

## 都市部トンネル施工における長尺先受け工補強効果の解析的評価

長崎大学工学部 フェロー 棚橋 由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静  
 飛鳥建設（株） 正会員 佐々木 郁夫 長崎大学大学院 学生員 大隈 周史  
 長崎大学工学部 学生員 〇川田 晶仁

### 1. はじめに

都市部など土被りが小さい場所では未固結地山や、地下水の影響もあり切羽の自立性や地山の強度不足により、トンネル施工が困難な場合がある。さらに地表の建物や地下埋設物に悪影響を与えないよう地表沈下を抑制しなければならないこともある。こうした非常に厳しい条件下で、周辺に及ぼす環境影響を最小限に抑制するために、最近では補助工法を活用して解決している施工事例が多くなっている。各種補助工法のうち、土被りの小さい都市部等でのトンネル掘削に採用されている長尺先受け工は、地山の先行変位の抑止、地山のゆるみ防止、施工の安全性確保などを目的として多用されているが、補助工法としての評価は高いもののその補強メカニズムは未だ説明されていない。

本研究は土被りが小さい未固結地山における都市部トンネルの掘削に伴う周辺地山の力学的挙動及び環境影響を的確に把握・評価するために三次元掘削解析モデリングを行い、様々なケーススタディにより長尺先受け工の変位抑制効果を評価し、都市部トンネルの合理的設計法の確立を目指す。

### 2. 施工事例の補助工法による分類

過去に、山岳工法により施工された都市部トンネルにおいて補助工法の併用件数についてまとめたものを図-1に示す。対象工事データは77件である。そこで各補助工法を A)先受け工、B)鏡面・脚部の補強、C)湧水対策・地山補強に分類したところ、AとBを併用した工事件数が最も多く、これは、先受け工が受ける先行荷重について、脚部補強工などにより支持力を確保し対応したものが大半であるためと考える。

### 3. 解析モデルおよび解析ケース

本解析に用いたモデルを図-2に示す。本研究では低土被りでの施工を想定し、土被り(H)10m、変形係数(E)150MPa、地山強度比( $Srp$ )1、2として解析を行った。また、先受け工のラップ長の違いによる補強効果、先受け工とインバートを併用した場合の効果を評価できるよう解析ケースを決定した。

### 4. 解析結果と考察

#### 4.1 ラップ長の変化による沈下抑制効果

図-3(a)、(b)に各地山強度比におけるラップ長の変化による天端沈下( $u$ )の解析結果を示す。なお、図中のL4とL7はラップ長の4mと7mを表している。図-3(a)より、現場データと比較すると、現場での地山挙動を適切に表現していると考えられる。このことから、解析モデルの妥当性が検証できたといえる。次に、ラップ長7mのケースに着目すると、切羽後方において安定した沈下抑制効果を発揮している。それに対して、4mの場合では波を打ったようなグラフになっている。これは、先受け工のラップ区間とそうでない区間において、変位の大きい切羽付近でラップ区間が荷重を支え、そうでない区間では支える荷重が減少するためと考えられる。また、先受け工の両ケース共切羽後方へ向かうにつれ沈下抑制効果は減少しており、先受け工は切羽後方では最終的に沈下抑制効果が期待できないと考えられ、切羽通過後の早い時期に先受け工で受けた荷重をトンネル全体で支保することで、収束時の全体沈下量を小さくできると考えられる。次に、図-3

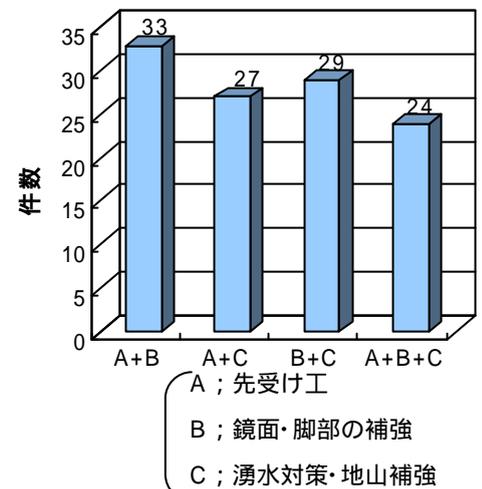


図-1 補助工法の併用件数

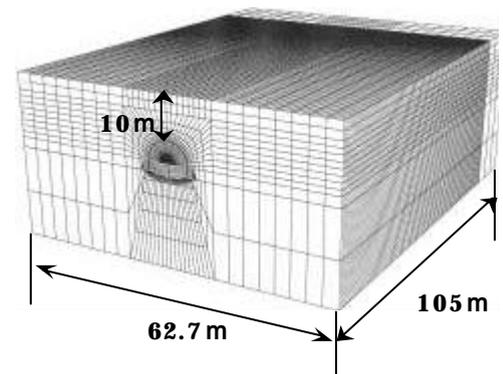


図-2 解析モデル図

(キーワード) 都市部トンネル、低土被り、長尺先受け工、三次元解析、地山挙動

(連絡先) 長崎大学工学部社会開発工学科 〒852-8521 長崎市文教町1番14号 095-819-2626

の(a)、(b)を比較すると、地山強度比の増加によって沈下抑制効果は減少していることが分かる。

これは地山強度比が大きくなることで地山自体のアーチ機構が沈下を抑制し、先受け工にかかる力が減少したためと考えられる。

4.2 インバートの有無による沈下抑制効果

図-4 にインバートの有無による解析結果を示す。図-4 より、先受け工のケースとインバートのケースに着目すると、切羽付近では先受け工のみの方が沈下抑制効果は大きいですが、切羽後方での最終沈下量に対してはインバートのみの場合の方が沈下抑制効果は大きいことが分かる。このことから、先受け工は切羽付近でその効果を発揮すると考えられる。次に、先受け工とインバートを併用したケースに着目すると、切羽後方でも抑制効果を保持した状態で推移しており、先受け工とインバートを併用することにより切羽付近の沈下抑制効果を切羽後方へ保持することができると考えられる。

5. 実現場への適用

図-5 は、天端沈下と上半脚部沈下および上半内空変位の測定結果を示したものである。No.4+50 付近までは天端沈下および上半脚部沈下が 5mm 以下、内空変位が 5~10mm 程度で推移していた。それ以降すべての測定項目で増加傾向を示し、No.3+20 付近まで天端沈下は 10mm 以内で推移しているが、上半脚部沈下及び内空変位は 15mm 程度まで増加傾向を示している。天端沈下が 10mm 以内で推移したことは、長尺鋼管先受け工による天端沈下抑制効果と考えられるが、その他の変位増加については一次支保後にトンネルがリング構造として機能していないため変位が増加したと考えられる。また、切羽通過後、長尺鋼管が受けた先行荷重を早い時期に支保する対策が最も効果的であることから、No.3+16 からインバート吹付けによる早期閉合を施し、施工過程において上半支保工建込み後、断面閉合までに脚部沈下を抑制することが収束時の変位量を少なくするとの判断より、No.2+78 から 1 基毎にサイドパイルを打設し、上半支保工を固定した。これにより、増加傾向にあった脚部沈下量と内空変位量は、No.3+21 から減少傾向に転じ、No.2+69 では共に 5mm 以内まで減少した。これは、早期閉合により切羽掘削後の変位が早期に収束した効果と、上半支保工建込み後にサイドパイルで固定することにより、長尺鋼管が受ける先行荷重を上半支保工から下半支保工へ、さらにインバート吹付け閉合までのスムーズな荷重分担と脚部沈下抑制効果によるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、まず、都市部トンネル施工において、用いられている補助工法の適用状況を考察した。また、施工過程を忠実に再現した三次元解析を実施することで、長尺先受け工の変位抑制効果を十分発揮することのできる適用条件を明らかにした。さらに、この結果に基づき採用された長尺先受け工の修正設計において、その現場計測結果から施工効果を確認することができた。

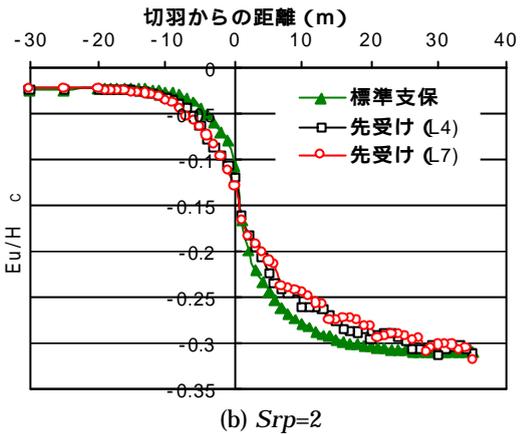
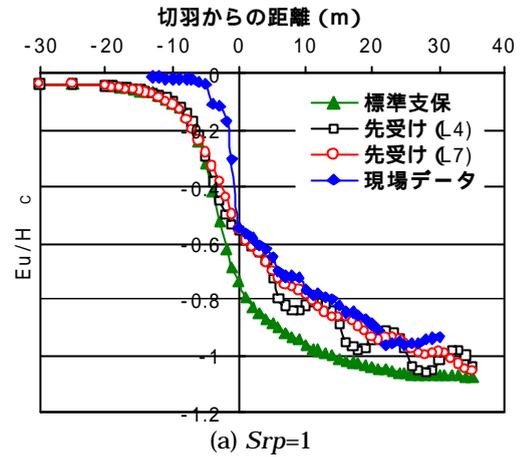


図-3 各 Srp におけるラップ長の変化による比較

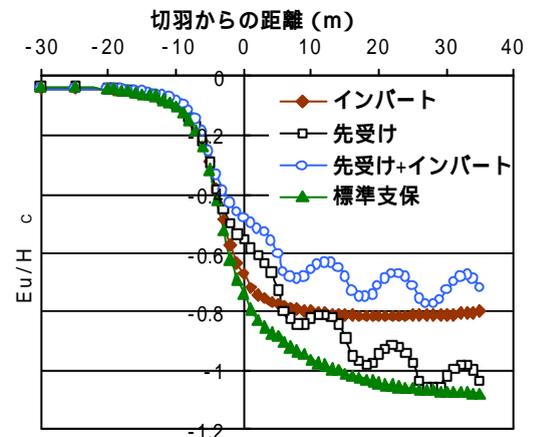


図-4 インバートの有無による比較

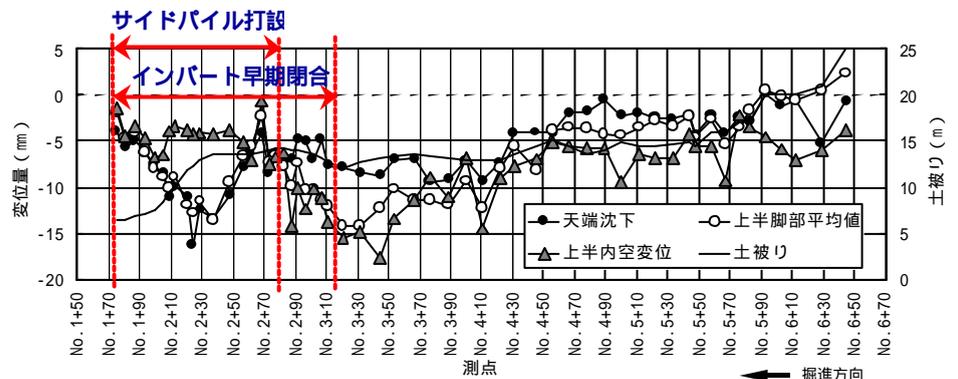


図-5 坑内変位計測結果