

中内田トンネルの施工技術の向上への 取り組みについて

中村 佳彦



浜田河川国道事務所 浜田国道維持出張所 (〒697-1322 島根県浜田市日脚町寺地282-2)

浜田市内田町地内で施工した中内田トンネルにおいて、地盤の悪い中トンネルを掘削していく上で、貯水タンク（浜田市）・鉄塔（NTTドコモ）に影響を及ぼさないよう、どのように技術的に考慮し対策したかということ述べるものである。

キーワード トンネル、補助工法、計測、転石

1. 背景

中内田トンネルは、山陰道として整備中である浜田・三隅道路事業の4つのトンネルの内、1番起点側に位置し、平成22年3月に完成した、全長570mのトンネルである。このトンネルの工事区間は丘陵地形を呈し、東西方向に伸びる溶岩台地を成しており、溶岩台地は島根県特別天然記念物指定のかすみ石玄武岩からなり、国内唯一の黄長石を含むことから、黄長石かすみ石玄武岩とも呼ばれる。溶岩台地の周辺斜面はそれほど急な斜面ではないが、地すべり等の斜面災害が多く存在し、北側（海側）に「高野地区地すべり防止区域」、南側には「内田地区地すべり防止区域」がある。

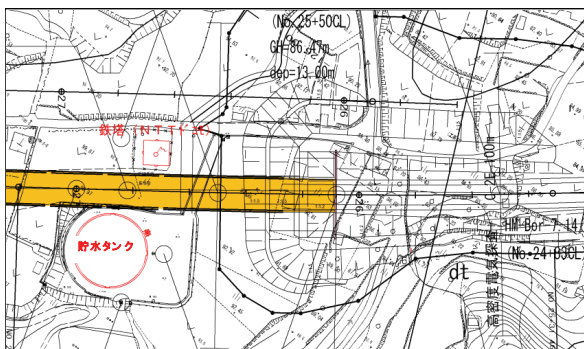


図-1 トンネル・構造物位置図

構造物（貯水タンク・鉄塔）への影響対策に絞って説明する。

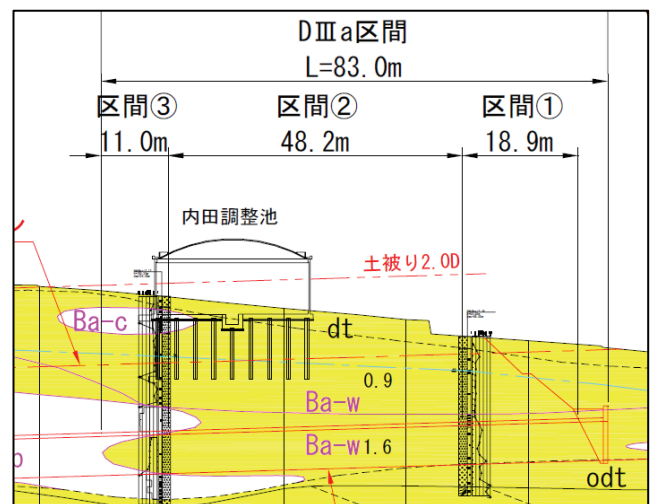


図-2 設計時の対策工別区間割り

(1) 起点側の対策について

玄武岩風化土が20～30m程度厚く分布しており、トンネル計画高まで風化土であると考えられる。坑口付近（2D付近まで）には、弾性係数からも不安定であり、切羽周辺の玄武岩強風化土は、粘土質（シルト質）を示しているため、採用実績から切羽は不安定～崩壊領域であると判断される。そこで、トンネル掘削の貯水タンク・鉄塔への影響を常時計測するため、構造物の変位を測定する計測工Bの実施を設計に考慮することとし、また、切羽崩壊及び変位拡大、坑口上方の近接構造物への影響を抑止する目的で補助工法が必要であるので、下記の対策工を選定した。

2. 設計時での取り組み

設計時での検討としては、起点・終点において、様々な対策が検討されているが、今回はテーマである起点側

a) 区間①

構造物と近接していない区間①については、切羽崩壊の抑止を可能とし、注入材の併用を基本とする注入式フォアポーリング工法を設定するものとした

b) 区間②

区間①からの地山状況が継続し、更に坑口上方に近接構造物の特殊条件を有する等、切羽崩壊及び変位拡大、近接構造物への影響防止を可能とするために、剛性の高い工法が求められると判断される。比較検討を行った結果、地山変化に柔軟に対応を可能とするため施工性に優れる他、工期・経済性に優れ、影響検証から調整池タンク及び無線鉄塔沈下量が許容値（調整池タンク沈下量：25mm，調整池タンク相対沈下量15mm，無線鉄塔沈下量：23mm）内に収まる中尺先受け工法（MS工法）を設定するものとし、対策工を選定した（詳細は(2)参照）。

c) 区間③

天端付近に出現する玄武岩は、多少の亀裂を有するが比較的安定した堅岩部を主体とする地山であり、天端崩壊発生は小規模で、坑口部の標準的な工法である充填式フォアポーリング工法の対応が十分可能であると判断し、本工法を設定するものとした。

(2) 区間②の詳細

区間②については、タンクを中心線付近を解析断面として、掘削方法、補助工法等の組み合わせを考慮し、FEM解析による近接影響解析を行ったところ、補助ベンチ付掘削で、MS工法を180°打設し、仮インバートによる早期断面併合を採用することによって許容値をクリアでき、経済性・施工性にも優れるという結果となった。また、タンク満水時の応力の影響の検討もFEM解

	評価対象	天端沈下	調整池タンク最大沈下	調整池タンク相対沈下	調整池タンク傾斜角	無線鉄塔最大沈下	総合評価
		許容値	51.0mm	25.0mm	15.0mm	1.0 / 1000rad	
上半ショートベンチ	無対策	59.8	35.9	36.2	1.41/1000	21.9	×
	AGF120°	57.4	34.5	35.5	1.38/1000	21.1	×
	AGF180°	45.0	28.6	29.2	1.13/1000	16.9	×
	AGF180° + 脚部補強工	28.4	18.1	18.3	0.71/1000	10.1	×
	MS180°	35.6	24.2	24.7	0.96/1000	13.7	×
	MS180° + 脚部補強工	24.0	16.4	16.3	0.63/1000	8.7	×
(仮)補助ベンチ付き早期断面併合	無対策	44.2	25.9	26.7	1.04/1000	15.4	×
	AGF180°	26.6	16.8	17.2	0.67/1000	9.1	×
	MS120°	35.3	22.3	23.1	0.90/1000	12.8	×
	MS180°	21.1	14.5	14.3	0.56/1000	7.2	○
	MS180° + 脚部補強工	16.3	10.8	10.7	0.42/1000	5.0	○

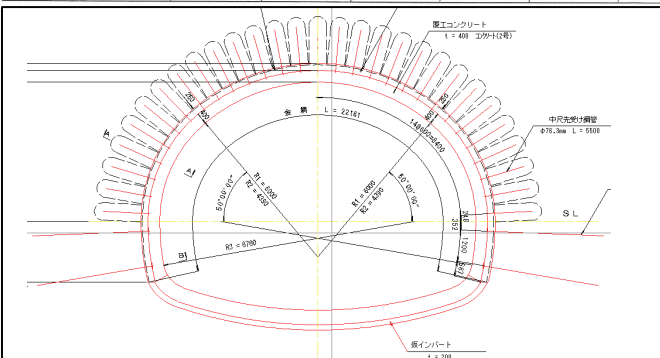


図3 区間②の対策工

析により行い、その結果、許容値をクリアするために、覆工厚を増やし、覆工・インバートを複鉄筋の構造とすることにした。

3. 施工時の取り組み（課題・対応策）

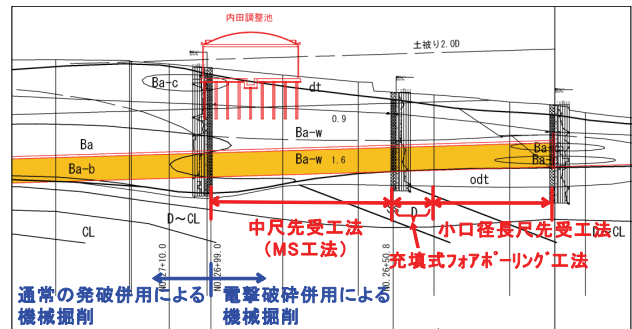


図4 施工時の対策工別区間割り

施工時の取り組みとしては、主に3つあり、順番に述べていきたい。

(1) 小口径長尺先受け工法

坑口法面直下の区間について、切羽の崩壊を抑える上で、設計では注入式フォアポーリング工法が検討されていたが、施工に入り調査してみると、想定よりも転石の分布が多いことが判明した。このような条件だと、剛性の高いものではないと転石を縫いつける効果が期待できないので、工法を変更する必要が生じ、応力をかけずに施工することができるという利点がある、小口径長尺先受け工法を採用した。



図5 トンネル周辺状況

(2) 転石の破砕方法

起点明かり部と、起点側坑口から約400mのトンネル区間については、玄武岩の転石が絶え間なく分布しており、トンネル掘削時には、切羽の断面を大きく侵すほどの転石の抜け落ちが懸念された。そこで、断面を侵すほどの転石については、発破で破砕するという方法を採用してきていたが、貯水タンクに近接する区間においては、発破が構造物及びその杭基礎に影響を与える可能性があるため、通常の発破用の火薬から、振動の少ない電撃破砕剤に切り替えて転石の破砕をおこなった。発破の影響を検討する手法としては、最も構造物に近接する発破位置において、変位速度を算出し、火薬学会が提言する規制値で判定するという手法を採用した。その結果、通常

施工方法	評価や留意点					概算工費 (1m3当り)	総合評価
	振動	騒音	取扱性	構造物・支保 への影響	作業性		
1. 火薬類による破砕 電気雷管を巻回し爆薬(含水爆薬)を使用し削孔・装薬により破砕する	タンク直近における振動速度がタンクで0.24、タンク杭1.87、t鉄塔0.52	普通騒音 低騒音騒音有り	火薬類消費許可が必要	振動が大規模な破砕を必要とする	短時間で破砕可能	削孔はアンダーで行ない Φ45mmとする。 6,510円(m3)	確実に早く破砕可能であるが、水工用・取扱所、消費許可が必要また、構造物近接では振動の管理基準を越えるが工費が安く経済的 合計13
2. 電撃破砕による破砕 パルスエネルギーと高分子材料の組合せで、破砕する薬剤で爆薬と同様に削孔・装薬による破砕する商品名はカルマック	タンク直近における振動速度がタンクで0.24、タンク杭1.09、鉄塔0.29	普通騒音	火薬類消費許可が不要 危険物取扱品目になる	振動は火薬類の12~14%程度の破砕が必要なし 比べ作業性が落ちる	込め物の硬化時間が長い Φ42mmとする	削孔はアンダーで行ない Φ100mmとする。 12,400円(m3)	火薬に比べ作業性は劣るが、消費許可等なく即座に使用可能である。また、構造物近接でも振動の管理基準を満たす 合計12
3. 製岩による破砕 ドリルジャンボで孔(Φ100mm)を開けそこに製岩機(ピッカー)を入れ持ち昇り方式で製岩する。地山状況によっては岩盤周囲にスリット孔(自由面)を確保してから製岩する。	機械破砕の高振動は軽微	機械破砕の高騒音は少ない	法的制約無し	振動がないので無し	削孔数が他に比べ手間取る	削孔はアンダーで行ない Φ100mmとする。 46,800円(m3)	他工法に比較して振動・騒音は少なく、工法比較では点数は高くなるが、工費が一番高く不経済である。また削孔時間に手間取る 合計10

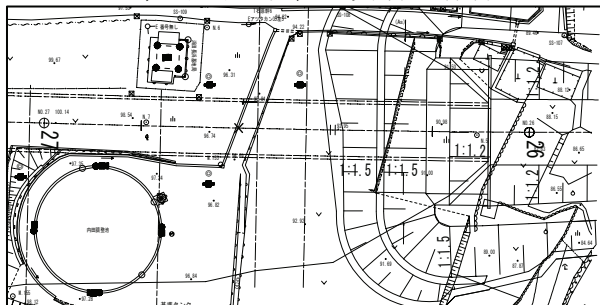
対象 \ 周波数		振動(周波数)		
		10Hz未満	10~50Hz	50Hz以上
人 (dB)	昼間	73 暗振動+30	79 暗振動+30	85 暗振動+30
	夜間	58 暗振動+20	64 暗振動+20	70 暗振動+20
構造物 (cm/sec)	強度が明確な構造物	1.25	2.5	5.0
	一般的な構造物(民家)	0.50	1.0	2.0
	重要な構造物	0.25	0.5	1.0

図-6 転石破砕方法の比較

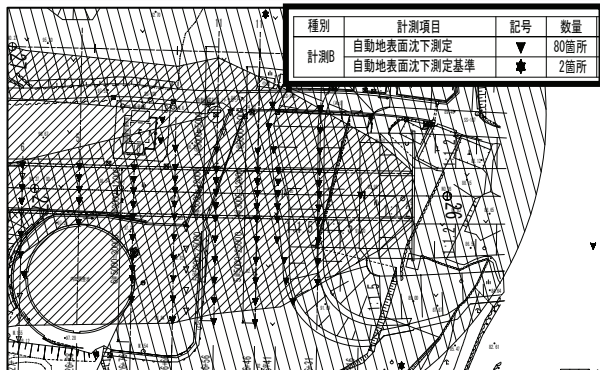
の火薬だと貯水タンクの杭に影響を及ぼすので、電撃破砕を採用することとなった。比較結果は図-6に示す。

(3)計測

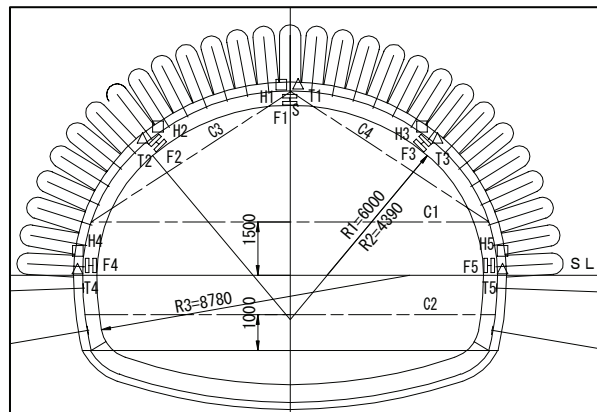
通常の計測工に加え、坑内計測工(15箇所)、構造物変位測定(5箇所)、地中沈下測定(4箇所)、地中側方変位測定(4箇所)、調整池・無線鉄塔沈下測定(8箇所)、調整池・無線鉄塔傾斜測定(5箇所)、温度測定(3箇所)、自動地表面沈下測定(80箇所)を行い、沈下等を計測していくことにより、構造物の変位を観測する体制をとった(各



種別	計測項目	記号	数量	備考
計測A	送水管沈下測定	×	1箇所	自主計測
	構造物変位測定	○	5箇所	調整池: 3箇所、無線鉄塔: 2箇所
計測B	地中沈下測定	◎	4箇所	坑口法面: 1箇所、調整池: 2箇所、無線鉄塔: 1箇所
	地中側方変位測定	○	4箇所	坑口法面: 1箇所、調整池: 2箇所、無線鉄塔: 1箇所
	調整池・無線鉄塔沈下測定	●	8箇所	調整池: 4箇所、無線鉄塔: 4箇所
	調整池・無線鉄塔傾斜測定	■	5箇所	調整池: 4箇所、無線鉄塔: 1箇所
	温度測定	■	3箇所	調整池: 2箇所、無線鉄塔: 1箇所



種別	計測項目	記号	数量
計測B	自動地表面沈下測定	▼	80箇所
	自動地表面沈下測定基準	★	2箇所



項目	記号	単位	数量	摘要
計測	H1~H5	箇所	5	鋼アーチ支保工応力測定
工	T1~T5	箇所	5	吹付けコンクリート応力測定
目	F1~F5	箇所	5	覆工応力測定

図-7 計測工の配置

測定位置については図-7参照)。

(4)起点側抗口の設計変更

現地を調査すると、工事中進入路部で地すべりが起きるなど、想定以上に地盤の条件が悪いことが判明したため、追加ボーリング等を行って、明かり部の形状の再検討を行ったところ、抗口を前出して法面勾配を緩くするか、元の勾配のままアンカー等の設計を追加する必要があるという2案が対策として考えられたが、経済性の理由から、前出し案を採用することとなった。このため、当初設計よりも抗口を19m前出しする構造となった。

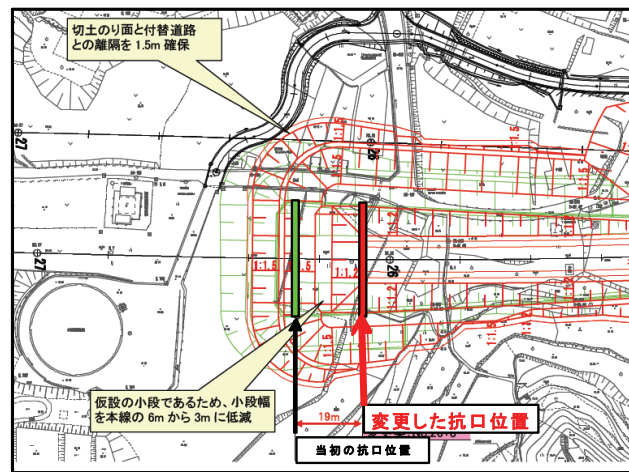


図-8 変更抗口位置図

(5)区間③の工法変更

区間③については、不安定な地盤に対する対策として、区間②と同じく、早期併合により坑内の変位を抑える目的である仮インバートの施工を追加した。また、湧水の発生が予測されたので、補助工法の削孔によって天端が

抜け落ちることを防ぐ目的で、区間③の補助工法（充填式フォアポーリング）の施工をとりやめとした。

4. 効果の検証

前段落で述べたとおり、計測工を行って施工していったが、最大変位については、鉄塔は15mm（許容値：23mm）、貯水タンクは14mm（許容値：15mm）であり、トンネルの天場沈下は21.1mm（許容値：100mm）、トンネルの内空変位は8.6mm（許容値：200mm）となり、許容値を上回ることなく施工を行うことができた。

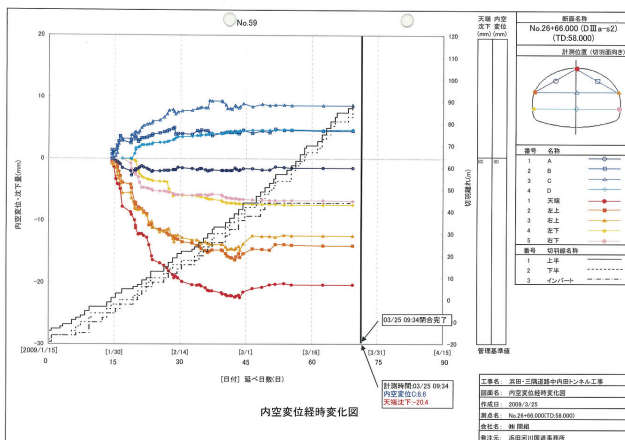


図-9 変位状況のグラフ

5. 今後に向けての課題・活用提案

全く同じ現場条件のトンネルは、見られないかもしれないが、構造物へ配慮した施工、地盤の悪い中での施工を強いられるトンネル工事現場において、本工事で行った対策が参考になると考えられる。

6. 施工を終えて

今回の工事では、掘削が貯水タンクを過ぎたあたりで、転石の抜け落ちによって天端崩壊した事象が起き、応急的な対応を行った。原因としては、土砂部の広がりにある転石に湧水が作用したことが考えられる。また、降雨（2009.12.10、雨量19mm/日）を観測後、終点付近の区間で支保工脚部沈下が発生し、再掘削を行うという事象も生じた。この原因としては、掘削後天端沈下が収束傾向にあったのに対し、降雨による雨水が支保工周りを伝って浸透した結果、脚部補強部が応力に耐えられなくなり、

インバート掘削の施工区間・未施工区間に関わらず急速な脚部沈下及び押し出しが発生したと考えられる。このように、自然現象や湧水の発生に対する対応については、起こってしまった後に対応せざるを得なかったことがあった。この工事では、様々な事象に対し、可能な限り対応してきたが、不測の事態に対して、事前の対策や経過の観察を、どのように行っていくかということは、今後も課題としてあげざるを得ない。

謝辞：大量の玄武岩を破碎する必要があったことによる工程のロス、沈下への対策とした上げ越しでの掘削や脚部への補強の吹き付けなど、実際に施工にとりかかったあとに想定している現場条件との相違が判明し、検討した事象が多々あったが、有識者の方々、施工業者、推進室（国交省の現場詰所）、事務所の相互で検討・コミュニケーションをはかっていくことによって対応・解決し無事工事を完成できた。その中でも、難題が起こる度に、迅速に解決策の検討・対策工の施工をしてきた現場の技術者の方々が一番苦慮されたことは言うまでもないことであり、ここで謝辞を述べる。

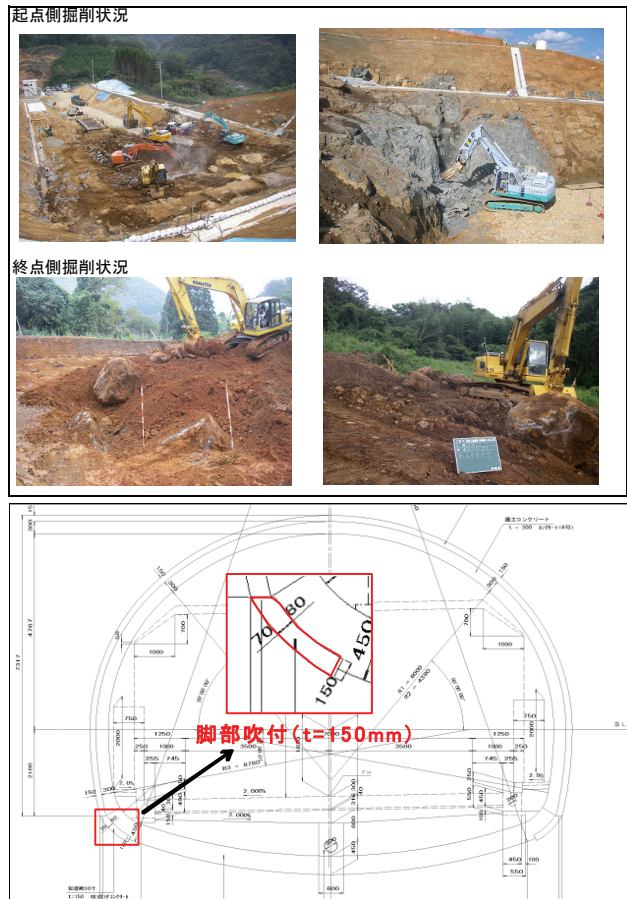


図-10 掘削状況、脚部吹付構造

参考文献

（株）オリエンタルコンサルタンツ：平成17年度浜田・三隅道路中内田トンネル設計業務報告書