東海大学	学生昌	宜田	盖曲
べ1みノく 丁二	丁上只		70 70

- 東海大学 正会員 極檀 邦夫
- 東日本旅客鉄道(株) 正会員 四宮 卓夫
- アプライドリサーチ(株) 正会員 境 友昭

1. はじめに

擬似剥離空洞を設けたコンクリート供試体を製作し、空洞探査を弾性波動解析によって検討した。弾性波の 速度波形の形状と減衰時間により空洞探査を試みた。空洞のかぶり厚さは、屈折弾性波の初期部分の変化に着 目した。また、LS-DYNAによる動的 FEM 解析を行い、弾性波が空洞により屈折反射するのを確認した。

2. 供試体と測定方法

供試体は、1800×150×575mmのコンクリート板を用い、かぶり40mmの箇所に160×150×15mmの擬似剥離 空洞を設けた。測定点は、中央ラインに30mm間隔で59点設けた。測定点に直径15mmの鋼球を100mmより自 由落下させ、受信点として60mm離れた箇所にコンクリート面に対し垂直に設置した加速度センサー (PCB352C66)とした。鋼球落下による発生した弾性波動をサンプリングクロック1µs、データ数8192個で 記録した。弾性波の多重反射からの厚さ・擬似剥離空洞の解析にMEMとMEMスペクトログラムを用いた。

3.結果および考察

図-1 に厚さの測定結果を示す。弾性波による厚さDは、 弾性波速度を V_P とし、多重反射の固有周波数fを MEM よ り得て、式 $D = \frac{V_P}{2 \cdot f}$ により求めた。端部は、実寸値(575mm)

2.f に比べ 670mm となり 95mm (16%) 厚い結果となった。ま た、空洞の直上では、実寸値 (575mm) に比べ 850mm とな り 275mm (48%) 厚い結果となった。また、供試体端部

よりも 400~500mm 内側の箇所で実寸値よりも薄くなる 箇所が見られた。両端部においては、片側自由端のため、



拘束が弱く変形し易いため弾性波の伝搬は、棒に近似している。一方、

中央部はコンクリート板を伝搬する。棒を伝搬する弾性波速度 v_p は $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 、板は $\sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$ である。ここで、

E=弾性係数、 ρ = 密度、v = ポアソン比である。ポアソン比を 0.2 とし、棒と板との速度を比較すると、棒 に比べ板を伝搬する弾性波速度は 1.05 倍になる。このため、測定結果上は中央部に比べ両端部が厚くなると 言える。

3-1. 波形と減衰時間による空洞探査

空洞の位置の速度波形は、振幅、周期、減衰時間などが空洞のない部分と明らかに違うので、MEM スペクトロ グラムによる厚さの比較、速度波形の減衰時間(最大振幅の10分の1)を比較してみた。図-2に空洞直上(測 点 No23 かぶり40mm)の速度波形とMEM スペクトログラム、図-3に空洞部以外(測点 No7 厚さ575mm)の速 度波形とMEM スペクトログラム、図-4に空洞作成後の速度波形の減衰時間を示す。図-2のように、空洞直上 の速度波形は、正弦波に似たきれいな形をしており、振幅が大きく減衰も緩やかである。また、スペクトル が850mm付近に集中している。反対に図-3は、振幅が小さく減衰も大きい。スペクトルは、575mm付近に集 中している。また、空洞直上の速度波形の減衰時間は、平均で2.0ms なのに対し、その他の箇所は、1.1ms となっている。以上より、本供試体での弾性波は、空洞部以外ではコンクリート面での多重反射をしており、 空洞直上部では、多重反射の他にかぶりが40mmと薄いことによるたわみ振動(曲げ振動)が発生していると 推測される。

連絡先:〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-50-2054 E-mail gokudan@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

キーワード:衝撃弾性波法、空洞測定、MEM スペクトログラム、FEM 解析





速度波形の減衰時間

速度波形と MEM スペクトログラ 速度波形と MEM スペクトログラ

3-2. 空洞かぶり厚さの推定

空洞部が浅いかぶりの場合たわみ振動を起こし $D = \frac{V_P}{2 + f}$ の式では、かぶり厚さを

求めることができない。図-5 に打点と加速度計間隔と 弾性波の始点波形が変化する様子を示す。 また、表-1 に始点波形の立ち上がり振幅と第1周期の 波形振幅の比率を示す。センサーと鋼球の間隔が 80mm 以降から波形の初期部分が圧縮波(上向き)となった。 間隔を 80mm にするとかぶりが 40mm のため、 $\tan \theta = 40/40$

間隔を80mmにするとかふりか40mmのため、tan θ=40/40 より屈折角が90°となる。屈折波の初期部分が90°を 境に弾性波の成分が引張波から圧縮波に変わる現象は、 モールの応力円より理解できる。本実験では、屈折角 が91°以上となる場合、つまりセンサーと鋼球の間隔 が81mm以上の場合は初期波形が圧縮波(上向き)になる。

始点波形の立ち上がり振幅比が約 10%のとき、弾性波が引張波から圧縮波に変化したと仮定すると(図-5)、 間隔が 80mm の時に圧縮波に変化したことになる。この時の屈折角は 90° であるから 80mm の半分の 40mm と かぶり d とが直角に交わる三角形を考え、tan45°=40/dよりかぶりが 40mm となり実寸値と一致する。

3-3. 動的 FEM 解析

屈折波の初期状態の確認をするためにLS-DYNA による動的 FEM 解析をおこなった。図-6 にLS-DYNA による解析結果を示す。また、表-2 に初期 振幅と立ち上がり幅の比率を示す。実測値と解 析モデルの物性が違うので、実測値と同等には ならなかったが、80mm 付近で引張波が圧縮波 (上向き)となる傾向は一致している。



4. まとめ

コンクリートの内部空洞の位置探査は、空洞上部にたわみ振動が発生するため、速度波形の形状、減衰時間を比較することにより可能である。探査した部分のかぶり厚さの推定は、モールの応力円を利用し空洞上部での屈折波の初期部分の変化点を得ることにより実寸値と同じ値を得ることができた。また、LS-DYNAで 波形の変化点の検証をした結果、実測値とほぼ一致する結果が得られた。

参考文献 鈴木克利他:衝撃弾性波法によるコンクリート内部空洞の探査 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集 2003.9 鈴木克利他:衝撃弾性波法による柱状矩形断面の空洞測定 第30回関東支部技術研究発表会講演概要集 2003.3



||X| - 4

図-5 弾性波の屈折

表-1 初期振幅と立ち上がり幅の比率

20mm	30mm	$40{\tt mm}$	50mm	60mm	70mm	80mm	90mm	100mm
0%	0%	0%	1%	0%	2%	11%	15%	23%