

計測結果からの長尺先受け工に関する一考察

CONSIDERATION ON FOREPILES BY MEASUREMENT

亀野 道夫* 今井 信二** 小松 敏彦*** 森田 篤****

Michio KAMENO, Shinji IMAI, Toshihiko KOMATSU and Atsushi MORITA

Forepiling has found wider application recently for restraining the tunnel crown settlements. However, the working mechanism of forepiles have not yet been well understood. In the construction of a diversion channel of the Katabira River, we placed forepiles as auxiliary means in the tunneling practice by the NATM with side drifts, and evaluated their displacement-restraining effect by measurements. The bedrock of this site is characterized by the fact that almost no displacement occurred ahead of the face. This paper poses a problem about the stress relief ratio to be included in two dimensional analysis for predicting the behavior of grounds presenting such displacement characteristics.

Keywords: NATM, forepiling, measurement

1. まえがき

トンネル掘削時の天端沈下抑制対策として長尺先受け工が近年よく用いられており、沈下抑制効果について確認された事例もある。しかしその効果およびメカニズムについては未知の部分が多い。今回帷子川分水路建設工事において、近接の既設シールドに対する確実な防護が必要なことからサイロットNATM工法に長尺先受け工を補助工法として採用し、多くの計測を行い、長尺先受け工に関するデータを収集した。計測結果から長尺先受け工の変位抑制効果の評価を試みた。

2. 工事概要

2・1 概要

横浜市を流れる帷子川の治水対策として、延長7,560m(トンネル部5,320m)の帷子川分水路築造のうち、東川島工区(646.5m)のトンネルを既設立坑から新設した。周辺の地質は土丹(泥岩)と砂の互層から成り、掘削方法はサイロットNATM工法を採用した。また、補助工法として坑内からの水抜きボーリングおよび止水を目的とした薬液注入を行った。また、一部区間においてはトンネル上部に既設シールド($\phi 4.3$ m)が離隔2.4mにて斜交しており、シールドに対する確実な防護工が必要とされたため、その区間においては長尺先受け工を併用した。

* 正会員 神奈川県横浜治水事務所所長

** 神奈川県横浜治水事務所特別工事部工事第一課技師

*** 前田建設工業(株)横浜支店帷子川作業所

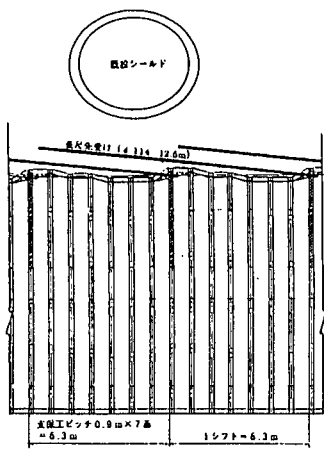
**** 前田建設工業(株)本店工事本部土木設計部

2・2 地質概要

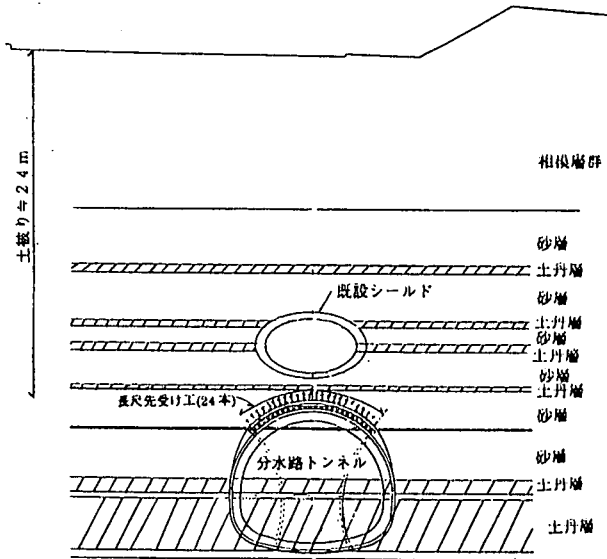
当地域は多摩丘陵に位置し、上総層群上星川層を基盤とし、その上に相模層群上倉田層、新規ローム層の順に各層が分布している。当地の上星川層は星川ドーム層と呼ばれるドーム構造をなし、土丹層と砂層の互層からなっている。表－1に地山物性を示す。

表－1 地 山 物 性

	一軸圧縮度(kg/cm ²)	変形係数(kg/cm ²)	内部摩擦角	粘着力(kg/cm ²)
土丹（泥岩）	35～47	4700～6900	10～20	13～25
砂(注入改良)	4～10	420～ 590	37～39	2～3



図－1 既設シールド交差部縦断面図



図－2 既設シールド交差部断面図

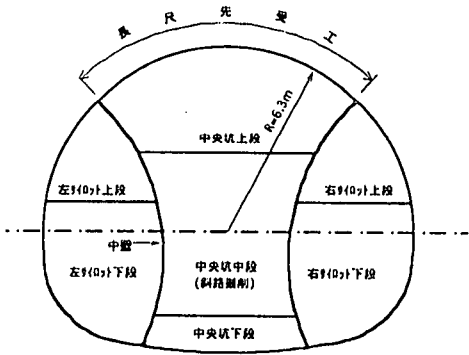
2・3 掘削順序

工区の内、シールド交差部区間を特殊部、それ以外の区間を標準部と呼ぶことにする。

掘削順序は、左サイロット2段ベンチ掘削→ 右サイロット2段ベンチ掘削→ 中央坑3段ベンチ掘削（特殊部は長尺先受け工）→ 中壁解体の順序で行った。

サイロット掘削段階においては水平方向の変位は比較的大きいものの、鉛直方向の変位はほとんどなく、天端沈下量はほぼゼロであった。したがって、特殊部における長尺先受け工は中央坑掘削に対して行った。

一般に長尺先受け工を用いると、アーチ状に改良された地山ゾーン及び支保工を通じてアーチ脚部に伝達される荷重が大きくなり、脚部沈下が生じやすく、その対策が必要とされることがある。しかし、今回のサイロット併用式長尺先受け工においてはすでに脚部がサイロットトンネルにより安定しているという点で、長尺先受け工には好都合な工法と考えられる。



図－3 掘削加背割図

3. 計測結果

3・1 天端沈下

層別沈下計にて計測した中央坑掘削時の天端沈下の計測例を図-4に示す。本工区に設置した4主計測断面すべてにおいて、切羽接近にともなう先行沈下はほとんど生じないで、切羽通過時においてはじめて沈下を生じている。ただし、先行掘削されたサイロット導坑の鋼製支保工の軸力は中央坑切羽到達以前から増加しており、切羽到達以前に応力の解放は生じている。このような変形モードになる原因については地層条件、注入効果、トンネル掘削加背割り形状等の要因が考えられ、その究明及びこのような地山に対する2次元解析を行う際の応力解放率の設定等は今後の課題である。

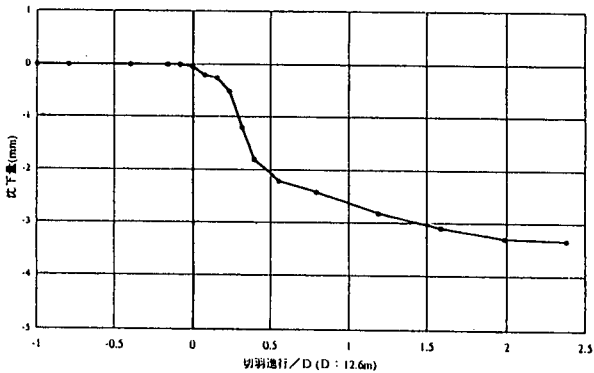


図-4 天端沈下曲線（標準部）

地上から設置した層別沈下計による天端上部の沈下量の収束値と坑内計測による天端沈下量の収束値についてそれぞれ特殊部と標準部とでその違いを比較したところ、坑内計測による天端沈下の収束値は、特殊部、標準部ともに6～7 mm程度で、両区間における有意な差はみられなかったが、層別沈下計による結果（トンネル天端から70 cm上部の位置を計測）では特殊部と標準部との差がわずかではあるが2 mm程度の差が見られた。このことから、長尺先受け工により切羽が到達してから吹付コンクリートの施工が終了までの間の変位を抑制していることが観測された。

3・2 長尺先受け計測結果

長尺先受け工に関しては図-5に示すように鋼管応力、鋼管たわみ、鋼管間地山の周方向応力測定、脚部地山応力の測定及び鋼製支保応力測定を行った。

鋼管のたわみ測定結果を図-6に示す。鋼管のたわみは切羽の進行とともに大きくなりながら手前側6 mの範囲で広がっている。また、切羽が6.3 m進行してから後（次シフトの鋼管を打設後）は変形がほとんど生じていない。2重に施工された外側の鋼管のたわみが減少していることから2重に施工することの効果がある。

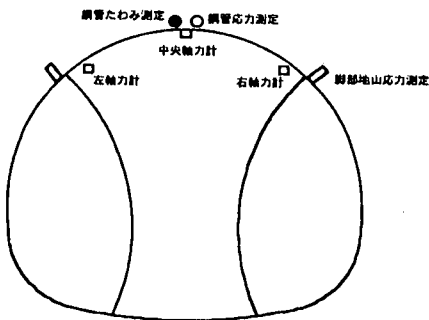


図-5 計器配置図

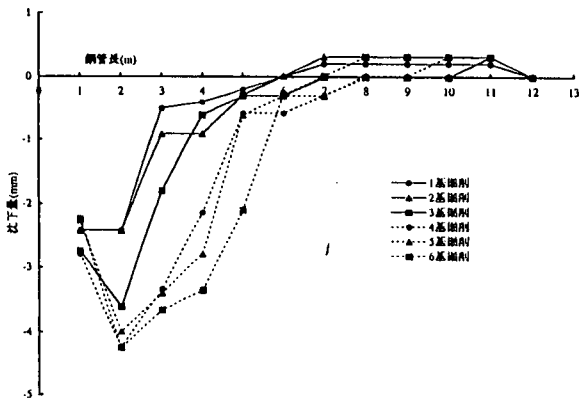


図-6 鋼管たわみ分布

次に切羽進行に伴う鋼管内の応力分布の変化を図-7に示す。長尺先受け打設から次シフトの長尺先受けを打設するまでの6.3 mを掘削する間は、切羽の位置にて最大の曲げ応力が発生し、切進捗とともに移動している。

アーチ部鋼製支保工の軸力変化について図-8に示す。標準部と特殊部を比較すると、特殊部の方が立ち上がりが大きく、軸力が大きく発生している。このことから掘削初期段階に解放される応力が長尺先受け工を通じて支保工に伝達されていることがわかる。

鋼管のたわみ形状、曲げ応力分布及び支保工への伝達荷重の状況から、鋼管は奥側地山と手前側先端の支保工とを支点とした両端支持の梁となっているが、地山を固定端とする片持ち梁に近い状態となっていることが確認された。しかし、長尺先受け工によるアーチ支保工効果については確認できなかった。これについては鋼製支保工脚部背面の地山応力の計測を試みたが、地層条件等により応力変化が小さく、それに対する計測が困難であったために計測結果を評価するまでに至らなかった。

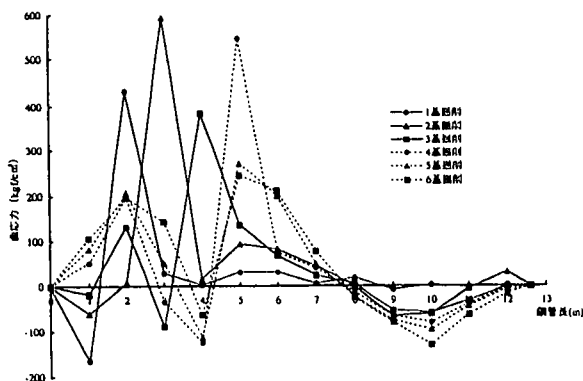


図-7 鋼管曲げ応力分布

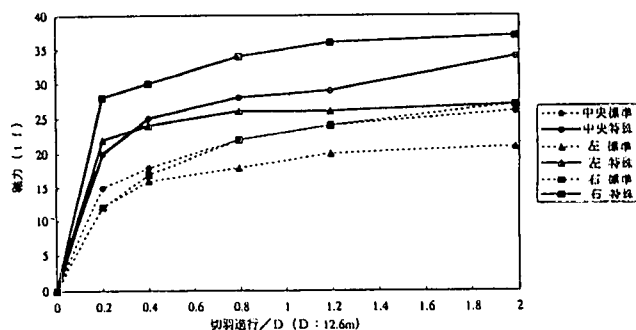


図-8 鋼製支保工軸力比較

4. おわりに

既設シールドトンネル周辺地山は、シールド施工時に地山が乱されているため、その下を離隔 2.4 m でトンネルを掘削する際に流砂現象や小さな天端崩落が生じると緩み領域が大きく広がることが予想された。そのため、既設シールドを確実に防護するための対策として長尺先受け工を採用し、その結果、シールドの沈下量は 2 mm に抑えられ、無事掘削を終了することができた。

長尺先受け工の施工及び計測事例はいくつか報告されており、また天端沈下抑制効果についても確認されている。しかし、そのメカニズムは明らかでなくまた、設計手法も確立されていない部分がある。また、2次元掘削解析において応力開放率を設定する場合には、本事例のような変位挙動を示す地山に対しては注意が必要となる。また、長尺先受け工の効果を応力開放率で表現する場合があるが、その際にも、本事例のような地山においてはその適用が問題となる。長尺先受け工に関して本工事における施工例が今後の長尺先受け工に関する設計の参考となることを期待してここに報告する。