

弾性波と3次元画像の複合計測によるコンクリート強度試験の高度化

Improvement of Mechanical Test for Concrete by Combined Method of Elastic Wave and 3D Digital Image

○鈴木哲也*・島本由麻**

○Tetsuya Suzuki and Yuma Shimamoto

1. はじめに

コンクリート強度特性は、既存施設の機能診断において重要な評価指標である。一般的に圧縮強度に着目された議論が多いが、損傷が進行したコンクリートに関する強度試験値の評価精度が詳細に議論されることは少ない。加えて、補修工や補強工など既存施設と各種材料を複合した組み合わせ部材の場合、新旧両材料の材料特性が各種応力場における力学応答に影響するが、適切な試験方法や評価指標に関する議論は途上である。力学特性の評価は、点的に計測された応力ひずみ曲線により評価されるが、損傷の局所化や組み合わせ部材といった評価対象の均質性を仮定できない材料の力学試験には強度を補完するための評価指標が不可欠である。筆者らは、材料内部で発生したひび割れやその進展に伴い検出できるAE (Acoustic Emission) に着目し、各種応力場における応力ひずみ挙動とAE発生挙動との関連¹⁾や損傷を含むコンクリートマトリクス²⁾のX線CTによる可視化とAEとの関連^{2), 3)}を考察している。加えて、圧縮強度試験へデジタル画像相関法(以下、DIC法)を適用し、3次元的な変形挙動の同定と表面ひび割れの発生と進展の際に確認できる応力集中に関する特徴を議論している⁴⁾(図-1)。この他にも、樹脂-コンクリート複合材⁵⁾や鋼矢板-鉄筋コンクリート複合材⁶⁾を対象に各種応力場における組み合わせ部材の変形挙動と破壊特性を弾性波計測(AE)と3次元画像解析(DIC法)の複合計測を導入することで、一般的な応力ひず

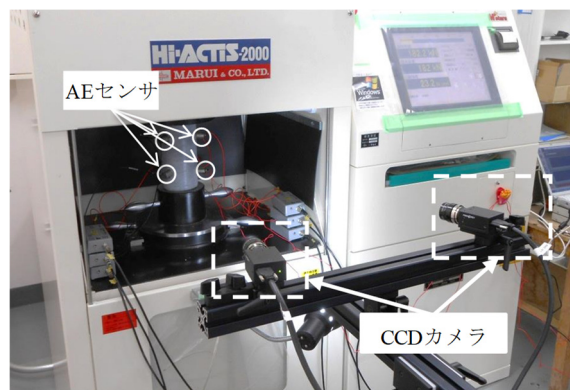


図-1 AEとDIC法を導入した圧縮強度試験

み曲線では検出できない、より詳細な力学特性評価に基づく強度試験の高度化を試みている。本報では、筆者らの提案手法を報告するとともに、評価事例を提示することで、その有用性と技術課題を明らかにする。

2. 弾性波と3次元画像の複合計測による材料物性の詳細評価

実験的検討は、各種応力場(例えば、圧縮、引張、曲げ、付着等)において弾性波計測と3次元画像計測を組み合わせ、応力ひずみ挙動との関連から力学特性を詳細に評価するものである。

弾性波計測は、1MHzサンプリングが可能なAE計測を導入した。計測対象に対してAEセンサーを3次元で配置することで弾性波の発生位置とその運動を解析的に求めることができる。3次元画像解析による応力場の評価には、その基礎として画素群のデカルト座標系における相対的な移動量を精緻に同定する必要がある。本研究では、異時点の画像データ内の画素群を自己相関関数により評価し、移動点を同定している。一般的にはDIC法として普及している。

*新潟大学自然科学系(農学部) Faculty of Agriculture, Niigata University

**東京農工大学大学院農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード: コンクリート, 強度試験, 弾性波計測, 3D画像計測, 損傷度評価

3. 適用事例⁴⁾：基準強度 21N/mm² 以上を持つコンクリートコアの損傷同定

RC 構造の道路擁壁（1973 年竣工）から、コンクリートコアを 8 本採取した。圧縮強度試験での AE 計測は SAMOS（PAC 社製）を用い、150 kHz 共振型センサを設置して行った。DIC 法により面的な変形を計測した。

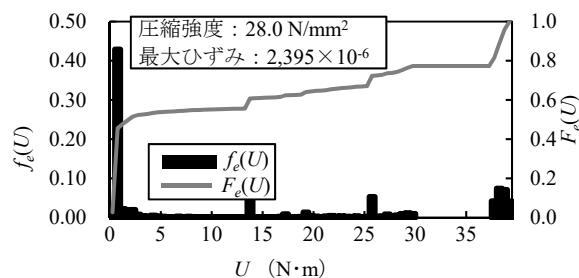
実験的検討の結果、圧縮強度は平均値 35.8 N/mm²、最大値 42.5 N/mm² および最小値 28.0 N/mm² であった。いずれの供試体も道路橋示方書に示す鉄筋コンクリートの基準強度 21 N/mm² を上回っていた。このことから強度特性のみでは損傷を同定することは困難である。そこで AE エネルギー放出指標 $f_e(\varepsilon)$ とひずみエネルギー U の関係から損傷実態を評価した（DIC 法の計測結果は文献 4）を参照）。AE の検出は、材料内部の破壊の発生や進展に起因するものである。荷重初期に AE が検出されることは、材料内部に微細な損傷が蓄積されていることである。図-2 に結果の概要を示す。図-2 (a) では荷重初期に AE エネルギーの放出ピークが確認された。同様の傾向は、図-2 (b)（最大強度）においても確認された。ほぼ同一強度の図-2 (c) では、荷重初期の AE は検出されず無損傷コンクリートと類似な AE 発生特性であった。以上のことから、荷重過程の AE を検出することで損傷実態を同定できるものと推察される。

4. まとめ

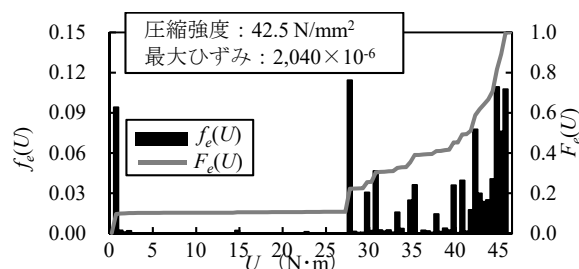
本報では強度値を補完する評価指標を提案した。現状では、力学特性の評価を点的に計測された応力ひずみ曲線により評価されるが、損傷の局所化など評価対象の均質性を仮定できない材料の力学試験には AE や DIC 法による強度を補完するための評価指標が不可欠であると考えられる。

参考文献

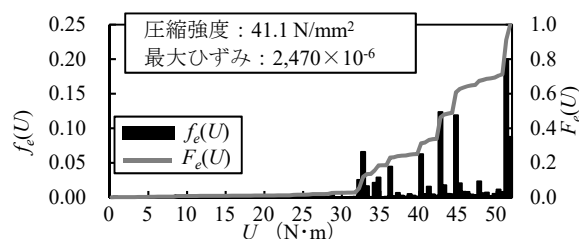
- 1) Suzuki, T. et al.: Acoustic Emission and Related Non-Destructive Evaluation Techniques in the Fracture Mechanics of Concrete, Wood Head Publishing, UK, pp. 1-18, 2020.
- 2) Suzuki, T. et al.: Damage Estimation of Concrete Canal due to Freeze and Thawed



(a) 圧縮強度最小値サンプル



(b) 圧縮強度最大値サンプル



(c) 荷重初期に AE の確認されないサンプル

図-2 $f_e(\varepsilon)$ と U の関係

Effects by Acoustic Emission and X-ray CT Methods, Construction and Building Materials, Vol. 245, No. 10, 2020.

- 3) 島本由麻他：損傷コンクリートの空隙分布が圧縮応力場の Acoustic Emission に与える影響，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol. 77, No. 2, I_507-I_514, 2021.
- 4) 柴野一真他：圧縮応力場の AE を指標としたコンクリート損傷度評価，農業農村工学会論文集，2022 (掲載許可)。
- 5) 大橋純他：AE 指標を援用したコンクリート物性の評価精度の改善，農業農村工学会誌，88 巻 12 号，pp. 33-36, 2020.
- 6) 土田真生他：鋼矢板-鉄筋コンクリート複合材の曲げ荷重過程における破壊挙動評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 40, No.1, pp. 1491-1496, 2018.