Q 値を用いたコンクリート部材の健全性評価に関する実験的検討

徳島大学　正会員　○渡辺　健
JFE エンジニアリング　正会員　山口喜堂
京都大学　正会員　塩谷智基
徳島大学　正会員　橋本親典

１．はじめに

弾性波を用いた非破壊試験では，伝搬速度や振幅比，周波数スペクトルを使った指標などが提案されている．一方で，弾性波がコンクリートを伝搬する際には，減衰の影響を受けるため，部材寸法やセンサ位置の違いによって，同じ欠陥を評価しても示す値が変化する可能性がある．そのような影響を受けにくい評価指標として，周波数応答特性の Q 値（Quality factor）を使った指標が提案されている [1)]．本研究では実験的な検討として，衝撃弾性波法で得られた周波数スペクトルを用いて Q 値を算出し，壁部材のひび割れの評価を試みた．

２．実験概要

２．１　スペクトル比法による Q 値の算出方法

Q 値は，ある時刻におけるエネルギーが一周期後に失われたエネルギーと定義され，式(1)のように表される [2)]．ここで，Q は Q 値，E はエネルギー，ΔE は失われたエネルギーである．

$$\frac{2\pi}{Q}=\frac{\Delta E}{E} \tag{1}$$

一般的なコンクリートでは，Q 値は $10\sim10^2$ のオーダーであるとされている [3)]．減衰の程度を定量的に表す Q 値は，基本的には媒質に固有の値である．

媒質の周波数スペクトル $D(f)$は式(2)のように書くことができる．

$$D(f)=\exp\left(-\frac{\pi f}{VQ}d\right) \tag{2}$$

ここで，d：波の伝搬距離，V：弾性波の伝搬速度，f：周波数である．波源からの距離が異なる二ヶ所で，同じ計測装置により同時に計測を行うと，振幅スペクトル $X(f)$の比と Q 値の関係は式(3)のように示される．

$$\frac{X_2(f)}{X_1(f)}=exp\left\{-\frac{\pi f}{VQ}\Delta d\right\} \tag{3}$$

式(3)より，原理的には，波源からの伝搬距離が異なる 2 箇所以上の位置で計測を行うことにより，Q 値が求まることになる．Q 値算出方法については，参考文献 1)に従った．本検討では，2 つの同型の加速度センサを用い，衝撃力の入力箇所を動かすことによって，伝搬距離の異なる状況をつくり，計測を行った．

図 1　実験に使用した壁部材

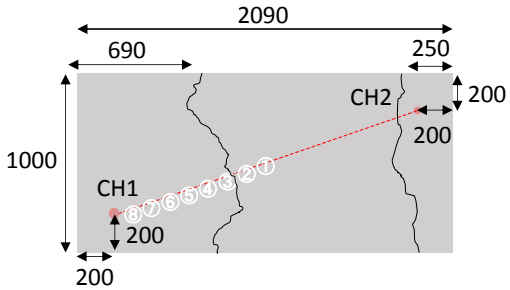

図 2　壁部材におけるセンサ配置と打撃点の関係

２．２　壁部材における計測の概要

衝撃弾性波法は，格子状に鉄筋が入った壁部材に適用した．壁部材の寸法は 2090×1000×120mm である（図 1）．壁部材中は直径 10mm の鉄筋が 200mm 間隔で配筋されている．壁部材において，コンクリートひび割れの Q 値の変化を確認するため，コンクリート表面を目視してひび割れの確認できない壁面（ひび割れ無し）

キーワード　Q 値，衝撃弾性波法，周波数スペクトル，スペクトル比，減衰，ひび割れ
連絡先　〒770-8506　徳島市南常三島町 2-1　徳島大学大学院ｿｼｵﾃｸﾉｻｲｴﾝｽ研究部 watanabe@ce.tokushima-u.ac.jp

と，ひび割れを 2 本確認した壁面（ひび割れ有り）の 2 つに試験を実施して比較検討を行った．クラックスケールで確認したひび割れ幅は両ひび割れともにおよそ 0.2mm であった．

衝撃力の入力には直径 4mm の鋼球ハンマを使用し，加速度センサ（共振周波数範囲 5kHz～12kHz）を用いて計測した．センサは，壁部材に対しては端部から 200mm の位置に対角に設置した．打撃点は**図 2** に示すように，伝搬距離の差を 200mm 間隔で 1400mm まで計 8 点計測した．ひび割れ有りでは，CH1 と CH2 の伝搬距離の差が 400mm の位置（**図 2** の③）を起点として，計 6 点で計測した．

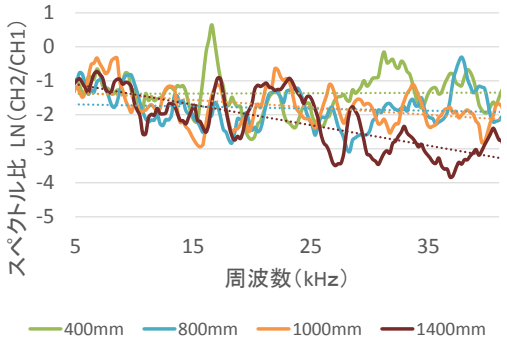

図 3　スペクトル比の対数（ひび割れ有り）

3．結果および考察

図 3 に伝搬距離の差ごとにスペクトル比を対数にしたものを示す．ここで示すスペクトルは，1 回の入力に対する全波形を用いたものである．**図 3** に示すスペクトル比の対数を直線近似した際の傾きと伝搬距離差の関係を**図 4** に示す．**図 4** には，ひびわれ無しにおいても同様に求めた傾きと伝搬距離の差の関係も併せてプロットしている．**図 3** より，伝搬距離の差が大きくなるに従い，周波数の高い部分で減衰が生じていることが分かる．**図 4** より，ひび割れ無しとひび割れ有りの結果を比較すると，ひび割れ有りの場合において，スペクトル比の対数の傾き a が大きいことが確認された．

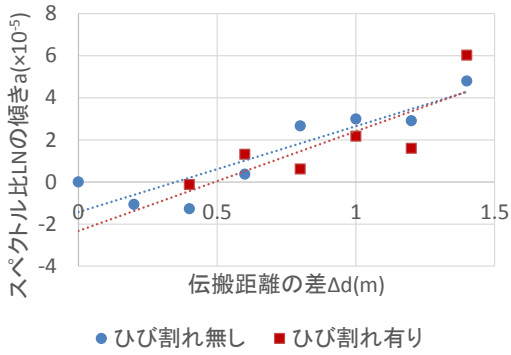

図 4　スペクトル比の対数の傾きと伝搬距離の差の関係

図 5 にひび割れの有無と Q 値の関係を示す．Q 値算出に必要な壁部材の弾性波伝搬速度の値は，実験的に計測した 4119m/s を用いた．**図 5** より，ひび割れ有りの場合は，ひび割れ無しの場合と比べて Q 値は減少している．これはひび割れの存在により弾性波のエネルギーの減衰が大きくなったことが原因と考えらえる．傾きを算出する周波数範囲が異なると Q 値が変動するため，周波数範囲の決定方法についてさらなる検討が必要である．

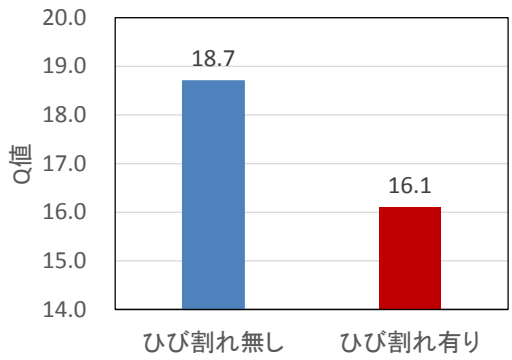

図 5　ひび割れの有無と Q 値の関係

4．まとめ

スペクトル比法による Q 値の算出およびひび割れを有する壁部材の評価を試みた結果，衝撃弾性波法で得られたスペクトルを用いて Q 値を算出することができ，ひび割れを有する場合にはひび割れの無い壁部材の壁面と比較して Q 値が減少したことが確認された．

謝辞

本研究は，京都大学インフラ先端技術共同研究講座との共同研究成果である．ここに記して関係各位に感謝の意を表す次第である．

参考文献

1)　塩谷智基，大澤智，高田雄大：弾性波の周波数応答特性による不均質材料の損傷評価に関する研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集　第 14 巻　pp.337～342　2014.10

2)　斉藤正徳：地震波動論，東京大学出版会，pp. 27-33，2009.

3)　Grosse, C. U. and Ohtsu, M.：Acoustic Emission Testing，Springer，pp.37-38，2008.