

道路直下における大断面土砂トンネルの施工（その５）

－ 仮受け杭および覆工構造の設計 －

日本道路公団東京建設局

春山 和彦・下山 稔

鹿島建設(株)土木設計本部

正会員 伊藤 弘之・田中 耕一

１．はじめに

青梅トンネルは、我が国初の土砂NATMによる上下線二層構造の道路トンネルである。同報文(その４)に示すように、先行して構築した上部二次覆工を仮受け杭で支持した後、下半掘削(３・４段ベンチ)を行い下部覆工の構築を行う施工法を採用した。本文では、下半掘削時の上部二次覆工・仮受け杭の設計手法の概要と、施工中に得られた実測データとの対比結果を中心に報告する。

２．設計の概要

２.１ 上部覆工支持方式の概要

標準断面図を図－１に示す。仮受け杭は $\phi 1000$ のケーシング削孔を行い、その中にH-500の杭材を建て込んだ後、４段ベンチ掘削盤までモルタルによる先端根固めを行う。杭の打設ピッチはトンネル軸方向に4.5m、軸直角方向には7.0mで配置した。上部覆工を仮受け杭で支持した後、３・４段ベンチ掘削を行った。１スパン9mの覆工自重を４本のH鋼杭で支持することになる。

全ての杭頭には5000kN油圧ジャッキを装着しており、仮受け杭施工後、上部覆工が完成した区間から上部覆工の自重に相当する2200～2500kNのプレロードを載荷した。これは、杭体の弾性変形等を事前に吸収しておきトンネル全体の沈下を低減させる目的で実施した。

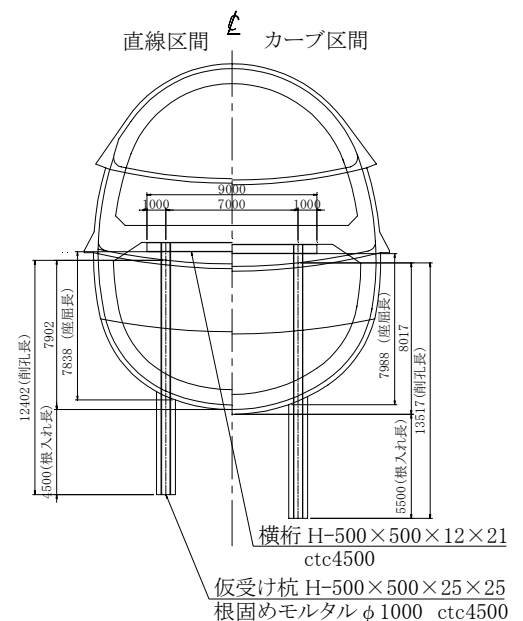
２.２ 設計荷重

下半掘削時に上部覆工に作用する荷重は覆工自重、重機荷重等で、表－１に示す３ケースを考慮した。なお、ケース２、ケース３の下半掘削解放に伴う荷重(杭反力、鉛直反力、水平荷重)は、以下の手順で推定した。

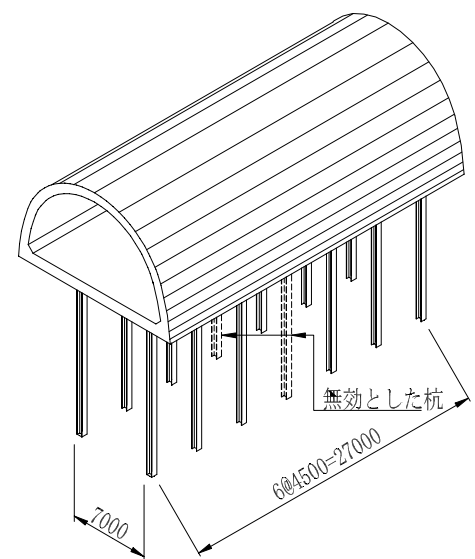
- ・上半掘削完了時の実測変位に基づく２次元FEM逆解析を実施
- ・逆解析で把握した地盤物性値を用いた２次元FEM掘削解析で３・４段ベンチ掘削時の予測を実施
- ・FEM解析での上部覆工の断面力を２次元フレームモデルで再現できる荷重を逆算

２.３ 上部覆工の検討

上部覆工の検討は、上部覆工自身の縦断剛性を表現するため、３次元シェルモデルを用いて行った。解析モデルは図－２に示すように、一時的に１本の仮受け杭から完全に軸力が抜けた不測の事態にも対応できるように杭１本を無効とし、 $L=27$ m(二次覆工打設３スパン分)を取り出したモデルとした。３ケースすべて



図－１ 標準断面図



図－２ 解析モデル概念図

キーワード：土砂NATM、仮受け杭、３次元シェル解析

連絡先：鹿島建設(株)土木設計本部 〒107-8502 港区赤坂 6-5-30 TEL03-5561-2180 FAX03-5561-2155

表－1 荷重ケース(下半掘削時)

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
想定する 荷重状態	一次覆工と二次覆工との縁が切れて、杭が自重のみを支持している状態	3・4 段ベンチ掘削による掘削解放力が杭より伝達され、覆工に鉛直上向きの力として作用した状態。一次覆工と二次覆工の縁は切れず、一次覆工からの鉛直反力、水平荷重が隅角部に集中的に作用。	ケース 2 と同様に、3・4 段ベンチ掘削による掘削解放力が杭より伝達され、覆工に鉛直上向きの力として作用した状態。ケース 2 と比べて中床版に発生する軸力が小さくなる荷重条件として設定。
荷重図 (荷重はカーブ区間での値)			

の荷重に対し、コンクリート・鉄筋の発生応力が短期許容応力度以下となるよう設計した。

2.4 仮受け杭の検討

仮受け杭に作用する軸力として、上述のケース 1 で無効杭に隣接する杭に生じる支点反力と、ケース 2・ケース 3 で無効杭に隣接する杭に外力として考慮した荷重（2 次元 F E M 解析により算出した反力）をそれぞれ短期荷重、特殊荷重扱いとし、1) 支持力、2) 杭体の応力に対する照査を行った。

支持力の照査は、道路橋示方書の杭の考え方に従い、杭先端の極限支持力度 q_d および根固め部の周面摩擦力度 τ を、試験施工結果から $q_d = 5000 \text{ kN/m}^2$ 、 $\tau = 116 \text{ kN/m}^2$ と設定して実施した。短期荷重に対しては、短期許容支持力（安全率 2）以下、特殊荷重に対しては極限支持力以下となるよう設計した。

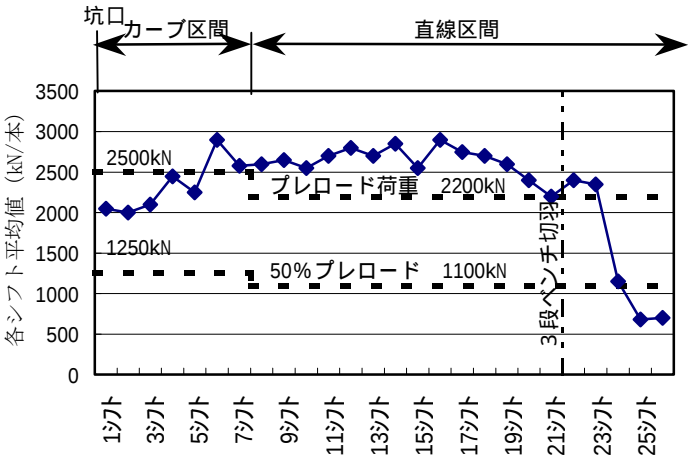
杭体の応力照査は、建て込み精度 1/200 の偏心を考慮し、曲げと軸力を受ける圧縮部材として行った。短期荷重に対しては短期許容応力度以下、特殊荷重に対しては降伏応力度以下となるよう設計した。ただし、特殊荷重は、杭全数有効の場合のみ座屈補強なくとも健全な部材を設計した。施工中に特殊荷重が作用し、かつ無効となる杭が発見された場合には座屈補強材を配置する設計とし、杭仕様が過大となることを避けた。

3. 実測データ

仮受け杭に実際に作用している軸力分布図を図－3 に示す。坑口付近を除いた、ほとんどすべての仮受け杭に覆工自重相当の荷重を 500 kN 程度上回る軸力が作用しており、若干の土圧が杭に作用していることが確認できる。この荷重の差分を土被り厚に換算すると約 60 cm となり、実測軸力は設計段階で想定したケース 1 の荷重に 60 cm 程度の緩み土圧が作用した状況に近いと判断した。また、下半掘削に伴う地表面沈下の増分は 0～2mm 程度と微少で、プレロードが有効であったといえる。

参考文献

道路直下における大断面土砂トンネルの施工(その 1)(その 2)(その 3), 第 55 回土木学会年次学術講演会
道路直下における大断面土砂トンネルの施工(その 4)(その 6) , 第 56 回土木学会年次学術講演会(投稿中)



図－3 杭反力分布図