

# 既設シールドトンネルの撤去とトンネルの挙動

## Removal Method of Existing Shield Tunnel and its Behavior during Open - Cut Excavation

市川 一夫\*  
Kazuo Ichikawa

岡 静男\*\*  
Shizuo Oka

浜田 透\*\*\*  
Toru Hamada

石橋 貢\*\*\*\*  
Mitsugu Ishibashi

### 要 約

本工事はウォーターフロント開発の一貫として進められている臨海副都心計画の一部で、臨海副都心線東京テレポート駅を築造するものである。臨海副都心線は、貨物線として昭和50年代に建設された地下鉄を一部区間において再利用する計画となっており、本工区も開削工法により既設のシールドトンネルを撤去したうえで、新たに地下駅を構築する。

本報は、比較的工事事例の少ない、シールドトンネルの解体・撤去工事について施工方法の詳細を報告するものである。工程上の制約から、効率的な解体工法の採用が本工事のポイントであったが、試験施工の結果も踏まえて、静的破砕剤を用いて二次覆工を先行して取り壊す方法を採用し、良好な結果を得た。

また、シールドトンネルを掘り出す過程で、トンネルは浮き上がり変位、断面変形を生じる。このような開削に伴う既設トンネルの挙動に関する計測結果についても報告する。

### 目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 工事概要
- § 3. 地形・地質概要
- § 4. トンネル撤去工事
- § 5. 開削に伴うトンネルの変位挙動
- § 6. まとめ

## § 1. まえがき

昭和50年代に千葉と京浜工業地帯を結ぶ貨物線として計画された京葉貨物線は、一部の区間では竣工をみても

の、その後の需要動向の変化により、建設が凍結されたままになっていた。しかし近年、有明、晴海、台場地区が臨海副都心として脚光を浴びるに至り、この地区への重要なアクセスとして旅客化が図られることになった。本工事は、この臨海副都心線建設工事のうち東京テレポート駅を築造するもので、今回はその第1期工事として開削工事を行った。

本工区では、京葉貨物線時代の単線並列シールドトンネルが施工済(当社施工)であるため、開削によってトンネルを掘り出し、撤去した後に地下駅を構築することになる。本報では、比較的工事事例が少ないと思われる既設シールドトンネルの撤去工事を中心に報告する。

また、トンネル直上での開削工事であることから、開削が既設トンネルに及ぼす影響についても計測を行った。この結果についても併せて報告する。

\* 関東(支)臨海テレポート駅(出)所長  
\*\* 関東(支)臨海テレポート駅(出)工事係長  
\*\*\* 関東(支)臨海テレポート駅(出)  
\*\*\*\* 土木設計部設計課係長

## § 2. 工事概要

工 事 名：臨海・東京テレポートSt他工事  
 発 注 者：日本鉄道建設公団東京支店  
 施工場所：東京都江東区晴海1丁目地内  
 施 工 者：西松・日本国土・大本・新井特定建設工事  
 共同企業体  
 工 期：平成4年3月31日～平成5年9月30日  
 工事数量：鋼管矢板( $\phi$ 1061mm,  $l$ =14.5～34.0m)230本  
 中間杭 (H-300,  $l$ =16.0～32.5m) 171本  
 鋼矢板 (IV型) 1,900 $m^2$   
 ケミコパイル 26,210m  
 コラムジェット 1,917m  
 掘削,土捨 119,178 $m^3$   
 土留支保工 4,033t  
 グラウンドアンカー 4,354m  
 シールド撤去工 415m  
 ティープウェル 24本

掘削形状を図-1に示す。軟弱地盤での大規模な掘削であり、かつ掘削範囲と並行して国道が走っていることから、土留め壁には鋼管矢板( $\phi$ 1061mm)を用いた。支保工は5段目まで切梁方式とし、6,7段目については、トンネルが支障となるためグラウンドアンカーを用いている。また、掘削重機のトラフィカビリティを確保するため、掘削域内の沖積層を対象にケミコパイル工法による地盤改良を行った。

撤去するトンネルは、外径が7500mmの並列シールドトンネル(トンネルの離間距離は約10m)で、地表面からの土被りは14～15mである。

## § 3. 地形・地質概要

工事箇所は荒川と隅田川の間形成され三角州地帯の先端部である13号埋立地に位置する。13号埋立地は昭和37～44年にかけて埋立造成されており、標高T.P.3～4mの平坦面となっている。

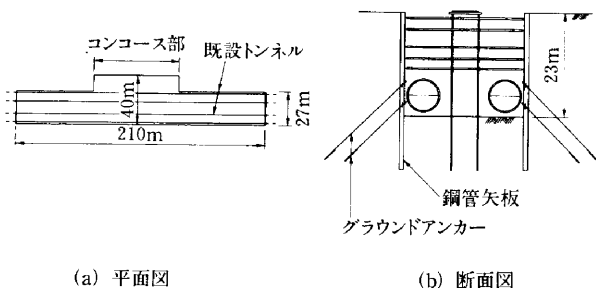


図-1 掘削形状

地質は、地表面から5m程度が浚渫砂、建設残土よりなる埋土層であり、その下位に層厚5～10mの沖積層(有楽町層)が分布している。これらの層のN値は2～5程度であり、軟弱なシルトが主体となっている。有楽町層の下部には洪積層である東京層の下部粘土層、礫層などが分布している。

## § 4. トンネル撤去工事

### 4-1 解体工法の検討

撤去対象となるトンネルは、図-2に示すように外径7500mm、内径6400mmで、一次覆工と二次覆工から成っている。一次覆工は、鉄筋コンクリートにスキンプレーートを施した合成セグメントで厚さ300mm、設計強度は550 kgf/cm<sup>2</sup>(53.9MPa)、二次覆工は、D13を配した鉄筋コンクリートで厚さ250mm、コンクリート強度210kgf/cm<sup>2</sup>(20.6MPa)である。撤去する鉄筋コンクリート量は5065 $m^3$ に達する。

この一次覆工および二次覆工をいかに効率よく、かつ安全に解体するかが本工事の課題のひとつであった。工事に先立ち、次の2方法について解体工法の比較検討を行った。

- ①一次覆工、二次覆工を同時に解体する方法
- ②二次覆工、一次覆工の順に逐次解体する方法

以下に、それぞれについて解説する。

#### (1)同時解体案

トンネルが露出した段階で図-3に示すようにジャイアントブレイカーでトンネルの口開けをし、圧碎機をトンネル内に搬入して一次覆工と二次覆工を同時に解体する方法である。この方法では、トンネルを露出させた後に解体に着手することになるため、工期的な制約を受ける。したがって、効率の良い工法であることが必要条件となる。

#### (2)逐次解体案

掘削開始からトンネル天端が露出するまでの期間(約7ヶ月間)を利用して、トンネル内部から二次覆工を先行し

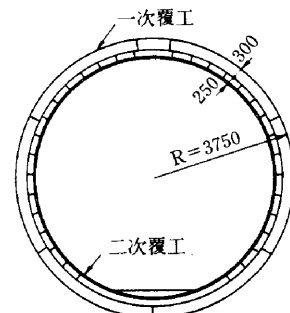
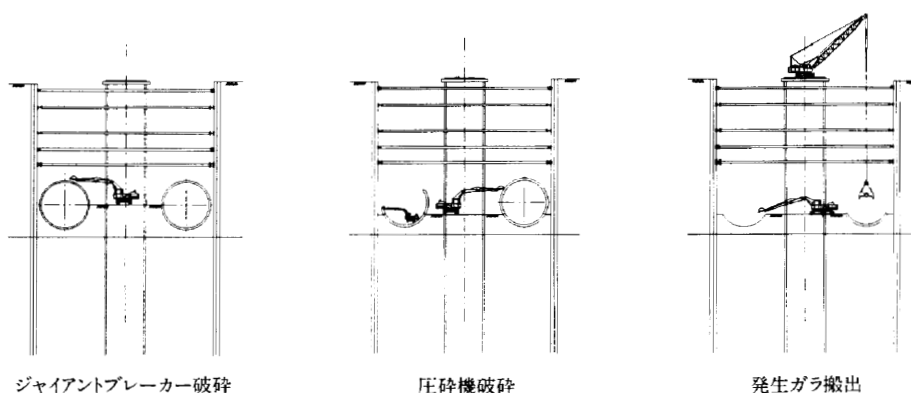


図-2 トンネルの断面形状



図一三 同時解体案による施工順序

表一1 破碎工法の比較

工法名	主な使用機材	特徴
発破工法	ダイナマイト	破碎力は、大きいものの、トンネルの一次覆工に悪影響を及ぼす恐れがある。
	コンクリート破砕器	
ガス圧工法	ガンサイザー	
機械工法 (単独使用)	ロードヘッダー	削孔等の前処理は必要が無い、しかし一次覆工に悪影響を及ぼす恐れがある。
	油圧ブレイカー	前処理（一次破碎、鉄筋切断など）無しでは処理能力が低い。

表一2 一次破碎工法の比較

使用機械および材料	特徴
油圧割岩機 (ダルタ、パッカー)	孔長が短い場合は、ウェジを挿入することができない。 本体の自重が重いために上向きの施工には、不適当である。
静的破碎剤 (普通タイプ)	取扱いが容易であるが、クラックが発生するまでの時間が長い。
静的破碎剤 (速攻タイプ)	クラック発生時間が短いために二次破碎面を自由面としてクラックが発生し、作業能率がよい。

て取り壊し、トンネルが露出した後、一次覆工のみを解体する方法である。二次覆工の解体を掘削工事との並行作業とすることによって全体工期の短縮が可能である。

トンネルの二次覆工を取り壊す工法としては表一1に示すものが考えられる。これらのうち、ダイナマイトやコンクリート破砕器を用いた発破工法、ガンサイザーを用いたガス圧工法は、破碎力が大きいという長所がある反面、トンネルの一次覆工に悪影響を及ぼす恐れがある。ロードヘッダーによる機械工法も同様の影響が懸念される。これに対して油圧ブレイカーを用いた機械工法では、一次覆工への影響の問題がなく、本工事に適していると考えられる。ただし、処理能力が低いため、一次破碎、鉄筋切断などの前処理を行うことが前提となる。表一2は油圧ブレイカーによる破碎の前処理工法（一次破碎工法）について示したものである。ダルタやパッカーなどの油圧割岩機を用いた工法は、本工事のように孔長が短い、あるいは上向き施工が多い条件下では作業性が悪い。一方、静的破碎剤はカートリッジタイプのものを用いれば取扱いが容易であり、上向き孔にも対応できる。また、孔長が短い場合にも機械で充填することによって充填密度を増加させ、効果を高めることができる。特に、速攻タイプの静的破碎剤は、二次破碎面を自由面として、短

時間でクラックを発生させることができるので、作業能率が良い。

以上の検討から、逐次解体案としては、静的破碎剤で一次破碎を行った後、油圧ブレイカーで取り壊す方法が本工事に適していると判断された。

4-2 試験施工

本工事に先立ち、試験施工を実施し、最適工法、仕様の検討を行った。試験施工の項目は次のとおりである。

- ① 同時施工による解体工法の施工性の確認
- ② 静的破碎剤による二次覆工の一次破碎

(1)同時解体工法

圧砕機を用いた一次覆工と二次覆工(合計厚 550mm)の同時解体試験を地上にて実施した。試験の結果、1ピース(3.6m<sup>2</sup>)の破碎に約60分を要した。実際の施工では作業スペースなどの制約があること、鉄筋の切断、片付けなどの作業時間が必要となることなどを考慮すると、作業能率はさらに低下するものと考えられる。試験結果から算出される必要工期は 8.8ヶ月となり、予定工期である 3ヶ月を大幅に上回ることになる。この結果から同時解体工法の採用は困難であると判断した。

(2)静的破碎剤による二次覆工の一次破碎

静的破碎剤を用いた二次覆工の一次破碎に関し、原位置において効果確認試験を実施した。静的破碎剤による

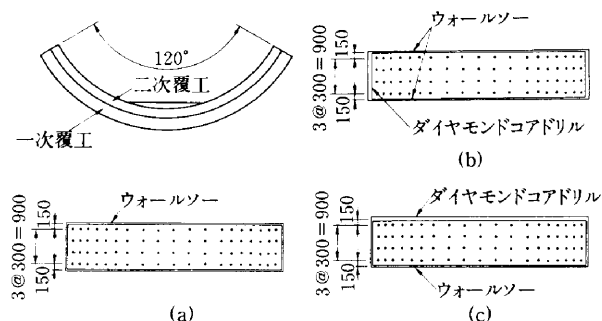


図-4 自由面の作成パターン

破砕においては、プレカットによる自由面の形成がクラックの発生状況に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、プレカットを行う方向、幅などの要因によって破砕の状況がどのように異なるかに着目して試験した。

図-4は試験を行った3種類の自由面のパターンを示している。(a)はトンネルの円周方向および縦断方向にウォールソーを用いて縁切りしたもの、(b)はトンネルの円周方向をウォールソーで縁切りをし縦断方向をダイヤモンドコアドリルで縁切りしたもの、(c)は、トンネルの縦断方向をウォールソーで縁切りをし、円周方向については片方をウォールソー、他方をダイヤモンドコアドリルで縁切りしたものである。いずれのパターンとも静的破砕剤としては速攻タイプ(カートリッジ型)を使用し、装薬間隔は300mm×300mmとした。

試験結果によると、全周をウォールソーで縁切りした場合は、(b)、(c)に比べてクラックが発生しにくい傾向があった。これはダイヤモンドコアドリルによるプレカットに比べて縁切りの幅が小さいことによると考えられる。(b)、(c)では、ダイヤモンドコアドリルで縁切りした方向に二次覆工が移動してクラックが生じた。装薬間隔が狭かったことから、全体的にクラックはかなり密に発生しており、さらに二次加水を行うと二次覆工の浮き上がり箇所も見られた。

次いで、ハンドブレーカーを使用し、静的破砕剤によってクラックが生じた二次覆工の二次破砕を行った。どのパターンについても密にクラックが生じていたため、プレカットの方法による施工性の差異は、顕著に認められなかった。

### (3)試験施工結果のまとめ

試験施工で得られた知見をまとめて示す。

- ①一次覆工と二次覆工の同時解体は、施工能率の点で問題があり、本工事への採用は困難である。
- ②静的破砕剤は、取扱いおよび施工性の面からトンネル二次覆工取り壊しの補助工法として適している。
- ③ダイヤモンドコアドリルとウォールソーによる縁切り

は、静的破砕剤による効果を促進させる自由面としての役割が大きい。特に、ダイヤモンドコアドリルによる縁切りは効果が大きく、ブレーカーの爪かけとしても利用することができる。

④ウォールソーは、鉄筋の切断も可能であるため二次覆工の破砕が容易になる。

⑤試験施工で用いた装薬間隔の場合、クラックがかなり密に発生し、一部コンクリート塊が浮き上がるような現象も観察された。トンネル上部の場合には、コンクリートガラが落下する危険性もあるので、クラックの発生を制御する必要がある。

### 4-3 本施工

試験施工の結果を踏まえ、本工事においては二次覆工を先行して取り壊し、引き続いて一次覆工セグメントの解体を行うこととした。また、二次覆工の取り壊しにおいては、まず静的破砕剤を用いて一次破砕を行い、その後油圧ブレーカーで二次破砕を行う方法を採用した。

#### (1)二次覆工取り壊し

二次覆工取り壊しの施工手順は以下のとおりである(図-5参照)。

##### ①軌道敷設

資機材の運搬および二次覆工破砕ガラの搬出はバッテリーロコを用いることとし、近接する立坑からトンネル撤去区間まで22kgf(0.22kN)レールを敷設した。

##### ②プレカッティング

上下線始点および終点棲部の4箇所においてダイヤモンドコアドリル( $\phi$  110mm)をトンネルの円周方向に施工した。これは、撤去区間外の残置トンネルへの影響を避けることと、一次破砕の効果を高めることを目的としたものである。また、トンネルの縦断方向にはウォールソーを用いて時計の2時、4時、8時、10時方向に自由面を作成するとともに鉄筋を切断した。

##### ③装薬孔の削孔

試験施工の結果によれば、孔間隔が300mm×300mmの場合、発生するクラックの密度が高くなり過ぎた。このため、本工事では孔間隔を変更することとした。経済性および破砕効果の両面から検討した結果、円周方向に300mm、縦断方向に450mmの間隔で配置するのが妥当との結論を得た。なお、削孔にはドリルジャンボを使用した。

##### ④静的破砕剤充填(一次破砕)

装薬孔への静的破砕剤の充填は、ハンマードリルを使用して人力で行った。使用した静的破砕剤は15分程度で反応するため、迅速に充填を行う必要があった。

最長一昼夜放置した後、破砕箇所のコソクを行った。

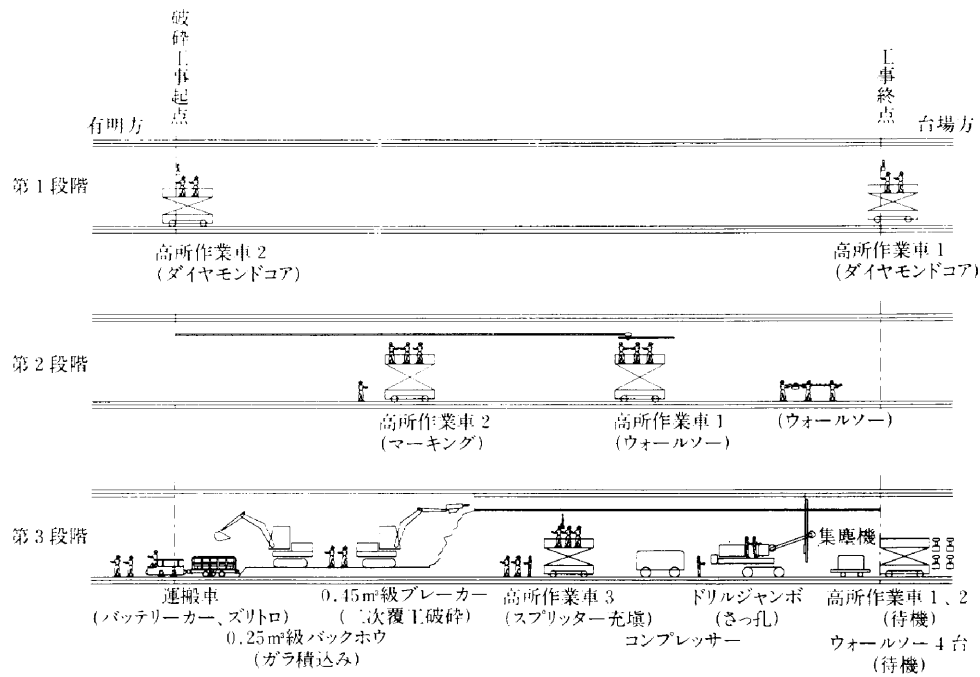


図-5 二次覆工取り壊し施工要領図

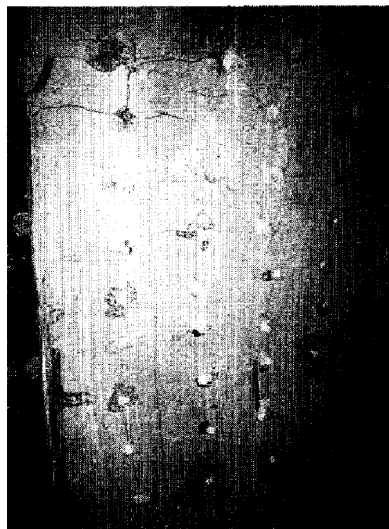


写真-1 二次覆工の一次破碎

写真-1は、一次破碎の状況を示している。静的破碎剤を充填した孔を中心にかなり大きいクラックが発生しており、静的破碎剤が有効に作用していることがわかる。

⑤二次破碎

二次破碎には0.45m<sup>3</sup>クラスのバックホウに900kgf (8.82kN) 級油圧ブレイカーを装備したものをを用いた。一次破碎、鉄筋切断などの前処理が効果的であったこと、一次覆工がスキンプレートを施した合成セグメントであることから、二次破碎は容易であった。

⑥コンクリートガラ搬出

破碎された二次覆工をトンネル内で大まかに鉄筋とコンクリートに分離してバッテリーロコへ積み込み、立坑

上に設置したクローラクレーン(50tf吊り)で引き揚げた。さらに坑外で圧砕機によって細かく分離し、コンクリート塊は15cm程度に破碎して搬出した。

⑦止水注入

トンネル周辺部は水みちになっている可能性があるため、残置トンネル端部から薬液注入を行い、トンネルと土留め壁間の止水を行った。

⑧補強梁設置

掘削の進行に伴ってトンネルに作用する土被り圧が減少するため、トンネルは変形を生じる。この変形が過大になると土留め壁の受動土圧の低下を招くことになり、土留め壁の安定上問題がある。二次覆工撤去後、トンネル内にストラットを設置してトンネルを補強した。

⑨縁切り

掘削による上載荷重の減少によって、トンネルは浮き上がりの傾向を示す。撤去区間の浮き上がりについては問題ないが、将来供用される残置トンネルにまで影響が及ぶと機能上の問題が生じることも考えられる。この対策として、予め撤去区間の両端においてセグメントリング間のボルトを切断し、撤去区間との縁切りを行った。

(2)一次覆工解体

一次覆工については、セグメントをピースに解体して地上に引き揚げ、破碎することとした。一次覆工解体の施工手順は以下のとおりである(図-6参照)。

①ボルトボックスの研りおよびボルトの切断

セグメントを解体するためにはセグメントボルトを切断する必要がある。ボルトボックスは二次覆工コンクリ

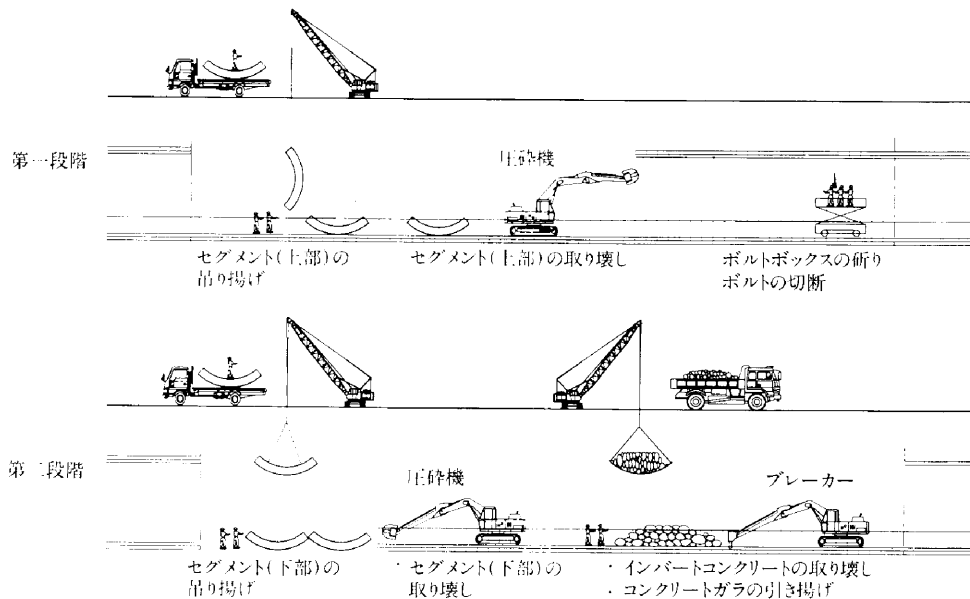


図-6 一次覆工解体施工要領

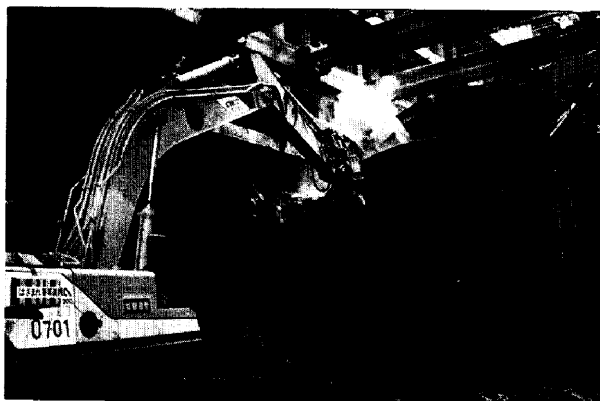


写真-2 セグメントの撤去

ートで充填されているため、まず人力でボルトボックス内のコンクリートを研り、その後、ボルトを切断した。

②補強梁の撤去

7次掘削終了後にジャイアントブレイカーを用いて上下線始点および終点棲部の4箇所を開口部を設け、トンネル内に設置していた補強梁を撤去した。

③セグメント(上部)の撤去

写真-2に示すように圧砕機(0.45m<sup>3</sup>級)を用いてセグメント(上部)を各ピースに解体し、撤去した。セグメント間のボルトを先行して切断していたために容易に解体が可能であり、11m/台・日程度施工することができた。

④インバートコンクリートの壊し

インバートコンクリートの壊しは、セグメント上部を撤去した後に、油圧ブレイカー(0.45m<sup>3</sup>級)を用いて行い、コンクリートガラはワイヤーモッコで地上に引き揚げた。

⑤セグメント(下部)の撤去

凡例	計測項目	計測機器
○	トンネルの内空変位	内空変位計
□	トンネルの鉛直変位	レベル測量
◇	補強材の軸力	表面ひずみ計

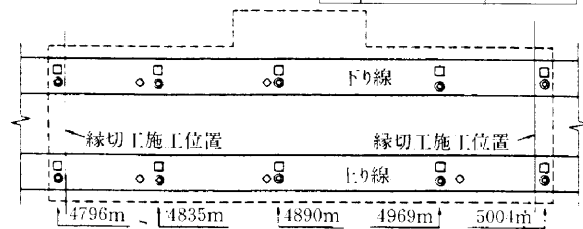


図-7 計測機器配置平面図

油圧ブレイカー(0.45m<sup>3</sup>級)を使用してインバート部分のボルトボックスを研り出した後、圧砕機(0.70m<sup>3</sup>級)により下部セグメントを解体した。

⑥セグメントの破碎

クローラクレーンで地上へ引き揚げたセグメントを破碎場まで運搬し、圧砕機(0.70m<sup>3</sup>級)で破碎した。鉄筋とコンクリート塊(15cm程度)を仕分けし、場外に搬出した。

以上の工法でセグメントの一次覆工および二次覆工の取り壊しを行った結果、工期内で施工を完了することができた。

§ 5. 開削に伴うトンネルの変位挙動

近年、都市部での土木工事においては、既設構造物に近接して、構造物を築造せざるを得ないケースが多く、周辺構造物への影響をどのように予測・評価し、対策を講じるかが、設計・施工上の課題となっている。本工事は、既設シールドの撤去および駅舎の構築を行うもので

あるが、掘削からトンネル撤去に至るまでの過程は一種の近接工事とみなすことができる。そこで、本工事では開削工事が既設シールドに及ぼす影響についての貴重な知見が得られると考え、このような観点からトンネル挙動の計測を実施したので、以下にその結果の概要を示す。

5-1 計測項目

既設シールドトンネルの上部に接近して開削を行った場合、次のようなトンネル変状が予想される。

①土被り圧の減少に伴うトンネルの断面変形

②掘削底盤のリバウンドに伴うトンネルの浮き上がり

これらの点を考慮して、計測項目および配置(図-7参照)を決定した。

5-2 計測結果

(1)トンネルの内空変位

図-8は4,890m断面におけるトンネル内空変位の経時変化を示したものである。横軸は3次掘削前を初期値とする経過日数で表してある。上り線、下り線とも4次掘削時点(H/D=0.41, H:土被り, D:トンネル径)において変位の急増が見られ、上り線については測線①, ④, 下り線については測線①, ⑤で大きな伸び変位が生じている。このことから、掘削による土被り圧の減少によりトンネル内空断面が縦長に変形したことが推察される。また、上り線、下り線とも掘削中央寄りの肩部に伸び変位が生じている。これは、掘削の中央部の方がより応力解放の程度が大きいため、シールドの変形も掘削中央部に向かう方向の伸びが卓越したものと考えられる。

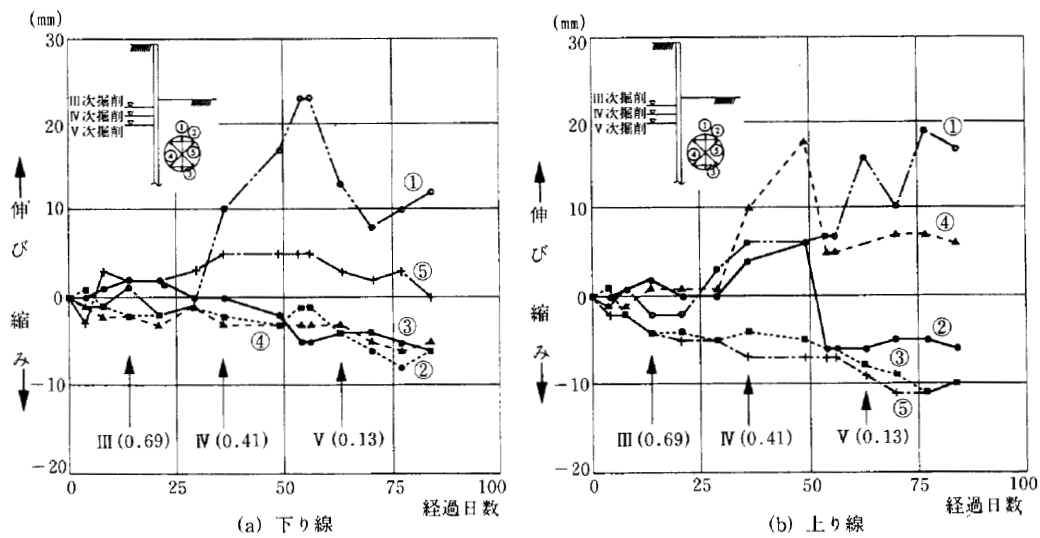


図-8 トンネル内空変位の経時変化 (4,890m)  
(ローマ数字は掘削回数, カッコ内は土被り比を示す)

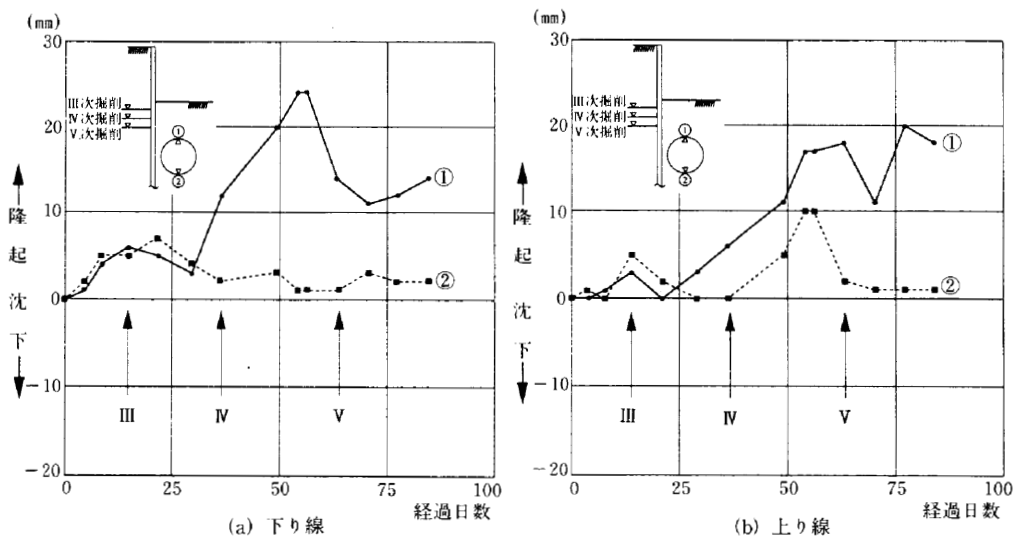
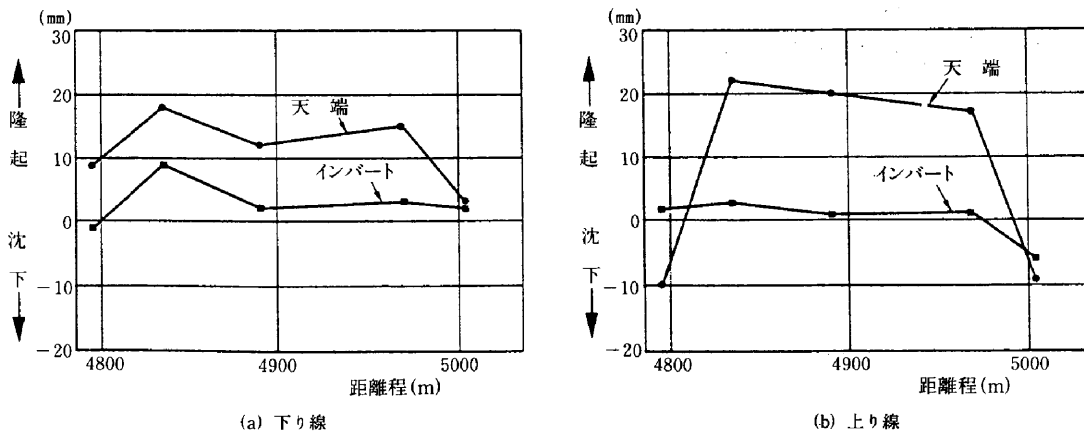


図-9 トンネル鉛直変位の経時変化 (4,890m)



図一10 トンネル縦断方向の変位分布

なお、水平方向については概ね圧縮となっている。

(2) トンネルの鉛直変位

図一9は、トンネル天端およびインバート部の鉛直変位を経時変化で示したものである。トンネルの鉛直変位の要因としては、先述のようにリバウンドによる浮き上がり変位による断面変形とが考えられる。ここに示す鉛直変位は両者を含んだものである。4次掘削以前においては天端変位とインバート変位はほぼ一致した挙動を示していることから、この変位はトンネルのリバウンドに対応する浮き上がり挙動と考えられ、その量は5mm前後である。これに対して4次掘削以降では、天端インバートの変位傾向には大きな差異が見られ、トンネルの断面変形を反映した結果になっている。すなわち4次掘削段階を境に土被り圧の減少によるトンネルの断面変形が支配的になったと解釈される。

(3) 縦断方向の変位分布

図一10は5次掘削終了段階におけるシールド天端およびインバートの鉛直変位についてトンネル縦断方向の分布を示したものである。天端の鉛直変位に着目すると4,835m~4,969m区間では、トンネル両端の測点に比べて大きな上向き変位を生じており、上り線ではその傾向が特に顕著である。これに対してインバートの鉛直変位は、測点間での差が少なく、また変位の絶対量も小さい。これらのことから、前述したように掘削に伴うトンネル全体の浮き上がり挙動よりも土被り圧の減少によるトンネルの断面変形による変位がより卓越していることがわかる。今回の計測結果から、リバウンドによる変位成分

だけを分離することは困難であるが、インバート部の変位量から判断すると5mm程度と推測される。

なお、区間両端では中央部に比べて変位が小さくなっている。これは、端部で応力解放の程度が小さいこと、事前に縁切工を施工したこと、襍部土留め壁でのグラウンドアンカーの施工により下向き荷重が作用したこと等の理由によるものと考えられる。この結果、撤去区間外への影響は小さく抑えることができた。

§6. まとめ

地下駅構築のため、開削を行いながら既設トンネルの一部区間を撤去するという特殊な工事であったが、予定工期内で無事工事を完了することができた。当初計画では二次覆工、一次覆工を同時に解体することになっていたが、試験施工の結果から二次覆工のみを先行して取り壊すよう変更し、解体作業の効率化を図った。特に二次覆工撤去の前処理工法として採用した静的破碎剤、ウォールソーなどが非常に有効であった。

また、トンネルが露出するまでの期間、トンネル挙動の計測を行った結果、土被り比で0.4程度まで掘削床付面が近接した時点で、大きなトンネル変位が計測された。トンネルの変位性状としては、掘削底盤のリバウンドによる浮き上がり変位よりは、土被り圧の減少による断面変形の方が卓越する傾向が見られた。

最後に、本工事の施工にあたり、ご指導頂いた関係各位に深く感謝致します。