

## 地下構造物延命化のための補修・補強工事例とひび割れを考慮した解析手法

日本工営株式会社中央研究所 ○正会員 桜井達朗  
 (株)建設企画コンサルタント 正会員 廣瀬末雄  
 日本工営株式会社中央研究所 正会員 太田資郎

### 1. はじめに

地下構造物の劣化・変状原因は、地下水、構造物の劣化、正確な地山条件の把握の困難さによるものが多い。構造物の変状等による機能上の問題により、交通等の安全確保に支障が生じ、機能確保のための維持修繕は厳しい条件下で難工事を強いられることが多く、迅速かつ適切な対応が迫られている。鉄道トンネルにおいては、山陽新幹線福岡トンネル、北九州トンネル等の事故を契機に新しい保守管理マニュアルをまとめている<sup>1)</sup>。

### 2. 地下構造物の延命化のための補修・補強工事例

対策工法の選定は、変状の原因を正確に把握したうえ、対策の効果、施工性、安全性、経済性および施工の時期の検討が必要となる。対策工法の選定にあたって最も重要なポイントは、異常時の応急措置を除けば、その変状原因を性格に把握することである。供用中のトンネル覆工に生じる変状は、外的要因としてトンネル周辺の地形・地質条件があり、内的要因としてトンネル構造（断面形状、覆工巻厚、覆工材料、インバートの有無）が密接に関連しあって多様な変状現象として現れている。また、施工段階でのひび割れや覆工背面の空洞などの設計・施工の不適合に起因している場合も多い。主な変状に対する対策工法の事例を以下に整理した。

#### (1) 地下水に対する耐久性の向上

上野駅周辺では、予想外に回復した地下水が当初の構造物設計時に想定した地下水位を超え、トンネル内への漏水とそれに伴う構造物の劣化、地下水圧により構造物の安全率の低下を引き起こすためカウンターウエイトを施工した<sup>2)</sup>。東京地下駅は、地下水上昇対策として永久グランドアンカーを施工している<sup>3)</sup>。

#### (2) 構造物の劣化に対する耐久性の向上

海底トンネルの東京湾横断道路（アクアライン）は、30年間のライフサイクルコストの試算から、シールド工法に併用して一次覆工と二次覆工の間に防水シートを設置して覆工の劣化を防止している<sup>4)</sup>。

#### (3) 地山条件の変化に対する耐久性の向上

NATMで施工された比較的新しいトンネルにおいて、トンネルの安定を図る目的で、インバートを設置して覆工と一体化を図る対策工を実施している。

#### (4) 地圧に対する耐久性の向上

神居トンネルでは、塑性地圧により内空断面の縮小およびインバートの隆起が生じ、グランドアンカーとロックボルトにより変状を抑止している（図-1）<sup>5)</sup>。

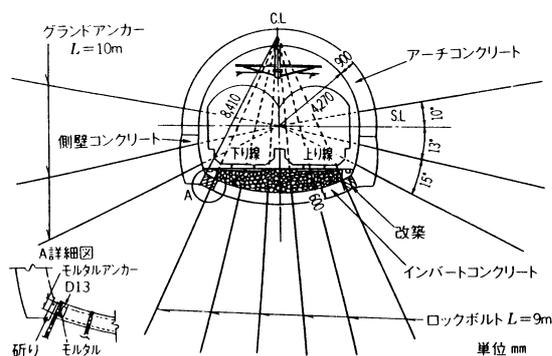


図-1 神居トンネル対策工の概要<sup>5)</sup>

### 3. 地下構造物の延命化のためのひび割れを考慮した解析手法

これらの補修・補強事例を踏まえ、今後、地下構造物の延命化を図るには、より定量的な健全度診断技術の確立が必要である。その方法として、ひび割れの進展に伴うコンクリートの破壊現象をシミュレートできる数

キーワード：地下構造物、維持管理、延命化、健全度診断、ひび割れ解析

日本工営株式会社中央研究所（茨城県稲敷郡茎崎町稻荷原 2304、TEL 0298-71-2033、FAX 0298-71-2022）

値解析手法の適用が考えられる。

例として、変状のある水路トンネルの既設覆工の残存耐力及び改修対策後の補強効果について検討したものを以下に示す。

### (1) 検討ケース

アーチ背面に空洞があり、塑性圧のように側圧が大きく、側壁に縦断方向の開口ひび割れ（ひび割れ開口幅1mm）が生じている変状を想定し、現況及び対策後の終局覆工耐力を求める。検討ケースは、現況、対策（空洞充填、空洞充填後+ロックボルト補強工、空洞充填後+内巻工）及び建設当初から空洞がない場合について設定する。

### (2) 解析条件

既設トンネル構造は、径3m、覆工厚30cmの馬蹄形とし、覆工コンクリートの圧縮強度は25MPa、引張強度は2.1MPa、弾性係数は26GPaで、地山は軟岩相当とし変形係数500MPaとする。内巻工は、既設覆工コンクリートを残置し、その内側に新たにコンクリート（圧縮強度=30MPa、引張強度=2.5MPa、弾性係数=29.0GPa）を10cm打ち足す。ロックボルト補強工は、径D25、長さ2.5mのロックボルトを周方向間隔1.2m（断面方向6本）、延長方向間隔1.0mに打設する。

### (3) 解析結果

解析結果を図-2に示す。現況の変状に対し、空洞充填を行なうと終局覆工耐力は134kPaになり、現況断面の終局覆工耐力79kPaに比べ、2倍程度の覆工耐力の増強となる。これは、建設当初から空洞がない場合の終局覆工耐力148kPaとほぼ同等の値となっていることから、空洞充填を行なうことで、当初の構造設計上の覆工耐力までに回復できることを示している。次に、空洞充填後ひび割れが進展した時点で、内巻工及びロックボルト補強工を実施すると、内巻工での終局覆工耐力は237kPa、ロックボルト補強工での終局覆工耐力は461kPaとなり、現況断面の終局覆工耐力79kPaに比べ、それぞれ3倍、6倍程度の増強効果がある。これは、既設覆工コンクリートに十分な残存耐力を有していれば、空洞充填後にひび割れの進行性を監視した上で対策工を実施しても、かなりの補強効果があることを示している。

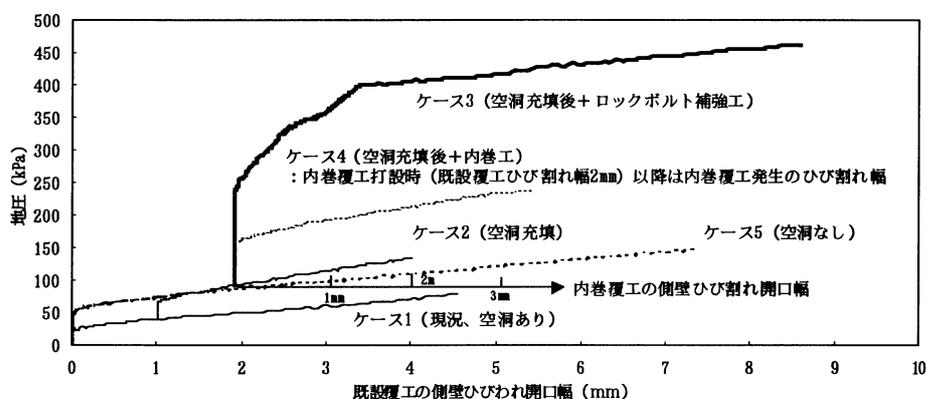


図-2 側壁ひび割れ開口幅と地圧の関係

## 4. おわりに

ここで示した解析手法を用いることにより、トンネル覆工に対する定量的な健全度診断は可能となると考える。このように、地下構造物の延命化を達成させるには、定量的な健全度診断技術に関する研究が必要であり、さらに、対策工の実施時期計画を含めた地下構造物のライフサイクルを考慮した、より合理的な補修・補強対策工の選定等に関する研究を実施し適用していくことが重要であると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) トンネル保守マニュアル（案），（財）鉄道総合研究所，2000.5
- 2) 特集，地下水トラブルを防げ，日経コンストラクション，1996.8.9
- 3) 倉澤徳男他：東京地下駅の地下水上昇対策，トンネルと地下，2000.10
- 4) 東京湾をつないだ男たち第三話，日経コンストラクション，1997.7.25
- 5) 高木敏雄：営業線トンネルの変状と対策，JR北海道函館線神居トンネル，トンネルと地下，1997.11