

急峻・狭隘地でのトンネルカルバート工法の採用

西岡浩一¹・片寄学²・唐沢剛³・白戸竜雄⁴

- ¹正会員 日本道路公団 静岡工事事務所 静岡中工事区 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)
- ²正会員 日本道路公団 静岡工事事務所 静岡中工事区 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)
- ³正会員 日本道路公団 静岡建設局 建設第一課 (〒420-0857 静岡県静岡市御幸町 11-30)
- ⁴正会員 日本道路公団 静岡工事事務所 静岡中工事区 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)

静岡第四トンネル工事において、計画・施工を行っている、横断構造物構築方法として「トンネルカルバート工法」の施工は過去に5例道路公団の高速道路建設事業で施工されている。この工法の採用は、横断構造物計画箇所の施工環境によっては、格段の経済性を生むこととなる。

本報告では、急峻な狭隘部に計画する横断構造物の計画における検討経緯及び計測結果について述べる。

キーワード：トンネルカルバート工法，セメント安定処理土，コスト縮減

1. はじめに

本報告箇所は、第二東名高速道路静岡ICから岡部藤枝IC間のトンネル連続群の中央に位置する。図-1に示す静岡第四トンネル～第五トンネル間の土工区間において、既存の道路機能を補償するための横断構造物構築計画について報告すると共に、現時点の施工状況を踏まえて当初設計を考察し取りまとめたものである。

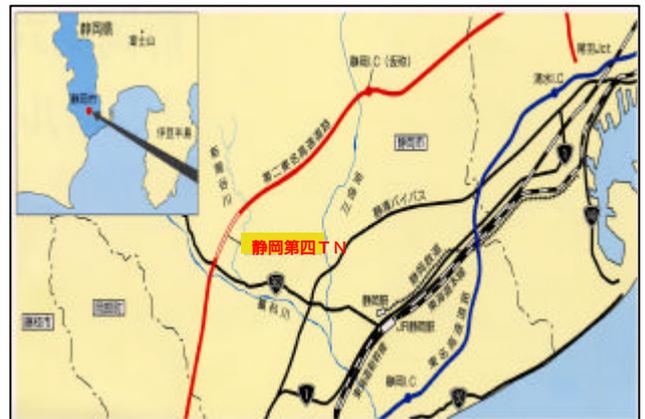


図-1 工事施工位置図

2. 工事の概要

静岡第四トンネル工事は静岡市新間地区に計画される第二東名高速道路の内、延長約240mの第五トンネルと延長約450mの静岡第四トンネルのトンネル掘削を主体とする工事である。

当該工事により発生するトンネルずりは、トンネル間の沢部に盛土するものとし、第五トンネル～第六トンネル間の沢部（都沢本線盛土場）には約67万 m^3 、最大盛土高さ約45mの盛土を行ない、静岡第四トンネル～静岡第五トンネル間の沢部（惣次郎沢本線盛土）では約47万 m^3 、最大盛土高さ約40

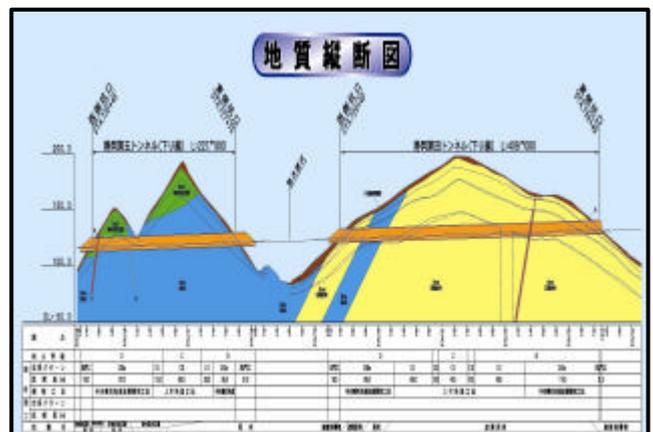


図-2 地質縦断・計画縦断面図

mの盛土を行う。

両沢部の盛土は全てトンネルから発生する第三紀中新世の砂岩・泥岩を主体とする一軸圧縮強度 $qu = 100\text{kN/cm}^2$ 程度の硬質な岩により構築するものである。

図-2 に示すとおり、本工事で主体に盛土を行う惣次郎沢本線盛土は約47万 m^3 、盛土高さ約30mを施工するものである。

当初計画時は工事を段階的に施工するものとし、片車線（下り線）先行施工として、惣次郎本線盛土場は完成形の約70%程度施工する暫定盛土としていた。このため、暫定盛土から完成盛土とする段階において、横断構造物を延伸するための工事の難易性を考慮しアーチカルバートタイプのコンクリート構造物を計画した。

しかし、第二東名高速道路の供用イメージの再構築を行い、更なるコスト削減を目指し惣次郎沢本線盛土の完成形施工を前提に全体土配の見直しを行った。

また、本線横断構造物においても広範囲な工法の比較を行い、より工事コストの縮減を目指すと共に、交差断面においても水路と林道を2階構造にし、内空断面積の縮小化について道路・水路管理者と協議を進めた。

一般的に土被りと構造物形式の関係は、日本道路公団の設計要領及び日本道路協会指針等に記載されているが、今回検討及び採用したトンネルカルバート工法については、道路事業においての実績は日本道路公団での数例しかなく、施工時期も古く現在までに5例が実在するのみである。これらの事例は当時の先見的技術者により多くの技術資料の保存がなされており、JRI(日本道路公団試験研究所)により、設計方法についての文献が残されている。しかし、検討地域は急峻・狭隘部であり計画縦断勾配も、林道規定の最大勾配である12%となるため、既往実績を踏まえ、当該現場の条件を包括する工法の選定と検討が必要であった。

そこでトンネル断面の安定解析を進めることとした。なお、本工法の採用理由は、経済的であること、本工事の主体がトンネルであるため、施工

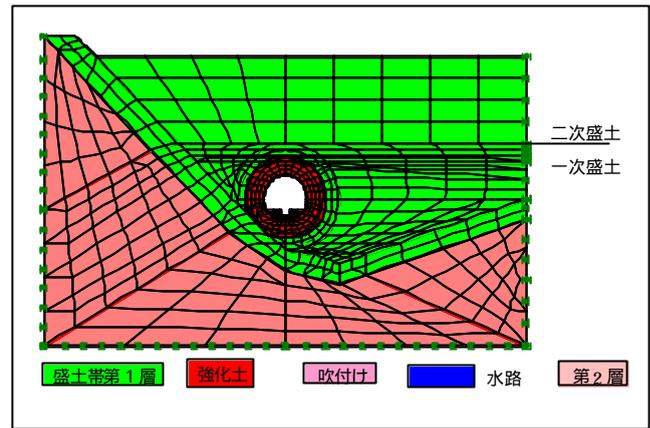


図-3 解析モデル

設備の共有により効率的な施工が考えられること、スケールメリットが最大限に活用できることである。

3. 断面計画

検討において、事例の資料収集及びJHR功が取りまとめた「トンネル工法カルバートの設計・施工に関する検討」を参考に、盛土内に構築される構造物の応力状態をFEMにより解析した。解析モデルを図-3に示す。

このモデルにおいては、トンネル部の躯体となるセメント安定処理土（以後「強化土」という。）の構築において、盛土量の変化も考慮し、最低限度の盛土量を確保する「一次盛土（一次的に造成される作業基面）」と、以後に完成形となる盛土「二次盛土」を分割して検討することにより、盛土の各施工段階における強化土内部の応力状態を推測し、事前強化領域の推測及びより健全な施工のための検討を実施している。また、強化土の強度と改良範囲の関係についての検討を実施した。

(1) 強化土の検討

強化土は、それ自体が従来のカルバート構造物の躯体と同様に載荷荷重に耐え得る圧縮力及び局部的に発生する引張応力に抵抗する部材でもあることが要求される。そこで、FEM解析の掘削ステップ毎の応力開放率は、応力の再配分を考慮するトンネルと違い、掘削時（全断面掘削）に100%開放す

るものとして考えることとした。

添加率	3m改良	4m改良	5m改良	強化土強度
2%	16.66kgf/cm ² ×	16.25kgf/cm ² ×	16.06kgf/cm ² ×	10.5 kgf/cm ²
4%	20.25kgf/cm ² ×	19.53kgf/cm ² ×	16.06kgf/cm ² ×	17.6 kgf/cm ²
6%	21.23kgf/cm ²	20.43kgf/cm ²	19.90kgf/cm ²	22.2 kgf/cm ²

表-1 配合試験結果と強化土強度

強化土に用いる土砂は、静岡第五トンネルより発生する砂岩をセメントと混合し室内配合試験を行い、前述のFEM解析で検討した強化土の必要強度との比較により決定するものとし、表-1に示す結果を得た。

改良範囲とセメント改良添加率については、FEM解析による必要最小強度と強化土としてのセメント最少添加率2%から順次試験を行った強度結果から、両者が合致する改良範囲3m・セメント改良添加率6%に決定した。なお、ここで決定した添加率及び改良範囲は、従来の施工事例とほぼ同等のものと言える。

(2) 強化土の応力状態

強化土はセメント安定処理土を使用し、基本的に圧縮応力を期待とするものである。

しかし、解析結果から天端付近に引張力を残す形となり、最大発生引張応力 = 3.21kgf/cm²を補償するため、天端部には補強鉄筋D25を横断方向に200mm間隔で配置し、縦断方向にD13を300mm間隔で配置し、餅網状の補強を行なうものとした(図-4, 5参照)。また、水路部の肩に発生する引張応力に対しては水路蓋構造を部分的にストラット構造にすることで、補強を行うものとした。

また、水路部の施工は強化土内に構築することから、トレンチャーにより掘削を行い、内型枠のみを設置し、コンクリートを打設する現場打ち施工とする。これにより、外型枠を低減でき、作業効率の向上によりコスト縮減が可能である。

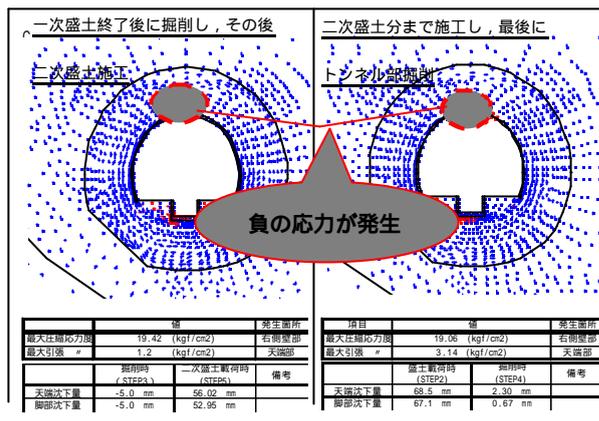


図-4 強化土の応力状態（解析結果）

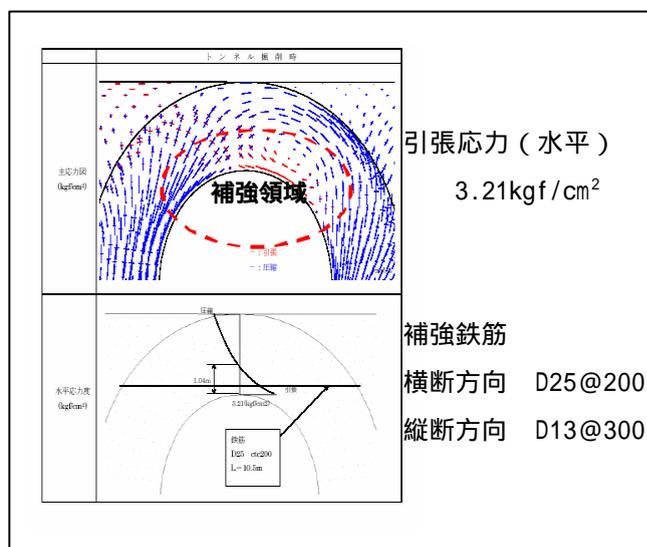


図-5 強化土の補強領域

(3) トンネルの断面および支保

トンネル標準断面を図-6に示す。当該トンネルは、12%下り勾配の施工という特殊条件とコスト縮減の観点から、二次覆工を施工しない、吹付けコンクリートを最終仕上げとするシングルシェルライニングを採用した。しかしながら、シングルシェルライニングでは過去の事例から吹付けコンクリートにクラックが発生し、貫通クラックからの漏水も確認されていることから、何らかの対応策が必要と考えられた。そこで、吹付けコンクリートの剥落防止・長期耐久性を考慮して繊維補強による吹付けコンクリートとした。さらに漏水対策としては、将来的にドレーン材等による湧水対策を実施できるよ



写真-3 補強鉄筋敷設状況



写真-4 鉄筋保護用目印テープ設置状況

リテラによる混合処理が確実であったことから、強化土 28 日強度は必要設計強度を超える十分なものであった。

(3)補強鉄筋施工

補強鉄筋は強化土内空側の引張応力に対応させる目的であるため、強化土中での補強鉄筋の付着確保が必要である。そこで、主筋（横断方向鉄筋）のスリップ防止のため、縦断方向に配力筋を配置し全結束を行った 補強鉄筋敷設状況を写真-3 に示す。

また、トンネル掘削の際、鉄筋を保護する目的でトンネル掘削天端（トンネルセンター位置）に目印として写真-4 に示すようなテープ（桃色）を設置した。

(4)トンネル掘削

トンネル施工機械の選定にあたっては、トンネル断面規模、12%勾配の斜坑、強化土の強度とその切削能力を考慮し、掘削・切削にブレーカとツインヘッドを、ずり出しにホイールローダと 10 t ダンプ



写真-5 トンネル掘削状況（ツインヘッド使用）

トラックを、コンクリート吹付けに一体型のダイナミックローリーを選定した。

設計当初、懸念された中詰め土の安定化に関して、コスト縮減の観点から現場発生土としたが、現在までのところトンネル掘削時の切羽（中詰め土）は十分な安定を確保できている。これは、12%下り勾配の施工条件が有利に働いたものと考えられ、当該条件ではコスト縮減に大きく寄与した。しかしながら、逆に上り勾配の施工条件の場合には切羽（中詰め土）の安定化を十分に検討する必要がある。トンネル掘削状況（ツインヘッド使用）を写真-5 に示す。

5. 計測工

本工法の設計・施工法の妥当性を評価し、今後更なる経済的な工法への技術資料を得る目的で以下の各種計測を実施している。

計測位置は盛土高が最大となる位置（No.8+5.0）と解析断面位置（No.12+00）の 2 箇所とした（図-7 参照）。また、主な計測項目は、強化土天端に作用する土圧（地圧計）、強化土の沈下（沈下板）、補強鉄筋に作用する応力（鉄筋ひずみ計）、吹付けコンクリートに作用する地山圧力（地圧計）、吹付けコンクリートに作用する応力（コンクリート有効応力計）とした。図-8 に計測機器断面配置図を示す。

掘削に際し、当初強化土の底盤と側壁部の継ぎ目

が側圧により内空側へ変位することが懸念された。

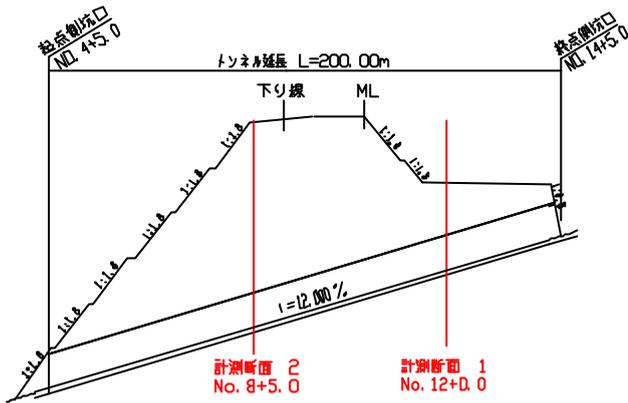


図-7 計測位置

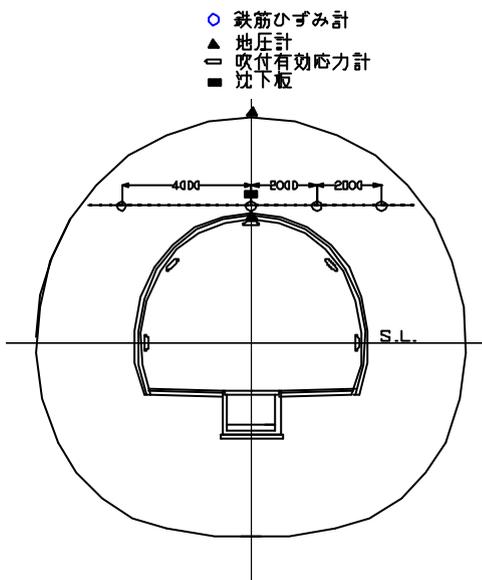


図-8 計測機器断面配置 (No. 12+00)

現在までの計測結果では、内空変位最大5mmという小さいレベルにあり、これは3mという強化土厚の効果と考えられる。

また、吹付けコンクリートの応力は天端付近で $1\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の引張応力の発生が見られるものの、そ

の応力値は僅かであり全体的に均一な値を示していることから、トンネル壁面には応力集中もなく強化土およびトンネルは安定しているものと考えられる。

6. まとめ

平成15年10月よりトンネルカルバート工法の検討・材料試験に着手し、12月より強化土の盛土・転圧作業を進め、平成16年1月に強化土が完成した。そして平成17年1月からトンネル掘削を開始した。今回の報告は、トンネル掘削半ば段階までの代表的な内容を記述するに留まった。

冒頭で記載したコスト効果としては、第二東名の大規模性からも発注当初のアーチカルバート構造に比べ、1億数千万円の縮減が可能となった。本工法を採用する事により経済性に関して優位となったが、盛土材の品質・設置環境・本体工事の工種等の条件に左右されるものとする。本現場においては、トンネルずりを最大限有効に使用し、機械化施工の高速性を加味したことにより、優位であると言える。

今後は、掘削における機械選定及び強化土体内の応力状態、並びに補強鉄筋の効果・吹付けコンクリートの応力配分（引張に対する助材）効果等を調査・計測し、以後の資料とすべく、取り組む考えである。

なお、本工法の採用において、試験研究所土工研究室、トンネル研究室、(株)中川設計事務所、(株)ロードエンジニアリング及第二東名高速道路静岡第四トンネル工事共同企業体（株）大林組・若築建設(株)に多大なご協力を頂き、感謝いたします。