

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14289

研究課題名(和文)水の膨潤作用を利用したPC構造物における残存プレストレス簡易評価法の開発

研究課題名(英文)Development of simple evaluation method of residual pre-stressing force in PC structure by using concrete expansion with water absorption

研究代表者

千々和 伸浩 (CHIJIWA, Nobuhiro)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：80546242

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：乾燥したコンクリートは水と触れることによって膨潤する。プレストレスによる外的拘束の有無により、この体積変化に違いが生じることを利用し、既設PC構造物中の残存プレストレスを簡易評価するシステムの開発を試みた。小型試験体での実験や数値解析では、外力拘束の有無により体積変化に違いが生じることが確認された。しかし実スケールの試験体においては、数値解析では意図したような変化が確認されたものの、実験では明確な違いが観察されなかった。水分量やマイクロクラックがこの原因と考えられる。画像解析をもちいて体積変化を面的に計測する手法についても検討した。精度を得るために、光量の制御が重要であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Dried concrete expands by absorbing water, and this volumetric change of concrete can be confined by external pre-stressing force. We tried to develop simple evaluation method of residual pre-stressing force in PC structure by using this character. For small scale test specimens, it is confirmed that the volumetric change can be confined by external force in experiment and numerical analysis. However, in the experiment with the real scale test specimen, such a tendency can not be observed, though numerical analysis gives similar trends with small scale test. This difference may be caused by uneven water contents and microcracks in real scale test specimen. Applicability of image analysis to measure the volumetric change is also examined. It is found that quantity of light is important to get precise result.

研究分野：土木工学

キーワード：残存プレストレス 膨潤作用 プレストレストコンクリート 画像解析

1. 研究開始当初の背景

プレストレストコンクリートにおける PC 鋼材の腐食は、高応力下にあるストランドの破断を誘発し、局所でのプレストレス量の低下をもたらす。完全破断した場合にはその断面でのせん断破壊を誘発する可能性も秘めている。PC 鋼材の健全度を評価する方法として、X線透過法やインパクトエコー法などが実用されている他、応力状態から PC 鋼材の状況を推定する方法として応力解放法なども提案されている。しかしながらこれらのような高精度に残存プレストレス推定に用いる手法は、大きな機材や動力を必要とし、計測できる箇所についても限定的であるため、橋梁全体の状況をモニタリングするには多大な労力を必要としてしまう。インフラを適切に維持管理し、健全な状態で後世に引き継ぐためには、これらのシステムが要する労力を可能な限り低減させるような工夫が必要となる。

このような背景に鑑み、本研究はこのような視点に立脚したものであり、橋梁全体の状況を大局的に把握する手法を開発し、この結果から特に厳密な重要な照査が必要と考えられる箇所を抽出、そこに既存の高精度残存プレストレス推定手法を適用することで、効率的にプレストレス構造部材の健全性を評価するフレームの構築を目指すこととした。すなわち、これまでに多くの研究開発がなされてきたような、点単位での高精度な残存プレストレス量推定法を開発するのではなく、その前段階でのスクリーニング手法を開発するものである。

2. 研究の目的

本研究は水をプレストレストコンクリートに吹きかけ、配置された PC 鋼線の方向とその直交方向への吸水膨張量の違いを計測することで、その部位の残存プレストレス量を推定する手法を開発するものである。無応力状態下の無筋コンクリートでは同一地点の直交 2 軸方向の吸水膨張量は等しいが、プレストレスが作用しているとその作用方向への吸水膨張は拘束されるため膨張ひずみに差が表れる。膨張量はプレストレスの大きさや含水量、鋼材量等に影響されると考えられるため、これらの影響を整理する。また吸水膨張は微弱な変化なので、その変化を抽出する手法を開発する。将来の画素数増により精度向上が期待される画像解析手法と組み合わせることで、他の高精度残存プレストレス量推定手法の実施箇所を絞り込む予備調査法となり得ることを示す。

3. 研究の方法

本研究の基本原理は、あるコンクリート表面におけるプレストレス方向とその直交方向 2 方向への吸水膨張量の差によって、コンクリートの変形拘束量、すなわち残存プレストレス量を推定するというものである。この基本原理を面的に展開するにあたり、画像解析

手法を組み合わせることで活用することとした。吸水膨張によるひずみ変化は数十 μ 程度のものであり、現時点のカメラの画素数ではかなり測定面に近づいて撮影を行わなければ、吸水膨張を評価できる精度のデータを得ることができない。しかしカメラ撮影素子の基となる半導体技術は今後も更に発展が続き、画素数も更に増加していくと期待され、たとえ今はあるエリアでしか計測できなくとも、基本的な計測スキームを確立さえしてしまえば、あとは半導体技術の向上によるカメラの性能向上に応じて自ずと計測精度や計測エリアが自動的に発展していく。今は多少時期尚早であっても、一つの確立した計測手法を示しておくことは、技術開発を誘起するとともに、インフラの維持管理戦略にも大きく影響すると考えられ、現時点でこの技術開発を行うことには大きな意味がある。

4. 研究成果

本研究は大きく二つの技術から構成されることから、それぞれの技術開発研究成果について以下に述べる。

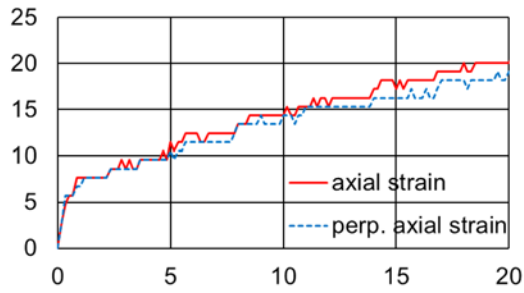
(1) プレストレスによる拘束がコンクリートの膨潤挙動に与える影響

本研究の核となる原理は水によるコンクリート膨潤作用と、その体積変化に対するプレストレスの外的拘束である。

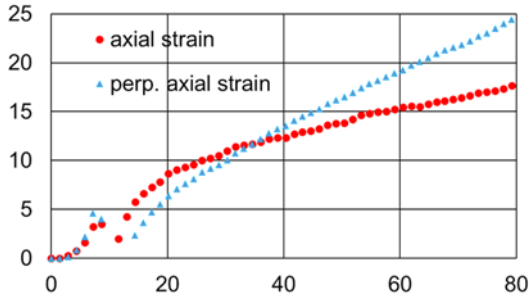
開発にあたり、まずは 10 cm-10 cm-20 cm の小型試験体を用いて一軸圧縮条件下における基本コンセプトの可能性確認と、20 cm 角のアンボンド PC 部材を用いたより実橋梁に近い条件下での検証実験を行った。検証の結果から極めて微弱な信号ではあるものの、残存プレストレス量の有無を確認できる可能性があることを確認できた。ただしこの実験からは、水噴霧による体積膨潤は 10 μ -30 μ 程度の微弱なものであり、この変化を捉える高精度の計測法が必要なることが明らかになった。また計測においては、センサーの設置によりコンクリート表面に防水層が形成されると表面からの水の膨潤を阻害してしまうため、これらの点に配慮した計測センサーを用いる必要があることも明らかになった。

要素スケールでの実験において、コンセプトの有効性が確認できたことから、実規模スケールの PC 桁において、この手法を検討した。この実験は PC 鋼材を定着端部で破断し、それによる構造性能への影響を分析するものであり、PC 破断直後に提案手法を適用し、残存プレストレス量の変化を検知できるかどうかを検討した。結果、水による膨潤が生じることは見いだせたものの、プレストレス方向とその直交方向への膨潤挙動について、明確なトレンドの差が見いだせないという結果になった。

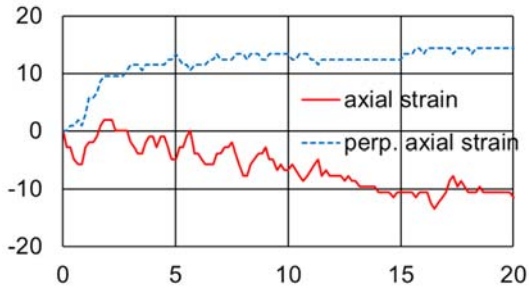
この結果は要素実験結果と大きく異なるものであることから、これらの応答の違いについて分析するべく、要素実験と実規模スケール



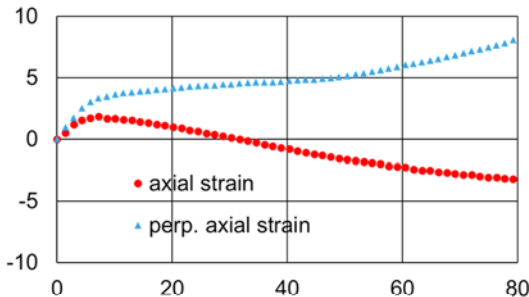
プレストレスなし(実験)



プレストレスなし(解析)



プレストレスあり(実験)



プレストレスあり(解析)

図-1 要素実験の再現解析結果

縦軸：膨張を正とするひずみ(μ)

横軸：噴霧からの時間(分)

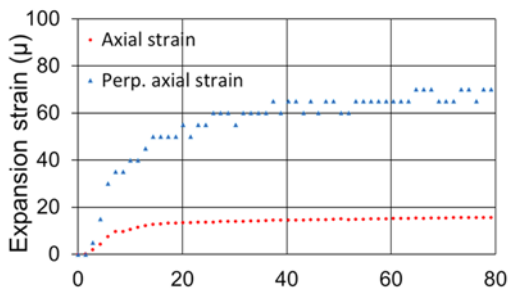


図-2 実スケールでの再現解析結果

ルの PC 桁での実験を有限要素解析によって再現し、実験結果と比較した。

小型要素試験の結果は以下の図-1に示すような形となり、概ね実験結果が良好に再現される結果となり、改めて本手法のコンセプトのう実効性が確認された。

これと同条件で実構造物を有限要素モデル化し、これを長期乾燥させた上で、水を吹きかける解析を行った結果を図-2に示す。やはり小型の試験体と同様にプレストレスの方向とその直交方向の膨潤挙動に違いがある結果が得られ、解析で想定した状況と実構造物との状況との差異にヒントがあると考えられた。解析では一定環境で長期間乾燥している状態を想定しているのに対して、実験では試験体は実環境下に置かれ、乾湿の変動下に置かれており、断面内での水分状態に差があったり、表面にマイクロクラックがあったりする等の違いがあった可能性がある。本研究の範囲ではこれらの詳細原因の絞り込み、およびその排除までには至らなかったものの、原理として機能することまでは確認できた。

(2)プレストレスによる拘束がコンクリートの膨潤挙動に与える影響

実構造物の中で破断が生じている可能性がある部位をスクリーニングする簡易計測手法として、直交する2方向への膨張ひずみ差を計測する画像解析システムの構築を目指した検討も行った。

画像による計測原理として、画像相関法を用いることとし、ソフトウェアには既にコードが配布されている Ncorr を用いることとした。本ソフトによりコンクリートのひび割れを分析可能であることは既に確認されている。また要素実験の結果から水による膨張ひずみは最大でも 30μ 程度のものということが明らかになっている。この精度でのひずみを検出可能で、かつ広範囲に設置可能なランダムパターンについて検討を行い、最終的にランダムパターンを有するスタンプによる設置法に至った。

これらの条件を固定したうえで、画像相関法による計測精度を実験により確認したところ、無応力状態でも計測結果にかなりのばらつきが生じ、そのままでは計測精度を保証できないことが明らかになった。原因は主として光量のばらつきによるものであると推定された。これを解消するための方法として、①光源を調整して光のばらつきを抑制すること、②集光エリアを時空間的に広げること(シャッター速度を「遅く」する又はセンサー素子面積を大きくする、画素数を少なくする)、③画像相関法アルゴリズムを調整する、色深度 16bit を試して位置同定精度を上げること、が考えられ、これらについて検討したところ、②③については良好な結果を得ることができず、検討できなかった①が有力な候補として残された。これはフラッシュをたくなどして日光などの変動光量の影響を排除するもので

あり、実験室環境では有効であると考えられる。しかしながら本研究が目指すような実環境下ではフラッシュ設備を設けるのは手間であり、現実的ではない。フラッシュに変わり、光量の不均衡を補完するようなソフトウェアの開発が必要であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計1件）

- ① Ryota KURIHARA, Nobuhiro CHIJIWA, Mitsuyasu IWANAMI. Estimation of Remaining Prestress in PC Structure by Using Expansion of Concrete by Water Absorption, 1st International Conference on Concrete and Steel Technology Engineering and Design, 2018. 86-91

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千々和 伸浩 (CHIJIWA, Nobuhiro)
東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授
研究者番号：80546242

(2) 研究分担者

岩波 光保 (IWANAMI, Mitsuyasu)
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授
研究者番号：90359232