

III-22 ひずみ軟化を考慮したトンネルの 有限要素解析

宮崎大学 工学部 正員 潮崎満弘

1. まえがき

一軸圧縮応力場の均質等方性地山に、円孔を開けたとき、その周辺地山内に生じる応力の再配分状態を、2次元有限要素モデルで数学的に解析した。その結果を、シラス土で実施したトンネル模型の破壊実験結果と比較検討したので、ここに報告する。

2. 模型トンネルでの実験結果

300cm×300cm×30cmの平置型鋼枠内に試料土を詰め、一つの可動側壁(300cm×300cm=0.9m²)からジャッキで加圧(最大300t/0.9m²=33 kg/cm²)、所望深度の状態 p_0 まで締固めた後、土圧計(バリミューセル)をセットし、上蓋中央のハッチをあけて、直径70cm(深さ30cm)の円孔を素早く掘り、それを2次元のトンネル断面模型と考え、ジャッキ載荷圧の増加に伴う孔壁の変位とセル応力の変化を測定する多数の室内実験を行なった。その代表例として、図-1に、シラス土を、 $p_0=5.5 \text{ kg/cm}^2$ まで締固めたケースで、 $1.5r=1.5 \times (0.7/2)=0.525 \text{ m}$ の円周上にセットした合計8個のセル応力の変化量 $\Delta\sigma_m'$ と載荷圧 p の関係を図示した。この図から、

- i) 与圧 $p_0=5.5 \text{ kg/cm}^2$ の下で開孔すると、 $1.5r$ 上のセル応力はすべて低下し、この部分が「ゆるんだ」ことを示す、
- ii) 開孔後のジャッキ圧の増加に対しては、インバート中央の⑤点(無覆工断面では、鉛直載荷重に殆ど無影響)を除いて、セル応力の変化量 $\Delta\sigma_m'$ は増加後、低下する。この反転時に、対応する孔壁にクラックないしはく裂が発生し、さらに進んで、 $\Delta\sigma_m'$ が流れ状態になった所では、孔壁の内方変位が著しい。

3. 有限要素法による数値解析

この解析では、試料土のひずみ特性を次のように理想化、仮定している。①応力-ひずみ曲線は、図-2に示すような、弾性域、ひずみ硬化域、ひずみ軟化域、流動域の4領域で直線的に近似する。②それぞれの降

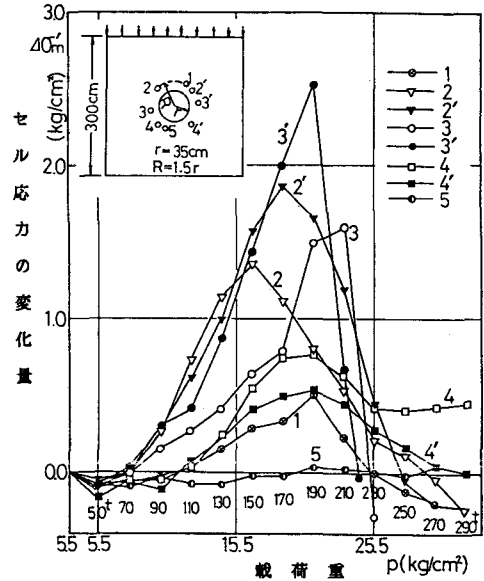


図-1 無覆工シラス土ケースの開孔周辺部地山のセル応力変化量 $\Delta\sigma_m'$ と載荷圧 p の関係

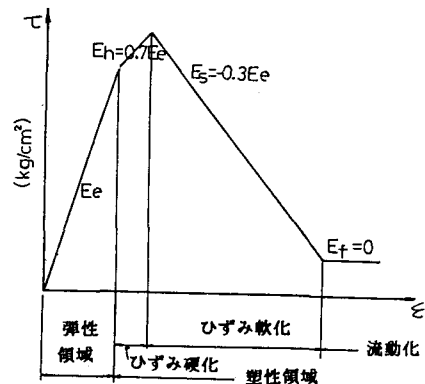


図-2 σ - ε カーブ

伏規準は、Mohr-Coulombの破壊規準に従う（図-3）。④引張破壊した要素は、引張応力に抵抗しないものとする。

上述の室内実験を対象に、有限要素法による数値解析を試みた。その際に採用した主たる仮定は、①試料土と鋼棒の間のマサツ力と付着力はすべて無視して、2次元問題として扱い、②直径70cmで開孔したテスト・モデルを、図-4に示すような374個の三角形要素（節点数221）に分割し、境界支持条件を図のように仮定して、④載荷ジャッキ圧 p の増加に伴って発生するセル・セット位置要素の主応力 (σ_1 , σ_2) の大きさと方向を算出し、 p に対応する平均主応力 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ を求めた。

図-5に、有限要素法による解析結果を示している。横軸は載荷重で、縦軸は、各要素での平均主応力 σ_m を示している。この図は、図-1に対応するもので、図-1の測点番号と同じ位置にある要素においての、載荷重と平均主応力の関係を示している。要素1では、12.5kg/cm²の付近で、引張破壊が生じたので、その後の載荷重の増加に対しても、余り応力の増加はみられず、ほぼ一定となる。要素2、3、3'については、弾性域から、ひずみ硬化域へと進み、ひずみ軟化域で、急激な応力低下となり、流動化域へと進行していく。要素4については、明瞭なひずみ硬化を示さずに、ひずみ軟化、流動化域へと降伏が進行していく。図-5と、図-1を比較すると、よい一致がみられる。また、これまでの実験における降伏過程をみていくと、載荷重の増加とともに、まず、クラウン付近で引張破壊が生じ、その後、クラウンより90°付近で、Mohr-Coulombのせん断破壊が生じている。その後の載荷重の増加に伴っては、引張破壊の領域は広がらず、せん断破壊が内部へ進行していく。この降伏過程も、有限要素解析結果とよく一致する。

おわりに

応力とひずみの関係に、ひずみ硬化、軟化、流動化を考えることで、実験結果とよい一致がみられ、有用性が確認された。今後の課題として、仮定した応力-ひずみ関係の実験による検証が、必要であろう。

参考文献

- 1) 川本、石塚：ひずみ軟化を考慮した岩盤掘削の解析、土木学会論文報告集、第312号・1981年4月
- 2) 村上、中沢、瀬崎：新しい土圧計による地山安定の推定技法、トンネルと地下、1981年12月

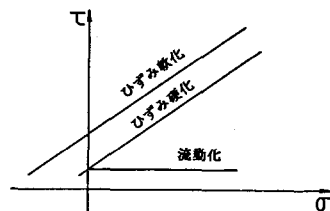


図-3 Mohr-Coulombの破壊規準

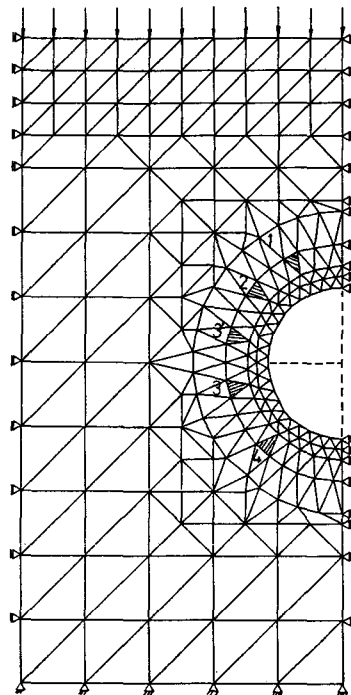


図-4 解析に用いた有限要素モデル

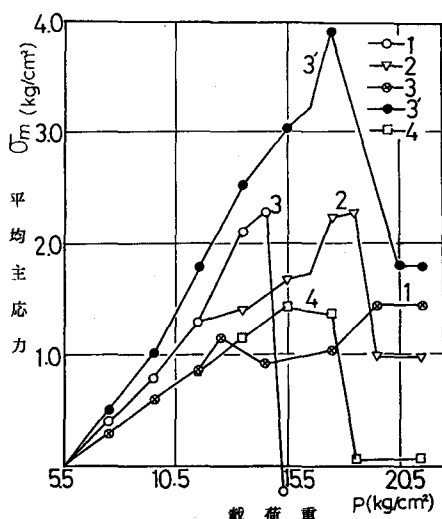


図-5 有限要素法による解析結果