

第V部門 衝撃弾性波法によるRC床版における水平ひび割れの検出方法に関する基礎的検討

大阪大学工学部 学生会員 ○中野 雄斗
 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 東 賢明
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 寺澤 広基

大阪大学大学院工学研究科 正会員 鈴木 真
 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 安井 和也
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

1. はじめに

RC床版内部の水平ひび割れを非破壊で評価する手法として、衝撃弾性波法¹⁾がある。この手法では、鋼球を用いてRC床版上面を人力により打撃する方法が一般的であるが、このような打撃方法では得られる周波数スペクトルにばらつきが生じることがあり、水平ひび割れを正確に検出できない可能性があることが懸念される。

本研究ではひび割れ深さに相当する縦波共振周波数がピークが明瞭になる入力条件を明らかにすることを目的とし、水平ひび割れを模擬したコンクリート供試体を用いて、自由落下を利用した機械的入力による打撃方法で計測を行い、弾性波の入力位置とセンサ間の距離（以下、入出力間隔）、および鋼球の自由落下高さ（以下、自由落下高さ）が鋼球での打撃により得られる周波数スペクトルに与える影響について実験的検討を行った。

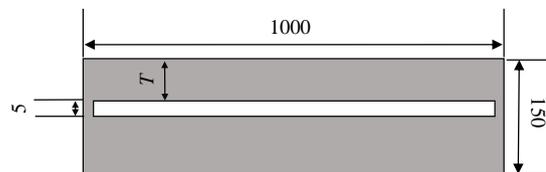
2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いたコンクリート供試体の概要を図-1に示す。供試体Iの寸法は長さ1000mm×幅1000mm×厚さ150mmで、水平ひび割れを模擬するために深さ40mmの位置に厚さ5mmのスチレンボードを埋設した。供試体IIの寸法は供試体Iと同じであり、深さ72mmの位置にスチレンボードを埋設した。

2.2 計測概要

弾性波の入力は、内径21mmのパイプを弾性波の受信点から設定した入出力間隔だけ離れた位置に設置し、パイプを通して直径6mmの鋼球を自由落下させることで行った。弾性波の受信には加速度センサを使用し、全てのケースについて、コンクリート供試体表面の中央部に設置した。センサで受信した信号はサンプリング間隔1 μ s、サンプリング数10000点の時刻歴応答波形として波形収集装置で記録した。記録した波形に対して、0~90 μ sをカ



奥行き：1000 T...供試体I：40，供試体II：72 [単位：mm]

図-1 供試体の寸法

表-1 計測パターン

自由落下高さ h (mm)	100,250,500,750,1000,1500,2000
入出力間隔 d (mm)	20,30,40,50,60,70

ットしてFFTを行ったのち、周波数スペクトルの最大値が1になるように正規化した。計測は、表-1に示す項目をパラメータとし、各パターンにつき5回の計測を行った。

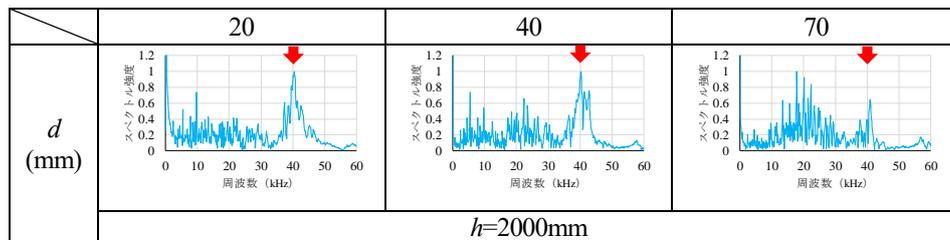
3. 実験結果および考察

3.1 入力位置とセンサ間の距離の影響

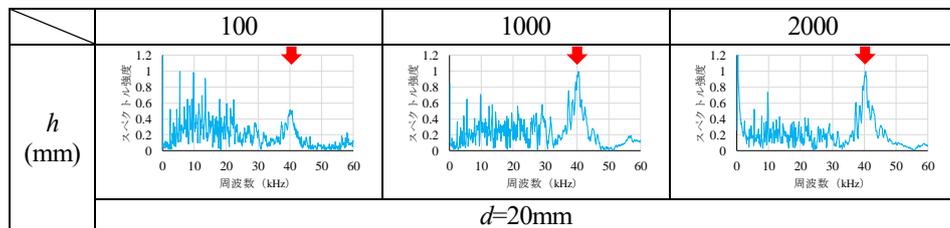
図-2(a)に供試体Iにおける入出力間隔 d の違いによる周波数スペクトルの比較の一例を、図中の赤矢印はひび割れ深さに相当する縦波共振周波数をそれぞれ示す（図-2(b)についても同様）。これより、 d が20~70mmの範囲において、 d が大きくなると低周波域のスペクトル強度が増加し、ピークが不明瞭になる傾向が見られた。これは、入力した弾性波がセンサに伝播するまでの距離が長くなるため、弾性波の多重反射の成分を検出しづらくなったのではと考えられる。また、 d が20mmの場合、5kHz未満の帯域でスペクトル強度が増加する傾向が見られた。これは、 d が非常に短いため、弾性波が多重反射した成分だけではなく、表面波などの不要な低周波域の成分をより受信してしまったからではないかと考えられる。

3.2 鋼球の自由落下高さの影響

図-2(b)に供試体Iにおける自由落下高さ h の違いによる周波数スペクトルの比較の一例を示す。これより、 h が大きくなるとピークが明瞭になり、また5kHzより低い帯



(a) 入力位置とセンサ間の距離



(b) 鋼球の自由落下高さ

図-2 供試体Iにおける各入力条件の違いによる比較

域でスペクトル強度が増加する傾向が見られた。これは、 h が大きくなると、既往の研究¹⁾に示すように衝撃力が増加し、これにより入力される弾性波の高周波成分が増加するため、高周波域での多重反射成分が大きくなる。一方、衝撃力の増加により、表面波などの不要な低周波成分も増加したのではないかと考えられる。

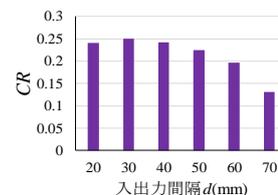
3.3 新たな評価指標による評価

適切な入力条件を検討する上で、ひび割れ深さに相当する縦波共振周波数に出現するピークの明瞭さを定量的に評価する必要があるため、新たな評価指標としてピーク周波数成分比 CR を定義した。

$$CR = \frac{\sum_{p,area} x_{p,area}}{\sum_{i=n}^N x_i} \quad (1)$$

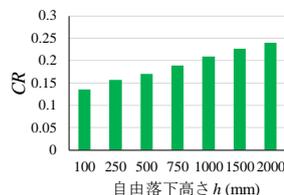
ここで、 CR ：ピーク周波数成分比、 n ：対象とする周波数帯域の始点 (kHz)、 N ：対象とする周波数帯域の終点 (kHz)、 $x_{p,area}$ ：ピーク周波数帯域のスペクトル強度、 x_i ：対象とする周波数帯域での各周波数のスペクトル強度である。本研究では、ピーク周波数帯域としてひび割れ深さに相当する縦波共振周波数から ± 2.0 kHzの幅とし、供試体I：38.0~42.0kHz、供試体II：24.3~28.2kHzとした。また、供試体I、IIともに $n=5.0$ kHz、 $N=50.0$ kHzとした。

図-3 に供試体Iにおける各入力条件 (d, h)と CR の関係を示す。これより、 d が大きくなり、また h が小さくなるほど CR は減少し、ピークが不明瞭になる傾向が見られた。この傾向は供試体Iの他のパターンおよび供試体IIについて



(i) 入力位置とセンサ間の距離

($h=2000$ mm)



(ii) 鋼球とコンクリートの接触時間

($d=20$ mm)

図-3 各入力条件と CR の関係

もほぼ同様であった。

これらの検討を基に、ひび割れ深さに相当する縦波共振周波数でピークが明瞭であると評価できる CR の値を、本研究におけるしきい値として 0.22 以上と定義し、各パターンにおける周波数スペクトルを評価した。その結果、深さ 40~72mm の水平ひび割れを模擬したコンクリート供試体に対し、ひび割れ深さに相当する縦波共振周波数でピークが明瞭になる入力条件 d, h は(d, h)=(30~40, 500~2000)(mm)となった。

4. まとめ

- 1) 入出力間隔 d が 20~70mm の範囲において、 d が大きくなるに従い、ピークが不明瞭になり、また $d=20$ mm のとき、5kHz 未満の帯域でスペクトル強度が増加する傾向が見られた。
- 2) 自由落下高さ h が 100~2000mm の範囲において、 h が大きくなるに従い、ピークが明瞭になるが、5kHz 未満の帯域でスペクトル強度が増加する傾向が見られた。
- 3) 深さ 40~72mm の水平ひび割れを模擬したコンクリート供試体に対し、本研究の適用条件下において、ひび割れ深さに相当する縦波共振周波数でピークが明瞭になる入力条件 d, h は(d, h)=(30~40, 500~2000)(mm)となった。

参考文献

- 1) M.Sansalone and W.S.Streett : Impact Echo, Bullbrier Press, pp29-254, 1997