

長尺先受け工法を用いた都市部大断面トンネルの施工と計測

Measurements during the Construction of a Large Scale Urban Tunnel
with an Umbrella Supporting System

後 藤 有 志 (ごとう ゆうじ)

東急建設(株)土木設計部設計第1課

1. はじめに

近年、土被りの小さい都市部での近接施工への対応や、トンネルの急速施工化・省力化の要求に対応し、長尺先受け工が採用される例が増加しつつある。しかし、その効果は広く認識されているものの、計測データの蓄積は十分なものではなく、設計手法も確立されているとはいえない。

帷子川分水路トンネルは、神奈川県「帷子川都市河川緊急整備事業 帷子川分水路トンネル」において計画された、横浜市旭区白根町に設けた分水施設（取水庭）から、横浜駅西口付近にわたる約5 kmの分水路トンネルである（図-1）。

このトンネル工事において、常盤台第3工区は横浜国立大学の真下を28~40 mと小さい土被りで掘り進むため、実験棟をはじめとする大学諸施設に対し、地表沈下を最小限に抑えることが要望された（図-2）。特に、大型実験水槽に関しては厳しい許容沈下値が設定された。このため、長尺先受け工法の一つであるAGF工法が沈下対策の補助工法として採用された。さらに、トンネル



図-1 帷子川トンネルの位置

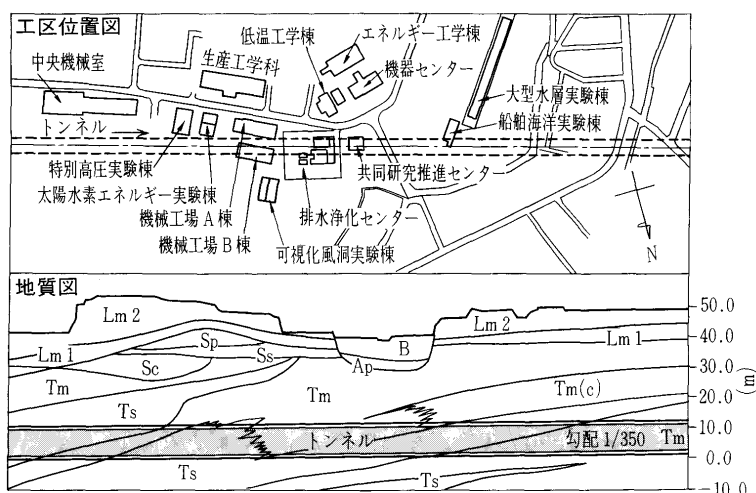


図-2 横浜国立大学の地表面設備と地層図

掘削による地表面の諸施設への影響および長尺先受け工の効果の確認のため、地表面、地中、トンネル周辺において各種の計測がなされた。

本報告では、本工事の概要と、各種計測結果の中で長尺先受けの効果調べるために行われた天端の先受け鋼管の変位計測結果について述べる。

2. 概 要

2.1 工事概要

本トンネルの支保は、吹付けコンクリート（厚さ20 cm）、鋼製支保工（H-150）、2次覆工（厚さ50 cm）よりなり、これに全線にわたる長尺鋼管フォアパイリング（AGF）と、一部区間にロジンジェットフットパイルが行われた。このトンネルの仕上がり内空幅は11.2 m、仕上がり内空高さは9.0 m、掘削断面積は108~116 m²と、一般の2車線道路トンネルと比較しかなり大きい。1掘進長は0.9 mで、AGFのシフト長は地質や上部の構造物の重要度により9.0 mの場合と6.3 mの場合の2種類がある（図-3、4）。

2.2 AGF工法¹⁾

本工事で用いたAGF工法は、トンネル掘削時における沈下抑制や天端崩落・切羽崩壊防止を目的とした先受け工法の一つである。トレビー工法等の他の長尺先受け

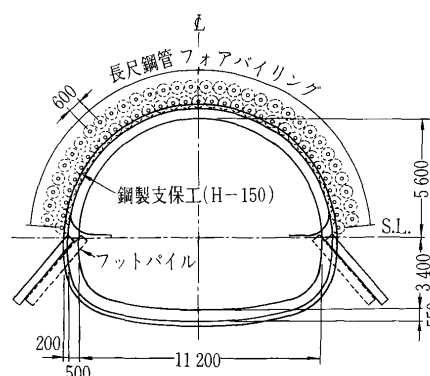


図-3 トンネルの横断面

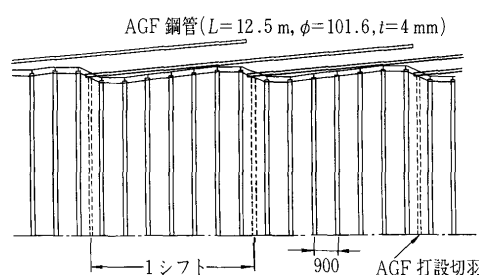
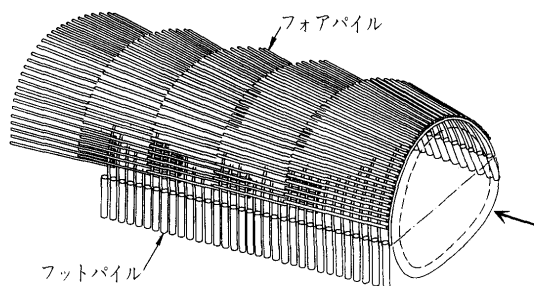


図-4 トンネルの縦断面図（シフト長 6.3 m）

事例報告



図—5 先受け工法の概念図

工法に比べ専用機械を必要とせず、通常 mountain tunnel 施工において使用されるドリルジャンボにより施工可能であるため、トンネル坑口部や土被りが小さい区間において、短い距離の補助工法として一般に使用される。

本工事では、直径10 m の立坑を使用するため、大型の専用機を搬入できないので、搬入可能なドリルジャンボを使用する AGF 工法が採用された。

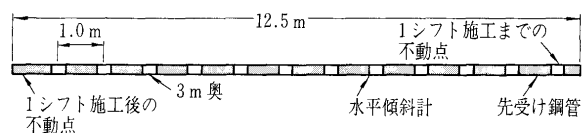
本工法は $\phi 100$ mm 程度（本工事では $\phi 101.6$ ）、長さ 3 m 程度の鋼管を、拡張ビットを備えたジャンボにより打設し、この鋼管を 4 本順次継ぎ足して長さ 12.5 m の先受け鋼管を施工するものである。さらに、鋼管打設後、その鋼管より注入材を地山に注入し、鋼管周辺の地山を改良する。したがって、パイプルーフと注入式フォアパイルの両方の機能を兼ね備えたものである（図—5）。

ここで使用される注入材は、鋼管間から地山が崩落するのを防ぐ効果だけではなく、注入改良範囲が連結した場合には、改良体のプレアーチを構成し、沈下抑制効果を発揮する。そのため、その改良状態が大きな問題となる。

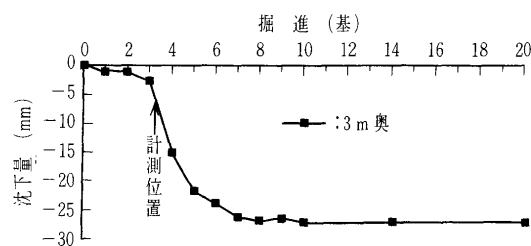
一般に本工法に用いる注入材は、ウレタン系注入材とセメント系注入材である。しかし、本工事では、砂層の透水係数が 10^{-4} cm/s と非常に浸透性が悪いため、浸透性の良い溶液型注入材を用いた。この注入材による改良体は、他の注入材を用いた場合に比較して強度はあまり期待できないが、改良範囲が確実に連結することを重視して選定した。

2.3 地質

本工区の地質は、第三紀鮮新世に堆積した上総層群上星川層（Ts, Tm, Tm(c)）と、それ以降に堆積した下末吉層（Sc, Ss, Sp）、下末吉ローム層（Lm1）および立川・武蔵野ローム層（Lm2）により形成されている。掘削対象地山は上総層群上星川層の砂層（Ts）と泥岩層（Tm）からなり、これらが複雑に入り組んでいる（図—2）。実際にトンネルを掘り進んでいくと、1 掘進ごとに切羽において砂層と泥岩層の位置が変化していくという状態であった。この砂層は全体的に未固結で粒径は均一であり、細粒分は乏しい。泥岩は一軸圧縮強度 $q_u = 40$ kgf/m² 前後と比較的強度が高いものの、砂をかんだり亀裂がある部分では、強度は低く、局所的ではあるが切羽崩落が生じることもあった。



図—6 AGF 変位計



図—7 切羽の進行と AGF 変位計による天端の変位

3. 計測

3.1 計測の概要

計測は、大きく地表面における計測とトンネル内の計測に分けられる。

地表面における計測は、地表面に存在する横浜国立大学の諸設備への影響を調べるもので、主に、測量による沈下計測や、水盛式沈下計、地中沈下計、電子レベルによる沈下計測、水位計による地下水位計測等を行った。

トンネル内の計測は、トンネルの補助工法の効果や施工の安全性を確認するための通常のトンネル計測と、先受け工の効果を調べるための AGF 変位計による鋼管の変位計測を行った。以下に、その計測の概要と結果について述べる。

3.2 AGF 変位計の概要

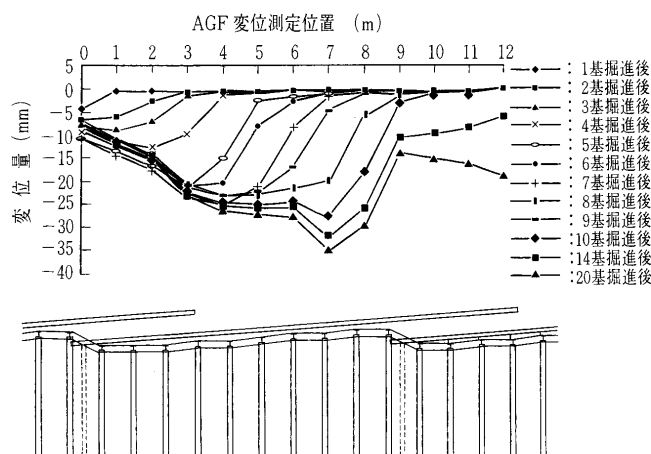
先受け鋼管の変位は AGF 変位計（図—6）により求めた。これは鋼管内に高精度水平傾斜計を 1 m ごとに挿入し、測定された傾斜角を積分することにより、鋼管の変位を求める計測装置である。この変位計を天端の先受け鋼管に設置し、天端の変位量の計測を行った。この方法では、絶対変位を求めるためには変位の既知の点が 1 箇所必要である。このためには、切羽打設位置のいちばん手前の鋼管の変位を計測する必要がある。本計測ではこの点における計測精度に問題があったため、掘削開始後 1 シフト施工時においては地山最深部のセンサー位置を不動点として、その後は最も手前の鋼管打設位置を不動点としてデータを処理した。本計測により、切羽通過前から通過後にかけての天端の変位量が求められる。

3.3 計測結果

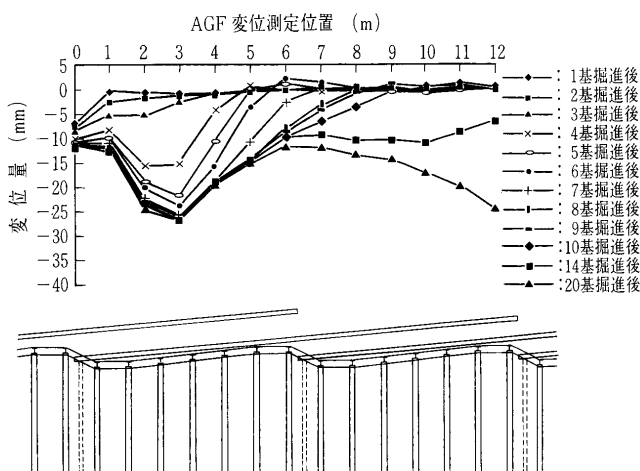
(1) 切羽の進行と変位

図—7 は、鋼管の打設切羽から 3 m 奥（3 基目の支保工のほぼ直上）の箇所における掘削の進行と沈下の関係の図である。掘削前に 5 mm 程度沈下し、次の基の掘削で大幅に沈下している。また、上半収束時と考えられる 20 基掘削後における沈下量は 27 mm である。これによると先行沈下率（切羽通過前沈下量／変位収束後沈下量）は 20% 程度となり非常に小さい値となる。

ここで、本地山の物性値や支保を用いた FEM 解析において、このような先行沈下率となる掘削開放率を求め



図—8 天端沈下分布の進展状況 (シフト長 9.0 m)



図—9 天端沈下分布の進展状況 (シフト長 6.3 m)

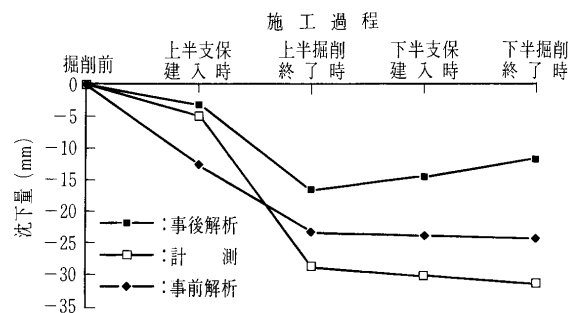
ると10:90となった。これは一般的な掘削開放率が40:60程度であるのに比較して、先受けの効果により初期変位が小さく保たれていると考えられる。

(2) 沈下分布

AGF 変位計により計測したシフト長9.0 mと6.3 mの場合の掘削の進行による鋼管の変位分布の進展状況を図—8と図—9に示す。切羽の進行に伴い、沈下が増加していく状況が良くわかる。また、どちらも鋼管打設切羽の沈下量が小さく、その中間の沈下量が大きくなり、打設切羽位置が支点のようになっている。そして、支点間の距離が長いシフト長9.0 mの方が沈下量が大きい。

4. FEM 解析との比較

本計測結果と、先受け工の効果を弾性係数を大きくすることにより表現した事前解析結果、および逆解析により求めた側圧係数と上記の掘削開放率を用いた事後解析結果の比較を図—10に示す。この事前解析と本解析の解



図—10 FEM 解析と計測の比較

表—1 事前解析と事後解析の主な計算条件の違い

	事後解析	事前解析
材料モデル	弾 性	電中研式による非線形弾性
側圧係数	1.35	約0.5(ポアソン比より)
掘削開放率	10 : 90	40 : 60
フットパイル	無 し	上半支保と同時に有り
AGF 改良域の弾性係数	3 200 kgf/cm ²	10 000 kgf/cm ²

析条件の主な違いを表—1に示す。事後解析における弾性係数は、基本的に事前解析と同じものを用い、計測結果と変形量を一致させるように変化させていないため、本解析値と計測結果の最終(下半掘削終了時)沈下量は異なっている。しかし、上半支保建込み時と上半掘削終了時の沈下の割合は、計測と事後解析の結果は同様な傾向を見せている。

5. おわりに

AGF 変位計による天端の沈下計測により、長尺先受け工を施工した場合における掘削前からの天端の沈下挙動を計測することができた。この結果、長尺先受け工を施工した場合の掘削開放率、およびシフト長の違いが天端の沈下に影響を与えることがわかった。

長尺先受け工法に対する評価は高く、施工事例が急速に増大している。しかし、その効果の定量的な評価や設計手法は、未だ確立されているとはいえない。本計測結果がこれらの問題を解決する一助になれば幸いである。

最後に、本トンネルの施工および計測にあたり熱心な御指導をいただいた帷子川分水路トンネル特別委員会(委員長: 山本稔東京都立大学名誉教授)の委員の方々と神奈川県横浜治水事務所の方々に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) ジェオフロンテ研究会: 注入式先受け工法 (AGF 工法) 技術資料 (改訂版) —AGF 工法の考え方とその適用—, ジェオフロンテ研究会, 1994.

(原稿受理 1996.12.3)