

- 235 -

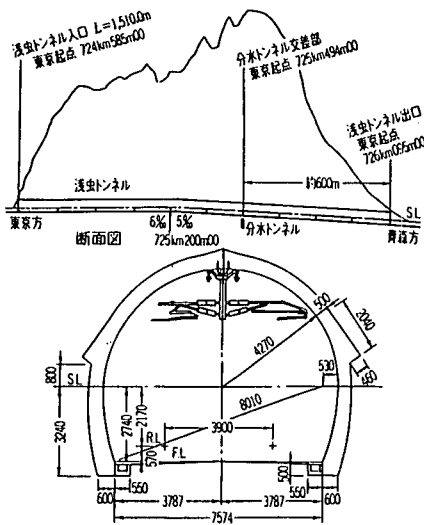


図-2 JRトンネル全体図および平面図

50cm、インバートなしの複線電化トンネルである。周辺地山は、一軸圧縮強度 q_u :1500kgf/cm² 程度の安山岩、 q_u :400kgf/cm² 程度の流紋質凝灰岩からなり、岩盤物性は比較的良いといえるが、トンネル建設時の発破による地山の亀裂の存在が推定された。

本工事は、青森県の浅虫川治水ダム計画による分水トンネルが東北本線東京起点725km494m 付近でJRトンネルの直下を離隔約1.8mで交差する超近接トンネル交差工事である。位置平面図を図－1、JRトンネル全体図および断面図を図－2、トンネル交差部全体図を図－3に示す。

J R トンネル直下の掘削に先立って、J R トンネル補強工の作業性を向上するため、J R トンネルを貫通する作業坑を掘削した。直下の掘削は、掘削にともなう地盤のゆるみがJ R トンネルに影響を及ぼすことが考えられたため、事前の2次元、3次元FEM解析による影響予測にもとづいて交差部から前後15m、計30m区間で裏込め注入工、ロックボルト工、縫地ボルト工を施工しJ R トンネルの剛性を高めるとともに、工事桁($l=16.0\text{m}$)を架設し列車の運行に重大な危険を生じさせないこととした。各補強工事の概要を図-4に示す。J R トンネル直下の分水トンネルの掘削はJ R トンネルに影響を及ぼさないよう機械掘削とし、AGFフォアパイリングを補助工法として硬岩用自由断面掘削機(ロードヘッダS-300A)によった。また、掘削によるJ R トンネルへの影響を把握し、列車運行の安全を確保するため自動計測を含めた各種の計測管理を行った。工事のフローを図-5に示す。

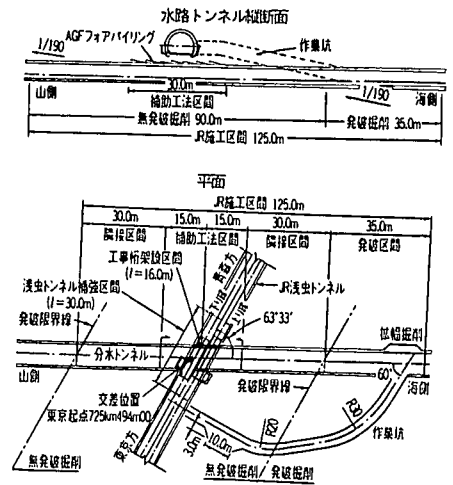


図-3 トンネル交差部全体図

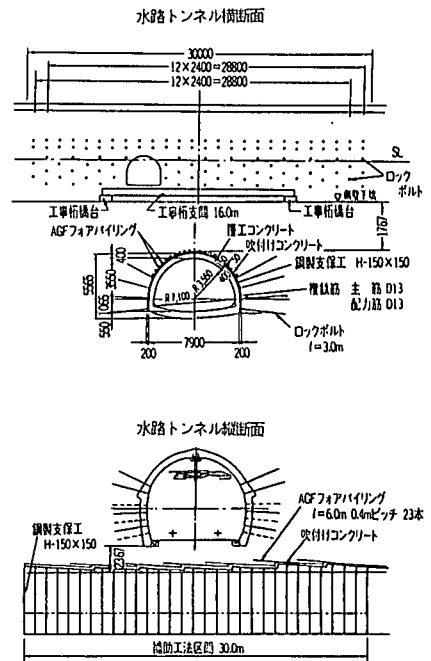


圖-4 補強工事概要

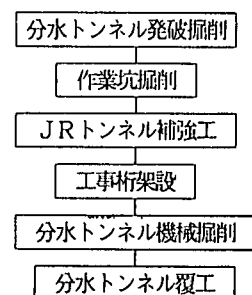


図-5 工事のフロー

3. 工事桁架設

分水トンネルの掘削に伴う影響範囲に列車荷重を作用させないこと、および掘削に伴う地山崩落などの異常時でも列車運行に重大な危険性を生じさせないことを目的として工事桁($l=16.0\text{m}$)を架設した。工事桁は、JRトンネル内の限られた空間に架設するため、桁高を最小限に抑える必要があり、既設の工事桁は使用できないため新たに設計を行った。工事桁を図-6に示す。

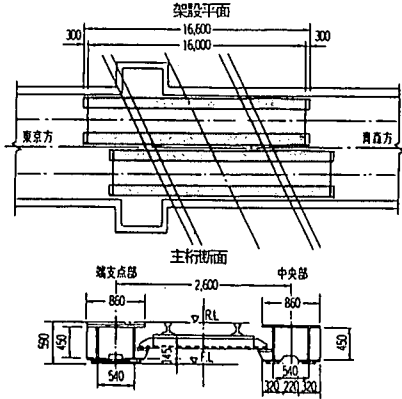


図-6 工事桁概要図

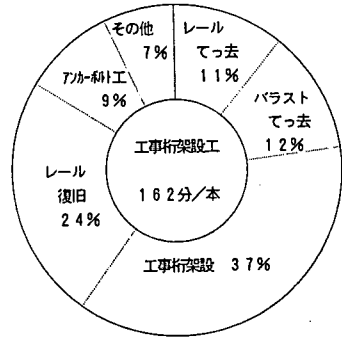


図-7 架設サイクルタイム

架設はJR東日本所有の操重車(クレーン機関車)により、約3時間の夜間線路閉鎖時間帯に行った。下り線の桁を架設し、一週間後に上り線の桁を架設した。終列車が通過した後に作業を開始し、レール、マクラギ等を撤去するとともに、バラストを作業坑内に運び出した。作業員数は約100名であった。バラスト撤去を終了すると操重車により桁架設を行い、レール敷設で作業を完了した。サイクルタイムを図-7に示す。

4. 分水トンネル掘削

JRトンネル直下の分水トンネルの掘削はJRトンネルに影響を及ぼさずに短期間で掘削できるようAGFフォアパイリングを補助工法として硬岩用自由断面掘削機(ロードヘッドS-300A)により全断面掘削で行った。

AGFフォアパイリングは、ケーシング方式のビット回収可能な鋼管式フォアパイリング工法であり、有孔鋼管を使用することにより地山へ注入を行った。鋼管は径 $\phi=10\text{cm}$ 、長さ6mを用いて一断面に23本(40cm間隔)を打設し、2mのラップ長を取り、一本おきに施工した。注入はデンカAGF(W/C=100%)を使用し、JRトンネルに影響しないよう注入圧 2kgf/cm^2 で施工した。

ロードヘッドS-300Aは硬岩用に開発された自由断面掘削機であり、掘削対象地山強度を $q_u=1000\sim 1800\text{kgf/cm}^2$ 程度を想定している。掘削範囲の一部では地山強度が当初の想定よりも大きく 2000kgf/cm^2 程度の地山もあったが、ロードヘッドにより掘削し、補助工法区間を48日間で完了することができた。サイクルタイムを図-8に示す。

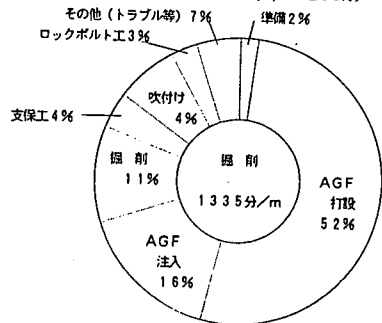
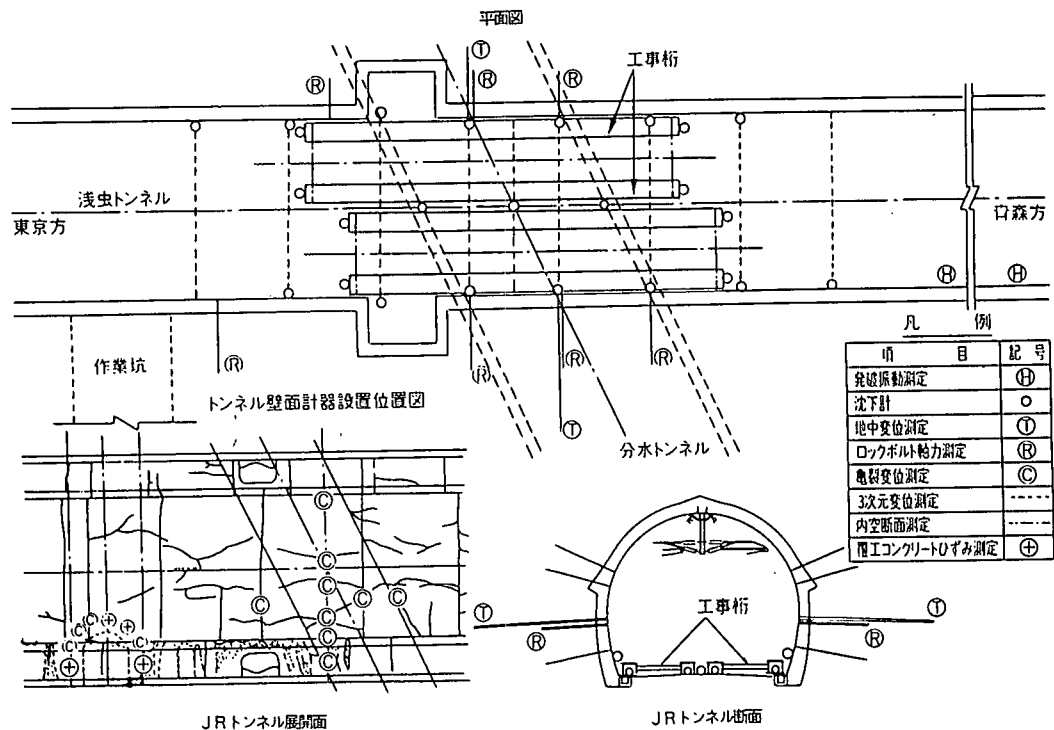


図-8 掘削サイクルタイム

5. 計測管理

本工事では計測項目の管理基準を定め、この基準に合わせた計測管理システムを構築してリアルタイムでモニターできる体制とした。トンネル交差工事で既設トンネルに対する総合的な監視基準を設定した事例は少ないため、「トンネル補強・補修マニュアル」、FEM影響予測解析結果等を参考にして独自の管理基準を定めた。管理基準値を表－1に、計測箇所を図－10に示す。

交差部直下施工時はJRトンネルの沈下挙動が大きな問題となるため、沈下測定および内空変位測定を主要測定項目とし、地中変位、亀裂変位、ロックボルト軸力計はこれを補完することを目的とした。



図－10 計測箇所

表－1 管理基準値

		計測項目	管理レベル					限界値の根拠
			安全レベルⅠ	安全レベルⅡ	注意レベルⅠ	注意レベルⅡ	注意レベルⅢ	
J	自	沈下(mm)	～ 0.60	0.60 ～ 2	2 ～ 3	3 ～ 4	4 ～	覆工コンクリートの限界ひずみ
R	動	亀裂変位(mm)	～ 0.40	0.40 ～ 2	2 ～ 3	3 ～ 4	4 ～	トンネル補強・補修マニュアル（鉄道総研）
T	計	軸力(ton)	～ 0.40	0.40 ～ 4.3	4.3 ～ 6.5	6.5 ～ 8.6	8.6 ～	ロックボルト降伏耐力
ン	測	地中変位(mm)	～ 0.70	0.70 ～ 6	6 ～ 9	9 ～12	12 ～	周辺地山の限界ひずみ
ネ	手	内空変位(mm)	～ 2	2 ～ 4	4 ～ 6	6 ～ 8	8 ～	周辺地山の限界ひずみ
ル	動	天端沈下(mm)	～ 2	～ 4	2 ～ 3	3 ～ 4	4 ～	内空変位の1/2
牀	計	内空変位(mm)	～ 2	2 ～ 6.6	6.6 ～13.2	13.2 ～19.8	19.8 ～	周辺地山の限界ひずみ
T	測	天端沈下(mm)	～ 2	2 ～ 3.3	3.3 ～ 6.6	6.6 ～ 9.9	9.9 ～	内空変位の1/2

*安全レベルⅠ～安全レベルⅡは（FEM解析結果）＋（機械誤差）とし、安全レベルⅡ～注意レベルⅠは限界値の50％、注意レベルⅠ～Ⅲは限界値の75％、注意レベルⅡ～Ⅲは限界値の100％とした。

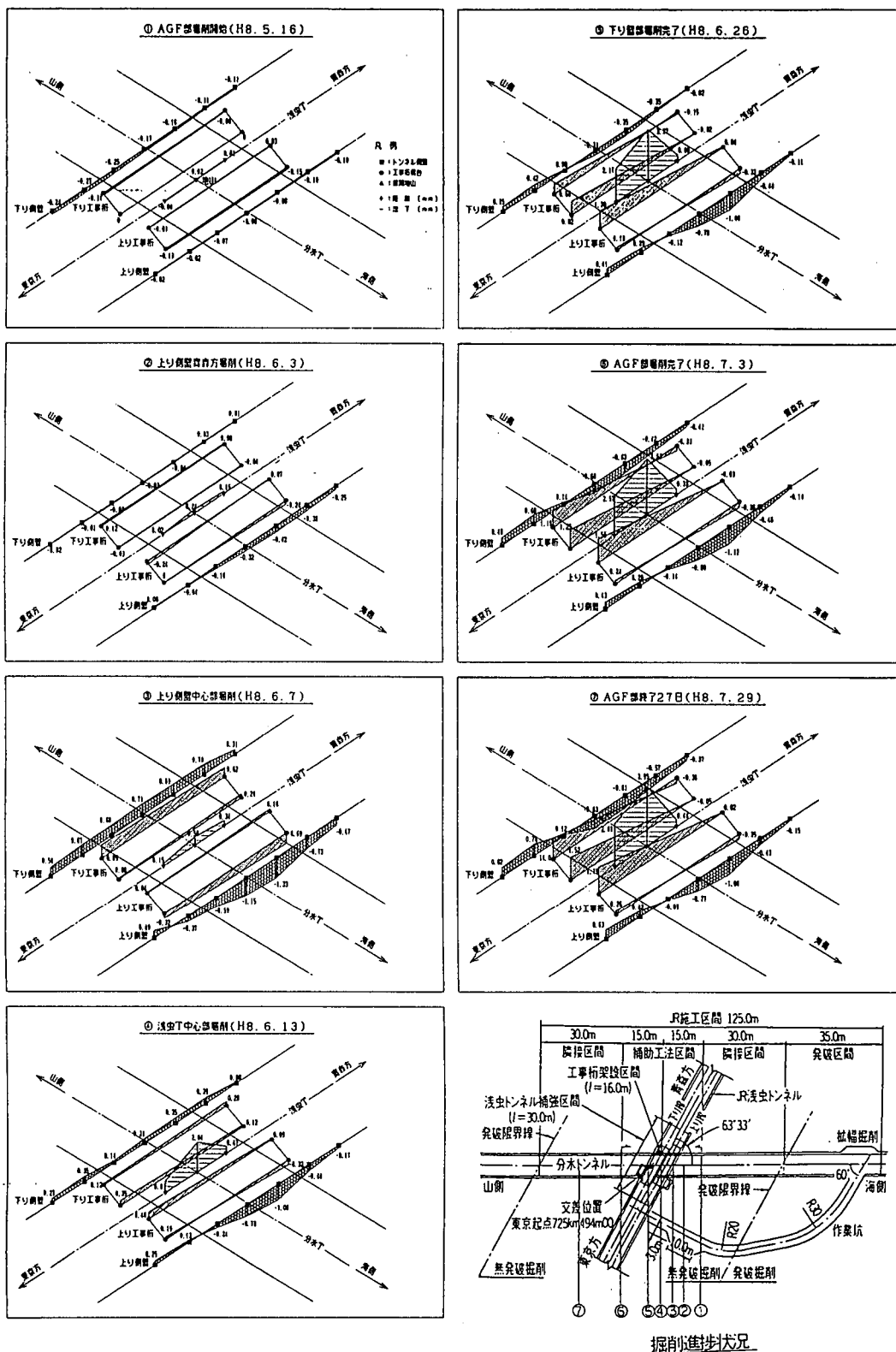


図-11 沈下量測定結果

6. 計測結果

沈下量測定結果を図-11に示す。これによると、切羽がＪＲトンネル上り側壁中心部に到達した時に上り側壁と近接する橋台が沈下し、下り側壁と近接する橋台が同程度の隆起したことがわかる。これはＪＲトンネルが中心線を軸に分水トンネル海側に回転したことを示している。そして、切羽が浅虫トンネル上下線間中心部に到達した時、海側に回転したＪＲトンネルが今度は山側に戻る動きを示した。また、側壁部分に比較して工事桁橋台部分が隆起した。これはＪＲトンネルのインバート部が内方に最大2.5mm 変位したことによると考えられるが、この傾向は解析で説明されている。これらはＪＲトンネルが弾性体に近い挙動をしたことを示しており、補強工事よりのＪＲトンネルの剛性が増加した結果と考えられる。

覆工コンクリートインバート部で発生した最大沈下量は側壁部で1.38mmとなり、解析値1.44mmとほぼ同様となり、解析の妥当性を示す結果となった。また、他の計測値の変化もわずかであり、ほぼ管理基準値内で掘削を完了することができた。

7. おわりに

本工事はＪＲトンネルに影響を与えることなく、列車運行の安全性を確保することを第一の目標として施工した結果、発生した最大沈下量はわずか1.38mmとなった。これは、掘削工法、補助工法の選定が妥当であったことによると考える。今後、トンネル覆工施工後の計測データの収束状況を確認し、本工事を完了したい。

最後に本工事の設計、施工にあたり、ご指導とご援助をいただいた関係各位の皆様様に厚く感謝するとともに、本紙をお借りしてお礼申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 朝倉俊弘他：超近接トンネル交差の影響予測と対策工の設計，ＪＲ東日本技術資料ＳＥＤ，No.2
- 2) 佐々木弘他：鉄道トンネル直下1.8mをＮＡＴＭで交差，トンネルと地下，vol.26
- 3) 木村 力他：近接トンネルの施工に伴う既設鉄道トンネルの挙動について，トンネル工学研究発表会1995,11
- 4) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル
- 5) 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル