

市街地直下における長大メガネトンネルの施工

Construction of a Long Eye-glass Tunnel Immediately below an Urban Area

内山 滋¹ 鎌田 松博² 川端 康夫³ 藁科 昌之⁴
Shigeru Uchiyama Matsuhiro Kamada Yasuo Kawabata Masayuki Warashina

【キーワード】 メガネトンネル センターピラー 干渉部 六甲花崗岩 割岩工法

1. はじめに

神戸市では、東西に延びる幹線道路の整備に対し、南北の整備が遅れているとされており、神戸市道高速道路2号線（阪神高速道路山手線）建設工事は、これら地域のニーズに答えるべく、昭和59年着手された工事である。当該道路は、阪神高速3号線（神戸線）と阪神高速7号線（北神戸線）を南北に結ぶ自動車道路で延長9.5kmの内、65%がトンネル構造となっており、南部には、高取・長田トンネルがある。施工位置を図-1に示す。

北須磨トンネルは、2号線の北部に位置し、工事延長1150.5mの内、938mが山岳トンネル区間、山岳トンネルの前後169.5mが開削トンネル区間、43mが土工区間である。山岳トンネルは、センターピラー共有型双設トンネル、いわゆるメガネトンネルで、本トンネルは、メガネトンネルとしては、日本最長のトンネルである。このうち当JVが担当する工事は、導坑938m、南側本坑の558m及び南側坑口付近で交差する既設道路夢野白川線下の延長59.5mの開削トンネル工事である。

本工事の主な特徴を以下に示す。

本メガネトンネルの構造は、センターピラーが仕上がりの構造となっており、トンネル間の離隔が最も小さくなるタイプを採用した。標準断面図を図-2に示す。

トンネル中心部に150~300N/m²の花崗岩が出現したため、施工方法を割岩工法に変更した。

特に本トンネルは、市街地直下のトンネルであり、工事を進めるに当たり、周辺への影響を予想し、確認を行

いながら施工を行った。

本稿では、これら施工上の課題、それに対する取組み及び施工結果について述べるものである。

2. 工事概要

2.1 工事概要

表-1に工事概要を示す。

表-1 工事概要

工事名	神戸市高速道路2号線北須磨区(南)トンネル工事(その1),(その2)
発注者	阪神高速道路公団 神戸建設局
施工者	飛鳥・東急建設工事共同企業体
工期	(その1)H8.9.27~H12.3.31 (その2)H12.3.15~H15.3.31
工事場所	神戸市須磨区車字西山~同区東白川台1丁目
工事内容	(1)トンネル工(センターピラー共有型双設トンネル) 中央導坑:延長938m,掘削断面36m ² ,機械掘削全断面工法 本坑:延長558m,掘削断面(片側)75~128m ² ,機械掘削ショートベンチ工法 センターピラー:延長558m,断面14m ² ,RC構造 (2)明かり工事 北坑口立坑:幅26.4m,延長15m,高さ14.8m,土留アンカー方式 開削トンネル:延長59.5m,土留アンカー方式,双設型トンネル 道路切廻工:仮設橋方式(開削トンネル直上は,4車線道路が交差していたため)

2.2 地形,地質,周辺環境

当該地の地質は、新生代第三紀神戸層群が広く分布し、トンネル中央付近では、六甲花崗岩が上に凸の形で分布

1. 飛鳥建設 北陸支店 佐渡多田トンネル 所長

2. 飛鳥建設 大阪支店 第二名神甲南トンネル 所長

3. 飛鳥建設 本社 土木本部 土木技術部 技術第一課 主任

4. 飛鳥建設 大阪支店 諏訪シールド

している。神戸層群は、礫岩、砂岩、泥岩、凝灰岩が1~6m程度のリズムカルな繰返しによりなり、トンネル軸の南北方向では、六甲花崗岩より北側で3~5°、南側で5~8°の傾斜をも持つ、また、東西断面では、ほぼ水平

構造となる。神戸層群の地山強度は、5~60N/mm²で軟岩から中硬岩の範囲であるが、神戸層群の特徴の短時間で風化が進む性質を併せ持つ。六甲花崗岩は、100~300N/mm²の強度を有する極めて硬質な岩盤である。

平面図を図-3に地質縦断面図を図-4に示す。



図-1 施工位置図

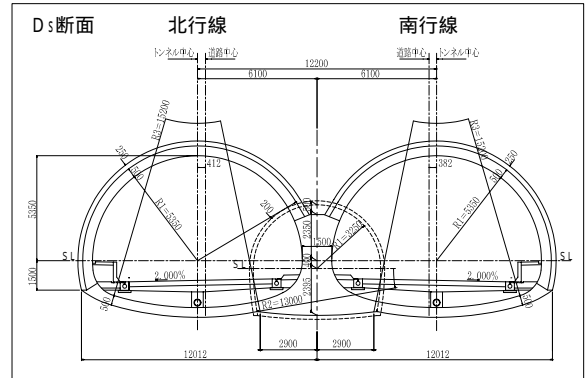


図-2 標準断面図(Dsパターン)

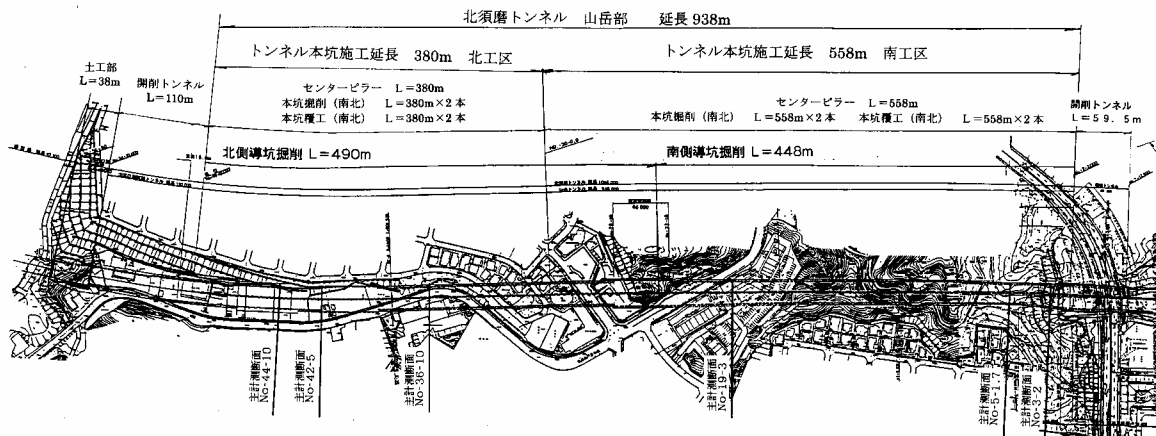


図-3 平面図

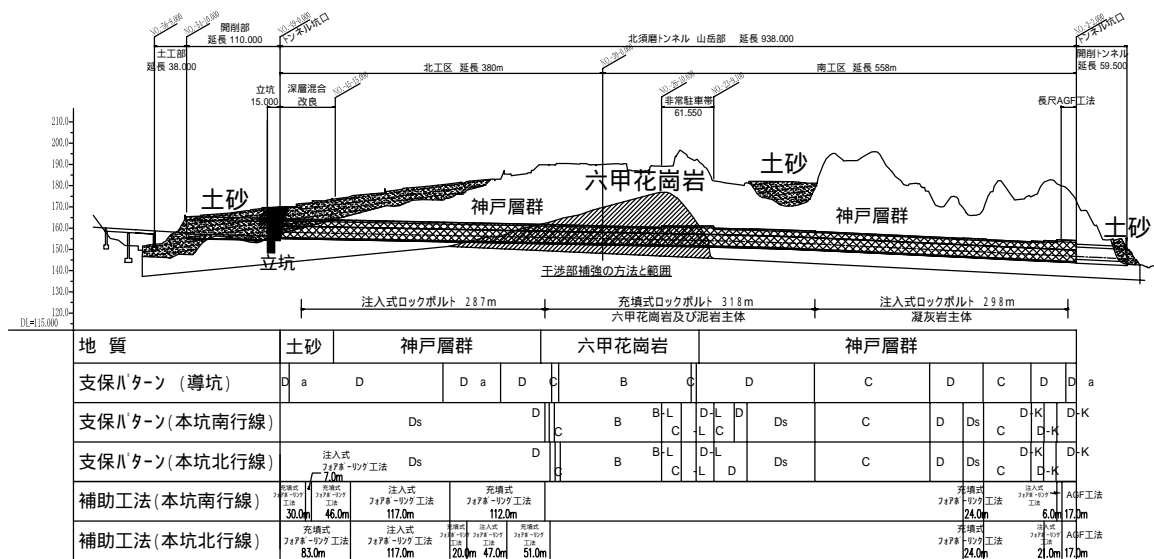


図-4 地質縦断面図

3. 設計・施工上の課題と対応策

3.1 センターピラーの設計

これまでのメガトンネルの施工実績によれば、干渉部（センターピラー直上）に大きなゆりみ荷重が発生しており、センターピラーは、メガトンネルにおいて最も重要な構造物といえる。また、本トンネルは、用地幅の条件よりトンネル間離隔が1.5mまでしか確保できず、センターピラーの構造にも厳しい制約が設けられていた。作用荷重の検討に当たっては、過去の施工実績、FEM解析により、荷重を想定した。図-5は、荷重作用幅をトンネル中心間と想定し、作用高さを一つの指標として整理するために、便宜的に設定した荷重図である。

図-6に示すように、過去のセンターピラーの施工実績では、岩山では1D以下、土砂山では2D以下の荷重が発生していることが伺える。FEM解析は、土砂部・岩盤部でもほぼ土被りに相当する全土荷重が作用しており、地形条件によっては、土被り以上の荷重が作用している箇所もあった。一般にFEM解析では、土被りの浅いところでほぼ全土荷重が作用する傾向がある。

これらの結果より、センターピラーの作用荷重を土砂部で1D、岩盤部2Dと設定し、設計を行った。

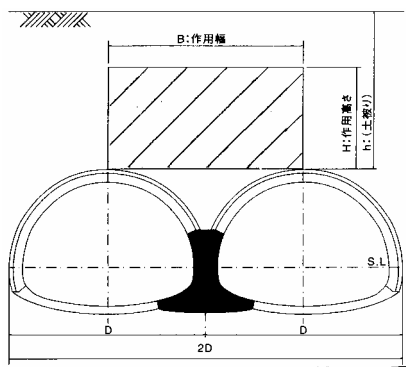


図-5 センターピラー作用荷重図

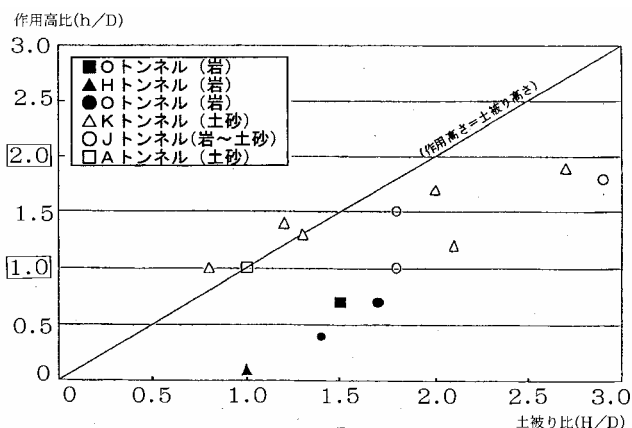


図-6 荷重作用高さと土被りの相関図

3.2 本坑の施工方法と結果

(1) 施工手順及び施工方法

本坑は、ショートベンチ工法で施工した。当初、先進坑のインバートを後進坑掘削前の施工で考えていたが、後進坑の進行が先進坑インバート進行に左右され、工期が遅延する恐れがあったことから、FEM解析により、先進坑のインバート施工時期の検証を行った。その結果、施工時期によって坑内変位に大きな差が生じないことが予測されたため、先進坑のインバート施工を後進坑上半切羽通過後に行った。但し、坑口から53m区間は、先述の地質や構造的な課題があることから先進坑のインバートを施工してから後進坑の掘削に着手した。さらに先進坑の掘削とセンターピラーの構築を並行し、工期の短縮を図った。

(2) 騒音・振動対策

本トンネルの周辺は、住宅地が広がっており、当初より施工時の騒音・振動による周辺住民への影響が懸念されていた。このため、住宅地の近傍では、下半・インバート掘削をブレイカからロードヘッダに変更し、さらに集合住宅直下では、深夜全ての作業を停止する必要が生じた。これらの対策を実施することで、地元住民からの理解も得られ無事工事を進めることが出来た。

(3) 計測結果

a. 坑内変位について

先進坑の天端沈下は、4~12mmの範囲で、後進坑通過後でもその影響は、あまり大きく表れていない。また、内空変位は、動きが少なく、天端沈下同様、後進坑通過の影響は表れてなかった。

b. 支保部材の応力

図-7にNo.-5-1.7,C断面(H-150)の外縁応力の経時変化図を示す。鋼製支保工応力は、センターピラー直上の干渉部付近が最大値を示しており、No.-5-1.7では、210 N/mm²を超えている。また、坑内変位と異なり、後進坑掘削の影響で発生応力が急増している。これは、センターピラーが剛な構造であり、干渉部のゆりみが鋭敏に支保応力に表れたものと考えられる。また、これらの結果から、干渉部補強を行わなければ、支保応力がさらに危険な領域になることが予想され、干渉部補強の重要性が検証できたものと考えられる。

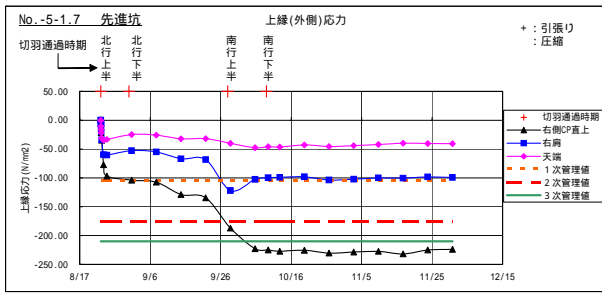


図 - 7 No.5-1.7 鋼製支保工応力

c. センターピラー作用荷重

センターピラー作用荷重（支保工軸力，センターピラー軸力），と傾斜を図 - 8 に示す．支保工に発生する荷重のほとんどがセンターピラーに作用している．また，荷重は先進坑に対し，後進坑施工後で大幅に増加しており，干渉部の荷重が後進坑掘削と同時に作用する傾向が伺える．設計時の作用荷重の考え方（本坑中心間の土塊が作用する）に準拠すれば，約1.1～1.2Dの作用高さであり，当該地の地質が軟岩であることを考慮すれば，当初予想通りの荷重が作用したことになる．参考までに隣接工区の土砂部での作用高さは，1.8D程度であり，これも予想の範囲である．センターピラーの傾斜は，先進坑掘削時は後進坑側に，後進坑掘削時は先進坑側に傾斜しており，荷重の作用する方向にセンターピラーが挙動していることが伺える．

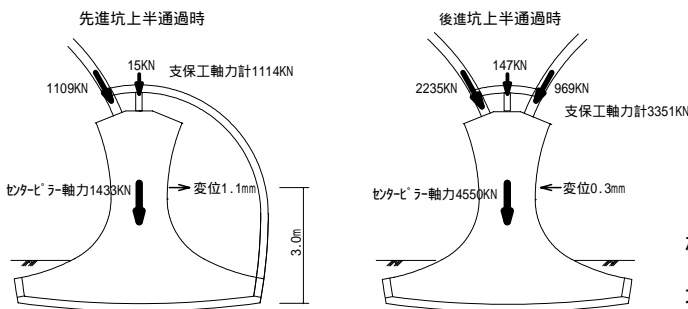


図 - 8 センターピラーの作用荷重と傾斜

3.3 トンネル中心部の花崗岩への割岩工法の適用

トンネル中心部では，硬質な六甲花崗岩が出現し，通常の200KW級のロードヘッダでは，ビットの損耗が激しく施工不能に陥った．このため，掘削工法を割岩工法に変更した．本坑標準部での割岩工法施工パターンを図 - 9 に示す．

割岩工法の施工結果総括を以下に示す．

導坑は全断面で施工し，本坑は進行を確保するため，

上下半並進で施工した．

1進行長は2mとし，削孔長は3.3mで継ぎのみせず安定して削孔できる最長の長さで施工した．

導坑では0.5～1.1m，本坑では0.8～1.1mの日進であった．進行速度は岩の亀裂状態に大きく左右され，本工事では亀裂の頻度が10m単位で変化した．

外周部に自由面を設ける工法（単一孔連続方式）を試験的に実施したが，本工事では施工サイクルを短縮するまでには至らなかった．

当該地の土被りは，25～30m程度であり，ジャンボの削孔，ピックの軋み，ロードヘッダの切削における振動の全てが地上に伝播した．地上での振動値は，最大30db程度であったが，振動によって建物が共振し有感音となった．このため，住宅地直下では深夜作業を停止し，地元の協力を得ながら施工を行った．

本坑（標準B断面）

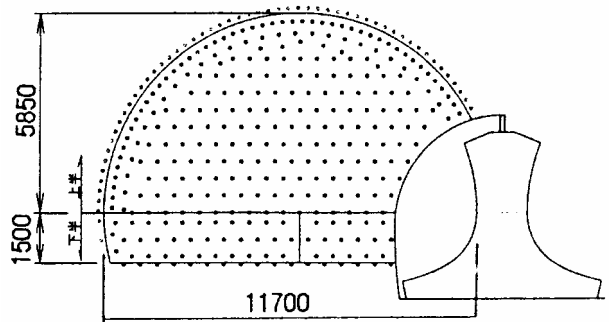


図 - 9 本坑割岩工法施工パターン

4. おわりに

本工事は，平成15年3月末に完了し，地質が土砂・軟岩・硬岩と変化に富んでいる中，直上が市街地であることで，地元住民の方々の多大なご協力とご理解を頂きながら施工を実施した．また，本トンネルの設計・施工における多くの課題に対し，「北須磨トンネル施工法検討委員会」において，適切なご指導を頂いた．全ての関係者に対し，この紙面をお借りして謝意を表します．