

地山劣化を考慮した2次元数値解析による盤ぶくれの将来予測

中日本高速道路（株） 正会員 田尻丈晴 重田恭兵
 パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 ○前田洸樹 重田佳幸

1. はじめに

安房峠道路安房トンネルでは、本坑、避難坑、水抜き坑等について点検、調査、補修補強等の維持管理について、維持管理マニュアル策定が進められている。そのうち、避難坑では、写真-1のような盤ぶくれ現象がみられ、これまでに路盤の一部掘削及び鋼製グレーチング設置の対策（写真-2）が実施された。当



写真-1 側溝の変状



写真-2 鋼製グレーチング

箇所では平成25年から令和3年にかけて8年で4mmの天端沈下の進行もみられた。今後さらに変位が進行すると想定され、進行度合いによっては盤ぶくれ対策を実施する必要がある。

このような盤ぶくれ現象に対し、安房トンネル維持管理マニュアル策定の基礎資料とするため、2次元数値解析により対策工の実施時期や対策効果の検討を行った。本報告では、地山劣化を考慮した数値解析による将来予測の手法や評価方法について述べる。

2. 安房トンネル避難坑と盤ぶくれ現象の概要

避難坑の諸元は表-1の通りであり、盤ぶくれ区間はNATMで施工されている。この区間は、アカンダナ火山噴出物層の低速度帯に位置しており、平成24年に路盤隆起約100mm、天端沈下1.4mm、令和4年に路盤隆起約150mm、天端沈下5.2mmが確認されている。

3. 解析条件

解析は地山劣化を考慮するため有限差分法（FLAC 3D）を用いた。図-1に解析フローを示す。

(1) 施工時再現解析: 掘削過程を考慮し施工時A計測結果（天端沈下、内空変位）の再現解析を行い、地山物性値を算出する。

(2) 路盤隆起の再現解析: 地山劣化を考慮するため図-2に示す劣化領域の変形係数及び強度定数を種々低下させ、トライアル計算により上記2時期の路盤隆起及び天端沈下を再現する解析を行う。なお、劣化領域は路盤隆起と天端沈下を対象としていることから、トンネル上方、下方を劣化領域とし、劣化幅はトライアルにより設定した。

(3) 将来予測解析: 対策工施工時期を決定するため、供用時をゼロとして平成24年及び令和4年の計3点について供用後日数と路盤隆起量を指数関数で回帰した劣化カーブを算出する。その後、地山劣化を考慮した将来予測解析を実施し、設計基準強度の75%（ $=13.5 \text{ N/mm}^2$ ）到達時の路盤隆起量が発生する日時を、対策工実施時期とする。

表-1 避難坑（盤ぶくれ区間）の諸元

施工方法	NATM
供用年	平成9年
地山分類	D II
覆工設計基準強度	18 N/mm ²

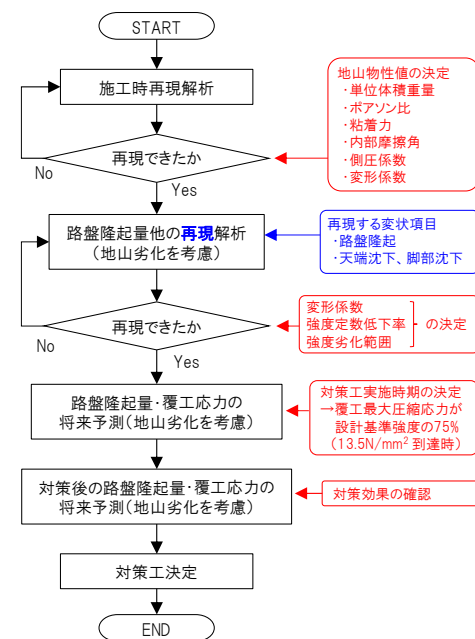
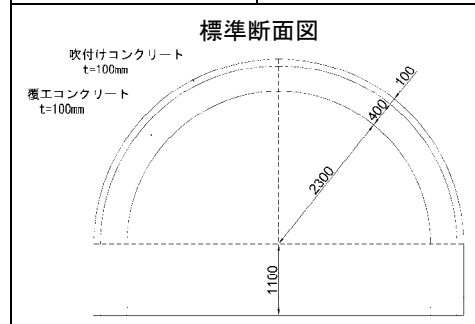


図-1 解析フロー

キーワード 安房トンネル, 山岳トンネル, 維持管理, 盤ぶくれ, 補強対策

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地 TEL03-6777-4763

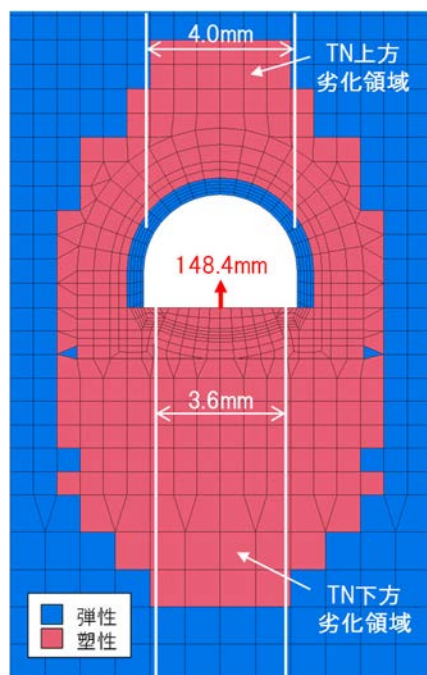


図-2 劣化領域 (変状再現時②-2)

表-2 解析ステップにおける地山物性値, 路盤隆起量及び覆工最大圧縮応力

解析ステップ	経過日数 (日)	トンネル下方 地山物性値			路盤 隆起量 (mm)	覆工最大 圧縮応力 (mm)
		変形係数 (N/mm ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (deg)		
① 供用開始時	0	1,500	300	30.0	0.0	0.0
②-1 変状再現(H24年隆起量再現)	5,400	435	87	27.0	100.1	-8.7
②-2 変状再現(R4年隆起量再現)	8,842	410	82	26.0	148.4	-11.1
③-1 将来予測(-13.5N/mm ² 到達時)	13,500	400	80	25.0	199.4	-13.9
③-2 将来予測(圧縮強度到達時)	24,400	395	79	23.6	274.4	-18.0
③-3 将来予測(変位収束時)	—	388	78	22.4	353.3	-21.0
④ 対策効果確認(変位収束時)	—	388	78	22.4	—	-14.5

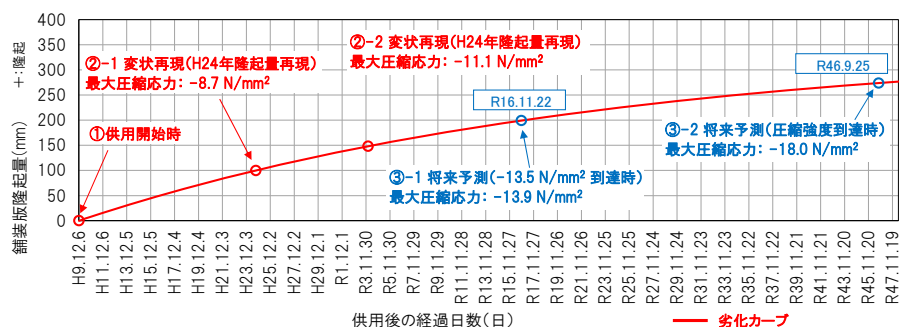


図-3 供用後経過日数と路盤隆起量の関係 (劣化カーブ)

(4) 対策効果確認:劣化カーブより求めた路盤隆起の収束値を再現する地山物性値を算出した後, ③-1 将来予測 (対策工施工時) の解析終了後に対策工 (インバート) を設置して, 路盤隆起の収束値を再現した地山物性値で解析し, インバート設置による対策効果を確認する。

4. 解析結果

表-2 に解析ステップにおける地山物性値, 路盤隆起量及び覆工最大圧縮応力を示す。変状再現解析 (②-1, ②-2) により平成 24 年及び令和 4 年の路盤隆起量を再現し, 図-3 のように劣化カーブを算出できた。また, 将来予測解析 (③-1) により, 覆工応力が -13.5 N/mm^2 に到達する対策工施工時期を令和 16 年 11 月と算定でき, 路盤隆起量 199.4 mm が盤ぶくれに対する対策工施工時期の目安となる。さらに, 将来予測解析 (③-3) により, 路盤隆起量の収束値 353.3 mm を予測できた。

一方, 変位収束時の将来予測解析 (③-3) では, 覆工応力が -21.0 N/mm^2 となるため, トンネル構造の不安定化が懸念される。それに対し, 将来予測解析 (③-1) 終了後に, 対策工 (インバート) を設置し変位収束時の地山物性値まで地山を劣化させた対策効果確認解析 (④) を行った結果, 覆工の発生応力 (供用時からの累積応力) は, 図-4 d)に示すように -14.5 N/mm^2 となった。この結果より, 発生応力が設計基準強度内であることからインバート設置により対策効果を確認することができた。

5. まとめ

本検討により, 地山劣化を考慮した 2 次元数値解析により盤ぶくれの将来予測を行い, 対策施工時期の決定及び対策効果の確認をすることで, 安房トンネル維持管理マニュアル策定の基礎資料を得ることができた。今後, 計測結果から定期的に将来予測を見直したうえで対策実施の可否を検討していくことが望ましい。

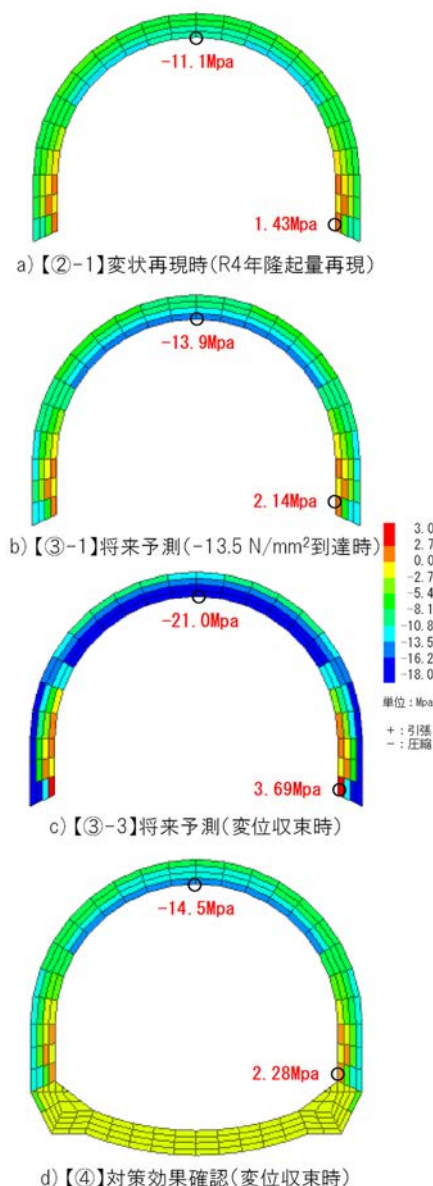


図-4 覆工応力コンタ