

曲線鋼管を用いた先行アーチ支保工による めがねトンネルの施工

CONSTRUCTION OF A BINOCULAR TUNNEL BY THE PSS-ARCH METHOD

高橋裕之¹⁾ 宮田正弘¹⁾ 原 守哉²⁾ 稲田正毅³⁾ 松本壮太郎²⁾

Hiroyuki TAKAHASHI, Masahiro MIYATA, Moriya HARA, Masaki INADA, Soutarou MATSUMOTO

The Wakunami Tunnel is a binocular tunnel on the Kanazawa Sotokan Expressway. An approach-lane tunnel runs just above this binocular tunnel. This is an unprecedented structure in Japan. There is a residential zone on the surface, and the overburden is only about 12 m. In addition, the distance between the binocular tunnel and the approach-lane tunnel is merely 3 m at minimum. These severe restrictions are imposed on this tunneling project.

For construction of the binocular tunnel, a new method, named Pre Supporting System- Arch (PSS-Arch), was selected using a value engineering approach after conclusion of the contract. This method installs curved steel pipes from the central drift. This report deals with the development and construction method of this new technique.

Key Words: tunnel, binocular, pre-support, curved steel pipe

1. はじめに

涌波トンネル（仮称）は、都市計画道路・鈴見新庄線のうち、浅野川と犀川に挟まれた金沢市錦町～大桑町に位置する。本トンネルは、金沢外環状道路の本線として、浅野側方面と犀川方面を直結する本線トンネル（めがねトンネル）と、その直上に位置し浅野側方面と涌波地区を結ぶ、連絡道トンネルの二つのトンネルから構成される全国でも例のない三つ目構造である。また、地上部は住宅街でありトンネルから地上までの土被りは最小で約 12m 程度と極めて小さい上、本線トンネルと連絡道トンネルの離隔も 3m～12m 程度しか確保できない条件であるため、地表面への影響を極力抑えることが要求される技術的に大変難しい都市型トンネルである。

本報文は本線トンネル（めがねトンネル）に契約後 VE として採用された、中央導坑から曲線鋼管を先行して設置しトンネルの支保工とする新工法（Pre Supporting System-Arch 工法、以下「PSS-Arch 工法」という。）について述べるものである。

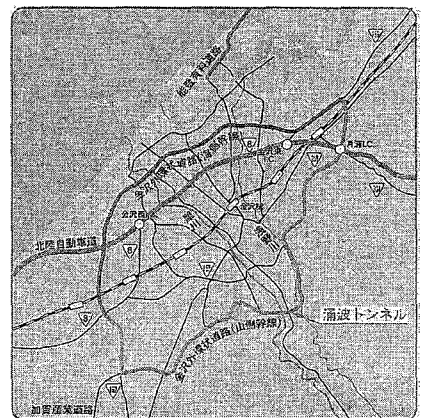


図 1-1 トンネル位置図

- 1) 石川県金沢土木事務所
- 1) 石川県金沢土木事務所
- 2) 熊谷・西松・北都・豊蔵共同企業体 涌波トンネル作業所
- 3) 正会員 熊谷・西松・北都・豊蔵共同企業体 涌波トンネル作業所
- 2) 熊谷・西松・北都・豊蔵共同企業体 涌波トンネル作業所

2. 工事概要

工事名：都市計画道路 鈴見新庄線 道路改築（街路）工事（涌波トンネル）

工事場所：石川県金沢市錦町～大桑町地内

工 期：平成 12 年 9 月 30 日～平成 17 年 8 月 31 日

本線トンネル：中央導坑 ……掘削 636m 掘削断面積 50.2m²

本坑（山側） ……掘削・覆工延長 636m 掘削断面積 71.5m²

本坑（海側） ……掘削・覆工延長 636m 掘削断面積 111.2m²

連絡道トンネル： ……掘削・覆工延長 154m 掘削断面積 120.6m²

涌波トンネルの平面図を図 2-1 に示す。

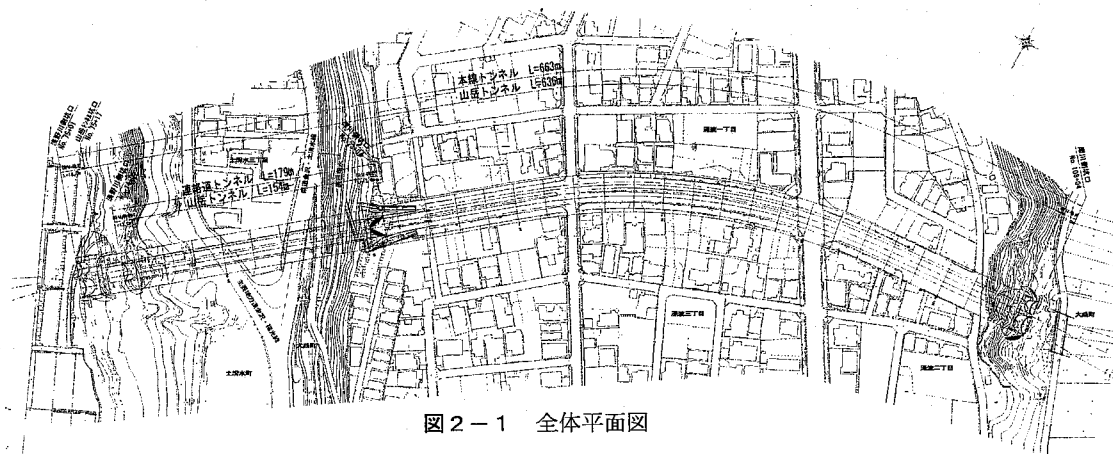


図 2-1 全体平面図

トンネル掘削対象基盤は、第四紀更新世前期の大桑層を主体とする固結度の低い細粒砂岩・シルト岩であるため、掘削工法は NATM による機械掘削方式が採用されているが、トンネルの安定性および作業の安全性を確保するため、注入式長尺鋼管先受け工（AGF-P）、地下水低下工法（ディーブウェル工）をはじめとする、様々な補助工法が採用されている。

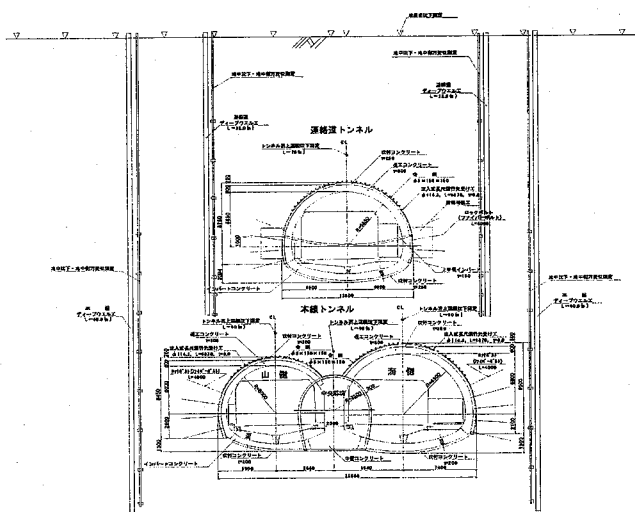


図 2-2 標準断面図

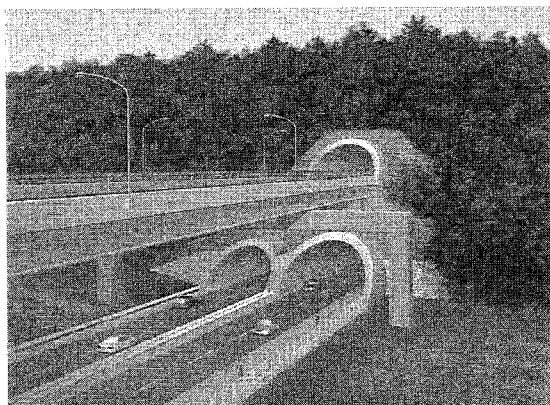


図 2-3 完成予想図

3. 地形・地質

涌波トンネル経過地となる台地は、金沢市南東に位置する室戸山付近から西方に伸びる丘陵性の山地の端部に位置している。経過地の台地は第四紀完新世に南東―北西方向に両側から浅野川、犀川により浸食され、幅が600m程度と狭くなっている。

台地面は上位の小立野台地と下位の涌波台地の2面より構成されている。土被りは小立野台地部では連絡道トンネルで5m～20m、本線トンネルで40m程度であり、涌波台地部では12～20mとなっており、全体に低土被りとなっている。

トンネルの掘削対象となる地質は第四紀更新世前期の大桑層である。大桑層は海進海退の影響を強く受けた堆積相を呈している（図3-1 参照）。

地下水位は全体に高く、中央導坑掘削時には、ディーブウエル稼働後も、泥質層上面で地下水が残留し、また均等係数4以下、細粒分含有率10%以下であるため、地山の安定性（砂分の流出、天端の崩落など）に強く影響を与えた。

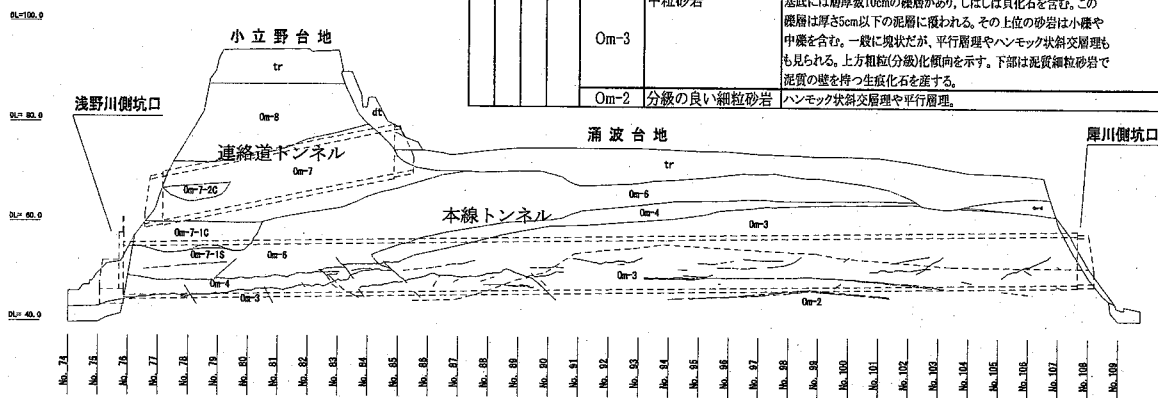


図3-1 地質縦断面図

4. 中央導坑掘削実績による評価

本線トンネルは、図2-2に示すとおり1本導坑タイプのめがねトンネルであり、掘削方式は機械掘削・タイヤ方式、掘削方法は上半先進ショートベンチカット工法である。施工順序は、中央導坑掘削後、中壁構築、山側本坑、海側本坑を順次掘削後、最後に覆工を施工する計画である。

地表面沈下対策として全線にわたり「注入式長尺鋼管先受け工（AGF-P）」が採用されているが、中央導坑掘削の実績により追加の補助工法（脚部補強工・切羽鏡面補強工等）が一部の区間に必要と判断された。その一方では、追加の補助工法による工費の増大・工程の延伸等の問題が懸念されていた。

これら諸問題を解決するため、Q（品質）・C（コスト）・D（工程）・S（安全）すべてに満足する技術が必要不可欠となり、検討した結果先行アーチ支保工による地山補強工法「PSS-Arch 工法」を提案し採用となった。

本工事は、民間の技術開発を積極的に活用することにより建設工事のコスト削減を図る「契約後 VE 方式の試行対象工事」となっており、採用にあたっては、山側幹線施工検討委員会の専門的な見地からの意見を受けて石川県契約後 VE 技術審査委員会により審査が行われた。

5. 新しい技術 PSS-Arch 工法

(1) 工法概要

PSS-Arch 工法は、刃口推進を用いて曲線鋼管を地山に圧入設置していく工法で、本線トンネルの掘削に先立ち中央導坑から事前にトンネル支保工を設置することができる。また鋼管を使って薬液注入を行うことにより、注入式長尺鋼管先受け工と同程度の地盤改良が可能であり、鋼管内をモルタル充填することにより、非常に剛性の高いトンネル支保工を掘削作業前に設置することができる。

あらかじめ設置された支保工の中を掘削するため、先行変位の抑制効果が大きく、支保工をトンネル掘削底板より根入れさせることにより沈下抑制の効果も大きい。また、トンネル掘削工程に影響を与えない補助工法であるため、工期の大幅な短縮が図られる。安全面においても、先行変位抑制の効果が大きいので、地表面沈下や切羽崩落の減少につながるとともに、支保工建込時の切羽での作業もなくなり、非常に安全性の高い工法となっている。

PSS-Arch 工法における掘削機構は、従来の回転式の推進機を使用した方法とは異なり、当該地山の特性（比較的均質な未固結の砂層）を活かし新たに開発した「先端に取り付けた刃口とウォータージェット及び圧縮空気の併用で、刃口を圧入させながら掘削を行う方法」であり、掘削土の排出は中央の排泥管（内管）からバキュームポンプにより泥水として吸引するもので、これまでに施工実績のない新しい方法である。

推進方法は、推力 80KN のチェーンフィード方式で、内管を元押すことにより先端で外管を引っ張る先端牽引方式を採用している。また、地山の締め付けによる推力不足を勘案して、サブ推進ジャッキ（350KN×2台）を搭載しておりチェーンフィードとの併用も可能となっている。

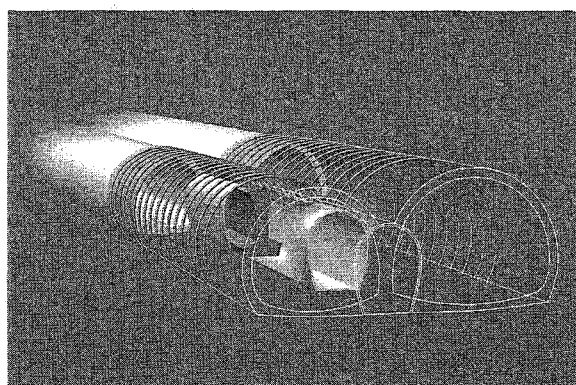


図 5-1 PSS-Arch 工法概念図

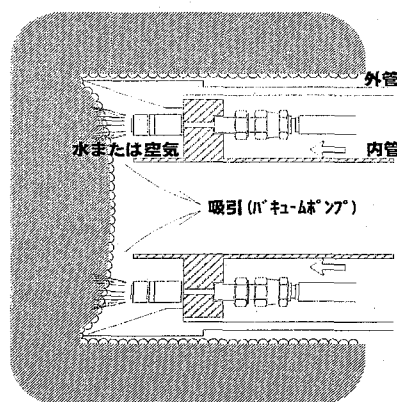


図 5-2 削孔システム

(2) 数値解析による PSS-Arch 工法の効果の検証

PSS-Arch 工法では、切羽到達より前に支保工が地中に設置されることとなり、先行変位の抑制効果や沈下抑制効果が非常に大きいと考えられる。そこで 2 次元および 3 次元 FEM 解析を用いてこれらの効果について確認を行った。図 5-3 に示す 3 次元解析では、先行変位率、沈下量についての抑制効果を比較検証するために、通常の掘削方法として、切羽到達直後に支保工（H-200）を施工するケースと切羽到達前に PSS-Arch 鋼管（ $\phi 267.4$ ）が事前に設置されているケースの 2 ケースについて行った。この結果によれば、図 5-4 に示すように先行変位率は、通常の掘削工

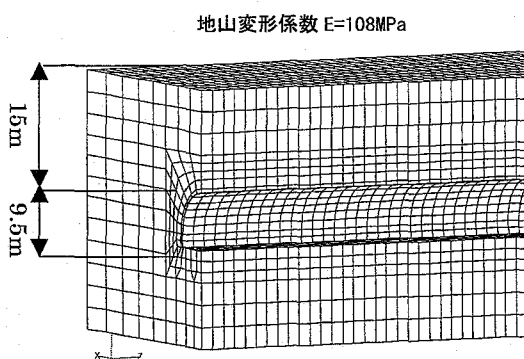


図 5-3 3次元解析モデル図

法での38%に対してPSS-Arch工法では34%と顕著な差は生じていない。しかし、天端沈下量ではPSS-Arch工法のケースが、通常の掘削方法に対して48%に低減されている。

一方、図5-5に示す2次元解析の場合には、PSS-Arch工法では、地表面沈下量が当初設計の補助工法を適用した掘削工法（AGF工法）の場合の74%に低減されている。2次元、3次元の数値解析結果より、PSS-Arch工法は当初設計のAGF工法よりも、先行変位量、沈下量に対して大きな抑制効果があることが確認できた。

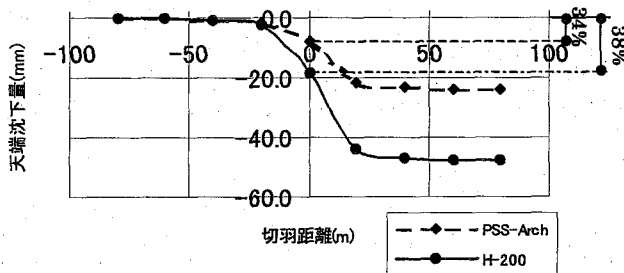


図5-4 天端沈下量経距変化図

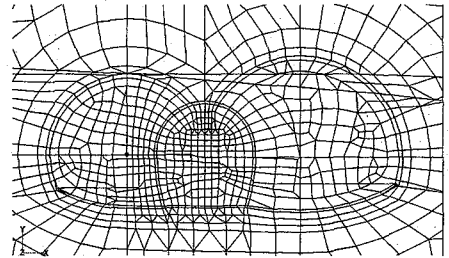


図5-5 2次元解析モデル図
(トンネル周辺拡大図)

(3) 施工方法

PSS-Arch工法の施工範囲を図5-6に示す。本線トンネル延長636mの内516mをPSS-Arch工法で施工をする。標準区間（ $L=413\text{m}$ ）はトンネルに対して天端120°注入、一部脆弱区間（ $L=103\text{m}$ ）については全周注入を行う。鋼管は $\phi 267.4$ 、 $t=9.3\text{mm}$ を使用し、一定の曲率（山側 $r=6000$ 、海側 $r=7500$ ）を有する曲線鋼管を、山側 $L=19.2\text{m}$ 海側 $L=23.1\text{m}$ の長さで、縦断方向のピッチ1mで施工する。図5-7に支保工図を示す。

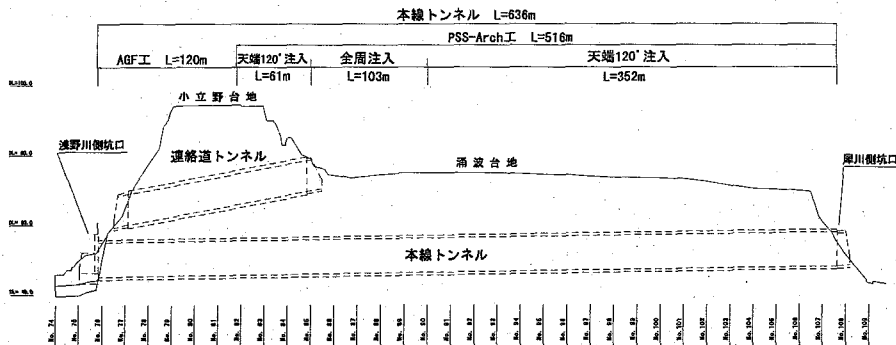


図5-6 断面図

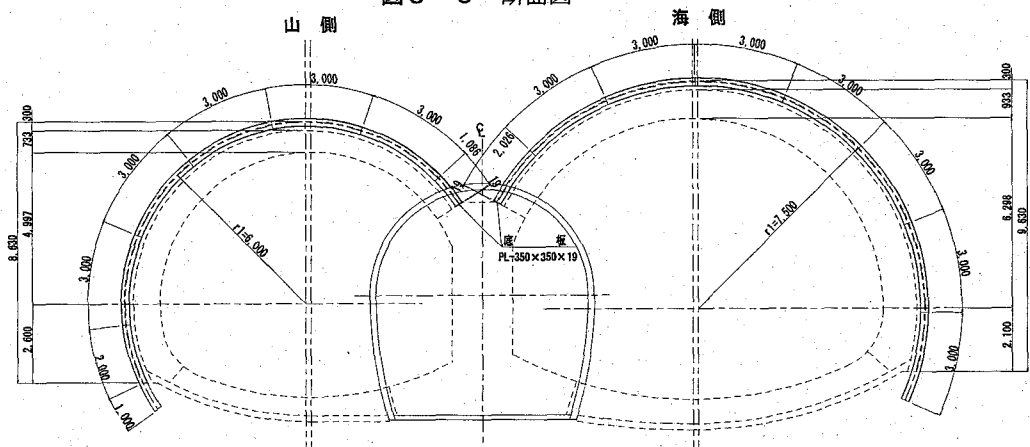


図5-7 支保工図

施工順序を図5-8に示す。

(1)先行削孔

中央導坑掘削時の支保部材である吹付コンクリート、フォアポーリング (FRP) 等の切削に大口径ボーリングマシンを使用し $L=1.5\text{m}$ 、 $\phi 350$ の先行削孔を行う。

(2)推進工

1 ピース $L=3\text{m}$ の曲線鋼管を溶接等で順次接続しながら所定の長さ (山側 19.2m 海側 23.1m) まで推進する。泥水は坑外に設置されたバキュームポンプ ($18\text{m}^3/\text{min}$ 級) で直接吸引・排出する。

(3)薬液注入工

地山と鋼管の間を埋める一次注入材はデンカ S パック ($\sigma=1\text{N}/\text{mm}^2$ 以下) を使用し、初期圧 $+0.2\text{N}/\text{mm}^2$ の昇圧管理を行う。また、二次注入材は浸透性のある水ガラス系溶液型無機長結材 (シリカライザー) を使用し、注入量山側 4.2m^3 、海側 5.2m^3 を $8\sim 10\text{L}/\text{min}$ で注入する。

(4)鋼管内充填

鋼管内はモルタル ($18\text{N}/\text{mm}^2$) で充填する。充填量は山側 1.0m^3 、海側 1.1m^3 である。

写真5-1～3に推進架台、推進状況および施工区間全景を示す。

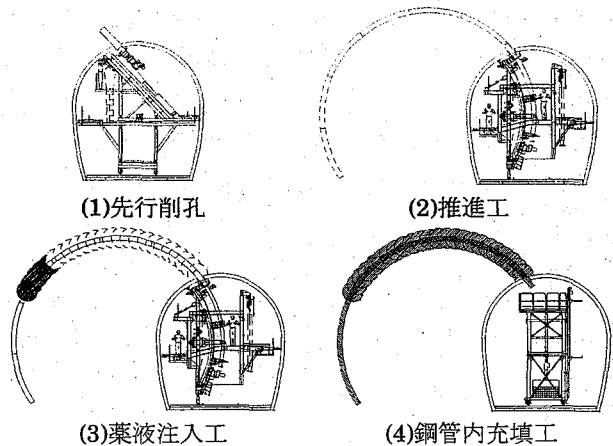


図5-8 施工順序図

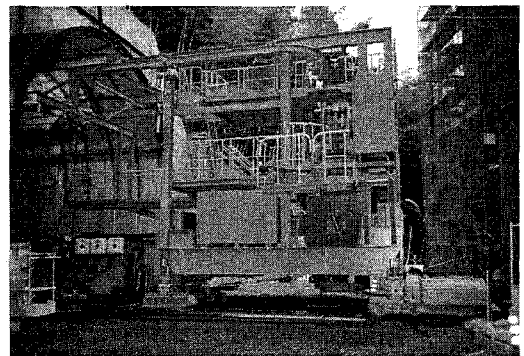


写真5-1 推進架台 (山側)

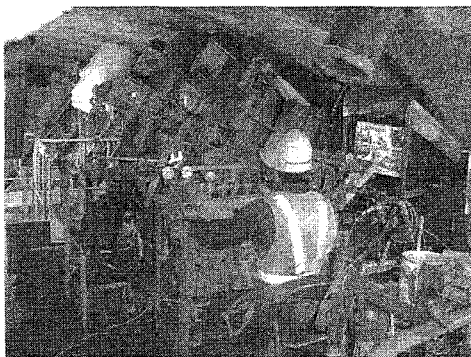


写真5-2 推進状況

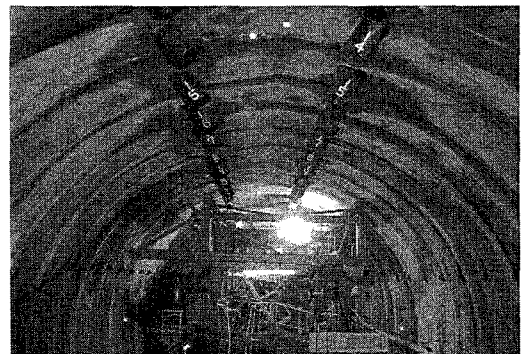


写真5-3 施工区間全景

6. おわりに

PSS-Arch 工法の進捗は H.15.9.1 現在山側 100 基/516 基、海側 30 基/516 基である。今後、先行アーチ支保工を設置した区間のトンネル掘削を行うが、鋼管の設置状況や切羽の進行に伴う鋼管の応力状態の計測結果等については、別の機会に報告したい。

謝辞：PSS-Arch 工法の施工を実施する上で、東京工業大学の太田教授をはじめとする山側幹線施工検討委員会の各位、また契約後 VE 方式により当工法を採用していただいた石川県の関係各位に深く感謝の意を表します。