

コンクリート打設における締め固め時間の影響について

東北技術事務所 維持管理技術課 一戸 直人
上西 通
○鈴木 恵子

1. はじめに

凍害・塩害を受けやすい寒冷地のコンクリート構造物の耐久性確保には、コンクリート表層からの水分・塩分の浸透を抑制することが重要である。東北地方整備局では、施工時における不具合の抑制、均質で緻密かつ一体性のあるコンクリート構造物の構築を目指し、平成 27 年に「コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)」を取りまとめ、PDCAサイクルによる施工段階での品質向上に取り組んできた。これにより施工現場ではコンクリートの品質向上に向けた創意工夫や意識醸成は進んでおり、均質性及び表層緻密性の評価は確認されているが、これら取組みによる耐凍害等の耐久性について評価は確認されていない状況である。

本稿では、「コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)」の成果目標である耐久性向上へ望ましい施工管理を裏付けるものとして、配合や施工方法の違いによるコンクリート構造物の耐凍害性・一体性への影響を検証するべくマスコンクリート試験体を製作し、その検証結果について報告を行うものである。

2. 試験概要

(1) 試験内容

実施した検証項目と評価内容は以下のとおりである。

- ① 打ち重ねの一体化へ影響を及ぼすバイブレータかけ方の違い（適切なバイブレータのかけ方が明確となっていない）
 - ・ 水平・鉛直コアの観察
 - ・ 超音波試験
 - ・ 引張試験
- ② 耐凍害性に影響を及ぼす配合（空気量）の違い（実施内容の違いが、硬化コンクリートの空気量、気泡間隔係数にどの程度影響しているか）
 - ・ 硬化コンクリートの空気量及び気泡間隔係数、気泡分布
 - ・ 凍結融解試験（RILEM-GDF 法、真水、塩化ナトリウム水溶液 3%）

(2) 試験体の概要

実構造物の施工を再現するため、試験体は 900mm×900mm×1000mm の立方体とし、実際の施工環境・現場作業員により製作した。

試験体の配合は、一般的な橋梁下部工で実際に使用する配合を目安とし、空気量（荷卸時）は 4.5%及び 6.0%の 2 種類とした。バイブレータのかけ方は、挿入間隔を一律（40cm、4 箇所）とし、挿入位置到達後の振動時間を 5 秒、15 秒、25 秒の 3 パターンとした。

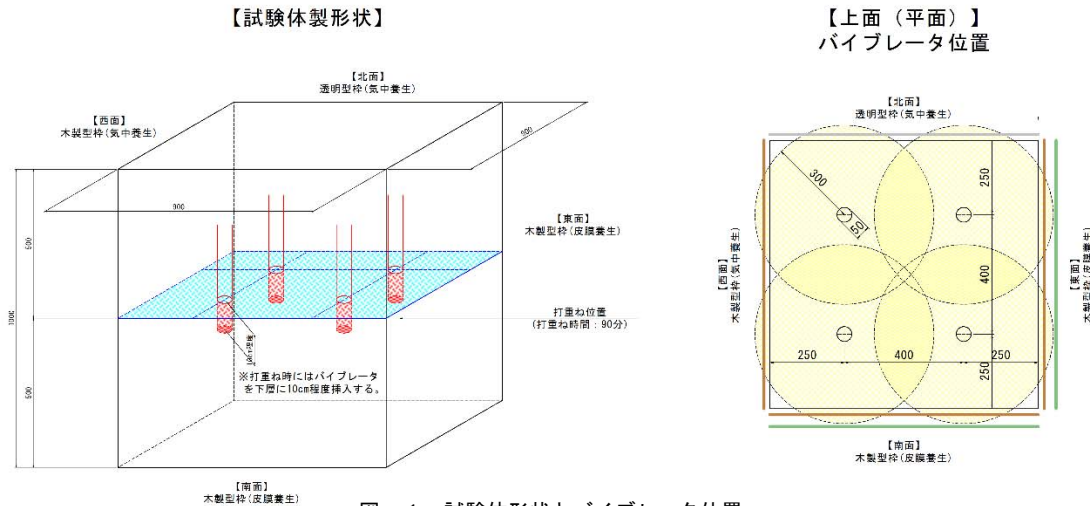


図-1 試験体形状とバイブレータ位置

3. 検証結果及び考察

(1) 硬化コンクリートの空気量、気泡間隔係数と気泡分布

耐凍害性に影響を及ぼす配合（空気量）の違いとして、打設状況の違いにより硬化コンクリートの空気量、気泡間隔係数にどの程度影響しているかの検証を行った。硬化コンクリートの空気量は、打設前の筒先で計測したフレッシュコンクリートの空気量から2~3%低下しており、配合（空気量）の違い、バイブレータの時間差による影響は小さいと考えられる。要因としては、振動の影響範囲が計測位置まで到達していないことが考えられる。

全般的に空気量6.0%の方が4.5%に比べ気泡間隔係数は小さくなっている。各気泡径に対する空気量の割合は、AE 剤により連行される気泡（一般に0.03~0.25mm程度）が6.0%の試験体で多く確認された。挿入時間が5秒の試験体は値にバラツキがある傾向が見られた。これは、振動時間が短いため、エントラップドエアの違いにより差が生じたと考えられる。

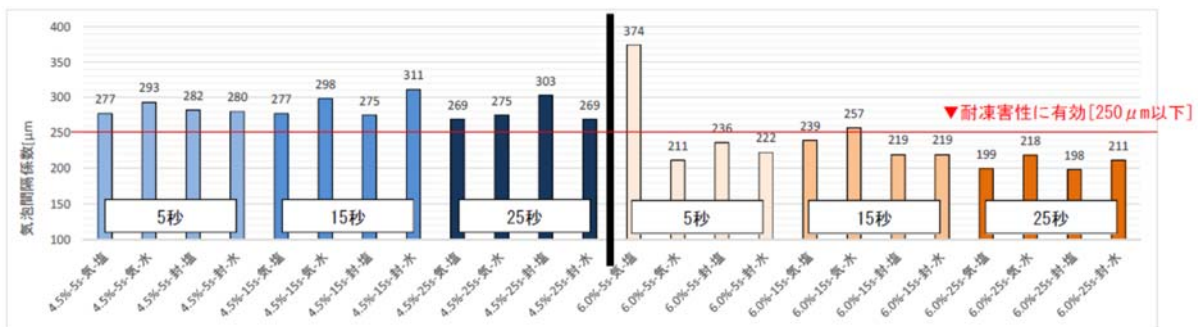


図-2 気泡間隔係数測定結果

(2) 凍結融解試験 (RILEM-CDF 法)

耐凍害性への影響について、凍結融解試験により検証を行った。

スケーリング試験による結果を図-3, 4に示す。スケーリング量は空気量6.0%の配合が少ない傾向となっている。これは、耐凍害性に有効な微細な空気が適切に混入されているためと考えられる。バイブレータによる大きな違いは見られないものの、封緘養生したもの（破線）は比較的スケーリング量は少ない傾向となった。

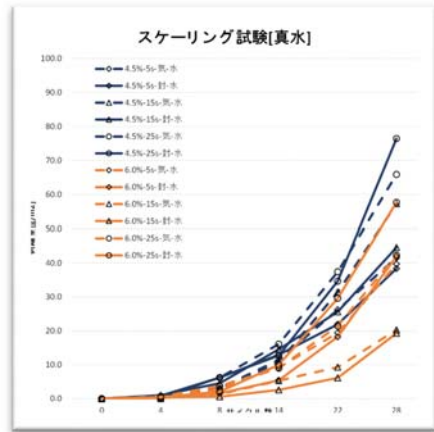


図-3 真水スケーリング試験結果

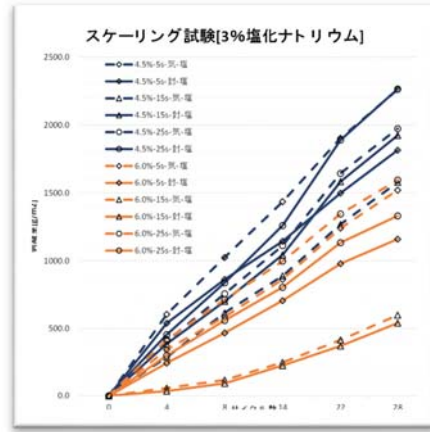


図-4 塩水スケーリング試験結果

(3) 水平・鉛直コアの観察

水平に採取したコアよりバイブレータ挿入時間とその影響範囲について観察を行った。

バイブレータ挿入時間 5 秒のコアの打ち重ね線付近の骨材に着目すると、下層と上層のコンクリートが締固められていないことを確認。また、水平コアで確認すると、バイブレータの粗骨材への影響は直近の狭い範囲にとどまっている。

鉛直に採取したコアより打ち重ねの状況について観察を行った。打ち重ね部の状況について写真-1 に示す。

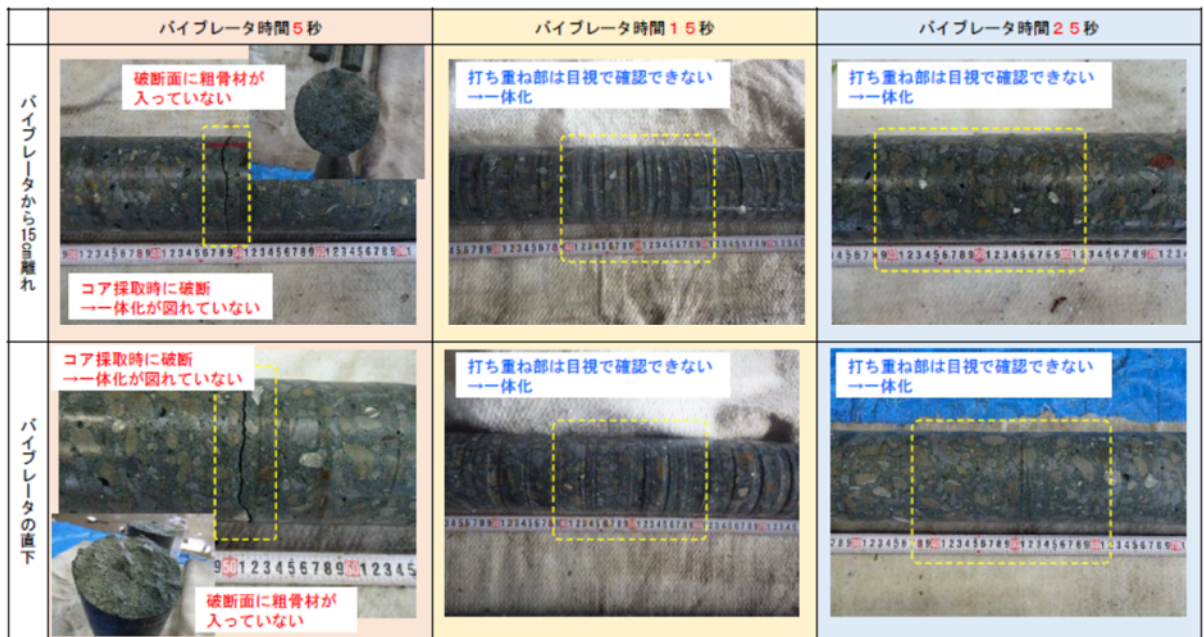


写真-1 打ち重ね部の状況 (空気量 6.0%試験体)

振動時間 15 秒以上であれば、目視による打ち重ね線は確認できない。バイブレータ時間 5 秒の破断面には、粗骨材が入っていないことから、バイブレータの時間が短い場合、直近でも粗骨材が移動しないことが考えられる。

バイブレータの挿入時間の差により、打ち重ね部の一体性に違いが見られた。

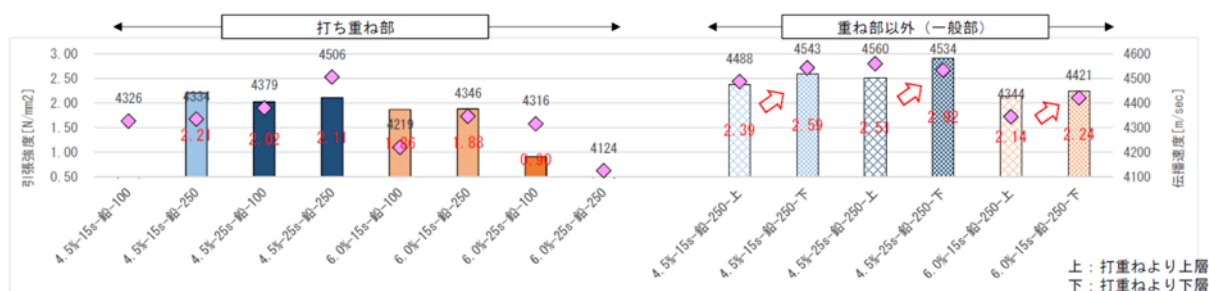
時間を極端に短くすると振動の影響が伝わらないため、振動時間を長く取ることが必要と言える。

(4) 超音波試験及び引張試験

打ち重ね部の強度検証を目的とし、次の試験を行った。

- ・超音波試験：伝播速度で一体化を評価（早いほど一体化している）
- ・引張試験：打ち重ね部を中心に両端から引っ張り、強度を測定

傾向として、空気量 4.5%と 6.0%では空気量 4.5%の方が引張強度は高い傾向であり、バイブレータ直下の試料[試料名 250]は強度が高い。空気量 6.0%で 25 秒のバイブレータを実施した試験体は引張強度が小さい又は、試料本体の自重で損傷してしまっている。25 秒供試体は、打ち重ね時のブリージング水処理を行っておらず、ノロが界面に発生し、付着強度に悪影響を与えたと考えられる。引張強度と伝播速度では概ね相関が取れており、一般部の試料では上層より下層のコンクリートの方が引張強度は高い。（下層が締め固められている。）



図一五 引張試験結果と超音波伝播速度の相関性

4. まとめ

本検証の結果を以下に示す。

- ・6.0%空気量配合の凍結融解試験結果から、気泡間隔係数が小さいものはスケーリング量が小さくなる傾向を確認できた。適切な気泡を得るために空気量を増やした配合は耐凍害性に効果的である。
- ・バイブレータの振動が耐凍害性の試験を実施した付近まで影響していないこともあり、バイブレータの振動時間差による空気量や気泡間隔係数に大きな差は確認されなかった。
- ・バイブレータによる振動影響範囲は設計で想定している範囲より小さく、振動時間を長くした場合でも影響範囲はそれほど大きくなる。ただし、振動時間が短い場合は内部の巻き込み空気が十分に抜けきらないため、一定の振動時間は必要である。
- ・必要以上にバイブレータをかけると、ブリージング水がより発生し、ノロ処理をしないと界面が弱体化する。

以上より、バイブレータの影響範囲は配合（空気量・スランプ・水セメント比等）により異なり、一律にバイブレータの間隔を設定するのは困難であるため、当面の対策としてはバイブレータが過振動とならない程度の時間で、振動間隔を小さくすることで締め固めを行うことが必要と考えられる。その一方で、耐凍害性に有効な微細空気は、バイブレータの振動により減少することが考えられるため、大きな空気は抜いて微細な空気はコンクリート内部に残すための手法が必要である。