

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書【概要版】

- (1) 課 題 名：PC 桁の健全性評価のための PC 鋼材緊張力の非破壊監視システムの開発
- (2) 研 究 期 間：平成 29～30 年度
- (3) 交 付 申 請 者 名：加藤 佳孝（東京理科大学・教授）
- (4) 研 究 代 表 者 名：加藤 佳孝（東京理科大学・教授）
- (5) 共 同 研 究 者 名：恒國 光義（東電設計(株)・課長）
平間 昭信（飛島建設(株)・部長）
石塚 健一（飛島建設(株)・特別研究員）
江口 康平（東京理科大学・助教）
- (6) 補助金交付総額：17,074,000 円

(7) 技術研究開発の目的

本開発技術は、プレストレストコンクリート T 桁（以下、「PCT 桁」と略す）の PC 鋼材緊張力低下に伴う曲げひび割れ発生前を対象とし、コンクリート表面のひずみの計測に基づく PC 鋼材緊張力の変化の監視手法の開発と、実橋への適用性を検討する。これらの開発技術は、非破壊でかつ安価な計測によって、これまで外観だけでは評価することが困難である PC 桁の健全性を「見える化」とすると同時に、点検箇所の重点化、あるいは点検の簡素化などによる維持管理費用の削減を目指すものである。さらに、既往開発技術である曲げひび割れ発生後の残存緊張力の絶対値の推定手法と組み合わせることで、残存緊張力を指標とした PCT 桁とした健全性を評価するシステムの開発を行う。

(8) 技術研究開発の内容と成果

1) 要素試験体の載荷試験＜平成 29 年度＞

＜内容＞

要素試験体の形状は 300×700×5,000mm（支間長 4,500mm）とした。初期の状態ですべての断面が圧縮となるように PC 鋼材の初期の緊張力（100%）を導入し、定着具で調整しながら緊張力が 50%になるまで 10%ずつ低下させながら、それぞれの緊張力に対して静的な載荷を行った。載荷は、実橋における自動車の輪荷重を想定して、支間中央の 1 点載荷とした。

載荷試験に先立ち、曲げモーメントが最大となる支間中央周辺のコンクリート表面の圧縮側と引張側に、ひずみゲージおよび光ファイバを設置した。次に、各緊張力に対する載荷時において、圧縮と引張側のひずみから断面高さ方向のひずみ分布を求め、ひずみがゼロとなる高さを「見かけの中立軸高さ」として算出した。

初期の緊張力の載荷では、見かけの中立軸高さは荷重に依らず断面の図心高さに近くなる。一方、緊張力が低下した状態では、荷重の小さい領域では見かけの中立軸高さは図心より高くなり、荷重の増加に伴い図心高さに下向きの放物線の形状で漸近する。また、荷重の小さい領域での見かけの中立軸高さは、緊張力の低下に伴って上昇し、緊張力の変化率 10%に対して有意な差であった。

＜成果＞

緊張力の低下に伴う曲げひび割れ発生前に、見かけの中立軸高さを計測することで PC 鋼材緊張力の低下を監視することが可能であることを明らかにした。また、緊張力がある程度低下した状態から計測計器を設置して計測を開始しても、その後の緊張力の低下の監視が可能であることも明らかにした。さらに、局所的なひずみに相当するひずみゲージ、あるいは平均的なひずみに相当する光ファイバを用いても監視が可能であり、計測計器の選択も可能である。

2) 三次元 FEM 解析による荷重試験の検証<平成 29 年度>

<内容>

コンクリート、鉄筋、および PC 鋼材ともに弾性体でモデル化を行った三次元 FEM 解析で荷重試験のシミュレーションを行った。PC 鋼材とコンクリートの間は、グラウトの有無に応じてすべりを考慮できるモデルとした。

<成果>

各緊張力（100～50 %の 10%間隔）に対して算出した荷重と見かけの中立軸高さの関係は、荷重試験と同様の傾向となり、荷重試験結果が妥当であることを確認した。また、PCT 桁が弾性体であっても、緊張力が低下したときの見かけの中立軸高さは、荷重の増分に伴って放物線の形状で変化する非線形的な挙動を示すことが明らかとなった。

3) 見かけの中立軸高さによる残存緊張力の監視に関する理論的検証<平成 30 年度>

<内容>

曲げモーメントと軸力を受ける梁の断面解析の理論を利用し、PC 鋼材緊張力とみかけの中立軸高さとの関係を導いた。前年度の荷重試験と同様に、荷重作用前の状態で全断面圧縮となる PC 鋼材緊張力を 100%とし、緊張力 50%までの計算を行った結果、荷重と中立軸高さの関係は荷重試験結果と同様の傾向となることを確認した。

<成果>

PC 鋼材の緊張力が低下したときの荷重に対する見かけの中立軸高さは、非線形的な挙動となることを理論的に示すことができ、開発技術の理論的な裏付けを行った。

4) 実橋を想定した要素試験体の荷重試験<平成 30 年度>

<内容>

前年度までに開発手法の妥当性を確認することができたが、その際の荷重試験に用いた要素試験体は、桁高に対して桁長が短く、PC 鋼材も断面の図心付近に直線配置されており、実橋の PCT 桁との相違が考えられた。そこで、ここでは実橋を想定した試験体の荷重試験を実施して開発手法の妥当性を再確認するとともに、見かけの中立軸高さの計測箇所の検討を行った。試験体の寸法は実橋と同様に、桁高に対する支間長の比が大きくなるように、 $300 \times 700 \times 8,000$ mm（支間長 7,500mm）とした。桁高に対する支間長の比は 10.7（前年度は 6.4）である。同様に実橋を想定して PC 鋼材は、より線の曲げ上げ配置とした。試験体が全断面圧縮となる PC 鋼材の緊張力 850kN を 100%とし、緊張力を 70%および 50%に調整しながら、それぞれに対して静的な荷重を行った。荷重は、前年度と同様に支間中央での 1 点荷重とした。

見かけの中立軸高さの計測は、曲げモーメントが最大となる支間中央だけでなく、実橋で支間中央の計測が困難な場合を想定して、PC 鋼材の曲げ上げ開始点（支間長の約 1/4 の位置）でも計測を行った。後者は、実橋で支間中央が計測できない場合を想定したものである。

<成果>

いずれの緊張力、およびいずれの計測断面でも、荷重と見かけの中立軸高さの関係は、前年度の荷重試験と同様の傾向になることを確認した。すなわち、初期の計測では、見かけの中立軸は断面の図心高さに近い値であり、緊張力が低下すると、図心より高い中立軸高

さが荷重の増加に伴って放物線形状で図心に漸近する傾向となる。

実橋の計測では計測期間中に緊張力が変化することがないが、主桁断面の図心高さに近い見かけの中立軸高さの計測ができれば、実橋においても緊張力の変化の監視は可能であることを確認した。

7) 実橋の計測による開発技術の適用性評価<平成 30 年度>

<内容>

支間長 20m、桁高 1.2m、片側 2 車線（走行・追越車線）、6 主桁からなる PCT 桁道路橋の計測を実施した。計測は、耳桁（以下、「G6」と称す）の支間中央と支間長の 1/4 点、および耳桁の 1 本内側の主桁（同「G5」）の支間中央で行った。いずれの箇所も、引張側のひずみは桁の下面、圧縮側は上フランジ下面とした。走行する自動車荷重に対する計測であることから、100Hz の動的な計測を行った。本計測では、総重量 200kN の試験車（ラフタークレーン）を、片側（下り）の走行・追越のそれぞれの車線を 3 回ずつ走行させて、見かけの中立軸高さの計測の再現性とばらつきを評価した。計測は、要素試験体の載荷試験と同様に、ひずみゲージ（長さ 90mm）と光ファイバ（評点距離 700mm）で行った。

G6 と G5 の支間中央、および G6 の支間長の 1/4 ともに、荷重最大時、すなわち試験車が計測断面を通過する時、圧縮側と引張側のひずみから算出した中立軸高さは主桁断面の図心高さに近い値を示した。また、試験車の走行・追越車線のいずれの走行においても、各計測断面の中立軸高さは主桁の図心高さに近い値となった。さらに、3 回の繰返しの走行における中立軸高さの計測値のばらつきは 10%以下であった。

<成果>

本計測では、総重量 200kN の比較的、荷重の大きい自動車を用いているものの、実橋でも動的な自動車荷重を利用した見かけの中立軸が可能であることを確認した。

8) 残存緊張力を指標とした PCT 桁の健全性評価システムの構築<平成 30 年度>

<内容>

PC 鋼材緊張力を指標とした PCT 桁の健全性評価の流れをとりまとめた。PCT 桁では、PC 鋼材の緊張力の低下に伴って曲げひび割れ等の変状が生じ、その時点で緊張力の低下を検知できる。一方で、変状が発生する前では、緊張力の低下を検知することができない現状があり、本開発技術はそこに適用する。

<成果>

緊張力の低下の小さい供用初期に近い状態では、見かけの中立軸により緊張力の変化を監視が可能である。理論解を援用すれば、その前の計測からの差分も評価できる。さらなる緊張力の低下に伴って曲げひび割れが発生した後では、既往の開発技術である、曲げひび割れ幅の計測を併用した緊張力の絶対値の推定技術を適用する。両者を組合せることで、PC 鋼材緊張力を指標とした PCT 桁の供用初期からの健全性評価が可能となる。

曲げひび割れ発生前後ともに、コンクリート表面の圧縮と引張のひずみの計測であり、ひずみゲージと光ファイバの計測計器の選択が可能である。

(9) 論文発表等に関する件数

原著論文 (査読あり)	原著論文 (査読なし)	原著論文以外 (新聞・雑誌等)	その他 (パネル・ポスター等)	合計
2 件	1 件	0 件	0 件	3 件

(10) 知的財産権に関する件数

特許権 (取得)	特許権 (出願)	その他 (実用新案・商標等)	合計
0 件	0 件	0 件	0 件

(11) 成果の実用化の見通し

本研究開発技術は以下の理由から、十分、実用化を図っていけるものと考えられる。

- ① PCT 桁の表面の圧縮側と引張側の 2 点のひずみの計測を利用していることから、簡易的であり、かつ非破壊手法である。
- ② 上記①と関連して、高度な専門技術、特殊技術を要しない。
- ③ 計測計器を設置した後は、任意時点での計測と評価が可能であり、繰返して計測を行うことで、計測精度の向上を図ることが可能である。
- ④ 実橋でも適用性を確認している。

(12) その他

低コストで、特殊技術を必要としない本研究開発技術を全国に展開することにより、重要度・緊急度等に応じて、適切な管理や対策（補強、補修、通行規制、監視強化等）を行うことが可能となる。