

# 報告 コンクリート床版の裏面のひび割れの検出

山口哲夫\*1 森濱和正\*2 笠井芳夫\*3

**要旨** 橋梁や地下構造物などのコンクリート床版の裏面に発生する深いひび割れを、床版の表面から検出する方法について種々の供試体により実験した。FFT アナライザを用いた超音波厚さ測定法を応用し、ひび割れが見られない表面に発振・受信の両探触子の間隔を100~200mm に広げて当て試験した。裏にひび割れが存在する位置では、ひび割れにより反射波の進行が遮断されて、反射波のスペクトル高さが健全部と比較し著しく低下した。この現象を利用して、厚さの1/2 程度以上深い裏面からのひび割れが検出できた。現場の測定を一部で実施した。測定に影響する二次的要因についても検討した。

**キーワード** : 非破壊試験 コンクリート床版 超音波法 反射法 裏面のひび割れ検出

## 1. はじめに

コンクリート床版の裏から発生する表面からは見えないひび割れを非破壊試験により調べる必要性が高まっている。橋梁や鉄道高架橋のコンクリート床版、震災による地下構造物、古い建築物の沈下した床版や梁などの裏面からのひび割れが対象となっている。これらの欠陥の調査には多額の経費が必要であり、ひび割れ深さの測定は無理でも、深いひび割れの有無や欠陥の位置を確認したいと言う要求がある。本報告はこの目的に対し超音波法により検討した。なお厚さ測定法のスペクトルの見方や、床版の端部付近において反射波が端面と底面とで2回反射する端部の影響などが、すでに分かっている [1]。

## 2. 測定法

実験にはFFT アナライザを用いた超音波厚さ測定装置 [1] を使用した。発振パルスの繰返し周波数は1kHzと一定にした。送受両探触子を離して当てても厚さの反射波のスペクトルが得られた。従って裏にひび割れのある付近の表面に探触子を離して当てると、反射波の進行経路がひび割れにより遮断され、受信スペクトル高さが著しく低下する。この現象を検出に利用した。反射波、直接波、ひび割れ、測定器の配置などを図-1 に示す。探触子には主に1~100 kHz の広帯域のものを、一部に28kHz の狭帯域のものを使用した。ひび割れの存在による反射波のスペクトル高さの低下を探触子間隔を等しくした健全部と欠陥部の高さの比によって求めた。

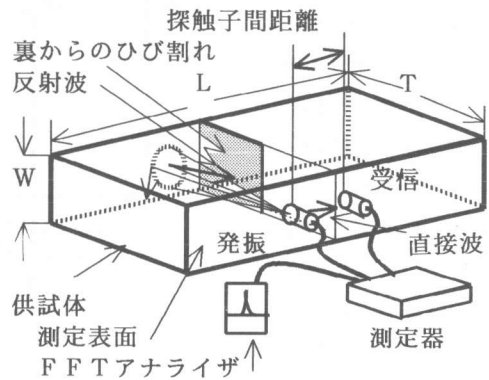


図-1 測定方法

- \* 1 (株) 東横エルメス技術顧問、工博 (正会員)
- \* 2 建設省土木研究所主任研究員, (正会員)
- \* 3 日本大学教授 生産工学部建築工学科、工博 (正会員)

### 3. 結果

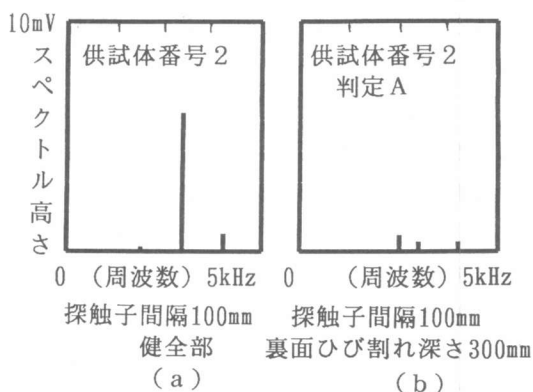
#### 3.1 厚さ600mmのひび割れ入り供試体

鉄筋のない600(T)×200(W)×1600(L) mmの音速3300~3400m/sの供試体の600mmの方向に入れた1本の巾約2mmの切り込みをひび割れと見做して、図-1のように探触子を当て、ひび割れを跨ぐ位置で得られたスペクトル高さを、ひび割れを跨がない健全部との比(%)とABCの判定を求めた。供試体の内容と結果を表-1に、スペクトルの例を図-2に示す。スペクトルの周波数の変化は無視し、スペクトルの高さの低下に着目して、ひび割れの存在が分かった。ひび割れ深さ(%)は版厚に対する切り込みの深さの割合(%)を、探触子(広)(狭)は広帯域と狭帯域の

探触子を示す。探触子間隔100mmで厚さの50%以上の深いひび割れを検出できた。探触子の間隔を広くするとひび割れの有無を検出する感度が低下した。

表-1 厚さ600mmの供試体による裏面からのひび割れの判定結果  
A(極めて明瞭), B(やや明瞭), C(不明瞭)

番号	ひび割れ		探触子		スペクトル	
	深さ(%)	間隔	種類	高さ	判定	
1	400	67	100	(広)	15%	A
	400	67	200	(広)	47%	B
	400	67	300	(広)	70%	C
	400	67	100	(狭)	32%	A
2	300	50	100	(広)	40%	B
	300	50	100	(狭)	22%	A
	300	50	200	(狭)	65%	C
3	200	33	100	(狭)	80%	C



形状の相似則を期待しひび割れの深さを厚さの比率で調べたが、この供試体でも探触子間隔を広くできなかった。なおこの測定で送受両探触子の片方がひび割れや供試体の端部に近付くと端部の反射のために測定が妨害された。

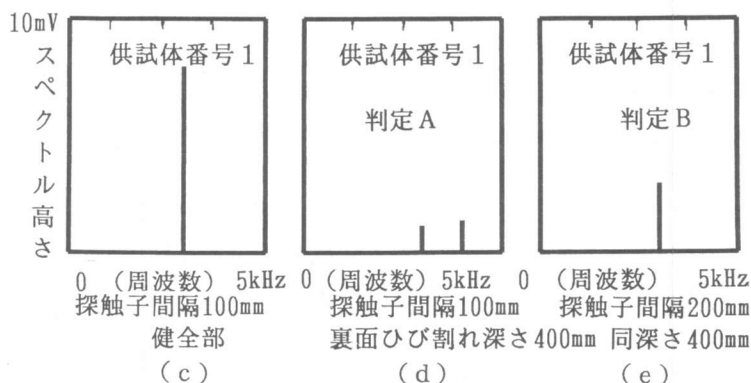


図-2 厚さ600mmの供試体によるスペクトルの測定結果

#### 3.2 厚さ約500mmのひび割れ入り供試体

鉄筋のない500(T)×1400(W)×1800(L)の音速3750m/sの大型の供試体に入れた1本の切り込みひび割れを、探触子間隔を広げて表面から検出する実験を広帯域探触子により実施した。裏から各種の深さの多数のひび割れを入れるのは困難なので、この供試体には、図-3(e)に示すように、深さが変化する1本の切り込みを裏面から入れた。裏から上へ向かう切り込み深さは290~1200mmであった。測定は探触子間隔を160mm一定とし、打設時の水平表面について実施した。測定

結果を図-3 (a) ~ (d) および表-2に示す。健全部である (a) と比較し、ひび割れ深さが増加するとスペクトルの高さが低下している。この方法により、広い面において裏面からのひび割れの存在が図-3 (f) のように推定できた。なお図-3 (a) ~ (d) の高い周波数側のスペクトルは、一般にはフーリエスペクトルの高次項のものであり意味はない。しかしこの場合、探触子間隔とパルス出力向上の共振とが関係している (5の項参照)。

表-2 厚さ500mmの供試体の結果  
A(極めて明瞭), B(やや明瞭), C(不明瞭)

番号	ひび割れ		探触子間隔	スペクトル	
	深さ (%)			高さ	判定
4	280	56	160	13%	A
	240	48	160	25%	A
	190	38	160	38%	B
	150	30	160	42%	B~C

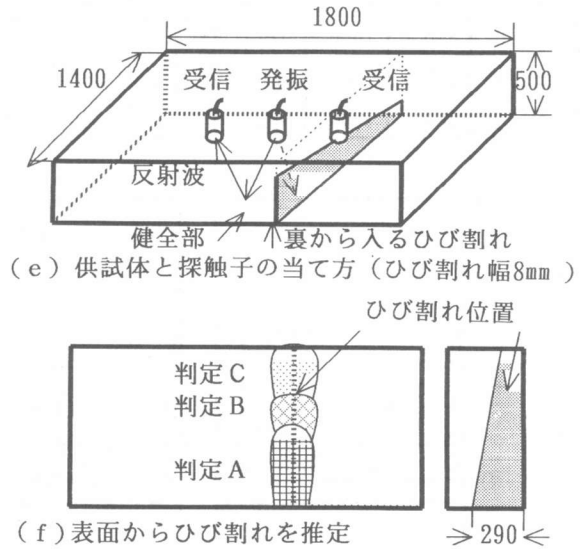
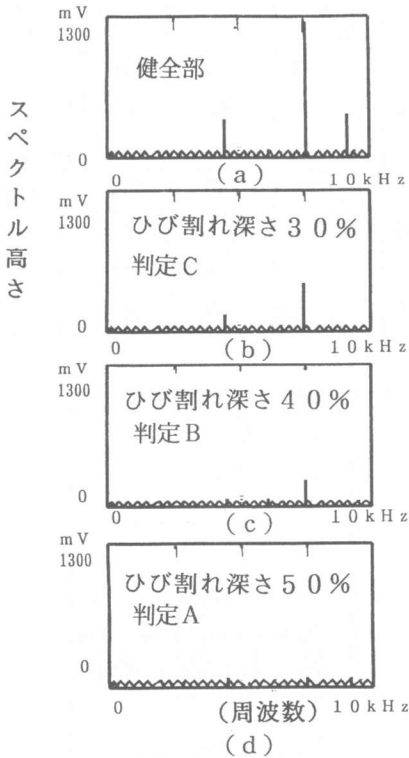


図-3 厚さ500mmの供試体のひび割れとスペクトルの図

### 3.3 多数のひび割れのある鉄筋コンクリート供試体の測定

鉄筋による影響を調べるために、音速4500m/sの、400mm間隔に3本の人工切り欠きひび割れが入れた鉄筋コンクリートの供試体について裏面からのひび割れ検出のための測定を実施した。探触子は供試体と平行に供試体の幅の端に当たった。供試体の中央では両側面隅からの反射波のために厚さが測定できなかったからである。また探触子間隔300mmでは、400mm間隔の隣のひび割れ端部の影響によりデータは異常値となった。供試体の概要を表-3に、厚さ200mmの供試体の外観と探触子の当て方およびスペクトルの例を図-4に示す。同じひび割れ深さでも鉄筋径によってスペクトル高さの低下に多少の差が見られた(表-3)。また同じ条件でもスペクトル高さの現れ方は厳密には同じでない(図-4)。しかし探触子間隔を100mmとし、深いひび割れを跨ぐ位置ではスペクトル高さの大幅な低下が認められ、鉄筋コンクリートでも裏面からのひび割れの存在が瞬時に表面から検出できた。

表-3 測定した供試体とひび割れ欠陥の測定結果 (広帯域探触子使用)

単位はmm, スペクトル判定: A (極めて明瞭), B (やや明瞭), C (不明瞭), D (不可)

番号	供試体の概要						ひび割れ			探触子	スペクトル	
	寸法			鉄筋			隣のひび割れとの間隔	版厚に対する割合	高さ		判定	
	厚さ	幅	長さ	径	かぶり	間隔				深さ		間隔
5	300	500	1600	D10	50	200	400	120	40 %	100	48%	B~C
6	300	500	1600	D10	50	—	400	120	40 %	100	43%	B~C
7	300	500	1600	D25	50	200	400	120	40 %	100	31%	B
	300	500	1600	D25	50	200	400	120	40 %	100	38%	B~C
	300	500	1600	D25	50	200	400	120	40 %	100	44%	B~C
	300	500	1600	D25	50	200	400	120	40 %	200	48%	B~C
	300	500	1600	D25	50	200	400	120	40 %	300	—	端部効果
8	200	400	1600	D25	45	200	400	90	45 %	100	25%	A~B
	200	400	1600	D25	45	200	400	90	45 %	100	18%	A
	200	400	1600	D25	45	200	400	90	45 %	100	16%	A
	200	400	1600	D25	33	200	400	45	22.5%	100	80%	D
	200	400	1600	D25	33	200	400	45	22.5%	100	80%	D

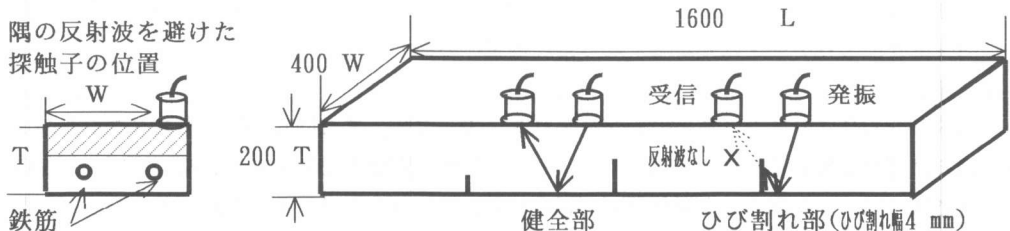
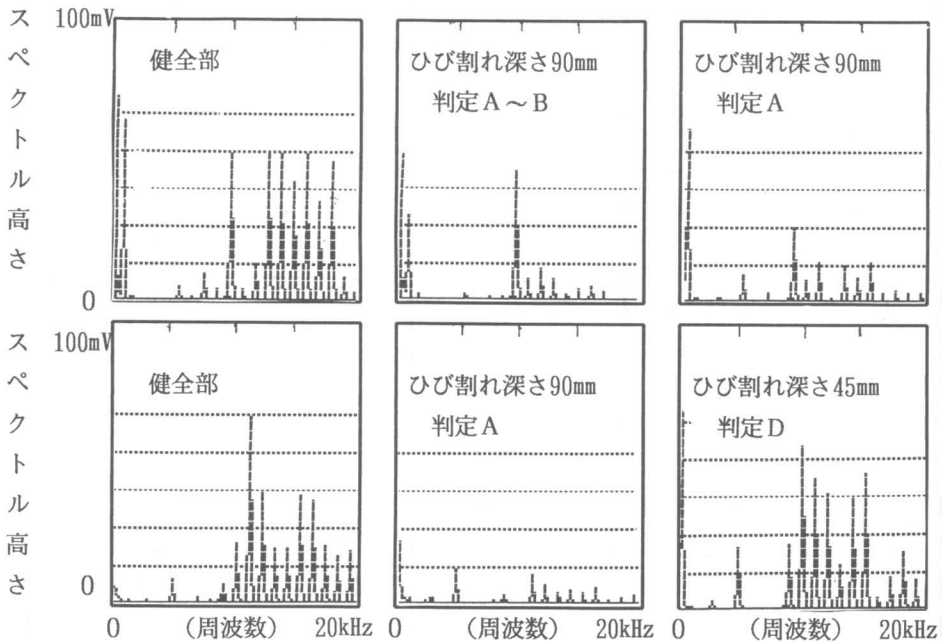


図-4 鉄筋コンクリート供試体と厚さ200mmの供試体のスペクトルの例

### 3. 4 鉄筋のある自然ひび割れ供試体の測定

鉄筋寸法 D25、裏面のかぶり45mm、鉄筋間隔200 mmとしたコンクリートの音速4500m/s の200(T)×400(W)×1600(L) 供試体に、曲げの外力により入れた自然ひび割れ4本につき広帯域探触子により測定を実施した。内部のひび割れ位置は不明であるが、端面に現れたひび割れは目視できた。探触子は前項3. 3と同様に供試体の幅の端に当てた。発生初期のひび割れは厚さの80% 程度の深いものであったが、測定時のひび割れの先端部は密着しており、深さは目視の限界で推定した。この自然ひび割れの先端部は湾曲しており、1例は3本に枝分かれしていた(図-5 (a))。自然ひび割れの方が裏のひび割れ検出の位置分解能が大で、自然ひび割れでもこの測定法によって、欠陥を検出することができた。ひび割れの  
外観と測定例を図-5に示す。

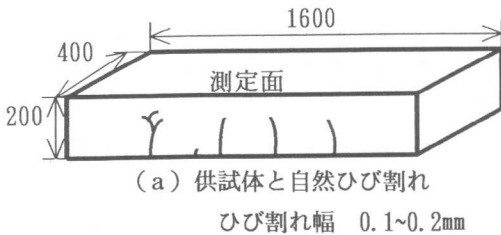


表-4 自然ひび割れ供試体と測定結果  
A (極めて明瞭), B (やや明瞭), C (不明瞭)

番号	ひび割れ		探触子スペクトル		
	深さ	%	間隔	高さ	判定
9	約100	約50	100	45	B
	約100	約50	100	48	B
	約120	約60	100	38	B~A
	約120	約60	100	30	B~A

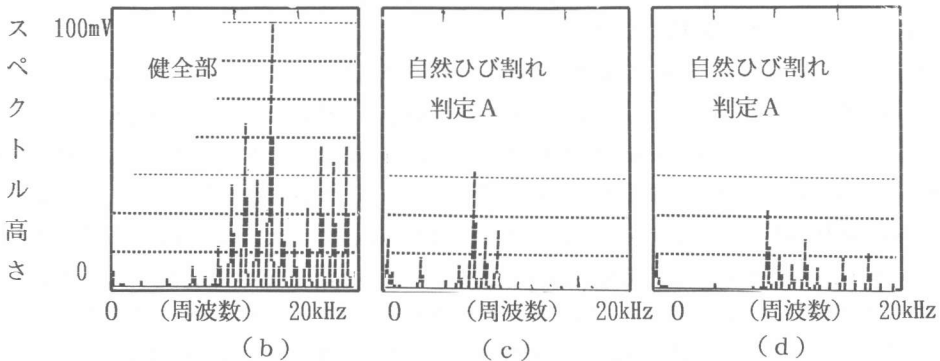


図-5 自然ひび割れの供試体とスペクトルの例

### 4. 実施構造物の測定

10か所以上の各地に分散した地下構造物の厚さ300mm の壁面のうち、裏面からの深いひび割れの存在が疑われる場所につき、縦横400×300mm ごとに割り付けた広い面のすべての点について、水平方向に探触子を間隔300mm に広げて当て、長期間にわたり合計約1500点の測定を実施した。探触子を当てて瞬時に現れるスペクトルはすべてメモリし記録紙に印刷した。測定の結果、裏の縦または斜めの長いひび割れを思わせる、スペクトル高さ低下の異常箇所の集まりが幾つか検出された。しかし一部にはジャンカを思わせる斑点状の異常点の分布や、施工の関係で裏の乱反射の凹凸面を思わせる広い面状の異常部分もあった。実構造物のひび割れは、傾斜しているとか、複数本があるなど、複雑なひび割れが多いので、探触子間隔300mm は供試体と異なり、欠陥の検出に十分であった。しかし1本の採取コアの中にうまくひび割れを入れる必要のある場合には間隔を100mm に狭くするのが良いと思われた。経験の蓄積と測定工数の低減が課題であった。

## 5. 考察と検討

### 5. 1 間隔を広げた探触子の端部の影響によるスペクトル形状の変化

コンクリートに入射された超音波は指向性が大きく [1]、ひび割れによる反射波の遮断効果は明瞭であるが、間隔を広げた探触子をひび割れに近付けると、ひび割れを跨がなくてもスペクトル高さが低下する二次的な変化が見られた。

ひび割れのない200(T)×600(W)×850(L)の供試体の端面をひび割れに見立て、探触子間隔100mm一定の探触子の配向線を端面に垂直にして、発振探触子を50mmまで端面に近付けた結果を、端部から遠い健全部と比較し、図-6に示す。

### 5. 2 探触子の間隔とスペクトルの高さ

ひび割れのない200(T)×600(W)×850(L)の供試体を用い、探触子間隔を広げた厚さ測定法にもとずき探触子間隔とスペクトル高さの変化の関係を調べた。

探触子を間300mmまで広げると、スペクトル高さは広げる前の状態の約1/3まで低下した。

### 5. 3 小型供試体の端部効果

小型供試体である350(T)×450(L)×350(W)や180(T)×120(W)×220(L)や並型レンガ大の供試体に入れた、裏面からの深いひび割れは、反射波に及ぼす端部の効果のために検出できなかった。

### 5. 4 スペクトルの周波数について

この測定法では、両探触子間の直接波と反射波の到達時刻差(時間差に同じ)の時間 $s$ の逆数 $1/s$ の周波数を厚さの周波数 $f$ として厚さを求める。測定条件が良いと、一部の波は多重反射を起こし、FFT画面のスペクトルは1回反射波以外に、この機構でも同じ $f$ を示す。探触子を揃えて当てる普通の測定では、両者の $f$ は一致している。しかし探触子の間隔を離すと、多重反射波(共振波)の周波数 $f$ は一定であるが、1回の反射の方の波の $f$ は、直接波と反射波との受信時刻の差の時間 $s$ は減少し、この逆数である周波数は $f$ よりも高い方に移動する。厚さ200mmの場合、探触子間隔が100mmと200mmでは、揃えた場合の $f$ よりも周波数はそれぞれ3%および23%高い側に移動すると計算される。また探触子を当てる位置の関係で、端部の影響や床版に傾斜したひび割れの場合のひび割れからの反射波(2回反射波やひび割れまでの距離の反射波)の出現のために、周波数から見たスペクトルの変化が現れた。しかしこの裏面のひび割れの検出には、実用性の観点から、この種の周波数の変化は配慮しないことにした。

## 6. まとめ

コンクリート床版の裏から入る深いひび割れを、探触子間隔を広げた超音波厚さ測定法の応用により検出することができた。厚さの異なる供試体、ひび割れに鉄筋を含むものや自然ひび割れなどの各種の供試体について実験し確認した。一部で実構造物の現場の多量測定も実施した。さらに現場の測定を重ね、実用化を計りたい。

### 参考文献

- (1) 山口哲夫、丸茂文夫、山口達夫、:超音波反射法によるコンクリートの厚さ測定、非破壊検査誌、Vol. 45, No. 9, pp. 670~676, 1996, 9
- (2) 山口哲夫、丸茂文夫、山口達夫、:コンクリートの裏面から入るひび割れの探査、日本非破壊検査、平成8年秋季大会講演要集、pp. 301~304, 1996

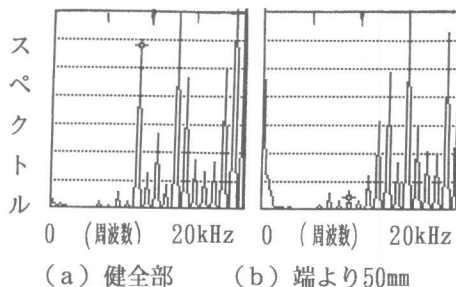


図-6 健全部と端部付近のスペクトル