

(36) 既設トンネルに近接したトンネル工事 における周辺地山の挙動について

ハザマ 土木本部	肥後満朗
ハザマ 土木本部	○寺内 伸
ハザマ 横浜支店	篠崎秀敏
日本道路公団東京第一建設局	渡辺敏則

Behaviour of a large tunnel adjacent to an existed tunnel

Mitsuaki Higo,	Hazama Corporation
Shin Terauchi,	Hazama Corporation
Hidetoshi Shinozaki,	Hazama Corporation
Toshinori Watanabe,	Japan Highway Public Corporation

Abstract

A tunnel adjacent to an existed tunnel is being constructed under the supervision of the Japan Highway Public Corporation. The tunnel is 3-lane cross section and constructed in the urban area. The overburden is very shallow and on the surface a few houses and a road are existed.

Taking account of severe conditions, a construction control system has been established to monitor the ground behavior in the surrounding area where two tunnels are located very closely.

This report describes the behavior of the large tunnel adjacent to the existed tunnel, as well as the effect of steel piles installed between tunnels in order to avoid unpreferble effect to the existed tunnel caused by the new tunnel excavation.

1. はじめに

近年、都市部のトンネル工事においてNATMが適用されるようになり、土被りの薄いトンネルや構造物に近接したトンネル等が増加している。このため、工事の安全確保や経済性を追求する上でトンネルおよびその周辺地山の挙動を把握することが重要となってきている。

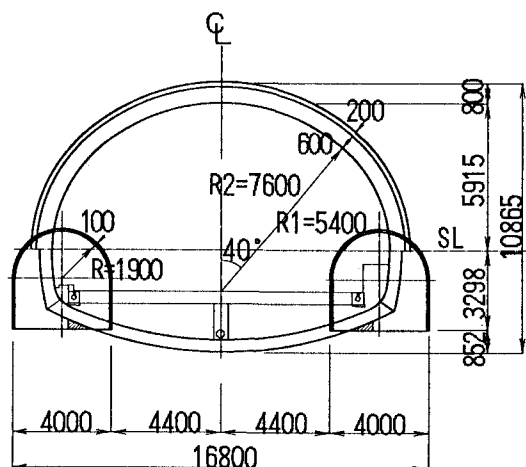
本工事は、日本道路公団が計画した道路拡幅工事の一環であり、3車線道路トンネルを重交通（63,000台／日・片側）で供用中のトンネルに近接して施工するものである。掘削断面が大きいだけでなく、土被りが薄く、地表の一部には民家や道路が存在するという、非常に厳しい条件下での工事であるため、施工にあたっては、各種計測工を実施するとともに、トンネル掘削時の既設トンネルへの影響緩和や地表沈下防止を目的として、高圧噴射攪拌工法や鋼管杭による影響遮断工等の対策工を実施している。

本報文では、計測結果に基づき、トンネル掘削時の周辺地山挙動および影響遮断工として施工した鋼管杭の効果等について得られた知見を述べる。

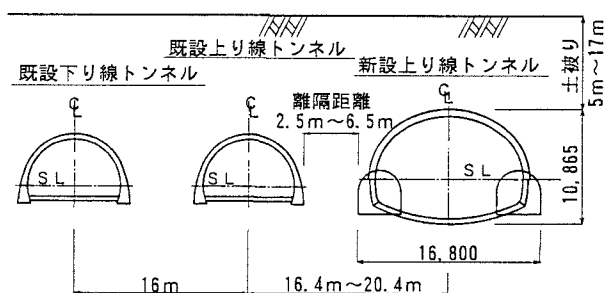
2. トンネル概要

本トンネルは、掘削断面積約 140㎡、延長約 200mの3車線道路トンネルである（図－1参照）。ほぼ平

(図-2 参照)。また、土被りは5~17mと薄く、地表の一部には数件の民家や埋設管のある道路が存在する。掘削工法は、地盤の支持力等を考慮して側壁導坑先進工法とし、上半掘削に先立ち、既設トンネルへの影響緩和や地表沈下防止を目的として全線にわたって高圧噴射攪拌工法(RJFP)を実施している。また、横浜側坑口より、約75m間は偏圧地形となっており、トンネル掘削時の既設トンネルへの影響が特に懸念されたため、影響遮断工として既設トンネルと新設トンネルとの間に鋼管杭($\phi 1000\text{mm}$, $\ell \approx 25\text{m}$)を施工した(図-3 参照)。また、近接する既設トンネルは、昭和30年代に建設されたもので、覆工厚は50~60cm(無筋コンクリート構造)であり、支保工には木製支保工を使用している。事前調査により、覆工にはクラックが多数発生していること、また、一部の覆工背面に空洞があることが判明したため、覆工コンクリートの剥落の危険度が高い区間については防護網を設置するとともに、発泡ウレタンによる裏込め注入を実施した。



图—1 標準断面図

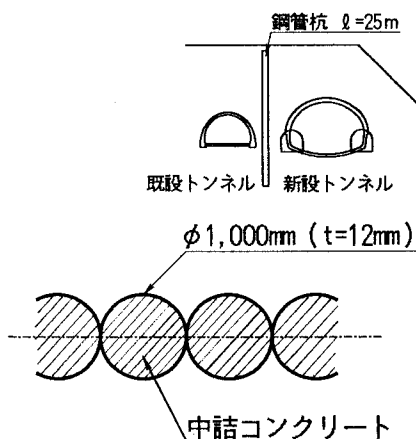


図—2 トンネル位置関係図

3. 地質概要

本地区の地質は、第三紀～前期更新世の上総層群上星川層（泥岩）を基盤とし、前期更新世の相模層群屏風ヶ浦層（固結シルト）および関東ローム層（下末吉ローム、新时期ローム）からなり、一部上部に腐植土層および埋土層が存在する（図－４，表－１参照）。掘削の対象となる地質は主に屏風ヶ浦層で、下位より細砂～砂礫層、火山灰質シルト層、砂質シルト～砂混じりシルト層および均一シルト層に細区分でき、各層ともほぼ水平な堆積状況を示す。固結シルトの層厚は 10～18m で、N 値は 9～45（代表 N 値 18）程度であり、一軸圧縮強度は $5\sim 8\text{kgf/cm}^2$ である。

トンネル掘削にあたっては、切羽の自立性は比較的良好であるが、亀裂が多く、また、砂層が頻繁に挟在しているため、若干の湧水によっても土砂流出等が懸念された。また、坑内作業に伴い底盤が泥ねい化するため、側壁導坑掘削時には底盤に吹付けコンクリート(t=20cm)を施工した。



圖—3 鋼管杭概要圖

4. 計測概要

厳しい条件下での工事であるため、施工中の新設トンネル自体の安定だけでなく、既設トンネルや地表構造物等の安全確保を主目的として、各種計測工を実施している。なお、既設トンネルについては供用中であり、また、内空断面に余裕がないため、直接トンネル覆工の変位やひずみを計測することが困難であった。このため、既設トンネル周辺の地山変位計測（地中沈下，地中水平変位，地表沈下等）を充実させ、既設トンネルの安定を間接的に評価することとした（図-5 参照）。

5. トンネル周辺の地山挙動

各種計測結果のうち、鋼管杭による影響遮断工を施工した区間の代表断面（STA. 0+50：以下A断面とする）と施工しなかった区間の代表断面（STA. 0+78：以下B断面とする）における地表沈下計測および地中沈下計測結果に着目して、トンネル周辺の地山挙動について考察を加えるものとする。なお、両断面とも直上には民家および道路等は存在しない。

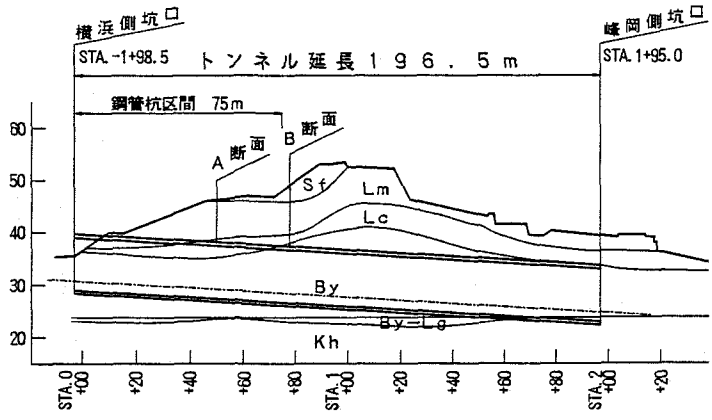


図-4 地質縦断面図

表-1 地山物性値一覧表

時代	層名	記号	土質	単位体積重量 (t/m^3)	変形係数 (kgf/cm^2)	粘着力 (tf/m^2)	内部摩擦角 (度)	N値	備考
更新世	埋土層	Sf	有機質土・土質	1.4	150	3	10	3	↑トンネル掘削対象↓
	腐植土層	Pt	黒ボク	1.4	150	4	5	4	
更新世	新期ローム層	Lm	ローム	1.4	200	4	5	4	
	下末部ローム層	Lc	火山灰質粘土	1.5	250	4	5	4	
更新世	相模層群	By	シルト砂質シルト	1.55	2100	20	12	18	
	屏風ヶ浦層	By	シルト砂質シルト	1.55	2100	20	12	18	
第三紀	上土層群	Kh	泥岩	1.85	3900	140	15	50以上	

↓ : 天端沈下測定 ∇ : 地表沈下測定

— : 内空変位測定 — : 地中沈下測定

≡≡≡ : 鋼管杭たわみ測定 ≡≡≡ : 側方変位測定

鋼管杭応力測定 ⊙ : 直上沈下測定

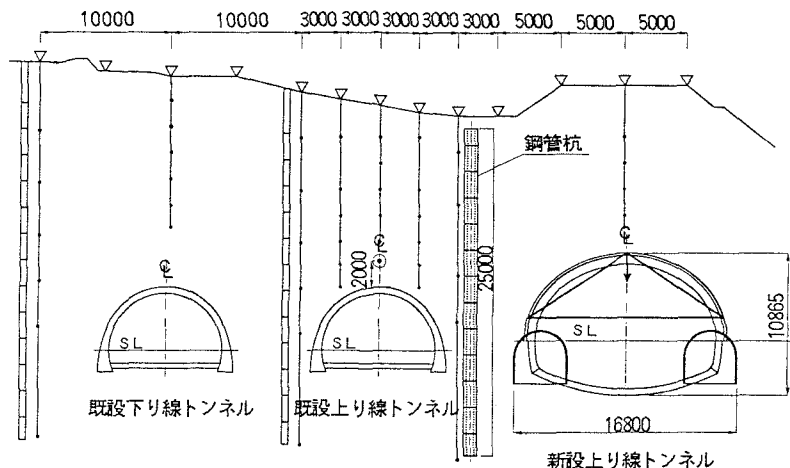


図-5 計測機器配置図

図-6, -7に、それぞれの断面における上半掘削時の地表沈下および地中沈下分布を、図-8, -9に既設トンネル周辺の地中沈下曲線図を示す。

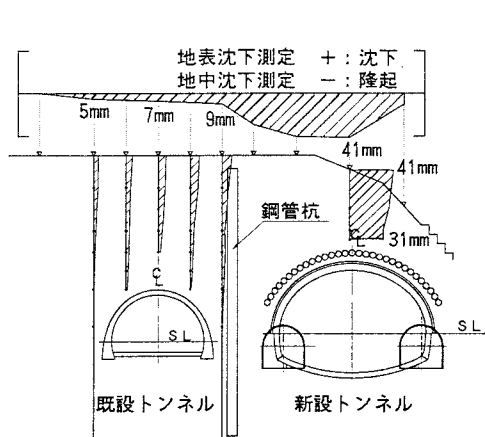


図-6 地表・地中沈下分布図 (A断面)

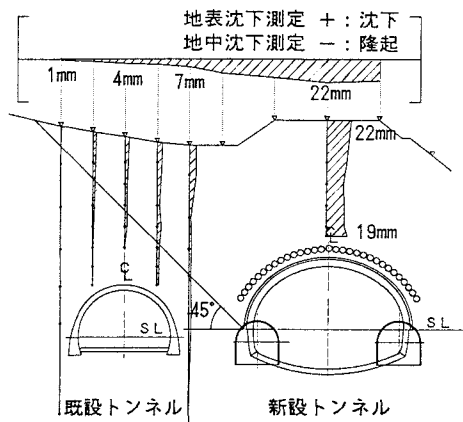


図-7 地表・地中沈下分布図 (B断面)

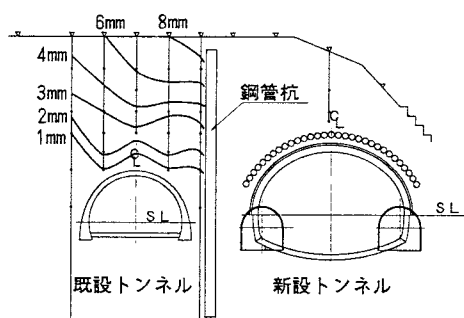


図-8 等沈下曲線図 (A断面)

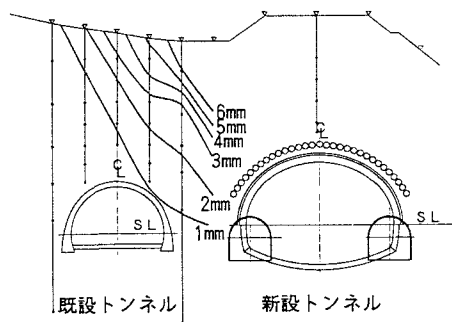


図-9 等沈下曲線図 (B断面)

5.1 新設トンネル直上の地中沈下

A, B断面とも、新設トンネル直上の地中沈下は深度に関係なくほぼ一様の値を示している。これは、土被りがA断面で約8m、B断面で約13mと薄いことから、グランドアーチが形成されず地表面まで大きな変位が伝達されたものと思われる。足立ら¹⁾は、アルミ棒積層体地山による室内モデル実験から、砂質地山において土被りが1D程度の場合、直上の鉛直変位は地表まで全体が一様に沈下する、いわゆる"共下がり"現象を示すとしている。本トンネルの場合、粘性土地山ではあるものの、今回の計測結果はこれを裏付けるものと考えられる。

5.2 地表沈下

図-7に示すように、B断面における地表沈下は新設トンネル直上で最大値22mmを示している。既設トンネル側においても地表沈下は発生しているが、その値は4mm程度と小さい。また、地表沈下の発生範囲は、上半下端より45°の角度内に入っており、一般的に用いられている沈下範囲²⁾とほぼ一致している。

一方、図-6に示すA断面における新設トンネル側の地表沈下は、最大41mmと比較的大きな値を示している。これは、B断面に比較して土被りが薄いこと、トンネル天端付近にルーズなローム(Lc)層が存在すること、さらに偏圧地形であること等によるものと思われる。しかし、鋼管杭の影響遮断効果により、地表沈下は鋼管杭の位置で不連続形状を示し、既設トンネル側の地表沈下は7mm程度と小さくなっている。

5.3 既設トンネル周辺の地中沈下

図-9に示すように、B断面の等沈下直線は、新設トンネルから離れるに従い急勾配で地表に向かっていく。このため、既設トンネルには肩部に約1mmの地中変位の影響を与える程度に止まっており、既設トンネルの安定は十分確保されているものと思われる。

図-8に示すA断面の場合、地中沈下量はB断面のものとはほぼ同様であり、既設トンネルに悪影響を与えるようなものではないものの、等沈下曲線の勾配はほぼ水平であり、B断面とはかなり異なった挙動を示している。これは、既設トンネル周辺の地山挙動が、新設トンネル掘削の影響を直接受けるのではなく、間に介在する鋼管杭の挙動を反映したものであることによると考えられる。鋼管杭が新設トンネル側に倒れ込むような変位を示すことにより、鋼管杭と既設トンネル側の地山との間に縁切れが生じ、地山が一様に沈下するような挙動を示したものと思われる。

6. まとめ

既設トンネルに近接したトンネル工事における周辺地山の挙動を計測結果に基づき考察した。まとめを以下に示す。

- ① N値3~18程度の粘性土地山において、土被りが1D程度以下の場合は、トンネル掘削に伴い地山のグラウンドアーチは期待できず、トンネル直上地山は地表までほぼ一様に沈下する、いわゆる"共下がり"現象を示す。
- ② 地質がほぼ一様で影響遮断工等がない場合の地表沈下の発生範囲は、一般に用いられている沈下範囲と同様であり、掘削底盤から45°の角度内に入っている。
- ③ 鋼管杭による影響遮断工がある場合は、不連続な地表沈下形状となり、既設トンネル側では極端に小さな地表沈下を示す。これにより、鋼管杭による既設トンネル周辺の地山変位抑止効果はかなり期待できると考えられる。
- ④ しかし、新設トンネル掘削時の既設トンネル周辺の地山は、鋼管杭がある場合とない場合とでは、かなり異なった挙動を示す。これは、鋼管杭の挙動が既設トンネル周辺の地山挙動に直接反映されているためであると考えられる。

以上のことから、鋼管杭による影響遮断工を施工した場合は、しなかった場合に比較し既設トンネル周辺の地山変位を小さくする効果はあるものの、地山変位自体がかなり異なった挙動を示すと考えられ、今後影響遮断工を計画、実施する場合は、地山形状や影響遮断工そのものの挙動が地山に与える影響を十分考慮する必要がある。

[参考文献]

- 1) 足立・田村・八嶋・上野：砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究，土木学会論文集 第358号 III-3 P.129~136
- 2) 例えば、トンネルの地質調査と岩盤計測，土木学会 P.105~108