

表面波トモグラフィによる一面配置型内部損傷可視化技術の開発

飛島建設技術研究所

正会員 ○桃木 昌平

University of MALAYA

非会員 蔡 華堅

京都大学大学院工学研究科

正会員 塩谷 智基

1. 目的

コンクリート構造物の維持管理に寄与する非破壊評価技術として、弾性波法を応用した弾性波トモグラフィ手法による健全性評価が注目されている。この弾性波トモグラフィは、構造物を挟み込むようにセンサを配置して、多数かつ多方向の走査線間で透過弾性波の特性値（伝播速度や減衰比など）を測定する。それらの情報を基に評価する領域を幾つかの小領域（セル）に分割したモデルで数値解析を行い、各セル内の弾性波特性値を算出する。モデルを各セルの特性値の分布図として表現することで、構造物全体を弾性波特性値によって一括して評価できる。ただし、透過弾性波を利用するため、構造物を挟み込むセンサ配置を要し対象の背面側へのアプローチが困難である場合の適用は不可能である。そこで、本稿では波長分に相当する深さまで片側表面から評価できる表面波成分に着目し、一面配置型で広域的に内部損傷を可視化して健全性を評価できるトモグラフィ技術の開発について報告する。

2. 表面波による健全性評価

弾性波トモグラフィでは透過弾性波の縦波弾性波速度を用いた評価が一般的である。しかし、対象となる構造物を挟み込むようにセンサを配置する必要がある、センサの配置が片側表面に制限される構造物、例えばトンネルの覆工や擁壁、床版などには適用が困難である。これに対し、図-1に示すように弾性波の表面波成分は、その波長（周波数）に相当する深さ方向までが評価範囲であり、かつこの表面波成分は、対象に入力された弾性波のエネルギーの大半を占めるもので、比較的長い距離の走査線長でも分析可能である。この表面波成分を特性値としてコンクリート構造物の片側表面でのセンサ配置によるトモグラフィに適用することで、アプローチが片側表面に制限された構造物においても内部または背面側の健全性を、広域的に評価できる。

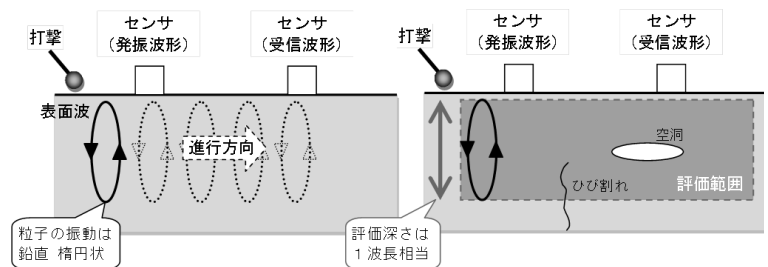


図-1 表面波成分イメージ
(波長相当の深さ方向まで評価)

3. 測定方法と適用事例

(1) 測定方法

一面配置型弾性波トモグラフィのセンサ配置例を写真-1に示す。鋼球ハンマなどで、コンクリート表面に直接打撃を与え弾性波を励起する衝撃弾性波法による測定であり、受信子に用いる加速度センサはコンクリート表面に格子状に複数設置する。写真-1に示すように計16個のセンサを4行4列に配置し、それぞれのセンサ近傍で打撃を与える。このとき、近傍のセンサで得られた波形を発振波形、残りの15個のセンサで得られた波形を受信波形とする。すなわち、全てのセンサ近傍で打撃して得られる走査線は $16 \times 15 = 240$ 本となる。このようにして、図-2に示すように対象領域を網羅する多数・多方向の走査線

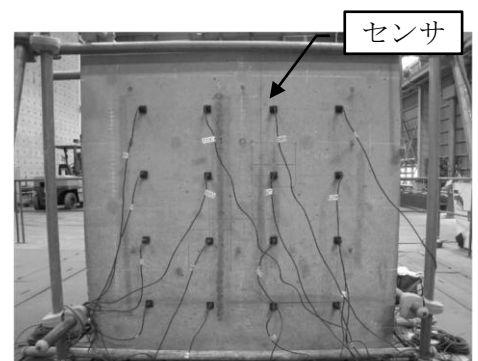


写真-1 センサ配置例

キーワード 表面波、弾性波トモグラフィ、健全性評価

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社 技術研究所 TEL:04-7198-7572

分布において、それぞれの表面波パラメータを基に数値解析を行い、表面波分布図（トモグラム）を算出する．評価を行う深さは、鋼球ハンマの球径を変え、励起する弾性波の周波数（波長）により調整する．分布図に用いる表面波パラメータは表面波位相速度を用いている．表面波位相速度の算出については既報¹⁾の通りであり本稿では割愛する．

(2) 適用事例（背面側劣化調査）

写真-2 は、背面側にひび割れやジャンカを模擬した部分を有するコンクリート床版試験体（寸法：1,500×1,500×300 mm）である．この模擬欠陥をアプローチが不可能な背面側の劣化と想定し、健全である対面側表面にセンサを図-2 と同様に 4 行 4 列（センサ間隔 300 mm）で配置し、表面波トモグラフィ計測を行った．当計測では表面波の波長は約 250 mm

であり、床版厚さの 8 割程度の深さをカバーしていると考えられる．結果を図-3 に示す．淡色部が健全な表面波位相速度に対し低下が確認された箇所であり、背面側のジャンカやひび割れの位置と概ね合致していた．

ここで配置したセンサを用いて一般的な衝撃弾性波法である多重反射法を用いたところ、図-4 に示すように、模擬ジャンカを有する箇所の真上にあるセンサ（#06）のみが床版厚さよりも浅い深さであること（床版厚さに相当する周波数よりも高周波のピーク²⁾）が認められた．多重反射法は内部または背面側の劣化位置や表面からの深さを定量的に評価するのに有効な手法である．ただし、基本的には打撃を実施した点の直下の評価であることから、広域的に調査を実施する場合は計測領域において高密度に多数の点を計測する必要がある．この事例のように表面波トモグラフィによって広域をスクリーニング調査し、多重反射法や他の詳細検査手法を要する箇所を絞り込むことで、比較的大規模なコンクリート構造物の調査をより効率的に実施できると考えられる．

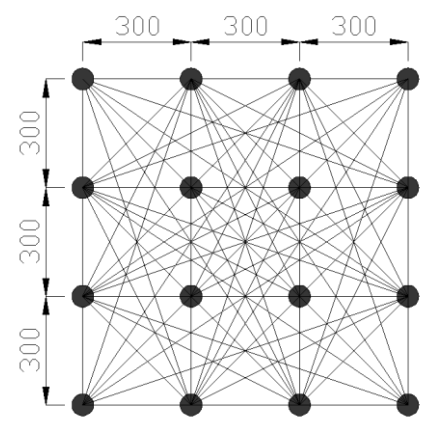


図-2 走査線分布図

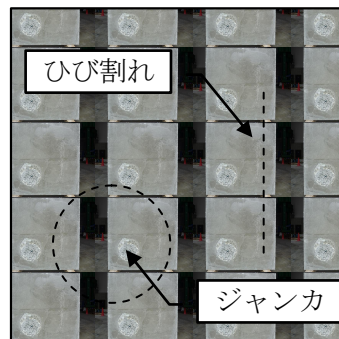


写真-2 模擬損傷試験体

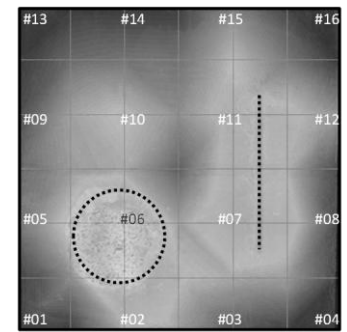


図-3 表面波トモグラフィ結果

4. まとめ

本研究ではコンクリートを伝播する弾性波の表面波成分に着目し、一面配置型で広域的に内部損傷を可視化して健全性を評価できるトモグラフィ技術の開発を行った．以下に知見を示す．

- (1) 評価範囲が 1 波長分に相当する深さ方向に及ぶ表面波成分をトモグラフィに適用することで、片側表面にアプローチが制限される構造物においても広域的に内部の健全性を評価できる．
- (2) 広域的にスクリーニング調査を行い、多重反射法やその他の詳細検査手法を要する箇所を絞り込む用途として有効である．

参考文献

- 1) H. Chai, D. G. Aggelis, S. Momoki, Y. Kobayahi, T. Shiotani : Tomography Imaging of Concrete by Surface Waves, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, V-240, pp. 479-480, 2010.
- 2) Mary J. Sansalone, William B. Streett : IMPACT-ECHO, BULLBRIER PRESS, pp. 83-98, 1997.

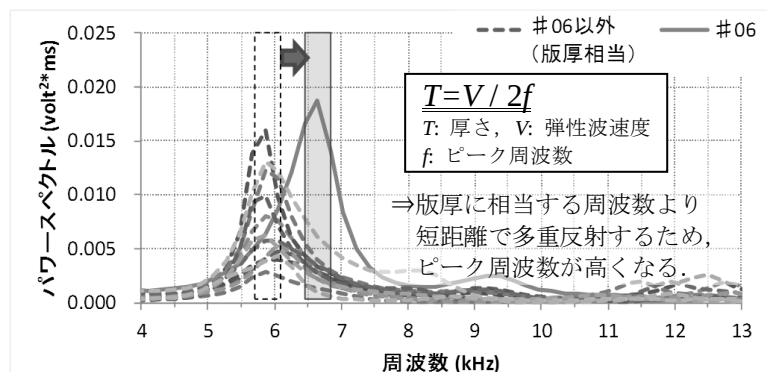


図-4 多重反射法によるスペクトル推定