# 打撃エネルギー減衰に基づいたコンクリート損傷の定量化方法

○㈱青木建設　研究所　土木研究室　正会員　孫　建生
㈱青木建設　建築設計部　野口　隆

## １．はじめに

近年，コンクリートの劣化による被害が多く報告され，その早期発見，検出方法が求められている．

これまで，コンクリート内部の空洞・亀裂の検出には，打音法が主流として用いられているが，熟練した技能者が必要である上，人間の耳が頼りで，内部空洞・亀裂などを早期に発見することは，困難であった[1)]．本研究は打撃によるコンクリート劣化状況の定量化方法を提案し，モデル実験を通じてその有効性を証明した．

## ２．本方法の基本発想

本方法はハンマーによる打撃エネルギーのコンクリート内部への伝播・拡散が，内部欠陥の有無により違うことに着目して，そのエネルギーの減衰程度から健全度を定量化することを試みた．

図-1 は健全なコンクリートにおいて，打撃エネルギーが伝播する様子で，エネルギーは応力波の形でコンクリート内部を 3 次元的に拡散していく．それに対して，図-2 のように内部に空洞，ジャンカなどの欠陥損傷部があった場合，応力波の流れの一部は欠陥部に遮断され，表面で反射する．したがって，打撃エネルギーを表面の応力波動から正しく計測し，分析することによって，内部欠陥の有無を検出することが可能と思われる．

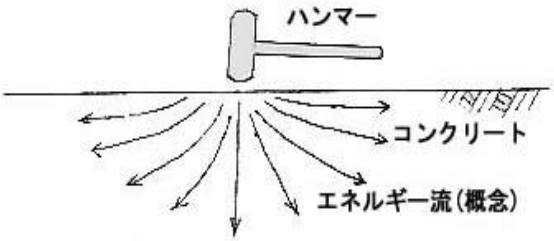



図-1　健全な場合の打撃エネルギー伝播概念図

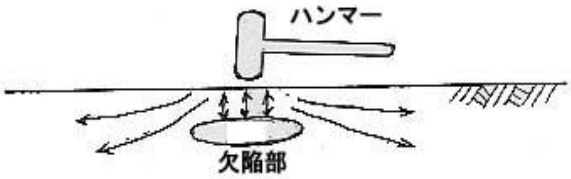



図-2　欠陥のある場合の打撃エネルギー伝播概念図

## ３．計測システム及びその定量化方法

計測システムは，打撃用のテストハンマー，コンクリート表面の空気振動を測定するための高指向性マイク及びノート PC で構成されている．高指向性マイクは 20kHz までは 90 度で約 7dB の指向性を有しており，構造物内部で探査時に音の反射及び他の場所からの雑音の攪乱を防ぐ目的で使用した．マイクで受信した振動信号はノート PC に入力し,PC でエネルギーの変化の計算をし，損傷度の定量化を行う．写真-1 は探査の風景である．

写真-1　本システムの探査風景

損傷度の定量方法の概念を以下に述べる．１自由度の振動エネルギー $W$は，式(1)で表される．

$$W = \frac{1}{2} K \cdot U^2 \qquad (1)$$

ここで，$K$：剛性，$U$：変位

ハンマーで打撃されたコンクリートの表面は，１自由度の振動では表現できないし，マイクで受信したのは空気を介して伝わってきたコンクリート表面での見かけ波動変位なので，ここで便益上，式(1)の概念を援用して，コンクリート表面の見かけ波動エネルギーの一つ指標として，次のように定義する．

$$W_0(t) = \frac{1}{2} K \cdot U(t)^2 \qquad (2)$$

キーワード：　空洞，内部損傷，コンクリート，劣化，非破壊探査
連絡先：　〒305-0005　つくば市要 36-1，㈱青木建設　研究所　jianshengsun@aoki.co.jp

ここで，$W_0(t)$：見かけの波動エネルギー，
$U(t)$：マイクで受信した空気振動(見かけのコンクリート表面波動変位)

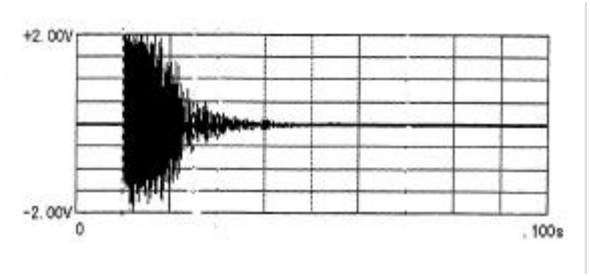
内部に損傷があると，コンクリートの剛性も低減するはずであるが，その低減度の定量化が難しいので，ここでは，安全側に内部に欠陥があっても剛性 $K$ の変化が無視できると仮定し，見かけのエネルギー指標として $INDEX$ を式(3)のように定義する．

$$INDEX = \frac{U(t)^2}{U_0(t)^2} \qquad (3)$$

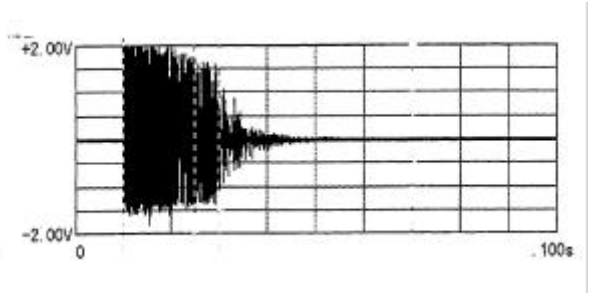
ここで，$U_0(t)$は既知の無損傷個所を叩いて得られたコンクリート表面での見かけ波動変位で，$U(t)$は同じ方法を用いて探査対象個所で計測したものである．さらに，打撃力，マイクとコンクリート表面との距離，方向の違いによる受信波形のバラツキを除去するため，波形ごとに基準化を行っている．

## ４．モデル実験結果

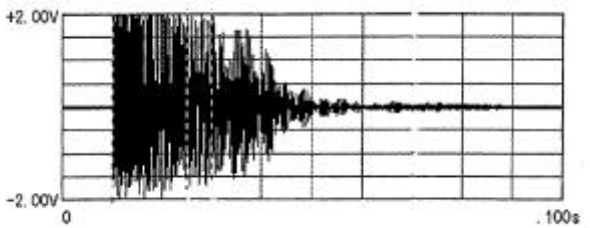
モデル実験として，ロ形の外殻プレキャスト柱に後打ちコンクリートを打設した場合，充填が不十分な時に生じると考えられる空洞の検出を行った．




a)健全部で受信した波形




b)10cm 正方形部で受信した波形




c)30cm 正方形部で受信した波形

図-3　探査波形例

モデル試験体は，断面が 85cm×85cm，高さが 1m の外殻プレキャスト柱で，内壁に厚さ 15mm で大きさが異なる断熱材(スタイロフォーム)を貼り，主筋を配筋後コンクリートを打設し空洞を模擬したものである．外殻プレキャストの厚さは 5.5cm で，模擬空洞の形状・大きさは，辺長が 6，8，10，15，20 及び 30cm の正方形とした．

図-3 に，既知の健全な場所，辺長が 10cm 及び 30cm の空洞の探査波形例を示す．内部欠陥の有無及び損傷度の違いから，波形も違っていることが分かる．

図-4 に損傷度の定量化結果を示す．横軸は空洞幅で，縦軸は定義した INDEX で，空洞のない健全な部分の平均値を１.0 として基準化している．また，横軸の０は欠陥の無い健全部であることを示している．図より，空洞幅の増加に伴い INDEX が大きくなっており，6cm 以上の大きさの空洞について探査可能であることが分かる．また、同じ空洞でも INDEX 値が違うのは，打撃位置の違いによるもので，空洞の真中で叩くと INDEX が大きく，角部，辺部で叩くと小さくなる．この特性を利用すると，空洞のおおよその広がりも特定できると考えられる．

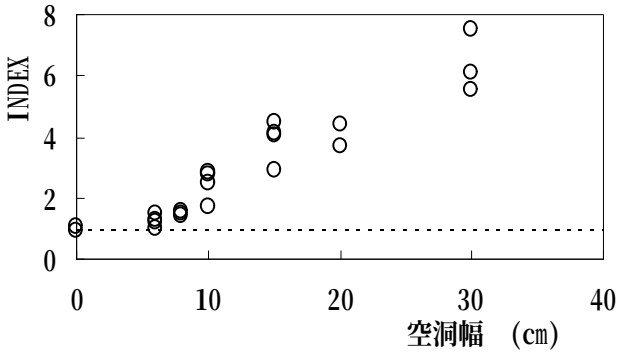



図-4　空洞幅と INDEX の関係

## ５．まとめ

内部の打撃エネルギー減衰に着目した本法は，モデル実験を通じて，コンクリート内部の空洞などの損傷を探知する方法として有効であることを確認した．今後，打撃・マイク受信などの操作方法を工夫改良し，実際のコンクリート構造物の損傷検知・探査に役に立ちたいと考えている．

## ６.参考文献

1)たとえば，魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，p.5，1993.