

## 鋼板打撃による若材齢コンクリートの周波数応答特性と圧縮強度の関係

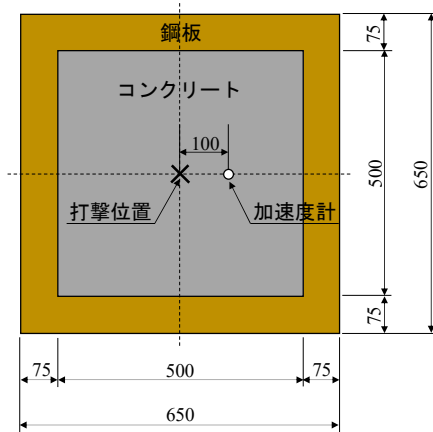
東京都立大学 正会員 ○大野健太郎, 上野敦, 学生会員 樋渡洗  
佐藤工業株式会社 正会員 歌川紀之, 北川真也, 吉野隆之

## 1. はじめに

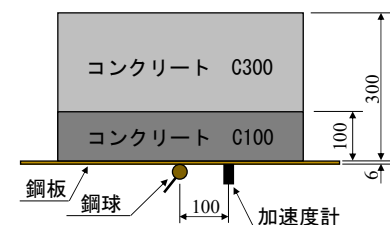
トンネル覆工コンクリートの施工において、型枠脱型時のコンクリートの強度発現が乏しい場合、コンクリートの剥離や剥落の危険性が生じる。そのため、適切な脱型時期を判定するために積算温度による方法<sup>1)</sup>などが提案されているが、セントル（鋼製型枠）内のコンクリートに直接接触する必要があることや、温度計が設置されていない箇所の強度推定が難しいなどの課題がある。そこで、筆者らの既往の研究<sup>2)</sup>では、鋼製型枠を介したコンクリートの強度推定手法の構築を目的とした基礎検討を行った。その結果、鋼板を鋼球で打撃したときの振動を加速度計にて取得し（衝撃弾性波法）、重心周波数と若材齢コンクリートの圧縮強度が相関することが認められた。本稿では、既往の実験データの補完に加え、若材齢コンクリートの圧縮強度を推定するための精度向上の検討を行った。

## 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500×500mmの範囲に表-1に示す配合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。なお、本研究では、コンクリート厚が振動特性に及ぼす影響を検討するため、コンクリートの厚さを100mmと300mmの2水準とした。図-1の供試体および圧縮強度試験用円柱供試体φ100×200mmは20℃、60%R.H.の恒温恒湿環境に設置した。衝撃弾性波法では、所定の材齢にてコンクリート厚100mmの場合は、φ19、30、40mmの鋼球、コンクリート厚300mmの場合は、より大きなエネルギーを入力する目的でφ40、63mmの鋼球で鋼板中央部を打撃し、打撃位置から100mm離れた位置に設置した加速度計（感度：5mV/(m/s<sup>2</sup>）、周波数範囲±3dB：3～10,000Hz）にて信号を記録した。圧縮強度試験は、供試体打込み面を石膏でキャッピングし、載荷速度0.01N/mm<sup>2</sup>/sにて実施した。



(a) 平面図



(b) 正面図

図-1 供試体概要

表-1 コンクリートの計画配合

粗骨材の最大寸法 [mm]	スランブ [cm]	水セメント比 [%]	空気量 [%]	細骨材率 [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]				
					W	C	S	G	A
20	8.0	55	4.5	47.4	172	313	836	935	1.096

## 3. 実験結果

## 3.1 重心周波数比による検討

既往の研究成果<sup>2)</sup>より、図-1のコンクリート厚100mmの条件にて、鋼板をφ19mmの鋼球で打撃したときの加速度波形をFFT処理し、打込み完了時（材齢1時間）の重心周波数に対する各材齢の重心周波数（重心周波数比と称す）がコンクリートの圧縮強度と相関することが示されている。ここでは、重心周波数比と圧縮強度の関係について、コンクリート厚が大きくなった場合の適用性について検討する。図-2に材齢の進行に伴う重心周波数と圧縮強度の推移を示す。圧縮強度は、材齢6時間から測定可能となり、材齢の進行に伴い強度発現していることがわかる。また、重心周波数もいずれの測定結果においても増加し、材齢24時間ではいずれの条件においても10kHz程

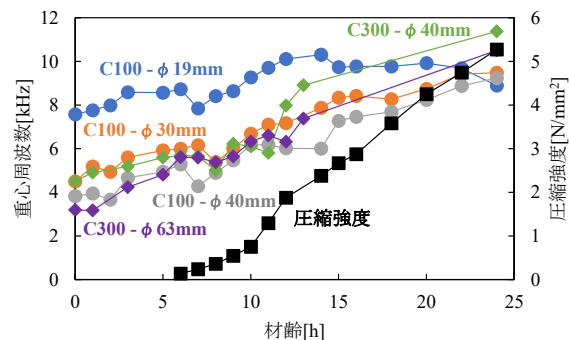


図-2 圧縮強度と重心周波数

キーワード 覆工コンクリート, 強度推定, 衝撃弾性波法, 重心周波数, 周波数応答関数

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

度となった。また、コンクリート厚 100mm 鋼球 19mm では(C100- $\phi$  19mm), 他の水準と比較してコンクリート投入前の材齢 0 時間から重心周波数が高いことがわかる。このことから, C100- $\phi$  19mm を除く水準では, 鋼球径およびコンクリート厚が重心周波数に及ぼす影響は小さく, コンクリートの硬化および強度発現に伴い重心周波数が一様に増加する可能性が示唆された。

図-3 に重心周波数比の推移を示す。重心周波数比は材齢の進行に伴い増加するものの, それぞれの水準で異なる傾向を示した。これは, 重心周波数比が材齢 1 時間の重心周波数で正規化していることから, 材齢 1 時間での重心周波数の値がそれぞれ的水準で異なっていることが要因と考えられる。したがって, 既往の研究で示された重心周波数比による評価指標では, 若材齢コンクリートの圧縮強度を推定することが難しいと考えられる。

### 3.2 周波数応答関数による検討

図-2, 3 より, コンクリートの硬化および強度発現に伴い, 鋼板を打撃した際の振動の周波数は高くなることが認められた。したがって, 振動の周波数特性にはコンクリートの物理的性質の変化が含まれると考えられる。そこで, コンクリート打込み前の材齢 0 時間での周波数スペクトルに対する各材齢での周波数スペクトルの応答, すなわち周波数応答関数に着目することとした。

図-4 にコンクリート厚 100mm,  $\phi$  40mm 鋼球で鋼板を打撃した際の材齢 0 時間に対する各材齢の周波数応答特性を示す。図より, 材齢の進行に伴い, 1kHz 付近では周波数応答が低くなり, 10kHz 付近において周波数応答が高いことがわかる。これは, 図-2 の傾向と同様であり, コンクリートの強度発現に伴う変化が現れていると考えられる。ここで, 本研究で使用した加速度計の

周波数応答特性は, 10kHz までが平坦な感度を有することから, 本検討では, 10kHz までの近似直線の傾き (ゲイン増加率と称す) を算出し評価指標とした。図-5 に全ての水準におけるゲイン増加率と材齢の関係を示す。図より, いずれの水準においても, 材齢 0~12 時間の範囲では材齢進行に伴い, ゲイン増加率が一様に増加していることがわかる。一方, 材齢 13 時間以降においては, 増加傾向が一様ではない。これは図-2 とセンサの周波数応答特性を考えると, コンクリートの硬化および強度発現に伴い, 打撃による振動成分が 10kHz を超える成分が多くなり, 加速度計の平坦な感度を有する周波数帯域を超える成分が卓越したため評価が困難になったと推察され, 今後, より高周波成分に平坦な感度を有するセンサを用いるなどの検討が必要であると考えられる。

### 4. まとめ

本研究では, 鋼板を鋼球打撃して得られる振動を対象に, コンクリート打込み前の振動に対する各材齢の振動の周波数応答関数の傾き (ゲイン増加率) を算出し, コンクリート厚や鋼球径に影響されずゲイン増加率がコンクリートの圧縮強度と相関する可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 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 回年次学術講演会講演概要集, VI-013, pp.25-26, 2010 年 9 月
- 2) 樋渡洗, 大野健太郎ほか: 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, 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, V-332, 2021 年 9 月

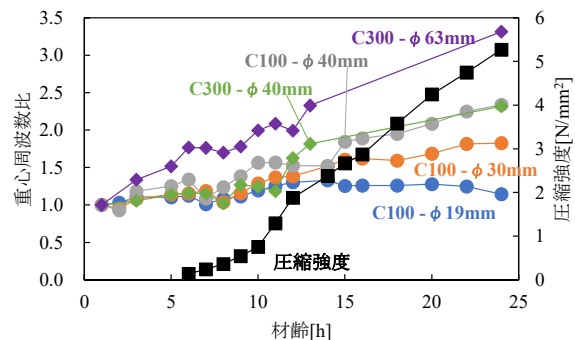


図-3 圧縮強度と重心周波数比の推移

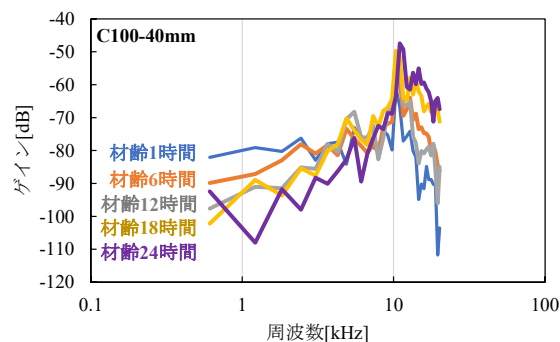


図-4 周波数応答特性

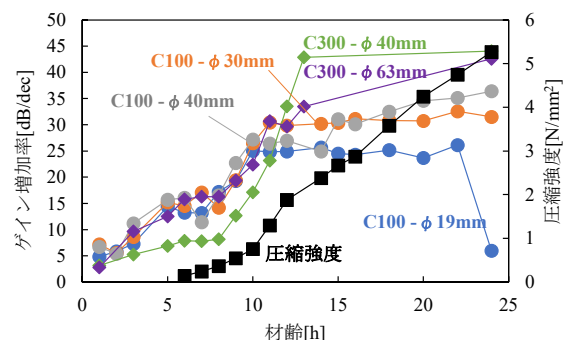


図-5 ゲイン増加率の推移