

天王山トンネル改築工事の施工について METHOD OF RECONSTRUCTING TENNOHZAN TUNNEL

寺尾 幸青*・本山 和幸**・内田 渉***

Kousei TERAO, Kazuyuki MOTOYAMA and Wataru UCHIDA

This will be the construction of making the two-lane highway road of the tunnel wider, which have been built for 32 years. They will demolish the existing one by the 3.8 t large-sized breaker and will reconstruct to make it two-lane highway road of the tunnel in the current way. Before excavation, they will have grouting to reinforce the weak rock around the tunnel. And also they are going to recycle all the industrial wastes which they will produce a lot while reconstructing.

Keywords : Reconstructing tunnel, Tunnelling method by large-sized breaker, Tunnel grouting before excavation, NATM, Recycle the industrial wastes.

1. まえがき

名神高速道路は、わが国初の高速道路として昭和38年7月に栗東～尼崎間が供用されて以来、国民生活の向上と経済社会の発展に大きく寄与してきた。しかし、予想を上回る交通量の増加に加え、車両の大型化により区間および時間帯によっては、交通渋滞が多発し、高速道路本来の機能である高速性・安定性・安全性の確保が困難となってきたため、それら本来の機能を回復すべく、改築工事が計画された。

天王山トンネルは32年前矢板工法で施工された、延長約1,400mの上下2本の2車線トンネルで、岩質がD級の粘板岩ではほぼ全線破碎帯といていほど自立性に乏しく、施工当時、トンネルに強大な土圧が作用し、落盤、支保工の変状、覆工の脱落が発生、さらにその内側に2次覆工を施工し縮小断面で供用されてきた。今回のトンネル改良工事では、北側に新設された2本のトンネルに交通を切り替えた後、3.8t級の大型ブレイカーを使用したNATM上半先進機械掘削工法により、トンネル幅員を1.2m(車道幅員を7.8mから9.0mに)拡幅し現行仕様の2車線トンネルに改築するもので、完成後は上下各4車線の高速道路に生まれ変わる。

施工に際しての問題点は、2重に施工された、厚さ約1mの覆工コンクリートの存在、および32年間経過したトンネル周辺の地山に対する評価とトンネル拡幅時の地山の挙動、また、コンクリートがら等発生する膨大な量の建設廃棄物の処理方法である。本報告では、天王山トンネル東改良工事における事例について紹介する。

* 日本道路公団大阪建設局京滋工事事務所 工事長

** 日本道路公団大阪建設局京滋工事事務所 技師

*** 正会員 大成建設(株)・東亜建設工業(株)共同企業体 所長

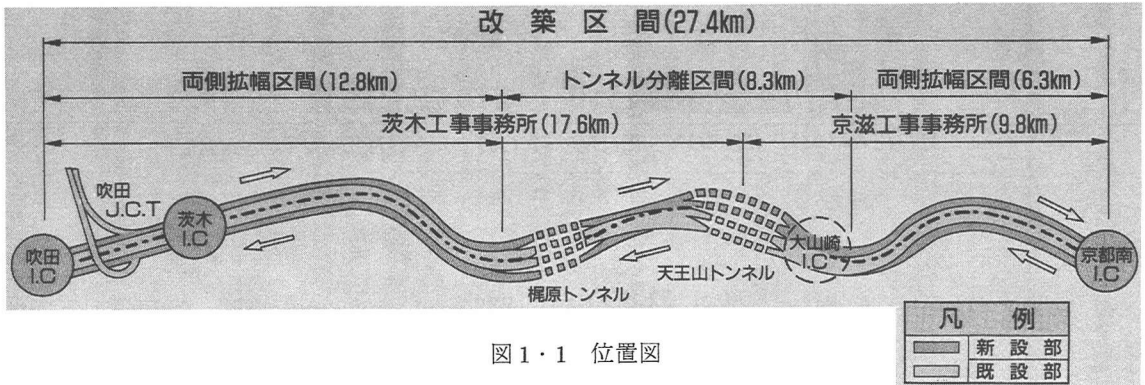


図 1・1 位置図

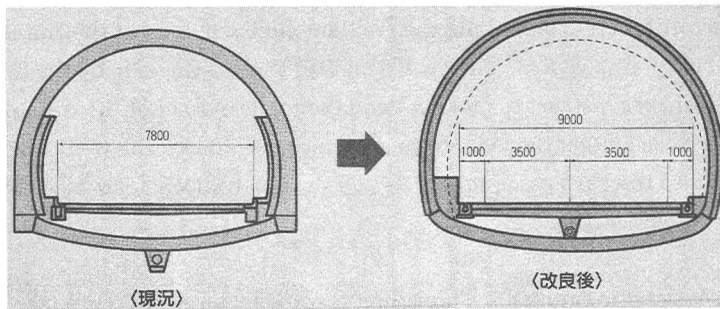


図 1・2 トンネル改築断面図

2. 地形・地質概要

天王山トンネルは、淀川北岸部の京都府と大阪府の府境に位置する。その山と川に挟まれた自然の関門ともいべき当所では、古代以来、水陸交通の要衝として発展し、天下分け目の天王山の合戦等様々な歴史が刻まれてきた。

地質は古生層である丹波層群を基盤とし、これに大阪層群、段丘堆積層および崖錐堆積層などが不整合に被覆している。丹波層群は、粘板岩、砂岩、チャート、輝緑凝灰岩などの堆積岩からなり、これらの互層から構成されている。当工事区間である京都府域は、粘板岩を主体とした互層になっており、 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の南傾斜をした帯状の傾斜構造となっている。また、全体的に変成作用による風化が進み、破碎帯あるいは破碎質の亀裂の発達した脆弱な岩質となっている。

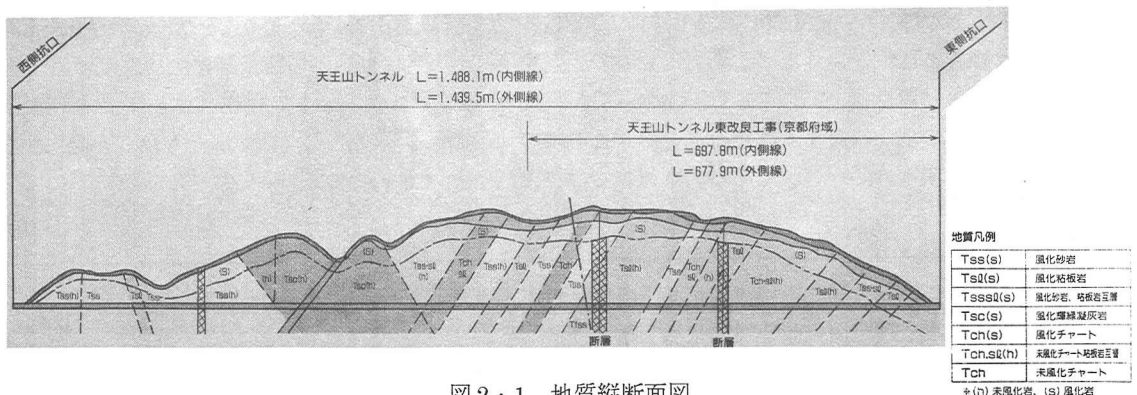


図 2・1 地質縦断面図

3. 施工方法

3・1 トンネル掘削

改築対象のトンネルは、当時非常に苦勞して施工されており、H形、U形鋼アーチ支保工が密に、しかも2重3重にはいっており、縫地矢板、また覆工コンクリートの厚さも約1mあるという条件から、トンネル改築機械として、3.8t級大型ブレイカー（本体40tトンネル仕様ローディングショベル）を選定した。

施工方法は、上半先進工法とし、既設トンネル覆工が先行変位を抑制する先受け工として役立っているため、1サイクル進行長ずつこれを取り壊し、新たに支保工を設置していくという方法で行った。掘削順序は、まず、既設覆工コンクリートの取り壊し、既設支保工の撤去、矢板の撤去、地山掘削を行い1次吹付けコンクリートを施工する。そして、鋼アーチ支保工の建込、金網張、2次吹付けコンクリート、ずり出し、ロックボルトで1サイクルである。作業は全て既設舗装面上で行っている。

また、周辺地山の劣化が予想を上回っており、既設覆工、支保工を取り除くと地山が崩落し、切羽での補助工法（注入式7φボアリング）を施工せざるを得ないという現象が連続して発生した。地質状況は、粘板岩が強風化し指圧でも砕ける程土砂化しており、節理面は鏡肌となって剥がれやすくなっていた。そこで、補助工法（天端崩落対策）なしでは危険であり、掘削に伴うトラブルの連続により、工程面、経済面でも支障となるため、各種補助工法を比較検討した。その結果、先行する大きな導坑を利用して事前補強することが、掘削サイクルを阻害せず最も効率的であると判断し、しかも安価な材料で施工可能である事前注入工法を採用した。

3・2 事前注入実施にあたっての判断規準

事前注入実施にあたっての判断規準として、注入に先立ち、地山の評価を行うための各種調査を実施し、その結果や過去の施工実績、今回の切羽観察調査、計測結果に各々評点付けを行い、天王山トンネル改良工事に適用した。その採点項目は以下のとおりである。

- ① 改良工事における切羽観察記録簿
- ② 当初詳細設計での支保パターン決定資料
- ③ 新設トンネルでの施工状況
- ④ 既設トンネル当時の施工状況
- ⑤ 事前さぐり削孔結果（のみ下がり、湧水の有無、延長5m毎に5孔実施）
- ⑥ ブレイカーによる事前の覆工取り壊し調査（地山の自立状況を直接確認、延長50m毎に2箇所実施）
- ⑦ 改良工事における計測結果資料

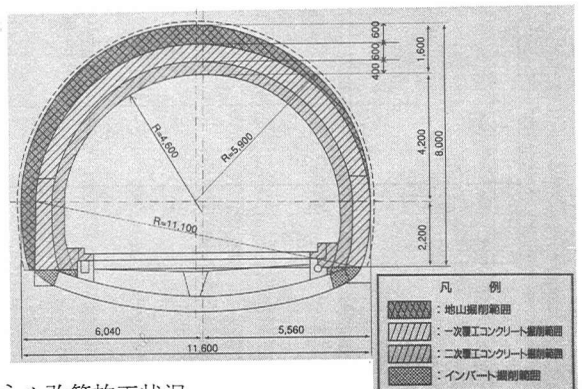
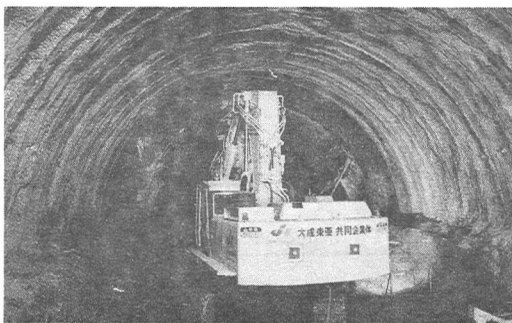


図3・1 トンネル改築施工状況

3・3 事前注入

注入工法としては、まず、1次注入として矢板背面の空隙を安価な材料で裏込めする。注入方法は、さぐり調査孔を利用して塩ビの注入管を取付け、エアーミルク（3倍発泡）また湧水区間は急硬性セメントミルクを注入圧 8 kg/cm^2 以下で注入した。

そして次に、2次注入として劣化した岩盤の連続性を高めるために、注入管（自穿孔ボルト $l=2.5\text{m}$ 、 4.0m ）を打設し注入圧 20 kg/cm^2 で注入した。注入材については、地山が破碎質でもまれており、地質によっては注入効果の低下や崩落の発生等問題が発生したため、その変化に応じて注入材を変更した。注入範囲については、注入目的を切羽天端の崩落対策におき、地山の状況に応じて厚さ $1.0\text{m} : 90^\circ$ 、厚さ $2.5\text{m} : 120^\circ$ 、また、注入ピッチは周方向 1.25m 、 2.5m 、延長方向 2.5m 間隔とした。

- | | |
|----------------------------|---------------|
| ① 未固結あるいは軟弱で非常に亀裂が発達している場合 | : 急硬性セメントミルク |
| ② 粘性土が多く介在し浸透性が要求される場合 | : 超微粒子セメントミルク |

3・4 注入効果の確認

改築前のトンネル周辺地山のゆるみの評価と、事前注入後の補強効果の確認を行う目的で、ボーリング調査を実施した。調査は天端上向きに 5.0m のコアボーリングを行い試料採取、孔内載荷試験および弾性波速度試験を、注入前、注入後の2回実施した。

調査結果より、 1.0 km/sec 前後の低速度帯では自立性の向上や物性値の上昇が認められた。これは、注入材が地山に浸透しその粘着力を高め、トンネル切羽の自立性が向上していることを示している。しかし、その上昇値はわずかであり、注入によって岩盤の剛性が大きく向上するとは考えにくい。すなわち、空隙の物性が岩盤全体の物性に及ぼす影響は、空隙率に依存する。粘板岩は、潜在的な亀裂を有するものの密実であり空隙率は小さい。事前注入の効果としては、掘削に伴う切羽崩壊防止対策として有効であるといえる。

表3・1 ボーリング調査結果

項目	注入前	注入後
掘進状況	掘進中において、コアチューブに回転を与えず油圧だけで押しも入っていく区間があった。	コアチューブに回転を与えた上で給圧しなければ入っていかない状況であった。
孔壁の状態	孔壁の崩壊が著しかった。	孔壁は崩壊するものの注入前よりは良い状況であった。
載荷試験状況	孔壁の崩壊が著しく孔径が大きくなり過ぎたために、試験不可能となる箇所があった。	孔壁は崩壊するものの一定量に収まっており、全点において試験可能であった。
変形係数 (kgf/cm^2)	実施不能、または 40kgf/cm^2 以下 $1,000\text{kgf/cm}^2$ 程度	$40 \sim 300\text{kgf/cm}^2$ $1,400 \sim 2,000\text{kgf/cm}^2$
弾性波速度 (km/sec)	$900 \sim 1,700\text{km/sec}$ $800 \sim 1,200\text{km/sec}$	$1,300 \sim 1,800\text{km/sec}$ $1,200 \sim 1,500\text{km/sec}$

4. 計測結果

4・1 内空変位

内空変位は水平測線で最大で、その最終値は大部分が20～50mmの範囲にあり、当初想定した変形予測と合致しており、施工管理基準値や支保パターンなどが無理のないものであったと判断できる。天端沈下は5～15mmと小さく、水平変位の約1/3程度である。また特徴として下半切羽通過時に大きく変位し、切羽が2D（約20m）程度離れると変位は概ね収束する。このことから本トンネル周辺の岩盤は、弾性的な挙動をしていると考えられるが、その後も緩やかな変形が続いており、岩盤が時間依存性の変形をしていることがわかる。ただし、その変位速度は、0.001mm/hour程度であり、トンネルの安定に影響を及ぼす大きさではないと考えられる。

内空変位の最終量と上半掘削時の変位量を比較してみると、上半掘削時の約4倍の変位が最終変位として生ずる傾向にある。これは、長年の浸水によるトンネル下部の吸水劣化や偏った初期地圧状態のため、下半掘削時に大きな応力解放が生じていると考えられる。

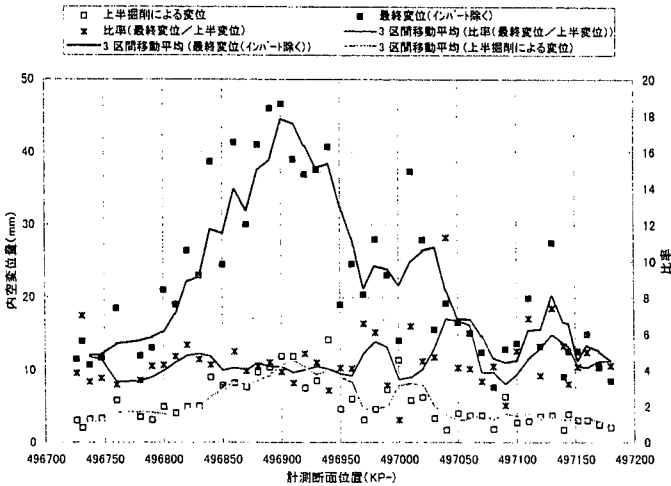


図4・1 内空変位の計測結果

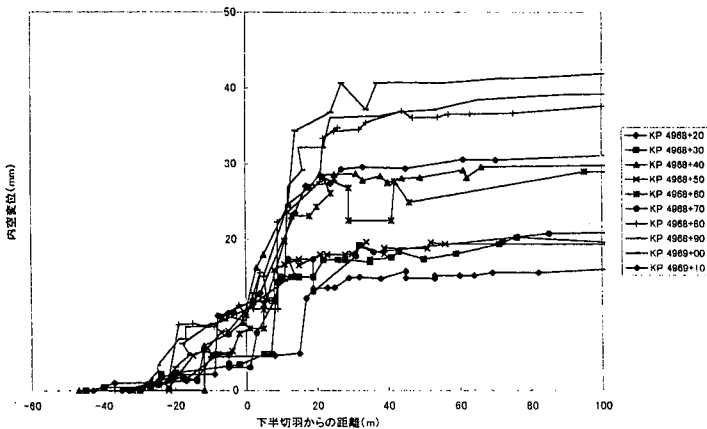


図4・2 内空変位の経時変化
グラフ

4・2 支保工、吹付けコンクリート応力

支保工の軸応力は1,000～1,500kgf/cm²、吹付けコンクリートの軸応力は30～40kgf/cm²が発生しており、1次支保が効果を発揮していることを示している。

4・3 ロックボルト軸力

ロックボルトには、4～15tonの軸力が発生している。本トンネルでは、岩盤が細かく破碎されており、孔荒れが激しく、ほとんど自穿孔または圧入式を使用しているが、このような条件で軸力が計測されていることは、ロックボルトが効果を発揮していることを示している。

4・4 既設覆工コンクリート応力

既設覆工コンクリートの表面にひずみゲージを張り付け、これをオーバーコアリングすることにより応力解放させ、そのひずみから、改築前にかかっている応力を測定した。その結果、覆工の軸応力は30～50kgf/cm²であり、既設覆工は地山応力の30～50%を負担していることになり、この応力が、改築時の掘削解放力となる。そして、既設覆工を取り壊し新たに改築の支保工を施すが、このときの解放率を40～60%として総合解析した結果、本トンネル地山の巨視的な剛性は、2,000～3,000kgf/cm²程度と推測できる。

5. 建設廃棄物の処理方法

さて、既設トンネルを取り壊す際、さまざまな建設副産物が発生する。そのほとんどが建設廃棄物に該当するため、これらを分別し、減量化・再利用への取り組みを行っている。

コンクリートガラについては、一般に市販されている程度まで加工すると有用物となり、法から除外される。そこで、28,000 m³に上る大量のガラを、移動式クラッシングプラントを使用して粒度調整し、高速道路の路体および路床材として、再利用している。鋼製支保工については、1,530 ton発生するが、コンクリートの付着物を除去し、スクラップ処理している。また、在来工法で施工されたトンネルゆえ、木矢板がたくさん(約1,400 m³)入っており、コンクリートガラやズリと混ざって搬出される。これをスケルトンバケツおよび人力分別し、産廃処理業者に委託処分している。

6. おわりに

トンネル全区間にわたって、既設覆工を全て取り壊し改築するという工事は過去に例がなく、今回は試験工事の積み重ねで、試行錯誤しながら施工を進めるという状況であった。改築工事の特徴をあげると、

- ① 拡幅による変位は新設時に比べて小さいが、拡幅により解放される応力が地山応力の30%程度であることを考え、管理基準値を設定する必要がある。
- ② 既設支保工の状態、サイズ、座屈の有無、矢板等を十分観察することが重要である。
- ③ 既設覆工の診断や事前調査、事前補強の技術は、効率の良い安全な施工に不可欠であると思う。
- ④ 改築により発生する建設廃棄物は膨大な量になるので、事前にその処理方法について計画し、監督官庁と協議しておくことが必要である。

本トンネルが最初に掘削された際に大きな変形が生じ、覆工を2重に施工せざるを得なかったということは、地圧に比べ岩盤の巨視的な剛性が不足しているためと考えられる。在来工法では、掘削直後の支保効果が小さいために、変形によって岩盤をゆるませてしまう可能性が高い。今回のNATMによる改築にあたっては、十分な剛性の支保を早い時期に設置しているため、岩盤の変形を収束に導くことができていると考えられる。ただし、緩やかな変形が長期間継続している区間もあり、支保工の耐力が不十分で岩盤を再度不安定化させるような場合は、変位速度が大きくなる可能性もあることから、計測結果には十分注意して施工する必要がある。

本報文が、今後のトンネル改良(拡幅)工事の設計・施工において参考になれば幸いである。