

デジタル打音検査と AI・シミュレーションの 統合的活用によるコンクリート内部構造診断の実現

(1) 全体構想及び実験的データベース構築

原子燃料工業株式会社 正会員 ○勾坂 充行、松永 嵩、小川 良太
 原子燃料工業株式会社 磯部 仁博
 東京大学 山田 知典、吉村 忍

1. 研究目的

コンクリート構造物において多い変状として、かぶりコンクリートの剥落があり、第三者への影響が大きいことから問題とされている。この主たる要因としては、かぶり不足、ひび割れ、豆板、内部空洞などの建設時の不具合が指摘されている。建設段階から維持管理段階までを含めたライフサイクルコストの低減のためには、不具合を早期に発見し、適切に対処することが肝要である。

デジタル打音検査は、従来の打音点検を定量化でき、現場適用性に優れ、不具合の有無を短時間で評価できるが、コンクリートの不具合の種類は多岐にわたり、不具合の種類を識別し、規模（深さ、大きさ等）を十分に定量評価するまでに至っていない。これを実現するためには、施工時不具合の状態とデジタル打音検査の大規模なデータベース (DB) が必要であるが、実験ベースでの大規模 DB の構築は多大な時間と労力を要する。

そこで、近年発展が著しい AI・シミュレーション技術を活用することで、コンクリートの内部構造診断に必要な大規模 DB を短期間で構築し、これをデジタル打音検査に適用することで、コンクリートの内部構造診断技術を開発することを試みた。

2. 研究アプローチ

本研究の全体計画を図1に示す通りであり、研究開発手順は以下の通りである。

- 1) 実験的 DB 構築：各種施工時不具合とデジタル打音検査データを DB 化
- 2) AI・シミュレーション技術による大規模 DB 化：FEM 解析を実施し、実験的 DB によって検証を行う。FEM 解析のパラメータと得られる測定データを AI で学習させ（順解析学習）、DB を大規模化
- 3) 逆解析モデルの構築：コンクリート表面測定データから内部構造を診断する逆解析モデルを構築

3. 実験的データベースの構築

3.1 デジタル打音検査システムの概要

本研究で用いたデジタル打音検査システムを図2に示す。本装置は測定対象を打撃し、励起された振動を広帯域 AE センサで捉える。打撃で得られる振動特性は測定対象の形状、拘束状態により変化するため、その変化を評価することで施工状態や経年変化を確

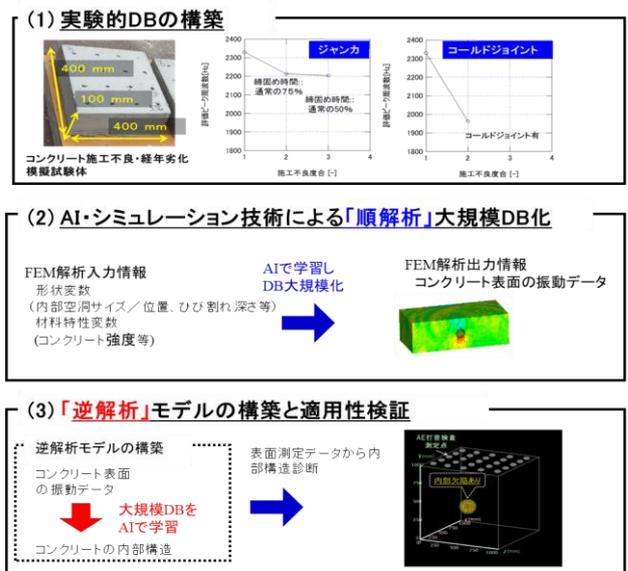


図1 本研究の全体計画

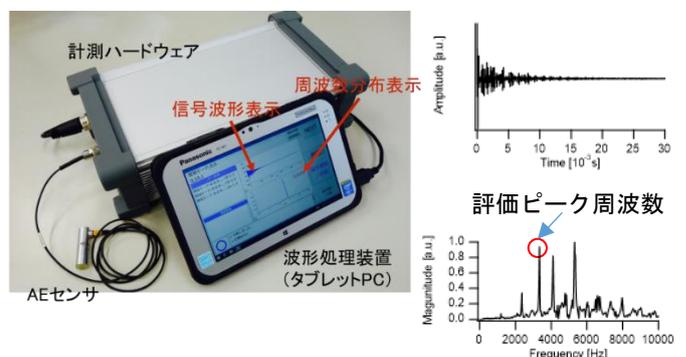


図2 デジタル打音検査システムの概要

キーワード AI, AE センサ, 打音検査, 施工不良, 経年劣化

連絡先 〒590-0481 大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地 原子燃料工業 (株) TEL 072-452-7221

認する¹⁾。評価した振動特性は、変状に起因する板厚方向の振動やたわみ振動の固有振動周波数とした。

$$f = \frac{n}{2D} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{nV}{2D} \quad (1)$$

これらの固有振動数について、縦振動の固有周波数は式(1)、たわみ振動は、例えば、長方形で周囲の境界条件が単純支持の場合、式(2)のように表せられる。内部空洞やひび割れにより、板厚方向において見かけのヤング率が低下する場合や、剥離の面積やかぶり厚で周波数が変化するため、DB化することで変状の定量的な状態を評価可能となる。

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)}} \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] \quad (2)$$

f :固有周波数[Hz] E :弾性係数[Pa]
 ρ :密度[kg/m³] V :弾性波速度[m/s] D :厚み[m]
 a, b :長方形板の寸法[m] h :剥離領域の厚み[m]
 ν :ポアソン比 m, n :振動モードの次数

表1 供試体の諸元

供試体No	供試体の欠陥内容	欠陥サイズ	欠陥のかぶり厚()内は裏面の場合
1 (16)	健全	-	-
2 (17)	内部空洞模擬	100×100×100	100(200)
3 (18)			50(250)
4 (19)			20(280)
5 (20)		100×100×50	150(200)
6 (21)			50(300)
7 (22)			20(330)
8 (23)			200×200
9 (24)	剥離模擬	100×100	20
10 (25)		50×50	20
11 (26)		200(幅)×200(深さ)×1	-
12 (27)	ひび割れ模擬	200(幅)×100(深さ)×1	-
13 (28)		100(幅)×100(深さ)×1	-
14 (29)		50(幅)×50(深さ)×1	-
15 (30)		200(幅)×200(深さ)×1(斜め)	-

3. 2 供試体諸元及び測定方法

各種施工時不具合として、内部空洞、剥離、ひび割れを模擬した供試体を製作した(表1)。供試体のサイズは1000mm×1000mm×厚み400mmで、欠陥は1000mm×1000mmの範囲の中央部に配置した。供試体は強度が設計強度36N・m(No.1-15)と18N・m(No.16-30)の2パターンの強度で製作した。測定箇所は、供試体へり部の影響を避け、欠陥中央部およびその周囲±150mmの範囲とした。

3. 3 結果考察

図3に供試体中央部の測定より、縦振動の固有周波数を得た結果を示す。一例としてはコンクリート強度が高い場合には固有振動数は高くなるが、欠陥に伴う傾向は強度に依存しない。また、図4に周波数の面的評価の一例として、No.2の内部空洞を模擬した供試体に対し、縦振動の固有周波数を面的に評価した結果を示す。なお、このコンター図は、無欠陥の供試体との差分表示としている。

内部空洞模擬供試体No.2(欠陥サイズ100mm×100mm、かぶり厚100mm)においては、欠陥が配置されている中央部において、健全よりも100Hz程度縦波の固有振動数が低く、周波数低下範囲は、欠陥周辺まで広がっている。また、その他の供試体でも同様に、欠陥の種類、サイズ、位置によって、周波数の低下量及びその広がり具合が異なる結果を得た。

4. まとめ

デジタル打音検査とAI・シミュレーションを統合活用した、コンクリートの内部構造(内部空洞・剥離・ひび割れ等)診断技術の開発を目的に、各種欠陥を模擬した供試体を用いた実験的DBを構築し、面的評価結果から不具合の種類を識別し、規模(深さ、大きさ等)を評価しうる見通しを得た。

謝辞

本研究は、国土交通省令和元年度建設技術研究開発助成制度により実施した「デジタル打音検査とAI・シミュレーションの統合的活用によるコンクリート内部構造診断の実現」の成果の一部である。

参考文献

- 1) Takashi MATSUNAGA, Ryota OGAWA, Mitsuyuki SAGISAKA, Hiroaki FUJIYOSHI and Yoshihiro ISOBE, "Social infrastructural diagnosis by hammering inspection with AE sensor", E-Journal of Advanced Maintenance Vol. 11 No. 1 (2019) 27-33.

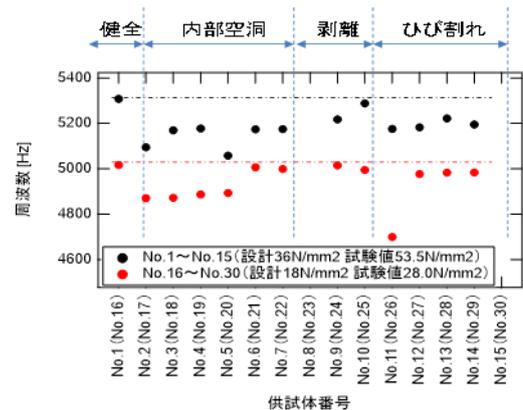


図3 供試体中央部の測定結果

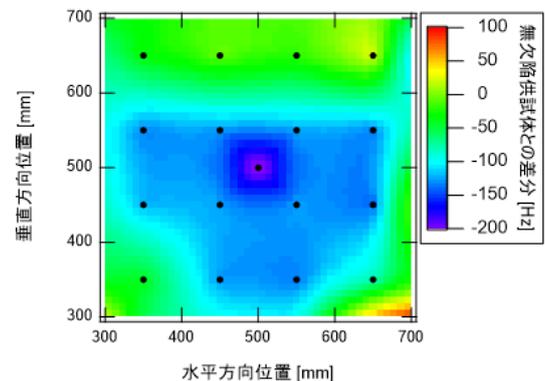


図4 内部空洞模擬供試体の面的評価