

ASR 劣化したコンクリート構造物の詳細調査に対する X 線回折法の適用性に関する基礎検討

琉球大学 古田泰祐, 富山 潤, 須田裕哉, 藍檀オメル, (株) 沖縄建設技研 牧野敏明, 宮城敏明
 (株) オリエンタルコンサルタンツ 黒川直哉, 田中樹由
 パルステック工業 (株) 青野嘉幸, 山口 真

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (以下, ASR) 劣化した構造物の補修・補強をする際に最も重要なことは ASR の膨張に対する現状確認と将来予測である. それら を評価する方法として岩石学的試験¹⁾があるが, 膨張力がどの程度構造物に作用しているかは評価できない. そのため本研究では金属などの結晶格子をもつ材料の残留応力を測定可能な X 線回折法^{2),3)}に着目し, コンクリート構造物へ作用している ASR に起因した膨張力の計測方法への適用性を検証した. なお, 今回の検証では, ASR 劣化したコンクリート橋台内部の鉄筋を対象とした.

2. 調査概要

2.1 調査項目

表-1 に調査項目と目的を示す. 本稿では, No7 の鉄筋の残留応力測定の結果と, No.1,2,8 以外の結果を示す.

表-1 調査項目および目的

No	調査項目	方法	目的
1	外観調査の整理	2 回の点検結果の比較	ひび割れの進行程度の確認
2	促進膨張試験	80°C 1N-NaOH 溶液浸漬法 (カナダ法)	潜在膨張性の確認
3	圧縮強度試験	JIS A 1107, 1108	材料劣化の推定
4	静弾性係数試験	JIS A 1149	材料劣化の推定
5	中性化試験	JIS A 1152	中性化の進行程度確認
6	全塩分量試験	JIS A 1154	塩害の可能性の確認
7	X 線回折法による鉄筋の残留応力度測定	参考資料参照 (以前お送りし他論文など)	ひび割れの進展による鉄筋への残留応力度の確認
8	ひび割れ画像解析等	大成建設開発ひび割れ画像解析技術	ひび割れ幅, ひび割れ密度の把握

2.2 X 線回折法による残留応力測定原理

一般に, 金属材料は無数の結晶粒の集合体であり, 格子面間隔は金属原子固有のものである. そこに応力が加われば, 図-1 に示すように, 応力に応じた格

子面間隔が変化する. X 線を入射させると, 散乱する際に, Bragg の法則を満たすように X 線がリング状に回折してくる. この回折像をデバイリングと言 い, 無応力試料におけるデバイリングを基準とし, 測定試料のデバイリングとの差を求めることで格子面間隔の変化を測定し, 発生している応力を推定する方法が X 線回折法である^{2),3)}. この原理をコンクリート分野へ適用した基礎的な検討事例も報告され, その有効性が示されている⁴⁾.

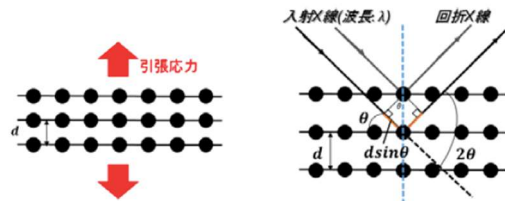


図-1 X 線回折法の原理⁴⁾

2.3 残留応力測定器概要

使用した測定器を図-2 に示す. この測定器は, X 線を用いた残留応力推定手法の一つである $\cos\alpha$ 法を採用した装置⁵⁾である. この方法の特徴は, X 線の単一入射のみで応力を測定でき, 従来の測定器に比べ小型化, 測定時間の短縮化を実現した点である. このことから, 現場計測が可能となった. なお, 本稿では残留応力を, 現在鋼材に生じている応力と定義する.



図-2 ポータブル型 X 線残留応力測定装置

2.4 調査箇所

図-3 にコア採取場所と鉄筋の残留応力測定のためのはつり箇所 (2 箇所) を示す. また, 対象とした

コンクリート橋台は、亀甲状のひび割れが全面に生じている。ひび割れ幅 0.4mm~0.5mm の箇所にて採取したコアのひび割れ深さは 12cm~17cm であった。



図-3 ひび割れ状況及び調査箇所

3. 調査結果および考察

3.1 中性化試験, 全塩分量試験

中性化試験の結果は、かぶり深さ 90~120mm に対して、平均 6.5mm, 10.3mm であった。また、鉄筋位置での全塩分量試験の結果は、 0.3kg/m^3 , 0.2kg/m^3 であった。腐食発生限界塩化物イオン濃度を 1.2kg/m^3 とした場合、コンクリート表面のひび割れは中性化や塩害に起因した鋼材腐食に伴うひび割れでないといえる。

3.2 圧縮強度試験, 静弾性係数試験

図-4 に圧縮強度試験と静弾性係数試験の関係を示す。比較のため、一般的なコンクリートの値も同時に示す。これより、北側のコアにおいて、圧縮強度に比較し、静弾性係数が低下していることがわかる。これは ASR 劣化の特徴である。

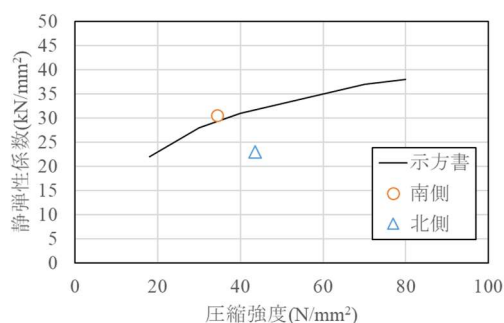


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

3.3 X線回折法による鉄筋の残留応力測定

図-5 に測定箇所を示す。測定は北側および南側 2カ所とした。また、写真-1 に測定状況を示す。

鉄筋の測定は、主筋（縦鉄筋）2カ所、配力筋（横筋）2カ所を測定した。その結果を表-2 に示す。この結果より、北側、南側の両方とも主筋に引張の応力が生じていることがわかる。ヤング係数比

$n=7$ 程度と考えると、コンクリートに生じた応力度は、約 $5.3\sim 14.7\text{N/mm}^2$ とコンクリートの一般的な引張強度の値を超えるものであることがわかる。したがって、ASR 劣化したコンクリート構造物に対する X 線回折法による鉄筋の残留応力測定は、状態確認のための有力な測定技術となりえると考えられる。



(a) 北側

(b) 南側

図-5 鉄筋状況



写真-1 X線回折法による鉄筋残留応力測定

表-2 鉄筋の残留応力測定結果 (3回測定の平均)

	北側		南側	
	箇所	$\sigma_x(\text{N/mm}^2)$	箇所	$\sigma_x(\text{N/mm}^2)$
北側	主筋1	37.3	主筋1	58.0
	主筋2	50.0	主筋2	102.6
	配力3	7.0	配力3	0.3
	配力4	5.0	配力4	-18.0

4. まとめ

ASR 劣化したコンクリート橋台の現状把握として、従来の調査方法に加え、X 線回折法を用いた鉄筋の残留応力測定法を検討し、その有効性を確認した。今後は、より多くの劣化構造物に対して本手法を適用し、適用範囲、精度検証および評価方法の検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、現場を提供して頂いた管理者にこの場を借りて感謝の意を表す。

参考文献

- 鳥居和之, 山田一夫, ほか: コンクリート診断-ASR の的確な診断/抑制対策/岩石学的評価, 森北出版, 2017.4
- 田中啓介, 鈴木賢治, 秋庭義明: 残留応力の X 線評価, 養賢堂, 2006
- 郡亜美, 高久泰弘, 鈴木健次, 中代雅士: $\cos \alpha$ 法を用いた残留応力測定の有効性の確認, IIC REVIEW, No.53, pp.48-53, 2015
- 小田切勝也, 田中樹由, 野末秀和, 岩波光保: X 線回折法による鉄筋の残留応力推定手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1867-1872, 2017
- パルステック工業 HP: <https://www.pulstec.co.jp/>