コンクリート中を伝搬する超音波横波速度と周波数の相関に関する検証

青木あすなろ建設（株）技術研究所　正会員　○新井 佑一郎　フェロー　牛島 栄　フェロー　佐藤 俊男
（株）地球システム科学　正会員　坂本 浩之　会員外　三上 創史

１．はじめに

鉄筋コンクリート部材の新たな非破壊試験法として、超音波横波を用いた手法が提案され、調査者が容易に扱うことができる検査装置も開発されている。RC部材を対象とした従来の非破壊試験法と、超音波横波を用いた試験法の適用範囲を表 1 に示す。

表 1　各非破壊試験法の適用範囲

試験法	探査深さ (cm)	検出項目		
		鉄筋	空隙・欠陥	ｺﾝｸﾘｰﾄ品質
電磁波レーダー	20	○（上筋）	○	×
電磁誘導	10	○（上筋）	×	×
衝撃弾性波	250	×	○	○
超音波横波	200*	○（多段）	○	○

*：鉄筋量が多い場合は探査深さが浅くなる

超音波横波を用いた非破壊試験法は、表 1 に示すように多段配筋に対応した鉄筋探査、空隙・欠陥の検出、コンクリート品質の評価を行うことができる。また、探査可能な深さも最大 200cm と深いのも特徴である。ただし、超音波横波を用いた非破壊試験法を実構造物に適用するにはデータが不足しているのが現状である。本試験法の検証は、これまで超音波の起振周波数 f を 50kHz に固定し、材料や配筋を変化させて行っていた。検証の結果、周波数を f=50kHz に固定した状態でも、十分な精度で鉄筋の検出が可能であることが分かった[1)]。

現在、本試験法の適用範囲や最適設定を決定するため、起振周波数をパラメータとした実験を行っている。その中で、コンクリート中を伝搬する超音波横波の基本的な性質を知るため、9 種類の無筋コンクリート供試体を用いた実験を行った。その結果、横波伝搬速度 Vs と起振周波数 f の間に相関性が見られることが確認されたため、本論で報告する。

２．調査の概要

調査は、強度および打設時期が異なる 1m 角の無筋コンクリート供試体を用い、横波伝搬速度 Vs と起振周波数 f の関係を計測した。実験に用いたコンクリート供試体の諸元を表 2 に示す。供試体に用いたコンクリートは 3 種類の呼び強度に大別され、強度毎に 3 体製作している。また、同一の呼び強度でも打設時期及び材齢が異なっているため A,B,C で分類している。計測時期はすべての供試体で冬期である。

一般に弾性波速度はコンクリートの高強度化とともに増加する。そのため、横波伝搬速度 Vs についても 21N-A,B,C と比較して、強度が高い 42N-A,B,C 供試体の方が高い値を示すことが予測される。

ここで、横波伝搬速度の計測方法を示す。計測に用いるのは、既往の研究と同一の超音波トモグラフィ装置である。装置には図 1 で示すように 12CH のセンサが配置されているが、Vs の計測時は CH1 から CH12 間の波の伝搬時間を計測し速度に換算している。計測は供試体 1 体 1 周波数当たり 5 回で、f=10～100kHz を 10kHz ピッチで行う。そのため、1 体当たりの計測回数は 5 回×10 周波数で 50 回となり、バラつきを評価する上で十分なデータ数が得られると考えられる。

表 2　供試体に用いたコンクリートの諸元

試験体名	21N-A	21N-B	21N-C	33N-A	33N-B	33N-C	42N-A	42N-B	42N-C
呼び強度	21N/mm^2			33N/mm^2			42N/mm^2		
打設時期	標準期	夏期	夏期	標準期	夏期	夏期	標準期	夏期	夏期
材齢(日)	105	182	156	105	182	156	105	182	156
計測時期	冬期(1月)								

キーワード　非破壊試験法，超音波横波，起振周波数，横波伝搬速度
連絡先　〒300-2622　茨城県つくば市要 36-1　青木あすなろ建設(株)技術研究所 建築構造研究室　TEL029-877-1112
〒160-0022　東京都新宿区新宿 1－23－1 新宿マルネビル 7 階　TEL 03-3357-1761

© Japan Society of Civil Engineers

3．検証結果

計測により得られた横波伝搬速度 *Vs* と起振周波数 *f* の関係を図 2 に示す。図中には計測により得られたすべての値（1 体当たり 50 点×9 体=450 点）がプロットしている。プロットの色はシリーズ A,B,C を、プロットの形は強度をそれぞれ分類している。結果より、呼び強度が高い供試体で *Vs* が高い値を示し、同一シリーズ内では○＞△＞◇となり、呼び強度の順となった。赤で示す B シリーズは総じて *Vs* の値が大きかったが、これは材齢が 182 日と他の供試体よりも長く、打設時期も夏期であったため、強度発現が進んだためだと考えられる。

周波数依存性については、すべての供試体で起振周波数 *f* の上昇に伴い横波伝搬速度 *Vs* の低下が見られた。また、得られた *Vs* と *f* を用い、波の波長 λ に換算した。代表例として、呼び強度を基準に 3 パターンを選択し、*Vs* と λ の関係を整理したグラフを図 3 に示す。結果から、λ の増加に伴い *Vs* が増加する関係が示された。また、グラフ中には指数関数で近似した曲線を追加している。その結果、R^2 は 0.84～0.96 と高い値を示し、強い相関性が確認された。値の変化量については、高強度よりも低強度の方が大きくなった。なお、λ=10cm 前後では近似線を下回り、λ=20～30cm では上回る現象がすべての供試体で見られた。現段階では *Vs-f*, λ の関係を指数関数で近似しているが、周波数依存性に関する現象を今後分析し、予測式の精度を高める必要がある。

4．考察およびまとめ

横波伝搬速度 *Vs* と起振周波数 *f*, 波長 λ の間に依存性が見られた要因として、コンクリート表面と内部の物性の違いがあげられる。一般に、表面は乾燥により含水率が低下し、内部よりも弾性波伝搬速度が小さい[2)]。そのため、*f* の増加に伴いコンクリートの振動領域が狭くなれば、表面側を波が伝搬するため *Vs* は小さくなる。逆に、*f* が小さくなると振動領域が深さ方向に広がり *Vs* は増加する。

このように、振動領域の違いが *Vs* と *f* の相関性に影響を与えと考えられるが、現象を考察するにはデータが不足しているため、今後さらなる検証を行っていく計画である。

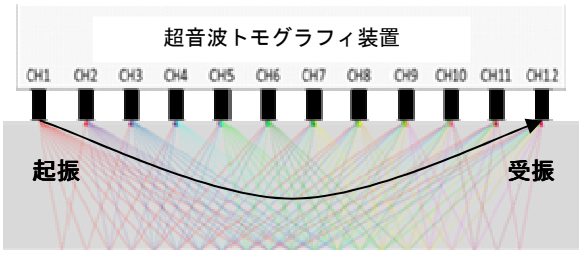

図 1　横波伝搬速度の計測イメージ

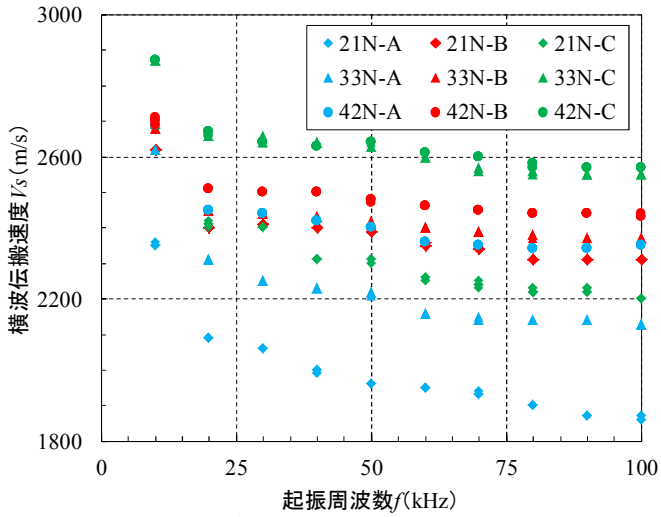

図 2　横波伝搬速度 *Vs* - 起振周波数 *f* 関係

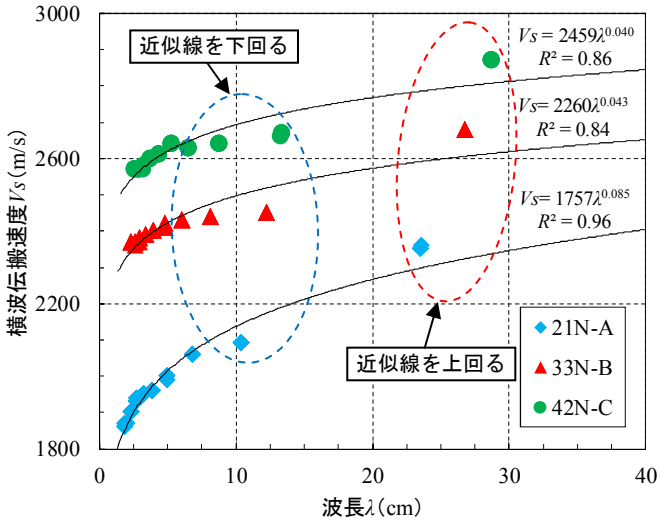

図 3　横波伝搬速度 *Vs* - 波長 λ 関係

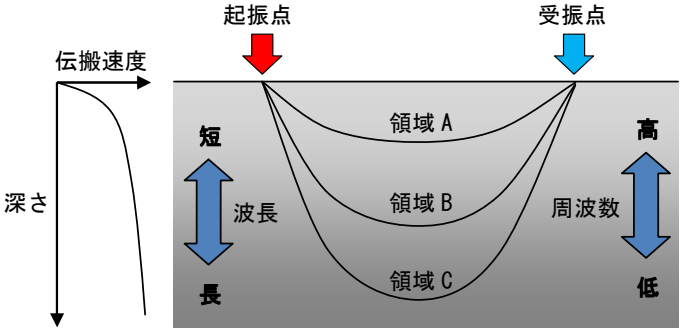

図 4　コンクリート中の弾性波伝搬イメージ

【参考文献】
1) 新井 佑一郎, 坂本 浩之, 三上 創史, 牛島 栄 : 超音波横波トモグラフィ装置による配合が異なる RC 壁の鉄筋探査事例, 土木学会第 73 回年次学術講演梗概集, pp.343-344, 2018.8
2)湯浅 昇, 笠井 芳夫, 松井 勇 : 乾燥を受けたコンクリート表面から内部にわたる含水率・細孔構造の不均質性, 日本建築学会構造系論文集, 509 号, pp.9～16, 1998.7

© Japan Society of Civil Engineers