

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560552

研究課題名(和文) 定着用膨張材によるPC鋼材の簡易中間定着具の開発と定着機構

研究課題名(英文) Development of intermediate anchoring device for PC tendons using Highly Expansive Material and its anchoring mechanism

研究代表者

原田 哲夫 (HARADA, Tetsuo)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：50136636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：PC鋼材が緊張状態にある中間定着では、従来のPC定着工法が適用できないため、研究代表者らが開発した定着用膨張材(HEM)を用いた定着法が有用であり、新たに現場施工性に優れた中間定着具を開発した。実構造物で使用されているPC鋼材を対象とした中間定着実験を実施し、中間定着具の性能評価を行うとともに、HEM層がせん断伝達バネとして挙動しているとの定着機構を明らかにした。これを基に連立微分方程式を誘導し、数値解析を行った結果、実験結果をシミュレートできる有効な解析法であることが分かった。これより、所定の緊張力に必要な定着長を明らかにし、HEM中間定着具の設計法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The anchoring method using Highly Expansive Material (HEM), which has been developed by the authors, is confirmed that it was very useful for the intermediate anchoring method in prestressed concrete structures using prestressing tendons. In this study, the handy HEM intermediate anchoring device has been newly developed and reported. The anchoring performance tests for prestressing tendons with HEM anchors were carried out, and the HEM anchoring mechanism, based on the experimental results was investigated using shear transfer mechanics. Nonlinear simultaneous differential equations were introduced, assuming that HEM layer behaves as shear spring and the numerical analyses were carried out. It was found that the results of numerical simulation agreed well with the experimental results. Also, it was clarified that the nominal length requirement for steel sleeve to grip firmly up to yield point of steel strands. Moreover, the design concept of HEM intermediate device was also proposed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：定着用膨張材 PC緊張材 中間定着 定着具 プレストレストコンクリート

## 1. 研究開始当初の背景

近年、交通環境の変化に伴い、車両の大型化による道路スペックの格上げ、およびスピード化による道路線形の改良が必要となり、橋梁についても供用形態の変更がたびたび検討されている。2050年にはPC橋の半数が築50年を越えると予想されており、架替えとなる場合の理由のほとんどが、幅員の不足や道路線形の改良となっている。

その際、既設の橋梁全体を撤去して新しい橋梁に架替え、その計画にマッチさせる方法が最も簡便で安易な方法である。しかしながら、解体・撤去後に新設することは、公共工事費が削減されていくなか、現在および将来とも、その可能性は極めて少ないといつてよい。上記のような状況の中、現実的な対策としては、「使える部分はできるだけ残し、そのまま供用する方法」である。この方法は、定着方法などの技術的な問題が解決されていないため、これまで一般的な工法として、採用されてこなかった。しかしながら、この方法を選択肢の中に加えることが出来るならば、バリエーションが広がるとともに、事業費を相当程度低減できる。

PC道路橋は、数本の主桁をPC鋼材で横締めし、一体化されている構造が多い。横締め間隔も60cm程度と比較的小さく、1橋梁あたりの横締め数は相当数に上る。道路の拡幅工事を例に取れば、まず片側車線の一部を撤去し、残りをそのまま供用する場合、この横締めを途中で切断する必要がある。そのときに、供用部分のプレストレス力を保持したまま、横締めが緩まないようにすることが絶対条件である。緊張状態にあるPC鋼材を緩まない状態で、途中で定着する方法、すなわち、中間定着には、従来のPC定着具は適用できないため、実用的な中間定着工法は、研究代表者が提案する「定着用膨張材(HEM)を用いる定着法」以外には見当たらない。

## 2. 研究の目的

中間定着には、従来のPC定着工法は適用できない。従来のPC定着工法は、端部定着用の定着工法だからである。

そこで、中間定着には、新たな定着法が必要となってくる。研究代表者が新たな発想に基づいて開発した「定着用膨張材(HEM)」を用いる定着法が中間定着には極めて有効であり、一部で実用化されている。

しかしながら、定着具自体の重量が重く、装着などの施工性に問題があるため、本研究では、HEMの膨張特性と定着性能を保持しつつ、施工性に優れた定着具の開発を目的としている。また、これまでに実用化された定着具の設計のほとんどが、実験や経験に基づいたものであるため、定着機構を明らかにすることによって、必ずしも実験に頼らずとも、一般性、合理性の高い定着具の設計法を目指す必要がある。

## 3. 研究の方法

### (1) 簡易中間定着具の開発

セット時に軽量であり、ハンドリングに優れていることが必要条件となるが、同時に、40MPaを超える高膨張圧を発生・持続できるだけの剛性が確保された定着具でなければならない。緊張状態にあるPC鋼材を半割れ状態の鋼管スリーブを上下にセットし、それを拘束するC形鋼材を順次はさみ込む定着具を考えている。PC鋼材と半割れスリーブのすきまに定着用膨張材のスラリーを充填する。ここでは、C形鋼材の剛性など必要膨張圧を確保すべき要因やPC鋼材と半割れスリーブのすきまの最適寸法など定着具の構造について、実験的に検討する。

### (2) 現場での膨張圧の管理方法の検討

スリーブがC形鋼材で構成されており、膨張圧が鋼管スリーブの場合のように、一様に発現するかの検討も含めて、どの位置の膨張圧を測定すべきか、また、現場での簡易的な膨張圧管理方法について、簡易型圧力計を用いた実験的な検討を行う。

### (3) PC鋼材の種類と必要定着長に関する実験的検討

PC橋の横締めで使用されているPC鋼棒とPC鋼より線を対象とし、そのうち、PC鋼棒では23、26の2種類、PC鋼より線では1T17.8、1T19.3、1T21.8の3種類を取り上げ、40MPaの膨張圧で、設計緊張荷重をどの程度の損失で定着できるかを実験的に検討する。この場合、プレテンション方式PC部材のように、定着具内にいわゆる「付着長」が存在し、この長さが必要定着長を決定するものと考えられる。付着長に、鋼材の種類や径の大きさがどのように影響するかについて、実験的に検討する。この場合、膨張圧を変化させた場合についても同様の検討を行う。

### (4) 定着機構の解明と解析的検討

中間定着具内では、プレテンション方式PC部材のように、定着具内に「付着長」が存在する、いわゆる付着定着と考えられる。定着効率に及ぼすPC鋼材の種類と径、スリーブ長あるいは膨張圧の大きさ、膨張材厚さ(PC鋼材とスリーブの隙間間隔)などがどのように影響しているのかなど、定着機構について、(3)での実験結果に基づき考察する。また、上記のような諸量がパラメータとして変動したときにも、付着長を解析的に求める手法について検討する。

### (5) 定着具の設計に関する検討

(3)と(4)の実験データおよび解析結果に基づき、実用に供するための定着具の設計マニュアル作成についての検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 簡易中間定着具の開発

通常の鋼管を半割り状態にしたもの(半割れ鋼管と表記)と、C形鋼材とで構成される簡易中間定着具を開発した。(図1、写真1)  
C形鋼材とは、緊張状態にあるPC鋼材の側

方から容易に半割れ鋼管を包むように装着するために、リング状鋼材の1/4部分をカットし、“Cの字”形状をもつ拘束用鋼材である。組立て方法は図-1に示す通り、半割れ鋼管をセットした後、C形鋼材を互い違いに入れ込んでいくことで、簡単に中間定着具のセットが完了する。

HEMの膨張圧は、C形鋼材の拘束状態、すなわち、C形鋼材の剛性に依存すると考えられるため、C形鋼材の幅と厚さにより剛性を变化させた試験体で実験を行った。C形鋼材の厚さを増して剛性を大きくし、かつ、通し棒によるずれ防止を行うことによって、定着に必要な膨張圧40MPaを確保することができた。(図2)

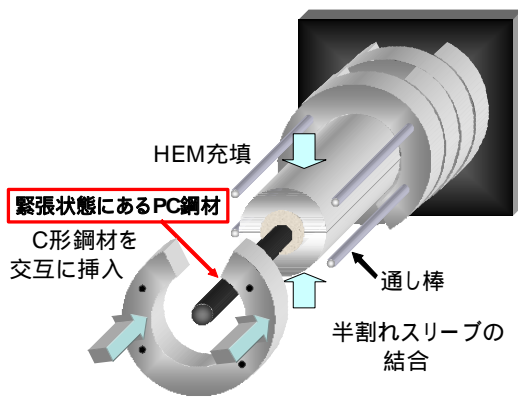


図1 簡易中間定着具の概要



写真1 簡易型中間定着具の外観

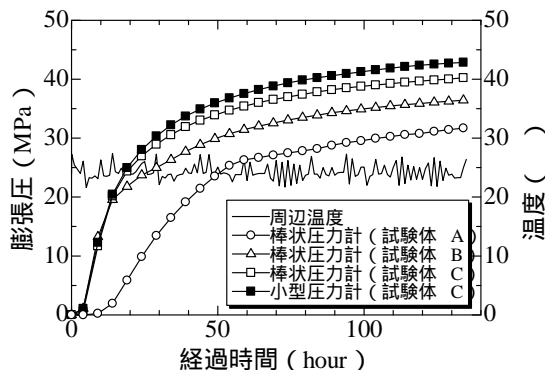


図2 C形鋼材の拘束状態の違いによる膨張圧の経時変化

(2) 現場での膨張圧の管理方法の検討  
現場対応型試験体Cにおいて、PC鋼材に見

立てた棒状圧力計と定着具中央部にセットした小型ダイヤフラム型圧力計の計測値がほぼ同じであったことから、現場での圧力管理には、小型ダイヤフラム型圧力計で対応できることが確認できた。(図2)

(3) PC鋼材の種類と必要定着長に関する実験的検討

緊張力解放時の各荷重段階における中間定着用鋼管スリーブ表面のひずみ分布の一例を示す。この場合の鋼管スリーブ長は400mmである。定着具内部で固定端(アンカープレート側)に近づくにつれて、すなわち解放端からの距離が大きくなるにしたがって、ひずみ値が比例的に増加し、その後増加が緩やかに変化するまでの区間が存在する。この区間がプレテンション方式PCの付着長に相当する。それぞれ最大導入荷重時(PC鋼材の最大引張荷重 $P_u$ の約60%~70%)の付着長を求めると、23PC鋼棒では160mm~180mm、26PC鋼棒では約200mm、17.8PC鋼より線では約150mmであった。この付着長以上の定着長が、中間定着具のスリーブ長として必要となる。(図3、図4)

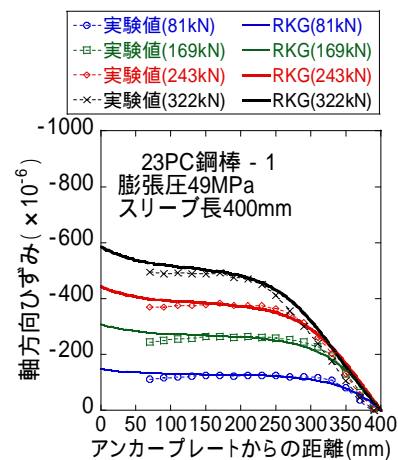


図3 中間定着具のひずみ分布 (23PC鋼棒)

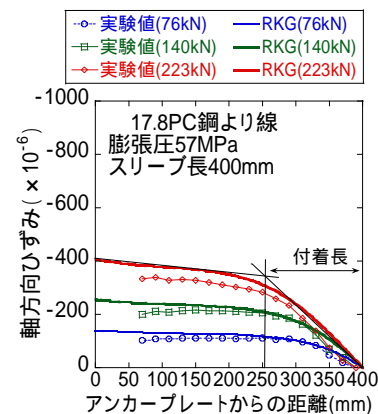


図4 中間定着具のひずみ分布 (17.8PC鋼より線)

(4) 定着機構の解明と解析的検討

(3)に示した実験結果から,HEM 層はせん断バネとして挙動し,単位長さ当たりのせん断力  $q$  によって PC 鋼材に作用する力が,鋼管スリーブに伝達されることがわかった.また,HEM 層のせん断バネ特性は,単位長さあたりのせん断力  $q$  と PC 鋼材変位と鋼管スリーブ変位の相対変位  $s$  との関係 ( $q-s$  関係) で表され, $q-s$  関係は軟化特性を有し,PC 鋼材の種類によって異なる性状を示すこともわかった.(図5,図6)

上記のような定着機構に基づき, $q-s$  関係を用いて,PC 鋼材変位,鋼管スリーブ変位を未知数とする非線形微分方程式を誘導した.これをルンゲ・クッタ・ギル法(RKG)により,数値解析した結果は,実験結果をよく近似していることがわかった.(図3,図4)

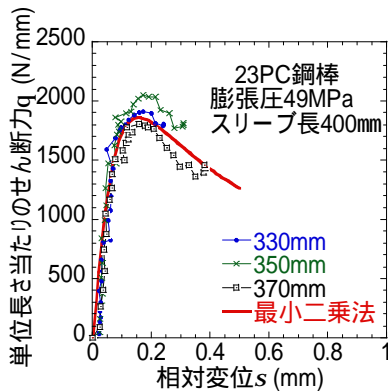


図5  $q-s$  関係 ( 23PC 鋼棒 )

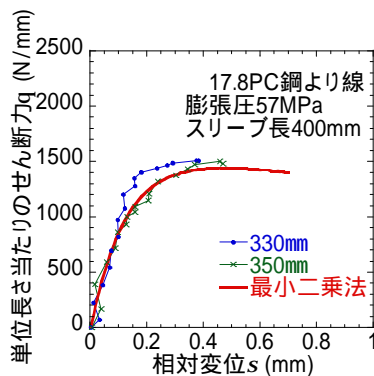


図6  $q-s$  関係 ( 17.8PC 鋼より線 )

(5) 定着具の設計に関する検討

HEM 定着具の設計の基本は,設定された緊張荷重に対して,確実に定着できる定着具の長さ(スリーブ長)を決定することである.

膨張圧の大きさは,40MPa 以上を標準としているので,実験で得られた  $q-s$  関係を用いて,想定したスリーブ長に対応する定着荷重は,(4)で述べた解析方法で求めることができる.ただし,PC 鋼材と鋼管スリーブは弾性体と仮定している.

解析の結果,定着荷重とスリーブ長との関係は,ほぼ直線的になることがわかった.PC 鋼材の種類ごとに,定着荷重とスリーブ長との関係をあらかじめ求めておけば,必要定着長に対応するスリーブ長が定まる.実際の設計では,これに安全率を見込むことにより,設計スリーブ長が決定できると考えている.(図7)

なお,中間定着具で最終的に定着されるときに生じる緊張力の損失は,中間定着具内では発生しないが,プレストレスを残したい区間の長さ(PC 鋼材長)に依存するので,部材長が短い場合には注意が必要であることも明らかにした.

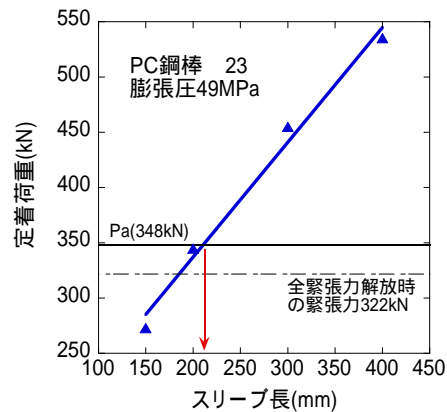


図-7 スリーブ長と定着荷重の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

大畑裕志,原田哲夫,佐々木謙二,生田泰清:定着用膨張材を用いた中間定着工法における PC 緊張材の定着長およびセットロスに関する研究,コンクリート工学年次論文集,査読有,Vol.35, No.2, 595-600, 2013.

原田哲夫,大畑裕志,佐々木謙二,永藤政敏:定着用膨張材を用いた中間定着工法における定着長に関する解析的検討,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,査読有,Vol.12, 411-416, 2012.

原田哲夫,榎本剛,佐々木謙二,永藤政敏:定着用膨張材による PC 緊張材の定着に関する解析的検討,コンクリート工学年次論文集,査読有,Vol.34, No.2, 535-540, 2012.

〔学会発表〕(計1件)

大畑裕志,原田哲夫,佐々木謙二,生田泰清:中間定着工法における太径 PC 鋼棒の定着長およびセットロスに関する研究,平成24年度土木学会西部支部研究発表会,2013年3月9日,熊本

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

原田 哲夫 (HARADA, Tetsuo)  
長崎大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 50136636

### (2)研究分担者

佐々木 謙二 (SASAKI, Kenji)  
長崎大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号 : 20575394

永藤 政敏 (NAGAFUJI, Masatoshi)  
長崎大学・大学院工学研究科・技術職員  
研究者番号 : 00398182