

## 若材齢コンクリートの圧縮強度と鋼板-コンクリート間の弾性波伝搬特性の関係

東京都立大学 学生会員 ○樋渡洸, 正会員 大野健太郎, 上野敦, 宇治公隆  
佐藤工業株式会社 正会員 歌川紀之, 北川真也, 早川淳一

## 1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの施工では、トンネル施工のサイクル上、コンクリートが脱型可能強度に達した時点で脱型される。しかし、脱型可能強度に達していない場合、脱型時および供用時に表層剥離やコンクリート塊の剥落の原因となる可能性がある。現状の脱型時期設定方法は、試し練りによる圧縮強度と材齢の関係から必要な養生時間を設定することが多いとされ、試し練りと施工位置では環境温度などの違いにより強度発現が異なる課題がある。そのため、施工位置のコンクリート強度を推定するため、反発度<sup>1)</sup>や積算温度<sup>2)</sup>による方法が検討されている。しかし、これらの方法では、セントル（鋼製型枠）内のコンクリートを直接測定する必要があり、測定の煩雑さが課題とされている。本研究では、非破壊試験によるセントルを介した覆工コンクリートの強度推定手法の構築を目的とし、鋼製型枠にコンクリートを打ち込んだ後、超音波法および衝撃弾性波法を用いて鋼製型枠面を信号の入出力面とし、材齢経過に伴う弾性波伝搬特性と圧縮強度の関係について基礎的に検討した。

## 2. 実験概要

供試体は図-1に示すように、4辺支持した650×650×6mmの鋼板上に500×500×100mmのコンクリートを打込み、セントルおよび覆工コンクリートを模擬した。コンクリートの計画配合を表-1に示す。表-2に示すように力学特性として圧縮強度試験、弾性波の伝搬特性として超音波法および衝撃弾性波法をそれぞれの材齢にて、20℃,60%R.H.の恒温恒湿環境で実施した。なお、圧縮強度試験は、φ100×200mmの円柱供試体に対し載荷速度0.01N/mm<sup>2</sup>/sとして実施した。超音波法では、ファンクションジェネレータにて振幅15Vの矩形波をAEセンサ（60kHz共振型）に作用させることで信号入力し、入力点から50mm間隔で設置した4個のAEセンサで信号を検出した。衝撃弾性波法ではφ3.2, 9.6, 19.0mmの3水準の鋼球で鋼板を打撃することで弾性波を入力した。弾性波の検出には感度の異なる2種類の加速度計（高感度：20mV/(m/s<sup>2</sup>), 低感度：5mV/(m/s<sup>2</sup>))を使用し、それぞれ入力点から50mm間隔で4個設置した。なお、いずれのセンサも熱可塑性樹脂（軟化点86℃）の薄層の接触媒質を用いて鋼板へ貼付した。

## 3. 実験結果

圧縮強度と材齢の関係を図-2に示す。覆工コンクリートの脱型可能な圧縮強度は2~3N/mm<sup>2</sup>とされ<sup>3)</sup>、本実験では材齢12時間以降が対応すると考えられる。

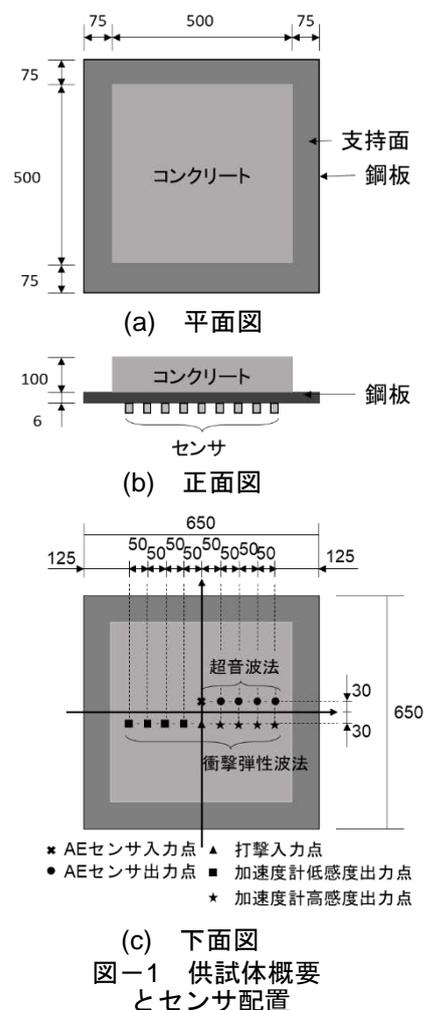


表-1 計画配合

Gmax (mm)	SL (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	Ad
20	8	55	4.5	46.4	175	318	807	950	0.6

表-2 各測定での試験材齢

材齢	圧縮強度試験	超音波試験	衝撃弾性波試験
~0h (コンクリート打設前)	-	○	○
0h	セメント接水		
1h	-	○	○
2-4h	-	○	-
5-13h	○	○	○
24h	○	○	○
計	10回計測	15回計測	12回計測

キーワード: 覆工コンクリート, 強度推定, 衝撃弾性波法, 超音波法, 重心周波数

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 Tel : 042-677-1111 (内) 4535

### 3.1 超音波法による検討結果

鋼板内を伝搬する超音波は、鋼板とコンクリートの界面では、音響インピーダンス（弾性波速度と密度の積）の差により反射および透過が生じるが、材齢の進行に伴うコンクリートの物性変化により、反射率などの超音波伝搬挙動が異なることが予測された。そのため、図-3に示す受振波の第一波振幅の最大値に着目し、各材齢で材齢1h（打込み直後）の最大値で正規化した第一波振幅比と圧縮強度との関係を測定距離別に図-4に示す。圧縮強度1.6N/mm<sup>2</sup>までは全ての測定距離において振幅比は低下傾向を示し、それ以降の振幅比の変化は顕著に小さくなった。これは、コンクリートの硬化に伴いコンクリートの弾性係数が上昇することで弾性波速度が上昇し、その結果鋼板とコンクリートの音響インピーダンス差が変化したこと、およびコンクリートの水和に伴う温度変化によりセンサの接触媒質の物性が低下したことで振幅比が低下した影響<sup>4)</sup>が考えられる。

### 3.2 衝撃弾性波法による検討結果

ここでは、鋼板を鋼球打撃し、鋼板とコンクリートを一体とみなした振動を検出することで、コンクリートの硬化に伴う鋼-コンクリートの剛性変化を検出できると考えた。図-5にφ19.0mmの鋼球で鋼板を打撃し、低感度加速度計で得られた受振波を高速フーリエ変換して求めた周波数スペクトルの重心周波数を対象に、材齢1h（打込み直後）の重心周波数で正規化した重心周波数比と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度の増加に伴い、重心周波数比が増加することがわかる。これはコンクリートの硬化に伴い、鋼-コンクリートの剛性が高くなり、スペクトル重心が高周波側へ移行したと考えられる。一方、φ3.2mmおよび9.6mmの鋼球打撃では、圧縮強度と重心周波数比の明確な関係は確認できなかった。これは鋼球径が小さい場合、鋼-コンクリートを一体として振動させるエネルギーが不足したことが要因と考えられる。

## 4. まとめ

超音波法による測定では、初期の圧縮強度の増進に伴い第一波振幅比が低下したが、セメントの水和による温度上昇に起因する接触媒質の軟化の影響と鋼板内の超音波伝搬挙動の両者が複合する可能性が示唆され、脱型時期の推定には両者の影響を分離する必要があると考えられた。また、衝撃弾性波法による測定では、鋼-コンクリートを一体として振動させることで重心周波数比が圧縮強度の増加に伴い大きくなることがわかり、コンクリートの強度推定の指標になり得る可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) 高取秀和, 川崎元, 鈴木昌次, 綾野克紀: PT型シュミットハンマーを用いたトンネル覆工コンクリートの脱型時強度の推移方法, 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集, VI-303, pp.605-606, 2008年9月
- 2) 京免継彦, 宇野洋志城, 桑原嗣, 乾川尚隆: 脱型時期判定を目的とした積算温度管理に関する一考察, 土木学会第65回年次学術講演会公演概要集, VI-013, pp.25-26, 2010年9月
- 3) 土木学会: トンネルコンクリート施工指針(案), コンクリートライブラリー102, p16, 2000年8月
- 4) 中川裕之, 横田優, 長尾和明, 松島学: 超音波伝搬特性への測定温度の影響に関する検討, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, V-237, pp.473-474, 2010年9月

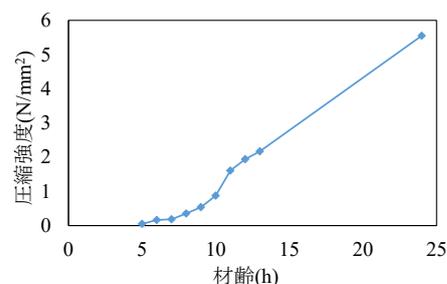


図-2 圧縮強度と材齢の関係

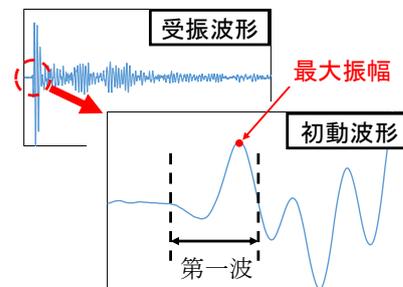


図-3 第一波振幅の概要

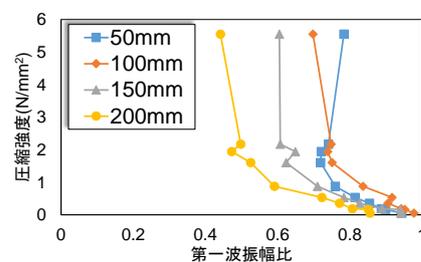


図-4 第一波振幅比の推移

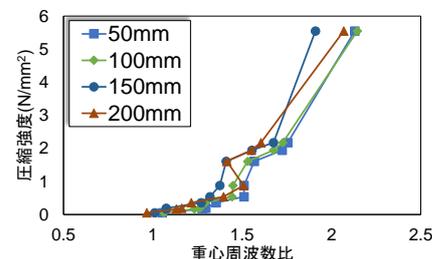


図-5 φ19.0mmの  
重心周波数比の推移