

おんまそう 金沢市の大桑層を低土被りで貫くめがねトンネルにおける 先行アーチ支保工法の採用

Applied Pre-Supporting Arch Method at Construction of a Binocular Tunnel
in the Onma Formation in Kanazawa City

高橋 裕之 (たかはし ひろゆき)

石川県県央土木総合事務所 外環状道路建設課長

田中 志人 (たなか ゆきひと)

石川県県央土木総合事務所 外環状道路建設課技師

川越 健 (かわごえ たけし)

㈱熊谷組土木事業本部 土木設計部副長

中北 昭浩 (なかきた あきひろ)

熊谷・西松・北部・豊蔵 JV 涌波トンネル作業所技術課長

1. はじめに

涌波トンネルは、地域高規格道路金沢外環状道路山側幹線のうち、金沢市田上本町～大桑間の大桑台地を貫く延長663 mの本線めがねトンネルと、その直上に位置し小立野台地を貫く延長179 mの連絡道トンネルからなり、図-1に示すような全国的にも例のない三つ目構造のトンネルである(口絵写真-4)。また、図-2に示すとおり地上部には住宅地が広がり、土被りは最小12 mと小さく、上下のトンネルの離れも最小3 mとなっている。こうした状況下で、施工には地表面沈下など、周辺への影響を最小限に抑えることが要求される都市内トンネルとなっている。

本線トンネルは、掘削断面積約50 m²の中央導坑を先進して幅2 mの中壁を構築した後、本坑(掘削断面積が各々約70 m²、約110 m²)の掘削時に補助工法として注入式長尺鋼管先受け工法(AGF工法)を用いる計画であった。しかし、中央導坑の掘削時に判明した当地の大桑層の性状や断層の存在などから、AGF工法に代えて、新開発されたPSS-Arch工法(プレサポーティングシステムアーチ工法)を契約後VE方式により採用した。

この工法は、中央導坑から本坑の外周に沿って曲線鋼管を掘削前の地山に挿入することにより、掘削に先立ち

支保工を構築することができるため、地表面沈下の抑制効果が大きく施工の安全性が高い優れた工法である。

本文では、導坑掘削から判明したトンネル経過地の大桑層の特性と、その特性を踏まえて開発・施工されたPSS-Arch工法について報告する。

2. トンネル経過地の大桑層の特徴と施工実績

2.1 大桑層の地質学的特性と断層の存在

トンネルの掘削対象となる地質は、第四紀前期更新世に堆積した大桑層である。大桑層は氷河性海水準変動を受けた浅海成の淘汰の良い砂岩層とされており¹⁾、涌波トンネルの地山では大局的にはほぼ均質な砂層、泥層が互

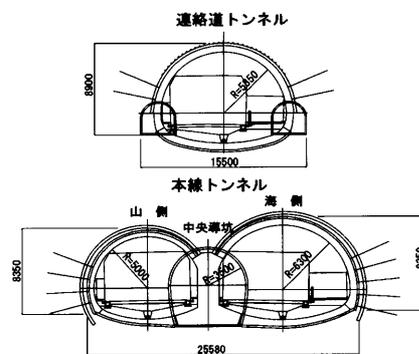


図-1 支保工断面図

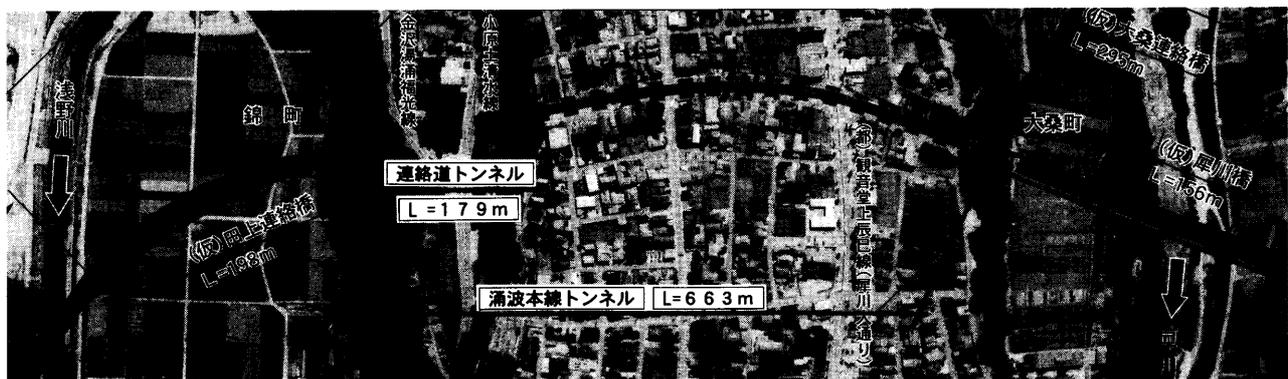


図-2 涌波トンネル平面図

層をなして連続するものと認識されていた。

図-3 (a)に中央導坑掘削時に判明した地質の縦断と主な補助工法の施工実績を示す²⁾。

大桑層中の砂層は本来、やや青みがかった灰色を呈するが、トンネル掘削深度では風化により褐色～黄褐色を呈していた。また、同一砂層と解釈されていた層準での岩相（粒径、堆積様式など）の変化や泥層の不連続性に起因すると考えられる湧水状況の差から、切羽の自立性不良が確認された。切羽のスケールで地質を見た場合、この岩相の変化や不連続性は、大桑層形成時の堆積深度など、堆積環境のわずかな変化によるものとされる³⁾。

また、見かけの変位が数十 cm 以下の逆断層が多数分布することが掘削時に判明し（写真-1）、その一部は走向がトンネル軸とほぼ平行であったため、長区間にわたり切羽に出現することとなった。ほとんどの断層面では赤褐色を呈する周辺の砂層より硬質な酸化帯（厚さ数 mm）が発達しており、地山内部で力学的な不連続面を形成するとともに相対的に難透水性な層となっていた。なお、これらの断層は地表露頭や地形面の変位としては確認されておらず⁴⁾、また、細粒粘土化帯や破碎帯を伴わず、地山の風化により初成構造が読みとりにくいことから、事前調査のボーリング試料からの認定は困難であった。

2.2 地山物性値のばらつきと地質状況

図-3 (b)に中央導坑掘削時にインバートで実施した平板載荷試験により得られた変形係数を示す。

No. 94付近と No. 100付近は淘汰のよい細粒砂から成る Om-2 層の値である。これ以外の 8 カ所は細粒砂主体で上方ほど粗粒化する Om-3 層でのデータである。Om-3 層における変形係数は、20N/mm² (No. 86付近)～230N/mm² (No. 107付近)と大きくばらついていることがわかる。既往調査結果⁵⁾によると、No. 86+00付近の調査ボーリング孔でのトンネル底盤付近の孔内水平載荷試験から得られた変形係数は40.18N/mm², 28.42N/mm²で、図-3 (b)に示す平板載荷試験から得られた変形係数はこれらの事前調査とはほぼ調和する結果が得られた。

これらの強度が著しく低くなっている箇所は図-3 (a)に示すトンネル掘削実績と比較すると、断層の上盤

側、岩相境界付近などの湧水が多い箇所に対応する。

2.3 中央導坑の施工実績と地質

導坑掘削中に実施した補助工法と地質の実績を比較すると、次のようにまとめられる。

断層が導坑切羽内に出現する手前から天端の崩落などが頻発したため、注入式フォアポーリングを施工している。鏡面でこれらの砂層の岩相境界、砂と泥層の境界部では地下水のしみ出しに伴う地山の流出が生じ、注入式フェイスボルトによる地山強度の向上や水抜きボーリングの施工を実施した。また、断層がインバート下方へ逃げていく箇所、および Om-3 層準内の岩相の変化、Om-2 層との境界部では地下水が賦存し、トンネル底盤の泥ねい化とそれに伴う地耐力不足が生じたため、ウェルポイントによる地下水の排出を行うとともに、掘削方法を上下半のマイクロベンチから、3段ベンチとして上中段をマイクロベンチで先進させる方法に変更した。

3. 地山の工学的特徴と施工上の問題点

3.1 地山の工学的特徴

大桑層は、地質学的に続成作用を十分に受けていないため、工学的にはいわゆる未固結な状態である。また、力学特性は深度依存性が必ずしも認められず、かつ、岩相ごともしくは同一岩相内でも強度特性に違いがあり、多様な岩相、堆積構造と断層の分布および地下水の存在に制約されていた。

3.2 中央導坑掘削実績から得られた施工上の問題点

前記のような地質条件のもと、土被りが小さく、かつ



写真-1 中央導坑切羽に出現した逆断層

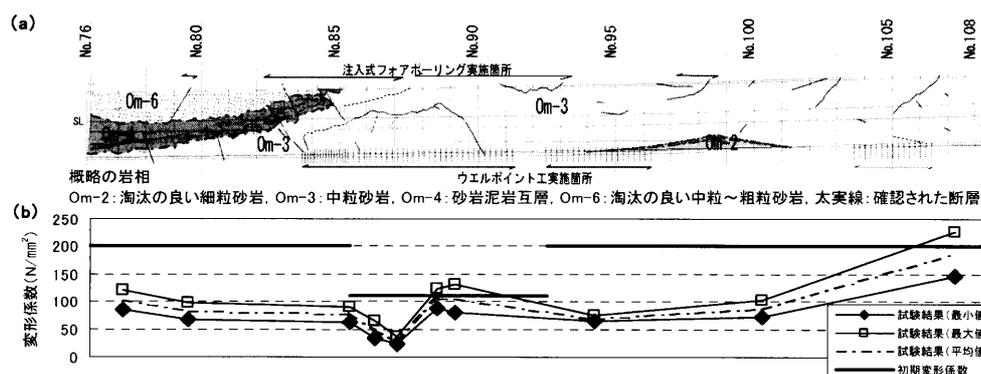


図-3 (a)中央導坑掘削実績（地質、補助工法） (b)中央導坑底盤の平板載荷試験から得られた変形係数

論 文

トンネル天端上方に自然水位（地下水面）が存在することから、中央導坑掘削時には、未固結砂層での緩み領域の拡大防止、切羽の自立時間の確保に加え、以下の点を考慮する必要が生じた。

- ディープウェル稼動後に泥質層や断層面上面に残留する地下水による地山の流出と緩み域の拡大
- 支持地盤の強度不足（インバートの泥ねい化）
- 岩相のわずかな違いにより力学特性に差が生じ、施工時の地山の安定性が相対的に脆弱な部分に制約される
- 断層近傍での大規模な天端の崩落

また、上記の土木地質学的な問題を有する地質の連続性を本坑に展開して考えることは、大局的には可能であるが、断層の出現位置を含めた地質構造を予測することは困難であり、本坑めがねトンネルの施工を考慮すると、掘削に伴い変位（地表面沈下）が増大し、所定の施工管理値には収まらないことが予想され、対策工の追加が必要であると判断された。

4. 先行アーチ支保工法の採用

3章で述べた地山条件下において安全確実に本坑めがねトンネルを施工するため、契約後 VE 方式により AGF 工法に代えて施工者から提案された PSS-Arch 工法を、山側幹線施工検討委員会（委員長：太田秀樹東京工業大学教授）の専門の見地からの意見を参考に、本トンネルの支保方法として採用することとした。図-4 に PSS-Arch 工法の概念図⁶⁾を示す。

PSS-Arch 工法は、トンネル支保工を掘削断面の外側に、掘削に先行して地山内に設置していくもので、めがねトンネルにおいては、本線トンネルの掘削に先立ち中央導坑から曲線状の鋼管をウォータージェットによる切削とバキューム吸引による排土により挿入設置する工法である（図-5）。さらに、鋼管を用いて薬液注入を行い、最終的に鋼管内にモルタルを充填することにより、AGF 工法と同等以上の地盤改良効果が期待できるものである。

本工法の特長としては、先進坑・後進坑などの本坑施工では、あらかじめ地中に設置された支保工の中を掘削することとなるため、先行変位や地表面沈下の抑制効果が非常に大きい。また、トンネル掘削工程に影響しない工法であるため、工期の大幅な短縮が図られるほか、安全面においても、切羽の自立性が格段に向上するとともに、支保工建て込み作業がなくなることで切羽接近作業も少なくなり、作業の安全性が非常に高い工法である。

PSS-Arch 工法の地表面沈下の抑制効果については、2次元 FEM 解析での試算によれば、本坑掘削時の地表面沈下量が設計の補助工法である AGF 工法を適用した場合の66%に低減される結果が得られた（図-5）。

また、この先行アーチ支保工を中央導坑からあらかじめ施工しておくことにより、本坑掘削時に予期せぬ箇所で断層が出現しても、事前に対策が講じられていること

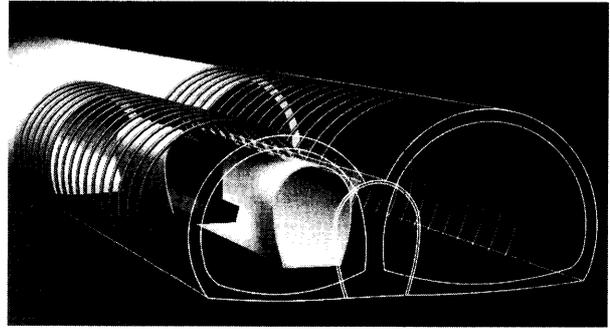


図-4 PSS-Arch 工法の概念図

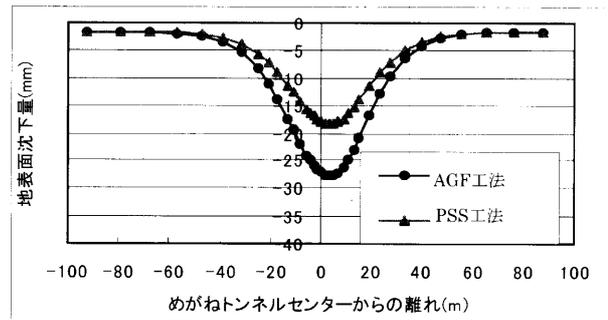


図-5 新工法の採用による地表面沈下抑制解析結果

から、本坑掘削の計画的な施工が実現できることとなる。

5. 先行アーチ支保工法の効果

本坑掘削時のトンネル周辺地山には PSS-Arch 工法により先行して鋼管支保工が設置され、また注入の効果もあわせ、地山の安定性が格段に向上している。さらに、本坑掘削時の各変位量も極めて小さな値で推移しており、新工法の採用による変位抑制効果が期待どおりに表れていると考えられる。これらのことから、切羽作業における安全性が高まり、効率的な施工が実現できている。

最後に、PSS-Arch 工法の施工を実施する上で貴重な御助言をいただいた東京工業大学太田秀樹教授をはじめとする山側幹線施工検討委員会委員各位に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 地学団体研究会編：新版地学事典，平凡社，p. 194，1996.
- 2) 石川県金沢土木事務所，熊谷・西松・北都・豊蔵特定建設工事共同企業体：第4回山側幹線施工検討委員会資料，2002.
- 3) 北村晃寿：下部更新統大桑層上部に見られる氷河性海水準変動による堆積シーケンス，地質学雑誌，第100巻，第7号，p. 463～476，1994.
- 4) 例えば，活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991.
- 5) 石川県金沢土木事務所：山側幹線技術検討委員会報告書，1999.
- 6) 熊谷・西松・北都・豊蔵 JV: PSS-Arch 工法パンフレット，2003.

(原稿受理 2004.12.27)