

島尻泥岩における重要構造物直下のトンネル施工 ～ 事例報告 ～

知念 弘¹・与那原 邦仁²

¹沖縄総合事務局 開発建設部 南部国道事務所 那覇空港自動車道出張所長

²沖縄総合事務局 開発建設部 南部国道事務所 那覇空港自動車道出張所 技術係長

（〒901-0234 沖縄県豊見城市田頭165番地）

豊見城トンネルは、片側2車線・上下4車線の眼鏡トンネルで、山岳トンネル部と開削ボックス部からなる全長約1.4kmの自動車専用道路である。

今回施工したNATM工法による豊見城トンネル（下り線）工事においては、地質が沖縄中南部に広く分布する島尻泥岩層（沖縄名：クチャ）であることから、乾湿の繰り返しにより強度低下が顕著に現れる特性があり、合わせてトンネル直上に存在する医療施設の施工時における影響低減が課題である。本稿では、事前解析、施工方法の検討、事後調査の結果を施工事例として報告するものである。

キーワード 島尻泥岩、クチャ、早期併合、小土被り

1. はじめに

沖縄総合事務局が事業を進めている豊見城東道路は、一般国道506号那覇空港自動車道の一翼を担う道路で、沖縄本島北部・中南部と那覇空港間の定時性や高速性を確保し、観光、地域振興はもとより中南部の渋滞の解消や抑制、物流の効率化などが期待されている道路である。

那覇空港自動車道は主に高架橋区間やトンネル区間、大規模な道路改良区間から構成され、高規格幹線道路として既に西原JCTから南風原南ICまでを4車線供用し、以南を上り線の対面2車線にて暫定供用している。

図-1に位置図を示す。



図-1 位置図

豊見城トンネルは豊見城ICから名嘉地ICまでの区間に位置しており、全長1.4kmの開削ボックス部と山岳トンネル部で構成されている。

今回施工した豊見城トンネル（下り線）工事については、山岳トンネル部約740mを施工済み工事の続きとして豊見城IC側から施工しており、掘削断面積は約90m²、掘削方式は機械掘削となっている。施工完了後のトンネル西坑口は写真-1のようである。



写真-1 トンネル西坑口

2. 地形・地質概要

トンネル施工位置における地形は、標高100m前後の琉球石灰岩台地とこれを取り巻く形で島尻泥岩層が分布する丘陵地および河川沿いの低地から構成されている。

トンネルの土被りは最大45m程度、最小は14m程度と比較的小さく、トンネルの約45%の区間では土被りが2D以下となっている。



写真2 トンネル施工場所の航空写真

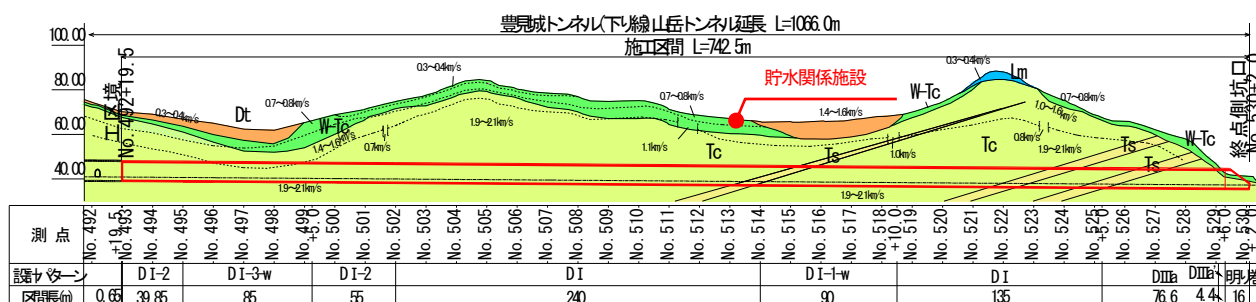


図-2 地質縦断面図

沖縄県内の中南部地区に広く分布する島尻泥岩において、本路線でもこれまでに大規模な道路改良工事や橋梁工事などが行われてきているが、トンネルでの施工事例は数例となっている。本トンネルの掘削断面は、大部分の島尻泥岩と一部砂岩が互層となっており、機械掘削によって発生したズリは乾湿によってスレーキングを起こしやすい特性がある。特に地山湧水やロックボルト施工時の削孔水によって急速に強度の低下が起こることがわかっている。約7年前に上り線の工事が完了していることから、その事例の計測結果等も参考としながら施工を進めることとした。

3. 施工上の課題

本工事（下り線）は供用している上り線の施工実績を設計に反映させており、特に土被りが小さい区間については、地上部に近接していることによる風化泥岩層で軟弱であったことから、支保パターンの変更や補助工法の追加等を考慮しており、施工もおおむね予測通りで進捗していた。（写真-3）



写真-3 掘削断面状況

掘削を開始して350m程行った右上方箇所、土被り19～20mで医療関連施設の貯水槽(RC造2F高さ10m)、直接基礎が位置している。医療関係施設への上水としての受水槽(V=220m³)、施設への送水ポンプ室、施設からの排水を一旦貯留する調整池(V=1,380m³)から構成され、ライフラインとなる重要構造物であった。

（写真-2、図-2、写真-4）

山岳トンネル近接工指針類から判断すると、「間接影響領域」と「直接影響領域」の双方に相当することから、今回施工する下り線トンネルでは、何らかの対策工の検討が不可欠であると判断し、上り線トンネルでの検討や施工実績を参考に対応を考えることとした。



写真4 医療用関連 貯水槽施設

4. 施工段階の影響予測

上り線施工時と同様に二次元FEM非線形弾性解析により下り線施工による影響予測を実施することにした。トンネル周辺の地山物性値に関しては、上り線施工時の

計測値と下り線の施工済み区間で同程度の土被り区間における計測値の双方を考慮して逆解析を実施した。

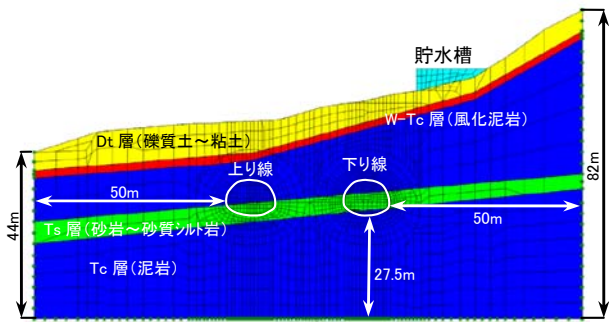


図-3 解析モデル

定位置	トンネル直上	貯水関係施設		
測定内容	沈下量 (mm)	沈下量 (mm)		傾斜角 ($\times 10^{-3}$ rad)
予測値	47.3	44.5	33.5	1.2
管理目標値	30以下	30以下	30以下	1.0以下

表-1 沈下量と傾斜角の予測値

上り線施工時に使用された管理目標値を準拠すると、表-1に示すように大きく上回る沈下量と傾斜角が予測された。

近接度区分でも直接影響領域に含まれること、先行施工された上り線ではトンネル掘削の影響が広範囲に及んでいたことなどから、下り線施工時に何かしらの対策工が不可欠であると判断した。

5.対策方法の検討

医療機関の貯水関係施設は、その用途から断水が不可能であること、代替水源や移設用地も容易に確保できないことから、発注者・施工者による設計変更審査会を実施しトンネル坑内からの対策を考えることとなった。

補助工法や対策工法を比較検討し、二次元FEM非線

形弾性解析にて検証した結果、表-2に示すように「ケース3：注入式長尺鋼管先受け工＋ミニベンチ早期閉合」による施工のみが、管理目標値を満足できる結果となった。また、さらなる早期閉合の効果を高めるために「仮インバート吹付け」、 「鏡吹付け」を追加採用した。

項 目		ケース 1	ケース 2	ケース 3
対策工		当初設計 (D I 標準支保パターン)	注入式長尺鋼管先受け工	注入式長尺鋼管先受け工 ＋ミニベンチ早期閉合
掘削工法		ショートベンチカット工法	ショートベンチカット工法	ミニベンチカット工法 (上半ベンチ長 5 m 以内、仮閉合ま で 10m 以内)
補助工法・対策 工の仕様		・ 特別な対策なし	・ 注入式長尺鋼管先受け工 先受け鋼管 φ 114.3 mm 打設長 L=12.5m (9m/シフト) 範囲 120°，間隔 45 cm	・ 注入式長尺鋼管先受け工 先受け鋼管 φ 114.3 mm 打設長:L=12.5m (9m/シフト) 範囲 120°，間隔 45 cm ・ 仮インバート吹付け (t=150 mm) 設計基準強度 $\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$
解析目的		・ 当初設計パターンにおける懸念事 項の抽出	・ 先行ゆるみによる沈下抑制を目的 とした注入式長尺鋼管先受け工 法の効果を確認	・ 注入式長尺鋼管先受け工法でも十 分な効果が得られない場合を想 定 ・ 掘削工法変更による効果の確認
F E M 解析に おけるモデル 化		・ 標準支保パターンのため、補助工 法はなし	・ 先受け鋼管打設範囲の地山変形係 数の向上	・ 先受け鋼管打設範囲の地山変形係 数の向上 ・ 上下半とインバートの多段ベンチ による同時施工
解析結果				
貯水 施設	沈下量	44.5mm	35.3mm	23.5mm
	傾斜角	$1.2\times 10^{-3}\text{rad}$	$1.0\times 10^{-3}\text{rad}$	$0.6\times 10^{-3}\text{rad}$
判 定		×	×	○

表-2 検討ケースと解析結果

対策をおこなう縦断方向の範囲はトンネル基盤面へ向けて $45^\circ + \phi/2 = 56^\circ$ ， $L=78\text{m}$ を対象区間とした．また，過去の実績データより切羽到達・通過後の沈下量などから関係施設手前の影響懸念区間(パターン①： $L=18\text{m}$)，直下の直接影響区間(パターン②： $L=42\text{m}$)，通過後の影響懸念区間(パターン③： $L=18\text{m}$)の3パターンに区分して対策工を選定した．(図-3、図-4)

切羽解放後より早期での掘削断面の閉合を図るため，切羽から4～7m後方(上半ベンチ2m+下半ベンチ2m+仮インバート3m)で閉合した．また，長尺鋼管先受け工法の施工シフト長9mに合せて施工の効率を図るため

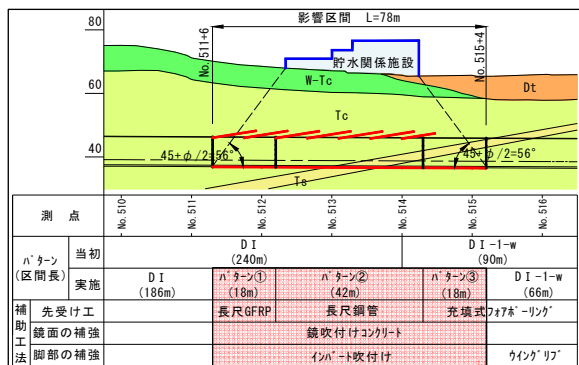


図-3 対策工 縦断パターン図

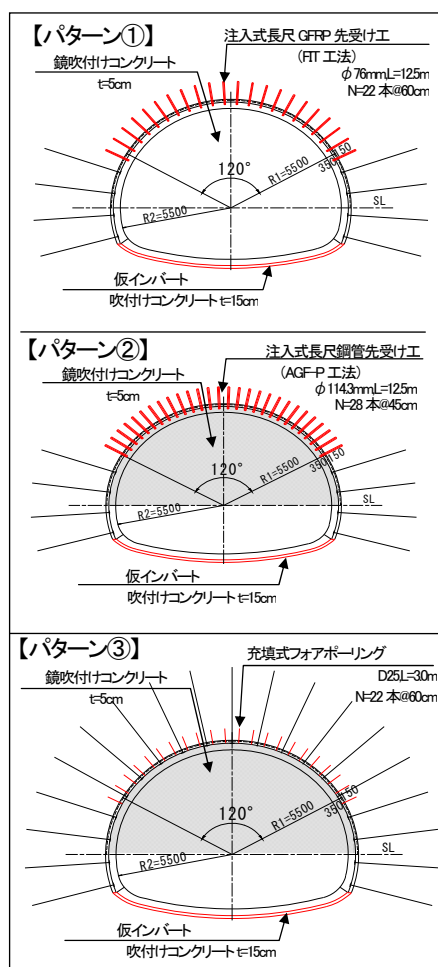


図-4 対策工 断面パターン図

に，仮インバートは掘削進行3m毎に施工し早期閉合を確保した．

6.計測管理の結果

施設の重要性と利用実態を考慮して，施工中の計測は図-5に示すように，近接構造物の動態監視に多用される連通管式沈下計による相対沈下測定と，据置式傾斜計による構造物の傾斜角測定を実施した．計測頻度は施設の機能維持と変状の早期把握を目的として，24時間体制でリアルタイムに監視することとした．貯水関係施設の相対沈下や傾斜角は，図-6のとおり地表面沈下の傾向と同じく，トンネル切羽通過直後から発生し，躯体を完全に通過してから数日で収束した．

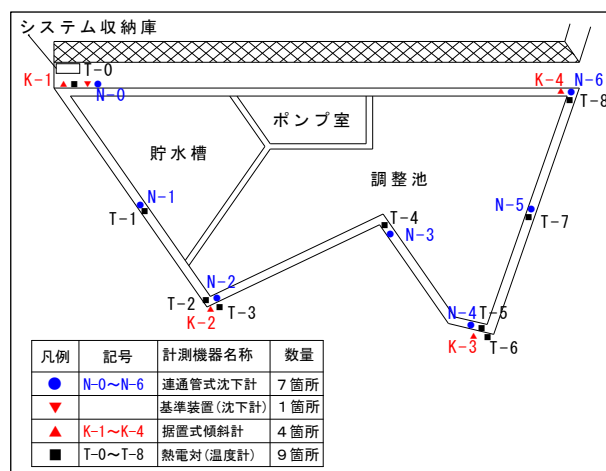


図-5 計測配置図

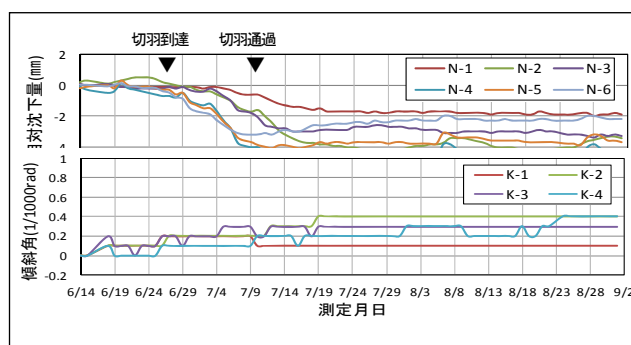


図-6 計測結果

施設の沈下量は周辺の地表面沈下とほぼ同程度であり，トンネル掘削による地表面への影響が貯水関連施設躯体へ直接影響している．沈下量は最大でも4mm程度，2方向の傾斜を合成した傾斜角は最大でも $0.4 \times 1/1000\text{rad}$ と管理目標値に対して小さく，躯体への影響(既存クラックの開き，漏水)は確認されなかった．

貯水関係施設への沈下抑制策として採用した①注入式長尺鋼管先受け工法，②仮インバート施工による掘削断面の早期閉合，③鏡面の押し出し抑制の鏡吹付けコンクリートの各対策工を組み合わせることで，先行変位と切羽通過後の後続変位の双方を抑制し，非常に有効に機能したものと考えられる．

7.おわりに

島尻泥岩の地質はこれまでも取り上げられているところであるが、新鮮部であれば強固であるが水等により風化進行が顕著となる特性がある。本工事でも構造物等の施工に際しては島尻泥岩の特性をよく理解し、新鮮部、風化泥岩層と問わず、早期に保護し風化の影響を軽減することが有効であると考え、今後も構造物の構築に際して活かしていきたいと考えている。

また、今回は施工現場で比較的簡易に影響予測できる2次元FEM非線形弾性解析により対策工検討を実施して対応した。大まかな傾向を事前に、しかも迅速に把握するには有用な方法であるが、検討時間に余裕のある場合は、非常に厳しい施工条件など、より現場条件が反映でき、精度の高い3次元解析の活用も検討すべきであると考えられる。