

ひび割れ幅に基づく変状トンネルの作用外力推定に関する数値解析手法

日本工営（株） 正会員 ○中野雅章
日本工営（株） 非会員 師 自海

1. はじめに

構造物の合理的な維持管理の実施には、その現況把握が重要である。特に、現況の変状を生じさせた作用外力を推定できれば、健全度評価、将来予測や対策工設計等を検討する上で有意義な情報となる。しかし、トンネル構造物では、覆工と背面の地山との相互作用が非常に複雑であること、現状を示す物理的指標は覆工に生じているひび割れ状況(位置、幅、深さ)に限られることから、作用外力を精度良く求めることは難しい。本稿では、この課題に対し、ひび割れ幅からそれを生じさせた作用外力を推定することを目的として、トンネル覆工と地山の相互作用に関する異なる2つの数値解析アプローチについて紹介し、実務で用いる上での留意点について述べる。

2. 対象構造物

本検討における対象は、断層破砕帯の存在に起因する偏圧作用により変状が生じた道路トンネルであり、図-1 に示すように右アーチ部にひび割れ幅 7mm の貫通ひび割れが認められた。断層破砕帯に沿って、3m以上の緩み領域が認められており、これに起因してひび割れが発生・進展したと考えられた。左アーチ部内面では圧壊が見られ、トンネル背面からも断面をほぼ貫通するひび割れが生じていることが推察された。

3. トンネル覆工と地山の相互作用に関する2つの数値解析手法

対象トンネルの変状を生じさせた作用外力の推定を行うべく、トンネル覆工のひび割れ解析におけるトンネル覆工と地山の相互作用に関する 2 つの数値解析手法を示す。

(1) 地盤バネモデル+インターフェイス要素を用いた非線形 FEM モデル

一般的にはトンネル構造物を地盤バネで支持するモデルが扱い易い。本検討における解析モデルでは、覆工のひび割れ部にインターフェイス要素を用い、同部にコンクリートの引張軟化特性を考慮し、道路橋示方書¹⁾に準じた地盤バネ係数を用いて支持条件を設定した。このとき、地盤バネの支持範囲を3ケース設け、その相違について確認した。本手法では、与えられた条件下で、現況のひび割れ幅に至るまで外力を増分することで、外力を推定することができる。図-2 に解析モデル、表-1～表-3 に解析物性値を示す。なお、解析では、汎用非線形解析コード DIANA²⁾ を用いた。解析結果（荷重-CMOD 関係および変形量-CMOD 関係）を図-3 に示す。推定された荷重は地盤バネの支持範囲によって大きく異なり、その影響が大きかったが、変形量はその影響が比較的小さいことがわかった。

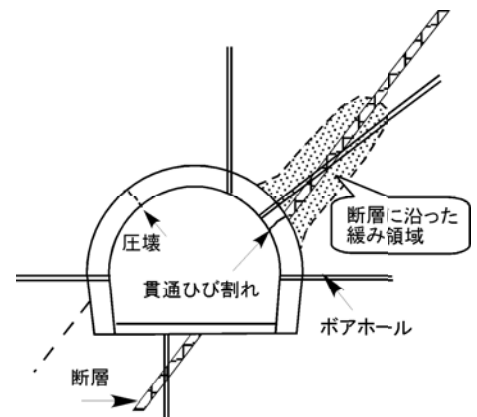


図-1 詳細調査に基づく対象トンネルの概要

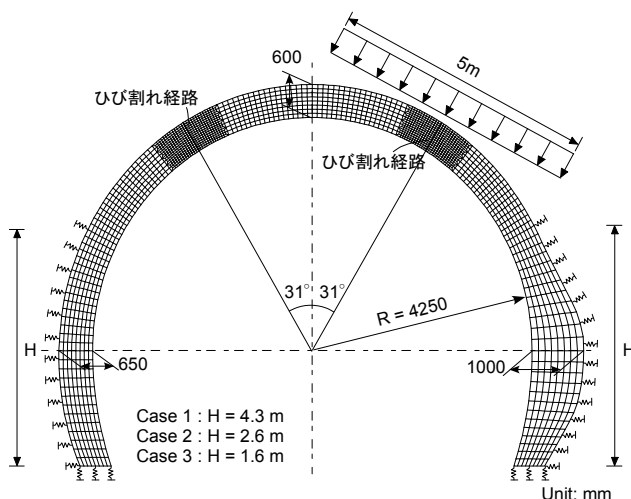


図-2 地盤バネを用いた解析モデル

表-1 トンネル覆工コンクリート物性値

弾性係数 (GPa)	ポアソン比	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	破壊エネルギー (N/mm)
22.0	0.2	18.0	1.6	0.1

表-2 地山物性值

等級	弾性係数 (GPa)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
CL級	0.2	22.6	0.3

表-3 地盤バネ係数

鉛直地盤反力係数 (N/mm ³)	水平地盤反力係数 (N/mm ³)	せん断地盤反力係数ksv (N/mm ³)	せん断地盤反力係数ksh (N/mm ³)
0.194	0.220	0.065	0.073

キーワード: 変状トンネル、離散ひび割れモデル、地盤バネ、相互作用

連絡先: 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 Tel.0298-71-2032 Fax.0298-71-2022

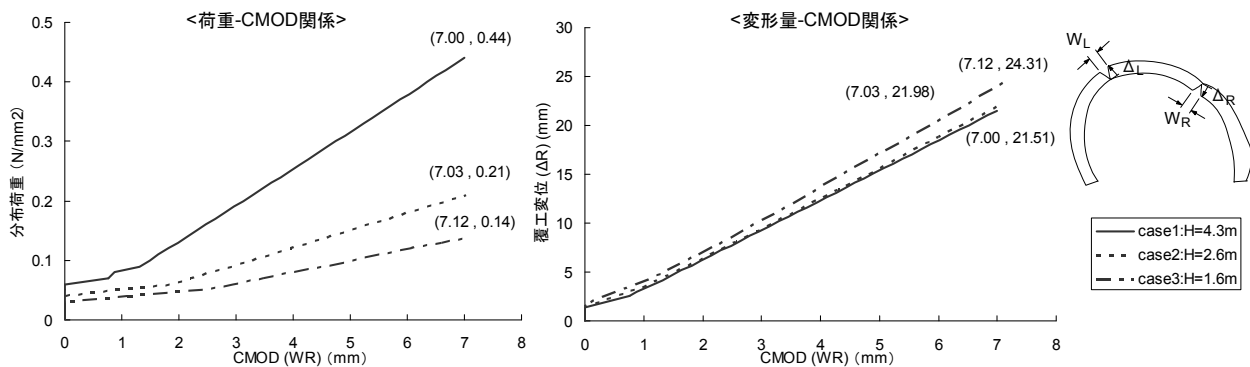


図-3 地盤バネモデルによる解析結果

(2) 仮想シェル地盤モデル+拡張離散ひび割れモデル

覆工に複数の貫通ひび割れが存在する場合、トンネル自体は周辺地山からの拘束が無ければ構造不安定となる。この地山の拘束効果を薄肉のシェル部材としてトンネル覆工の周囲にモデル化し、実構造で見られる大きな開口ひび割れを再現することを可能にするのが、仮想シェル地盤モデル³⁾である。本手法は、仮想シェル地盤モデルと拡張離散ひび割れモデル⁴⁾を組み合わせ、梁の曲げ理論に基づき、外力と曲げ剛性の比が一定であれば変形量も一定であることを用いて、ひび割れ開口幅と変形量を関連付けるものである。なお、シェル材料は鋼材相当を想定した。本手法では、まず仮想シェル地盤モデルと拡張離散ひび割れモデルを用いてトンネルのひび割れ発生状況(具体的には CMOD)を再現し、その時点の覆工の変形量を指標とした緩み土圧計算を行う2段階式のアプローチにより作用外力を推定する。解析モデルを図-4に、図-5にひび割れ状況の再現結果を示す。ひび割れ状況の再現結果から得られた覆工変位 28.3 mm を目標に緩み土圧モデルに基づき推定した外力について図-6に示す。なお、ここで得られた緩み高さは詳細調査結果と整合した。

4. まとめ

トンネル覆工と地山の相互作用について、2つの異なる数値解析手法を適用し、トンネル覆工に生じたひび割れ状況から作用外力を推定した。仮想シェル地盤モデルを用いた2段階式のアプローチでは、現況のひび割れ状況を再現することで、覆工の変形量に関する唯一解が求められるため、それを指標とすれば外力は容易に推定できる。一方、地盤バネモデルを用いて直接外力を求める手法はその支持範囲が求める解に与える影響が大きいため、実務上ではその妥当性検証が重要となる。しかし、地盤バネモデルを用いる場合にも、ひび割れ状況の再現で得られる覆工の変形量から緩み土圧を求める2段階式アプローチにより上記の課題は解決できるものと思われる。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会、:道路橋示方書・同解説(平成14年3月)
- 2) DIANA User's Manual, Release 9.3 (2008).
- 3) Shi, Z. (2009). Crack Analysis in Structural Concrete—Theory and Applications. Elsevier.
- 4) Shi, Z., Ohtsu, M., Suzuki, M., and Hibino, Y. (2001). "Numerical analysis of multiple cracks in concrete using the discrete approach." J. Structural Engineering, 127(9), 1085- 1091.

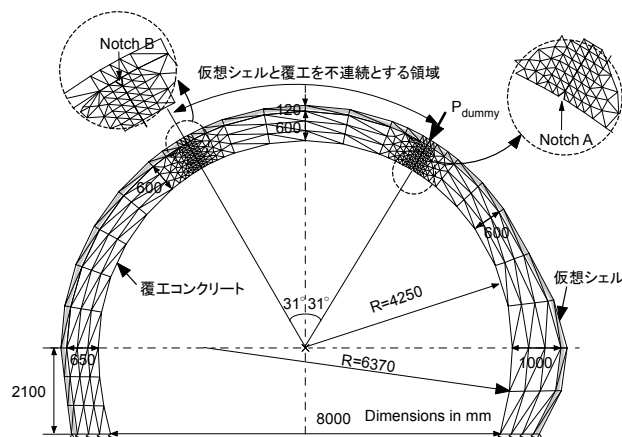


図-4 仮想シェル地盤モデル

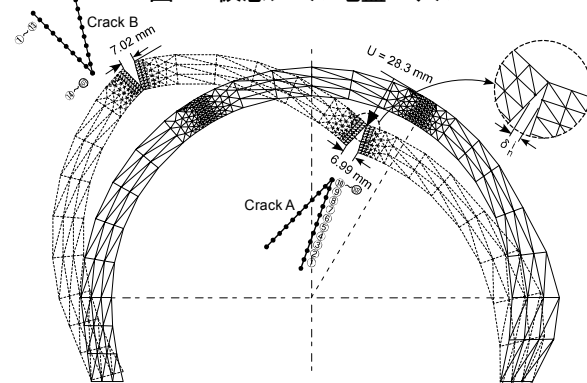


図-5 ひび割れ状況の再現解析結果

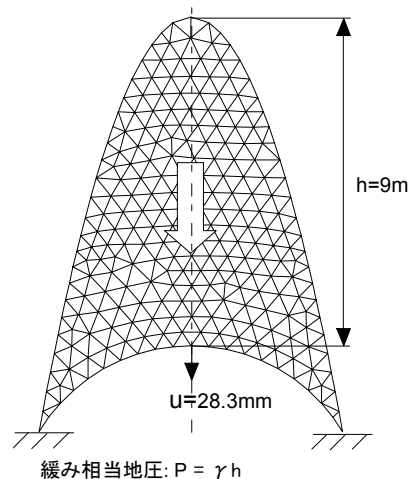


図-6 緩み土圧モデルに基づく地圧評価