

長年月経過した道路トンネル拡幅における周辺への影響の評価に関する研究

九州大学工学部 学生会員 ○落河崇征 正会員 江崎哲郎
正会員 蔣 宇静 学生会員 吉田昌史

1. はじめに

最近では、供用年数の長い道路トンネルは、老朽化による構造的機能の低下や、現在の交通事情に対する社会的機能の低下が生じてきており、今後このようなトンネルは更に増加することが予測される。統計によれば、1995年4月現在、約7500ヶ所で供用総延長が約2200kmに及び、特に高速道路と一般国道における延長の伸びが目立つ。そのうち供用年数が30年以上を経たトンネルが多く存在し、変状が著しく発生したため通常の供用ができなくなり補修を余儀なくされる事例もある。図-1に変状別項目度数分布を示す。一方で、増加する交通量への対策として交通の円滑化を図るために車線の増加が求められる場合には、環境への配慮による新設トンネルの立地場所の制限から、既存のトンネル空間の利用が望ましくなる。従って、車線の増加のためにはトンネルの拡幅が行われる。拡幅においては工事による交通機能の低下を最小限に抑えるために供用を継続しながらの工事が要求される。

本研究では、建設後長年月経過した道路トンネルの拡幅における周辺への影響の評価と、供用しながら施工を行うための合理的施工技術について検討する。

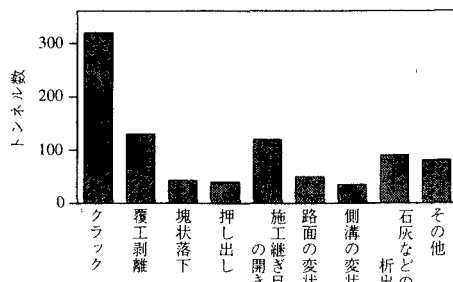
図-1 変状項目別度数分布¹⁾

表-1 解析ケース

Case	パイプルーフ工	施工方法	地山材料の挙動
A	有	拡幅	ひずみ軟化
B-1	無	拡幅	ひずみ軟化
B-2	無	拡幅	完全弾塑性
B-3	無	大断面掘削	ひずみ軟化

2. 施工過程の解析アプローチ

従来の2車線トンネルから3車線トンネルへと拡幅する場合の周辺地山の安定性を施工手順を考慮した解析により評価する。解析方法は、地山材料破壊後の力学的挙動も追跡できる大変形差分解析法を用いる²⁾。

地山モデルは、Mohr-Coulombの破壊規準に従い、ピーク後はひずみ軟化挙動を呈する軟岩とする。残留強度はピーク強度の50%、塑性流動に達するときの塑性ひずみは5%とする。地山の物性値は日本道路公団の分類規準に従いD1クラスとし、ヤング率80MPa、ポアソン比0.3、単位体積重量21kN/m³、粘着力0.3MPa、内部摩擦角35°、ダイレイション角10°と設定する。土被りは60mとするため地山強度比（地山の軸圧縮強度と初期地山応力の比）は、1.2となる。

解析における拡幅の手順は、既設トンネルの状況（高さ9m、幅11m）を再現した後、天盤部へのパイプルーフ工（外径508mm、内径498mm、上半下半の境界より上に29本）および拡幅を行わない車線側へのロックボルト（SD295-D29）の設置、上半部拡幅、下半部拡幅の順（CaseA）で行う。ここで上半部と下半部の境界は、車両の通行を妨げずに効率良い施工が可能な高さとする。支保工に関しては、大断面トンネルにおける支保パターンを参考に、延長方向1.0m間隔に鋼製支保工（H-200）の打設を考慮した吹付けコンクリート、ロックボルト、二次覆工を設置する。また、パイプルーフ工を用いない場合の解析（CaseB-1）も行う。さらに、CaseB-1において地山材料が完全弾塑性挙動を示すと仮定した解析、および拡幅後の断面と同じ大きさ（高さ11m、幅17m）の大断面トンネルの解析も合わせて実施する。解析ケースを表-1に示す。

3. 拡幅に伴う地山挙動の比較と考察

CaseAの各施工段階における周辺地山に生じた塑性領域を図-2に示す。トンネルの変形挙動について、拡幅におけるトンネル天盤と底盤の接近量（上下盤接近量）、側壁の接近量を表-2に示す。

CaseAでは、塑性領域はトンネルの脚部に生じているが、内空変位は上下方向に大きく現れている。これは拡幅後の断面が扁平となるためと考えられる。

CaseAとCaseB-1を比較すると上下方向の変位抑制量は、わずか6mmであり、パイプルーフ工の効果はあまり見られないことがわかる。

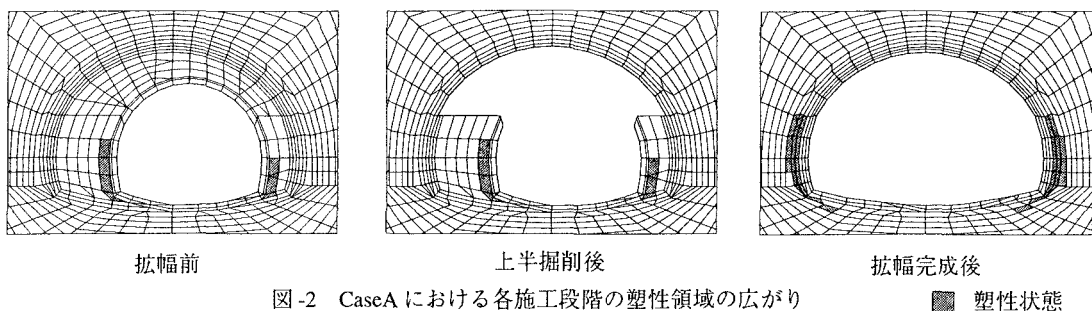


図-2 CaseA における各施工段階の塑性領域の広がり

地山の挙動モデルによる違いを考察するために、CaseB-1 と CaseB-2 を比較すると、後者は、前者に対する上下方向の接近量は変わらないが、側壁の接近量は約50%であり、塑性領域が生じた側壁部の挙動に違いがあることがわかる。

CaseB-1, CaseB-3の施工後における周辺地山の塑性領域を図-3、図-4に例示する。CaseB-1はCaseB-3に比べて上部まで塑性領域が発生し全体の広がり大きい。これは、拡幅が既設トンネル周辺の地山が塑性化している状況で行われるためであると考えられる。したがって、拡幅を行う場合と、新規に大断面トンネルを建設する場合では、応力履歴が異なるために掘削による周辺地山の挙動が同じではないと言える。

周辺への影響を考察するために、トンネルのスプリングラインにおける側壁からの垂直応力分布を図-5に示す。CaseB-1はCaseB-2に比べて、ピークが高くその位置は壁面から離れている。またCaseB-1はCaseB-3に比べて、ピークはやや低くその位置は壁面から離れて生じ、より遠くまで影響を及ぼす。つまり、拡幅を行う場合は、大断面を新設する場合に比べ広範囲に影響を及ぼすことが考えられる。

4. おわりに

本研究では、供用しながらの既設トンネルの拡幅による周辺地山の挙動を、施工手順と地山材料の適切なモデル化を考慮した解析により検討し以下のことが明らかになった。

(1) バイブルーフ工は大きな効果がみられなかった。しかし、実際には地山中に断層がある場合やトンネルが偏圧を受ける場合などではさらに検討が必要である。

(2) 地山材料が完全弾塑性挙動を示す場合と、ひずみ軟化挙動を呈する場合とでは、塑性領域や内空変位、地山の応力状態が異なる。

(3) 既存トンネルの拡幅と新規の大断面トンネルの比較では、地山の挙動と影響範囲に違いがみられたため、施工手順を忠実に再現した解析により拡幅による周辺への影響を評価する必要がある。

参考文献

- 1) JTA保守管理委員会:建設・保守管理へのフィードバック(1), トンネルと地下, pp.69-78, 1998.5.
- 2) ITASCA CONSULTING GROUP,INC.:FLAC3D User's Manual,1997.

表-2 拡幅におけるトンネルの変形挙動

Case	上下盤接近量 (mm)	側壁接近量 (mm)
A	91.8	14.1
B-1	97.8	16.6
B-2	96.1	7.8

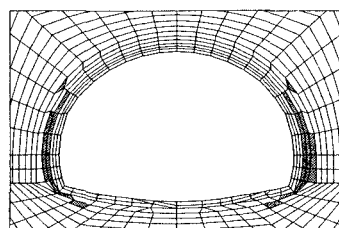


図-3 拡幅後の塑性領域 (CaseB-1)

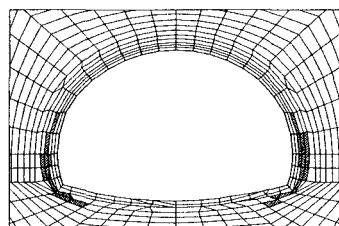


図-4 新設トンネルの塑性領域 (CaseB-3)

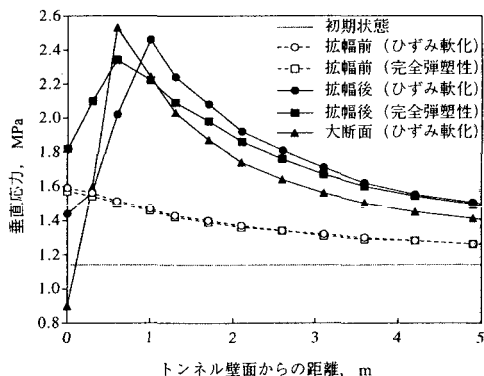


図-5 周辺地山の垂直応力分布