

粒状体解析によるアスファルト舗装のモデル化における入力パラメータの検討

山口大学大学院 学生会員 ○佐々木 開都
正会員 中島 伸一郎

1. はじめに

路床、路盤、アスコン層で構成されるアスファルト舗装の力学解析では、FEM などの連続体解析が用いられることが多いが、クラックの発生・進展や大きな変形を表現する場合には、個別要素法に基づく粒状体解析が有効と考えられる。バインダによる骨材の結合は、構成粒子間のボンド機能により表現可能である。本研究では、個別要素法（DEM: Discrete Element Method）に基づく 2 次元粒状体解析コード PFC2D（Itasca 社）¹⁾を用いてアスファルト舗装とその力学挙動のモデル化を試みる。粒状体解析で入力できるパラメータは、仮想的な存在である粒子の物理特性と粒子間の力学特性を規定するものであるため、実際の物性値を直接入力することができず、試行錯誤的に同定していかざるを得ない。例えば井上ら²⁾は、種々の入力パラメータに対する要素試験シミュレーションを実施し、入力パラメータと力学的物性値との関係を決定している。そこで、本研究ではアスファルト舗装のモデル化における入力パラメータ検討を要素シミュレーションおよびモデル比較により行った。

2. 粒状体解析を用いたアスファルト舗装のモデル化

本研究では、図-1 のように粒子の集合体としてモデル化する。まず、縦 1.2 m×横 20 m の長方形を直径 0.05 m の粒子で満たし、重力解析した状態を路床モデルとする。次に、路床の直上に同じ直径の粒子を 6 層および 1 層規則正しく配列し、路盤・アスコン層をモデル化する。その後、全体が平衡状態となるように解析し、アスファルト舗装モデルとする。

図-2 のような線形バネモデルおよび粒子間強度を用いた一軸圧縮シミュレーションにより、弾性係数が 6000 MPa³⁾のアスコン層を想定し、入力パラメータを決める。路盤および路床はアスコン層より強度が低く、劣化や破壊のない舗装は平坦であることが望ましいと考えられるため、路盤および路床の入力パラメータは、アスコン層より弱く設定し、アスファルト舗装モデルやアスコン層の変形状況の比較により決定する。

一軸圧縮シミュレーションにより決定したアスファルト層の入力パラメータを表-1 に示す。このアスコン層の入力パラメータを基準に、表-2 に示すように、路盤は接触係数 E_c とコンタクトボンドの垂直強度 σ_c をアスコン層の 1/10 と 1/100 とした。また、路床は接触係数 E_c とコンタクトボンドの垂直強度 σ_c をアスコン層の 1/100~1/100000 で変化させ、全 6 ケースの重力解析を実施した。モデル全体の粒子間力が平衡状態に収束した時点の舗装モデルを図-3 に示す。路床の接触係数が小さい case 1 や case 5 は路面の沈下量が大きいが、これは自重による路床粒子間のオーバーラップ量が大きいためである。図-4 は、各モデルの路面のプロファイルを示している。重力を与える前の路面は水平かつ平坦であるが、重力を与えて平衡に達したあとは、路盤・

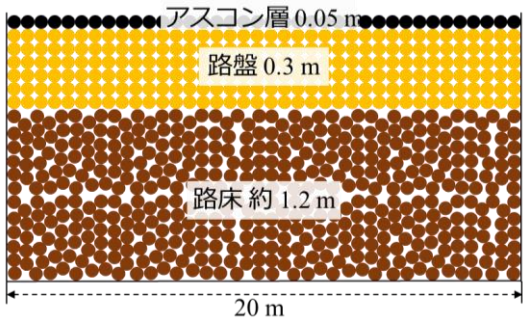


図-1 アスファルト舗装モデルの構成

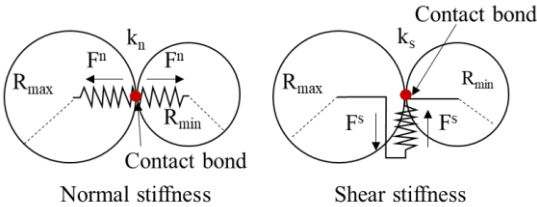


図-2 粒子間バネモデル (contact-bond)

表-1 決定したアスコン層の入力パラメータ

Minimum ball radius	R_{min}	[m]	0.05
Ball size ratio	R_{max}/R_{min}		1
Ball density	ρ	[kg/m ³]	2700
Contact modulus	E_c	[Pa]	8.22E+09
Normal/shear stiffness ratio	k_n/k_s		2
Friction coefficient	μ		0.37
Contact-bond normal strength	σ_c	[Pa]	9.50E+07
Contact-bond shear strength	τ_c	[Pa]	9.50E+07

キーワード 舗装 個別要素法 粒状体解析

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL 0836-85-9334

表-2 検討する路盤および路床の入力パラメータ

	路盤						路床					
	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case1	case2	case3	case4	case5	case6
E_c [Pa]	8.22E+08	8.22E+08	8.22E+08	8.22E+08	8.22E+07	8.22E+07	8.22E+04	8.22E+05	8.22E+06	8.22E+07	8.22E+04	8.22E+05
k_n/k_s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
μ	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
σ_c [Pa]	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+05	9.50E+05	9.50E+02	9.50E+03	9.50E+04	9.50E+05	9.50E+02	9.50E+03
τ_c [Pa]	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+06	9.50E+05	9.50E+05	9.50E+02	9.50E+03	9.50E+04	9.50E+05	9.50E+02	9.50E+03

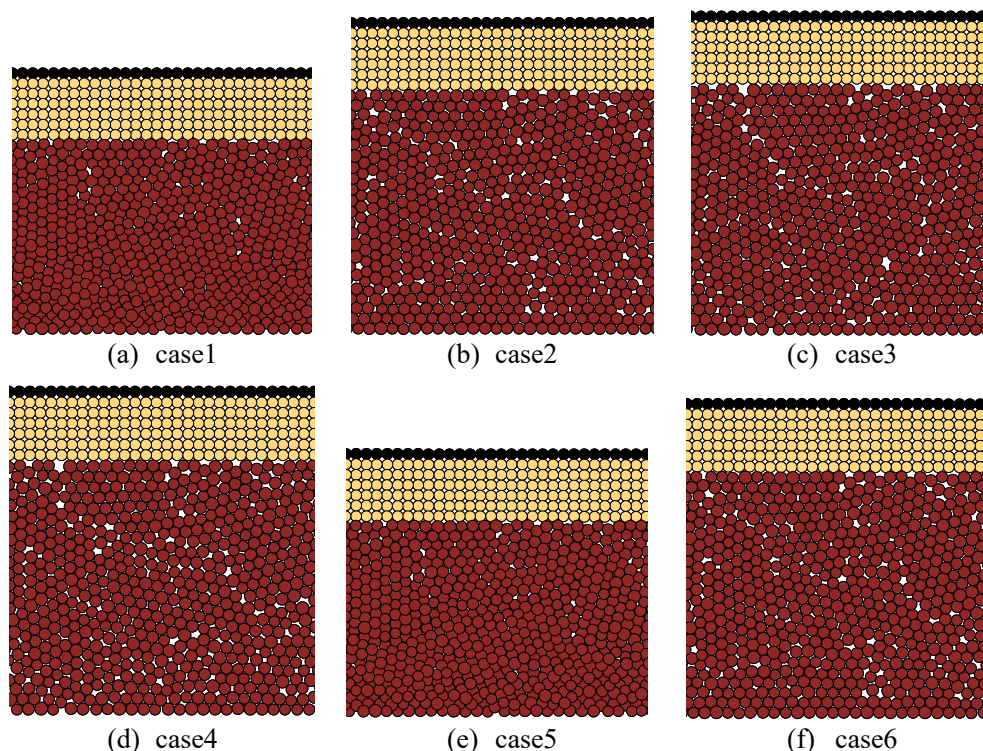


図-3 バネ定数および粒子間強度の違いによるアスファルト舗装モデル

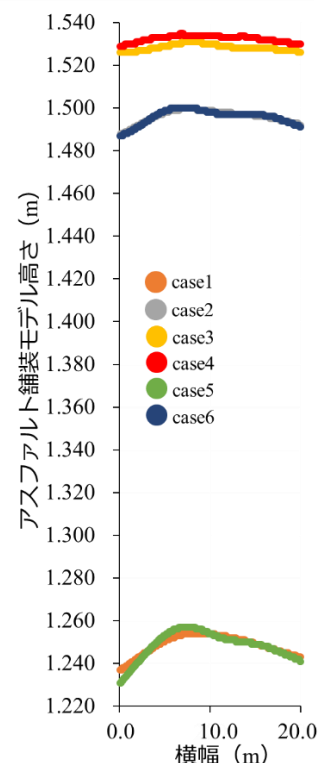


図-4 アスコン層の変形状況

路床の不均質な圧縮により中央が盛り上がる路面形状となっていることがわかる。case 1 および case 5 では 20 mm 程度の高低差，case 2 および case 6 では 13 mm 程度の高低差，case 3 および case 4 では 5 mm 程度の高低差が生じている。このような舗装モデルを用いて力学シミュレーションを行う際に，路面に定点載荷するような解析の場合は平坦性が大きな問題にならないが，路面上をタイヤが転がるような移動荷重を再現する場合には，タイヤがジャンプしたり局所的に過大な荷重が作用してしまうという問題が生じる。今回検討した 6 ケースの中では，路盤粒子の接触係数はアスコンの 1/10，路盤粒子は 1/1000 までであれば，路面の高低差を数 mm に抑えることができている。

3. まとめと今後の検討

アスファルト舗装の力学シミュレーションを粒状体解析によって行う場合の入力パラメータの設定について検討した。重力解析による路盤・路床の不均質な圧縮により，舗装モデルの路面部分の平坦性が失われ，高低差が生じてしまうことを確認した。今後は，パラメータの合理的な設定方法について検討するとともに，アスコン層にコンタクトボンドを用いるなどの手法を検討し，車両走行をシミュレーションするためのモデル作成方法を確立していく。

参考文献

- 1) Itasca Consulting Group (2008), Inc., PFC2D version4.0, User's Guide
- 2) 井上健太郎，三輪旭，清水則一，船津貴弘：クランプモデルを用いた粒状体解析手法による硬岩のモデル化におけるマイクロパラメータ決定手順，第 64 回年次学術講演会概要集，土木学会，pp.285-286，2009
- 3) 堀内智司，久保和幸，寺田剛：アスファルト混合物の弾性係数の範囲に関する一考察，土木学会論文集 E1，Vol.68，No.3，I_1-I_4，2012