

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 (1)

— 起振器の仕様検討のための予備試験 —

大成建設(株) 正会員 ○山上順民 宮永隼太郎 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、筆者らは発生したひび割れに対して、光ファイバセンサを用いた DAS (Distributed Acoustic Sensing) 計測によりモニタリングする技術の確立に取り組んでいる。先行事例では、試験室のスケールやシミュレーションにおいてひび割れの影響による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)}。しかし実適用に際しては、探査可能距離や検出可能なひび割れの深さなどに関して、実スケールでの確認が不可欠である。そこで、実適用する発振器の仕様を決めるために、長距離でコンクリート底盤が連続する重力式コンクリートダム監査廊において、発振機構の異なる 2 つの起振器を用いて表面波を発受振し、周波数と到達距離の関係を把握した。この結果について以下に報告する。

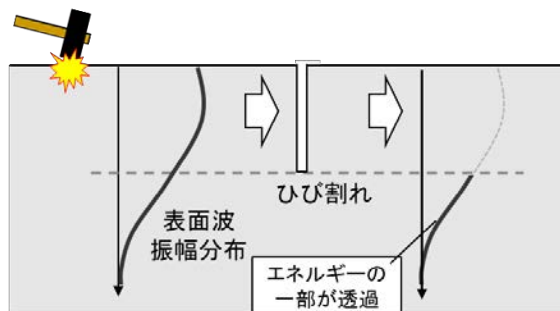


図-1 表面波の減衰の概念図

2. ひび割れ検出の方法

表面波の振幅の深度分布は、相対的に浅部が大きい特徴を有する。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、表面波の振幅減衰が発生する(図-1)ことから、ひび割れの位置を把握することができる。

任意の周波数の表面波における、ひび割れ通過前後の振幅比 γ 、波長 λ 、ひび割れ深さ d の関係は次の式で表される²⁾。

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

この際、ひび割れ深さ d に対し、表面波の波長 λ が大きいほど、 γ が 1 に近くなり、表面波の減衰の検出が難しくなる。一方、 λ が小さいほど γ が 0 に近づき、ひび割れの検出は容易になるが、より短い波長(高周波数)の波を起振することが必要になる。現在実用化を検討中の構造物はダム堤体上流面の厚さ 350 ~ 547mm の不等厚のコンクリートスラブである。深さ 500mm のひび割れの検出を想定した場合、式(1)から、ひび割れを通過する際の表面波の周波数と振幅比の関係は図-2 となる(表面波の位相速度は 2,300m/s と仮定)。1,000Hz の表面波が深さ 500mm のひび割れを通過する際には、振幅比 $\gamma=0.6$ の減衰が発生すると推定され、この振幅比であれば容易に認識できると考えられる。

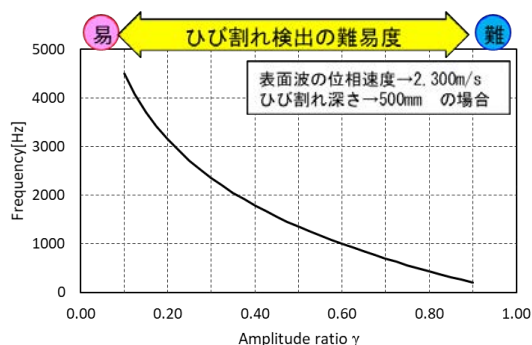


図-2 ひび割れ通過前後の表面波振幅比

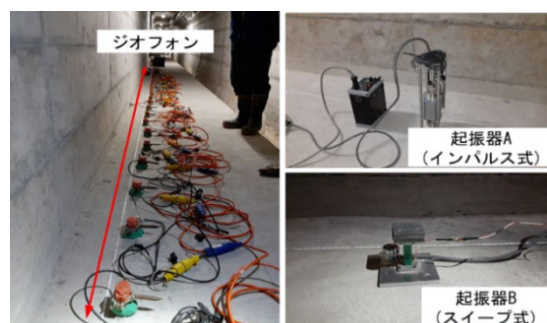


図-3 計測機器

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

3. 起振器試験

試験は重力式コンクリートダムの監査廊で実施した。試験に用いた起振器を図-3に示す。起振器 A は内蔵された金属ハンマーの打撃により振動を発生させるインパルス式である。起振器 B は積層圧電アクチュエータを内蔵し、電圧をかけると振動が発生するスイープ式である。起振した表面波は、0.4m 間隔で設置したジオフォン（固有周波数 28Hz）の直線アレイで記録した。計測の際は、S/N 比を向上させるため、50~100 回分のデータをスタッキングした。

4. 結果と検討

図-4 は起振器 A による波形記録を示しているが、表面波は起振点から 50m まで明瞭に確認でき、70m まではやや不明瞭、以降は認識することができなかった。図-5 は起振器 B による波形記録を示している。表面波は 25m まではやや明瞭に確認でき、以降では認識することができなかった。次に、2つの波形記録の表面波（白枠線内）の振幅分布を示す。起振器 A の結果（図-6）、400~800Hz では、明瞭な到達距離は約 70m であった。一方、800~2,000Hz では、明瞭な到達距離は約 40m であった。起振器 B の結果（図-7）、明瞭な到達距離は 500Hz 前後で約 40m、500~2,000Hz で約 25m であった。起振器 B は起振器 A と比較すると、表面波の伝播距離は劣るが、どちらの起振機器とも、深さ 500mm のひび割れの検出に必要な周波数帯（1,000Hz 前後）の表面波を起振可能であることを確認した。また、1,000Hz より高周波数の（~2,000Hz）の表面波も確認できることから、500mm より浅いひび割れの検出も可能であると推定される。今後は現在の起振器の仕様をもとに、到達距離の3~4 倍の長距離化を目的とした改良を実施し、2 種類のうち、実用化に適した起振器を選定する。起振器 A は起振エネルギーを大きくすると、打撃を受けるコンクリートへのダメージが懸念されるため、起振点と起振器の間に鉄板を挟むなどの養生をした条件での伝播距離の延長が必要である。起振器 B は同様の機構を持った起振器は地盤では広く利用されているが、コンクリートへの起振に適した機器の開発を検討する。

5. おわりに

今回の実験から、機構の異なる 2 種類の起振器は 500mm のひび割れ検出に必要な周波数帯の表面波を発生可能であることを確認した。今後は、計測可能距離の延長に向けた起振器の改良を実施し、同時にひび割れの検出方法を実用化のための解析手法の検討を進めていく方針である。

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)，pp.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)，pp.305-313，2007。

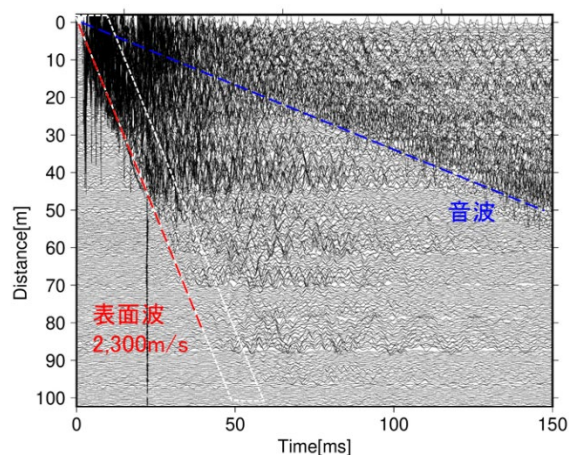


図-4 起振器 A（インパルス式）の波形

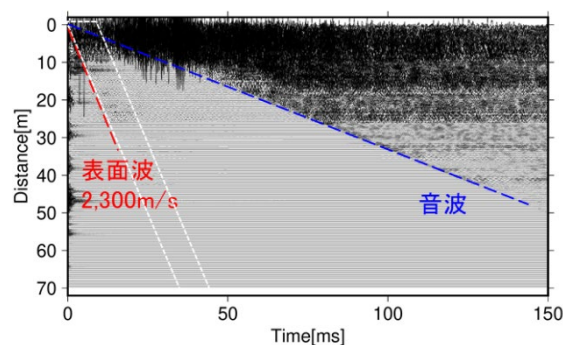


図-5 起振器 B（スイープ式）の波形

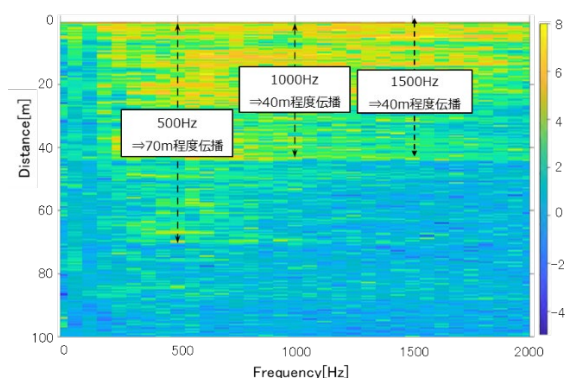


図-6 振幅分布（起振器 A）

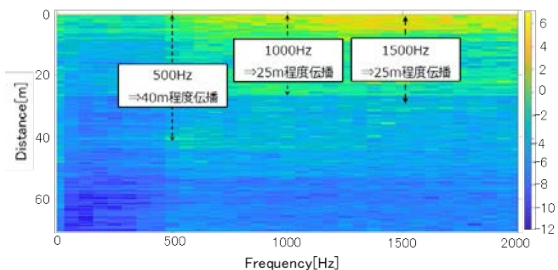


図-7 振幅分布（起振器 B）