

トンネル覆工を対象とした型枠バイブレータによる締固め作業の機械化に関する検討

大成建設（株）技術センター 正会員 ○俵積田新也，梁俊，直町聡子，古賀快尚，上岡亮一，鈴木雅浩

1. はじめに

山岳トンネル工事における覆工コンクリート施工において、インナーバイブレータを用いた締固め作業は、狭隘なスライドセトル内での窮屈な作業を強いられるため、作業従事者への負担が大きい。また、近年では技能労働者不足の課題もあり、作業の省力化を目的とした機械化や、最終的には自動化することが望まれている。この課題に対して、自己充填性を有する高流動コンクリートや締固めを必要とする高流動コンクリートと、型枠バイブレータを活用した締固め作業の機械化に向けた検討が進められている<sup>1)</sup>。しかし、多くのトンネル工事においては普通コンクリートが指定される場合が多く、これらの流動性を有するコンクリートは材料コスト増加などが適用に向けた課題となる。

そこで、普通コンクリートを対象とした型枠バイブレータによる締固めの適用に着目した。型枠バイブレータの設置箇所の制限や振動エネルギーの減衰等を考慮し、躯体全体を適切に締固める必要があるが、普通コンクリートを対象に型枠バイブレータの締固め性を評価した事例は少ない。本稿では、普通コンクリートを対象とした型枠バイブレータによる締固め性を評価することを目的とした施工実験を実施し、脱型後の充填性および表層品質について評価した結果を報告する。

2. 実験概要

写真－1 及び図－1 に実験に使用した模擬型枠を示す。

模擬型枠は実大のセトルフォーム 7 枚から製作し、トンネル下半部を想定した逆ハンチ形状を有している。

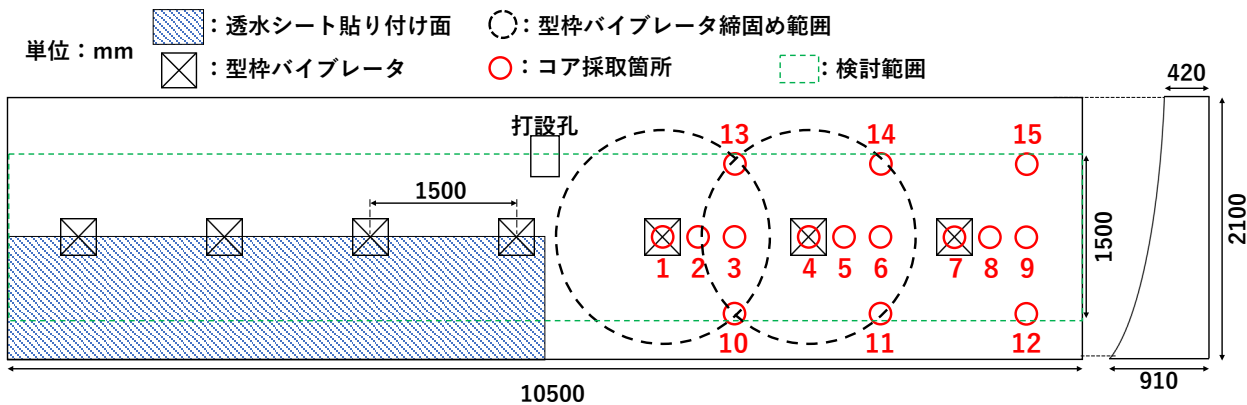
表－1 に試験に使用した配合を示す。現着時の目標スランプが  $21\pm2.0\text{cm}$  で空気量は  $4.5\pm1.5\%$  の普通コンクリートであり、粗骨材の最大粒径は  $20\text{mm}$  である。セメントに普通ポルトランドセメント、混和剤に高性能 AE 減水剤を使用した。配合については、直町ら<sup>2)</sup>の提案する配合選定フローを用いて、締固めエネルギーの観点から決定した。配合選定時の締固めエネルギーに関する情報に基づき、材料分離を生じずに密実な充填を完了させる締固め程度（型枠バイブレータの設置間隔・振動時間）を決定した。今回の試験では逆ハンチ形状である型枠の特性上、エントラップドエアの残存が懸念さ

表－1 配合

| スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m3) |     |     |     | Ad<br>(C×%) |
|--------------|------------|------------|------------|------------|-----|-----|-----|-------------|
|              |            |            |            | W          | C   | S   | G   |             |
| 21.0±2.0     | 4.5±1.5    | 51.0       | 49.6       | 172        | 337 | 871 | 921 | 0.85        |



写真－1 模擬型枠



図－1 模擬型枠概要

キーワード 覆工コンクリート，締固め，型枠バイブレータ，機械化施工，

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 070-2653-0146



写真-2 脱型後棲部

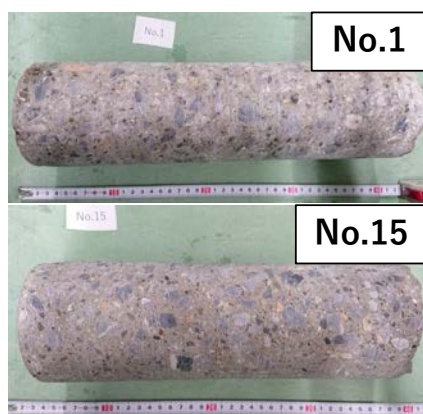


写真-3 採取コアの状況

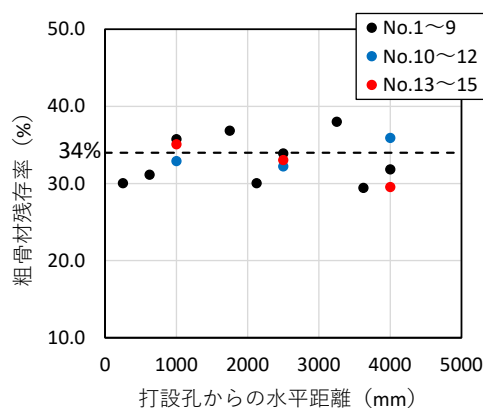


図-2 粗骨材残存率測定結果

れたため、型枠の一部に表面気泡低減効果のある透水性型枠用シートを使用した。

充填性については脱型後の目視評価、および採取したコア側面の粗骨材分布より評価した。コアの採取箇所は図-1に示す通りである。また、表層品質については、脱型後表層の36箇所に対して表層透気試験（トレント法）を実施した結果より評価した。

### 3. 試験結果

写真-2に脱型後の棲部における充填状況を、写真-3に採取コア側面の状況を示す。目視での評価において棲部では充填不具合は認められず、また、採取コア側面の状況から内部まで密実に充填されていると判断できる。図-2に採取コア側面の粗骨材分測定結果を示す。図中には配合より求められる粗骨材容積割合（34%）を示している。測定結果より型枠パイププレート近傍のNo.1, 4, 7と最も遠いNo.13, 14, 15, また打設孔からの水平距離が異なるNo.1~9の比較において、明確な粗骨材の分離傾向は認められない。普通コンクリートを対象とした型枠パイププレートによる締固めにおいても、適切な配合および締固め程度を設定することで、密実な充填が可能であることが考えられる。

図-3に表層透気試験で得られた透気係数の測定結果を示す。同図においては、透気性品質を「優」から「極劣」の5段階に区分<sup>3)</sup>して示している。測定結果は概ね「良」または「一般」の範囲であり、一部で「劣」の判定結果であった。写真-5に「劣」の判定結果であった測定面の一例を示す。透水性型枠用シートを用いなかった表層の一部においては写真-5に示すように表面気泡が多数認められる箇所が存在し、当該箇所においては表層品質が低いと判定される結果となった。

### 4. まとめ

本稿では、普通コンクリートを対象とした型枠パイ

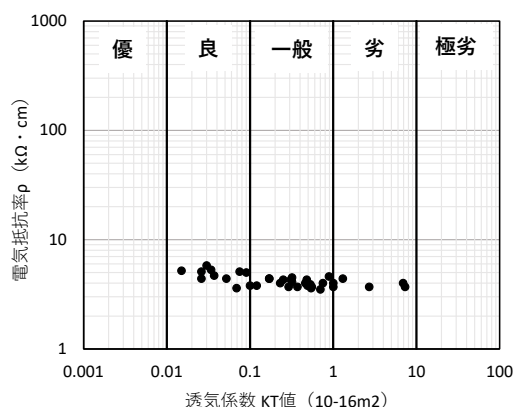


図-3 透気係数の測定結果



写真-4 透気性評価「劣」の測定面

プレータの締固め性を評価することを目的に、施工実験を実施し、脱型後の充填性と表層品質を確認した。その結果、適切な配合と締固め程度の設定により密実な充填が可能であった。表層品質について一部で透気性品質「劣」となる箇所が認められたため、表面気泡低減に向けた対策を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 信永康成ほか：トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，VI-11，2020
- 2) 直町聡子ほか：締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.826-831,2022
- 3) 土木学会：「コンクリート技術シリーズ 80，構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会（335委員会）成果報告書」，pp.30，2008