

個別要素法を用いたボックスカルバートの埋戻し解析

京都大学	正会員	○西藤 潤
京都大学	学生会員	長神新之介
京都大学	正会員	朝倉 俊弘
京都大学	フェロー会員	田村 武

1. はじめに

トンネル覆工の安定性解析を行う数値解析法として骨組構造解析が知られている．骨組構造解析は少ない節点数で変形や曲げモーメントなどを計算できることが特徴である．骨組構造解析では，トンネル覆工と周辺地山の相互作用を適切に評価することが特に重要となるが，本報ではその評価を個別要素法により用いて行った．個別要素法により地盤をモデル化し，はりばねモデルにより覆工をモデル化した．個別要素法を用いることで，「大きな変形が生じる問題」や「掘削，切土，盛土のように時間とともに解析領域が変化する問題」を容易に取り扱うことができる．本報では，解析領域が変化する問題の解析例として，ボックスカルバートの埋戻しを模擬したモデルの数値解析結果を示す．

2. 数値解析手法

(a) はりばねモデル：はりばねモデルとは，その名の通り「はり」と「ばね」を組み合わせたモデルであり，有限要素法と比較して少ない節点数で曲げを表現できる．軸方向の変形に対してはりが，曲げに対してバネが復元力を発揮する．本報では，はりの質量は節点に集中しているものと仮定した．この仮定より，連立線形方程式を解くことなく陽的に系の運動が計算でき，計算コストを削減できる．粘性力は動的な物理現象を再現するためではなく，数値解析において解を収束させるために用いており，粘性項の導出にあたっては系ができるだけ短い時間で収束するよう決定した．

(b) 個別要素法：個別要素法は不連続体として離散化する手法で，大変形挙動や不連続性を考慮した計算が可能である．本報では，粒子間に作用する力は粒子同士が接触したときのみ生じるものとし，粒子間のバネは考えない．粒子は円形としてモデル化した．

(c) はりばねモデルと個別要素法の組合せ：はりばねモデルと個別要素法を組み合わせるためには，2つのモデルの間で力のつりあいを考えなければならない．本研究では，コーディングの容易さから図-1に示すようにはりばねモデルで扱う系も粒子で離散化する．はりばねモデルを離散化した粒子も個別要素法の粒子と同様に接触判定を行い力の相互作用を考える．はりばねモデルに組み込む粒子には，1. 回転は生じない．2. 隣り合う粒子同士（はりで結合している節点同士）の相互作用は無視する．3. 粒子間の相互作用による力に加えはりとばねによる力が作用する，という制約を設けた．

3. ボックスカルバートを模擬したモデルの解析例

対象はボックスカルバートを模擬したモデルであり，図-2に示すように，正方形の断面形状をしたボックスカルバートを剛な土槽の中に設置し，周辺に土を埋め戻すことを想定している．このモデルに用いた物性値を表-1に示す．地盤の埋め戻しは，地盤粒子を10個ずつ上から置くことで表現する．地盤粒子を置いて，系全体が静止するまで計算を行う．静止した後，再び粒子を置く．地盤粒子の配置は，乱数によって決定する．10個の地盤粒子を置き，静止するまでの一連の計算を1ステップとし，それを50ステップまで行った．

図-3に粒子が積層している様子を示す．図-4，図-5は，それぞれ図-3に対応する軸力の分布図，曲げモーメントの分布図である．図-6はトンネル覆工の垂直，および水平の相対的な変位量を表している．垂直，および水平な相対変位は，ともに正方形の1辺の中央に位置する覆工粒子間の相対変位で計算した．得られた結果は力学的に妥当であったと考えている．なお， $H/D = 1.6$ 付近でスナップスルーと見られる挙動を示してお

Key Words: 個別要素法，はりばねモデル，ボックスカルバート

〒615-0840 京都府京都市西京区京都大学桂 C 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3218

り、不安定現象を再現できることを確認した。

4. おわりに

本論文では、はりばねモデルと個別要素法を組み合わせた解析手法を提案し、解析例としてボックスカルバートの数値解析結果を示した。実験や実際の測定データと比較していないため定量的な評価は難しいものの、定性的な傾向は説明できたと考えている。今後は、理想的な仮定をできるだけ排除したモデルの作成や定量的な評価のため実験や実問題との比較を行いたいと考えている。

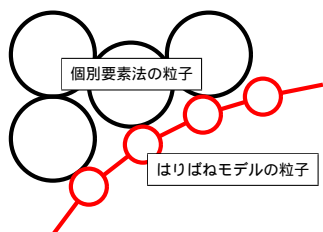


図-1 はりばねモデルの離散化

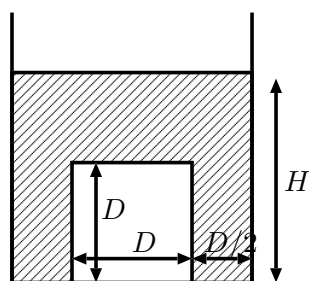
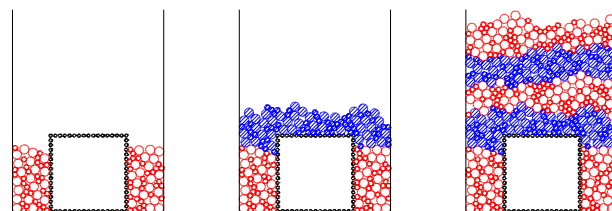


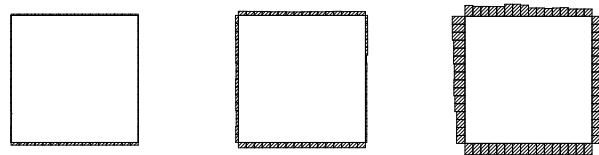
図-2 ボックスカルバートのモデル図

表-1 材料物性値

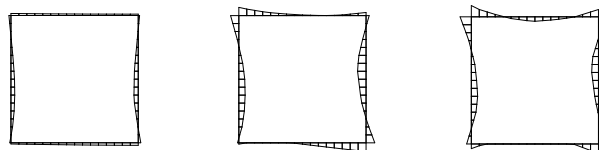
ヤング率 E	70.0 GPa
ポアソン比 ν	0.35
覆工の厚さ h	0.500 mm
一辺の長さ D	50.0mm
粒子間の摩擦抵抗角 ϕ	30.0°
みかけの粘着力 c	0.00
重力加速度 g	9.80 m/s ²
密度 ρ	2.70×10^3 kg/m ³
地盤粒子径 r_1, r_2	1.6mm, 3.0mm
覆工粒子径 r_{lining}	1.0mm
粒子の比 $n_1 : n_2$	3 : 2



10 ステップ目 20 ステップ目 50 ステップ目
図-3 粒子の積層



10 ステップ目 20 ステップ目 50 ステップ目
図-4 軸力の分布 (N 図)



10 ステップ目 20 ステップ目 50 ステップ目
図-5 曲げモーメントの分布 (M 図)

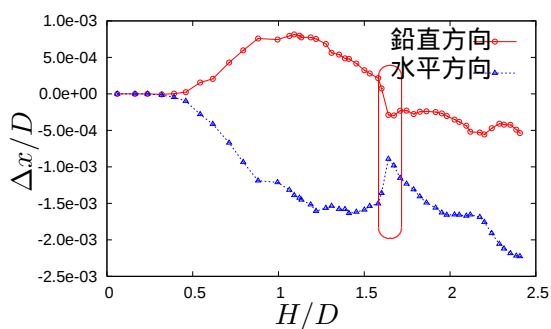


図-6 トンネル覆工の相対的な変位

参考文献

- 田村武, 林芳樹: 地盤との相互作用を考慮したトンネル覆工の座屈解析, 土木学会論文集, Vol.792/III-71, pp.199-210, 2005.
- Cundall, P. A. and Strack, O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, 1979.