耐荷力に与える影響は小さいものの充てん材の種類が耐荷力におよぼす影響は大きいことを明らかとした。この結果を踏まえ、固定定着構造のディテールを定めた。</p>	

第4章「固定定着したPC鋼棒の引抜き力に対する定着性能の検討」では、実構造を模した部材寸法が400mmの実大供試体を用いて、高強度モルタルにより定着したPC鋼棒の引抜き载荷実験を行い、固定定着構造の定着耐力を調べ、さらに使用状態における緊張力を1年間持続载荷して長期定着性能を調べた。その結果、PC鋼棒の規格引張荷重(449kN)以上の引抜き力を与えた状態においても、固定定着構造は十分な定着耐力を有していることを明らかにした。また、使用状態に作用する引抜き力に対して固定定着したPC鋼棒のすべり量は0.24mmと実用上無視できる程度であり、また1年間の持続载荷におけるすべり量も0.1mm程度とわずかであったことから、固定定着構造は引抜き力に対する十分な定着性能を維持できることがわかった。

第5章「打継ぎ部を有するコンクリートはりの実験的検討」では、打継ぎ面に与えたプレストレスの効果を調べるため、打継ぎを設けた実大はり供試体を用いて曲げ载荷試験を行った。この実験では、一般的なRC構造によるあと施工アンカーを用いた打継ぎ工法とも比較した。さらに打継ぎ部材の耐久性比較のため、打継ぎ部における水密性(塩分浸透性)も調べた。その結果、本工法でプレストレスを与えた打継ぎ部材は、高い曲げ耐力とひび割れ抵抗性、復元性を示すとともに、塩分浸透性の試験より優れた水密性を示す結果が得られた。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題や展望を整理した。

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	Development of a Strengthening System Using Post-tension Tendon with an Internal Anchorage of Existing Concrete Members
氏 名	MIMOTO Tatsuhiko
<p>Reinforcing materials are generally arranged outside of existing concrete members. Adequate workspaces are often required for this strengthening work. In addition, new and old concrete jointed members are generally constructed as reinforced concrete structures, so steel corrosion may occur at the joint. Conventional strengthening systems are influenced by environmental conditions.</p> <p>To mitigate the environmental impact and workspace issues, a new strengthening method for existing concrete members has been developed. The strengthening system uses a post-tensioned prestressing tendon embedded into a wedge-shaped internal anchorage of existing concrete member.</p> <p>The machineries used in the strengthening work are compact and it can locally strengthen concrete members by embedding prestressing tendons at various points. Hence, the system can be used in relatively narrow work spaces such as the foundations. The post-tensioning system enables the addition of new concrete members to existing concrete structures. Whereas conventional RC jointed members are vulnerable to steel corrosion at the joints of the new and old concrete, the developed prestressing system may increase the durability of the jointed structure.</p> <p>This study reports the results of fundamental tests conducted on structures containing prestressing tendon 23 mm in diameter to examine its deformation behavior under the design load. A push-out test using full-scale concrete specimens embedding the wedge-shaped anchorage was conducted to evaluate the anchor performance. The focus of the test was to determine the dimensions of the anchorage for a pull-out test using full-scale concrete specimens. To examine the load-bearing capacity and long-term behavior of strengthened concrete, a pull-out test of prestressing tendons was also performed using full-scale concrete specimens. In addition, full-scale reinforced concrete beams were connected by the developed method. To confirm the improved structural performance and durability, flexural loading test was conducted using the jointed structures.</p> <p>The thesis consists of 6 chapters, and contents of each chapter are shown below:</p> <p>Chapter 1 “Introduction” describes current maintenance techniques of concrete structures, and shows examples of application of strengthening system with prestressing tendons. In this chapter, the purpose of this study and the outline of the thesis are presented.</p> <p>Chapter 2 “Characteristics of the developed strengthening method with internal prestressing” describes the strengthening system using post-tension tendon with an internal anchorage of existing concrete members. This chapter summarizes advantages of the system and targeted applications. Also, the chapter shows the construction procedure of the method. Applicable ranges and concerns of the strengthening system are also summarized in the chapter.</p> <p>Chapter 3 “Experimental investigation on the internal anchorage” shows the push-off test of the prestressing tendon. The test was conducted using full-size specimens to examine the anchorage effect. The experimental parameters were dimensions of concrete member and wedge-shaped hole for embedding a tendon as well as filling materials. The result shows that high-strength mortar filler was suitable material for anchoring the tendon, and that the minimum size of concrete was 400 mm. Based on the test result, details of strengthening system were determined.</p>	

Chapter 4 “Pull-out tests for the post-tensioned tendon” reports the pull-out test of the prestressing tendon fixed with high strength mortar using full-size specimens having a member dimension of 400 mm. The pull-out test was conducted to examine the load-bearing capacity and the long-term anchoring performance. The test results revealed that the anchor has sufficient anchoring performance even under higher force than the designed tensile load (449 kN) of the prestressing tendon. The observed slips of the tendon were 0.24 mm for the pull-out test and 0.1 mm for the sustained loading test. These slips are negligible for practical use. The test results confirm that the fixed anchor can maintain sufficient anchoring performance against tensile force.

Chapter 5 “Experimental investigations on jointed concrete members” focused on the test of jointed concrete members using the developed method. The strengthening effect of the system was examined in a loading test on jointed full-scale concrete members. Saltwater permeability at the joint was also examined. The flexural properties of the jointed members were compared to those of concrete beams jointed with conventional post-installed adhesive anchors. The concrete beams jointed by the proposed system exhibited superior crack-resistance and load-carrying capacity, and their joints were strongly water-impermeable.

Chapter 6 “Summary” presents the remarkable conclusions of this study, and describes future problems at the end of the thesis.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 711 号	氏名	三本 竜彦
最終試験担当者	主査委員	吉武 勇	
	審査委員	清水 則一	
	審査委員	中村 秀明	
	審査委員	麻生 稔彦	
	審査委員	渡邊 学歩	
【論文題目】			
既設コンクリート部材内に固定定着した PC 鋼棒を用いたプレストレス補強工法の開発			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】			
<p>既設コンクリート構造物を補強する場合、一般的な補強工法は補強対象部材の周辺に補強材を配置する空間が必要になるため、周辺環境条件やコスト、技術的な問題等により実施が困難であるケースが少なくない。また、既設コンクリート構造物を打ち継いで新たにコンクリートを追加する場合、コンクリート部材同士はあと施工アンカーにて定着した鉄筋を用いた RC 構造とすることが一般的である。この構造では、あと施工アンカー用の多数の削孔が必要となることがあり、鉄筋を避けた削孔が困難となることもある。さらに、耐久性の観点から弱点となりやすい打継ぎ部が RC 構造であるため、PC 構造に比べ耐久性が劣るものと考えられる。</p> <p>このような課題に対処するため、既設コンクリート内部を拡張削孔し、そこに固定定着した PC 鋼材を用いてプレストレスを導入することで、既設構造物の内部補強あるいは新旧部材の一体化を図る技術を開発している。この技術の主な特長は、削孔や緊張に必要な作業空間のみ確保できればプレストレスによる部材補強が可能であり部材周辺に追加部材を設置する空間が不要であること、新旧コンクリートを一体化する場合にはプレストレスにより樹脂アンカー本数を少なくできること、新旧コンクリートの打継目にプレストレスが作用するためひび割れ抵抗性が向上することである。</p> <p>本研究ではこのプレストレス補強工法の実用化を目的として、$\phi 23\text{mm}$ の PC 鋼棒 B 種 1 号を緊張材に使用した構造を想定し、固定定着構造に焦点を当てた要素実験により構造詳細を定めた後、実大供試体を用いて固定定着構造の定着耐力と長期定着性能を明らかにしている。さらに開発した工法を適用した場合の補強効果を実大はり実験を用いた曲げ載荷実験を行い、その性能を確認している。</p> <p>本論文は全 6 章の構成であり、各章の内容は以下のとおりである。</p> <p>第 1 章「序論」では、コンクリート構造物の維持管理に関する現状について述べるとともに、プレストレスコンクリートの概要と補強への適用事例を例示し、本研究の背景をまとめている。また、本研究に關係する既往の研究をレビューした上で、本研究の位置づけや目的を明らかにしている。</p> <p>第 2 章「開発したプレストレス補強工法の特徴」では、既設コンクリート部材内に固定定着した PC 鋼棒を用いたプレストレス補強工法について、優位性や適用対象、工法の施工手順、固定定着構造を構築するための拡張削孔方法を概説するとともに、固定定着構造の定着機構を説明し、さらに本工法の適用範囲や留意点を示した。</p>			

第3章「PC鋼棒の固定定着構造に関する実験的検討」では、緊張材を定着するコンクリート部材寸法、固定定着構造のくさび形状、充てん材種類をパラメータとし、固定定着構造を模した実大要素供試体を用いた押抜き載荷試験について報告している。実験結果より、高強度モルタル充てん材を用い、かつ定着する既設コンクリート部材寸法が400mm以上あれば固定定着構造は十分な性能を有していること、固定定着構造の形状が耐荷力に与える影響は小さいものの充てん材の種類が耐荷力におよぼす影響は大きいことを報告している。この実験結果を踏まえ、固定定着構造のディテールを定めている。

第4章「固定定着したPC鋼棒の引抜き力に対する定着性能の検討」では、実構造を模した部材寸法が400mmの実大供試体を用い、高強度モルタルにより定着したPC鋼棒の引抜き載荷試験について報告している。特にこの実験では、固定定着構造の定着耐力を調べるとともに、使用状態における緊張力を1年間持続載荷して長期定着性能を調査している。実験結果より、PC鋼棒の規格引張荷重(449kN)以上の引抜き力を与えた状態においても、固定定着構造は十分な定着耐力を有することを報告している。また、使用状態に作用する引抜き力に対して固定定着したPC鋼棒のすべり量は0.24mmと実用上無視できる程度であり、また1年間の持続載荷におけるすべり量も0.1mm程度とわずかであったことから、固定定着構造は引抜き力に対する十分な定着性能を維持できることが報告している。

第5章「打継ぎ部を有するコンクリートはりの実験的検討」では、打継ぎ面に与えたプレストレスの効果を調べるため、打継ぎを設けた実大はり供試体を用いて曲げ載荷試験を行っている。この実験では、一般的なRC構造によるあと施工アンカーを用いた打継ぎ工法とも比較した。さらに打継ぎ部材の耐久性比較のため、打継ぎ部における水密性(塩分浸透性)も調べている。実験結果より、本工法でプレストレスを与えた打継ぎ部材は、高い曲げ耐力とひび割れ抵抗性、復元性を示すとともに、塩分浸透性の試験より優れた水密性を示したことを報告している。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の研究課題と展望について述べている。

公聴会には、学内外から45名の聴講者があった。公聴会での主な質問は、PC鋼棒のサイズ(径・長さ)や降伏強度について、PC鋼より線などではなくPC鋼棒を用いた理由、持続載荷試験におけるPC鋼棒のすべりの定義とその要因、無筋構造や小断面に対する適用性、固定定着部における充填材の材料選定、などであった。いずれの質問に対しても発表者から適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するものと判断した。論文内容及び審査会、公聴会での質疑に関する応答などから、最終試験を合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである(関連論文:計7編、参考論文:計4編)。

【主な関連論文】

- 1) Tatsuhiko MIMOTO, Takuya SAKAKI, Takafumi MIHARA and Isamu YOSHITAKE: Strengthening System Using Post-tension Tendon with an Internal Anchorage of Concrete Members, *Engineering Structures*, Elsevier, Vol.124, pp.29-35, 2016.10.
- 2) Tatsuhiko MIMOTO, Isamu YOSHITAKE, Takuya SAKAKI and Takafumi MIHARA: Full Scale Flexural Test of Jointed Concrete Members Strengthened with Post-tension Tendons with Internal Anchorage, *Engineering Structures*, Elsevier, Vol.128, pp.139-148, 2016.12.

ほか5編