

表面波速度とコンクリート応力との関係に与える圧縮強度とひずみの影響

三井住友建設（株）技術研究所 正会員 篠崎裕生 正会員 野並優二
首都大学東京 正会員 大野健太郎 学生会員 永田昂大

1. はじめに

コンクリートの残存プレストレス量は、PC 橋梁の維持管理において安全性判定の際の重要な指標である。これを非破壊で精度良く知ることができれば、維持管理技術の向上に大きく寄与する。これまで、微破壊での応力推定手法がいくつか提案されている中、非破壊で計測可能な弾性波速度により応力推定を試みるが行われてきたりなどが、未だ実用可能な段階には至っていない。

ここでは、超音波を用いて、その速度によりコンクリート応力を推定するための基礎資料を得ることを目的として、コンクリート応力を漸増させた試験体の超音波速度を計測した。図-1 は、コンクリート内を伝搬した超音波の計測波形例であり、P 波に続いて振幅の大きい表面波が到達している。一般的に、コンクリートの超音波速度は P 波を用いるが、振幅が小さくその到達時間を特定することが難しい。そこで、本検討では、表面波を用いて超音波速度を求めることとした。検討は、コンクリート圧縮強度と鉄筋の有無およびコンクリートのひずみを因子とした。

2. 試験の概要

試験体形状寸法を図-2 に示す。圧縮応力の導入は、3 本の $\phi 32\text{mm}$ PC 鋼棒により行った。試験体は表-1 に示す L, M, M2, H の 4 体で、計測時の圧縮強度は $28.0(\text{L}) \sim 68.1(\text{H})\text{N/mm}^2$ である。M2 試験体は、図-2 の波線で示した鉄筋を配置していない試験体である。PC 鋼棒の緊張力は、端部に配置したロードセル（荷重計）で測定した。緊張力は、コンクリートに導入されるプレストレスが 0, 2, 4, 6, 8, 10N/mm^2 になるように漸増させ、それぞれの段階で超音波速度の計測を行った。図-2 に示す位置にひずみゲージを設置し、ひずみの変化を計測した。

超音波の入力は、ファンクションジェネレータにて生成した、振幅 15V、継続時間 $10\mu\text{s}$ の矩形波を AE センサ（60kHz 共振型）に作用させて行った。超音波の測定方向は緊張軸方向に対して 0° , 90° 方向とし、測定距離は 400mm とした。全試験体は、図-2 の緑点で測定し、M 試験体のみ青点でも計測を行い、計測値に与える鉄筋位置の

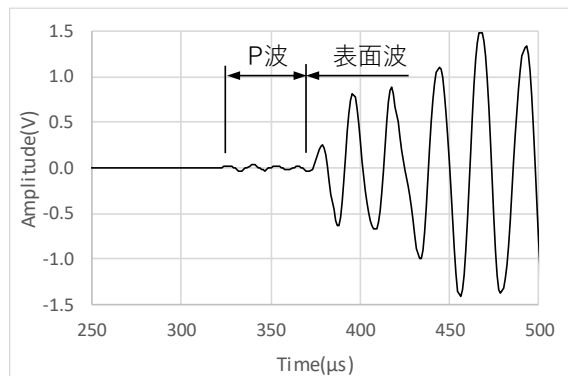


図-1 波形の例

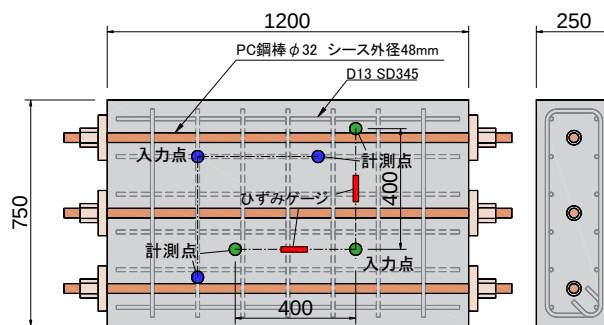


図-2 試験体形状寸法とセンサ取付位置

表-1 試験体強度特性値

試験体名	L	M, M2	H
圧縮強度(N/mm^2)	28.0	40.7	68.1
弾性係数(kN/mm^2)	26.8	24.3	34.6

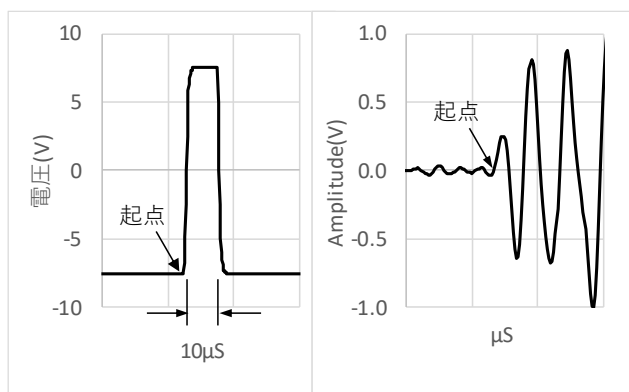


図-3 入力パルス波と表面波到達の起点

影響を検討した。AE センサにより検出した超音波は、サンプリング間隔 $1\mu\text{s}$ で記録した。

図-3 は、入力パルス波と到達表面波の例を示しており、それぞれ図示した位置を起点とした。到達波形の起点は、1 波目の立ち上がりが横軸と交差する点を、前後の計測値から線形補完して求めた。計測は、材齢 29 日で実施するとともに、M 試験体のみ 64 日後にも行った。

3. 実験結果及び考察

図-4(a)は、緊張軸方向のコンクリート応力と超音波速度（以下、単に応力と速度とする）との関係である。応力は、緊張力をコンクリート断面積で除して求めた。図より、各試験体とも載荷時は応力と速度には線形の関係があり、また、圧縮強度が大きいと速度も大きくなる傾向が見られた。図に併記した近似直線の勾配から、概ね応力 1.0N/mm^2 の変化に対して $3.8\sim 4.0\text{m/s}$ の速度変化があり、この勾配に対する強度の影響は小さいことが分かった。

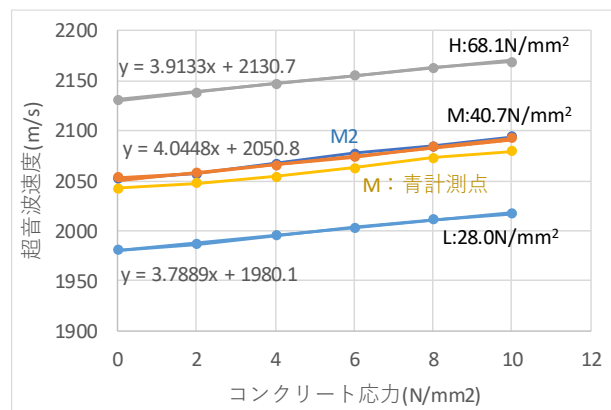
次に、M 試験体鉄筋上で計測したケースと、鉄筋なしの M2 試験体の結果を見ると、いずれも M 試験体の結果とほぼ一致しており、鉄筋の影響は極めて小さいことが分かった。表面波を用いることで、鉄筋の影響を受けずに速度を評価できる可能性が示唆された。

図-4(b)は、載荷時の緊張軸直角方向の応力と速度の関係である。図より、応力が変化しても速度の変化はわずかであり、緊張力の影響を受けないことが分かった。緊張軸直角方向の計測の目的は、既設橋の計測において、プレストレスの有無あるいは量を緊張軸方向と直角方向の速度との比較から求めることができないか検討することであった。図より、応力がゼロのときの速度は、緊張軸方向と直角方向で必ずしも一致せず、伝搬経路の違いが速度に与える影響を詳細に検討する必要がある。

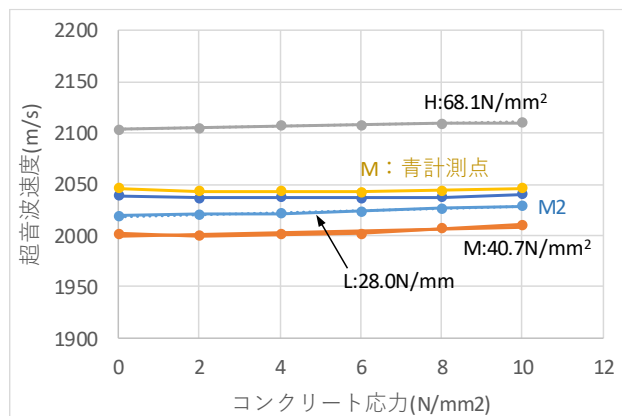
図-5 は、ひずみと速度の関係である。橙の線が、緊張軸方向、緑の線が緊張軸直角方向である。緊張軸方向の青の塗りつぶし点は、図-4 で示した計測点と同じで、数時間の間に応力を変化させたもの、右上の橙の点はコンクリート打込みから 64 日後の値である。64 日後では、コンクリートのクリープ変形により圧縮ひずみが 100μ 程度増加している。またその時の速度も増加していた。全体として見ると、ひずみと速度の関係は、概ね直線的な関係があることが分かる。緊張直角方向については、ひずみと速度の変化がわずかであり、明瞭な傾向は見られなかった。ひずみと速度に比例の関係があるのは、コンクリートの緻密化や、骨材界面における性状の変化が起因していると考えられる。

4. まとめ

表面波を用いて、圧縮強度や鉄筋配置の異なるコンクリ



(a)緊張軸方向



(b)緊張軸直角方向

図-4 コンクリート応力と超音波速度の関係

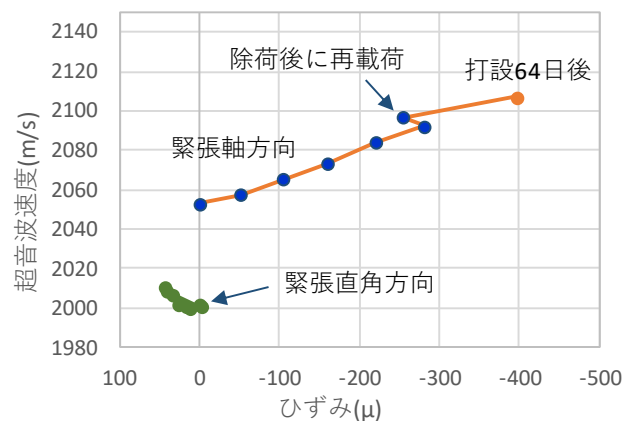


図-5 ひずみと超音波速度の関係

ートの超音波速度の測定を行った。その結果、コンクリートに作用する圧縮応力と超音波速度には比例関係があり、圧縮強度がその勾配に与える影響は小さいこと、表面波を利用することで速度に与える鉄筋の影響は小さいことがわかった。また、クリープ変形後の測定値から、ひずみと超音波速度にも比例関係が見られた。

参考文献

- 1) 春田, 玉越, 高梁, 川間: PC 道路橋のプレストレス評価に関する研究, PC 技術協会第 17 回シンポジウム論文集, pp.253-256, 2008.11