

DAS を用いたコンクリートのひび割れモニタリングの実用化に向けた試み (2)

—コンクリート試験体によるひび割れ検出試験—

大成建設(株) 正会員 ○宮永隼太郎 山上順民 新井博之 土肥聡

(株)日本地下探査 菊池竜之介

(株)ジオファイブ 高橋亨

東京大学 辻健

(独)水資源機構 正会員 市川滋己

1. はじめに

コンクリート構造物に発生したひび割れの把握はこれまで主に目視観察で行われてきた。建設業界において省力化・省人化が求められている中、筆者らはひび割れを表面波の計測と分析によりモニタリングする技術の確立に取り組んでいる。既往の研究では人工起振により発生した表面波を、コンクリート表面や内部に設置した地震計で計測し、表面波の振幅減衰を分析することで、ひび割れの位置と深さを推定することができると考えられ、実験室のスケールやシミュレーションにおいては表面波の振幅減衰とひび割れ深さとの関係が精度よく求められている^{1),2)}。直接、ひび割れ部位を目視することなく、ひび割れ状態を把握できると期待されるが、モニタリング範囲が広大になるほど、地震計を多点に設置することになり、大きなコストを要する。そこで、筆者らは光ファイバケーブルを地震計として用いる DAS(Distributed Acoustic Sensing) のひび割れモニタリングへの適用を検討している。本稿では、模擬ひび割れを作成したコンクリート試験体に光ファイバケーブルを設置して DAS によって取得した表面波の分析から得られたひび割れの評価結果を報告する。

2. ひび割れ検出のしくみ

表面波のエネルギーは浅部に大きく分布し深度とともに減少する。ひび割れを通過する際、その深さに応じてエネルギーの透過が妨げられて発生した表面波の振幅減衰から(図-1)、ひび割れの位置を把握することができる。任意の周波数において、ひび割れ深さ d は表面波のひび割れ通過前後の振幅比 γ と波長 λ から次の式で求められる²⁾。

$$\gamma = \exp(-2.35d/\lambda) \quad (1)$$

3. 試験方法

コンクリート試験体は長さ 10.2m×幅 1.2m×高さ 0.5m であり、内部は 2 段の鉄筋構造とした。光ファイバケーブルはニューブレクス社の FN-SILL-3 を使用し、試験体内部に 6 測線、表面に 3 測線の計 9 測線とした(図-2, 図-3)。このケーブルは被覆部表面にエンボス加工がされており、コンクリートとの密着が良いため、

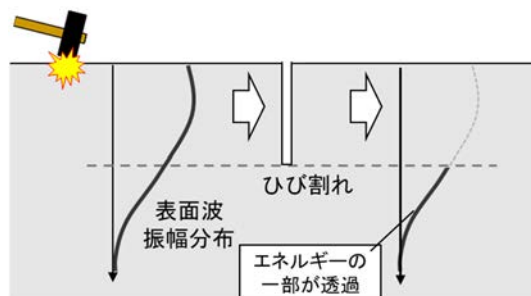


図-1 表面波の減衰の概念図

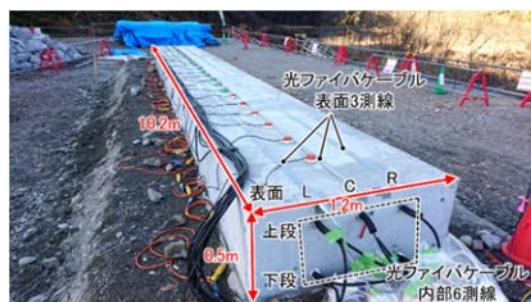


図-2 コンクリート試験体



図-3 光ファイバケーブル (試験体内部)



図-4 模擬ひび割れ

キーワード DAS, 表面波, ひび割れ, モニタリング

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター [TEL:045-814-7221](tel:045-814-7221)

DAS 計測に適していると考え、計測器にはニューブレクス社の NBX-S4000B を用いて空間分解能 1.6m、サンプリング間隔 0.2m で計測した。また、記録した表面波の減衰からひび割れの位置を推定するため、ひび割れを模擬した縁切り板を設置した (図-4)。

4. 表面波の計測とひび割れの推定

試験体中央 0m をハンマーで起振し、同じく試験体中央の測線 (C-表面、図-2 参照) で計測した波形記録を図-5 に示す。模擬ひび割れは 4.74m (深さ 25cm、ひび割れ 1 とする)、7.95m (深さ 50cm、ひび割れ 2 とする) に設置している。計測の際は、S/N 比を向上させるため、3 回分のデータをスタッキングした。橙色点線は速度 3,200m/s 程度の初動到来位置 (P 波) を示し、紫色点線は速度 1,700m/s 程度の震源から直接伝播した表面波を示している。後続の波はハンマー起振の 2 回目以降の波である。1 回目の起振による表面波 (図-5 赤枠) の周波数ごとの振幅分布を図-6 に示す。振幅を算出する際、ひび割れ以外の影響による減衰を無視するため、伝播距離に依存する減衰を周波数ごとに補正した。赤枠はひび割れの影響と考えられる振幅減衰を示す。周波数 700~1,200Hz において受振位置 4.2m 付近を、周波数 1,000~1,400Hz においては受振位置 7.8m 付近を境に振幅が減衰している様子が確認でき、ひび割れ位置が推定できた。模擬ひび割れの設置位置と推定結果の差は、ひび割れ 1 で約 0.54m、ひび割れ 2 では約 0.15m であった。推定誤差の原因として、今回用いたインテロゲータの空間分解能 (1.6m) が十分でなかった可能性が考えられる。そのため、より高分解能のインテロゲータで同様の試験の実施を検討中である。また、ひび割れが存在しない測点においても振幅の減衰が一部見られた原因を今後検証する。次に、ひび割れ位置が推定できた周波数帯域のうち、1,136Hz における振幅変化を図-7 に示す。推定した 2 か所のひび割れ位置 4.2m および 7.8m の前後で、ひび割れ通過前の平均振幅を赤線、通過後の平均振幅を青線で示す。ひび割れ通過後に振幅が再度大きくなっているが、ひび割れを回折した波の影響であると考えられる。図-7 で得られた振幅比と式 (1) から推定したひび割れ深さはひび割れ 1、2 とともに約 70cm であった。ひび割れ 1 (深さ 25cm) では 45cm、ひび割れ 2 (深さ 50cm) では 20cm の差であった。この原因として、模擬ひび割れから誘発して発達したひび割れの可能性が考えられるため、該当箇所のボーリングコアを採取し、ひび割れ深さの確認を行う予定である。

5. まとめ

模擬ひび割れを設置したコンクリート試験体において DAS を用いて表面波を計測し、表面波の振幅減衰から、ひび割れのおおよその位置と深さを推定した。今回の報告は深さ 25cm、50cm のひび割れ検出の例であるが、現場実用段階では、コンクリートの鉄筋かぶり程度の浅いひび割れの検出を目指しており、今後は検出精度の向上のため、高分解能のインテロゲータによる実験や、分析方法の改善に努める。

参考文献

- 1) 江島・吉岡・坂田・吉村：空溝と地中壁による振動遮断効果，土と基礎，28(3)，49-55，1980。
- 2) 安井・真田・三ヶ田・芦田・松岡：空溝による表面波の減衰効果，物理探査，60(4)，305-313，2007。

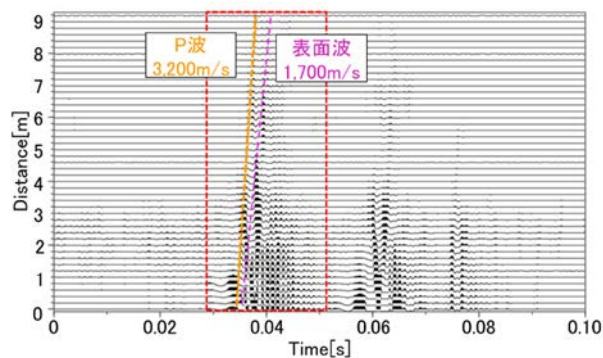


図-5 波形記録

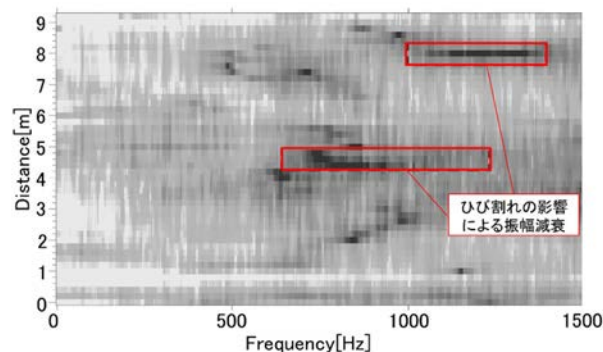


図-6 表面波の振幅分布

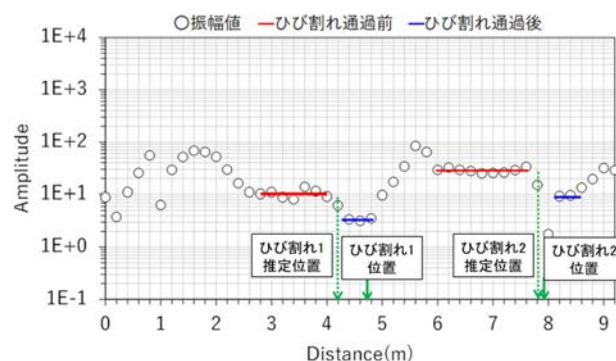


図-7 周波数 1,136Hz における振幅変化