

X線を使用した応力測定技術の既存構造物への適用

○ (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 黒川直哉
 (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田中樹由
 東京工業大学大学院 正会員 岩波光保

1. はじめに

近年、インフラ管理が大きな課題となっており、効率的・効果的な点検技術や調査手法の開発が急務となっている。将来にわたって、構造物の健全性を確保するには、構造物の状態を的確に把握し、適切な対策を講じる必要がある。現状、構造物の状態は外観の目視点検により定性的に判断されているが、構造物に発生している応力を適切に測定することができれば、より効果的な対策を実施することができる。例えば、構造物の劣化進行や地震時損傷による応力状態の変化、施工時の二次応力、プレストレスロス等が非破壊的に、かつ定量的に測定できると、構造物の的確な診断につながる。このように、既存構造物の非破壊による発生応力測定は、社会インフラを管理するうえで非常にニーズの高い技術であると考えられる。

本文では、既存構造物を対象にした X 線による鉄筋の発生応力測定の概要と実コンクリート構造物への適用事例について報告する。

2. X 線応力測定装置の概要

金属などの多結晶材料の各結晶粒は、原子が規則的に配列した結晶格子で構成される。その結晶粒に応力が作用すると結晶格子面の間隔が変化する。X 線応力測定法は、この格子面間隔の変化を測定して応力を求める方法である。多結晶体に、特定波長の X 線を照射すると、入射 X 線と波長の等しい散乱 X 線が全方向に発散する。原子の規則的な格子からなる結晶に X 線が入射すると、各原子からの散乱 X 線が互いに干渉しあい、光などの波動現象と同様に X 線も強めあったり、弱めあったりする。これを X 線回折現象 (Bragg の法則) という。本測定は、この X 線の回折現象を利用して、金属などの多結晶体に発生している応力を推定するものである。X 線回折は入射 X 線を中心として、垂直な面に対してリング状に戻ってくる。このリングをデバイ環 (デバイリング) と言い、無応力状態の試料のデバイ環を基準とし、測定試料のデバイ環との差を求めることで、発生している応力を推定することができる (図-1)。^{1) 2) 3)}

X 線応力測定装置は、上述の原理に基づき、金属の結晶の間隔を測定することで既存構造物に発生している応力の推定を行うことができる。今回の調査では、パルステック工業株式会社製の「 μ (マイクロ)-X360 FULL 2D」という装置を用いて測定を行った。本機器は、直径 2mm の照射点で、約 90 秒 (照射 30 秒、解析 60 秒) の測定で行うことができ、持ち運びが可能なようにコンパクトかつ軽量化が図られている。

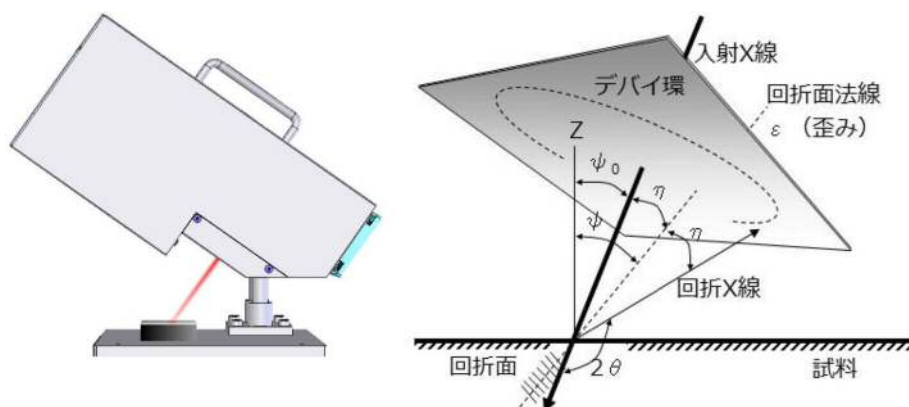


図-1 X 線応力測定装置及び測定概要

キーワード 非破壊試験, X 線, 発生応力, 鉄筋, 構造物診断

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 (株)オリエンタルコンサルタンツ関東支店 道路保全部 TEL03-6311-7862

3. 実構造物への適用事例

既存コンクリート構造物を対象に、X線を使用した鉄筋の発生応力測定の実用を試みた。測定を行ったコンクリート構造物では、アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張の影響で、表面に幅 0.4mm 以上のひび割れが多数発生（図-2 参照）しており、帯鉄筋に大きな応力が発生していることが推察された。補強等の対策を実施するに当たり、この発生している応力を加味するか、無視するかにより補強方法が大きく異なること、また、コンクリートの膨張を適切に考慮しないと構造物に対して正しい評価（診断）が行えないことを問題として捉え、X線応力測定装置を用いて鉄筋に発生している応力の測定を実施した。

図-2 に示す位置で鉄筋の発生応力測定を実施した。対象箇所には、幅 1.0mm のひび割れが亀甲状に広がっていた。対象箇所に対して、縦 60cm×横 30cm の範囲をかぶり深さ分(150mm)はつり出した。これは、X線照射距離が 50mm であるため測定装置を鉄筋に近づける必要があったためである（写真-1 参照）。測定対象の鉄筋は SD345、帯鉄筋径 D16ctc150、主鉄筋径 D22ctc250 である。

測定結果を表-1 に示す。発生しているひび割れ幅、本数からひずみとして換算した値とほぼ同程度の応力状態が予測できており、その妥当性が測定により確認できた。

ただし、今回の測定点数が少ないこと、風による影響（装置の振動）により安定的な測定をいかに実施できるかなど課題が明確になった。

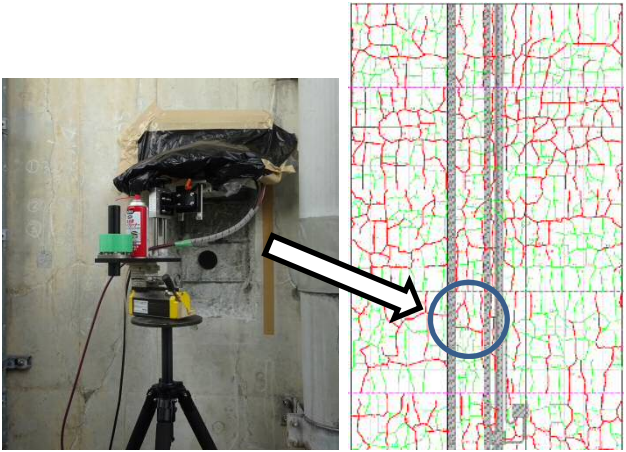


図-2 計測位置及び応力測定実施状況

表-1 測定結果

測定箇所	発生応力(MPa) +引張			
	左(上)側	中央	右(下)側	平均
測定 A (帯鉄筋上側)	164	166	168	166
測定 B (帯鉄筋下側)	130	120	162	137
測定 C (主鉄筋)	-23	10	35	7

本調査により、従来、簡便には測定できなかった鉄筋の発生応力を確認することができた。この非破壊試験技術は、より効果的な補強方法の選定、構造解析手法の高度化など、維持管理技術の発展に寄与する技術であると考えられる。今後は、他の材料（PC や鋼桁等）を含め、実構造物での測定事例を積み重ねていくだけでなく、室内実験等により応力測定結果の妥当性について検証していく必要がある。

4. 今後の課題と展望

本技術については、測定を実施したい現場に装置を持ち込んで調査できるという利点がある。また、測定の精度に関しては、機械製造業などでは一般的な技術として活用されているため、他分野での検証は十分に行われている。本技術を適用することで、現状の構造物の状態を定量的に評価することが可能になることが期待される。

また、社会インフラの維持管理に広く活用するには、データの蓄積が喫緊で、構造別・材料別のデータの蓄積、応力推定結果から対策の実施に至るまでのプロセスの構築が重要となる。今後は、本測定技術の妥当性を検証し、X線応力測定機器の適用範囲、測定対象、測定方法（測定実施数）、結果の評価方法などの標準化を行い、社会インフラの維持管理の 1 手法として普及していきたい。

参考文献：1）日本材料学会：X線応力測定法標準(2002 年版)－鉄鋼編－,2002 年. 2）日本材料学会：改著 X線応力測定法, 養賢堂,1990 年. 3）後藤ら：X線応力測定法の基礎と最近の発展,材料,Vol.47,No.11,1998 年.

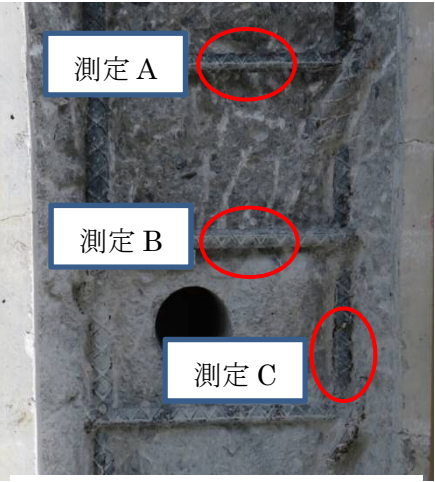


写真-1 応力測定位置