

偏圧地形下における坑口施工時の計測管理 Monitoring of Tunnel Portal Stability under Nonuniform Earth Pressure

前 啓一*	岡村 貴彦*
Keiichi Mae	Takahiko Okamura
角五 誠*	清田 奨**
Makoto Kakugo	Susumu Kiyota

要 約

本トンネルは、首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の神奈川県区間であるさがみ縦貫道路のうち、愛川町に位置する全長約 2,700 m の 2 車線道路トンネルである。相模川右岸の段丘崖に沿ってルート選定がなされており、特に坑口部は偏圧地形となっている。土被りは 50～55 m と浅く、トンネル直上には民家・送電鉄塔・県道が、直下約 7 m の位置には下水道トンネルがある。

本稿では、偏圧地形で、重要構造物が近接している坑口付近の施工時計測管理について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 坑口部の特殊性
- § 4. 計測の概要
- § 5. 計測管理基準値の設定
- § 6. 計測結果
- § 7. まとめ

§ 1. はじめに

さがみ縦貫道路は、都心から半径約 40～60 km の位置に計画されている首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の神奈川県区間として、県中央部の南北の地域を結ぶ、自動車専用道路である。

愛川トンネルはさがみ縦貫道路のうち、愛川町南端に位置する（図一1）。全長約 2,700 m の 2 車線道路トンネルである。愛川トンネル（その 1）工事は、南側坑口から上り線 856 m、下り線 920 m を施工するものである。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工 事 名：さがみ縦貫愛川トンネル（その 1）工事
 発 注 者：国土交通省 関東地方整備局
 工事場所：神奈川県愛甲郡愛川町中津地先

* 横浜（支）愛川トンネル（出）

**横浜（支）横浜環二（出）



図一1 愛川トンネル位置図

工 期：平成 16 年 3 月 12 日～平成 19 年 2 月 28 日

施 工 者：西松・五洋特定建設工事共同企業体

施工延長：上り線 856 m（全長 2,613 m）

下り線 920 m（全長 2,703 m）

掘削断面：下り線坑口部大断面 153 m²

下り線坑口部中断面 116 m²

上下線標準断面 89 m²

掘削工法：NATM

（機械掘削，上半先進ショートベンチカット工法）

2-2 地形・地質概要

神奈川県中央部を流れ、相模湾に注ぐ一級河川相模川の河口付近から 15 km 程上流右岸沿いに、さがみ縦貫愛

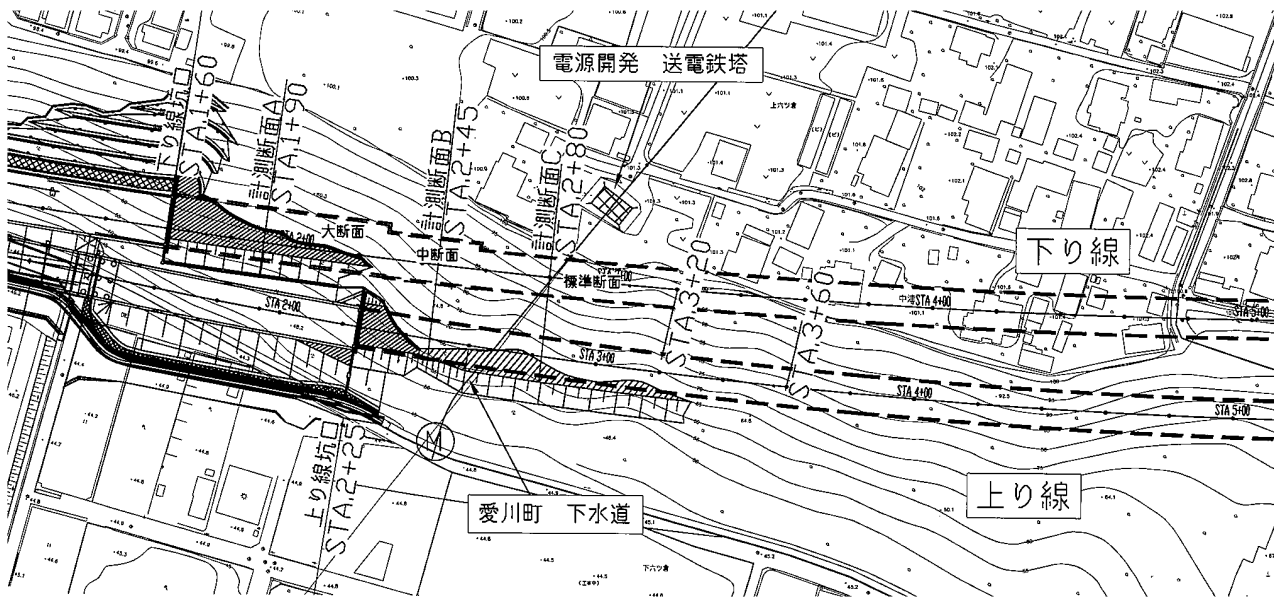


図-2 坑口部平面図

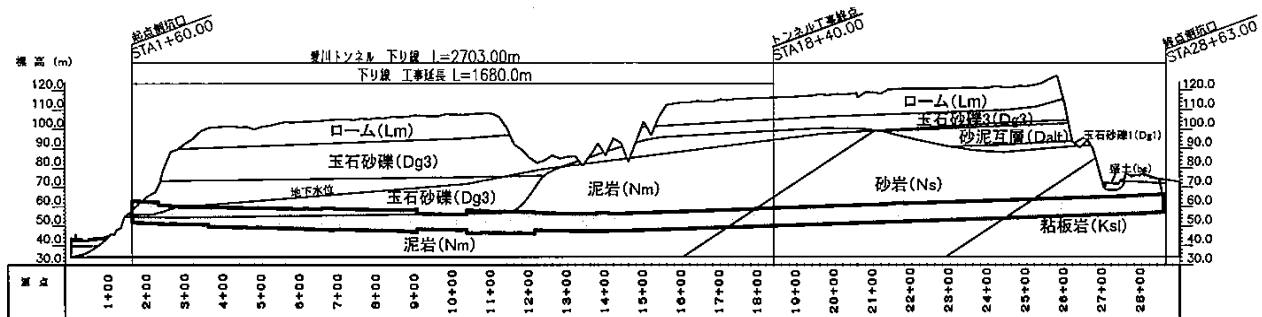


図-3 地質縦断面図

川トンネルは位置している。当該地付近ではその流れにより形成された非常に急勾配で岩盤が連続露出する比高50~55mの河岸段丘が発達している。本トンネルはこの相模川右岸段丘崖の東縁を南南東から北北西に抜けるように計画されている。

南東部起点側坑口付近は、新生代新第三紀鮮新世に堆積した中津層（Nm層：泥岩層）が基盤を構成しており、段丘面では、この中津層を不整合に新生代第四紀更新世の堆積物で、細礫～粒径500mm程度の礫を有する段丘砂礫層（Dg2・3：未固結玉石砂礫層）が覆い、この段丘砂礫層の上位にローム層（Lm層）が堆積する。トンネル掘削の対象地山は、南坑口から約900m区間は段丘砂礫層と中津層が主体となっている。上半掘削時には、両者の層境が切羽に出現した。図-2に坑口部平面図を、図-3に地質縦断面図を示す。

§3. 坑口部の特殊性

3-1 地形的問題点

- ① 段丘崖斜面からの偏圧を受けやすい地形である。
- ② 坑口部の土被りは、地形上地山深部側に位置する下り線で2D（D：トンネル掘削幅）程度、地表面

側の上り線で0.5~1D程度と浅い。

3-2 地質的問題点

- ① トンネル切羽・天端からの未固結玉石砂礫層の崩落・抜け落ちが懸念され、アーチアクションが期待できない。
- ② 切羽下部に出現する泥岩層とその上の未固結玉石砂礫層の層境に帯水層があり、切羽の大半を占める未固結玉石砂礫層が湧水の影響を受けてさらに不安定になる。

3-3 坑口部の施工上の問題点

- ① 上下線の純離隔が坑口部で約9m（0.75D）と小さい。
- ② 上り線・下り線はほぼ同時施工となる。
- ③ 下り線坑口部はインターチェンジからの流入部に位置し、3車線の大断面となるため、地山や支保部材に大きな負担がかかる。
- ④ STA. 2+40以降の地山上部に住居専用地域が広がる。
- ⑤ STA. 2+80には公共性の高い構造物がある。斜面上部には送電鉄塔がある（電源開発 佐久間東幹線）。

No. 412 鉄塔). 上下線の両トンネルの直下約7m下を横断する下水道(断面積約8m²)が存在する(愛川町管理の小沢幹線下水道 平成7年竣工, 施工法: 矢板工法).

上記の特殊性をふまえ, トンネル掘削が及ぼす影響を把握し, 施工に反映させる必要があるが, リスクとして偏土圧の問題, 天端や切羽の崩壊により引き起こされる可能性のある斜面の崩壊や近接構造物の不安定化の問題などが懸念される. 特殊条件下でのトンネル施工では斜面・近接構造物・トンネルの安定を確認しながら施工を行う計測管理による情報化施工が不可欠である.

§ 4. 計測の概要

計測管理における着目点は, 以下の通り.

- ① 斜面の安定の確認
- ② 斜面上部の送電鉄塔および直下約7mで交差する下水道の監視
- ③ 切羽の安定と支保部材の健全性の確認

4-1 坑口部斜面

下り線坑口から坑奥120mの区間に3断面を斜面監視断面として設定し, 計測断面C(STA. 2+80)では, 地すべり測定4測線・地中水平変位測定2箇所の計測を実施した(図-4参照).

4-2 近接構造物

STA. 2+80付近(下り線の坑口より120m, 上り線の坑口より約60m地点)で下水道との交差部および送電鉄塔と最も近接する. その地点の前後20mを「重要構造物区間」と設定し, 掘削時の管理強化を行うこととした. また, 公共性の高い送電鉄塔と下水道は, 個別に挙動監視計測を行い, トンネル掘削の影響と構造物の健全性を確認しながら施工を進めるものとした.

なお, 近接構造物の安定を監視する際には, 送電鉄塔

及び下水道自体が外気温の影響により変動を生じるため(温度変化による部材の膨張・収縮による構造物自体の変動), 測定値の温度補正を行い, 掘削に伴う変化を抽出した.

(1) 送電鉄塔の挙動監視

送電鉄塔の監視は, 送電鉄塔基礎部での挙動を光波測距儀による変位量測定と, レベル測量による沈下量測定で確認した. また, トンネルの施工は昼夜作業で行われるので, 突然の変状が現れた場合を想定し, 自動計測による測定を追加した. 送電鉄塔の斜面側の2基の基礎部に傾斜計(X, Yの2方向)を設置し, 基礎部の傾斜角から算出する不同沈下量と, 4基ある独立基礎の対角線状に向かい合う基礎部にレーザー距離計を設置し, 基礎部の水平不同変位を監視するものとした(図-5参照).

(2) 下水道の挙動監視

下水道の監視は, 本坑トンネル直下の位置で自動計測により行った. 下水道坑内のインバート部に鉛直変位計を設置して, インバート鉛直変位測定を行った. また, 本坑トンネルが下水道の上方を通過するため, 下水道坑内のインバート部と天端部の距離の変化を測定することで,

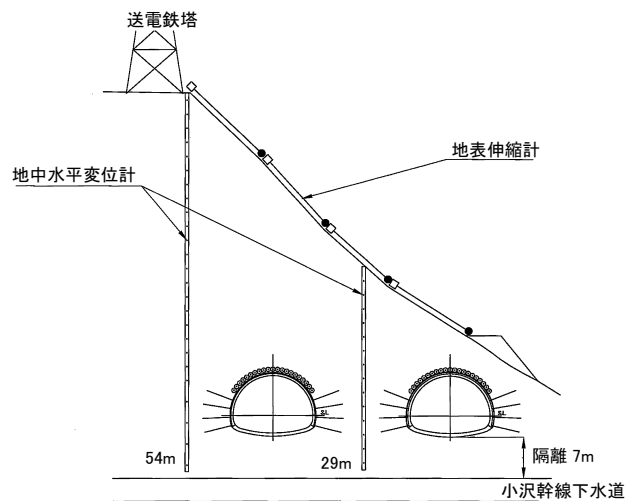


図-4 計測断面C(STA.2+80)の計測計画図



写真-1 坑口部全景

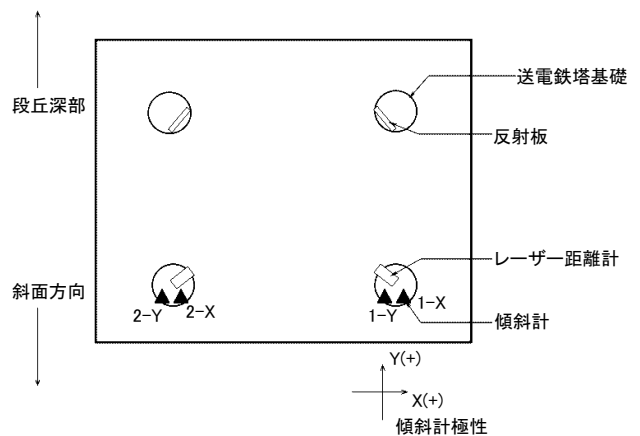


図-5 送電鉄塔基礎部計測器配置平面図

構造物が一体として挙動しているかを確認する必要がある。下水道インバートと天端間に変位計を設置し内空変位測定を行った(図-6参照)。

なお、事前に下水道坑内の環境測定を行ったところ、時間帯によっては、ホルムアルデヒド：0.1 ppm 程度、塩素：2 ppm 程度、塩化水素：1 ppm 未満、アンモニア：1 ppm 未満、二酸化窒素：0.5 ppm 未満等の有害ガスが検知された。塩素の許容暴露限界値は0.5 ppm であることから、下水道坑内で日常管理としての測定作業は困難であると判断し、レベル測量等による沈下量測定や変位量測定などの実施は見合わせた。

表-1 に近接構造物計測項目一覧を示す。

表-1 近接構造物計測項目一覧表

構造物	計算項目	計測器	手法	単位	数量
鉄塔	鉛直不同変位	傾斜計	自動	箇所	2
	水平不同変位	レーザー距離計		側線	2
	水平変位	光波測距離	手動	箇所	4
	鉛直変位	レベル		箇所	4
下水道	インバート部鉛直変位	水圧式波下計	自動	箇所	2
	内空(高さ)変位	伸縮計		側線	2

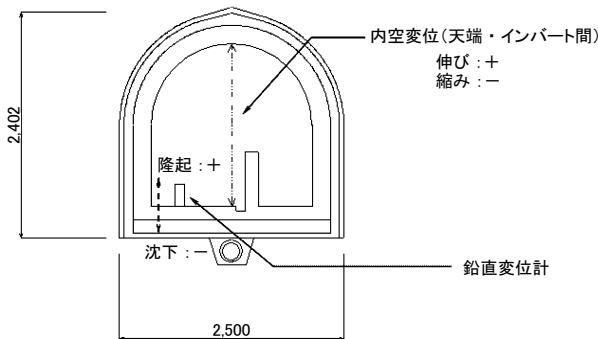


図-6 下水道計測器配置図

4-3 トンネル

トンネル自体の安定性を把握するために計測 A (内空変位・天端沈下測定)を行った。また、南側坑口付近で斜面監視が行われている断面と同じ測点(STA. 1+90 下り線, STA. 2+45・STA. 2+80 上下線)に地山および支保の健全性等を把握する目的で、計測 B(地中変位測定・ロックボルト軸力測定・吹付けコンクリート応力測定・鋼アーチ支保工応力測定・長尺鋼管フォアパイリングたわみ測定)を行った。

偏圧地形下で重要構造物が近接する特殊な条件下でのトンネル施工であることから、各計測の測定は一部の変位測定を除いて、自動収録システムを採用し、現場事務所とオンラインで結び、管理した。

§ 5. 計測管理基準値の設定

5-1 斜面の安定評価

斜面を測定する際には、管理基準値を設定し、観察、調査等の結果と共に総合的に判断する必要がある。

施工段階における地すべり観測における管理基準値として、『財団法人高速道路調査会：地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書(日本道路公団委託)昭和63年2月』の値を採用した。表-2 に値を示す。

5-2 近接構造物の安定評価

近接構造物の管理基準値設定に際しては、管理レベルⅢを定め、その50%を管理レベルⅠ, 75%を管理レベルⅡとし、図-7の管理体制をとるものとした。

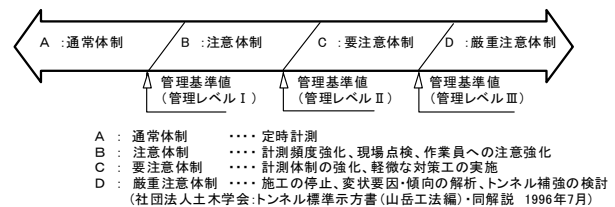


図-7 管理レベルと管理体制

表-2 施工段階における地すべり観測における管理基準

計測区分と計測機器		対応区分	点検要注意 または観測強化	対策の検討	警戒・応急対策	嚴重警戒一時退避
伸縮計	地表面の変位速度	5 mm 以上/10 日 ¹⁾	5~50 mm/5 日	10~100 mm/1 日	100 mm 以上/1 日	
地中伸縮計						
光波測距離儀						
挿入型地中傾斜計	すべり面付近の変位速度	1 mm 以上/10 日	5~50 mm/5 日	—	—	
パイプひずみ計	累積値	100 μ 以上	1000~5000 μ	—	—	

(1) 送電鉄塔の管理基準値

送電鉄塔の管理レベルⅢは、電源開発株式会社から異常判断基準値(表一三参照)として事前に示されていた値を採用した。

FEM解析の結果、トンネル施工に伴い送電鉄塔の独立基礎部(GL-13.0m)における垂直不同変位は、9.7mmと想定されていた。この値は異常判断基準値に近い変位量であるため、トンネル施工に先立ち送電鉄塔の構造部材の補強対策を行った。

(2) 下水道の管理基準値

トンネル直下約7mで交差する下水道はFEM解析の結果、最大変位量は4.8mmと比較的小さな隆起が予測された。下水道の鉛直変位の管理基準値は当初設計で、『日本トンネル技術協会 構造物に近接した山岳トンネルの設計施工に関する研究報告書 平成4年3月』に記載されている実績により定められていた50mmを管理レベルⅢとした。

5-3 トンネルの安定評価

坑口部DⅢパターンの天端沈下、内空変位測定は管理基準値は吹付コンクリートの破壊ひずみから算出した。天端沈下測定で30mm、内空変位測定で60mmを管理レベルⅢとした。

§6. 計測結果

6-1 坑口部斜面

下り線坑口付近の計測断面A(STA.1+90)では、下り線側壁導坑の掘削を進めても大きな変化は見られなかった。下り線上半の施工時には、「重要構造物区間」に入る前から、斜面上部に配置した地表伸縮計などに顕著な変化が現れた。

一方、上り線坑口付近の計測断面Bは上り線上半切羽の通過に伴い変位する傾向を示したが、地すべり発生時に認められるせん断面・不連続挙動などは確認されなかった。

これらの計測データから、トンネル掘削により斜面方向の変位挙動を示すこと、また下り線の掘削による斜面への影響は上り線に比べ大きく生じることなどが確認された(図一八参照)。下り線は上り線に比べ土被りが大きく、段丘崖の深部にあるため、段丘崖の上部まで下り線施工の影響が現れたものと考えられる。

表一三 送電鉄塔の異常判断基準値

測定項目	基準値
水平移動量 (mm)	30 mm
垂直移動量 (mm)	25 mm
垂直不同変位 (mm)	10 mm
水平不同変位 (mm)	5 mm

6-2 近接構造物

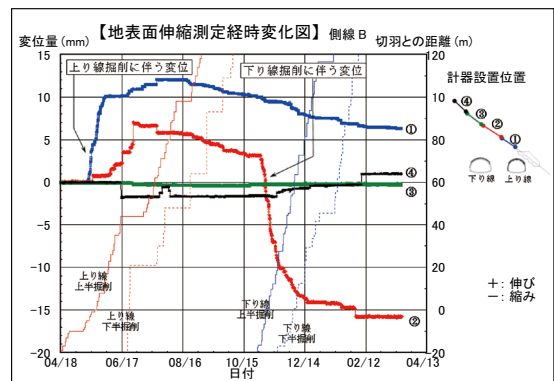
(1) 送電鉄塔

上り線の上半切羽はH17.6月中旬に近接構造物(送電鉄塔や下水道)の影響範囲に到達した。しかし上半切羽が送電鉄塔に最も近接する位置を通過しても送電鉄塔の傾斜・変位に顕著な変化は認められなかった。送電鉄塔のトンネル側への水平移動量は、最大で5.0mm、沈下量は-1mmであった。

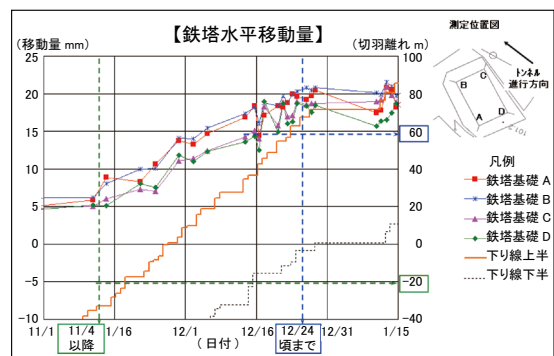
下り線は、H17.9月に側壁導坑(69m)の施工完了後、上半掘削に入り、11月初旬、上半切羽が近接構造物の影響範囲に達した。鉄塔に最も近づいた11月29日の時点ではトンネル側に水平移動する傾向が確認された(到達時で水平移動量は14.1mm、沈下量は-3mm)。

下り線上半切羽が送電鉄塔から離れるに伴い、水平変位がトンネル切羽方向に移動する傾向を示し、沈下量も徐々に大きくなっていった。12月13日時点での測定値は水平移動量17.3mm、沈下量-9mmとなった。管理レベルⅠを超えたことで、12月15日より手動測定の頻度と鉄塔の目視観察を1回/日に増やして監視を行うこととした。

12月15日では、下り線の上半切羽は送電鉄塔の最小離隔から2D以上離れていたが、その後、上半掘削および下半掘削により沈下量・水平移動変位量は増加し、水平移動量は最大23.3mm、沈下量-11mm、垂直不同変位量-6mmを観測した。しかし当初設定した基準値までには達せず、施工を継続することができた(図一九参照)。



図一八 本坑掘削時地表伸縮測定



図一九 送電鉄塔基礎部 水平移動量

(2) 下水道

小沢幹線下水道は、上り線上半掘削時に上り線交差部で0.9mmの隆起が確認されたが、上り線切羽が通過してから下り線切羽が到着するまでの期間は、変位及び沈下量に進行は見られなかった。下り線上半掘削時には交差部より2m手前の地点より隆起の傾向を示し、交差部直上を通過した時点で隆起の変位速度は最大となり、切羽通過後、離隔約20mまで隆起の傾向が続いた。下半掘削後の下り線交差部の隆起量は2.9mmで解析予測内に収まった。

なお、下り線施工時には下り線交差部だけでなく、上り線交差部でも1.1mmの隆起を確認した。前述の通り、下り線施工時のほうが上り線施工時に比べ周辺地山に与える影響が大きいことを裏付けている(図-10参照)。

6-3 トンネル

(1) 計測 A

計測 Aの結果を表-4に示す。天端沈下は管理レベル I~II程度の値で、内空変位は管理レベル I以下の低い値であった。

(2) 計測 B

計測 Bにおいては、下り線はSTA. 1+90での鋼アーチ支保工の応力が99.5N/mm²で、管理レベル I程度の値となった。偏圧地形であることから、鋼アーチ支保工に過大な曲げモーメントの発生が予想されたものの、管理レベル I(130kN・m)以下の40kN・m程度であった(図-11参照)。

また、下り線 STA2+45のロックボルト軸力は管理レ

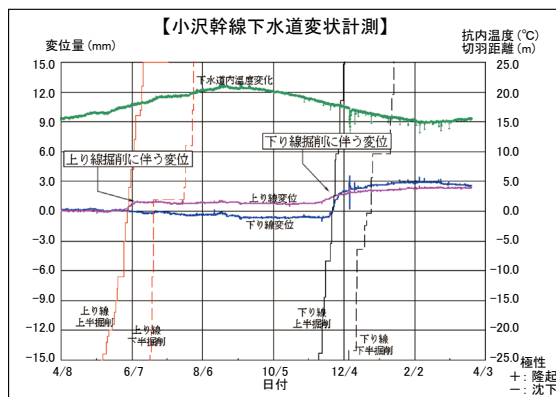


図-10 小沢幹線下水道変状計測

ベル IIに近い値を示した(図-12参照)。

(3) 下り線掘削が及ぼした上り線トンネルへの影響

- ① 天端沈下・内空変位には、ほとんど変化がなかった。
- ② 下り線側の上半ロックボルトの軸力値が圧縮方向に変化。下半ロックボルトは引張側に増加。
- ③ 鋼アーチ支保工応力測定の内空変位値が大きくなり、軸力・曲げモーメントともに増加。

§7. まとめ

本報告は、地形および地質上の問題を抱え、下水道、送電鉄塔・家屋などの重要構造物が近接するトンネルの掘削を、慎重な施工と、厳しい計測管理のもと安全に施工した記録であり、同様の課題を有するトンネルの施工計画時の参考になれば幸いである。

覆工コンクリートは、重要構造物区間の変位が収束したことを確認した後に施工を行い、坑外計測は覆工完了後4ヶ月経過した平成19年3月に計測を終了した。現在まで覆工変状等の異常は現れていない。

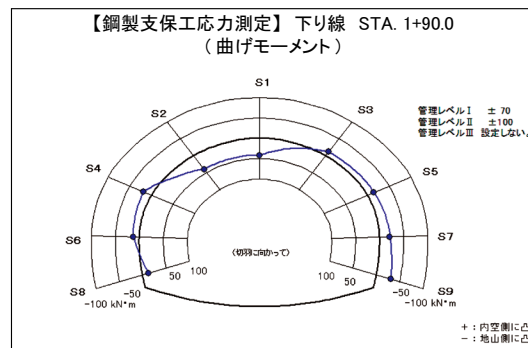


図-11 D III b 鋼アーチ支保工の曲げモーメント測定

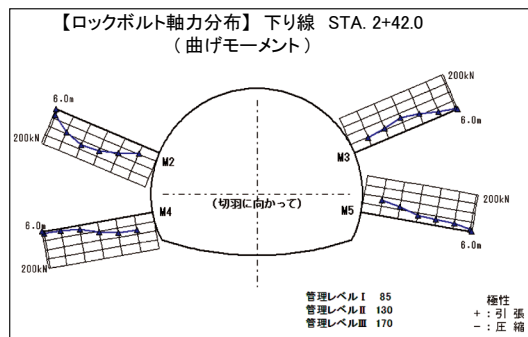


図-12 D III a-A-L ロックボルト軸力測定

表-4 天端沈下・内空変位測定結果

測定断面	支保パターン	天端沈下		内空変位		備考
		計測値 (mm)	管理レベル III (mm)	計測値 (mm)	管理レベル III (mm)	
上り線 STA. 2+44	D III a-A	-23.5	30	6.2	60	坑口部低土被り区間
上り線 STA. 2+79	D III a-A	-44.2	30	-4.2	60	坑口部低土被り区間 重要構造物区間
下り線 STA. 2+90	D III b	-11.3	30	4.3	60	坑口部低土被り区間 大断面 側壁導坑先進工法
下り線 STA. 2+45	D III a-A-L	19.7	30	-4.1	60	坑口部低土被り区間 標準断面移行拡幅断面
下り線 STA. 2+80	D I-A	-17.8	28	-6.0	58	重要構造物区間区間