

V-190 超音波スペクトロスコピーに基づいたコンクリート部材のひび割れ評価について

九州東海大学 正会員 ○坂田康徳
熊本大学 正会員 大津政康

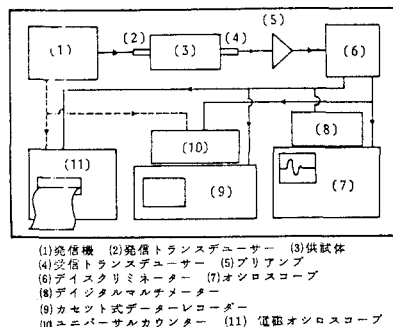
1、はじめに、近年、材料中を伝播する超音波の周波数領域における波動特性（スペクトル）を利用した材料の非破壊評価法が注目され、コンクリート工学の分野でも種々検討されている。これは、1963年に米国のS.R.Gerickeが金属材料中の欠陥評価に用いたものが最初と言われており¹⁾、超音波スペクトロスコピーと呼ばれている。このスペクトルを得る方法は、一般に入力パルスに対する受信波のフーリエ変換により求められ、これをフーリエスペクトルと呼んでいる。これに対して筆者等は、発信器のスイープモードを利用して任意の周波数帯域における周波数特性（これを応答スペクトルと呼ぶ）を得る方法を提案している。

本報告は、この応答スペクトルを用いて、部材に生じたひび割れ深さの評価の可能性を検討するため、人工ひび割れや曲げひび割れを導入した供試体によるひび割れ評価の実験を行ったものである。

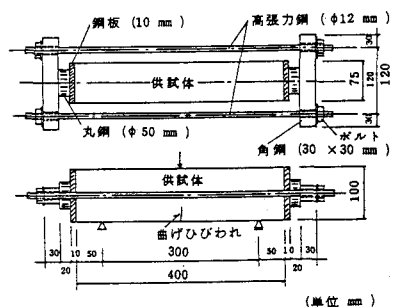
2、実験および解析の概要、図-1は本方法における計測システムを示している。本方法の原理および計測法についての詳細な説明²⁾、並びに、応答スペクトルとフーリエスペクトルの等価性³⁾については概報を参照されたい。ひび割れ評価の実験に使用した供試体は10×7.5×40cmの角柱供試体である。使用したコンクリートは水セメント比w/c=45,55および65%の3ケースとした。表-1は本実験に使用したコンクリートの配合条件および特性値を示している。

実験は、まず、各配合のコンクリート角柱供試体各3本ずつを使用して、その長さ方向の中央に、軸線に垂直方向に、カッターにて幅約1.2mm人工ひび割れを導入し、その深さの変化に対する応答スペクトルを測定した。この時の人工ひび割れの深さは0,20,40,60mmとした。次に、図-2に示すような装置を用いて、各配合の角柱供試体5～6本ずつに外部から高張力鋼によるプレストレスを導入した後、曲げひび割れを導入した。このときのプレストレスの大きさは、コンクリート強度の約1/3～1/4程度とした。その後、プレストレスを開放し、応答スペクトルを測定した。そして、約2倍に薄めたホゾリス水溶液中に1昼夜浸した後に取り出して2日間乾燥させ、ひび割れ面を下にして両端を支持し、ひび割れの裏側を木槌で叩いて供試体を折り割った。そして、その破断面の中央とそこから左右2cm外側離れた部分における着色深さを求め、その平均値をもってひび割れ深さとした。

発信および受信トランスデューサは、ひび割れが無い場合は、供試体中心軸に沿って、供試体中央より左右へ5cmずつ離れた位置、又、ひび割れが有る場合は、ひび割れを中心に左右へ5cmずつ離れた位置に取り付けた。この時、応答スペクトル振幅のバラツキを極力少なくし、再現性を良くするため、市販の専用アダプターを使用せず、新に試作した塩化ビニール製三脚アダプターを使用すると共に、コンクリート表面とトランスデューサ間に適当な軟



（図-1）計測システム



（図-2）曲げひびわれ導入用器具

（表-1）使用コンクリートの配合条件及び特性値

φ max	スラング	空気量	W/C	S/a	W	σ _c	E × 10 ³	ν	ρ	セメント
20	2	3.5	45	35	185	411	3.32	0.23	2.56	早強
20	10	1.2	55	48	199	376	3.05	0.21	2.55	普通
20	10	1.1	65	49	199	303	2.09	0.20	2.55	普通

φ max : 粗骨材最大寸法 (mm)
W/C : 水セメント比 (%)
S/a : 細骨材率 (%)
W : 単位水量 (kg/m³)
σ_c : 圧縮強度 (kg/cm²)
E : 割線弾性係数 (kg/cm²)
ν : ポアソン比
ρ : 単位容積重量 (ton/m³)

らかさの結合材を挿入した。結合材としては厚さ約 2mm で 1 辺約 15mm のビニール板を使用し、これを瞬間接着剤でコンクリート表面に接着した後、グリースを介してトランスデューサを取り付けた。

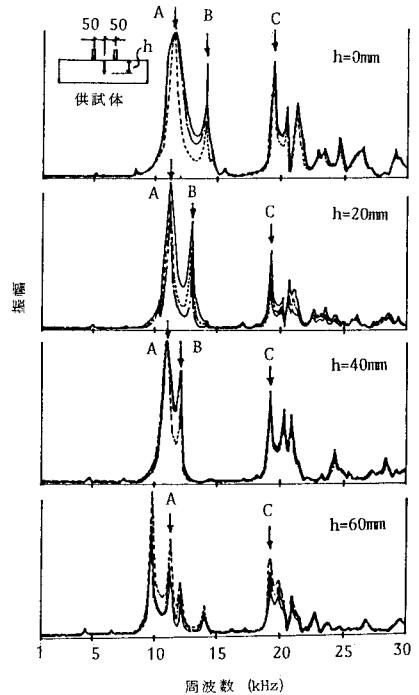
応答スペクトルの測定は、送信波振幅、スweep速度、受信波の増幅利得を一定にして、周波数領域 1～30kHz 間で測定した。測定は、同一供試体に対して、トランスデューサを付け替えて 3 回ずつ測定した。また、ピーク周波数は、電磁オシログラフの記録紙上より読み取った値の平均値とした。

3、結果および考察、 図-3 は $w/c=45\%$ における人工ひび割れ深さの増加に伴う応答スペクトルの変化状況の一例を示している。図中に矢印で示すピーク A、B、C は今回着目した固有周波数である。ピーク A とピーク C はひび割れ深さの増加に対して、そのピーク周波数がほとんど変化しないのに比べてピーク B は漸次低周波数側へ移動する様子が判る。このピーク A とピーク C は供試体の形状寸法に起因する固有の共振周波数と考えられ、一方、ピーク B はひび割れ深さに関係するものと考えられた。波動理論によれば $v = f \lambda$ (v : 波速、 f : 周波数、 λ : 波長) であり、各ピークが同じタイプの波（縦波、横波など）によるものとし、また、 λ がひび割れを含む供試体の幾何形状に関係するとすれば、ピーク A とピーク B を生じている周波数 f_A 、 f_B 、波長 λ_A 、 λ_B に対して $v = f_A \lambda_A = f_B \lambda_B$ となる。そこで、その周波数比 $f_B / f_A = \lambda_A / \lambda_B$ となる。すなわち、ピーク A とピーク B の周波数比は、コンクリート中を伝わる波の速度に影響されず、波長の比の逆数となり、欠陥深さの増加に伴ってその周波数比は低下するものと考えられる。図-4 中の○、□、△は $w/c=45$ 、55 および 65% の場合の人工ひび割れ深さ h とピーク周波数比 (B/A) の関係をプロットしたものである。これより、 w/c のいかんにかかわらず、ひび割れ深さの増加に伴って (B/A) 値は一樣に低下し、その差はほとんど無いことが判る。また、同図中の●、■、▲は曲げひび割れ深さの実測値に対する (B/A) 値の関係を示している。バラツキはあるものの、人工ひび割れによる曲線の近くにほぼ分布することが判る。このバラツキの原因は、ひび割れの位置や方向が必ずしも一定でなく、また、ひび割れの分岐による影響などがあるためと考えられる。

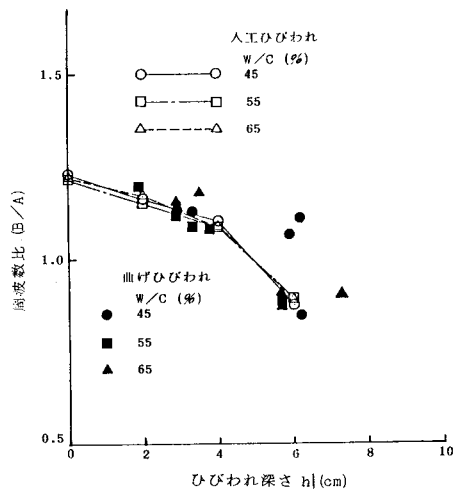
参考文献 1) 明石：コンクリートの非破壊試験に関する研究、土木学会論文集、第390号、V-8、1988年2月 pp1～22

2) 坂田、大津：弾性波フィルター特性によるコンクリートのひび割れ評価に関する基礎研究、コンクリート工学、Vol. 24, No. 7, July 1986, pp135～145

3) 坂田、大津、他：約50年経過したコンクリートアーチ橋の耐久性調査、土木構造・材料論文集、九州橋梁構造工学研究会、第3号、1988年 1月, pp97～105



(図-3) 人工ひび割れ深さ h の増加に伴う応答スペクトルの変化状況



(図-4) 人工ひび割れ及び曲げひび割れの深さ h と周波数比 (B/A) との関係