

# 蟹沢トンネルにおける長尺先受け工区間の挙動 BEHAVIOR OF KANISAWA TUNNEL AT LONG FORE-PILING AREA

渡辺 浩平\*・粕尾 明弘\*\*・森 直樹\*\*\*・伊原 広明\*\*\*  
Kohei WATANABE, Akihiro KASUO, Naoki MORI and Hiroaki IHARA

Kanisawa Tunnel is located in north part of Nagano Prefecture, and is a road tunnel 663m in length. This tunnel was constructed in diluvial deposits composed of gravel, sand and siltstone with little overburden. Careful measurements and analyses were made to grasp the behavior of this tunnel supported by umbrella method (AGF method). In evaluation of the ground characteristics to be inputted in the analyses, laboratory tests of undisturbed samples from the construction site were performed. Along with inputting ground characteristics determined in laboratory tests, analyses by 3 dimensional FEM giving consideration to the complex excavation stages were performed.

As a result, the correspondence between measurement results and analysis results was good.

## 1. はじめに

蟹沢トンネルは長野県北部（豊野町東部）に位置し、広域農道上水内北部地区の起点となる全長663mの道路トンネルで昨年9月に無事貫通した。本トンネルは、砂礫、砂・粘性土から構成される土砂地山であるため地山強度が小さく、また、全区間にわたり土被りが薄いなどの厳しい条件下での施工となった。

そのため、切羽の自立・天端の安定・地表面沈下等の対策として、注入式長尺先受け工（AGF工法）<sup>1)</sup>などの補助工法を採用した。また、補助工法による補強効果確認のため、長尺先受け工区間において変形挙動などについて計測を行った。さらに、地山の強度・変形特性を把握するため、原位置から採取した不攪乱試料の室内試験を行った。そして、室内試験より算定した地山物性値を用いるとともに、支保部材など複雑な施工過程を考慮した3次元有限要素法解析を行うことにより、長尺先受け工区間における計測結果について検討を行った。

なお、起点側坑口部55m区間（豊野層）の変形挙動については既に報告<sup>2)</sup>を行っているが、ここでは、長尺先受け鋼管など補助工法の効果確認のための計測の行われた区間の検討結果について述べる。

## 2. 地質調査および支保パターン

トンネル建設地点は千曲川左岸沿いの丘陵地であり地質は基盤として新第三紀の猿丸層が分布し、これを第四紀の水内シルト層、豊野層が不整合に覆い、その上部には段丘堆積層が存在している。切羽に出現する地質は図-1に示すようにトンネル全長663mのうち起点側の約400mは豊野層で、断層・不整合面を

---

\* 正会員 清水建設(株)技術研究所土木研究開発部  
\*\* 正会員 長野県上小地方事務所  
\*\*\* 正会員 清水建設(株)土木東京支店

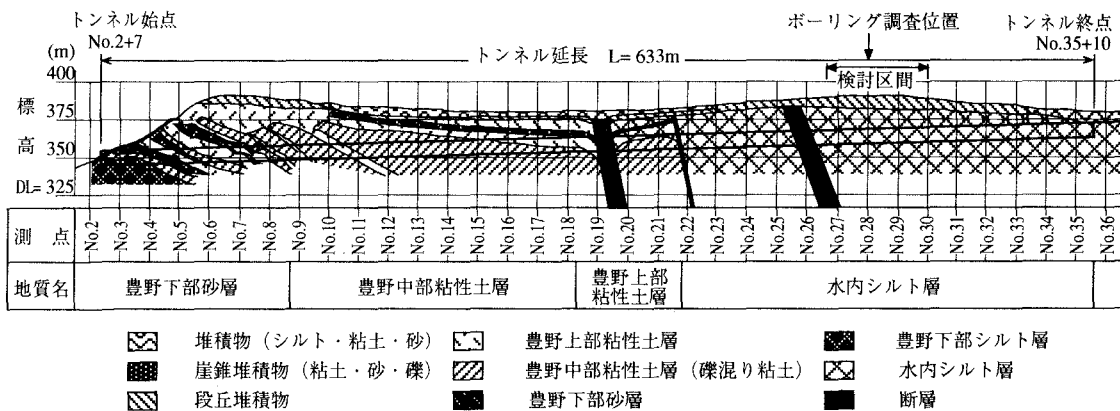


図-1 地質断面図

挟んでそれ以奥は水内シルト層である。ほぼ全線 (No. 13+4 ~ No. 18+3 の 99 m 区間を除く) において地盤が未固結で強度が小さく土被りも平均で 20~25 m と小さい。

本報では、図中に示した水内シルト層区間 (No. 26+14 ~ No. 30 の 66 m) における挙動の検討結果について述べる。以下、この区間を検討区間と呼ぶ。検討区間の地層は、No. 28 地点における地表からのボーリング調査の結果、上位から段丘堆積層、風化水内シルト層、水内シルト層により構成されていることが分かった。また、地山の物理・力学特性を把握するためボーリングにより採取した不攪乱試料について物理試験、三軸圧縮試験など一連の室内試験を行った。三軸圧縮試験は各層について非圧密非排水 (UU) 条件よりひずみ速度一定  $\dot{\epsilon}_1 = 1.0\% / \text{min}$ 、側圧一定として行った。図-2 には、水内シルト層について側圧  $\sigma_3 = 0.4 \text{ MPa}$ 、 $0.6 \text{ MPa}$ 、 $0.8 \text{ MPa}$  の場合に得られた最大強度のモール・クーロンの破壊基準線を示した。

$$\tau = C_u + \sigma \cdot \tan \phi_u \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $C_u$  は粘着力、 $\phi_u$  は内部摩擦角である。これより、強度定数として粘着力  $C_u = 0.325 \text{ MPa}$ 、内部摩擦角  $\phi_u = 0^\circ$  の値が得られた。図-3 には、水内シルト層について得られた側圧  $\sigma_3 = 0.4 \text{ MPa}$  の場合の

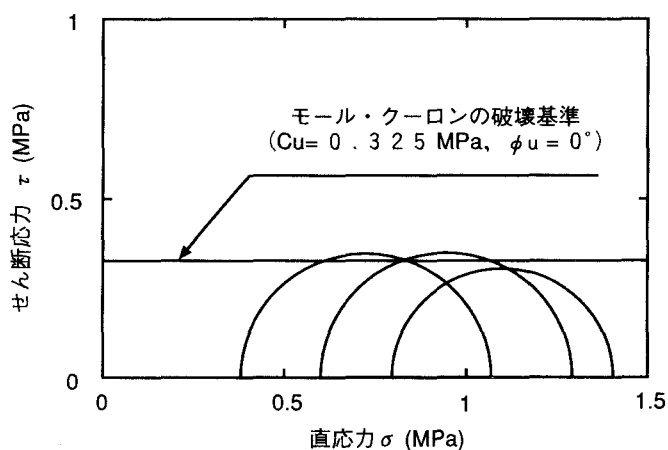


図-2 水内シルト層の強度特性(UU条件)

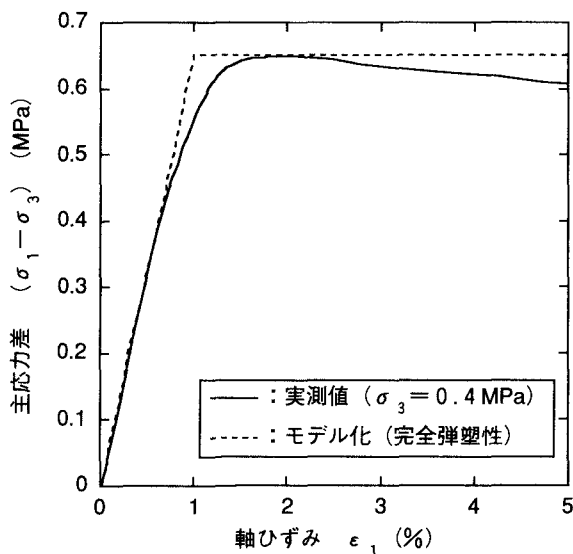


図-3 水内シルト層の応力~ひずみ関係

主応力差 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) ~ 軸ひずみ  $\epsilon_1$  関係を示した。これより、割線変形係数  $E_{s,50}$  として 65.0 MPa の値が得られた。また、図中には、これらの定数を用い完全弾塑性体としてモデル化した場合の主応力差 ~ 軸ひずみ関係を示した。表-1には、各層について、室内試験から得られた地山の物性値を一覧表にして示した。なお、長尺先受け工施工による水内シルト層のシリカレジン注入による改良部分の変形係数は、改良効果を考慮して地盤の変形係数の約1.5倍<sup>1)</sup>の値を用いた。

検討区間のうち、図-4には、標準断面であり、計測断面でもあるNo. 28+4 (坑口より517m地点)における支保パターンを示した。ここでは、トンネル掘削に伴う地山安定と変形抑制のため、DIIパターン(ウイングリップ付鋼製支保工(H-150)、吹付けコンクリート( $t=200$ mm)、ロックボルト( $L=4$ m))に加え、補助工法として注入式長尺先受け工(AGF工法)をはじめ脚部補強工(フットパイル、サイドパイル)などを採用した。

表-1 地山物性値

|                                    | 段丘堆積層 | 風化水内シルト層 | 水内シルト層 | 注入改良体 |
|------------------------------------|-------|----------|--------|-------|
| 湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.80  | 1.77     | 1.78   | 1.78  |
| 変形係数 $E_{50}$ (MPa)                | 20    | 36.6     | 65     | 100.0 |
| 粘着力 $C_u$ (MPa)                    | 0.10  | 0.183    | 0.325  | 2.0   |
| 内部摩擦角 $\phi_u$ (°)                 | 0.0   | 0.0      | 0.0    | 0.0   |

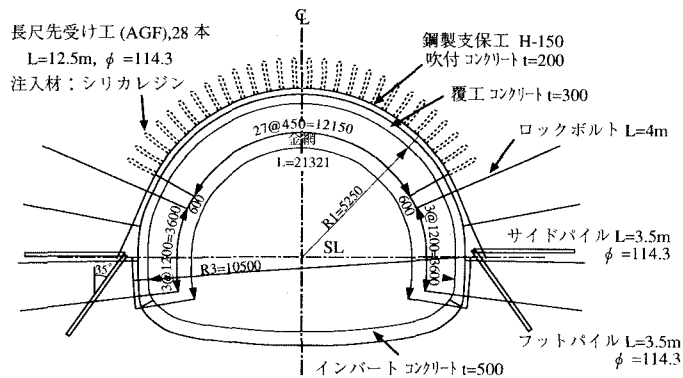


図-4 計測断面支保パターン

### 3. 計測および解析結果

#### 3.1 天端沈下の検討

長尺先受け工区間の変形挙動を把握するため各種の計測を行ったが本報では3地点 (No. 27+15, No. 28+4, No. 28+13) において行った天端沈下について検討を行う。

図-6~図-8には、検討区間66m掘削時の各地点における計測結果(●)を示した。計測ポイントの設置は、切羽通過後約1mの時点であるが、計測開始からそれぞれ24.8mm、14.9mm、21.8mm変形しNo. 28+13を除いてほぼ収束している。

天端沈下の計測結果を評価するため3次元有限要素法による解析コード「3D-σ」を用いて掘削解析を行った。

3次元の解析モデルを図-5に示した。解析は左右対称として半断面のみをモデル化した。解析において地盤および注入改良部分は

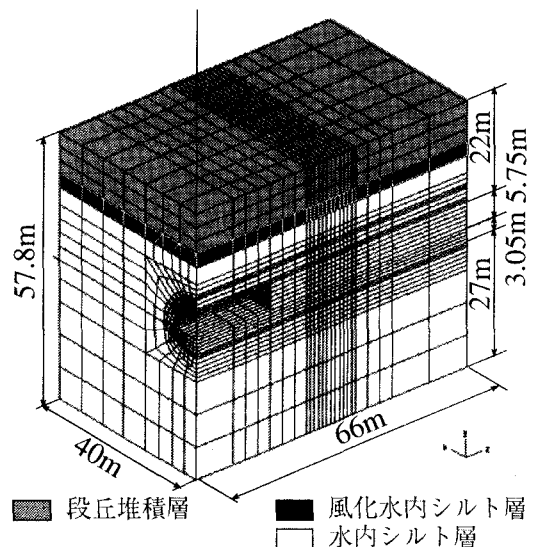


図-5 解析モデル

室内試験結果に基づいてモール・クーロンの弾塑性体とし、表-1に示す値を用いた。

また、補助工法として、長尺先受け工（AGF工法）や脚部補強工（サイドパイル、フットパイル）などを用いており、これらについては施工過程を考慮した解析を行った。

解析では、長尺先受け鋼管（AGF鋼管）、サイドパイル、フットパイル、鋼製支保工は梁要素、吹付けコンクリートはシェル要素、ロックボルトはボルト要素としてモデル化を行った。

これらの支保部材の諸元を表-2に一覧表にして示した。

図-6～図-8には3地点における天端沈下の解析結果（○）を示した。これより解析結果と計測結果は良く一致していることが分かる。また、解析より天端沈下の発生割合は収束値に対して、No. 27+15、No. 28+4において切羽通過時に34.5%、34%、計測開始時に44.4%、45.1%であることが分かった。

表-2 支保部材諸元

|                              | 長尺先受け工                     | 鋼製支保工             | 吹付コンクリート | ロックボルト            | フットパイル<br>サイドパイル            |
|------------------------------|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------------------------|
| モデル化                         | 梁                          | 梁                 | シェル      | ボルト               | 梁                           |
| 弾性係数E(MPa)                   | $2.1 \times 10^5$          | $2.1 \times 10^5$ | 4000     | $2.1 \times 10^5$ | $2.1 \times 10^5$           |
| 断面積A(cm <sup>2</sup> )       | 20.41                      | 40.14             | 2000     | 5.8               | 20.41                       |
| 断面2次モーメントI(cm <sup>4</sup> ) | 300.21                     | 1640              | -        | -                 | 300.21                      |
| 備考                           | L=12m<br>φ114.3mm<br>t=6mm | H-150             | t=20cm   | L=4m              | L=3.5m<br>φ114.3mm<br>t=6mm |

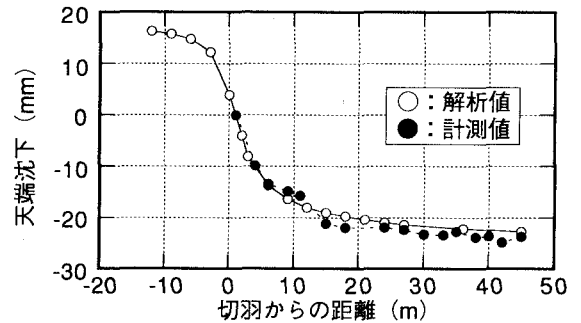


図-6 天端沈下の計測値と解析値の比較 (No.27+15)

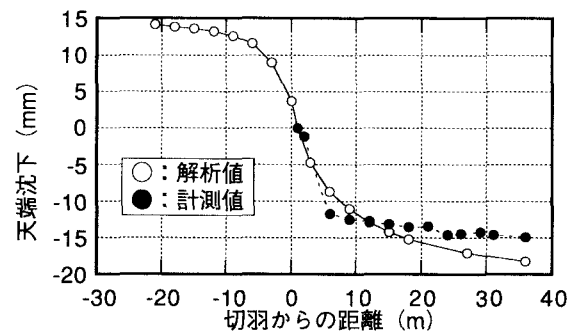


図-7 天端沈下の計測値と解析値の比較 (No.28+4)

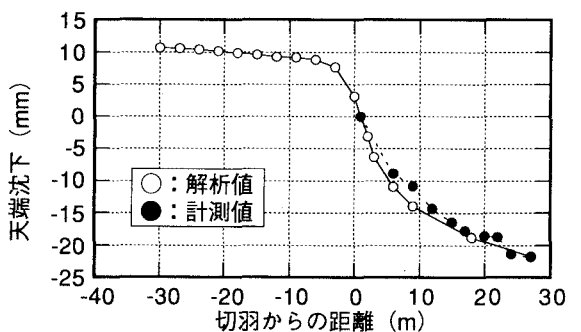


図-8 天端沈下の計測値と解析値の比較 (No.28+13)

### 3. 2 補助工法による天端沈下抑制効果

補助工法の天端沈下におよぼす抑制効果について、以下の3ケースについて解析により検討を行った。

ケース1：支保（鋼製支保工+吹付けコンクリート+ロックボルト）

ケース2：支保+注入式長尺先受け工

ケース3：支保+注入式長尺先受け工

+脚部補強工（フットパイル+サイドパイル）

図-9には、3ケースについて切羽の進行に伴う天端沈下の解析結果を示した。

切羽が-1.8m～3.9mまで進行した場合にケース1の44.3mmに対して、ケース2では39.9mm、ケース3では36.8mmの値が得られた。

この結果、注入式長尺先受け工による変形の抑制効果は10%、さらに脚部補強工により7%の抑制効果があり、両者による変形の抑制効果は17%であることが分かった。

### 3. 3切羽周辺地山の安定性の検討

補助工法が切羽周辺地山の安定性におよぼす効果について検討するため切羽がNo. 28 + 4到達時における切羽周辺地山の安全率分布を3. 2節で述べたケース1とケース3についてトンネル縦断面において求め、それぞれ、図-10、図-11に示した。

これより、ケース1に比べケース3の場合には、掘削に先立ちアーチ状に注入式長尺先受け工が施工され、しかもそれを脚部補強工により支持しているため天端周辺の安全率が大幅に向上していることが分かった。切羽前方についても掘削底面から天端に向かうにつれて安全率の向上の割合が大きくなることが分かった。

### 4. まとめ

蟹沢トンネルにおける長尺先受け工区間の挙動のうち、天端沈下の計測結果を評価するため、原位置から採取した不攪乱試料の室内試験より求めた地山物性を入力し、支保部材など複雑な施工過程を考慮した3次元有限要素法解析を行ったところ、計測結果を良く表現できることが分かった。

また、長尺先受け工（AGF工法）や脚部補強工などの補助工法が、天端沈下におよぼす抑制効果や切羽周辺地山の安定性におよぼす効果などについて、3次元有限要素法解析により検討を行ったところ、これらの効果を確認することができた。

### 5. 参考文献

- 1) ジェオフロンテ研究会：注入式長尺先受け工法(AGF工法)技術資料(三訂版),1997.
- 2) 粕尾明弘, 森直樹, 伊原広明, 山本和義：長尺鋼管フォアパイリングを用いた坑口部の沈下挙動（長野県蟹沢トンネル），土木学会 第53回年次学術講演会概要集，pp.28～29,1998.10.

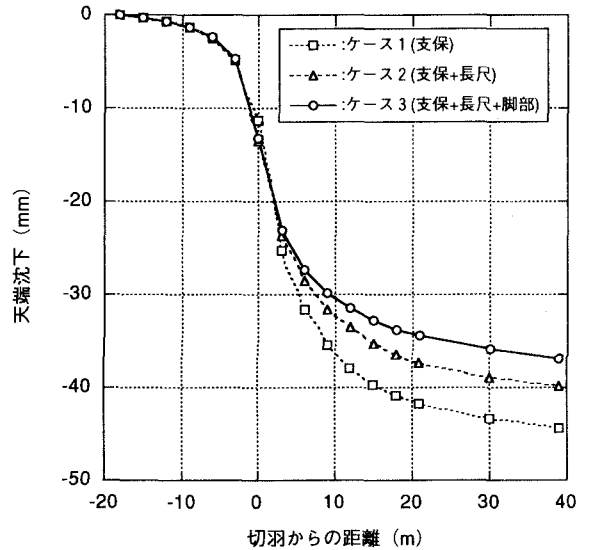


図-9 補助工法による天端沈下の抑制効果

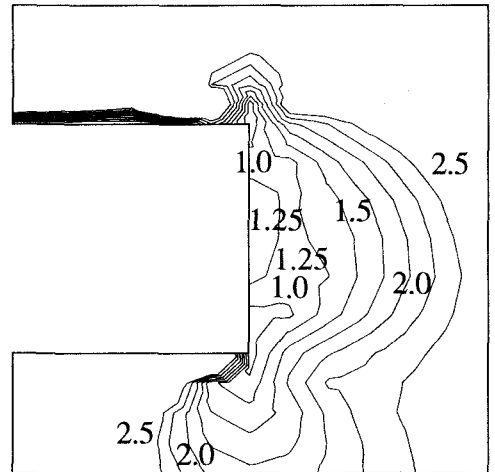


図-10 安全率分布 (ケース1:支保)

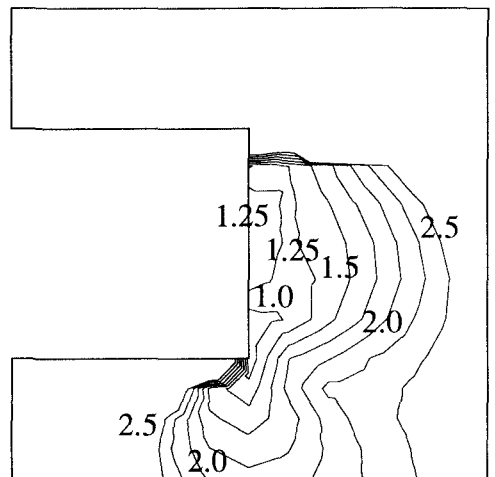


図-11 安全率分布 (ケース3:支保+長尺先受け工+脚部補助工)