

飛翔体による弾性波励起手法のコンクリート構造物の健全性評価への適用性検討

京都大学大学院 正会員 ○奥出 信博
京都大学大学院 正会員 塩谷 智基
京都大学大学院 正会員 小椋 紀彦
京都大学大学院 正会員 麻植 久史
独立行政法人水資源機構 正会員 國居 史武

1. はじめに

著者らはこれまで、コンクリート構造物の内部における弾性波伝播特性の可視化、およびこれに基づく健全性評価手法の有用性について報告してきた。本手法で扱う弾性波の励起は、コンクリート表面への鋼球打撃を基本としているが、より効率的な手法とするためには近接を要しない励起方法が求められる。そこで本研究では、飛翔体（プラスチック弾）とエアソフトガンを用いた遠隔による弾性波励起の方法について検討した。コンクリート供試体を用いた基礎実験により、飛翔体による励起弾性波のおおよその特徴を把握するとともに、実構造物を対象とした適用実験により、当該弾性波の減衰特性に関する知見を得た。

2. 飛翔体による励起弾性波

飛翔体（直径 6 mm のプラスチック弾：東京マルイ製 BB 0.2）がコンクリート表面に衝突する際に励起される弾性波の特徴を把握するため、表 1 に示す配合の無筋コンクリート供試体（角柱 1000×500×500 mm）を用いて基礎実験を行った。供試体上面（1000×500 mm）の中央部において、表面から 10 mm の高さよりエアソフトガンを用いて飛翔体をコンクリート表面に 5 回衝突させた。この際、衝突点から約 10 mm 離れた点でレーザードップラー振動計により表面変位の経時変化を記録した（サンプリングレート 625 kHz）。エアソフトガンは初速の異なる Gun.A (90 m/s), B (67 m/s), C (32 m/s) の 3 種類を用いた。得られた変位波形を FFT した結果（各 5 回の平均）を図 1 に示す。いずれも 30～50 kHz 付近（低周波成分）と 70～90 kHz 付近（高周波成分）に卓越成分が示される。高周波成分は、ガンの初速が速くなるに従い高周波側にシフトし、さらに低周波数成分に対しその割合が高くなる傾向が示される。Gun.A を用いた場合には 125 kHz 付近の高い周波数成分も確認できる。ここで、図 2 に衝突後の飛翔体の様子を示す。Gun.C では目視において特に変化は見られないが、Gun.B では割れやへこみが確認された。さらに Gun.A では飛翔体の一部が飛散するほどの破壊がみられた。Hertz の接触理論に基づけば、衝突エネルギーが高くなるほど飛翔体とコンクリ

表 1 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)			
(%)	(%)	W	C	S	G
40	44	170	395	767	1028

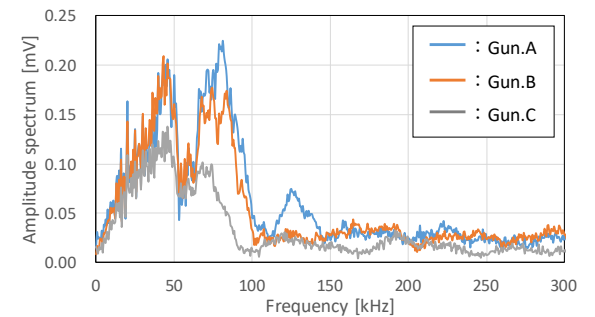


図 1 周波数特性



図 2 衝突後の飛翔体

ートとの接触時間が長くなるため、励起される弾性波は低周波側にシフトする。これは弾性領域においてのみ成立つ。つまり、衝突エネルギーの増加に伴う高周波側へのシフトは、飛翔体の塑性変形に起因するものと理解できる。以上より、飛翔体が破壊した場合も含め、エアソフトガンを用いて励起される弾性波の主たる周波数成分は 30～90 kHz であることがわかった。

3. 実構造物への適用性検討

励起弾性波の実構造物における伝播特性を把握するため、ダム洪水吐きの導流壁コンクリートを例に挙げ、飛翔体の衝突実験を行った。図3に示すとおり、Gun.A を用いて導流壁の内側のコンクリート表面に飛翔体を衝突させ、導流壁の背面に配置した 30 kHz 共振型 AE センサにより弾性波を検出した（背面のセンサは高さ約 4 m の位置に設置。当高さにおける壁厚は約 1 m）。本実験では、ガンの発射口から壁表面までの距離を『飛翔距離 D (m)』、衝突点から背面センサまでのコンクリート内の直線距離を『伝播距離 X (m)』と定義し、D を最大 15 m、X を最大 19.2 m とした計 72 の発射位置より飛翔体を発射した（図4参照）。

飛翔体により励起された弾性波を弾性波トモグラフィに適用する場合、検出波形の初動の読み取り精度が重要となる。一般的に S/N 比の小さい波ではこの誤差が大きく、条件によってはトモグラフィへの適用が困難となる。ここで、この初動読み取りの信頼性パラメータとして DD（明瞭度）が提案されている²⁾。この明瞭度は初動の明瞭さを数値化したもので、その値が大きいほど初動読み取りの信頼性が高い。図5に、本実験で得られた明瞭度を伝播距離と飛翔距離の2次元マップ上に示す。飛翔距離よりも伝播距離の方が明瞭度に与える影響が大きいことが分かる。既往の研究により、弾性波トモグラフィの解析において一定の精度を担保するための明瞭度は 0.05 以上と例示される³⁾。この目安を用いた場合、伝播距離が約 7 m 以内であれば解析に有効な弾性波を検出できることが分かる。またこの条件を満たせば、飛翔距離は 15 m あるいはそれ以上でも有効な弾性波を励起できる可能性が示される。

4. まとめ

本研究により以下の知見を得た。

- 1) 飛翔体によって励起される弾性波は主として 30 ～90 kHz の周波数成分を有する。
- 2) 伝播距離が 7 m 以内であれば明瞭度 0.05 以上の検出波形を得ることができる。
- 3) 2)の条件を満たせば飛翔距離を 15 m まで延長しても明瞭度 0.05 以上の波形を得ることができる。

謝 辞

実験には村瀬春祐氏（当時、修士課程、現：阪神高速道路株式会社）、橋本勝文講師（現：北海道大学准



図3 実験の様子

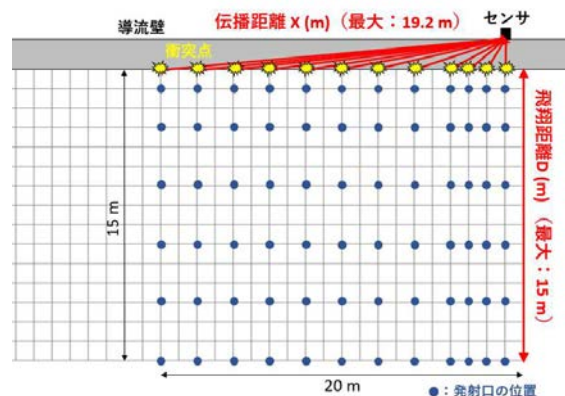


図4 発射位置

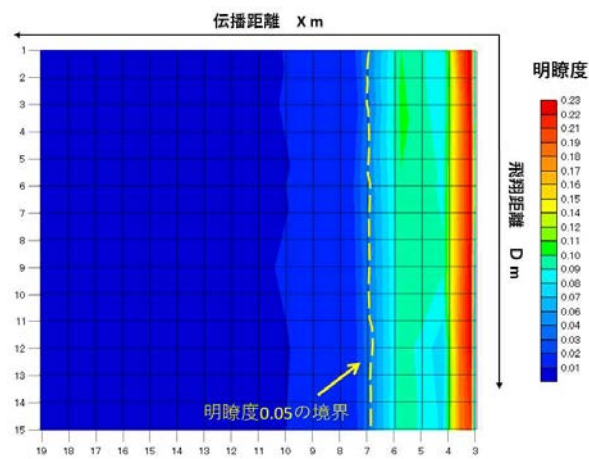


図5 明瞭度マッピング

教授) に多大なるご協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、塩谷智基、麻植久史、奥出信博、小椋紀彦、國居史武、福地良彦、弾性波トモグラフィ法による大型コンクリート構造物の健全性評価、非破壊検査 No. 6, Vol. 71, pp. 235-239, 2022.
- 2) 前田直樹、地震波自動処理システムにおける読み取りおよび評価、地震第 2 輯、第 38 巻, pp. 365-379, 1985.
- 3) 麻植久史、塩谷智基、橋本勝文、茅野茂、実 RC 床版を対象とした加速度計による AE 計測システムの開発、非破壊検査協会、第 21 回 AE 総合コンファレンス論文集, pp. 25-28, 2017.