

市街地におけるトンネルの双設方式による改築計画と施工

A STUDY FOR TUNNEL RENEWAL SCHEME AND TWIN TUNNEL CONSTRUCTION ON A OLD URBAN TUNNEL IN YOKOHAMA

小浜靖郎* 内田昭博* 茅野浩一** 山本和義** 大塚正幸**

Yasuo KOHAMA, Akihiro UCHIDA, Koichi CHINO, Kazuyoshi TAMAMOTO and Masayuki OHTSUKA

ABSTRACT: Miharasi tunnel located near the port Yokohama, is one of the typical OLD URBAN tunnel that needed reconstruction because of it's change to out of date from the recent traffic. However, for the sake of the geological conditions, the situation was hard to maintain the traffics during construction works. After various comparative examinations, a twin (couple) tunnel plan was successfully adopted with complicated constructive sequences. The total data obtained by long term and careful examination with the twin tunnelling, as well as the whole planning, would brought useful suggestion for another similar following plan.

Keywords: renewal tunnel scheme, tunnel reconstruction, twin tunnel, long term measurement of tunnel displacement, side drift

1. はじめに

都市域にあって比較的古い時期に建設された道路トンネルのなかには、経年による老朽化対策のほか、モータリゼーションと、市街化の進行という社会情勢の変化に応じて、拡幅を伴う大規模な改築を迫られているものが少なくない。しかるにこれらのトンネルは、域内交通の重要なネットワークとして日常、住民（とくに歩行者）にとって、欠くことのできない重要な生活道路となっており、工事期間中も交通を遮断することができない場合が多い。このような条件下のトンネルを改築するにあたっては、計画の良否が工費、工期、安全性にとって根本的重要性を有する。

見晴トンネルは、拡幅が困難な狭い谷地形にある古い一車線道路トンネルを、交通を確保しながら新設と拡幅により、一対の双設トンネルとして蘇らせたケースであり、地形と交通対策を考慮した設計・施工計画の考え方と、施工に際して得られた近接するトンネルの長期計測結果は、今後の類例トンネルの参考に供されるものと思われる。

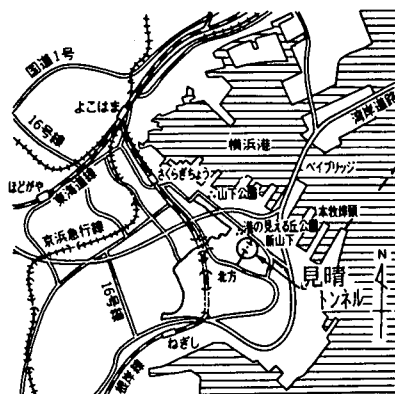


図-1 見晴トンネル位置図

2. 改築計画の決定

見晴トンネルは図-1に示すように、本牧埠頭のある港街の新山下と内域の北方町とを隔てる丘陵に、昭和

*横浜市 **正会員 清水建設(株)

7年に建設された延長118m土被り約20mのトンネルで、戦後は横浜市道本郷北方線として地域内交通に利用され、港を見下ろす住宅地の静かな環境維持に役立っている。しかし幅員構成は1.7mの歩行者・自転車用通路と幅4mの一車線車道で、片側交互規制により自動車交通の著しい障害となっており、昭和25年の都市計画決定に基づき、防災交通の確立をはかるため拡幅が予定されていた。(図-2)

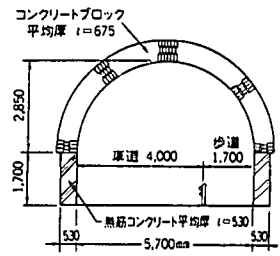


図-2 既設トンネル断面図

昭和61年、両側歩道付き2車線の道路計画に合わせ、トンネルの設計について現地の環境ほか地形・地質条件等について精査した結果、生活道路として地域に密着しているトンネルには、代替となるべき道路は無く、拡幅工事中にあたっては、常時歩道を確保すること、車両通行止めの期間も極力短縮することが設計・施工計画の基本要件とされた。トンネルの北方町側坑口は、両側に急傾斜の斜面が迫っており、斜面頂上には瀟洒な住宅が立ち並んでいる。

地質はスプリングライン付近を境として下位にある星川層（新第三紀上総層）はいわゆる土丹とよばれる、比較的良好と評価されている固結シルトであるが、上位の戸塚層は湧水を伴う洪積世の未固結砂礫で、トンネルの施工は土被りが薄くなるほど、また、大断面になるほど施工には困難を伴うものと考えられた。

これらの条件を考慮して、以下の3案について比較した。(図-3)

①全断面拡幅：歩行者用には尾根を越える仮設通路を設け、車両はトンネル工事期間中全面通行止めとして設のトンネルを10.5=(歩道1.5m+車道3.75m)×2に拡幅する。

②歩・車道分離：幅2.5mの歩道トンネルを新設した後、既設トンネルを幅7.5m+0.5mの自動車専用として拡幅する。

③双設トンネル：一車線歩道付きトンネル(4.25+1.5m)を新設（一期）後、既設トンネルを同規格に拡幅改築（二期）して、二段階施工で上・下分離した双設トンネルとする。

これらより、交通への影響と安全性、また、施工性および経済性等を総合して検討の結果、双設トンネル案を採用し、これに伴い都市計画を変更することとした。

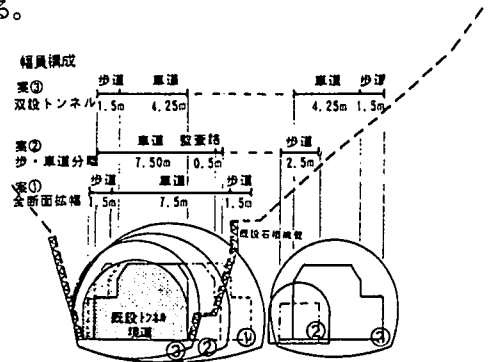


図-3 トンネル改築比較案

3. 双設トンネルの設計と施工手順

双設トンネル案の実施にあたっては、地形的環境と施工中の交通確保という制約条件の下で、設計と施工手順を一体として種々の検討を行った。その結果最終的に図-4～図-6に平面および縦・横断に示すような計画と、複雑な施工の手順となった。以下に本計画の要点となった事項を記す。

- ・北方町側の現在の坑口付近に平行して新たに坑口を併置する余裕が無いので、新設の一期線トンネルは北方町側に36m延伸し、延長を154mとした位置で現道に取付ける計画とした。
- ・一期線トンネルは延伸部分の地形は、45度程度の急傾斜地をさらに掘削にして、道路の石積み擁壁がトンネル軸線に平行して走る偏圧地形となっているため、新山下側よりショートベンチ工法による標準掘削区間を100mで止めて、残り54mにサイロット工法を適用し、山側導坑をもって先行貫通させる。
- ・一期線上半断面の掘削の安全とトンネルの安定を図るため、二期線工事となる既設トンネル坑口に40mの開削トンネルを延長することにしてこれを先行施工し、上部に押え盛土を設けることにした。
- ・この間開削トンネルの施工中は現道の全面遮断が避けられないことから、先に貫通させた一期線の導坑を仮通路として整備し、一時的に歩行者通路を確保する。
- ・開削トンネル完成後にはいったん既設道路に交通を戻しながら保護盛土と一期線トンネルの残り区間に引き続き舗装等道路施設を施工完成させ、交通を一期線トンネルに切替える。
- ・交通を遮断した状態で既設トンネルを拡幅する二期線工事を施工し、最終的に双設トンネルを完成する。

・なお、トンネル部の最終的な道路構造は、車道 4m(含路側帯) 歩道2.5mとしてトンネル断面が決定された。
 表-1に、以上の施工手順と、各段階の交通制限を要約して示すが、歩行者通路は常時確保し、車道も準備工事期間の一時通行止と、北方町側の開削トンネルの施工期間の開鎖のみで、所期の目的は達成された。

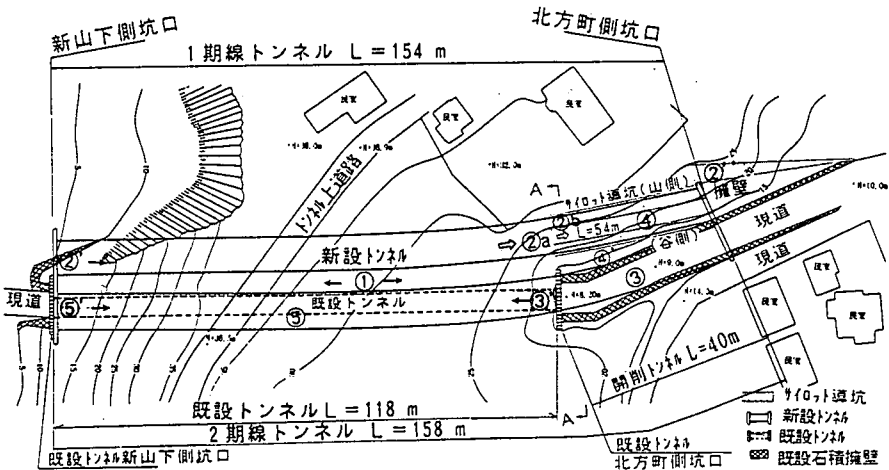


図-4 見晴トンネル平面図

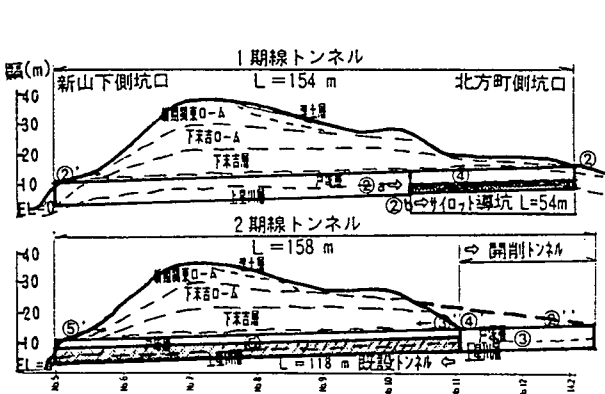


図-5 地形 地質 縦断略図

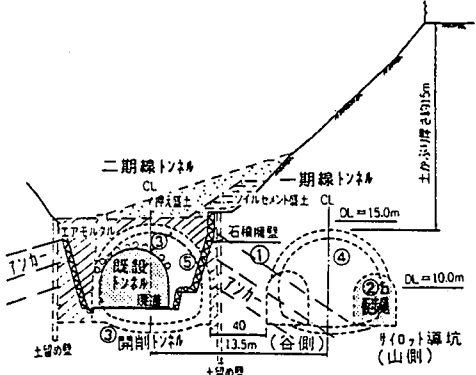


図-6 北方町側坑口部横断図(断面A-A)

表-1 双設トンネルへの改築施工手順と交通確保の状況

施工手順	①準備工事	②第1工	②a 一期線トンネル②b(サロツト=54m)	③第2工	③二期線トンネル	④一期線	④二期線	⑤二期線	双設トンネル完成
作業内容	トンネル側壁に既設トンネルより	パイプラー本坑(100m)掘削	②' 北方町側坑口掘削	パイプラー本坑(100m)掘削	開削トンネル(40m)掘削	既設トンネル切上げ	既設トンネル切上げ	既設トンネル切上げ(118m)	
交通制限	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	車道 通行止	
	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	歩道 既設トンネル供用	
	↑H2.6	↑掘削トンネルH2.9	↑H3.3	↑H4.1	↑掘削トンネルH4.7	↑H4.7	↑H5.6	↑掘削トンネルH6.4	

4. 双設トンネルの計測

本工事における計測の特徴は、1期線トンネルの施工開始から2期線トンネルの2次覆工の完了まで3年以上の長期間にわたって、既設トンネルの挙動や、地中変位 支保工軸力 覆工応力などについての計測を実施したことである。以下に計測の結果の要約を示し考察を加える。

4. 1 内空変位

1期線トンネル及び2期線トンネルの内空変位と天端沈下のトンネル縦断方向の分布は図-7に示すとおりである。水平方向の内空変位は、1期・2期測線とも10mm以内と微小で類似しているが、天端沈下に関しては、1期線では15mm程度であったものが2期線では5mm程度と大きな差を生じた。

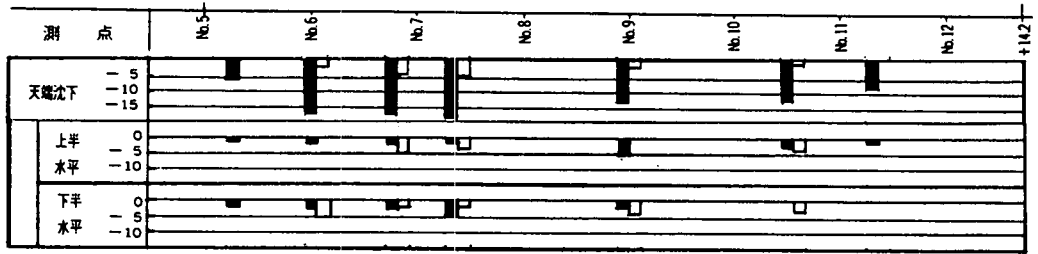


図-7 内空変位・天端沈下のトンネル縦断分布

この差が生じた原因は、2期線トンネルが既設トンネルを拡幅するものであるため、地山応力の解放率が、新設である1期線トンネルに比較して小さかったこと、2期線トンネルでは、地山の緩みが想定された周辺の砂礫部に対して事前に薬液注入を実施した効果などが考えられる。

1期線トンネルの内空変位の経時変化を図-8に示した。上半水平測線に関しては、上半掘削時にいったん拡大傾向を示し、下半掘削時に縮小に転じたが、天端沈下については単調に増加し、下半の掘削以後に収束傾向を示している。これらの挙動は土被りの薄い未固結地山に特有なものといえる。また、変位の収束距離は4D(D:トンネル径)程度と遅く、後述する地中内変位の挙動や覆工応力の計測結果とも対応している。

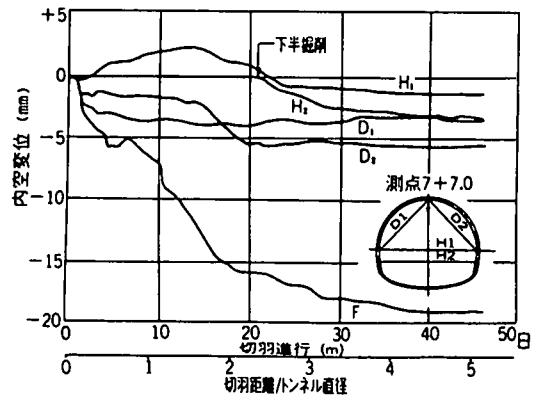


図-8 内空変位経時変化図

4. 2 地中内の鉛直変位

1期線トンネルの掘削開始前に地表からボーリングを行い地中鉛直変位計を設置し、地山の鉛直変位を計測した。地中鉛直変位計の設置断面図は図-9に示すとおりである。このうち、それぞれのトンネルの直上部の変位計 (No②、No④) の計測結果を図-10、図-11に示す。

地中鉛直変位も内空変位と同様、収束が遅い傾向がみられる。上半掘削から下半、インバート掘削までは明確な収束傾向がみられず、クリープ的な変位を示している。インバートコンクリートの施工後により収束傾向を示し、最終的に収束するのはアーチコンクリート施工後である。このように地中内変位の収束が遅いことは、トンネル下半部に位置する上層川層の粘性土的な挙動に起因するものと考えられる。

次に、地中変位から、双設トンネルの施工による相互の影響について述べる。1期線トンネルでは、最終変位19mmのうち、15mmが1期線トンネルの施工により発生し、2期線トンネルの施工段階で発生した変位は

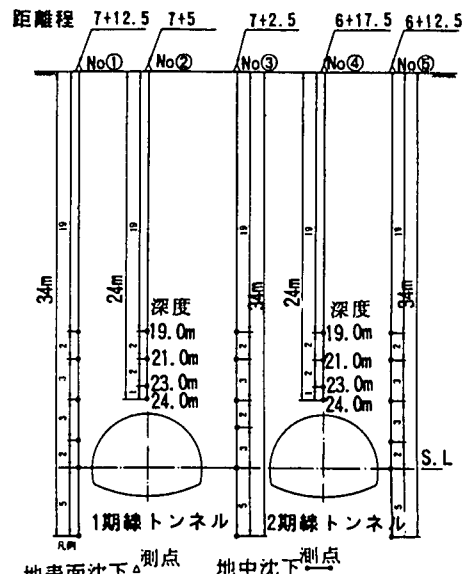


図-9 地中変位計設置位置図

4 mmである。一方、2期線トンネルでは、最大最終変位15mmのうち1期線トンネル施工時に7 mm、2期線トンネル施工時に8 mmが発生している。これは、2期線の拡幅掘削が1期線の覆工完了後に実施されたことにより、2期線施工に際しては地中内の変位が拘束されたこと、および2期線では既設トンネル背面に薬液注入を実施した効果によるものと考えられる。

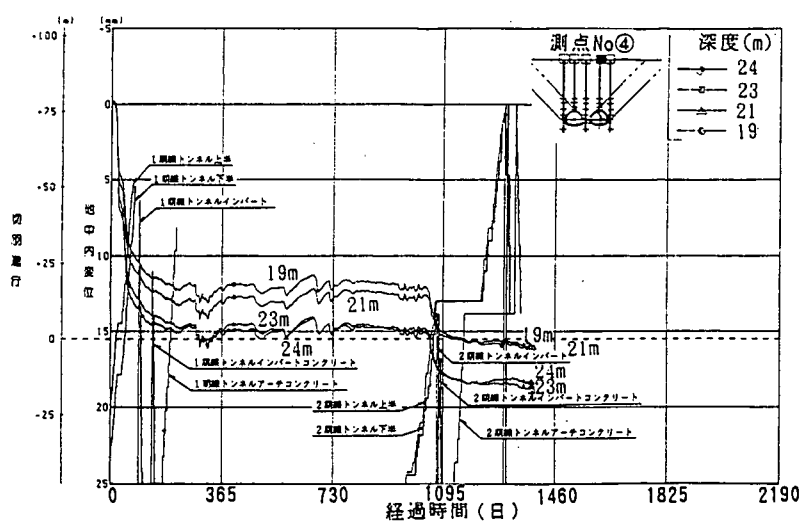


図-10 地中内変位の経時変化（1期線トンネル直上 No 7+7.5 m）

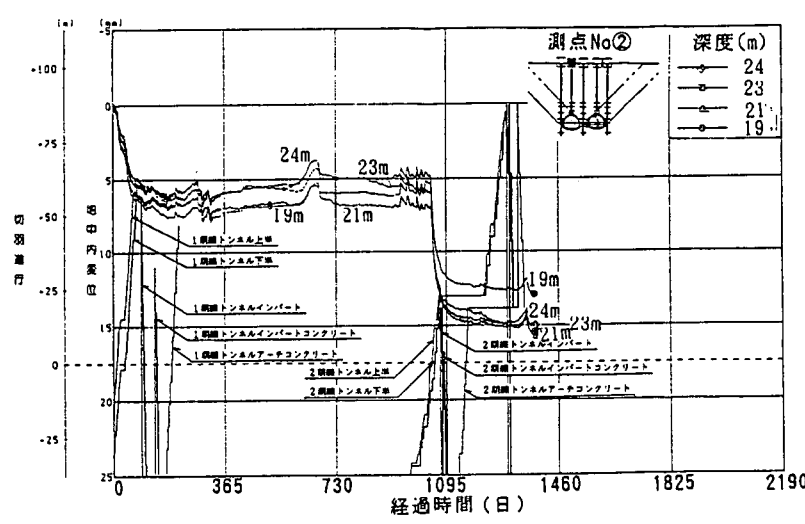


図-11 地中内変位の経時変化（2期線トンネル直上 No 6+17.5 m）

4. 3 応力計測の長期的挙動

一般に吹付けコンクリートや鋼製支保工の応力計測は、収束を確認した時点で終了しているが、今回は2期線トンネルの2次覆工が完了するまでの3年以上にわたって計測を実施した。

1期線トンネルの鋼製支保工軸力の経時変化を図-12に、2次覆工コンクリートの鉄筋応力の経時変化を図-13に示す。支保工の軸力については、1期線トンネル掘削後、いったん収束したものが、アーチコンク

リートの打設後、天端3ヶ所において再び増加している。これは、アーチコンクリートの打設により肩部から下方が拘束されるが、天端部は比較的拘束が小さいため、土圧の増加の影響を受けやすいことと、アーチコンクリートの打設により側壁に受けた打設圧力などが複合して発生したものと考えられる。覆工コンクリートの鉄筋応力については、1期線のアーチコンクリート打設完了後、単調に増加がみられ、夏期に応力がやや減少する等の季節変動も認められるが、2期線の施工による影響はほとんど認められない。このように地中内変位が掘削から覆工打設まで収束せず、さらに覆工完了後もさらに応力の増分が認められることを考慮すると、変位の収束と覆工の荷重分担が互いに関連していることが想定される。

4. 4 計測結果のまとめ

長期計測結果からは、トンネル背面の土圧が時間経過とともに変化し、土圧の変化に伴い、覆工応力が徐々に増大する現象、覆工コンクリートの打設により、鋼製支保工の軸力が増大する現象が認められた。覆工軸力などの値そのものについては許容範囲内にあり、構造上の問題は無いと考えられるものの、こ

れらの現象が発生した要因の1つには、トンネル下半部の上星川層(土丹)の存在が考えられる。洪積粘性土であっても、間隙水圧の変化などによる長期的な応力状態の変化があるものと思われる。通常の山岳方式で施工されるトンネルでは通常、覆工の設計荷重を規定していないが、計測結果は長期的な地中内変位の動き、覆工応力の増加が認められ、未固結地山の覆工の設計にはある程度の荷重を想定することが必要であると考えられる。また、超近接トンネルとしての相互干渉の影響は比較的小さく、センターピラー部の改良と1期線の覆工完了後、2期線を施工する手順については効果があったといえる。

5. おわりに

双設トンネルは、地形・用地などの条件が合致すれば、通行を確保しながら既設トンネルを拡張する工事などに有利に採用される。施工に際しては、隣接する掘削の相互干渉に対する注意深い監視と、地形地質条件に適した補助工の併用が必要である。本工事ではトンネルの中間地山(センターピラー部)とサロット部上半に薬液注入を、坑口部の防護にパイプルーフ、また、開削トンネル部の押え盛土や、高い切取り土工区間に、グラウンドアンカーを用いた土止め工等を施工したが、これらについては既報の文献に詳述されている。

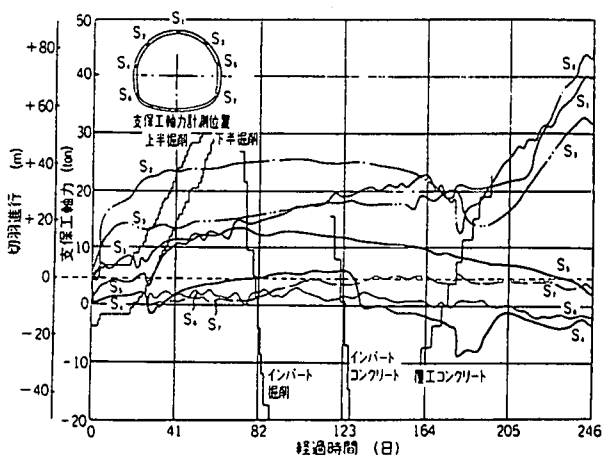


図-12 支保工軸力の経時変化 (1期線 No 7+8.2m)

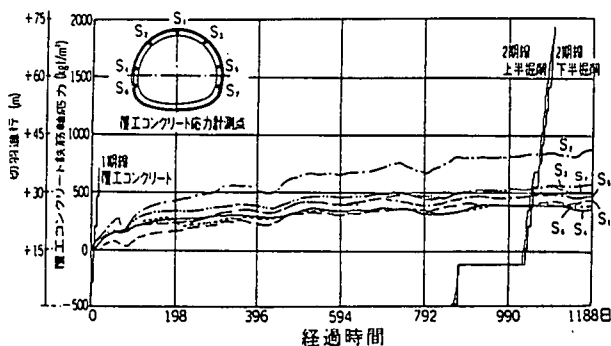


図-13 覆工コンクリート鉄筋応力の長期計測 (1期線 No 7+8.2m)