

急斜面上のトンネル（NATM）坑口安定対策について

－付替県道2号トンネル工事－

東日本支社	土木部	内海智之
東日本支社	土木部	国友勇武
東日本支社	土木部	宮崎智彦

概要：付替県道2号トンネル工事は、湯西川ダム建設に伴い水没する県道を付替える工事である。しかし、起点側の坑口は急斜面上に計画され、その安定化を図るため、斜面上部にはアンカー工をはじめとする法面工、斜面下方には抑止杭としての深礎工・抱き擁壁、トンネル掘削部には人工地山形成のエアモルタルと坑口安定対策を実施する必要がある。ここではその施工時における留意点について述べる

Key Words : NATM, 斜面安定, 情報化施工, 管理基準値, 発破振動

1. はじめに

本トンネルは、栃木県日光市北部に位置する湯西川ダム建設に伴い、水没する県道を付替える工事で延長132mのトンネル工事である。終点側から掘削を開始し、起点側へ貫通させる計画となっており、起点側の坑口は急斜面上（写真－1参照）に計画され、その安定化を図るため斜面上部にはアンカー工をはじめとする法面工、斜面下方には抑止杭としての深礎工・抱き擁壁、トンネル掘削部には人工地山形成のエアモルタルと多工種にわたり坑口安定対策を実施する必要がある。しかし反対側への進入路はなく、一旦先進導坑で貫通し、その導坑を進入路として対策工を実施、本坑を貫通させる計画（図－2参照）であった。



図－1 位置図



写真－1 起点側坑口



内海智之



国友勇武



宮崎智彦

2. 工事概要

2.1 全体概要

発注者：国土交通省関東地方整備局

工事場所：栃木県日光市湯西川地先

工期：平成18年3月18日～平成20年9月15日

2.2 工事諸元

トンネル

NATM 発破掘削 上半先進ベンチカット工法 延長132m

内空断面 A=59m²

明り工事

橋台工 h-13.5m × w-9.8m × L-8.5m V=550m³

深礎工 φ2.5 (L=14.00m 2本 L=12.00m 2本)

抱き擁壁 h-11.7m × w-3.5m × L-29.0m V=360m³

深礎工 φ2.5 (L=15.50m 2本 L=13.00m 2本)

グラウンドアンカー工 L=11.0m 29本 L=9.0m 6本 F-600 ほか

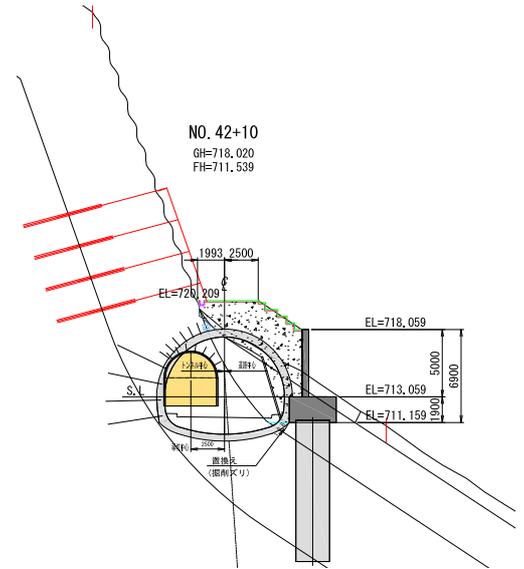


図-2 起点側坑口横断面

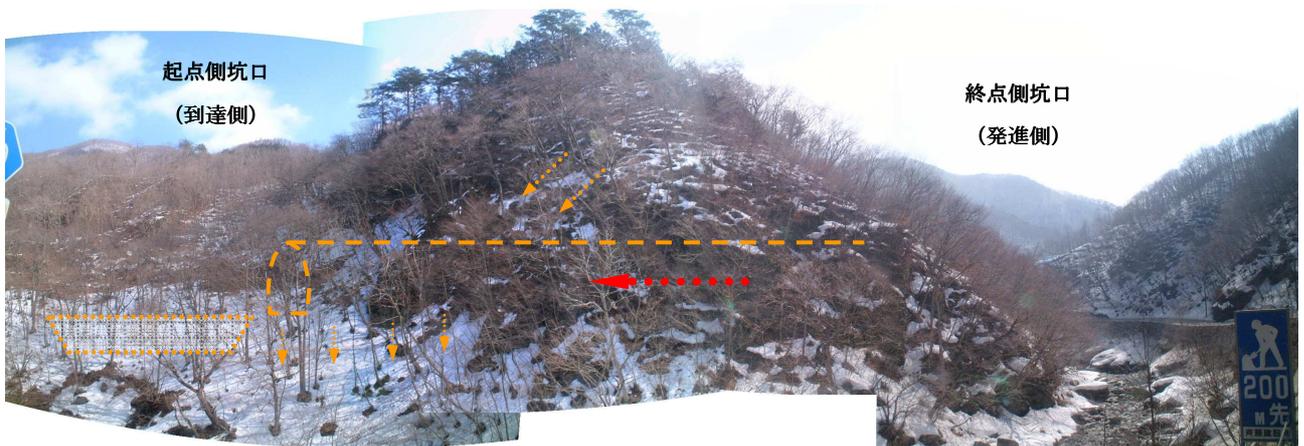


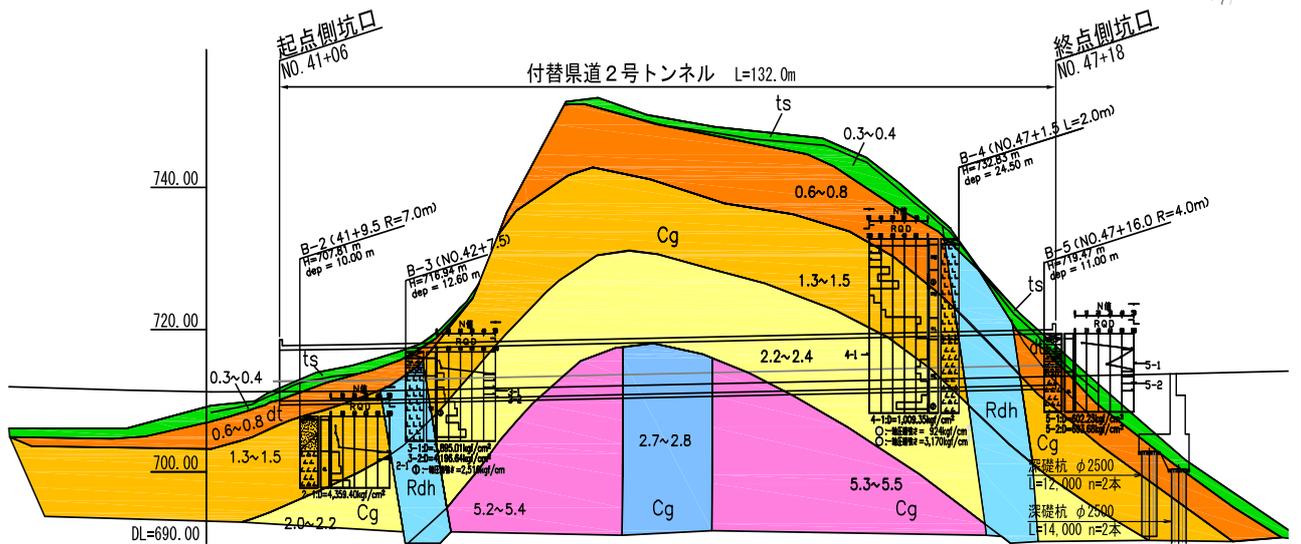
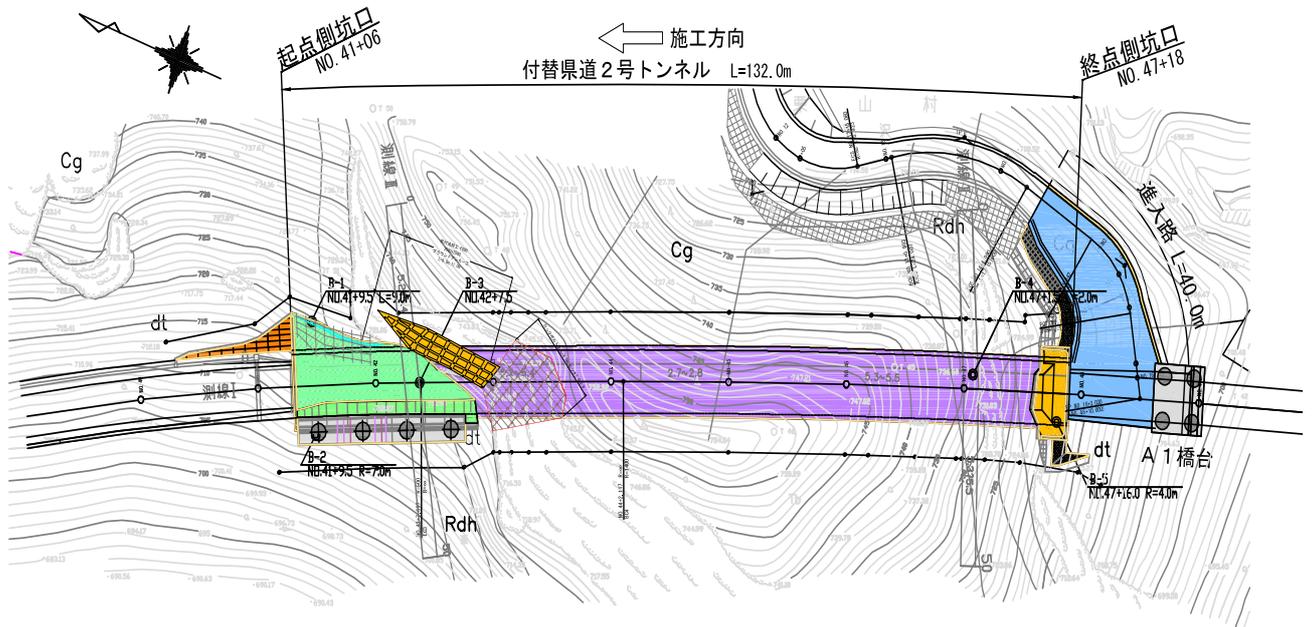
写真-2 トンネル全体イメージ



写真-3 起点側坑口



写真-4 終点側坑口



測点		NO.41+06	NO.42	NO.43	NO.44	NO.45	NO.46	NO.47	NO.48	NO.49	
計画高		711.215	711.359	711.718	712.077	712.436	712.795	713.154	713.477	713.872	
設計	地山等級	DII		DIa		DI			DIa	坑門工	
	支保パターン	坑門工		DII-a-2		DI-a-i	DI-a	DI-a-i	DI-a-1	坑門工	
	覆工厚 (cm)	35 (50)		35 (50)		30 (45)	30	30 (45)	30	35 (50)	
	吹付けコンクリート厚 (cm)	25		25		15	15	15	15	25	
	金網設置範囲	上下半		上下半		上半	上半	上半	上半	上下半	
	ロックボルト	長さ (m)	4.0 (3.0)		4.0 (3.0)		3.0	3.0	3.0	3.0	4.0 (3.0)
		周方向間隔 (m)	1.2 (0.6)		1.2 (0.6)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2 (0.6)
		延長方向間隔 (m)	1.0 (1.0)		1.0 (1.0)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0 (1.0)
	鋼アーチ支保工	種別	H-200		H-200	H-125	H-125	H-125	H-125	H-125	H-200
		延長方向間隔 (m)	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
補助工法	注入式フォアポーリング								充填式フォアポーリング		
区間長さ (m)	0.5	29.0	7.5	8.0	13.0	16.0	12.0	26.0	19.4	0.6	
掘削工法	上半先進ベンチカット工法								突破掘削方式		

図-3 平面図および地質縦断面

3. 斜面安定化対策について

3.1 先進導坑を栈橋に変更

当初は終点側からのトンネル着手とし、地山の緩みを最小限に抑えるため先進導坑で貫通し、その導坑を進入路として、起点側坑口部の深礎工・抱き擁壁・人工地山を施工して坑口安定化を行い、その後導坑を拡幅してトンネル本坑を掘削する計画（図-4参照）であった。しかし、一度導坑掘削で緩みの生じた領域に対策を行ってもトンネル本坑掘削時の安定効果は期待できないと判断し、FEM解析等を行い導坑掘削による緩み発生が確認されたため、工法変更を目的とした栈橋による進入路の造成を提案した。また起点側での絶滅危惧種であるクマタカ営巣問題が解決したこともあり、この案が採用され、事前に坑口安定対策を実施した後、終点側から掘削を開始し、起点側坑口を貫通することが決定された。（図-5, 6参照）

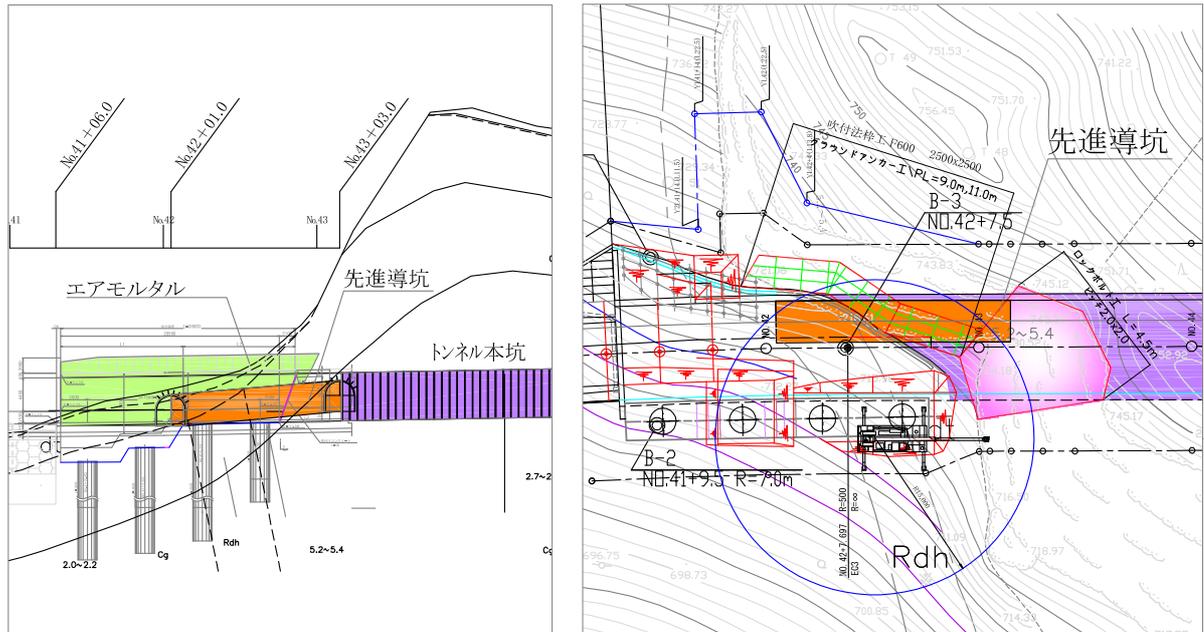


図-4 起点側坑口 縦断面図および平面図

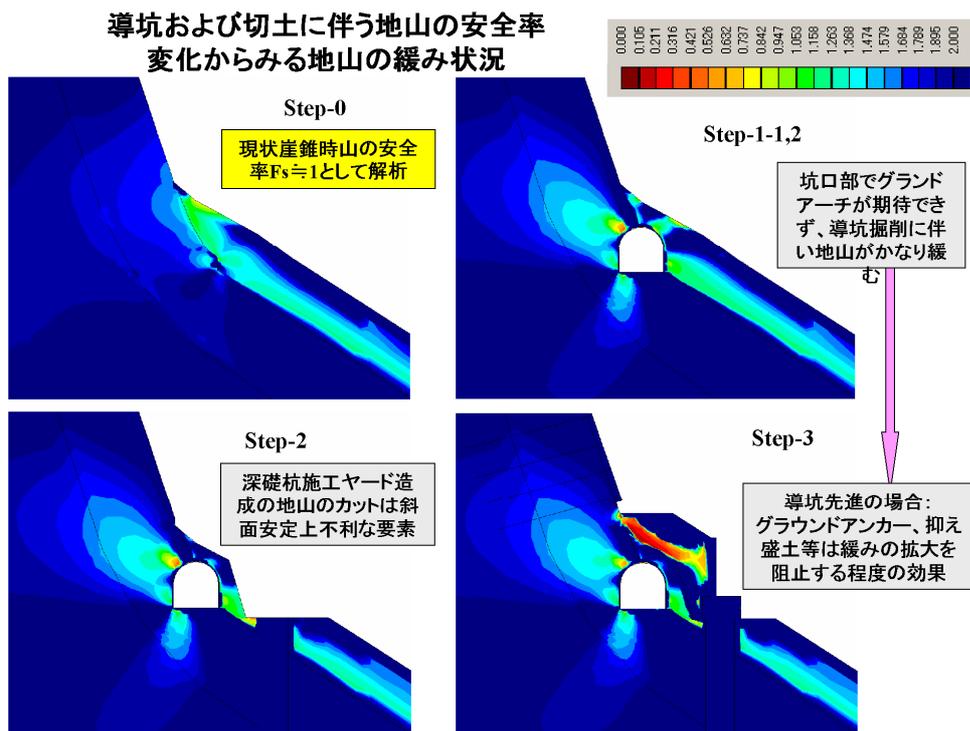


図-5 FEM 解析概要

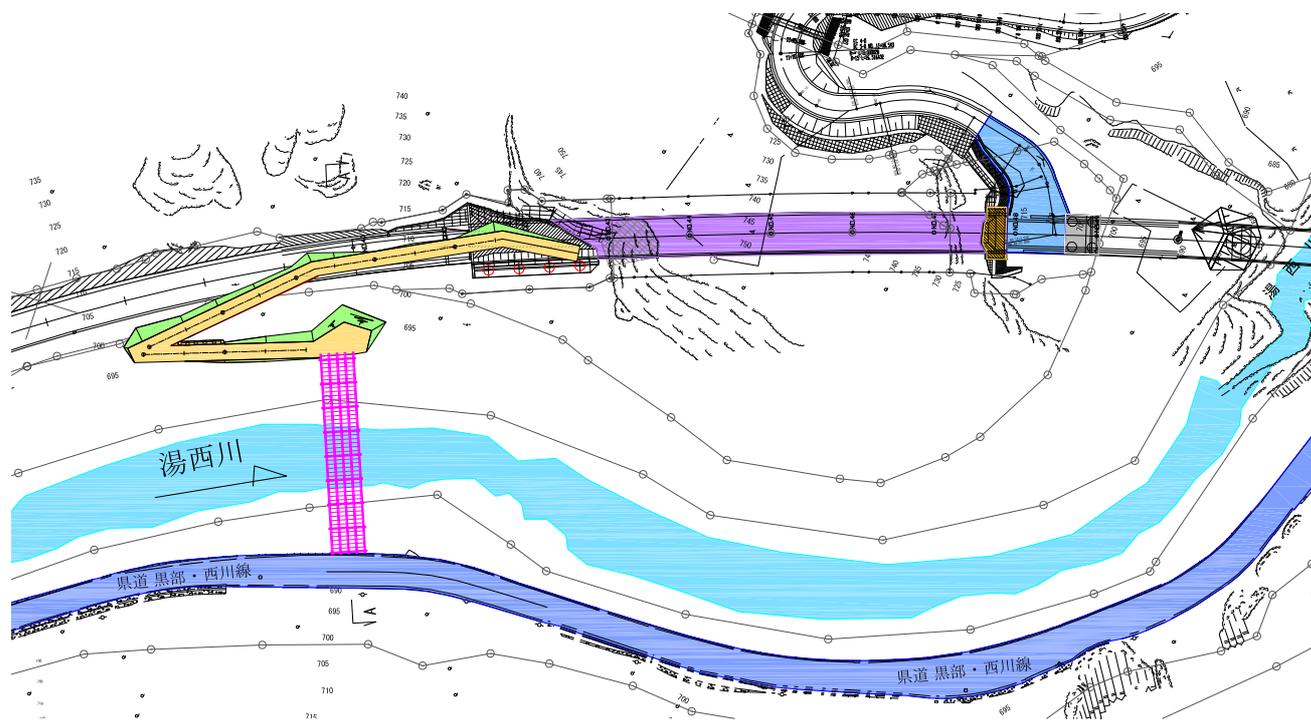


図-6 工事用栈橋および進入路平面図



写真-5 起点側坑口 (終点側から望む)



写真-6 起点側坑口 (起点側から望む)

3.2 坑口部斜面の情報化施工

トンネルが貫通する坑口斜面の対策工は、岩盤斜面に対しては「アンカー工」や「ロックボルト工」、斜面下方の抑止工としては「抱き擁壁工（抑止杭）」を行った。これらに対してはトンネル坑内での通常の計測工に加え、対策工の効果を検証するために以下の測定管理を行った。（図-7参照）

- 1) 岩盤斜面の安定監視・・・グラウンドアンカー荷重測定
- 2) 深礎杭（抑止杭）の安定性・・・深礎杭頭部傾斜測定

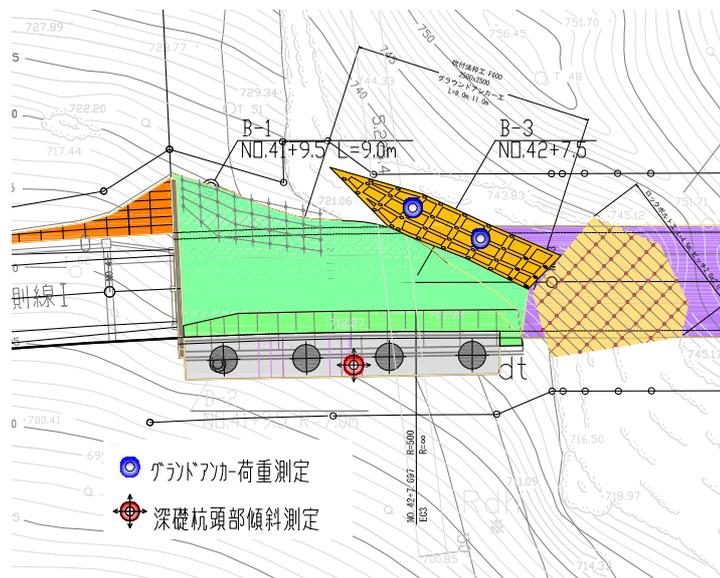


図-7 計測工配置図

また、計測管理を行う上で重要となる管理基準値について検討した。管理基準値は危険のレベルに応じて対応を図ることから管理レベルを3段階に設定した。

管理基準は上限値をレベルⅢ，レベルⅡは要注意体制，レベルⅠは通常体制として管理した。（表-1参照）

【グラウンドアンカー荷重測定】

起点側の斜面へのグラウンドアンカーの設計荷重は 560.6 kN，テンドン降伏荷重は 1098 kN であることから管理基準値はこれらの値を目安に定めた。

管理の上限値としてはテンドン降伏荷重 (1098 kN) の 90%=988≒990 kN とし、また設計荷重が 560.6 kN であることから、上限値 990 kN との差分(990-560.6=429.4)を3等分することで各管理レベルを設定した。

【深礎杭頭部傾斜測定】

深礎杭は地すべり抑止として設計されているが、最も問題となるのは深礎杭自体の斜面下方への傾斜および移動である。そこで、深礎杭および上部の擁壁をトンネル施工時の近接構造物と考え、近接施工時の RC 構造物の管理値が参考に出来ると考えた。橋台・橋脚・地下構造物・ビル RC 等を参考にすると、概ね 80～180 秒であり、180 秒を上限の管理レベルⅢとして、レベルⅠを 50%，レベルⅡ75%とした。

表-1 管理基準値

測定項目	単位	管理基準値			備考
		I	II	III	
グラウンドアンカー荷重測定	荷重(kN)	700	840	990	降伏荷重の90%上限
深礎杭頭部傾斜測定	傾斜角(秒)	90	135	180	

3.2.1 計測結果

切羽の進行にともないグラウンドアンカー荷重は増加傾向にあるが、管理レベル I の範囲内と判断してよくトンネル掘削による地山のゆるみに対して効果的に作用しているものと判断できる。(図-8 参照)

また、深礎杭傾斜角は斜面下方側に傾斜し、50 秒以内の値を示している。これは 5m 上方の擁壁天端で水平方向に 1mm 程度の変位量となり管理レベル I の範囲と判断できる。(図-9 参照)

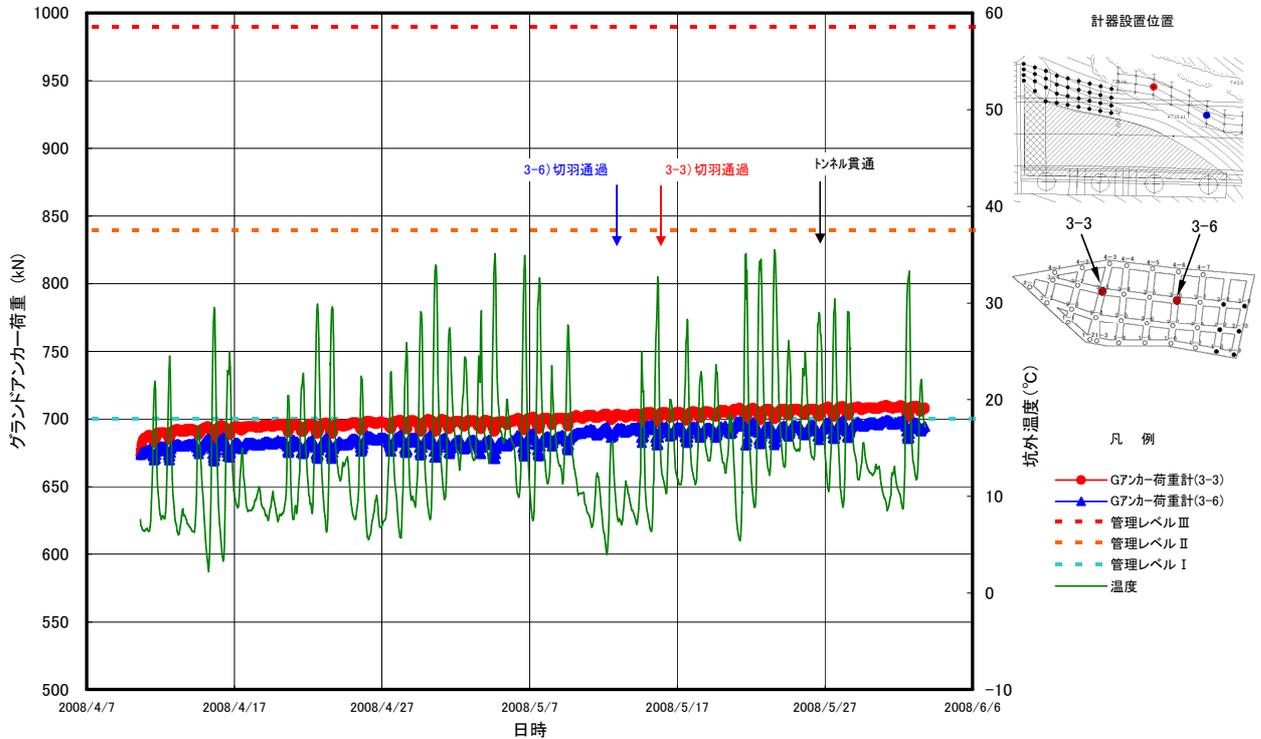


図-8 グラウンドアンカー荷重測定

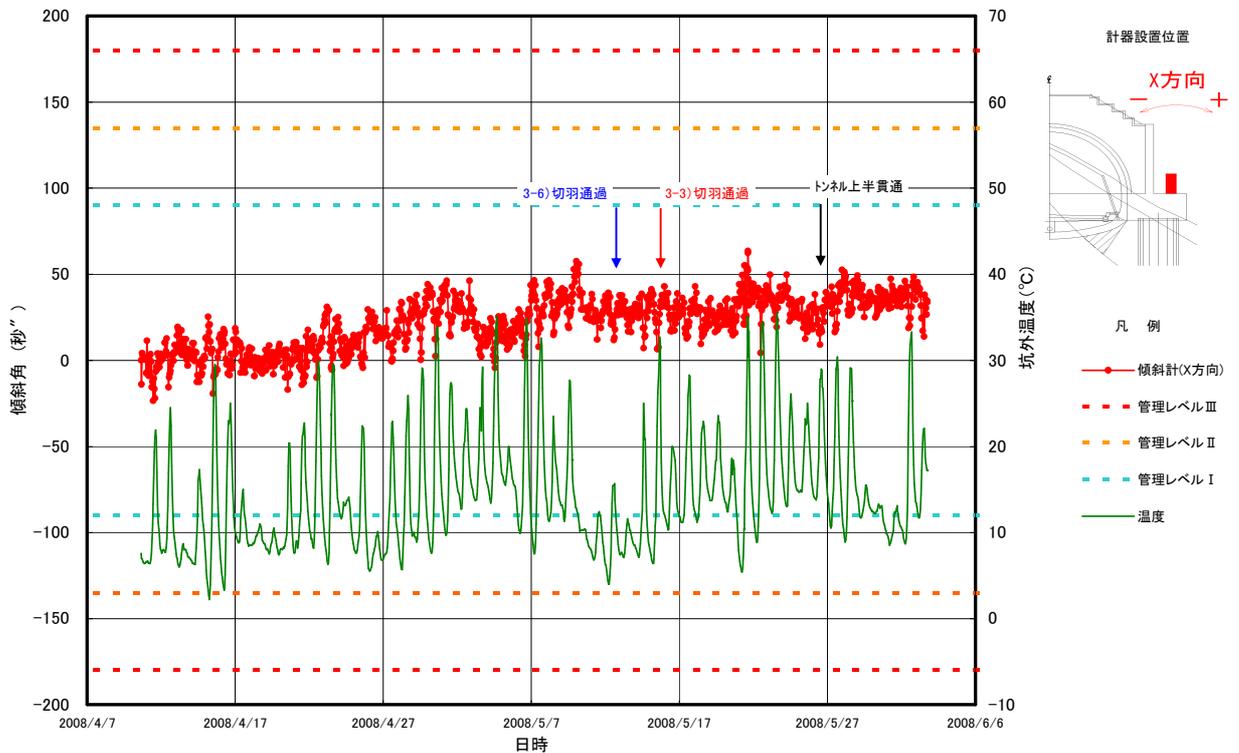
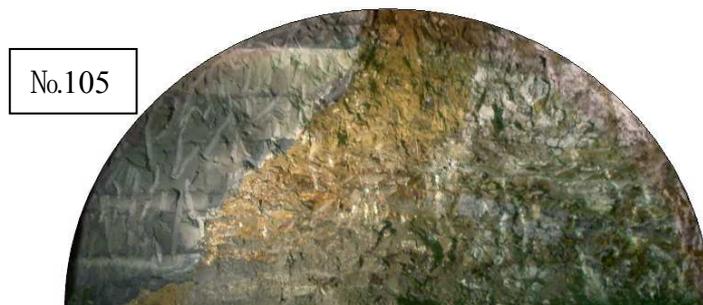


図-9 深礎杭傾斜計測定

3.3.1 発破振動測定結果

隔距離 2m 程度で 5kine 以内の測定結果となり 10m 離隔の斜面部には 0.2kine の結果を得た。 図-11 に測定結果を示す。



段当り薬量 芯抜 1.2kg 測定値 合成 V : 4.98
 払い 2.8kg

$$K = V / W^{2/3} \cdot D^{-2} = 0.1$$

$$V = K / W^{2/3} \cdot D^{-2} = 0.2 \text{ kine}$$

V : 変位速度(kine)

W : 装薬量(g)

D : 距離(m)

K : 係数

測定位置 (m)	最大振動値 (kine)	周波数 (Hz)
1 (x) : 0.	1 (X) : 2.393	1 (X) : 37
2 (y) : 0.	2 (Y) : 4.492	2 (Y) : 20
3 (z) : 0.	3 (Z) : 2.988	3 (Z) : 43
	合成 : 4.98	

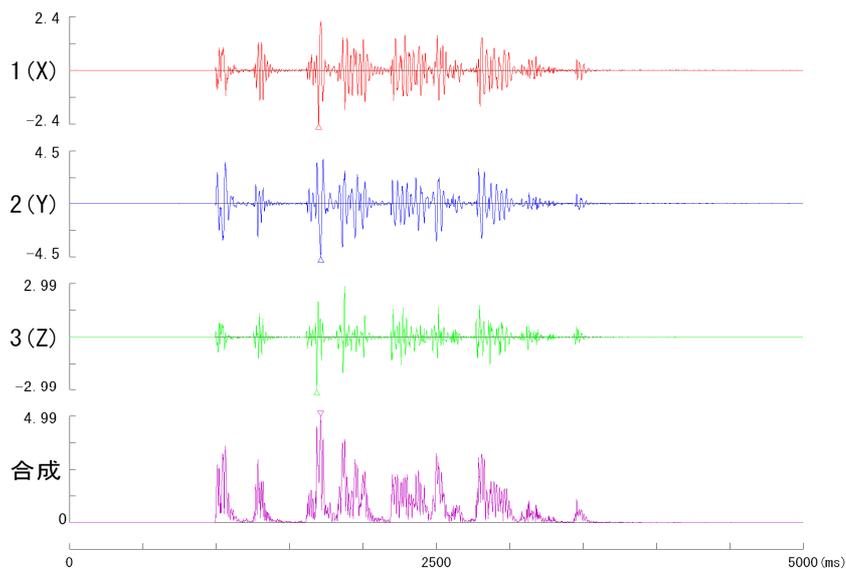


図-11 発破振動測定

4. まとめ

当初予定されていた先進導坑により貫通させ、その坑口部の安定対策を実施方法は、克服すべき多くの問題点と大きなリスクを抱えていた。栈橋で進入路を確保し、事前に対策工が実施できたことは、その難問を一掃でき、斜面安定化に大きく貢献できた。また、その実施された対策工の効果を情報化施工により確認しながらトンネルを掘削したこと、トンネル掘削時の発破において雷管のもつ起爆時間のばらつきを利用して斉発薬量を減らし、その影響を低減させて斜面への振動を抑えて施工したことも安定化の要因として挙げられる。

その結果大きな変位もなく先日無事上半を貫通することができた。ただ今後の作業も残されているので引き続き慎重に監視していきたい。



写真－7 起点側坑口

5. 謝辞

本工事施工にあたり国土交通省関東地方整備局湯西川ダム工事事務所の関係者の方々に多大なご支援いただいております。また東京土木支店および技術研究所をはじめとして、ご協力いただいた関係各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会：地中構造物の建設に伴う近接施工指針，H11.2
- 2) 旭化成：技術資料 発破振動について，1992.1
- 3) 日本火薬工業会：あんな発破こんな発破 発破事例集，H14.3
- 4) スティグオロフソン 原著 最新発破技術ハンドブック編集委員会 訳：最新発破技術ハンドブック，山海堂