個別要素法を用いたアスファルト混合物の変形シミュレーション

中央大学大学院	○学生会員	田中	正典
東亜道路工業(株)	正会員	村山	雅人
中央大学理工学部	フェロー会員	姫野	賢治

1. はじめに

従来舗装体の内部に発生する応力やひずみあるいは表面たわみなどの理論的解析は、多層弾性理論や有限要素 法などを用いて行われてきた.しかし、これらはいずれも層構造からなる舗装体全体を取り扱うものであり、一つ の層は等方的で均質な材料として取り扱っている.よって、例えば表層のアスファルト混合物層の変形挙動や内部 の応力・ひずみ状態をアスファルト混合物内部の骨材とアスファルトそれぞれに分けて解析することはできない. アスファルト混合物の変形を取り扱う数値解析手法は確立されていないのが現状である.

そこで本研究ではアスファルト混合物の変形を取り扱うことの出来る数値解析手法として,個別要素法を用いた 変形シミュレーションを行い,アスファルト混合物への個別要素法の適用可否について検討した.

2. 個別要素法の概説

個別要素法(Distinct Element Method: DEM)は、Cundall によって提案された不連続体解析手法の1つである. DEM は有限要素法(FEM)や境界要素法などの連続体解析手法とは異なり、要素を剛体と考え、その代わりに要素と要素の接触点や接触面に簡単な力学モデルを導入することによって、要素同士の相互作用と要素集合体の運動・変形を

追跡していく手法である.要素としては,多角形粒子や円形粒子(3次元では球形)が用いられるが,多角形粒子は円形粒子に比べ要素間の接触判定が複雑で計算が膨大になるため,一般的には円形粒子が 用いられている.

3. 研究概要

個別要素法の市販コンピュータプログラムである PFC2D(Particle Flow Cord in 2 Dimension: ITASCA 社製,以下 PFC2D)を用いて、モ デル混合物の一軸圧縮試験における変形シミュレーションを行った. PFC2D では円形要素を用いており、いびつな形状を持つ実際の骨材 についてのシミュレーションは困難であるので、モデル混合物とし てガラスビーズを粗骨材として用いた混合物を作成し、側圧 0kPa による三軸圧縮試験(一軸圧縮試験に相当)を行い、比較検討した. 三軸圧縮試験における条件は表-1 の通りである. 粗骨材の影響を明 確にするため、試験はポーラス混合物で行い、目標空隙率は 20%と した. また今回 PFC2D において接触点の力学モデルにはバネモデル のみを適用した.

表-1 三軸圧縮試験条件				
項目		条件		
供試体形状	高さ(mm)	100		
	直径(mm)	43		
変位速度		1mm/min		
側圧	(kPa)	0		
試験温度	(°C)	60 (水中)		
排水条件		排水		
特性値		粘着力c		
		内部摩擦角o		



4. シミュレーション

4-1. モデルの作成

図-1 一軸圧縮供試体ガラスビーズ

モデルとする混合物は、ガラスビーズを粗骨材とする直径 150mm×高さ 100mm の円柱状混合物をジャイレトリー締固め装置を用いて作製し、そこからコアボーリングにより直径 43mm×高さ 100mm の供試体を切取った(図-1).

キーワード:個別要素法,変形シミュレーション,円形要素,モデル混合物

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科道路研究室 Tel 03-3817-1796(FAX 同じ)

そこで同様に直径 150mm×高さ 100mm の壁で囲んだ Mold を想定し た枠を作成し,要素を充填するようプログラミングした.要素はガラ スビーズの場合と同様に直径 10mm の要素と 5mm の要素を質量比で 7:3 になるようにした.充填時において,残存内部応力が大きいと壁 を除去した際に要素が飛び散ってしまうため,可能な限り残存応力が 小さくなるように,要素充填個数や重力,計算繰り返し数などを調整 した. PFC2D ではこの充填方法の工夫が重要であり,今後の課題の 一つである.次に,枠の中央に縦 100mm×横 43mm の一軸圧縮試験 用供試体枠を想定した. コアカッタにより供試体を切取ったために, 切断されたビーズが供試体の周囲に残るので,この枠内のビーズと,

縦のラインを横切るか少しでも接するビーズは残し、枠の外にあるビーズは消去することで、供試体の初期平衡モ デルとした(図-2).このモデルを用いて一軸圧縮試験のシミュレートを行った.表-2にプログラム上の計算で用い た物性定数ならびに変数を示す.

4-2. 試験結果

図-3にシミュレーションで得られた計算値と実験から得られた実 測値について単位圧縮面積あたりの荷重と変位の関係を示す.特に 考慮した条件でいくつかの仮定はあるものの,三軸圧縮試験で得ら れた値を用いてモデル混合物の一軸圧縮試験結果にある程度近似す る結果を得ることができた.実測値と計算値が異なる部分は,特に 最大荷重までの荷重上昇である.実測値は,上凸型の曲線であるの に対し,計算値は直線的に増加していく,これは接触の力学モデル に粘性項が入っていないことが原因と考えられる.アスファルトは

粘弾性体であるので、今後は粘性項を含む粘弾性モデルの導入を検討する必要がある.

5. 考察

今回は、接触の力学モデルはバネのみで行ったが、実測値と計算 値の違いを見ると、粘性項を有する粘弾性モデルの導入が必要であ る.また実際の骨材に近い形状のモデルを如何に構築するか、また、 入力変数と実験データの関係を検討することが必要である.今回は 最も簡単な円形要素を用いたが、PFC2Dでは要素どうしを結合する 機能がある(クランプ機能)ので、これを用いて骨材の扁平率を再現 し、検討することができると考えられる

6. 結論

以下に、本研究で得られた結論を記す.

- ・個別要素法によってガラスビーズを用いたモデル混合物の一軸圧縮試験の変形シミュレーションを行った結果, 実験結果とある程度近似する結果が得られた.
- ・個別要素法はアスファルト混合物の数値計算及びシミュレーション手法として有効な道具になり得る.しかし多 くの課題も存在するため材料定数を求める実験と実験結果とシミュレーション結果を合わせた研究が必要である.

参考文献

1) Cundall,P.A., Strack O.D.L. : A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechniqe Vol.29 No.1, pp.47~65, 1979.



図-2 一軸供試体モデル

表-2 計算に用いた物性定数ならびに変数

項目	プログラム内表言	値	単位
粒子密度	density	2.5×10 ³	(kgf/m ³)
粒子間接着幅	pb_rad	1.7	(mm)
粒子間摩擦係数	friction	0.22	(-)
法線方向バネ定数	kn	ks×3	(Pa)
接線方向バネ定数	ks	変数	(Pa)
引張強度(Parallel bond)	pb_nstren	pb_sstren $\times 3$	(Pa)
せん断強度(Parallel bond)	pb_sstren	6×10^3	(Pa)
引張強度(接触点)	n_bond	s_bond $\times 3$	(Pa)
せん断強度(接触点)	s_bond	変数	(Pa)
重力加速度	gravity	0	(m/s ²)



図-3 計算値と実測値の荷重と変位の関係