

# III-120 ロックボルトと吹付けコンクリートによる立坑の施工時挙動

本州四国連絡橋公団

水池由博

株式会社 鴻池組

正会員

小野紘一

株式会社 鴻池組

正会員

○濱野隆司

## はじめに

兵庫県神戸市垂水区の丘陵地地盤は、神戸層群を基盤とし上部には大阪層群が分布している。今回、この地質やトンネル施工時の挙動を把握するため試験立坑の施工を行った。

本論文では、このうちの立坑掘削時の挙動とこの挙動を表現する解析法について報告する。

## 1. 地山および調査概要

地山は、粘土混り砂礫（礫径平均20～30mm, max 150mm）が主体となった大阪層群であり、地下水はなかった。地山の変形係数は孔内水平載荷試験で  $E=1050 \sim 1630 \text{ kgf/cm}^2$ 、平板載荷試験で  $E=960 \sim 1080 \text{ kgf/cm}^2$ 、せん断強度は現位置せん断試験で  $C=1.7 \text{ kgf/cm}^2$   $\phi = 21^\circ$ 、三軸圧縮試験で  $C=0.6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi = 33^\circ$  が得られた。

立坑は図-1に示すように内径 $\phi 7.1\text{m}$ 、深さ28mであり、吹付けコンクリート（ $t=20\text{cm}$ ）、鋼製支保工（ $H-150@1.2\text{m}$ ）およびロックボルト（ $L=2.5\text{m}$ ）を15本/断面、奥行き1.2mピッチ）で施工した。

## 2. 計測項目と計測結果

立坑掘削時の地山挙動計測の測点配置を図-1に示した。

地盤の水平変位は、坑壁より1m（NO.1、NO.2）と3m（NO.3）離れた位置で挿入式傾斜計により計測した。各掘削深さでの変位分布は図-2のようであり、掘削終了時での最大水平変位量はGL-22mでNO.1は3.0mm、NO.2は6.6mmであった。図-3はこの水平変位と切羽位置との関係を示したものである。これより、掘削による影響は1D（D：掘削径）程度から現れ、切羽通過時には全変位の20%程度が発生し、切羽が1D～2D程度通過すると収束していることがわかる。

図-4はロックボルトの軸力分布を示し

たものであり、坑壁より1mの位置で最大2tf程度の圧縮軸力が発生した。また、図-5は地中変位分布を示したものであり、坑壁より1m付近で最大1.2mmの変位が発生し、坑壁に近づくにつれて変位量は減少している。これらのことより、坑壁より1m程度の範囲の地山には支保工施工後切羽が進行することによって半径方向の圧縮ひずみが導入されていることがわかる。

また、吹付けコンクリートには最大 $25 \text{ tf/m}^2$ の地圧が作用し、周方向には最大 $5 \text{ kgf/cm}^2$ の圧縮応力が発

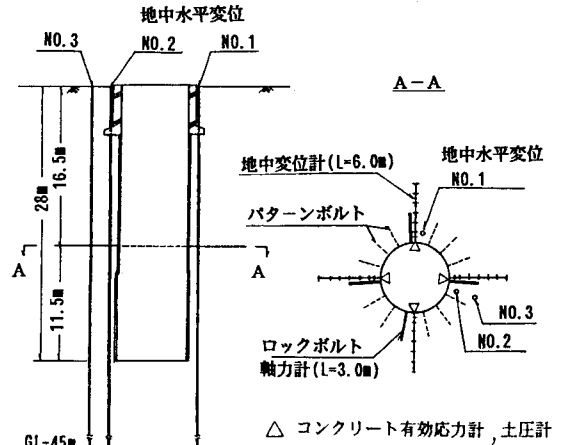


図-1 測点配置図

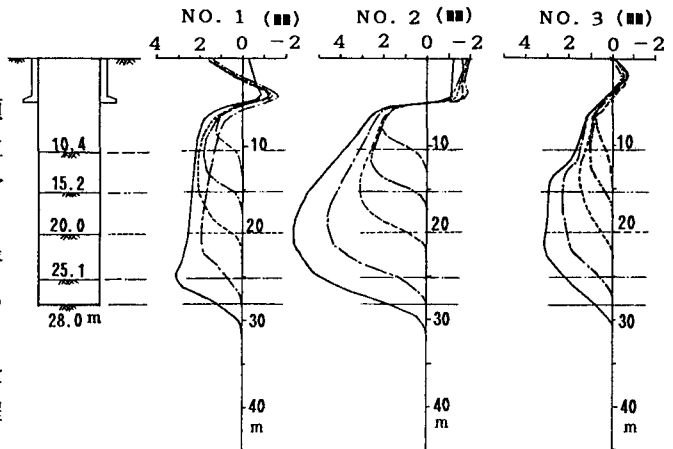


図-2 地中水平変位分布図

生した。

このような挙動は、本立坑の吹付けコンクリートと鋼製支保工による一次覆工の剛性が周辺地山の剛性に比べて約15倍程度大きく、リングとしての支保効果を十分に発揮したためと考えられる。

### 3. 掘削時の挙動解析

立坑掘削時の地山挙動を、図-6に示した有限要素法の三次元軸対称モデルを用いて、施工ステップを考慮した解析を行った。解析時の荷重は、側圧係数を  $k=0.5$  とした場合の水平方向の掘削相当外力のみとした。解析では、地山および吹付けコンクリートの弾性係数を種々変化させ、実測の変形モードがほぼ表現できる両者の値を求めた。ただし、この時にはロックボルトの剛性は無視した。

解析の結果、図-7に示すように立坑掘削時の挙動は地山の弾性係数を  $E=850\sim 1000\text{kgf/cm}^2$ 、吹付けコンクリートの弾性係数を  $E=10,000\sim 20,000\text{kgf/cm}^2$  とすることによりほぼ表現できる。

なお、側圧係数はNO.1の水平変位がNO.2, NO.3に比べて小さいことを考慮すると  $k=0.3\sim 0.5$  程度の値になると考えられる。

おわりに

今回の試験立坑掘削時の変形挙動は、三次元軸対称モデルを用いて側圧係数を  $k=0.3\sim 0.5$  程度、吹付けコンクリートの弾性係数を  $E=10,000\sim 20,000\text{kgf/cm}^2$  とすれば、地山の弾性係数として孔内水平載荷試験等によって得られた地山の弾性係数を採用すればほぼ表現できるようである。今後は、これらの調査結果および引き続き斜坑で実施している調査結果を踏まえて、トンネル掘削時の挙動解析手法について検討を加えて行きたい。最後に、適切な御助言をいただいた神戸大学桜井春輔教授に深く感謝致します。

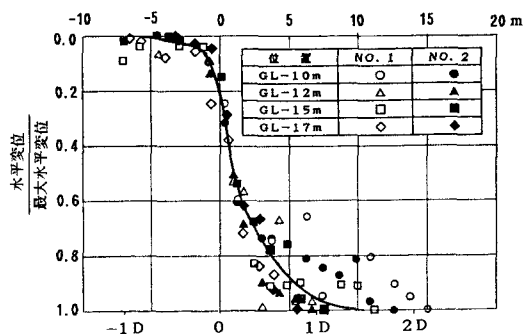


図-3 切羽位置と地中水平変位の関係

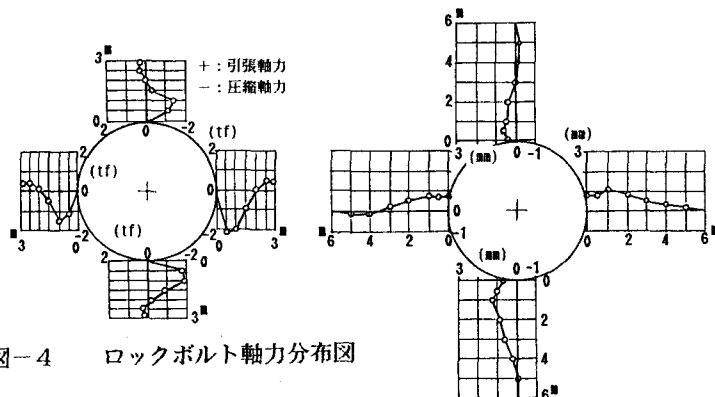


図-4 ロックボルト軸力分布図

図-5 地中変位分布図

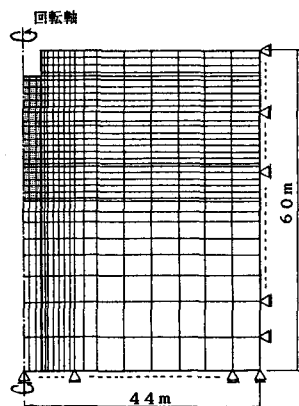


図-6 解析モデル図

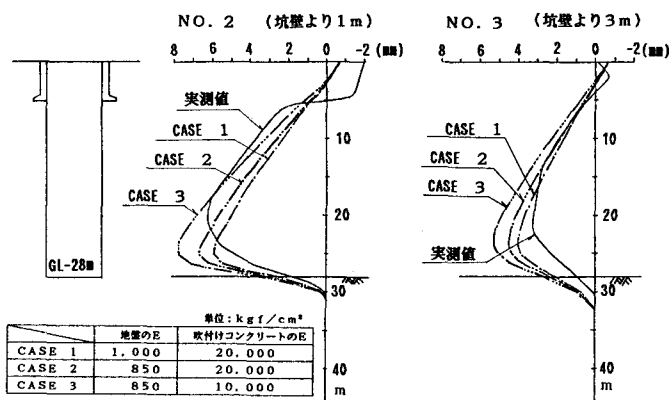


図-7 地中水平変位の実測値と解析値