

京都大学 学生員 ○武田智明, 菊本 統  
 京都大学大学院 フェロー 足立紀尚  
 京都大学大学院 正会員 木村 亮, 岸田 潔

**1. はじめに** 降下床実験は、トンネル掘削時の応力開放を端的に模擬しており、応力開放に伴う塑性領域の拡大、ゆるみ領域など、空洞掘削において特徴的な地山の力学挙動を表現する手法として、数々の成果を挙げている。そこで本研究では、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式<sup>1)</sup>を用いて、過去に行われた軸対称（円形）降下床実験<sup>2)</sup>を対象として、三次元弾塑性有限要素解析を実施した。本稿では、解析結果と降下床実験の結果とを比較することで本解析の妥当性を検討し、土被り比 1.0 の場合について、アーチ状のせん断帯の形成される過程および形成時の地盤内の力学挙動について考察する。

**2. 解析概要** 解析対象とした実験は、遠心場における軸対称（円形）降下床実験<sup>2)</sup>である。この実験では、内径 380mm、高さ 300mm の円筒形土槽が用いられており、底面中央部には円形降下床（直径 50mm）が設けられている。この土槽に乾燥砂、飽和砂、飽和粘土およびそれらの互層地盤など各種模型地盤を作成し、この装置を遠心載荷装置にセットして 40G の遠心場で実験を行った。なお、今回は乾燥砂（豊浦標準砂）を用いて行われた実験に対して数値解析を実施した。解析には、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式<sup>1)</sup>を用いた。なお、解析対象は軸対称要素を用いて二次元的に取り扱うことが可能であったが、将来的に切羽周辺の挙動を評価することを想定し、その第一歩として三次元問題として取り扱った。

本解析で用いる解析パラメータは、実験地盤に類似した条件の下で行われた豊浦標準砂の拘束圧一定三軸圧縮試験の結果<sup>3)</sup>をもとに決定した。試験結果と本構成式による三軸試験シミュレーション結果を図-1 に示す。また、決定したパラメータを表-1 に示す。

図-2 に模型地盤および解析領域を示す。解析は、地盤の軸対称性を考慮して中心角が 5° の部分について行った。また、降下床の下降は、降下床直上の節点に毎ステップ 0.04mm の鉛直下方への強制変位（合計 2000 ステップ、降下床下降量 80mm まで）を与えることで模擬した。なお、本稿で示す解析領域のスケールおよび降下床下降量は、全て実際の模型地盤での値をプロトタイプ換算している。

**3. 解析結果** 図-3, 4 に実験結果と解析結果の比較を示す。なお、規準化土圧とは各段階における土圧を初期土圧で除した値である。降下床土圧については、全て解析値が実験値を下回ったが、定性的には降下床実験を表現できたと考える。地表面沈下形状については、解析値が実験値を上回り大きく沈下したが、これも定性的には挙動をとらえていると考える。

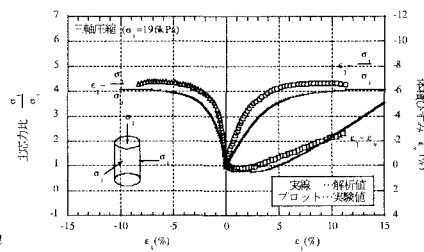


図-1 三軸試験シミュレーション結果

表-1 決定したパラメータ

体積弾性係数 $K$ (MPa)	15.68
せん断弾性係数 $G$ (MPa)	5.89
ひずみ軟化-硬化パラメータ $M$	1.30
ひずみ軟化-硬化パラメータ $G'$	300.0
塑性ポテンシャルパラメータ $b$ (kPa)	0.98
塑性ポテンシャルパラメータ $\sigma_{mb}$ (MPa)	1.96
過圧密境界面パラメータ $\bar{M}_m$	0.80
応力履歴パラメータ $\tau$	0.002

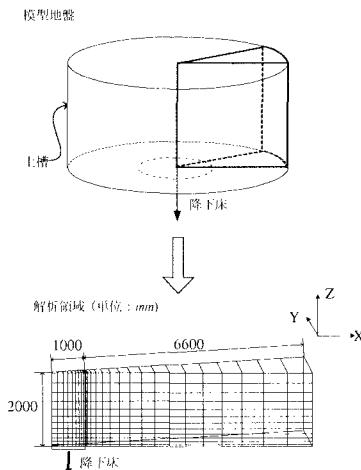


図-2 模型地盤および解析領域

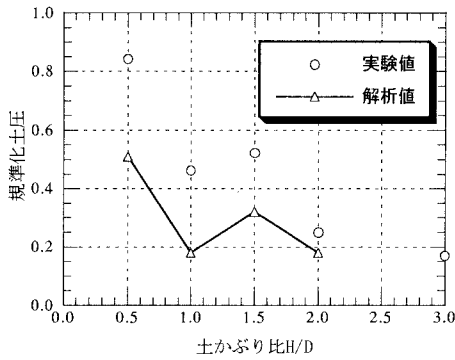


図-3 最小降下床土圧と土被り比の関係

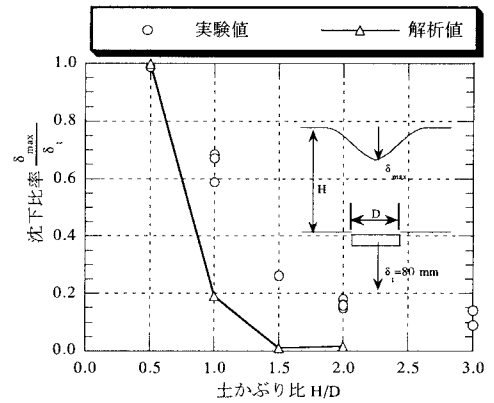


図-4 最大地表面沈下量と土被り比の関係

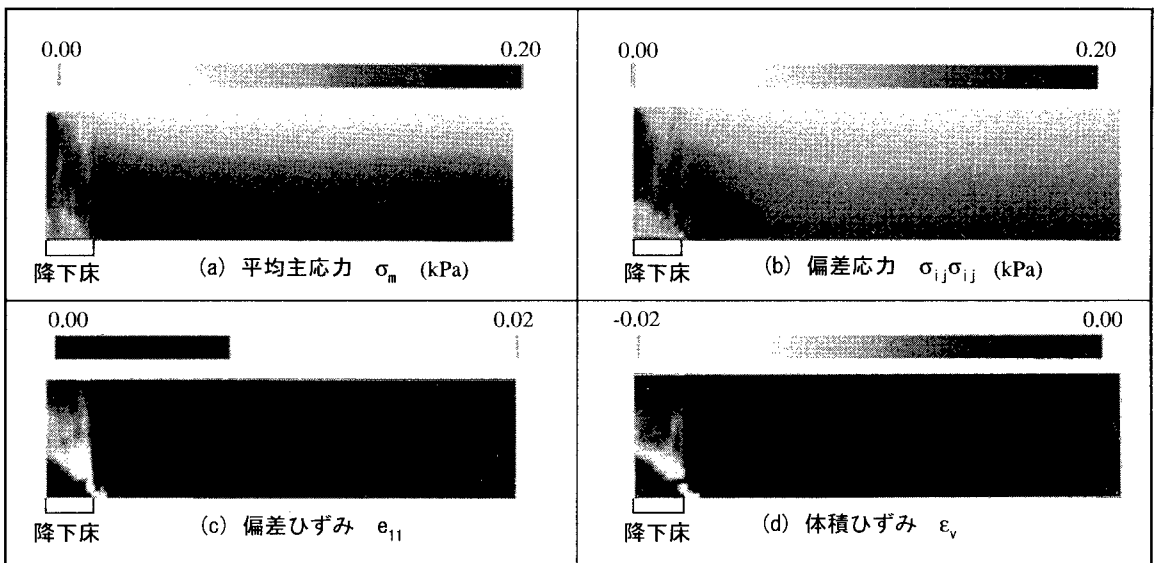


図-5 ゆるみ土圧発生時の挙動 (降下床下降量  $\delta_i=20\text{mm}$ )

次に、図-5 に平均主応力、偏差応力、偏差ひずみおよび体積ひずみの分布を示す。これらの図より、以下に示す知見を得る。

- 1) 降下床の下降に伴い、降下床付近の地盤は応力解放の影響を受け、平均主応力  $\sigma_m$  が減少する。その上の領域では、平均主応力  $\sigma_m$  が大きくなっており、この部分でアーチ状のせん断帯が形成されたと考えられる。
- 2) 降下床の下降に伴って、降下床直上の領域よりも少し上の領域で偏差応力が増加しており、これからも地盤にアーチ状のせん断帯が形成されることがうかがえる。
- 3) せん断応力が増加するアーチ状のせん断帯では、偏差ひずみが増加する。
- 4) せん断帯では、偏差ひずみの増加に伴い、正のダイレイタンスが発生し、負の体積ひずみが見られる。

**4. まとめ** 1) 降下床実験の実験結果と比較した結果、本解析は降下床下降時の地盤の力学挙動を定性的に表現できたと考える。

2) アーチ状のせん断帯が形成される領域では、偏差応力が増加し、偏差ひずみも増加する。また、それに伴い、正のダイレイタンスが発生して負の体積ひずみが生じる。

**参考文献** 1) 足立・岡:土木学会論文集, 第 445 号, pp.9-16, 1992. 2) 足立ら:第 32 回地盤工学研究発表会講演集, pp.2149-2150, 1997. 3) 中井ら:土木学会論文集, 第 596 号, pp.153-162, 1998.