

既設水路トンネル直下 7m で交差するトンネルの施工報告

The Report of Construction of Tunnel Crossed 7 Meters Under the Waterway Tunnel

前 啓一*
Keiichi Mae

要 約

本工事は、第二東名高速道路における大断面トンネル工事である。特徴として土被りが平均 2D 以下（最大 2.4D≒45m）と浅いこと、トンネル掘削対象地山の地質は第四紀更新世古富士火山碎屑物（火山砂礫～砂礫）であること、トンネル直上に民家、県道・市道、水路トンネルおよび送電鉄塔等が存在していること等が挙げられる。特に水路トンネルに関しては、離隔が約 7m とトンネル掘削による影響が多大であることが予想され慎重な施工管理を要求されている。当初、中央導坑掘削後に導坑内から薬液注入による水路トンネル周辺の地山改良工を行う予定であったが、水路トンネルを調査した結果、老朽化が著しく、中央導坑の掘削に先立って水路トンネル自体の補強を行うこととした。また、水路近傍を掘削するときには、水路の送水を停止し、挙動を計測管理しながら上下線同時に施工を行うことが義務付けられている。本文は、水路トンネル自体の補強方法、および中央導坑掘削時における計測管理計画と計測結果について述べるものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 水路トンネルの現状について
- § 4. 中央導坑掘削時の水路トンネルの計測管理
- § 5. 計測結果
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

本工事は、静岡県富士宮市内における第二東名高速道路のうち富士宮第一トンネルを含む本線工事と静岡県富士宮市天間における側道橋上部工の建設工事である。トンネル工事は、掘削断面積約 190m² という第二東名高速道路の扁平な大断面トンネル（扁平率 0.68）であり、土被りが浅いうえに、地表面に民家等が存在するため、民家の直下を掘削する際には昼勤のみでの施工を余儀なくされている。

トンネル掘削は、機械掘削方式による中央導坑先進拡幅掘削工法を採用しており、土石流堆積物にて地山構成される土被り数 m の東坑口部では側壁導坑先進上半ベンチカット工法で施工する。また、補助工法として水路

トンネルに対する地山改良工、フォアポーリング工、長尺鋼管フォアポーリング工等が計画されている。上半拡幅掘削状況を写真-1 に示す。

§ 2. 工事概要

2-1 工事内容

工 事 名：第二東名高速道路 富士宮第一トンネル工事
企 業 先：日本道路公団 静岡建設局
工事場所：静岡県富士宮市高原～静岡県富士市天間
工 期：平成 12 年 3 月 23 日～平成 15 年 3 月 7 日
施 工 者：西松・日特・浅沼共同企業体
工事数量：

トンネル部（NATM）
延長 上り線 493m，下り線 570m
掘削断面積 190m²（図-1 参照）
道路部
切盛土工量 240,000m³
橋梁部（鋼単純非合成板桁橋）
上部工一式 橋長 44m，幅員 7m

2-2 地形・地質

施工箇所付近は、富士川と潤井川の間位置するなだらかな台地上の丘陵地形（標高 130～160m の星山丘陵）

*横浜（支）道公富士宮（出）

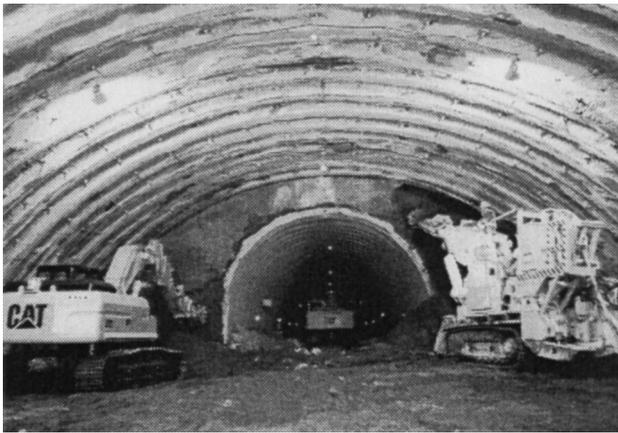


写真-1 上半拡幅掘削状況
(真中に見えるのが中央導坑)

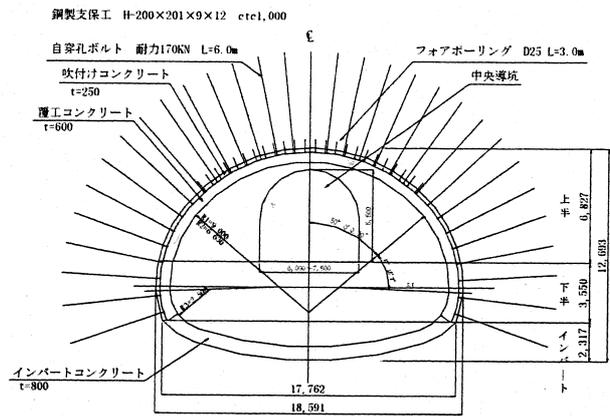


図-1 トンネル標準断面図

を示し、潤井川に沿って急崖が発達している。潤井川とその低地を挟んだ北東側には、非常になだらかな扇状地性地形が広がっている。

富士宮第一トンネルが計画されている星山丘陵東部は、古富士火山砕屑物である火山泥流堆積物が厚く堆積して、表層部はローム層に覆われ、谷状地形部には沖積低地堆積物、一部の緩斜面には崖錐堆積物が分布している。

厚く分布する古富士火山砕屑物は、玄武岩の岩塊・角礫と火山灰・火山砂や泥が混在する不均質な堆積物であり、玄武岩の大岩塊を含み砂～砂礫からなる火山砂礫(Ovf)と、その他の砂礫・砂質土・粘性土よりなる砂礫(Ova)とに区分している。地質縦断面図(上り線)を図-2に示す。

§ 3. 水路トンネルの現状について

3-1 調査結果

水路トンネルは、内空断面積約8m²の馬蹄形の断面で、大正年間に建設されたトンネルであるが、水力発電用の水路トンネルとして現在も使用されている。当初設計では、中央導坑掘削後、導坑内から水路トンネルの周辺地山の地山改良工を行う予定であったが、調査結果等から次のような事項が懸念された。

- ・水路トンネル覆工背面の空洞
- ・水路トンネル覆工の老朽化(ジャンカや施工目地からの周辺地山への漏水)
- ・中央導坑からの地山改良工における注入圧力や削孔精度(注:地山改良工施工時は送水は停止しない)

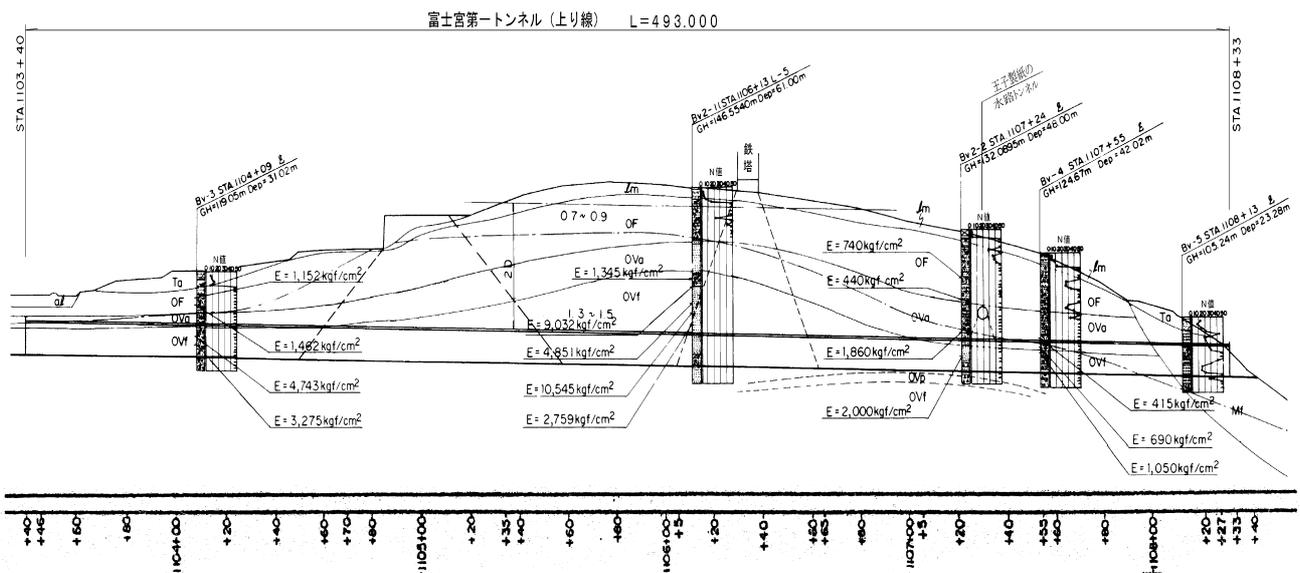


図-2 地質縦断面図(上り線)

3-2 水路トンネル補強工

調査結果より、水路トンネル下の中央導坑掘削を行う以前に、水路トンネル自体を補強することとした。この補強により、トンネル掘削による水路トンネルの変状抑制と中央導坑からの地山改良工による影響の軽減等が期待できる。

水路トンネル補強工として、次の工事を行った(表-1, 図-3 参照)。

表-1 水路トンネル補強工 (L=100m 範囲)

項目	仕様	数量
天端部空洞充填工	シリカレジン (8倍発泡)	6.09t
インバート部地山改良工	自穿孔ボルト L=3.00m	900本
	シリカレジン (4倍発泡)	39.0t
防水ライニング工	エポキシ樹脂	1,032m ²

§ 4. 中央導坑掘削時の水路トンネルの計測管理

4-1 予想される現象と管理の着目点

(1) トンネル周方向クラック

予想される現象としては、水路トンネル縦断方向の不同沈下により曲げひずみが発生し、これにともなうトンネル周方向クラックの発生が挙げられる。また、覆工コンクリート打継ぎ目は構造的な弱点であり、変状が最も発生し易い。

したがって、漏水対策工として施工したエポキシ樹脂による防水ライニング工は、これが降伏し、ひび割れが発生した場合、水路トンネルとしての機能の低下、当トンネルへの漏水、さらに、地山改良工時の注入材のリーク等が発生する懸念がある。

以上より、水路トンネル縦断方向の管理は防水ライニング補強の安定を対象とし、不同沈下によって発生する防水ライニング工のトンネル軸方向曲げひずみに対する管理及び覆工コンクリート打継ぎ目部の挙動の把握に着目した管理を行うこととした。

(2) トンネル縦断方向クラック

予想される現象としては、導坑、本坑掘削に伴う周辺地山の応力解放による異常変位の発生及び周辺地山の応力再配分による覆工コンクリートへの周方向応力の増加、これによるトンネル縦断方向クラックの発生が挙げられる。

トンネル縦断方向クラックの発生に対する管理としては、異常変位の発生及び周辺地山の応力再配分によって生じる覆工コンクリート周方向の応力の増加に着目した管理を行うこととした。

(3) 沈下

水路トンネルの所有者との間に水路トンネルの沈下許容値 20mm が取り決められており、絶対沈下量に対する管理が挙げられる。

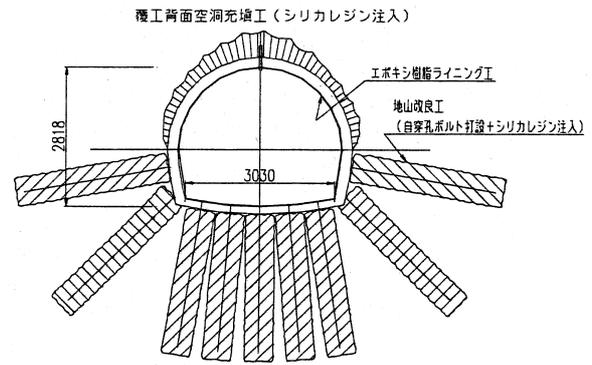


図-3 水路トンネル補強工

4-2 計測項目及び計測目的

(1) トンネル周方向クラック及び沈下許容値 20mm に対する項目

①天端沈下測定

水路トンネル縦断方向に所定の間隔で圧力式沈下計を設置し、絶対沈下量を測定する。

②インバート沈下測定

①項の測定は、天端の沈下挙動を把握するが、天端の沈下挙動とインバートの沈下挙動が異なる場合も考えられる。一方、導坑、本坑切羽通過時には、水路トンネルは送水を停止しており、水路トンネル内への立入が可能である。

事前にインバートに測量ピンを設け水準測量によりインバートの沈下挙動を把握する。

③覆工コンクリート打継ぎ目部の防水ライニングひずみ測定

覆工コンクリート打継ぎ目の天端部、インバート部は、最も変状の発生しやすい部分である。この部分の防水ライニング工に事前に光ファイバーセンサーを設置して、覆工コンクリート打継ぎ目部防水ライニングの挙動を監視する。

(2) トンネル縦断方向クラックに対する項目

①水路トンネル覆工コンクリートひずみ測定

水路トンネル覆工コンクリート周方向に光ファイバーセンサー (L=1m) を取り付け、トンネル周方向ひずみの発生状況を監視し、覆工コンクリートの増加応力を把握、管理基準と比較する。

②内空変位測定

インバート沈下測定と同様に、事前に測定ポイントを設け内空変位を測定し、切羽通過前後での水路トンネル覆工コンクリートの変形状況を把握する。

4-3 計器設置位置

計器設置位置を図-4に示す。計測断面は、縦断方向に本トンネル直上を「主計測断面」、左右に10m離れた位置を「副計測断面」と設定し、計6断面で覆工コンクリートひずみ測定、内空変位測定を行う。

また、覆工コンクリート打継ぎ目部の防水ライニング

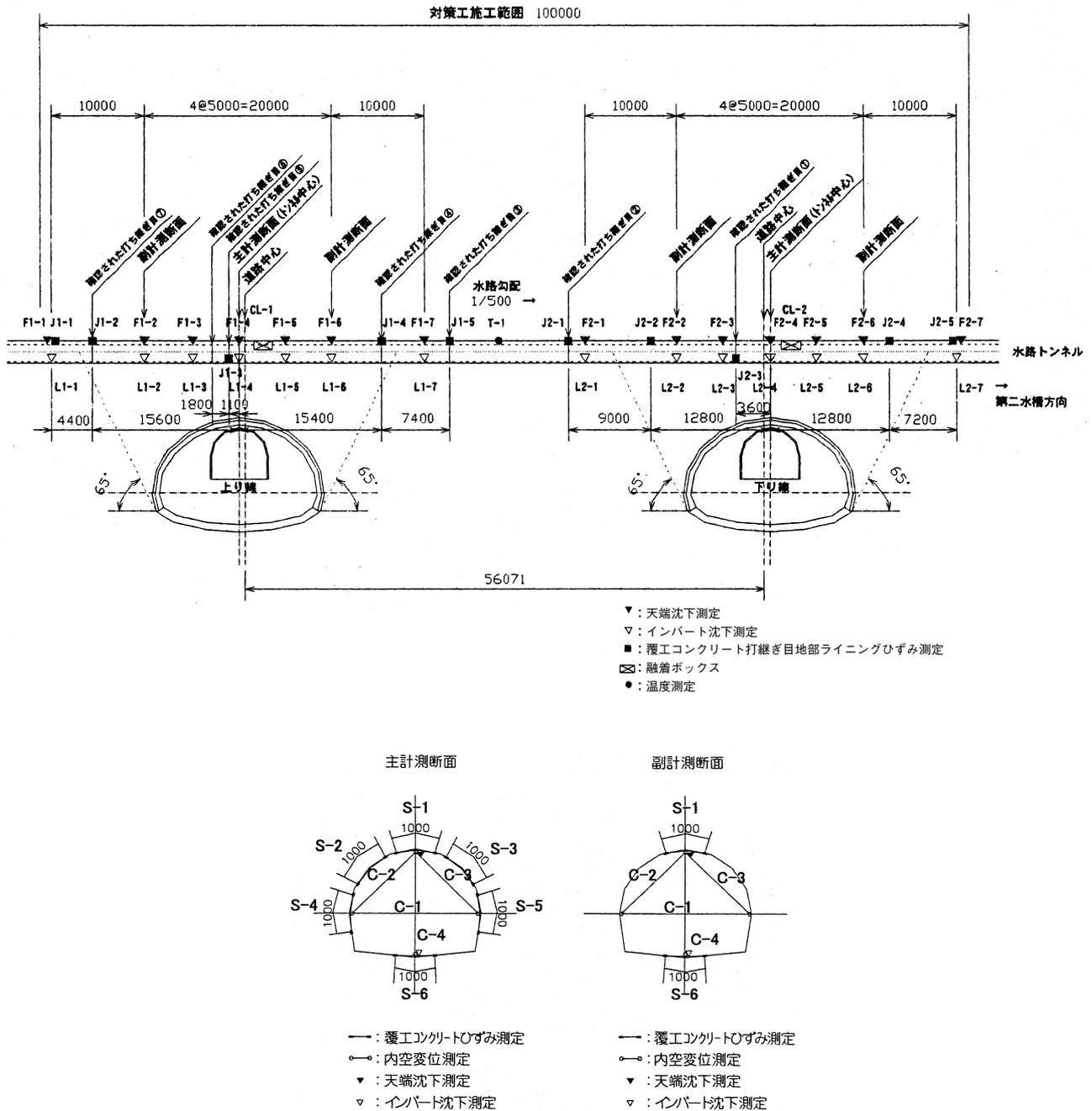


図-4 計器設置位置図

ひずみ測定については、本トンネル直上部にはインバート部（3ヶ所）と、その両隣の天端部（2ヶ所）に計5ヶ所設置するものとする。

天端及びインバート沈下測定は、本トンネル直上20m区間では5m間隔、その両隣に10m間隔で1ヶ所とし、計7ヶ所（合計14ヶ所）で行う。なお、圧力式沈下計による沈下測定については、トンネル掘削影響範囲外に沈下基準点1点を設ける。

断面内（周方向）には、主計測断面で、覆工コンクリートひずみ測定（4測線）、内空変位測定（4測線）、副計測断面で、覆工コンクリートひずみ測定（2測線）、内空変位測定（4測線）を実施する。

§ 5. 計測結果

表-2 に計測結果一覧表を示す。

5-1 沈下量

沈下量については、中央導坑掘削～上半掘削～下半掘削～インバート掘削完了後の沈下許容値が20mmであることから、弾性FEM解析等を考慮し中央導坑掘削時の管理基準値を4mmと設定した。

水路トンネル直下を中央導坑が通過した後の天端沈下変位量は図-5に示すとおり、最大で1.3mmであっ

表-2 計測結果一覧表

測定項目		中央導坑掘削時管理レベル			中央導坑掘削時の測定値		
項目	測定断面及び測点	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	上り線	下り線	
沈下測定(天端沈下) 自動計測	F1-1	-4mm	-5mm	-6mm	-0.4	-0.5	
	F1-2				-0.7	-0.6	
	F1-3				-0.9	-0.7	
	F1-4				-1.1	-1.1	
	F1-5				-1.2	-1.1	
	F1-6				-1.3	-0.9	
	F1-7				-0.5	-0.3	
沈下測定(インバート沈下) 手動計測	L1-1				-1	0	
	L1-2				-1	-1	
	L1-3				-1	0	
	L1-4				-1	-2	
	L1-5				-2	0	
	L1-6				-1	-1	
	L1-7				-1	-1	
覆工コンクリート ひずみ測定 自動計測	主計測断面(b)	S1-1b	E=24000N/mm ² として算定 圧縮 +0.75N/mm ² 引張 -0.15N/mm ²	圧縮 +1.5N/mm ² 引張 -0.3N/mm ²	圧縮 +3.0N/mm ² 引張 -0.6N/mm ²	+2.5	+3.2
		S1-2b				+0.9	+1.3
		S1-3b				+1.6	+1.4
		S1-4b				+1.0	+0.5
		S1-5b				+1.9	+1.0
		S1-6b				+0.6	+1.8
	副計測断面(a)	S1-1a				+2.5	+2.8
		S1-6a				+1.4	+2.5
	副計測断面(c)	S1-1c				-	+2.8
		S1-6c				+0.6	+1.7
打継ぎ目部防水ライニング ひずみ測定 自動計測	J1-1	E=24000N/mm ² として算定 引張 -5.9N/mm ²	引張 -11.8N/mm ²	引張 -23.6N/mm ²	+0.1	0	
	J1-2				0	+0.1	
	J1-3				+0.2	+0.1	
	J1-4				-	0	
	J1-5				+0.1	-0.1	
内空変位測定：手動計測	主計測断面(b)				±0.5mm以内 測定誤差によるばらつき	±0.5mm以内 測定誤差によるばらつき	
	副計測断面(a)						
	副計測断面(c)						

た。中央導坑掘削による水路トンネルへの影響の中で最も懸念された沈下量については、問題なく中央導坑の掘削を完了したといえる。図-5に示す分布図によると上下線ともに中央導坑の直上が沈下量が最も大きく、中央導坑から遠ざかるにしたがって影響が少なくなる傾向にあるといえる。

5-2 覆工コンクリートひずみ

覆工コンクリートひずみの計測結果は当初設定した管理基準値を大きく上回る計測結果となった。実施においては、目視による確認、防水ライニングひずみの測定結果、内空変位の測定結果等から影響は少ないと判断し、中断することなく施工を行った。覆工コンクリートひずみの測定結果が大きくなったことの原因として、中

央導坑掘削時には次のようなことを推察した。

- ・覆工コンクリートの強度不足
当初、覆工コンクリートの強度は水路トンネルの調査結果等から15N/mm²であると想定し、変形係数をE=24000N/mm²と設定したが、実際には、ジャンカや空洞などが存在し、ひずみが過大となってしまった。
- ・温度変化による影響
覆工コンクリート表面に施工したエポキシ樹脂が当初想定したよりも温度変化による影響を受けやすく、ひずみが過大となってしまった。
- ・測定器の異常
温度による影響を受けにくい測定器を選定したので、測定器自体が温度の影響を受け、異常値を測定することはないものと判断した。

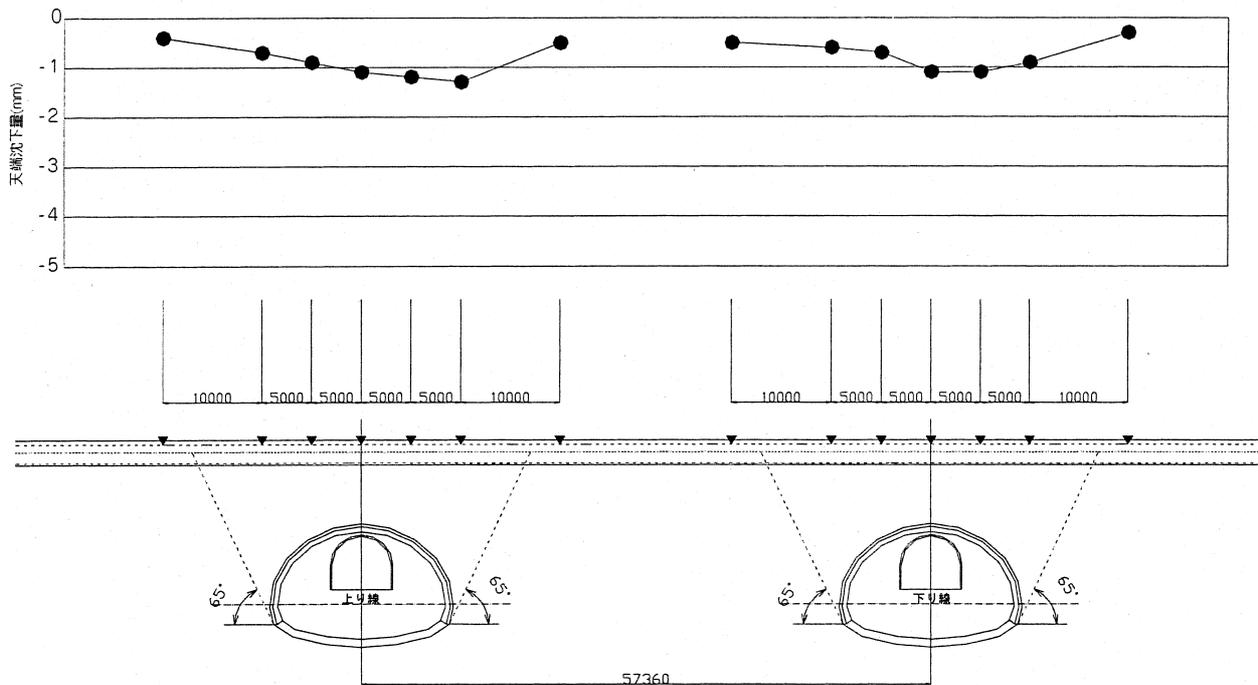


図-5 水路トンネル天端沈下変位量

・送水停止による応力の変化

送水停止により覆工コンクリートの応力の変化が生じる可能性もあるが、初期値を送水を停止してから測定したので影響はないものとした。

5-3 今後の施工方針

水路トンネルの計測は、中央導坑掘削完了後、通水を再開してからも自動計測を行っているが、覆工コンクリートひずみ、防水ライニングひずみについては、いまだに収束を示していない。現在のところ送水による影響と温度の年変動による影響であると判断している。

今回の計測では、計器設置後、中央導坑掘削が影響範囲に入ってくるまでに十分な期間をとることができず、送水や温度変化による影響等を把握し、除去することができなかった。水路トンネル内の中央導坑掘削影響範囲外に同様の計測断面を設け、キャリブレーションを行う方法も考えられるが、今後は、継続して計測を行うことによって、通水および温度の年変動、日変動による影響を把握し、トンネル掘削による影響のみを管理できるように解析を行うとともに、送水停止時には水路トンネル内に立ち入り、目視による覆工コンクリート表面の確認

と、計測機器の確認を行い、原因の究明をしていく予定である。

§ 6. おわりに

本工事は、第二東名高速道路の大断面トンネルを地表の民家、県道・市道、水路トンネルおよび送電鉄塔等に影響を与えずに掘削するという厳しい条件での施工である。進捗については、中央導坑が平成13年9月下旬に貫通し、12月31日現在、上り線の上半拡幅掘削が106m、下り線の上半拡幅掘削が85mと始まったばかりである。地表の民家、県道・市道、水路トンネルおよび送電鉄塔等に与える影響はこれからが最も大きくなると予想される。今後更に慎重な計測管理と施工を行い、無事に工事を終える予定である。

最後に、計測管理に当たり多大な御協力を頂いたレヴェックスコンサルタント(株)古市秀和氏に謝意を表す。また、本工事の施工に当たり、御指導頂いた関係者各位の皆様にご心より感謝し、今後の施工においても御指導・御助言を頂けますようよろしくお願い申し上げます。