

学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法の適用性の向上
氏名(Name)	三原 孝文
<p>経年劣化による性能低下や現在の技術基準に対して要求性能を満足していない構造物が増加するなかで、既設コンクリート構造物を長寿命化し、安心・安全に活用していくためには、効率的、経済的に構造物を補修・補強する技術の実用化が必要とされている。そのなかで、部材の内部補強や打継部の一体化にも用いられるプレストレス補強工法にも期待が寄せられている。</p> <p>しかし、既設コンクリート構造物を補強する場合、補強対象部材の周辺に補強材を配置・挿入するための作業空間を必要とするため、施工条件や周辺環境等によっては、実施が困難なケースも少なくない。また、対象とする部材形状や供用環境も構造物毎に異なり、補強の仕様も多様である。</p> <p>そこで本研究では、既設コンクリート構造物の性能回復および性能向上を目的とし、先行研究で開発された「内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法」をより実用的に発展させ、上記の課題に対処した。本研究では、施工条件や対象とする部材、および供用環境を想定し、それぞれに適用するための新たな緊張材として、「中空PCストランド」、「小径PC鋼棒(φ13mm・φ17mm)」、「炭素繊維複合ケーブル」に着目し、その適用性をグラウト試験およびコンクリートブロックを用いた緊張材の引抜き試験による実験的検討を行った。</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章では、本研究の社会的・技術的な背景を述べたうえで、本研究に関連した既往の研究を調査・整理し、現状の問題を抽出したうえで、本研究の目的を示した。</p> <p>第2章では、先行研究で開発した「内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法」の概要と特徴を示したうえで、工法の適用事例と現状の課題について示した。</p> <p>第3章では、本工法を実用的に発展させるために、PC鋼棒と比べて狭隘な作業スペースでも施工することができ、充填材の注入も容易となる緊張材として、可撓性を有し断面中央に充填材を注入するためのコルゲート管(内径10mm)を配置した「中空PCストランド緊張材」に着目した。</p> <p>5mの長尺コルゲート管を用いたグラウト試験を6種類の配合により行い、適用可能な3配合を選定した。次に部材断面寸法400mmのコンクリートブロック($\sigma_c=24\text{MPa}$)を用いて、鉛直下向き方向の施工により固定定着した中空PCストランドの引抜き実験を実施して、3配合の定着性能を調べた。</p> <p>さらに、透明アクリル管を用いて水平方向施工を模したグラウト試験を行い、水平方向への施工にも最適な配合の特定した上で、部材断面寸法400mmのコンクリートブロック($\sigma_c=24\text{MPa}$)に水平方向の施工により固定定着した中空PCストランドの引抜き実験を実施して、固定定着部の定着性能を調べた。その結果、特定した充填材を使用して構築した固定定着部は、中空PCストランド緊張材の規格引張荷重(588kN)以上の定着性能を満たしており、実構造物に適用できることを明らかにした。</p> <p>第4章では、本工法を床版等の薄肉部材に適用するために、「小径PC鋼棒φ13mm, φ17mm」に着目した。部材寸法を150~250mmに変化させた小型供試体($\sigma_{ck}=30\text{MPa}$)に小径用拡張ビットを用いて削孔を行い、小径PC鋼棒を固定定着させて引抜き試験を行い、定着性能を調べた。</p> <p>この結果をもとに、実大供試体($\sigma_c=24\text{MPa}$)に水平定着した小径PC鋼棒の引抜き載荷実験を行い、固定定着部の定着耐力を調べた。その結果から、φ13mmPC鋼棒では、1辺150mm以上の部材寸法があればB種1号の規格引張荷重(143.3kN)以上の定着性能を発揮し、φ17mmPC鋼棒では、250mm</p>	

以上の部材寸法があればB種1号の規格引張荷重(245.2kN)以上の定着性能を発揮していることから、床版等の薄肉部材へ適用できることを示した。

第5章では、本工法を塩害等の過酷な環境下にある構造物に適用するために、耐腐食性に優れる非鉄系緊張材である「炭素繊維複合ケーブル緊張材」に着目した。ここでは、床版等の薄肉部材への適用を想定し、 $1\times 7-10.5\phi$ と $1\times 7-12.5\phi$ の2種類の炭素繊維複合材ケーブルを対象とした。第4章の小径PC鋼棒と同様に、部材寸法を150~250mmに変化させた小型コンクリートブロック($\sigma_{ck}=30\text{MPa}$)を用いて、固定定着部に挿入する緊張材先端部の加工方法を変えた供試体を製作し、引抜き実験により固定定着部の定着耐力を調べた。先端部の加工方法には、緊張材の外周に鋼管を配置し膨張材で一体化させたスリーブ式と、ストランドを解いて房を形成する解撚式(一房・二房)を用いた。

その結果、先端部加工にスリーブ式を用いた場合、 $1\times 7-10.5\phi$ の補償破断荷重(141kN)に対して、部材厚さ200mm~250mm、 $1\times 7-12.5\phi$ の保証破断荷重(184kN)に対して、同150mm~250mmへの適用性が窺えるものの、施工性には課題があり、固定定着部に空隙が発生する等の懸念があることが分かった。一方で、解撚式を用いた場合、一房でも部材厚さが150mm~250mmへの適用性が窺え、スリーブ式と同等な引抜き耐力が得られたこと、また現場での加工の容易性や経済性の観点から、この方法が望ましいことが分かった。

第6章では、本研究で得られた知見を取り纏めるとともに、今後の課題と展望を示した。

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	三原 孝文
審査委員	主 査：吉武 勇
	副 査：進士 正人
	副 査：中村 秀明
	副 査：麻生 稔彦
	副 査：中島 伸一郎
論文題目	内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法の適用性の向上
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>既設コンクリート構造物を永く活用するため、効率的・経済的に構造物を補修／補強する技術の実用化が必要とされる。コンクリート部材の内部補強や打継部の一体化にも用いられるプレストレス補強工法は有効な手段の一つである。補強工事においては、対象部材の周辺に補強材を配置・挿入するための作業空間を必要となり、施工条件や周辺環境等によっては、実施が困難となる。また、補強対象の部材形状や供用環境も構造物ごとに異なるため、これらに対応できる補強工法が求められる。そこで本研究では、先行研究において開発された「内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法」をより実用的に発展させるため、様々な施工条件や供用環境にも適用できる緊張材として、「中空 PC ストランド」、「小径 PC 鋼棒」、「炭素繊維複合ケーブル」について検討した。本研究は、これらの各種緊張材の実用化を図るため、グラウト試験および引抜き試験を行い、その適用性の評価を行ったものである。</p> <p>本論文は6章構成となっており、それぞれの章の内容を以下に示す。</p> <p>第1章では、本研究の社会的・技術的な背景を示すとともに、既往の研究を調査・整理しながら現状の問題を抽出し、本研究の目的を明らかにしている。</p> <p>第2章では、先行研究で開発した「内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法」の概要と特徴を示しながら、同工法の適用事例と現状の課題について言及している。</p> <p>第3章では、狭隘な作業スペースでも施工するため、可撓性を有し、断面中央のコルゲート管を通じて充填材を注入できる「中空 PC ストランド」の緊張材としての適用性について検討している。先ず5mの長尺コルゲート管を用いたグラウト試験を行い、適用可能な3配合を特定している。次に部材断面寸法 400mm のコンクリート部材に固定定着した中空 PC ストランドの引抜き実験を実施して、3配合の定着性能を比較している。さらに、透明アクリル管を用いて水平方向の充填性を調べ、水平グラウトで固定定着した中空 PC ストランドの引抜き実験を実施して、固定定着部の定着性能を調べた。その結果、中空 PC ストランド</p>	

(様式 9 号)

緊張材の規格引張荷重 (588kN) 以上の定着性能を満足でき実構造物に適用できることを明らかにしている。

第 4 章では、本工法を床版等の薄肉部材に適用するため「小径 PC 鋼棒」に着目し、断面寸法 150~250mm 角のコンクリート部材に固定定着して引抜き試験を行っている。この実験より、1 辺 150mm 以上の部材では ϕ 13mm の PC 鋼棒、同 250mm 以上の部材では ϕ 17mm の PC 鋼棒を用いることで、それぞれの規格引張荷重を満足でき、床版等の薄肉部材へ適用できることを報告している。

第 5 章では、耐腐食性に優れる「炭素繊維複合ケーブル緊張材」に着目し、4 章同様の引抜き試験を実施している。緊張材の外周に鋼管を配置し膨張材で一体化させたスリーブ式と、ストランドを解いて房を形成する解撚式 (一房・二房) の先端加工を行い、その定着性能を調べている。その結果、一房の解撚式でも部材厚さ 150mm~250mm への適用性が窺えたことから、現場での加工の容易性や経済性の観点から、この方法を推奨している。

第 6 章では、本研究で得られた知見を取り纏めるとともに、今後の課題と展望を示した。

公聴会には、学内外から 52 名 (オンライン) の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、主に本工法が適用できる母材コンクリートの強度・寸法などの条件について、炭素繊維緊張材の緊張側の定着方法について、補強方法の品質確保と検査方法について、定着部の割裂破壊に対する理論計算法について、削孔の直進性の確保について、水平方向のグラウト材の特性について、などであった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

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、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計 6 編、参考論文 0 編)

- 1) Takafumi Mihara, Isamu Yoshitake, Ryosuke Anami, Naoyuki Tsumura and Tatsuhiko Mimoto: Grouting and pull-out tests of hollow-type prestressing-strands for an internal strengthening system, *Engineering Structures*, Vol.206, 110176, 2020.
- 2) 三原 孝文, 三本 竜彦, 倉富 芳朗, 虻川 真大, 吉武 勇: 内部固定定着部を用いたポストテンション方式プレストレス導入工法の実構造物への適用と先端部充填材に関する検討, コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.587-592, 2017.
- 3) 三原 孝文, 安居 紗奈子, 小野 雅樹, 吉武 勇: 内部固定定着部を用いたポストテンション方式プレストレス補強工法における小径緊張材の引抜き耐力に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.1111-1116, 2020.

ほか 3 編