

京大大学院
京大防災研
京大防災研

学員 ○木村 亮
正員 足立 紀尚
正員 ハ嶋 厚

1. はじめに

筆者らは、吹付コンクリートやロックボルトのような導肉柔支保構造の効果がどのようなものであるかを、地山材料に乾燥した砂砂を用い、吹付コンクリートとロックボルトを紙でモデル化した実験によって定性的な解明を試みた。¹⁾本研究ではモデル実験をシミュレートするために、2次元有限要素法を用い数値解析を行った結果を報告するものである。

2. 解析手法

図-1に示すように、半径30cmの半円の領域を考慮トンネル断面を除いた地盤部分を72個の要素で構成した。砂の初期応力状態は重力場により異方的であると仮定し、土被り圧と静止土圧係数 K_0 値によって表わされるものとする。また境界条件として領域外周上の節点の変位を拘束している。トンネル掘削のシミュレーションはトンネル壁面を初期地圧を取り除くニシによって行ない、その過程は50ステップに分割し順次解放する手法で行った。また柔な覆工やロックボルトは曲げモーメントやせん断力には抵抗せず、単に軸力に抵抗すると仮定し、図-2に示すようなヒンジで接合されたトラサ要素で表すニシにした。砂の応力ひずみ関係はDrucker-Pragerの降伏規準²⁾を用いた弾-塑性理論から誘導した。

なお行なった解析は表-1に示す8種類である。解析に用いた力学定数は表-2に示すとおりである。表-1に示す各解析の目的は、解析(i)~(iii)が覆工剛性による挙動の差異、解析(iv)は解析(ii)との対比により土被り厚の違いによる挙動の差異、また解析(v)~(viii)はロックボルト長を変化させたときの挙動の差異をそれぞれ調べるためのものである。

3. 解析結果

解析(i)~(iv)の結果をそれぞれ図-3(a)~(d)に示す。図で黒く塗りつぶされた要素は塑性していることを表わしている。(a)~(b)~(c)を比較すると、覆工の剛性が低いほど、言い換えると覆工厚さが薄いほど塑性化領域の広がり大きい。図-3(ii)~(iv)を比較すると、塑性域はほぼ同一であり、土被りによる差はそれ程生じないことがわかる。これは前述の実験事実と一致している。図-4は掘削終了時の覆工軸力を最大覆工軸力で正規化したもので、横軸は図-5に示すように角度で表わしている。図-4から覆工の剛性が低いほど掘削終了時の覆工軸力は一定となり、Peckのいう導肉柔支保構造の性質³⁾は覆工が薄いほど表れやすいと考えられる。図-6は掘削終了時のトンネル壁面の変位が覆工剛性によっていかに変化するかを示している。図から剛な場合には天端・下盤の変位が大で、スプリングラインの変位が最小となるが、柔な場合には逆の傾向となっている。 $K_0=0.5$ の場合であっても塑性が卓越すると、スプリングライン部の変位が進み破壊に至るものと考えられる。

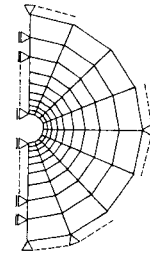


図-1

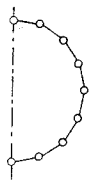


図-2

表-1 解析の種類

解析 番号	覆工の剛性 E_L (97/cm)	天端から の被り (cm)	ロックボルト長 (cm)
(i)	10	50	0
(ii)	100	50	0
(iii)	1000	50	0
(iv)	100	100	0
(v)	100	50	1.0
(vi)	100	50	2.2
(vii)	100	50	3.8
(viii)	100	50	8.0

表-2 力学・物理定数

砂の弾性係数	$E_s = 1000 \text{ 97/cm}^2$
砂のポアソン比	$\nu_s = 1/3$
砂の単位体積重量	$\gamma_s = 1.37 \text{ 97/cm}^3$
内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$
ロックボルトの剛性	$E_b = 1000 \text{ 97/cm}$
K_0 値	$K_0 = 0.5$

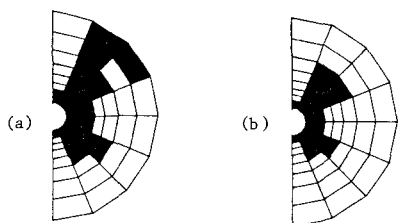


図-3 解析(i)~(iv)結果(塑性化領域)
解析(i)~(iv)がそれぞれ(a)~(d)に対応

次にロックボルトの効果について解析
(v)~(viii)の結果を図-7に示す。図よりロ
ックボルトは長くと打込むほどその効果
は大きい。が、 $L=1\text{cm}$ を除くと 2cm から 8cm へとロックボルト長を増加するこ
とによる効果はほとんど見られず、実験結果を説明することはできない。(a)
(c)との比較により、天端部への打設よりスプリングライン部への打設の方が
有効であり、これは図-6で述べた破壊がスプリングライン部から進行するとい
う結果と一致する。

4. 結論

本研究により得られる主な知見は

- (1). 覆工が剛なほど塑性領域の広がりはない。
- (2). 覆工が柔であるほど覆工軸力は一定になり、塑性変形が増大するとス
プリングライン部の変位が天端部の変位より卓越する。
- (3). ロックボルトは長いほど有効であるが、 2cm と 8cm の間には顕著な差はみ
られず実験結果の説明が不可能である。
- (4). ロックボルトはスプリングライン部が有効に働く。

最後に、本解析にあたり御指導していただいた京都大学土木工学教室田村
武講師に深く謝意を表します。

参考文献; 1) 木村 亮; トンネルの支保効果及び土圧に関する実験的研究,
京都大学工学部卒業論文, 1982 2) Drucker, D.C. and Prager, W.; Soil
mechanics and plasticity analysis in limit design. Quart. Appl.
Math., Vol 10, 1952, 157-165 3) Peck, R.B.; Deep excavations and
tunneling in soft ground, 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg. State of the art volume, 1969, 225-290

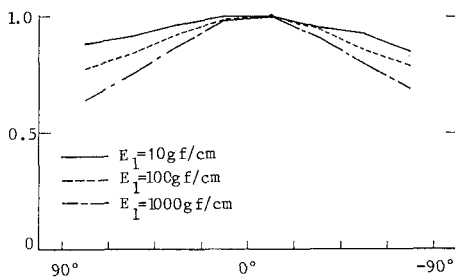


図-4 最大覆工軸力で正規化した覆工軸力

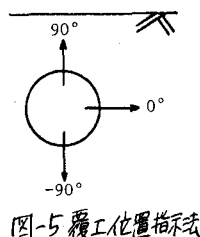


図-5 覆工位置指示法

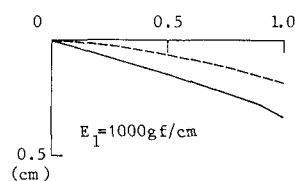
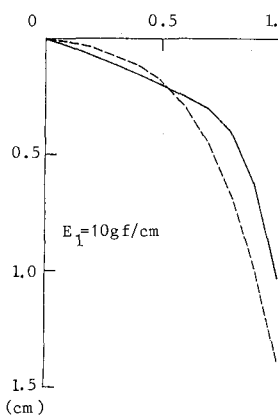
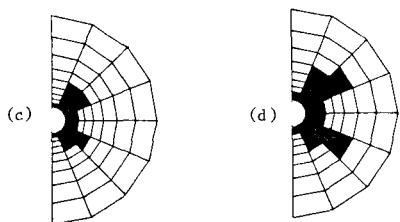


図-6 変位ベクトルと応力解放量の関係
—— 天端部 --- スプリングライン部

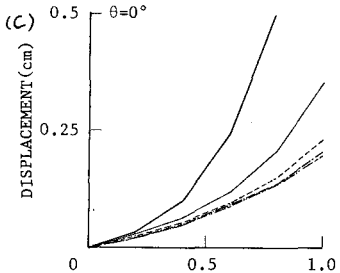
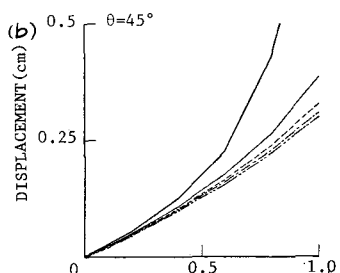
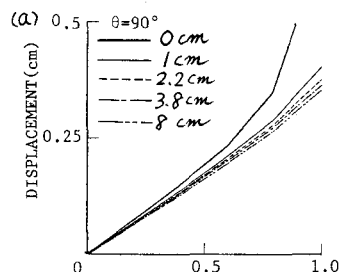


図-7 ロックボルトの効果
横軸は応力 縦軸は変位