

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：23201
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2011～2012
課題番号：23760409
研究課題名（和文） アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の診断技術の開発
研究課題名（英文） Development on diagnosis technology of concrete structure deteriorated by alkali-aggregate reaction
研究代表者 伊藤 始（ITO HAJIME） 富山県立大学 工学部 環境工学科・准教授 研究者番号：10553133

研究成果の概要（和文）：北陸地方等のコンクリート構造物の維持管理上、問題となっているアルカリ骨材反応で劣化した構造物を対象に、低コストで適切な維持管理手法の開発が必要である。本研究では、コア削孔による応力解放法を用いた膨張ひずみの測定手法を検討した。その結果、埋込みセンサを用いることでコンクリート内部の解放ひずみが測定できること、3次元応力解析を用いて鉄筋応力や自由膨張量を算定できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：In Hokuriku region, when doing maintenance management of concrete structure, we should consider the alkali-aggregate reaction. In the diagnosis technology of such a concrete structure, it is necessary that the cost of method is low and that method is suitable against the deterioration states. This study considered the measurement method of the expansive strain using the stress releasing method by core boring. As the results, we confirmed that the released strains of concrete were measured by using buried sensor. Moreover, we confirmed that the strains of steel bars and concrete were estimated by using 3D stress analysis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：維持・管理、コンクリート、コア削孔、膨張コンクリート、応力解放法、  
診断技術、アルカリ骨材反応、埋込みセンサ

## 1. 研究開始当初の背景

1960年代から1970年代に北陸地方等の各地において、反応性骨材を用いて建設された鉄筋コンクリート構造物では、時間経過とともにアルカリ骨材反応（以下、ASRと記す）が進行し、コンクリート表面に大きなひび割れが生じている（図-1）。ASR劣化した構造物では、ひび割れ部で鉄筋が腐食し、膨張圧により鉄筋の破断が散見され、危険性が指摘されている。

しかしながら、ASR劣化した構造物に対しては、完全に治療する補修方法が存在せず、

再劣化の可能性が高いことが報告されている。また、財政状況が厳しい地方自治体では、このような構造物をすぐに更新することが困難で使い続けなければならない。

このような状況から、点検を高度化して、膨張の進展を予測し、低コストで適切な補修や補強を計画・施工していくことが必要である。その検討には、現状のコンクリートがどの程度、膨張しているか、すなわち「現有の自由膨張量」（図-2）を定量的に評価することが重要である。



図-1 ASR劣化橋脚（富山）

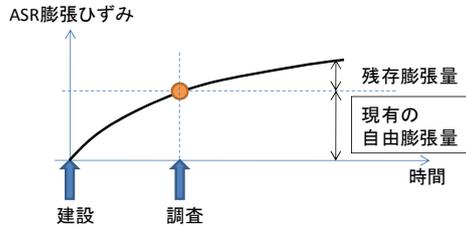


図-2 本研究のターゲット

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、コア削孔による応力解放法を用いた ASR 膨張ひずみ量の測定手法の開発である（図-3）。この手法を用いて、建設時から現在までの ASR による自由膨張量や鉄筋応力度等を算定して、その結果を実構造物のモデル解析に導入し、構造物の安全余裕度の診断や効果的な補修・補強設計につなげる（図-4）。本研究では、通常の調査時に実施されるコア削孔に付加した調査と位置付けることで早期の実用化を目指す。

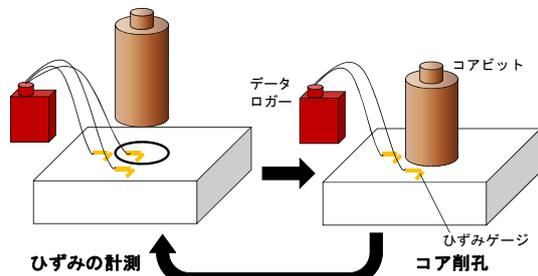


図-3 コア削孔によるひずみ測定法

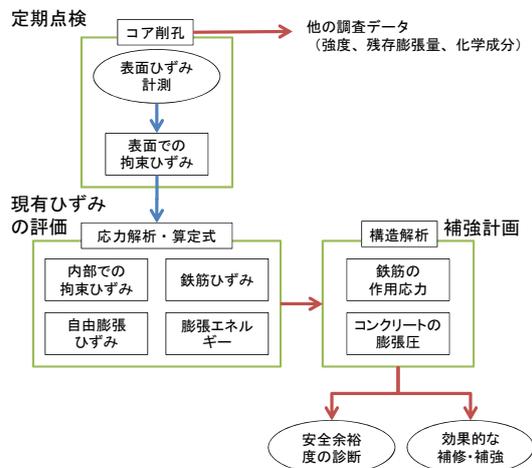
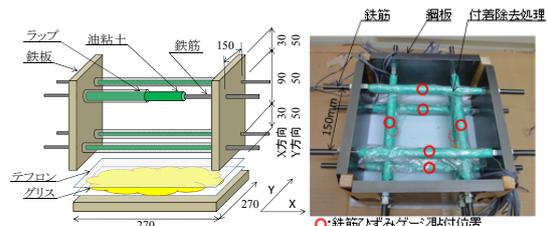


図-4 研究の全体構想と研究課題

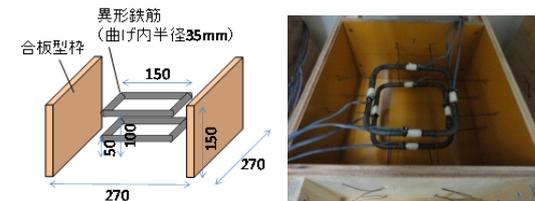
## 3. 研究の方法

(1) コンクリートの解放ひずみを確実に計測する方法を確立することを目的に、ASR 劣化を模擬した膨張コンクリートの拘束供試体を用いて拘束膨張実験およびコア削孔実験を行った。加えて、計測で得られた解放ひずみからコンクリート内部の自由膨張量や鉄筋応力度を算定するために、これらの実験を模擬した応力解析を実施した。

(2) 拘束膨張実験：拘束型枠内に膨張コンクリートを打込み、内部に蓄積する拘束ひずみを計測した。実験ケースを型枠種類とひずみ測定方法による実験シリーズとして分類した。S・Rシリーズの拘束供試体は、図-5のように鋼製型枠および丸鋼鉄筋で膨張コンクリートを囲むことで拘束条件下に置いた供試体である。Nシリーズの拘束供試体は、図-6のように合板型枠内に異形鉄筋を配筋することで拘束条件下に置いた供試体である。Sシリーズでは鉄筋径、膨張材量、コア径を変えた7ケースを実施した。RシリーズとNシリーズでは鉄筋径、コア削孔材齢を変えた各3ケースを実施した。



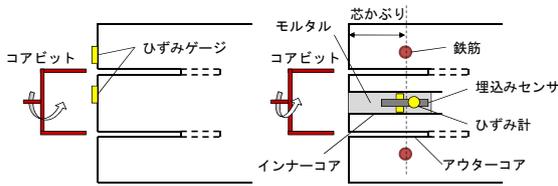
(a) 一方向の詳細図 (b) 組立状況  
図-5 鋼製型枠 (S・R シリーズ)



(a) 内部の詳細図 (b) 組立状況  
図-6 合板型枠 (N シリーズ)

(3) コア削孔実験：ひずみ測定手法は(a)表面ひずみ計測法と(b)内部ひずみ測定法の2種類を採用した（図-7）。前者(a)は、表面にひずみゲージを貼付するため、簡易で確実な方法であるが、鉄筋の拘束効果が小さく、解放ひずみが小さくなる。後者(b)は、埋込みセンサ（図-8）を埋め込むため、計測手間が掛かるものの、鉄筋の拘束効果が大きく、解放ひずみが大きくなり精度が向上する。コア削孔実験は拘束供試体のコンクリート中央部

を直径 50、75、100mm のコアを削孔することで行った。実験は削孔前にコンクリート表面または内部にひずみゲージを設置し、削孔深さを確認しながら削孔することで行った。



(a) 表面ひずみ測定法 (b) 内部ひずみ測定法  
図-7 ひずみ測定方法

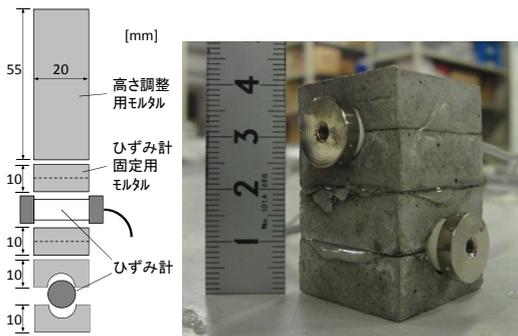


図-8 埋込みセンサの概要

(4) 解析による内部ひずみの算定：3次元応力解析を用いて、コンクリートの内部ひずみ（拘束ひずみ、鉄筋ひずみ、自由膨張ひずみ）を算定する手法を確立するものである。応力解析では、まず要素作成にあたり拘束鋼材やコンクリートの体積膨張、コア削孔による削孔溝を再現した（図-9）。次に、削孔溝の深さを変化させることで、表面ひずみや内部ひずみの変化を出力した。そして、自由膨張ひずみを変化させて、解析を繰り返すことで、表面ひずみと内部ひずみの関係を評価した。

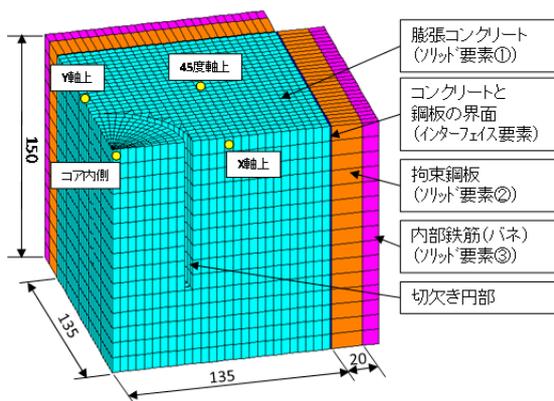


図-9 応力解析モデル

#### 4. 研究成果

(1) 鋼製型枠を用いた膨張コンクリートのコア削孔実験の結果として、図-10 にコア削孔深さとコンクリート内部ひずみおよび鉄筋ひずみの関係を示す。図中のセンサ位置とは埋込みセンサの設置深さを表している。X方向の内部ひずみはコア削孔深さ 70mm で大きく増加し、深さ 100mm で  $60 \times 10^{-6}$  程度まで達してそれ以降は安定的に推移した。図から内部ひずみが増加しはじめる削孔深さは、センサ計測範囲（上縁）と 0~10mm の差異であることが確認できた。また、内部ひずみが増加しはじめてから安定するまでの深さは 30~40mm であった。これらの結果から、埋込みセンサを用いた場合でも表面ひずみの測定と同様に適切な測定が可能であることが確認できた。特に内部ひずみ測定法では安定した解放ひずみが得られた。

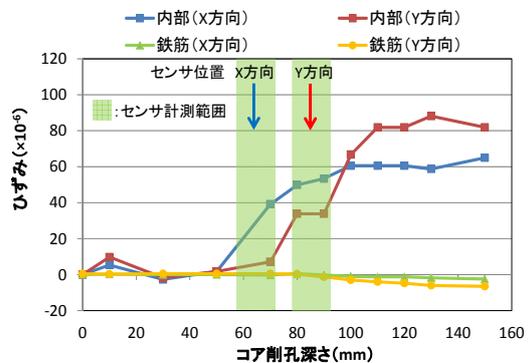


図-10 コア削孔深さと解放ひずみの関係

(2) 拘束膨張実験から得た拘束ひずみとコア削孔実験から得た解放ひずみの比較を図-11 に示す。図には拘束ひずみと解放ひずみが一致した時の直線（理論値）を示した。S-1 では解放ひずみが理論値より  $48 \times 10^{-6}$  大きくなり、N-1 では  $71 \times 10^{-6}$  小さくなった。残りの 11 ケースの解放ひずみと拘束ひずみはおおむね一致する結果となった。S-1 では他方向のひずみを勘案し、解放ひずみを Y 方向のひずみのみとすることで図中の「補正 S-1（△印）」となり、他ケースに近い値となった。N-1 については膨張時の拘束ひずみは妥当な値が得られているため、削孔時の計測値に問題があったと考えられる。これらの結果から、一軸拘束状態に置いた鋼製型枠の拘束供試体の S・R シリーズにおいて、拘束ひずみと解放ひずみがおおむね一致することが確認できた。一方、鉄筋コンクリート部材を模擬した拘束供試体の N シリーズにおいて、1 ケースを除き拘束ひずみと解放ひずみがおおむね一致した。

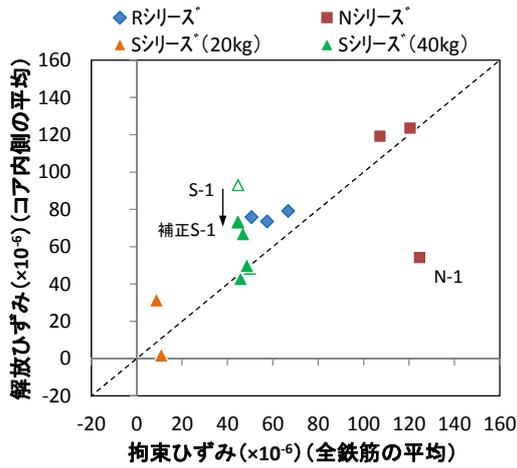


図-11 拘束ひずみと解放ひずみの関係

(3) 拘束膨張実験を模擬した応力解析において、得られた拘束ひずみのコンターを図-12に示す。コンクリート要素全体が凡例-120~-105 $\times 10^{-6}$  ( $\mu$ ) の区分となっており、均等に拘束ひずみが生じていることが分かる。この結果は解析のモデル化の際に、図-9のように鉄筋に代わるバネ要素やコンクリートと鉄板の界面のインターフェイス要素を考慮することで得られたものである。

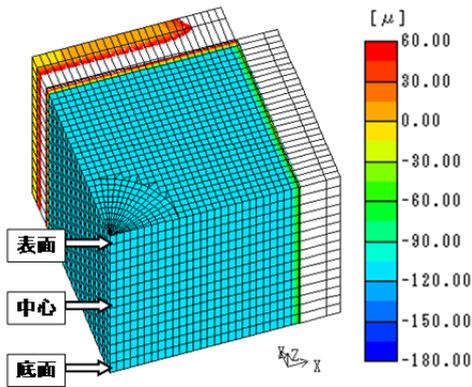


図-12 拘束ひずみコンター(鉄筋径 10mm)

(4) コア削孔実験を模擬した応力解析において、削孔深さ 60mm と 150mm のときの X 方向の拘束ひずみコンターを図-10 に示す。コア内側中央の拘束ひずみは、削孔深さ 0mm のとき-120~-105 $\times 10^{-6}$  の範囲にあり、削孔深さ 60mm と 150mm のとき 0~15 $\times 10^{-6}$  の範囲にあるため、120 $\times 10^{-6}$  程度の拘束ひずみが解放されたことが分かる。また、X 軸上の切欠き円外側の近い部分でも弾性ひずみが約 0 $\times 10^{-6}$  以上になっており、解放されている。これらの結果から、削孔深さに対する解放ひずみの増減の方向や解放ひずみが大きく増減する削孔深さは、解析を用いることで実験をおおむね再現できることが確認できた。

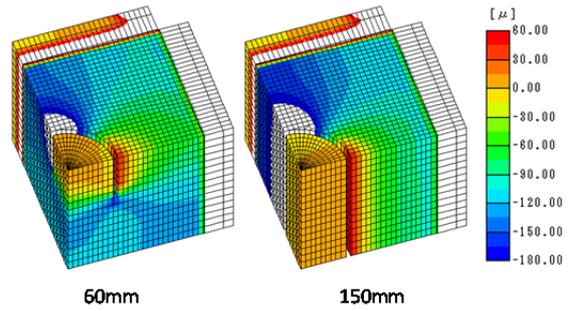


図-13 削孔深さごとの弾性ひずみコンター

(5) コア削孔実験を模擬した解析において、コア径がコア削孔時の表面ひずみに与える影響について、図-14 にコア径と解放ひずみの関係を示す。コア内側の解放ひずみは、コア径に係わらず一定の値を示すことが分かる。コア外側 X 軸ではコア径が大きくなると解放ひずみが大きくなり、Y 軸上と 45 度軸上では負側に大きくなった。コア外側でコア径の影響を受ける要因は、コア径が小さくなるとひずみが解放される円周距離が小さくなり、X 軸方向への広がり小さくなることであった。これらの結果から、コア削孔にはコア内側の数値を重視すること、コア外側の結果を用いる場合にはコア径の影響を考慮する必要があることが確認できた。

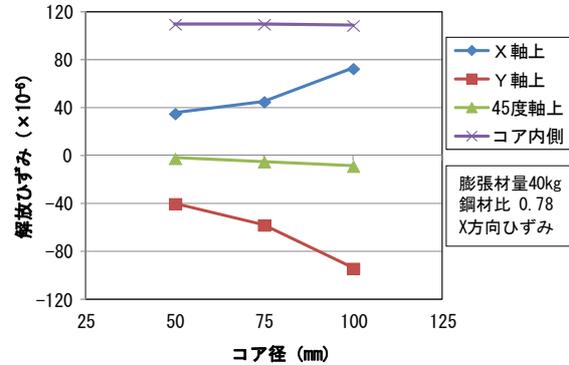


図-14 コア径と解放ひずみの関係

(6) 本研究を通じた今後の課題として、拘束ひずみおよび解放ひずみを適切に検討するためには、コンクリートの強度発現を考慮した材齢にともなうヤング係数の増加やクリープの変化を考慮することが重要である。加えて、実構造物への適用には鉄筋コンクリート構造物特有の端面や鉄筋による支圧力の影響を考慮することも必要である。そのため、今回の内部ひずみ計測法の使用による改善に加え、3次元応力解析による数値を補正が重要であることが確認できた。

## 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2件)

(1) 若井航、伊藤始、西野哲史、高島依里：  
埋込みセンサを用いた膨張コンクリートの  
解放ひずみ測定に関する実験的研究、査読有、  
コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、  
2013、登載決定

(2) 伊藤始、石田雅大、高島依里、若井航、  
コア削孔によるコンクリートの膨張ひずみ  
測定に関する解析的研究、査読有、コンクリ  
ート工学年次論文集、Vol.34、No.1、2012、  
pp.340-345

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 始 (ITO HAJIME)

富山県立大学 工学部 環境工学科・准教授  
研究者番号：10553133