

クリープ変位に対するインバート閉合の効果に関する検討

土木大学 正会員 ○澤田 幸平
土木大学 正会員 大塚 勇

1. はじめに

山岳トンネルの掘削において、地山強度比が低い地山や膨張性地山に遭遇した場合、掘削を停止しているにもかかわらず、クリープ変位が増大することがある。この現象が進行すると、吹付けコンクリートのクラックや鋼製支保工の座屈、支保工の縫い返し、盤ぶくれなどが生じ、工期と工費に大きな影響を及ぼす可能性がある。このため、早急に適切な対策を実施することが重要である。本論文ではこれらのクリープ変位に対する対策として、変位収束前に本設インバートを施工した場合の効果について報告する。

2. 検討方法

計測結果を基に下式のように将来的なクリープ変位を予測する手段があるが、本論文では将来的なクリープ変位は5mmとして検討する。具体的には、2次元FEM解析により、クリープ変位5mmに相当する掘削解放力（掘削解放率 α ）を同定し、この掘削解放力をインバート設置後のトンネルに作用させてその効果を検討する。

$$\delta_t = \delta_0 + \alpha(1 - e^{-\beta t})$$

ここで、 δ_t ：時間 t 経過したときの変位量
 δ_0 ：弾性変位量
 α, β ：クリープ係数

3. 検討条件

表1に地山条件を、表2に支保工およびインバートの材料条件を示す。支保やインバートはDIパターン相当の仕様とする。また、解析モデルを図1に示す。境界条件は、底面は水平・鉛直固定、側方は水平固定とする。モデル領域はトンネル掘削面からモデル端部までの距離を側方は5D程度、下方は1D程度とする（Dは掘削径）。

4. 検討結果

(1) 掘削解放力（掘削解放率 α ）の同定

図2に解析ステップを示す。初期応力解析実施後、掘削解放率 α で上下半を一括掘削、支保設置をする。その際、内空変位が5mmとなるように α を同定する。検討の結果、 $\alpha=14\%$ で内空変位5mmを再現できることが確認できた。したがって、本条件においてクリープ変位による増分荷重は、 $\alpha=14\%$ に相当する掘削解放力となる。

表 1：地山条件

モデル	単位体積重量 (kN/m ³)	変形係数 (MPa)	側圧係数 (-)
弾性モデル	22.0	500	1.0

表 2：支保工およびインバートの材料条件

吹付けコンクリート	鋼製支保工	インバート
t=200mm (18N/mm ²)	H150	t=500mm (18N/mm ²) D22@200mm (内空側)

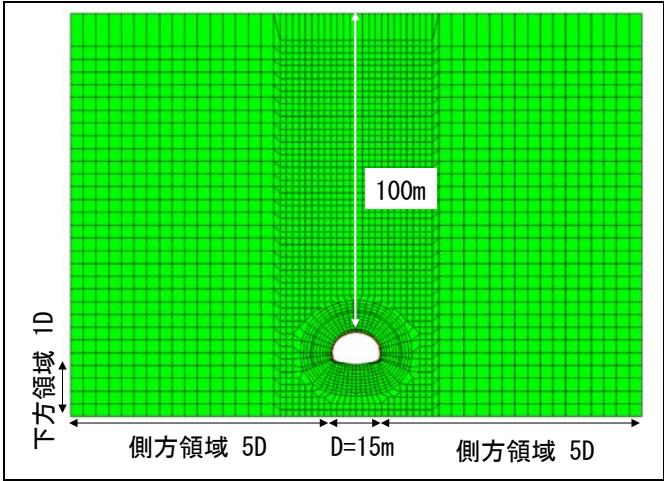


図 1：解析モデル

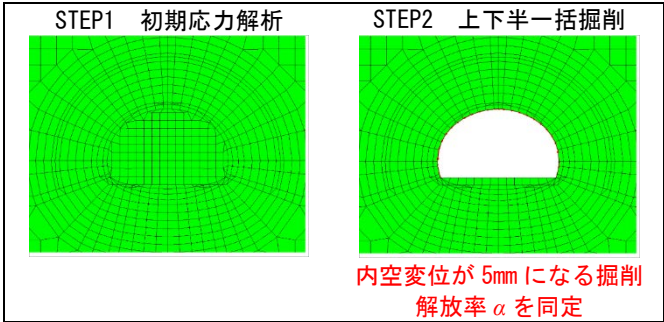


図 2：解析ステップ

キーワード クリープ変位、インバート閉合
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 大成建設株式会社 土木設計部 TEL 090-4933-5606

(2) インバート閉合による効果検討

図 3 に解析ステップを示す。初期応力解析後、 $\alpha=14\%$ で上下半インバートを一括掘削、支保・インバートを設置する。なお、比較のためにインバートを設置しないケースの検討も実施した（インバート掘削も省略する）。なお、これ以降の評価は、クリープ変位 5mm に対して発生する応力や変位に対する評価であり、掘削による弾性変形は含まれていないことに留意されたい。

壁面変位

図 4 にインバートを設置するケース（CASE1）と設置しないケース（CASE2）の壁面変位を示す。CASE1 は CASE2 に比べ、インバート掘削による解放力も作用しているため、トンネルに作用する荷重が大きくなっているにもかかわらず、上半内空変位が 5.4mm→3.8mm（30%減）、下半内空変位が 5.0mm→2.4mm（52%減）となっており、インバートを設置することでクリープに伴う内空変位を抑制できていることが確認できる。

また、CASE2 は路盤の隆起が 6.0mm 発生しているが、CASE1 ではインバートの隆起は 4.5mm となっており（25%減）、路盤やインバートの隆起に対してもインバートが有効であることが確認できた。

インバートに発生する応力

一般的な山岳トンネルではトンネルの変位が収束した後、インバートを打設するため、インバートに荷重は作用しない。しかし、本検討のように変位が収束する前にインバートを打設する場合、インバートに荷重が作用する。図 5、図 6 に CASE1 のクリープ変位によって生じるインバート軸力、曲げモーメントを示す。クリープ変位によりインバートには圧縮力と内空引張の曲げモーメントが生じる。一般的な山岳トンネルにおけるインバート鉄筋は構造鉄筋ではないが、参考までに本検討では構造鉄筋として考慮した場合のコンクリートおよび鉄筋の応力度を算出した。その結果、インバートコンクリートは全圧縮となり 4.5N/mm^2 の応力（許容値 $\sigma_{ck}/4=4.5\text{N/mm}^2$ ）が発生する結果となった。

5. まとめ

DI 相当の地山においては、インバートを設置することでクリープ変位や路盤の隆起を 25%～50%程度抑制できることが確認できた。一方、インバートにはクリープ変位に伴う断面力、応力が発生し、本検討の条件下ではその応力度は許容値程度であったが、インバートの設置には慎重に技術的判断を下す必要がある。

5. 参考文献

- 1) トンネル・ライブラリー第 25 号 山岳トンネルのインバート -設計・施工から維持管理まで-、土木学会

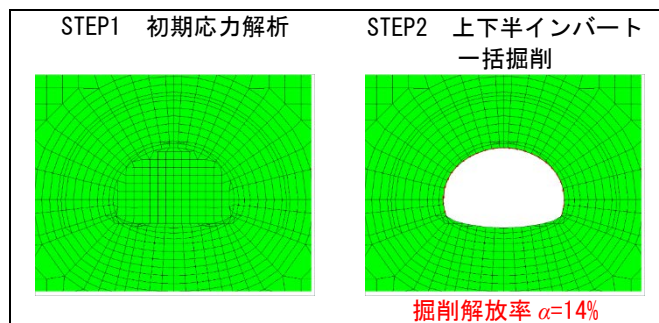


図 3：解析ステップ

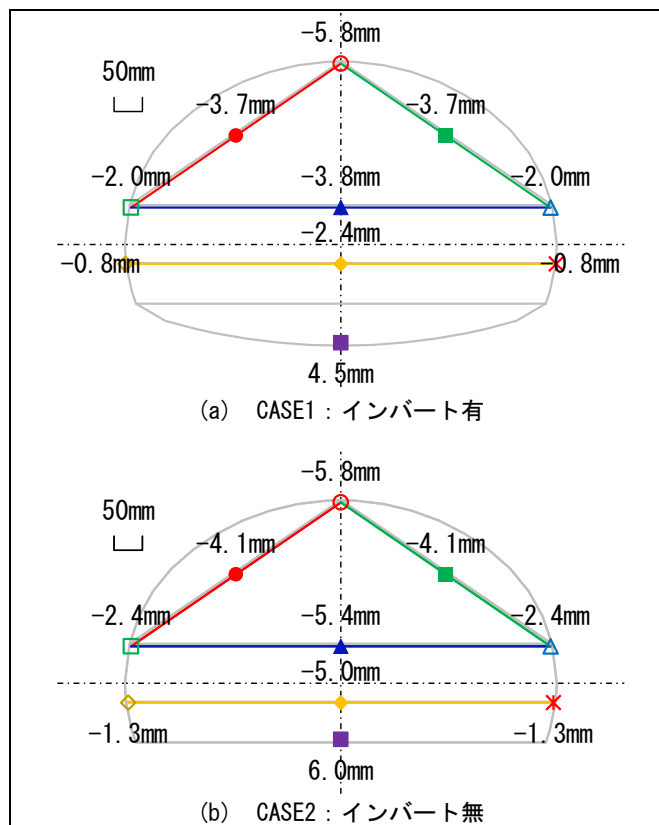


図 4：壁面変位

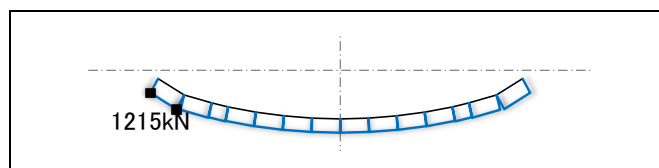


図 5：インバート軸力図

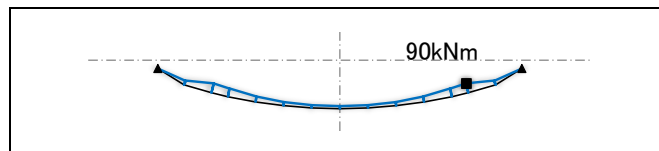


図 6：インバート曲げモーメント図