



地質は新第三紀末ノ松山層鳥越安山岩類および新第三紀門ノ沢層の砂岩、泥岩を主体として構成されている。また、一部では風化された安山岩の貫入などにより破碎帯を挟んでおり、健全部と破碎帯部での地山物性値が大きく異なることが想定された。

安山岩の一軸圧縮強度は、健全部で 100N/mm<sup>2</sup> 以上を示し、破碎帯部では 40N/mm<sup>2</sup> 程度である。地山強度比は健全部で 10 以上、破碎帯部では 2~3 程度であり、押し出し性地圧の心配はないと考えられた。それに対し門ノ沢層の一軸圧縮強度は、5~10N/mm<sup>2</sup> 程度であり、地山強度比は 3.5 以下である。さらに岩石試験により膨潤性鉱物を有していることが確認されており、押し出し性地圧に十分注意する必要がある。

なお、湧水は在来線トンネルの施工に伴い地下水がトンネルレベルまで低下していると推定された。

### 3. 在来線トンネルの変状履歴

在来線トンネルは、複線電化に合わせて昭和 41 年に新設された全長 1,055m のトンネルである。底設導坑上部半断面工法により 8ヶ月弱で施工され、支保工は 125H 上半、二次覆工は逆巻(巻厚 30~50cm)である。

#### 3.1 変状の経緯<sup>1)</sup>

在来線トンネルの変状は、完成後 3~4 年経過した時点で初めて確認された。その後 10 年以上の長期に渡り、クラック、覆工目地の目違い、覆工天端の剥離・剥落、内空断面の縮小などの変状が続いた。そのためセントル補強やロックアンカー工法 (6m×4 本@1m) をするなどの変状抑制対策を実施してきたが、一部の区間において変状速度に変化が見られなかったため、セントル補強 (125H@1m)、内巻きコンクリート、裏込め注入および変状区間全体 (320m) に渡り増しロックアンカー工法 (10m×2 本@1m) などを追加実施している。

#### 3.2 変状の現状

図-2 に、昭和 49 年より計測を再開した在来線トンネルの内空変位の経時変化図を示す。図に示されるように昭和 49 年から 53 年までの間は年間 10mm 程度の内空変位が生じていた。しかし、再度計測を開始した平成 4 年頃からは、変状対策を行った区間で総変位量が 2~4mm 程度とほぼ収束している。そのため現状では在来線トンネルの変状は進行していないと考えられる。

しかし二次覆工、セントルおよびロックアンカーなどにどの程度の荷重が作用しているかは不明であり、新幹線トンネル近接施工の影響に対して、在来線の耐力にどの程度余裕があるかの判断は困難である。また、在来線トンネルの一部では、建築限界ぎりぎりの場所が散見され、変形に対する余裕がない断面も存在する。

以上より近接工事の影響を極力抑制し安全を保つ目的で、在来線トンネルの厳重な監視と新幹線トンネルの情報化施工を実施した。

### 4. 予測解析

#### 4.1 変状原因推定のための予備解析結果

解析は、平面ひずみの二次元弾塑性有限要素法により行なった。その結果、在来線トンネルの変状原因は塑性領域の拡大による土圧の増加であると推定された。このため破碎帯部の解析モデルを、トンネル掘削後にトンネル高さ程度の範囲(壁面より約 6.5m)でトンネル周辺の地山強度を低下させ解析を実施した結果、現状をほぼ再現する結果が得られた。図-3 に、解析メッシュ図と新幹線トンネルの影響解析に用いた地山物性値を示す。

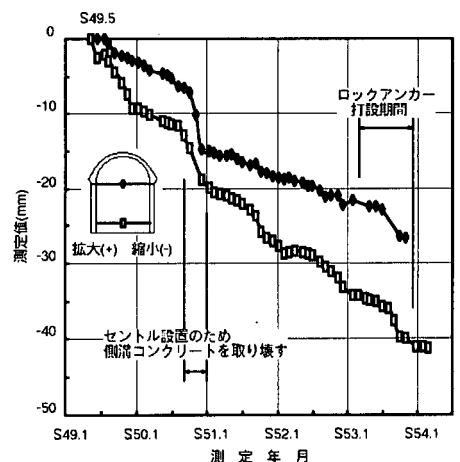


図-2 在来線トンネル内空変位経時変化図

## 4.2 新幹線トンネルの影響解析結果

影響解析では、予備解析で推定された塑性域を考慮すると共に、ひび割れ進展を考慮した解析<sup>3)</sup>を実施した。

その結果、新幹線トンネル施工に伴う在来線トンネルの変位量は、健全部で天端沈下量 2mm 程度、内空変位量 8mm 程度拡大傾向を示し、破碎帯部で天端沈下量 3mm 程度、内空変位量 6mm 程度の拡大傾向を示す。ここで、健全部の内空変位が破碎帯部より大きくなるのは、健全部では変状対策工が施されていないためである。一方、在来線トンネル全体としては、健全部で 12mm、破碎帯部で 15mm 程度、新幹線側に変位している。これは今までの在来線トンネルの変状傾向と逆の動きを示しているため既変状を緩和させる傾向である。また、在来線トンネルの覆工に発生する断面力は、覆工アーチ部で軸力が抜ける傾向にあり、それは新幹線側の覆工アーチ部で顕著である。

以上の解析結果より、新幹線トンネルの施工に伴う在来線トンネルの挙動は、かつての変状を促進させるようなものではないと推定された。しかし、在来線トンネルには天端の圧座など大きな変状がすでに生じており、万が一にも影響を与えることは出来ない。これらを勘案し、①在来線トンネル変状部：裏込め注入、剥落防止ネットの設置による安全確保、②新幹線トンネル：機械掘削、支保剛性のアップ、早期断面閉合による地山変形の抑制を実施すると共に、両トンネルを対象とした綿密な計測を計画した。

以上の解析結果より、新幹線トンネルの施工に伴う在来線トンネルの挙動は、かつての変状を促進させるようなものではないと推定された。しかし、在来線トンネルには天端の圧座など大きな変状がすでに生じており、万が一にも影響を与えることは出来ない。これらを勘案し、①在来線トンネル変状部：裏込め注入、剥落防止ネットの設置による安全確保、②新幹線トンネル：機械掘削、支保剛性のアップ、早期断面閉合による地山変形の抑制を実施すると共に、両トンネルを対象とした綿密な計測を計画した。

## 5. 計測管理

在来線トンネルにおける列車走行の安全性確保および新幹線トンネル施工に伴う影響の確認を目的として、在来線トンネル内において種々の計測を実施した。また、新幹線トンネルの計測も在来線の重要性に鑑み、A計測と共に在来線トンネルの主計測断面においてB計測を実施した。列車走行の安全性には、①トンネル構造の安定性、②軌道整備基準、③建築限界などの確保が必要である。そのため、これらを確認するための重要資料として、レーザー変位計による内空変位計測を主計測として実施した。以下にその概要を説明する。

5.1 計測項目

表-1 に、在来線トンネルおよび新幹線トンネルの主たる計測項目と計測断面数を示す。

### 5.1 計測項目

表-1 に、在来線トンネルおよび新幹線トンネルの主たる計測項目と計測断面数を示す。

### 5.2 管理基準値

レーザー変位計の管理基準値設定にあたっては、近接施工マニュアルに従い注意レベルを3段階に分け、4.3の影響解析結果を参考に設定を行なった。表-2 に、各注意レベルに対応した管理基準値の設定方法、管理基準値および対応方法を示す。

ここで、内空変位が予測とは反対に縮小傾向になった場合は、計測誤差などを含め 2mm を管理基準値として設定し、注意レベルⅢに相当する処置をとることとした。

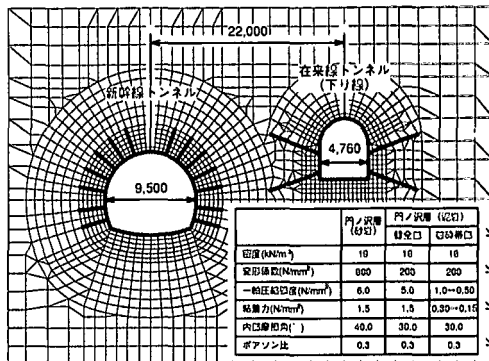


図-3 解析メッシュ図 (最接近断面)

表-1 計測項目

	項目		断面数	備考
	主計測	副計測		
在来線トンネル	内空変位測定 (レーザー変位計計測、コボソノメ計測)	主計測	4	(内空変位測定) ・主計測断面：長期変動の確認を目的とする。 トンネル掘削前から完了まで計測を実施。 泥岩区間：2断面 破碎帯区間：2断面 (3掘削/断面) ・副計測断面：短期変動の確認を目的とする。 新幹線トンネル切羽が掘削影響範囲に入っている期間で実施。 (1掘削/断面)
		副計測	12	
	目視測定		4	
	地中変位測定		2	
	覆工ひずみ測定		1	
	セントル応力測定		1	
温度測定		1		
新幹線トンネル	計測A		30	坑内観察、内空変位、天端沈下測定。 約15m間隔で実施。  在来線トンネルの主計測断面に対応。
	計測B	地中変位測定	4	
		ロックボルト軸力測定	4	
		吹付コンクリート応力測定	4	
		鋼製支保工応力測定	4	

表-2 管理基準値および対応方法

注意レベル	管理基準値の設定方法	内空変位(mm)			対応方法
		アーチ脚部	側壁上部	側壁中央	
I	解析値×2/3	4	4	4	計測値の確認,関係者への注意喚起
II	解析値	6	6	6	計測頻度の増加,対策工の検討
III	解析値×4/3	8	8	8	工事中止,新たな対策工の検討

## 6. 計測結果

レーザー変位計などの計測結果は、JR 東日本、鉄道公団、施工業者（JV 事務所）をオンラインで結び、常時監視可能なシステムとして管理した。図-4 に、レーザー変位計計測結果の一例を示す。

主計測断面の在来線トンネル内空変位は、上半切羽の接近に伴い予測解析通りの拡大傾向を示し、その変位量は 1~2mm 程度であった。二次覆工通過後には収束しており、最終的には注意レベル I 以下の変位であった。

しかしながら、副計測断面に見られるように計測中数度にわたり原因不明の計測値の変動が複数の断面で現れた。検討の結果、レーザー変位計以外の計測値には急激な変動はなく、レーザー変位計計測に問題があると判断された。そこで、新幹線トンネル内（坑口と切羽）および室内においてレーザー変位計の検証試験を実施した。その結果、計測器機およびシステムなどが原因と思われる大きな挙動は確認されなかったのに対し、室内試験において、レーザー変位計の発光部に粉塵などの汚れを強制的に付着させた結果、計測データがシフトし、清掃を行なうことによりデータが元に戻るという現象が確認された。これらの事より、大気中の埃や粉塵、煙などが、光学式計測器のデータ変動に大きく影響することが確認できた。

## 7. まとめ

変状トンネルへの近接施工にあたり、詳細な予測解析とレーザー変位計を用いた計測管理を行った。在来線への補強と新幹線トンネルの慎重な施工の結果、計測値は基本的にはすべて管理基準値以内には収まり、予測通り在来線付近に塑性領域が生じているものの、巨視的には弾性体に保ったまま工事は無事竣工した。

今回の事例から、過去のデータに基づく在来線トンネルの変状原因推定とその結果に基づく予測解析により、近接施工の影響はかなりの精度で可能であることが示された。また、計測管理にあたって、クラックゲージや覆工応力計などの点のデータではなく、在来線トンネルの全体的な挙動を確認する目的で導入したレーザー変位計は、高精度であるが故のトラブルも生じたが、

- ・計測器（発光側）とターゲット（受光側）の定期的な清掃を実施する。

- ・計測器本体の特性を把握するために、事前計測を長めに設定し日常変動幅、温度の影響を把握する。などに注意を払うことで充分目的にかなう計測手法となると判断された。今回の知見が今後の同種の近接施工に参考になれば幸いである。

最後に本トンネルの施工にあたり、多大なるご協力をいただいた JR 東日本殿に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 野宮正好、西真幸、下田利男：在来トンネルへの影響を抑えて掘る、トンネルと地下、1999年9月
- 2) (財) 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、1999年9月
- 3) 朝倉俊弘、小島芳之、佐藤豊、三谷浩二、松長剛：

変状トンネル覆工対策工の効果に関する比較解析、トンネル工学研究論文・報告集、1996年11月

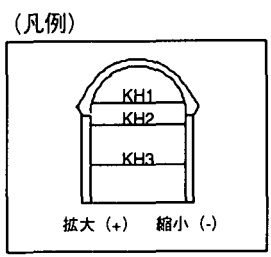
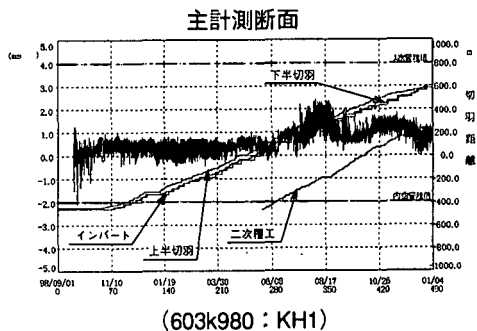
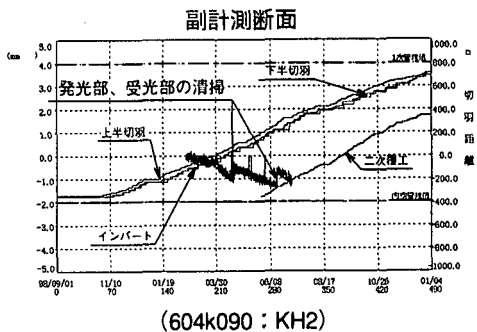
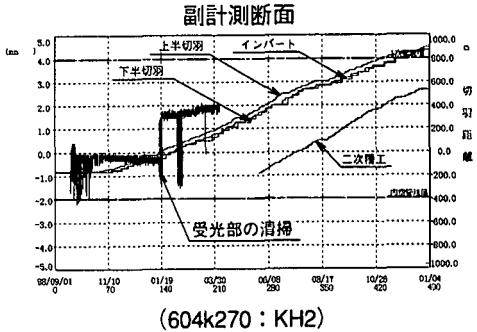
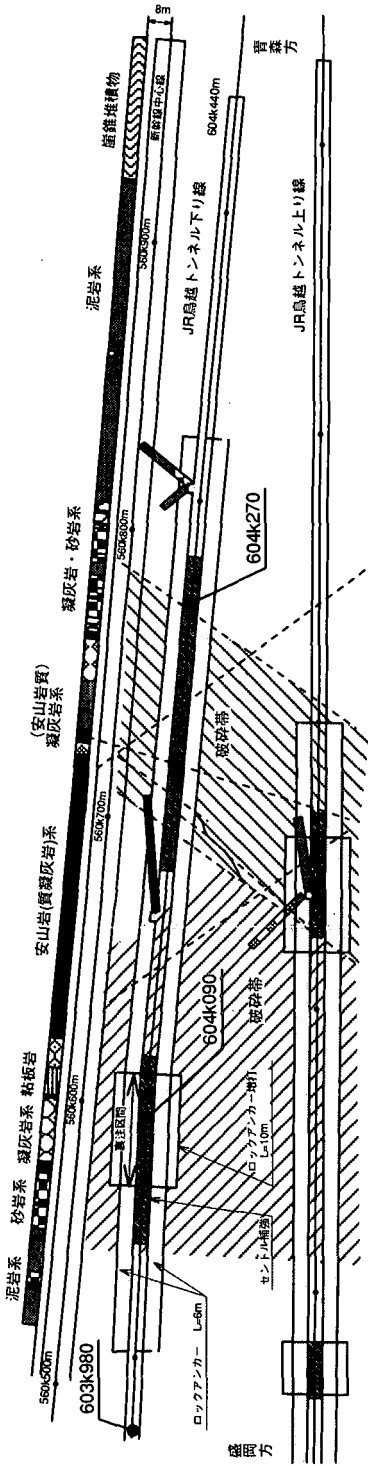


図-4 レーザー変位計計測結果図