

超音波によるコンクリートのひび割れ深さの評価

The evaluation of the crack depth of the concrete by the ultrasonic wave.

佐藤大輔*・福島謙一**・魚本健人***

Daisuke SATO, Kenichi FUKUSHIMA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

近年、構造物診断の方法として、簡便に検査ができる非破壊検査が注目されている。構造物には、使用条件・環境条件、外力など様々な原因によりひびわれが発生する。ひびわれは構造耐力の低下、鉄筋の腐食開始時期の加速¹⁾など構造物の寿命に大きく影響する。そこで、本研究では、非破壊検査のうち超音波法に着目し、ひびわれについてより高精度で推定する方法について検討し、同時にFEMを用いた解析により影響する要因について分析を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

本実験では人工ひびわれ（スリット・曲げひびわれ）供試体を用いた。概要を図1に示す。供試体は10×20×40 (cm)・10×20×150 (cm) の角柱供試体を使用した。スリットは1mmの鋼板を用い、コンクリート硬化後引き抜くことにより作製した。供試体の一覧を表1に示す。

2.2 超音波測定方法

測定において、超音波探傷器としてコンクリート測定装置 tr300（テクノリサーチ社製）を用い、探触子には狭帯域垂直探触子 50 kHz（直径 40 mm）を使用した。探触子の設置には、コンクリート表面をサンドペーパーで平滑に処

理後、グリセリン系の接触媒質 ソニコートE（日合アセチレン製）を塗り、密着度を確保したうえで設置し、2探触子透過法および反射法により測定した。各測定における伝播時間に関しては、振幅に応じて一定のしきい値を設定し、そのしきい値を上回った時間を伝播時間とした。測定波形の一例を図2に示す。

2.3 ひび割れ深さ算定方法

ひびわれ深さ d (cm) の推定には、伝播時間による測定法 T_c-T_0 法、T法、BS法を用いた。また新たにひびわれ深さの推定法として縦波速度法を提案する。この手法は、透過法で求めた伝播速度 V と、図1に示すように探触子を設置して得られる L_1 、 L_2 、 t を用いる方法である。その計算式を式 (1) に示す。

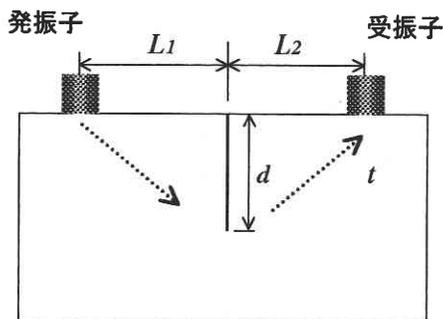


図1 供試体

表1 供試体一覧

供試体No	供試体サイズ	ひびわれ深さ (cm)
1	10×10×40 (cm)	4
2		8
3		16
4	10×10×150 (cm)	9

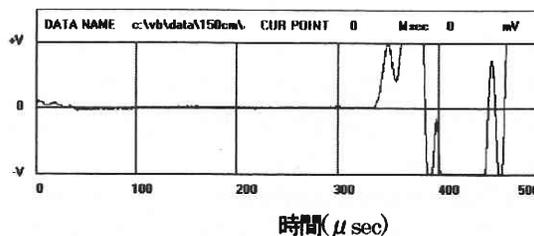


図2 測定波形の一例

*東京大学生産技術研究所 第5部
**大成建設株式会社
***東京大学国際・産学共同研究センター

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{(VT)^2 - L_1^2 + L_2^2}{2VT} \right\} - L_2^2} \dots\dots\dots (1)$$

V : 伝播速度 L₁, L₂ : 深触子間隔
T : 伝播時間

3. 実験結果および考察

3.1 供試体 No1 ~ 3 の測定

図4は、人工ひびわれ（スリット）の実測したひびわれ深さと各手法で計算した推定ひびわれ深さの関係を示したものである。ここでは、縦波速度法が±1.5 cm、従来の方法では比較的精度のよい Tc-To 法を用いても 3.0 cm 程度の誤差があり、縦波速度法の精度の良いことが分かる。また、ひびわれ深さが大きくなると、全ての手法で推定深さは実測測定値に比べより大きな値になることが分かる。これは、超音波がコンクリート中を伝播するときに骨材の影響を受けて減衰するためと考えられる。このため伝播時間の真の立ち上がり位置の判別が困難となる。また設けたしきい値が適切でなかったため、立ち上がり位置に誤差が生じ、見かけ上伝播時間が遅れたためと考えられる。この概

念を図5に示す。

図6は、縦波速度法における探触子間距離と推定ひびわれ深さの関係を示した図である。これより探触子間隔による影響はほとんどなく、8~32 cmの探触子間隔では良い推定精度が得られた。

3.2 超音波の伝播距離

図7は、供試体 No4 を用い、縦波速度法を用い反射法における超音波の伝播距離の影響について示したものである。ひびわれ深さの推定値は、ひびわれを挟んで探触子間隔 60 cm まで、実測ひびわれと非常に近い値を示している。探触子間隔 60 cm という値は、今回測定した条件での間隔値であり、他の測定機、周波数およびコンクリートでは異なる結果が得られることが考えられる。また、探触子間隔 60 cm 以上について、推定値は実測値より大きい値を示している。このことについて考察すると、先に述べた骨材の影響による波形の減衰が考えられる。また、探触子間隔が広がることにより、探触子間隔と伝播距離との差が減少していく。そのため探触子の面発振・面受振による影響が考えられる。超音波で用いる探触子は、発振位置および受振位置が明確でないことは明らかである。今回の実験では探触子中心間隔を探触子間隔と仮定している。仮に探触子中心で発振・受振が行われていなかった場合、用いた探

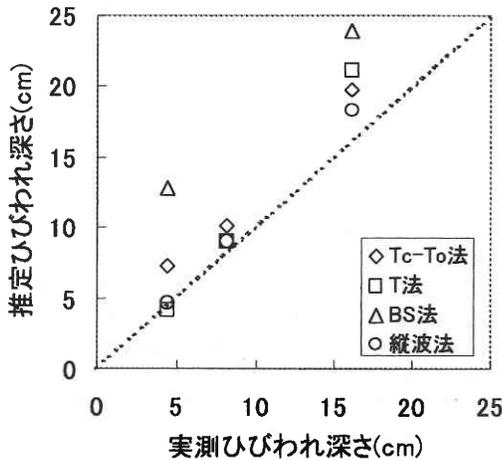


図4 測定手法と推定深さの関係

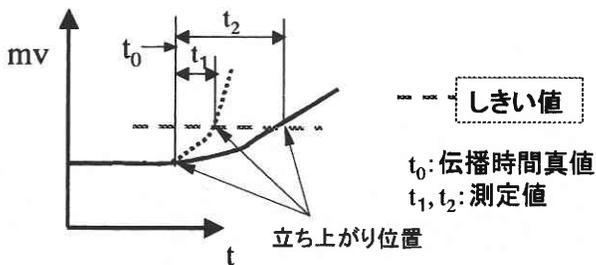


図5 伝播時間遅れの概念図

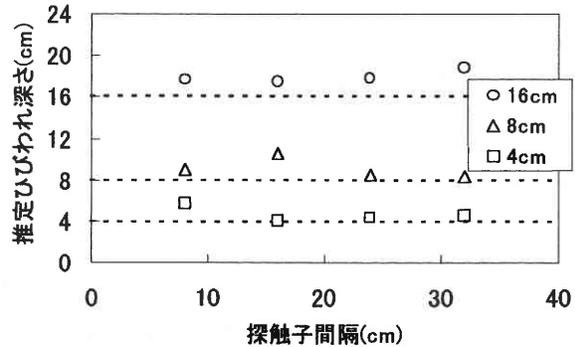


図6 探触子間隔と測定値の関係

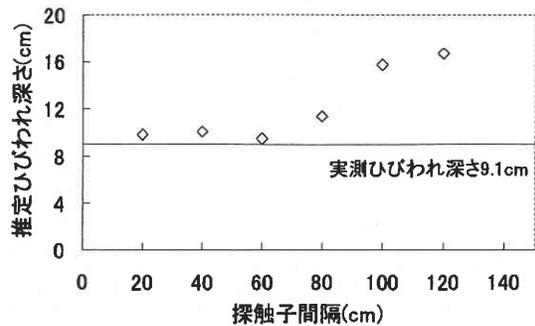


図7 150 cm 供試体

研究速報

表2 コンクリート物性値

材料名	単位体積重量 (g/cm ³)	動弾性係数 (GPa)	ポアソン比
コンクリート	2.38	33.0	0.210

触子は半径2cmであることから、探触子間隔に最大4cmの誤差ができることとなる。これらより、実際の超音波伝播距離と計算上の伝播距離に差が生じたことも考えられる。この影響に関して、次章において2次元FEM解析を用いて考察する。

4. 探触子の影響

ここでは、探触子の直径による誤差を考え2次元FEM解析を用い、弾性波の伝播時間に与える影響について考えた。運動方程式にはニューマークの β 法を用いた。

4.1 解析概要

解析に用いたモデルは20×40(cm) 供試体に2cmのスリットを与えたものであり、奥行き方向には拘束条件のない2次元平面応力モデルを用いた。使用した材料は、均一性のコンクリートを模擬した。物性値を表2に示す。実験で用いた周波数は50kHzの正弦波であったが、ここでは継続時間10 μ sの三角形パルス波を図1の発振子に相当する位置に半波長与え、受振子に相当する位置にて到達する波形を求めた。

4.2 解析結果および考察

探触子の受振点が明確でないことを図8に示しモデル化した①～③は各々探触子の受振点と考える。直径4cmの影響を考えると波形は図9①～③のようになり、明らかに異なる波形が得られる。①～③における伝播時間では20 μ sの差が発生し、その結果ひび割れ深さ推定値では、約1.0cmの誤差を生じることになる。このことから、探触子面における発振位置・受振位置の影響が大きいことが求められた。今後精度を向上するにはこのような誤差について検討する必要があると考えられる。

発振子側



図8

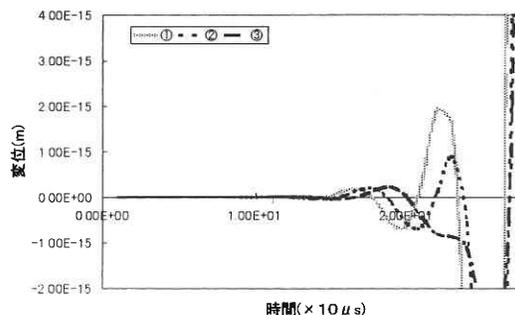


図9 FEM波形

5. ま と め

- (1) 今回提案した縦波速度法は、従来用いられてきた方法に比べ、精度よくひび割れ深さ推定できることが分かり、今後鉄筋コンクリートなど実構造物に対する適用を検討する必要がある。
- (2) 伝播時間を測定する場合、任意のしきい値および探触子などに大きく影響を受けることが分かることから、これらを考慮することにより、より精度よく深さ推定できる可能性がある。

(11年12月10日受理)

参 考 文 献

- 1) Ema TSUKAHARA, Taketo UOMOTO: PREDICTION MODEL FOR CORROSION RATE OF REINFORCING STEEL BARS IN CRACKED CONCRETE, EASEC-7, pp. 1496-1501, 1999.
- 2) 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.
- 3) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの非破壊検査法研究委員会報告書, 1992年3月.