

トンネル覆工天端における締固め方法の違いによる品質検証 ～密実性の比較検証～

前田建設工業株式会社 正会員 ○前田 啓太 正会員 渡邊 泰行
正会員 福原 康顕 正会員 白根 勇二
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

1. はじめに

狭隘で閉鎖空間となるトンネル覆工天端部のコンクリート打設において、十分な締固めを行うために、覆工マルチ工法である「高品質トンネル覆工天端部締固めシステム（以下、引拔）」「マゴノテ工法（以下、マゴノテ）」を採用している¹⁾。これらの工法の品質向上効果を、覆工天端部を模した模擬供試体による実証試験により検証した。

2. 試験概要

品質の比較検証のために、バイブレータによる締固めをしないパターン（以下、バイブなし）を加えて、模擬供試体を3体作製した。模擬供試体の寸法は、実施工からの切り取りをイメージし、2400mm×2000mm×350mmのコンクリート版とした¹⁾。

コンクリートの品質及び長期耐久性を左右し、かつ締固め効果の指標として「密実性」が挙げられる。本稿では、密実性を表すパラメーターとしての各種試験（(1)密度、(2)細孔径分布、(3)中性化速度、(4)透気係数、(5)表面吸水速度）の結果について報告する。上記(1)(2)の試験については、作製した模擬供試体¹⁾からφ70mmのコアを9本ずつ抜き、(3)についてはφ100mmのコアを3本ずつ抜いて実施した。図-1及び図-2にコア試験体の概要を示す。(4)(5)の試験は、模擬供試体を立てて下面の型枠面を直接測定した。

3. 試験結果

(1) コンクリート密度

この試験は、「粗骨材の密度および吸水率試験方法（JIS A 1110-2006）」を参考にして実施した。表-1 及び図-3 に試験結果を示す。上面側は締固め方法による差はあまり見られなかったが、上面側、底面側ともにバイブなし<引拔<マゴノテ という結果を得た。

(2) 細孔径分布

各コアから、上面、中部、底面の3面において厚さ10mmの試験片を採取し、それぞれ5mm角の試料を作製した。材齢28日にてアセトンで15分間真空ポンプで吸引させ水和反応を停止させた。その後、凍結乾燥器にて、温度-40℃、気圧20hPaの条件で2日間凍

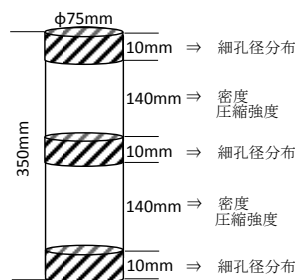


図-1 φ70 コア試験体概要

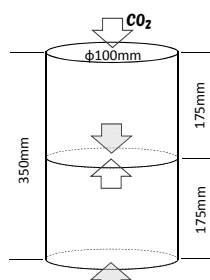


図-2 φ100 コア試験体概要

表-1 密度の比較 (g/cm³)

【上面側】	平均	標準偏差	【底面側】	平均	標準偏差
バイブなし	2.30	0.017	バイブなし	2.31	0.011
引拔	2.31	0.012	引拔	2.34	0.022
マゴノテ	2.32	0.014	マゴノテ	2.42	0.028

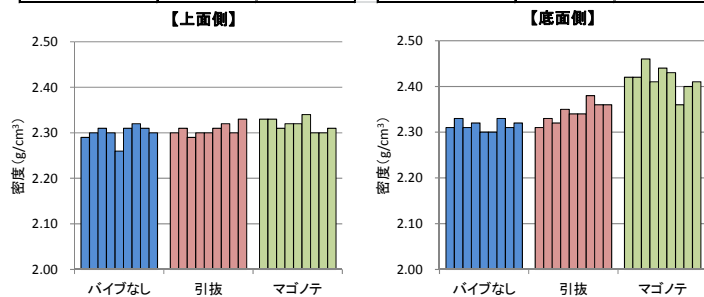


図-3 密度の比較

表-2 累積細孔量の比較 (mL/g)

【上面】	平均	標準偏差	【中部】	平均	標準偏差	【底面】	平均	標準偏差
バイブなし	0.112	0.006	バイブなし	0.100	0.007	バイブなし	0.089	0.007
引拔	0.117	0.005	引拔	0.096	0.009	引拔	0.082	0.007
マゴノテ	0.114	0.005	マゴノテ	0.095	0.010	マゴノテ	0.055	0.006

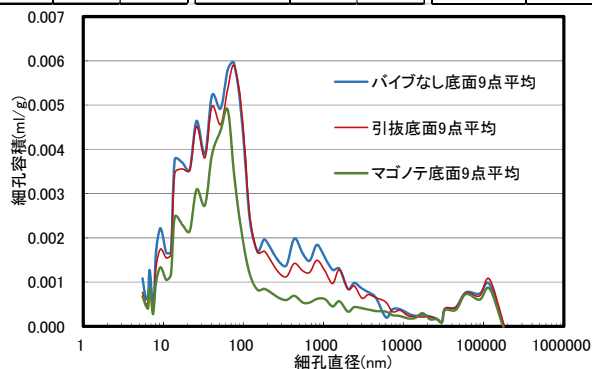


図-4 底面（表層部）における細孔径分布の比較

キーワード トンネル覆工コンクリート、覆工マルチ工法、高品質覆工天端締固めシステム、マゴノテ工法
連絡先 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 2-14-1 前田建設工業（株）九州支店 TEL 092-451-1549

結乾燥を行い、水銀圧入式ポロシメーターにて試験を行った。表-2 に各試料の累積細孔量を、また、図-4 に底面の細孔径分布を示す。

上面、中部については締固め方法による違いはほとんど見られなかったが、底面においてはパイプなし、引抜、マゴノテの順に緻密構造であることが明確であり、特にマゴノテは顕著であった。

(3) 中性化速度

各コアを中央で切断し、 $\phi 100 \times 175 \text{mm}$ の円柱試験体を作製した。作製した試験体は材齢 28 日まで屋内気中養生した後、上底面と切断面以外をエポキシ樹脂で塗布した。6 ヶ月間促進中性化 (20°C , 60%R.H., CO_2 濃度 5%) 後に試験体を割裂し、断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し中性化深さを測定して中性化速度係数を算出した。表-3 および図-5 に中性化速度係数を示す。上面側、底面側を総合すると、パイプなし、引抜、マゴノテの順に中性化抵抗性が高く、緻密な構造である結果となった。

(4) 透気係数

透気試験はトレント法²⁾により実施した。計測原理は、真空ポンプによってコンクリート表層を真空状態にして吸引を停止した後、チャンバー内の圧力が回復するまでの時間から透気係数 kT (10^{-16}m^2) を算出する。試験は模擬供試体毎に底面について各 9 点実施し、表-4 並びに図-6 より、パイプなしは等級区分「通常」～「良い」に分布し、引抜は 9 点とも「良い」、マゴノテは「良い」～「非常に良い」に分布した。

(5) 表面吸水速度

表面吸水試験は S W A T (Surface Water Absorption Test ; スワット)²⁾により各模擬供試体底面について 6 箇所測定し、コンクリートの吸水抵抗性を非破壊で原位置測定する試験である。パイプなしが吸水速度が最も速く、マゴノテが最も遅い結果となった。

4. まとめ

今回の試験は覆工天端部を模した模擬供試体を締固め方法の違いにより 3 体作製し、品質の差を各種試験によって検証した。試験結果から引抜、マゴノテともに締固めによる品質向上が確認され、特に表層部において顕著であった。さらに、マゴノテはより丁寧な締固め作業となることから最も優れた試験結果となり、強度に関する報告¹⁾の結果からもバラツキも小さいことが実証された。

参考文献

- 1) 渡邊ら:トンネル覆工天端における締固め方法の違いによる品質検証～圧縮強度の比較検証～, 土木学会第 71 回年次学術講演会 2016 (投稿中)
- 2) 土木学会: 構造物表層のコンクリート品質と耐久性能検証システム 研究小委員会 (JSCE335委員会) 第二期成果報告書およびシンポジウム 講演概要集, 2012.7

表-3 中性化速度の比較 ($\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$)

【上面側】	平均	標準偏差	【底面側】	平均	標準偏差
パイプなし	2.64	0.090	パイプなし	2.17	0.074
引抜	2.47	0.106	引抜	2.22	0.122
マゴノテ	2.40	0.077	マゴノテ	1.97	0.157

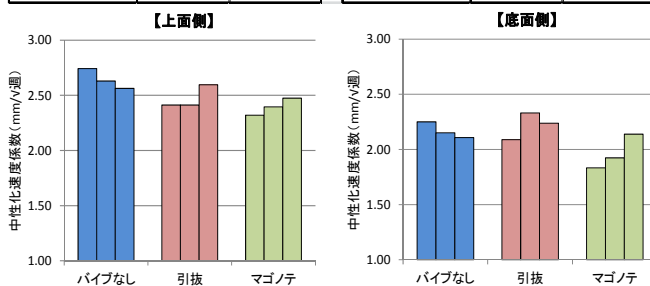


図-5 中性化速度の比較

表-4 透気係数に基づく品質等級区分²⁾

品質等級区分	$\sigma 28$ の kT 測定値
1 非常に良い	$kT < 0.01$
2 良い	$0.01 < kT < 0.1$
3 通常	$0.1 < kT < 1.0$
4 悪い	$1.0 < kT < 10$
5 非常に悪い	$kT > 10$

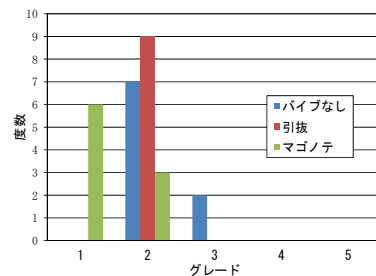


図-6 透気試験度数分布表

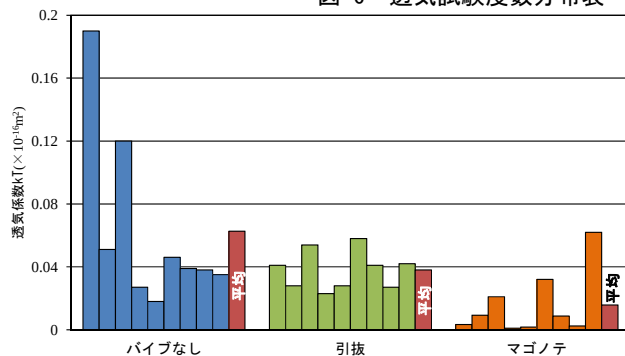


図-7 透気係数 kT の比較

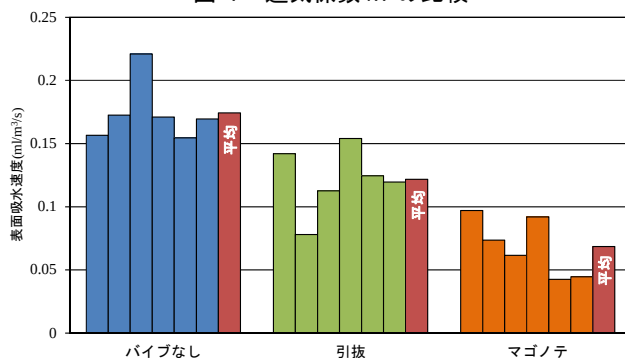


図-8 表面吸水速度の比較