

(85) 都市 NATM トンネルにおける浅い土被りでの ミニパイプルーフの施工とその挙動計測

東海旅客鉄道 建設工部 新田武治
 欄フジタ横浜支店 帷子川トンネル作業所 ○吉田益巳

Construction And Measurement of Mini-piperoof in Urban NATM Tunnel

Takeji NITTA. Central Japan Railway Company
Masumi YOSHIDA. Fujita Corporation

Katabiragawa Tunnel, now under constructing in the down town Yokohama, is a typical under NATM tunnel, because it is passing through under some kinds of structures. In this construction work, a mini-piperoof method has been applied on the some parts of the tunnel, 100m long, where the overburden is less than 10m and some important structures such as a river, a steel frame building of three stories and a prefectural road are very close to the line, in order to keep a stability of the cutting face and to reduce a settlement of the ground surface. The method has been improved by using expansion bit. And, the behavior of the piperoof could be clarify by measurement of the piperoof. This paper presents the new figure of this mini-piperoof method and the changes of the piperoof during the tunnel excavating.

1. はじめに

横浜市中心部で現在施工中の帷子川分水路トンネルのうち西谷第一工区は、土被りが7～35mと分水路全線の中で最も浅い区間となっている。しかも、地上には家屋が密集し新幹線や県道などの重要構造物があり、切羽の安定性の確保と地表沈下の抑制を目的としてミニパイプルーフを施工している。(図1)
本文は、このミニパイプルーフの施工とトンネル掘進に伴うその挙動について報告するものである。

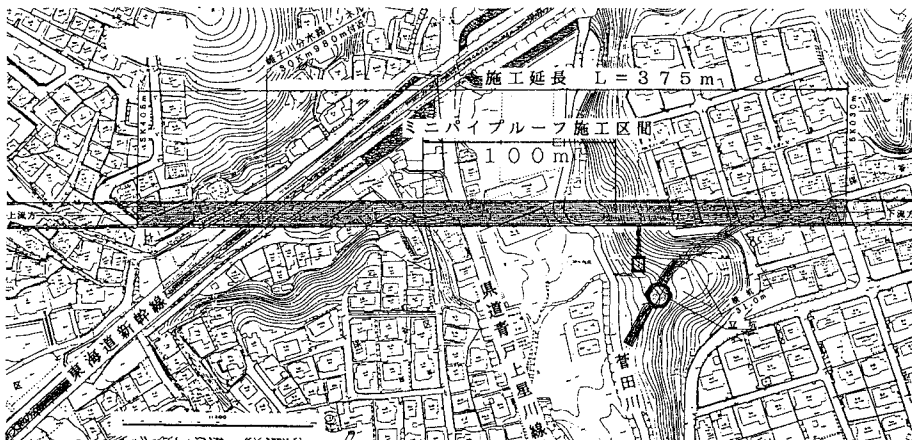


図1 平面図

2. 工事概要

2-1 施工内容

トンネル施工延長は375m、掘削断面積は108.2㎡で、全線をサイロットNATMにより、断面を7分割して施工している。(図2)

2-2 地形および地質概要

当工区の地質は、第三紀鮮新世の地層である上総層群上星川層を基盤として、第四紀洪積世相模層群新期ローム層、沖積層が覆って台地を形成している。

トンネル通過部にあたる上星川層は、細砂層(細粒分3~11% 均等係数1.2~2.7 透水係数 10^{-3} cm/SEC 湧水圧1.2~1.3kg/cm²)と泥岩層(一軸圧縮強度50~60kg/cm²)の互層からなっている。泥岩としては比較的高い強度を有しているものの、砂層は細粒分および均等係数の値も小さく、湧水圧を有している細砂層であるため、切羽の自立性が悪く流砂現象を起こしやすい。

また、土被りは、菅田川直下で7m、県道直下で12m、東海道新幹線直下で21mである。

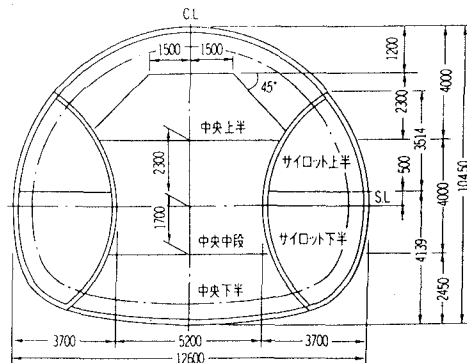


図2 加背分割

3. ミニパイプルーフの施工

3-1 ミニパイプルーフの設計

ミニパイプルーフは、切羽の安定性の確保と地表沈下の抑制を目的として施工するものである。

施工区間は、図1に示す区間100mである。また、使用材料はφ101.6mm、長さ4mの一般構造用鋼管で、中央上半掘削時2次吹付前に施工する。断面的には天端部分約80°範囲に、65cmピッチで一断面当り、13本と14本をちどりに打設する。縦断的には支保工ピッチ90cmごとに、支保工をガイドとして斜め前方に打設する。(図3、図4)

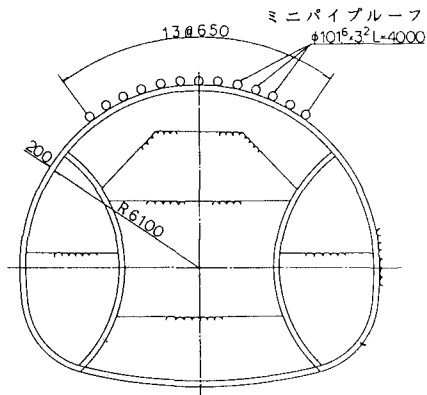


図3 ミニパイプルーフ施工断面図

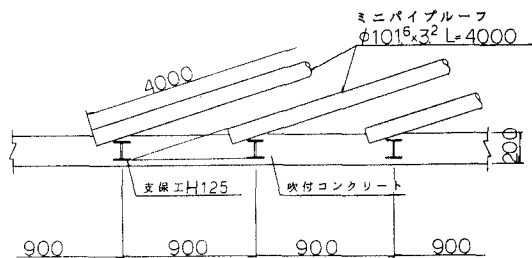


図4 ミニパイプルーフ施工縦断面図

3-2 従来工法

ミニパイプルーフの施工方法としては、専用のボーリングマシンでケーシング削孔したのちパイプをそう入る工法が一般的である。(図5)

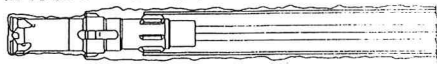
この方法では、作業手順が多く、施工に時間がかかるためトンネルの早期閉合が困難である。また、ケーシング削孔を行うため余掘が大きく、地山をいためるといった問題点があった。

3-3 拡巾ビットを用いた施工法

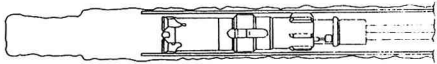
従来工法の問題点を解決するために、ビットの径をウイングの出し入れで変えることのできる拡巾ビットを利用してミニパイプルーフの施工を行った。(図6)

すなわち、削孔時はウイングを張り出し、径が $\phi 106$ mmで削孔し、同時に径 $\phi 101.6$ mmのパイプをそう入し、パイプそう入完了後パイプ内をウイングを折りたたんで引き抜くものである。(図7)(写真1)施工には、通常の2ブームジャンボの一部を改造して使用する。(写真2)表1にサイクルタイムの1例を示す。

① 削孔及びパイプ挿入



② ビット回収



③ 注入



図-6 拡巾ビットを用いた作業手順

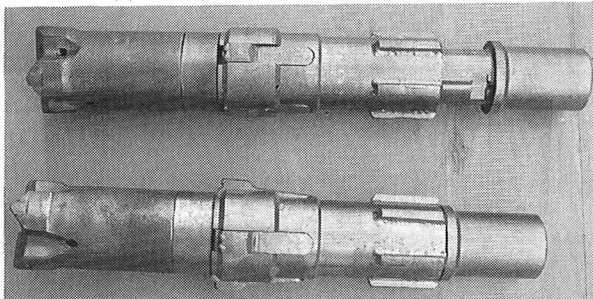
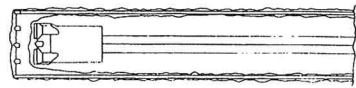


写真1 拡巾ビット

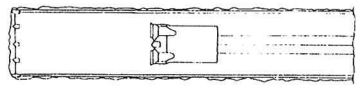
表1 サイクルタイム

1.準備		60分
2.穿孔	一本あたり	
	取 (パイプ装着等)	7分
	穿孔	9分
	引き抜	4分
		20分
	14本あたり	
	20分×14本=280分	
	2ブーム施工により	230分
		230分
3.セメントミルク注入	コーキング	
	取	15分
	コーキング5分×14本	70分
		85分
	注 入	
	9分×14本=126分	126分
4.片付、清掃		60分
5.ロスタイム	故障 等	30分
		計591分

① 削孔



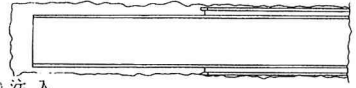
② インナービット回収



③ パイプ挿入



④ アウターパイプ回収

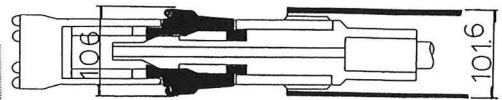


⑤ 注入



図-5 従来工法の作業手順

削孔時



回収時

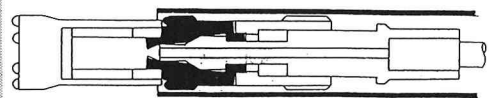


図-7 拡巾ビット構造図

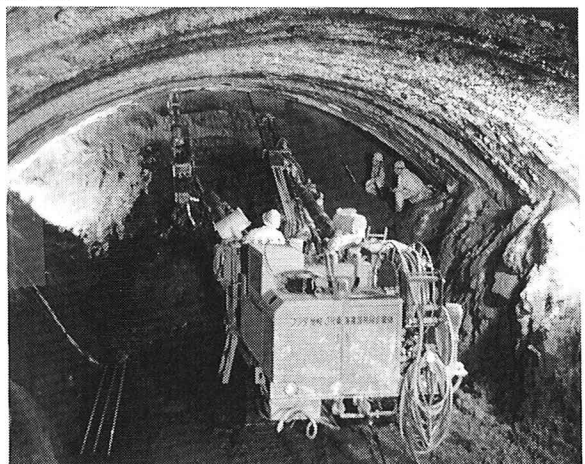


写真2 2ブームジャンボによる施工状況

4. パイプルーフの応力測定

パイプルーフに加わる応力や地山のゆるみ範囲を推定するためにパイプルーフの応力測定を行った。計測器の配置位置図を図-8、9に示す。13本のパイプルーフの内、N01.7.8のパイプで曲げひずみを測定し、N04.10では、圧縮ひずみ、曲げひずみ、せん断ひずみを測定した。

曲げひずみ測定は、 $\phi 101.6$ mmのパイプの上下面の5ヶ所にひずみゲージを取付け、切羽進行に伴うパイプの曲げひずみを測定した。また、曲げおよびせん断ひずみ測定はH-100×50の上下面の4ヶ所に軸力および曲げ測定用のひずみゲージを取付け、中立軸上にせん断ひずみゲージを取付けた。計測は測定用パイプを挿入した後直ちに開始し、トンネル掘削は各ひずみの値が落ち着いてから開始した。測定値の中でも最も顕著にその動きを示しているN0.7について以下述べる。

図-10中の記号は切羽が0.9m, 1.8m, 2.7mおよび3.6m進行したときのN0.7のパイプの各測点のひずみから求めた曲げモーメントの値を示す。切羽が0.9m進行したときの曲げモーメントの最大値は起点の支保工付近で約0.04tfmである。さらに、切羽が起点から1.8m進行した時の曲げモーメントは切羽付近で正のモーメントが多少増加しているが、それ以降の掘削に対してはほとんど変化がない。これは次段階の掘進に伴って施工したパイプルーフおよび吹付コンクリートがゆるみ荷重を支保するためと考えられる。曲げモーメントの最大値を線応力に換算すると200kgf/cm²程度であり、パイプの許容応力(1200kgf/cm²)に比べて十分安全である。

得られたひずみ分布の近似曲線を3次のスプライン曲線近似により推定し、パイプの曲げモーメント、沈下量および分布荷重の近似曲線を求めた。図-10には曲げモーメントのスプライン関数による近似曲線を併示しているが、実測値と近似度が良好であることが分かる。

図-11は切羽が起点から0.9m進行したときのN0.7のパイプの沈下曲線を示す。図からパイプの不動点は起点の支保工から2m前方であり、この点を仮想支点とした片持ち梁的な挙動を示すことが分かる。一般にパイプルーフの計算では切羽から45°+ $\phi/2$ の上方に仮想支点を考える。薬液注入により改良された砂質地山の

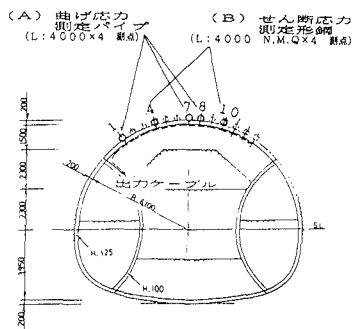


図-8 測定位置図

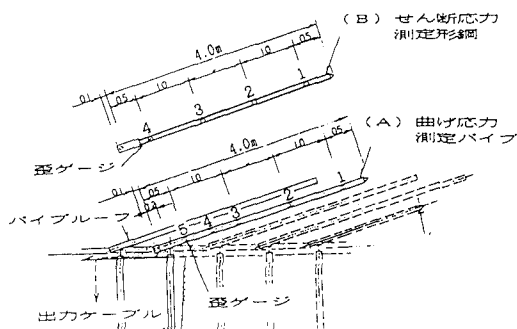


図-9 計器配置図

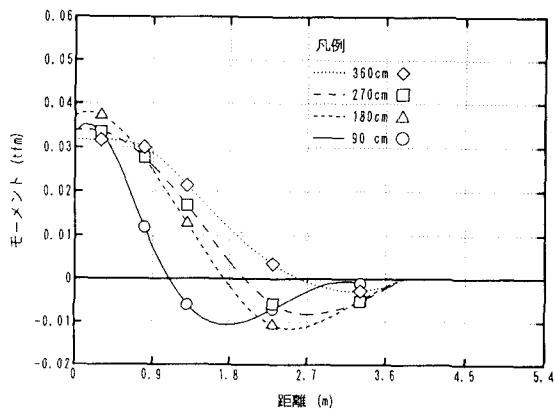


図-10 切羽の進行とモーメントの関係
(曲げ応力計N0.7)

三軸試験結果から内部摩擦角 (ϕ) を 50° とすると、ゆるみ幅は 1.9m となり、実測値とほぼ一致する (図-12)

図-13 に $N0.7$ のパイプに加わる分布荷重の近似曲線を示す。図から最大荷重は 0.2tf/m で、起点の支保工付近に生じるが、切羽付近で 0 となる。次の断面の掘進により、測定パイプに加わる荷重は減少し、切羽付近ではほぼ 0 となることから、一間の掘進においてはゆるみ荷重のほぼ全部を最下端のパイプが支保するようである。このことから支保工から切羽までのゆるみ荷重は最下端のパイプの応力にほぼ等しく、パイプに加わる分布荷重からゆるみ荷重は 0.3tf/m^2 程度と推定される。薬液注入の効果を検討した場合に、地上にある建物荷重を加えた全ゆるみ荷重は $Q=0.297\text{tf/m}^2$ となり、実測値とよく一致する。ゆるみ荷重は 0.3tf/m^2 は全土被り荷重の約 1% に相当し、薬液注入とパイプルーフが地山のゆるみを抑制しているものと考えられる。

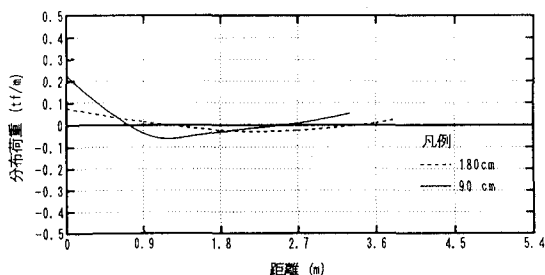


図-13 切羽の進行と分布荷重の関係
(曲げ応力計 $N0.7$)

5. おわりに

典型的な都市 NATM トンネルに、我が国初の拡巾ビットを用いたミニパイプルーフ工法を採用し、地表面沈下防止、切羽の安定性の確保、ならびに施工速度の向上に成果を上げつつ、現在施工中である。

今後ますます都市トンネルへの NATM の適用が予想される中で、ミニパイプルーフの新しい施工法が、その補助工法の一つとして確立していくものと思われる。

最後に、本工事の施工に当たり、深いご理解とご指導を賜りました起業者および発注者である神奈川県横浜治水事務所、東海旅客鉄道㈱の関係者の皆様に心より感謝の意を表します。

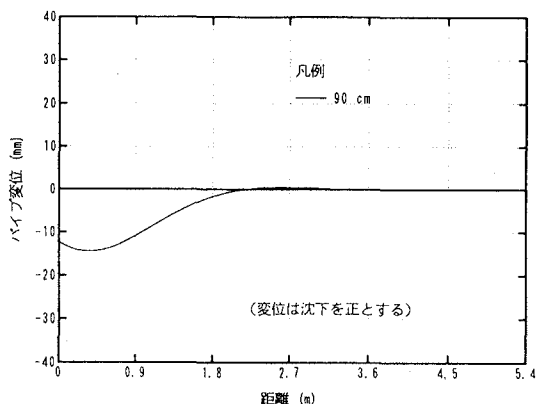


図-11 切羽の進行とパイプ変位の関係
(曲げ応力計 $N0.7$)

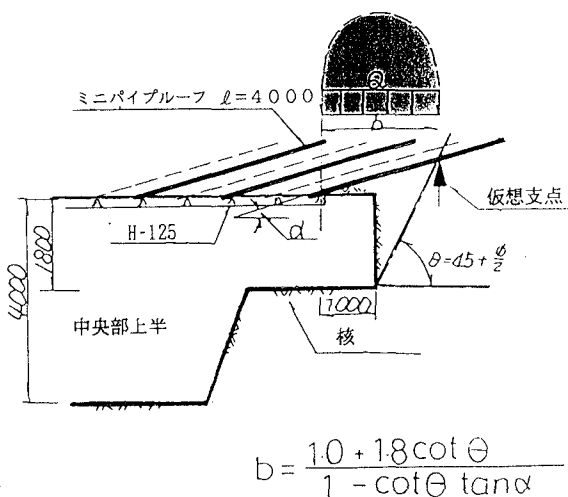


図-12 ミニパイプルーフ概念図