

$\sigma_c=100\text{N/mm}^2$ 吹付けコンクリートのベースコンクリートによる多段階応力緩和試験

大成建設(株) 正会員 ○水野 史隆 川口 哲生 横畑 友幹 谷 卓也

1. はじめに

山岳工法で施工されるトンネルの主要な支保部材の一つである吹付けコンクリートは、地山条件に合わせて設計基準強度 18N/mm^2 の普通強度と 36N/mm^2 の高強度が一般に採用される。近年、大土被り下の高地圧かつ脆弱な地山における施工の効率化を目的に、材齢 28 日で 100N/mm^2 の一軸圧縮強さを有する吹付けコンクリートが開発されている¹⁾。

支保部材として使われる吹付けコンクリートは、強度とヤング係数の変化が著しい若材齢時に掘削に伴って生じる地山の变形を受ける特殊な条件下で使用される。そのため、支保の合理的な設計を行うためには、極若材齢における強度と変形特性を把握することが重要である。そこで、材齢 24 時間までの変形特性の内、特に粘弾性特性の時間変化データを取得するため、トンネル掘削を模擬した段階的な変位を与える多段階応力緩和試験²⁾を $\sigma_c=100\text{N/mm}^2$ 吹付けコンクリートのベースコンクリート試験体に対して実施した。ベースコンクリート試験体を対象とした理由は、将来的に、吹付け試験体との比較により、簡易な粘弾性特性の評価手法を確立したいためである。

本試験では、粘弾性特性の評価のために、载荷に伴うひずみ量の評価が重要となる。しかし、低剛性の試験体を対象とするため、载荷によって局所的な変位が生じる可能性が考えられた。そこで、サンプリングモアレ法³⁾を用いた多点の変位計測も試みた。本報告では、試験の概要、詳細な変位計測を行った結果、およびその評価について考察する。

2. 試験体と試験方法

多段階応力緩和試験は、一定速度の载荷と载荷変位の保持を繰り返す試験である。これは、トンネル掘削による地山の变形を模擬しており、本試験では、4 時間毎に载荷を行った。

試験体は、対象とする吹付けコンクリートと同配合で、急結剤を含まず、吹付けないベースコンクリートとし、

表-1 試験体の使用材料

名称	概要
専用粉体 P	プレミクス粉体, 密度 3.08 g/cm^3
細骨材 S	川砂, 密度 2.63 g/cm^2 , 粗粒率 2.94
粗骨材 G	川砂利, 密度 2.66 g/cm^2 , 粗粒率 6.18
減水剤 SP	高性能減水剤, ポリカルボン酸系
短繊維 F	ポリプロピレン繊維, 密度 0.90 g/cm^3 断面形状 $0.6\times1.2\text{mm}$, 長さ 65 mm

表-2 試験体の配合

W/P (%)	S/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				F (vol.%)	SP (B×%)
			水 W	P	S	G		
18	66	60	192	1064	722	485	0.25	1.12

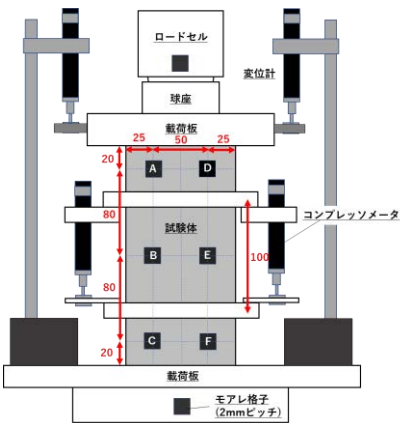


図-1 試験の概要

寸法は、直径 100mm、高さ 200mm の円柱とした。モールド管への打設および養生は 20°C に保たれた恒温室内で行い、注水から 9 時間後に脱型し、試験室に移して、試験を行った。試験体の使用材料および配合をそれぞれ、表-1 と表-2 に示す。

試験は、容量 500kN の油圧式サーボ型材料試験機を用いて、変位制御で行った。各载荷ステップの载荷速度は一律 0.01mm/min とし、最初の载荷は、材齢 14 時間経過時に開始した。変位の制御は、载荷板間に設置した変位計 (CPD-5, 東京測器研究所) で行った (図-1)。

キーワード 山岳トンネル 吹付けコンクリート 応力緩和試験 変位計測 サンプリングモアレ法

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL045-814-7221

試験体の圧縮方向変位は、コンプレッソメータによる計測に加えて、試験体の表面 6 か所（図-1 中の A～F）に 2mm ピッチの格子ターゲットを貼り付け、サンプリングモアレ法³⁾による計測を行った。

試験中、試験体周囲の雰囲気温度は 24℃であった。なお、各載荷時の材齢に合わせて行った強度試験の結果については、別報にて報告する⁴⁾。

3. 結果と考察

応力緩和試験の結果を図-2 に示す。載荷に伴う弾性的な挙動と変位保持中の応力緩和現象がみてとれる。なお、3, 4 段目載荷後の変位保持中に、瞬間的に応力が低下している箇所があるが、これは、制御不具合によるもので、瞬時変形として評価することとした。

各種変位計測および強度試験⁴⁾で得られたヤング係数のデータから求めた各載荷ステップにおける試験体のひずみを図-3 に示す。材齢の経過に伴い、強度試験から想定されるひずみ量と各種変位計測によるひずみ量との差が大きくなっている。その一因として、試験体の破壊による塑性変形が影響している可能性があるが、今後の検討課題としたい。

ひずみの評価は、試験機の剛性や試験体端面の影響が最も小さいと考えられるコンプレッソメータでの計測結果を採用し、試験体は弾性領域にあるものとみなし、粘弾性特性の評価を行うこととした。

サンプリングモアレ法による変位計測から求めたひずみを図-4 に示す。本試験では、試験体が均一に圧縮されず、位置によってひずみ量が異なる結果となった。圧縮方向は、試験体下部のひずみが大きく、左右では、左側の方が大きなひずみとなった。また、材齢の経過に伴い、ひずみ分布のばらつきが小さくなることがわかった。吹付け試験体の応力緩和試験では、より不均質でばらつきが大きくなることが想定される。そのため、試験体の正確な変位の把握には、サンプリングモアレ法による計測が有用な手段となることが確認できた。

粘弾性特性の評価は、本試験と強度試験⁴⁾の結果から図-5 に示すバネとダッシュポットの三要素からなる力学モデルでの表現を試みた。詳細については、別報⁵⁾にて本試験の再現解析およびトンネル掘削解析への適用結果とあわせて報告する。

4. まとめ

$\sigma_c = 100\text{N/mm}^2$ 吹付けコンクリートのベースコンクリート試験体に対して、応力緩和試験を実施し、粘弾性

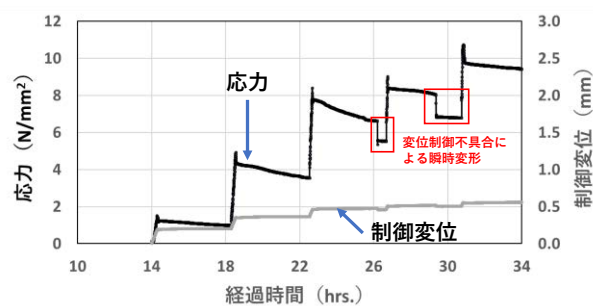


図-2 応力緩和試験の結果

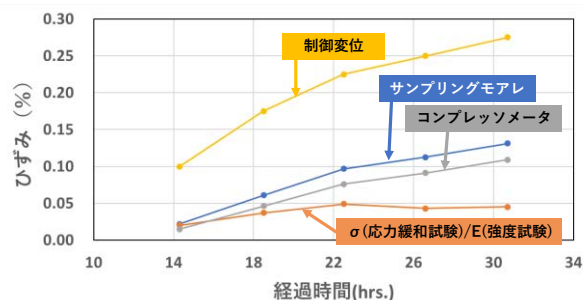


図-3 変位計測より求めたひずみ比較

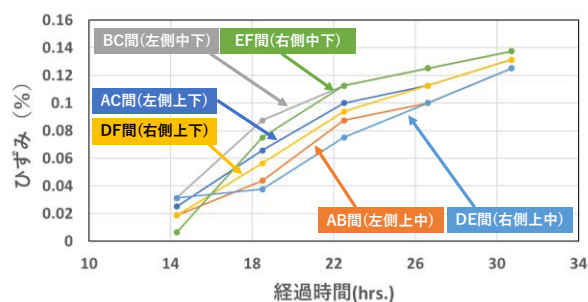


図-4 サンプリングモアレ法による計測結果

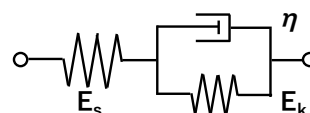


図-5 粘弾性モデル

特性評価のため、各変位計測の比較と評価を行った。

参考文献

- 1) H.Takeda et al. : Material properties and construction performance of ultra-high strength sprayed concrete, ITA World Tunnel Congress 2019, pp.3162-3171, 2019.
- 2) 谷ら：若材齢トンネル吹付けコンクリートの変形特性に関する研究, Journal of MMIJ, 128 巻, 3 号, pp.113-120, 2012.
- 3) 森本ら：サンプリングモアレ法による変位・ひずみ分布計測, 真空, 54 巻, 1 号, pp.32-38, 2011.
- 4) 川口ら：超高強度吹付けコンクリートの極若材齢における圧縮強度とヤング係数の発現特性, 土木学会第 76 回年次学術講演会, 2021. (投稿中)
- 5) 横畑ら：超高強度吹付けコンクリートの変形特性に関する解析的検討, 土木学会第 76 回年次学術講演会, 2021. (投稿中)