

山岳トンネルの地表面沈下対策の現状と施工上の課題に関する一考察

前田建設工業(株)	正会員	○森田 篤
大成建設(株)	正会員	小池 真史
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	清水 雅之
(株)鴻池組	正会員	山田 浩幸
長崎大学	正会員	蔣 宇静

1. はじめに

近年、都市部での利便性、機能向上の観点から大断面のトンネルを厳しい条件下（構造物などの直下または近傍部、小土被り、脆弱地山など）で山岳トンネル工法により掘削する事例が多くなってきている。施工においては、トンネル掘削に伴う地表面沈下の発生に対して適切な対策工を行うことが重要となってきた。このような背景を踏まえ、土木学会では「トンネル工学委員会、技術小委員会、山岳トンネルの地表面沈下検討会：部会長 長崎大学 蔣教授」を設置し、地表面沈下の予測評価と合理的対策工の提案を目的として活動を行っている。この部会の対策WGでは、地表面沈下対策の分類・選定・評価についてとりまとめを進めており、本報告ではこの内容の一部を紹介する。

2. 地表面沈下対策の現状

近年の地表面沈下対策の現状を把握するために表-1に示す文献をもとに事例を調査した。その中で何らかの理由で地表面沈下対策が実施されている事例を対象として、対策工の現状を整理した結果を以下に示す。

表-1 事例調査文献一覧

文 献 名	発 行	調 査 期 間
施工体験発表会	(社)日本トンネル技術協会	1993～2009年
トンネル工学論文集、報告集	(社)土木学会	1994～2009年
トンネルと地下	(株)土木工学社	1994～2009年
土木技術	(株)土木技術社	1997～2009年
土木施工	(株)山海堂	1997～2009年

(1) 対策工が実施される環境

地表面沈下対策が実施される土被りは20m以下の場合が多く、全体の約77%を占めている。一般に、小土被りでは地質が脆弱なため、グラウンドアーチの形成が不十分となることが想定され、トンネル掘削に伴う地表構造物への影響が懸念されるためと考えられる。地山の硬さでは変形係数が50MPa以下の場合が約73%を占めるが、地上の構造物の種類や土被り等によっては変形係数50MPa以上であっても対策が実施される場合も約4%ある。

対象構造物はさまざまであるが民家、道路が最も多い。特に民家を対象とする場合には先受け工、鏡面補強および脚部補強を組み合わせより慎重な対策を講じる例が多い(図-1)。

(2) 対策工の傾向

対策工の種類としては先受け工が採用される事例が多く、調査対象の約94%を占めている。これは、天端の安定確保や天端沈下抑制が直接的な地表面沈下対策であるためと考えられる。ただし、先受け工を単独

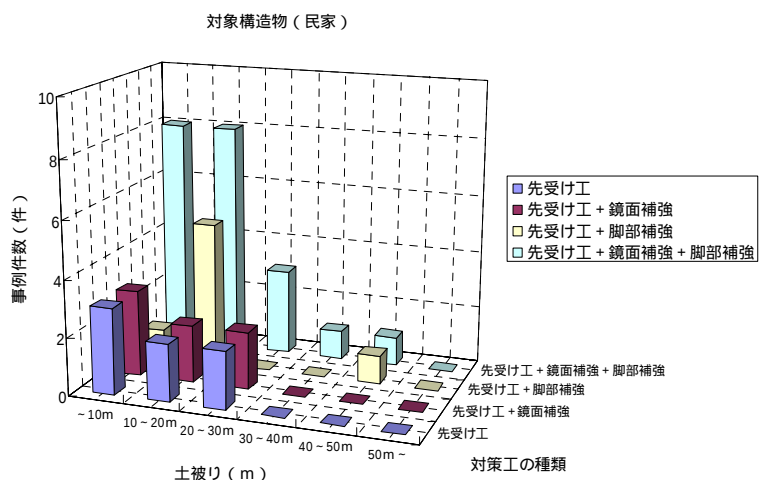


図-1 対策工の組み合わせ

キーワード 山岳トンネル、地表面沈下、近接施工、対策工選定

連絡先 〒107-8151 東京都千代田区富士見 2-10-26 前田建設工業(株)土木部トンネルグループ TEL03-5276-9471

で採用する事例は少なく、鏡面補強や脚部補強などを併用する場合が多い。組み合わせとしては先受け工、鏡面補強、脚部補強のすべてを組み合わせる事例が最も多い。これらのことから、地表面沈下対策では天端の安定のみでなく、鏡面の安定確保や地耐力確保の対策が重要であるといえる。

先受け工はL=6.0m以上(パイプルーフを除く)のフォアパイリングがおおよそ半数を占める。鏡面の補強対策としては鏡吹付け、鏡ボルトが挙げられ、近年では、長尺鏡ボルトの採用事例が増加している。長尺先受け工や長尺鏡ボルトは先行変位を抑制する観点において効果的な対策と考えられる。

脚部補強としては脚部ボルトや脚部パイルが約44%、仮インバートが約30%あり、ウイングリブ付きの鋼製支保工の採用事例も多い。なお、補助ベンチ付き全断面掘削工法において仮インバートにより早期閉合する場合にはほとんど鏡ボルトが併用されている。これは仮インバートで早期閉合する際、切羽解放面積が大きくなるため、鏡面の不安定化を抑制する対策(安全対策)として適用されるものと考えられる。

2. 地表面沈下対策工の検討における課題

地表面沈下対策工を選定する上で関係する要因にはさまざまな側面があり(表-2)、これらは相互に関係し合う。合理的な対策工を選定する上では、規制や施工上の制約などの条件を整理した上で費用対効果も考慮しながら検討することとなる。

前述の調査結果のように、地表面沈下対策は複数の工法を組み合わせで用いられることが多く、対策工の選定においては、地表面沈下発生要因毎に、その要因を抑制す

るための効果的な対策を検討することになる。そのためには対策工を分類し、各工法に期待できる効果がある程度定量的に評価することが望まれる。対策工の効果は、類似条件の施工実績を収集・整理して参考にすると、事前の地質調査結果にもとづいた数値解析を用いて予測する方法もある。数値解析の実用性、有用性は過去の検討実績で裏づけされているものの、設計への適用には留意すべき点や課題が多い。事前に得られる地山情報の限界、対象地山における効果発現の不確実性を考慮すると、事前に最適な対策工を設計することは難しい。

したがって、より合理的な対策工を選定するためには施工開始後の新たな情報反映、効果の確認および計測結果のフィードバックといった段階的な検討が必要であると考えられる。検討段階としては、事前情報にもとづいて検討する段階、施工開始時のより詳細な最新情報を盛り込んで検討する段階、施工状況をフィードバックして検討する段階に加え、将来の施工・工事のために実績を評価・整理する段階が考えられる。

3. おわりに

文献調査の結果によると、地表面沈下対策工は環境条件や対策効果に応じて、複数の工法を組み合わせで用いられることや、長尺の先受け・鏡補強ボルトや早期閉合のように近年効果が確認されて実施例が増加している工法のトレンドなどがある。また、対策工の検討においては関係する要因が多岐にわたり、検討条件や対策効果の不確実性から段階的な検討が必要になる。このような背景を受け、地表面沈下対策部会の対策WGでは合理的な地表面沈下対策を選定するための検討フローを盛り込んだ、実務者に有用となるライブラリーの作成を目ざして検討を進めている。

表-2 対策工選定に関わる主な要因

側面	主な要因
規制	近接構造物、許容沈下量
地山条件	地形、土被り、地山特性、地下水等
施工上の制約	用地、アクセス
発生原因	地山の緩み、地耐力不足、地下水、圧密
工法、手法	補助工法(天端安定対策、脚部沈下対策、鏡面安定対策)、掘削工法(加背割、早期閉合)
対策工の効果	地山への適用性、計測管理
設計手法	数値解析、類似条件の実績、計測値結果の反映
経済性	工費、工期