

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06186

研究課題名(和文) 全視野ひずみ計測装置を用いた薄厚コア切削による新しい応力解放法の開発

研究課題名(英文) Development of the existing stress measurement by cutting thin core stress relief techniques using the optical full-field measurement method

研究代表者

伊藤 幸広 (ITO, YUKIHIRO)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90223198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、コンクリート構造物に複雑に作用している応力を精度良く測定できる新たな応力解放法を開発することを目的としたものである。現有応力を精度良く求める方法として、コンクリート表面研磨装置と全視野ひずみ計測装置を用いた薄厚コア切削による新しい応力解放法を開発した。実験では、開発した装置を用い作業時間、操作性およびダイヤモンドワイヤーソーの耐久性などの装置の切断性能に関する評価を実施した。また、本装置を用いて室内実験を実施し応力測定精度の検証を行った。コアの底部を切断した後、無応力状態での応力解放法を行った結果、コア内のひずみはほとんどなく、薄厚コア切削による応力の測定が可能であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a new stress relief techniques which can measure the existing stress acting complicatedly on concrete structure with high accuracy. The concrete surface polishing device and the existing stress measurement by cutting core stress relief techniques using the optical full-field measurement method are developed to achieve this purpose. In the experiments, the evaluation of cutting performance of the equipment, such as working time, operability and durability of diamond wire saw as a consumable item was conducted on the developed equipment. In addition, an indoor experiment with a specimen was carried out using the developed equipment, and the accuracy of the existing stress measurement was verified. After cutting the bottom of the core, this stress relief techniques under no stress condition was carried out. As a result, it was proved that strain in the core is almost zero and stress measurement by this stress relief techniques is possible.

研究分野：コンクリート工学，維持管理工学

キーワード：コンクリート コア 応力解放法 全視野ひずみ計測装置 デジタル画像相関法

1. 研究開始当初の背景

建設後 50 年以上経過する構造物は、この先 20 年間で現在の 2 倍以上になるとの指摘があり、計画的・戦略的な維持管理手法の導入が進められている。国土交通省は、本年 3 月、地方自治体の道路橋管理者に近接目視を基本とする 5 年に 1 回の定期点検を義務付ける省令を公布した。河川管理施設、港湾施設、下水道など他のインフラ関連施設についても同様の動きがあり、今後、定期点検並びにその後の劣化診断、各種詳細調査が実施される件数が膨大なものになることが予想される。また、我が国のインフラストックは、2009 年度の内閣府の調査によると 786 兆円にも及び、既存施設の長寿命化や補修・補強費を縮減することが喫緊の課題となっている。このような状況より、膨大な調査件数に対応するために効率的で経済的な方法であり、劣化診断および補修・補強を的確に行うための確度の高いこれまでにない点検・診断手法を開発する必要がある。

2. 研究の目的

既設コンクリート構造物に発生したひび割れの原因推定や今後ひび割れが発生する箇所や時期を推定する場合、部材に生じている応力を知ることは重要な情報となる。プレストレストコンクリート構造物では、経年劣化による有効プレストレスの損失や耐荷性能の評価において、部材に作用している応力を測定することは劣化診断や補強設計の基礎的な資料となる。また、不等沈下などにより一部の部材に過大な応力が作用している場合、所定の耐震性能を満足しない可能性がある。現行では行われていないが RC 建築物で柱や梁に作用している応力を測定し耐震診断を行うことは、今後有効な方法と成り得る。

コンクリート部材に作用している応力を測定する方法としては、鉄筋計の埋設や表面にひずみゲージを貼付してひずみ値から応力を求める方法が用いられている。しかし、これらは新設時から設置されたものでないと現有応力の評価はできず、センサとしての耐久性も 5~10 年程度と短い。供用後の構造物では、静的載荷などにより荷重を作用させてひずみゲージにより応力を求める方法もあるが、死荷重による応力は評価できないばかりか、計測コストが高額であり、適用できる構造物も限定される。

構造物の現有応力を原位置で測定する方法に応力解放法がある。この方法は機械や鋼構造物、岩盤の分野で広く用いられており、測定箇所を切削し局所的に応力を解放した際のひずみ変化を測定することにより現有応力を求める方法である。コンクリート構造物においても同様の原理で応力測定が行われており、構造物表面にひずみゲージを貼付して初期値を測定した後、ひずみゲージの外周をダイヤモンドコアドリルで円筒形の溝

を切削し応力を解放し、ひずみの変化から原有応力を求めている。コンクリート構造物では、このような応力解放法を採用する場合、次の 2 つの点で大きな問題がある。第 1 は、コンクリート中には弾性係数がモルタル部よりも一般に大きい粗骨材が分散しており、これらが貼付したひずみゲージの直下に多く存在していると応力が解放されてもゲージのひずみ値は小さくなり応力推定結果に大きな誤差を生ずる。第 2 の問題は、ひずみの測定に粗骨材の 2 倍以上の長さのひずみゲージを用いる点である。長いひずみゲージは、解放ひずみが大きく生ずる溝の端部に貼付することができず、解放ひずみが小さい中央部のひずみ値も平均化して値として表示するため、解放ひずみを捉えるセンサとしては感度が悪い。

上記のひずみゲージの問題を解決するために、解放ひずみを大きくする方法として、コア溝の切込み深さをコアの直径の 1.5 倍以上 (通常 150mm 以上) にする方法が提案されているが、実際の構造物では鉄筋を損傷する危険性もあり、適用できる箇所が限られる。例えば、応力解放法が良く用いられている PCT 桁では、圧縮応力が最も大きい下フランジ下面では 50mm 以上の深さのコア溝を切削することはできないため、従来法では、応力は小さいが配筋量の少ないウェブでの測定を余儀なくされる。

以上のように従来法には測定精度の問題と適用範囲の制限がある。本研究では、コンクリート構造物に複雑に作用している応力を精度良く測定できる新たな応力解放法を開発することを目的とするものである。

3. 研究の方法

研究方法としては、ダイヤモンドワイヤソーを含む薄厚コア切断装置の開発に先立ち、まず、簡易にコンクリート表面を平滑に研磨できる装置の開発を行った。これは、現有応力を精度良く求めるためには、高精細な画像を撮影することが重要であるが、ラインセンサの特性上、撮影面に凹凸があるとピントが合わない部分が生じ計測精度が低下する。そのため計測面が平滑でない場合には、前処理としてダイヤモンドホイールを付けたディスクグラインダーを用いて手作業で計測面を研磨する必要があったが熟練が必要であることや作業時間の問題があったためである。

次に、ダイヤモンドワイヤソーを含む薄厚コア切断装置の開発・製作を行い、作業時間、操作性および消耗品であるダイヤモンドワイヤソーの耐久性などの装置の切断性能に関する評価を実施した。最後に、薄厚コア切断装置を用いて試験体を用いた室内実験を実施し応力測定精度の検証を行った。以下に、具体的な開発、実験の内容について述べる。

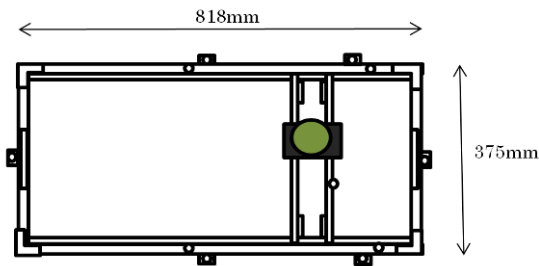


図-1 コンクリート表面研磨装置

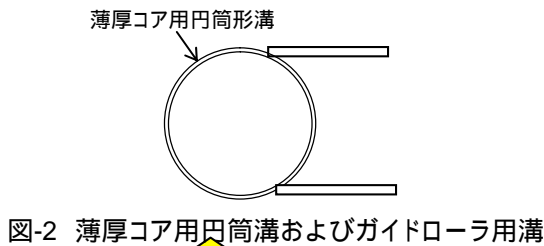


図-2 薄厚コア用円筒溝およびガイドローラ用溝

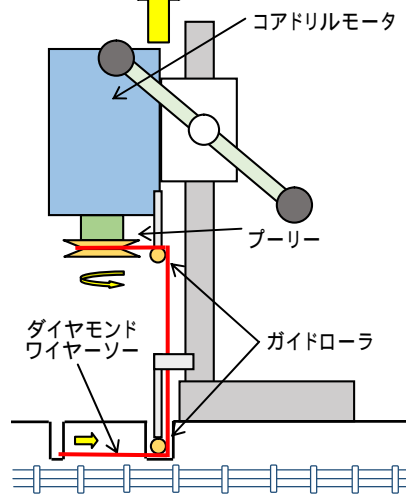


図-3 薄厚コア切断装置の概要

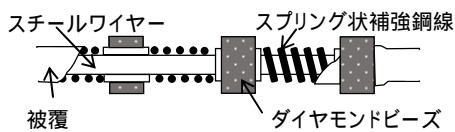


図-4 ダイヤモンドワイヤーソーの概要

(1) 各種装置の開発および性能評価
 コンクリート表面研磨装置

コンクリート表面研磨装置図-1 に示すとおりである。表面に対し平行に配置したレール上にダイヤモンドビットを取り付けたルーターを載せ、さらにルーターとレールが直交方向配置したレールにより平行移動できるようにしたものである。

薄厚コアの切断装置

ダイヤモンドコアドリルで切削した円筒形の溝の底部をダイヤモンドワイヤーソーで切断し、薄厚コアを採取する手順を次に示す。まず、市販の乾式ダイヤモンドコアドリルを用いて薄厚コア用円筒形溝とダイヤモンドワイヤーソーのガイドローラを挿入する溝を切削する(図-2)。ガイドローラ挿入部の溝はコンクリートカッターでカッター

溝を入れ、たがね等でこれを除去する。最後に、図-3 に示す薄厚コア切断装置により円筒形溝の底部をダイヤモンドワイヤーソーで切断する。なお、本装置のモータやスタンドは、円筒形溝を切削するために用いた市販のダイヤモンドコアドリルを活用するものとし、アタッチメントとしてダイヤモンドワイヤーソーの治具を装着する構造である。

ダイヤモンドワイヤーソーの製作

実構造物の切断作業に用いられるダイヤモンドワイヤーソーは、直径が 13mm 程度あり円筒形の切削溝に挿入はできない。切削溝の幅は約 4mm であるため、直径 3mm 程度のダイヤモンドビーズを金型により作製し、図-3 のワイヤーソーを新たに製作する。

ダイヤモンドコアドリルの改良

ダイヤモンドワイヤーソーを回転させるためのプーリーやガイドローラを製作し、市販のコアドリルに装着できるように治具の製作および本体の加工を行う。

薄厚コアの切断性能の評価

製作した装置を用いてコンクリート供試体より薄厚コアを切断する。作業時間、操作性、および消耗品であるダイヤモンドワイヤーソーの耐久性を評価する。

(2) 応力測定精度の検証

ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置の精度向上の検討

更なるひずみ計測精度の向上を目的とした装置の改良を行う。副走査の駆動系であるボールネジ、リニアエンコーダーなどの種類、タイプや位置の見直しを行い、副走査の送り精度を上げ、ひずみ計測精度の向上を図る。

薄厚コア切断装置を用いた応力解放法の確立

3000kN の耐圧試験機により試験体に一軸圧縮応力を作用させ、薄厚コア切削による応力解放試験を行い、応力測定精度の検証を行う。この時、載荷軸方向、ポアソン方向、斜め 45° 方向のコア内の解放ひずみを改良した装置により測定する。また、コア内のひずみ分布を測定し、無載荷時のコアと同一位置のひずみ分布と比較して応力の解放状態を評価する。

4. 研究成果

(1) コンクリート表面研磨装置

開発したコンクリート表面研磨装置(以下、表面研磨装置)は写真-1 に示すとおりである。外形寸法(L×W×H)は、818mm×405mm×80mm であり、重量は 6.35 kg である(表-1)。研磨可能範囲は、696mm×278mm であり、全視野ひずみ計測装置の撮影範囲 375×210mm を研磨できる。操作方法としては、コンクリートビス等で計測面に表面研磨装置本体を固定し、ルーターを手で移動させ研磨するという簡

表-1 表面研磨装置の仕様

外形寸法(L×W×H)	818×405×80mm
研磨可能範囲(L×W)	696×278mm
重量	6.35kg(粉塵吸引機接続13.25kg)

易な方法である。

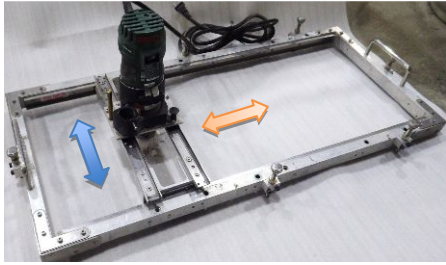


写真-1 表面研磨装置の外観

研磨面の平面度を評価する実験として、従来法であるディスクグラインダーを用いた手研磨および表面研磨装置でそれぞれコンクリート面を研磨し、研磨面の高さ分布より相対的な評価を行った。高さ分布の測定には、1/100mm 読みデジタル変位計を用い、研磨面を3cmおきに縦方向に8ヶ所、横方向に10カ所の計80ヶ所の測定を行った。その測定状況を写真-2に示す。

また、手研磨および表面研磨装置で実構造物のコンクリート面を研磨し、スリット切削による解放ひずみ（対称点間距離変化率）をラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置で計測し、研磨方法の違いが画像解析結果に及ぼす影響について調べた。



写真-2 高さ分布の計測状況

図-5および図-6は、それぞれ手研磨と表面研磨装置でコンクリート面を研磨した際の高さ分布を示したものである。手研磨による方法では研磨面に凹凸が大きく見られ、全測点の標準偏差は0.24mmであった。また、最大・最小値の差は1.33mmであり、ラインセンサの被写界深度は1mm程度と浅いためピントが合わない部分が生ずる可能性があることを示している。一方、表面研磨装置の全測点の標準偏差は0.11mmと凹凸が少なく、最大・最小値の差も0.49mmと小さくなり、表面研磨装置は手研磨と比較し平滑な面を成形することができる。なお、両者の研磨に要する時間は、手研磨の場合、熟練した技術者が行っても30分程度掛かるのに対し、表面研磨装置は15分と作業時間も半分となり、特別な技能も必要としない。

研磨方法の違いが画像解析結果に及ぼす影響を調べるために、対称点間距離変化率の変動係数に着目し検討を行った。対称点間距離変化率とは、図-7に示すようにスリットを跨ぐ2点間のスリット切削前後の距離変化率

のことであり、1種類の基長に対して、スリット全長（210mm）の間で195カ所のデータの平均値を対称点間距離変化率として現有応力推定に用いる。表-2は、各基長における195点の対称点間距離変化率の変動係数を比較したものである。手研磨の変動係数は100%を超えているが、表面研磨装置のそれは60%以下となっている。すなわち、全域でピントが合った高精細な画像が得られた結果、ばらつきが小さくなったものであり、これにより現有応力の推定精度が向上するものと考えられる。

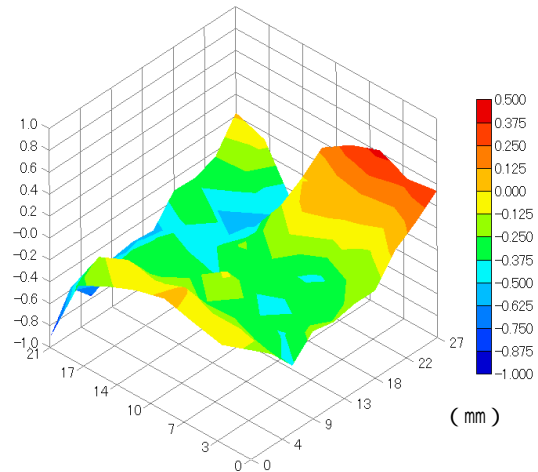


図-5 手研磨による高さ分布

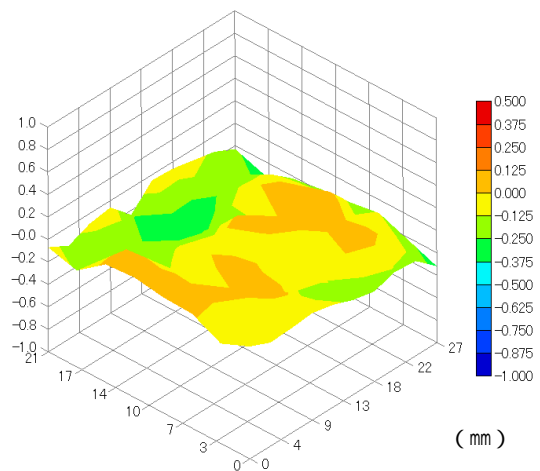


図-6 表面研磨装置による高さ分布

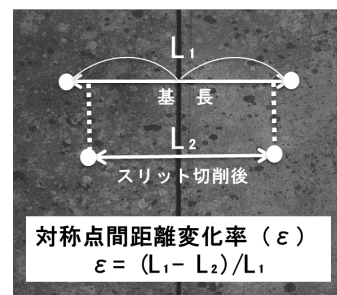


図-7 対称点間距離変化率

表-2 対称点間距離変化率の変動係数の比較 (%)

	基長						
	10mm	20mm	30mm	40mm	60mm	80mm	100mm
手研磨	101.7	291.6	119.8	256.1	292.2	439.8	236.0
表面研磨装置	13.7	15.8	51.6	15.9	18.3	27.7	34.1

(2) 薄厚コアの切断装置

薄厚コアを切削する装置は、RC 建築物を含む各種構造物に適用でき、構造物に与える損傷を少なくするために、かぶり部のみに円筒形の溝の底部を切削するが、かぶり部内の浅い切削溝では十分に応力が解放されないことから、円筒形の溝の底部を切断し、コアとして部材から分離した状態を作るものとする。

薄厚コア切断装置は写真-3 に示すように、小径のダイヤモンドワイヤーソーをコアの溝底部に配置し、ドリルに取り付けたプーリーを回転させ、コアを底部から切断するものである。なお、コア溝を切削する際には、プーリーを乾式のダイヤモンドコアビットを取り替えるのみで切削が可能となる(写真-4)。なお、薄厚コア切削装置はコンクリート表面研磨装置のフレームに取り付ける装置であり、また、本装置をコンクリート面に取り付ける治具は、全視野ひずみ計測装置の設置に用いる固定プラグと共用としているため、表面研磨から応力解放、画像取得に至るまで合理的に作業ができる。



写真-3 薄厚コア切断装置の外観



写真-4 乾式ダイヤモンドコアビット取付け状況

コア切断面の概略図を図-8 に示す。コアを水平に切断するためダイヤモンドワイヤーソーの角度が変化する箇所にはローラーを配置した。このローラーにはワイヤーがプーリーから外れ効率性が低下することを防ぐ効果もある。ダイヤモンドワイヤーソーは写真-5 に示すように、直径 3.3mm のダイヤモンドビーズとパネを交互に配置したものであり、芯材には直径 1.15mm のワイヤーを採用し、ワイヤーを環状接合するため銅ろうによりろう付けを行った。

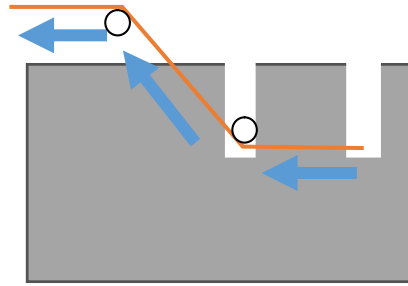


図-8 コア切断面の概略図



写真-5 ダイヤモンドワイヤーソー

(2) 応力測定精度の検証

図-9 には、全視野ひずみ計測装置で撮影した 3 段階の画像を示す。すなわち、無応力時の画像、コア溝切削後の画像およびコア切断後の表面画像である。ひずみを求める画像解析では、無応力時の画像を基にコア溝切削後のひずみおよびコア切断後のひずみをデジタル画像相関法によって算出した。

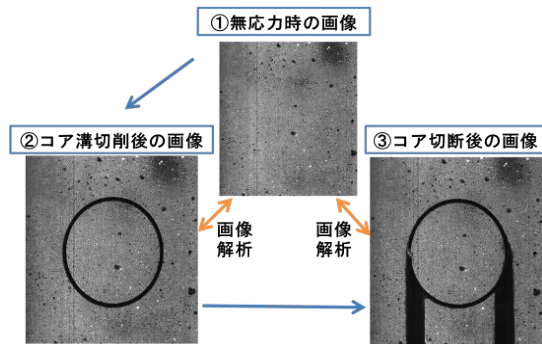


図-9 全視野ひずみ計測装置による撮影画像

図-10 には、コア溝切削後の圧縮方向ひずみ分布を示す。まだコアは試験体と切り離していない状態であるため、コア内部にもひずみが確認できる。異常値を除いたコア内の平均ひずみは -31 μ であった。

図-11には、コアの底部を切断し無応力状態での応力解放法を行った後の、異常値を除いたひずみ分布を示す。異常値を除いたコア内の平均ひずみは 0.2μ であった。コア溝切削前と比較しコア内のひずみはほとんどなく、コアの内部は応力が解放された状態であると言える。今回の研究でコア内には解放ひずみが生じていないことと、薄厚コア切削による応力の測定が可能であることが実証できた。なお、コアを切断するまでにダイヤモンドワイヤーソーが1.2回破断したことから、芯材のワイヤーや結合部の改良が今後必要となる。

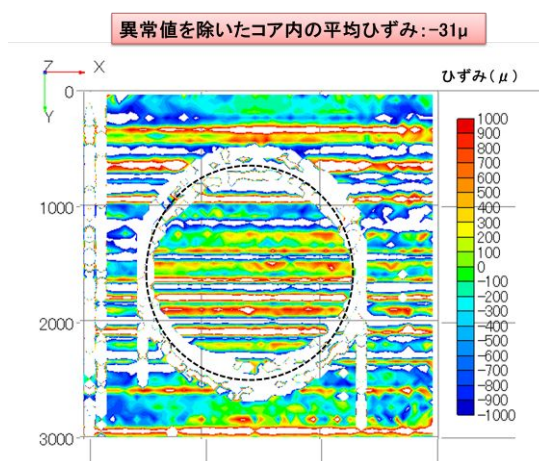


図-10 コア溝切削後の圧縮方向ひずみ分布

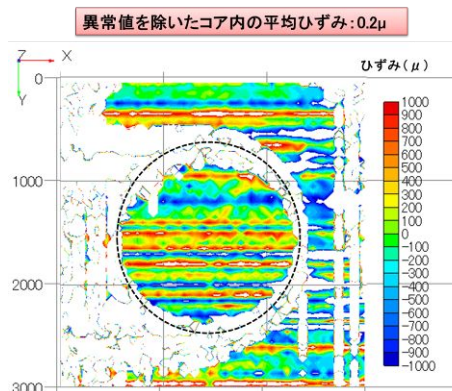


図-11 コア切断後の圧縮方向ひずみ分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

工藤広己, 伊藤幸広, 松田浩, 出水享, 宮本則幸, 肥田研一: ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置のためのコンクリート表面

研磨装置の開発, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V - 30, 2017.3

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://toshi1.civil.saga-u.ac.jp/ito/y/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 幸広 (YUKIHIRO ITO)
佐賀大学・工学系研究科・教授
研究者番号: 90223198

(2) 研究分担者

出水 享 (AKIRA DEMIZU)
長崎大学・工学研究科・技術職員
研究者番号: 00533308