The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	DEM/FEMモデルを用いた 粒状体への飛翔体衝突貫入現象の解析
Author(s)	竹田, 真之介
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72271
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　　（　竹田　真之介　）	
論文題名	DEM/FEMモデルを用いた粒状体への飛翔体衝突貫入現象の解析

論文内容の要旨

粒状体に対する飛翔体の衝突貫入現象は，惑星物理学，土木工学など広い分野で関心を持たれており実験やシミュレーションを用いた研究が行われている．粒状体は，固体粒子の集合体として構成される物質であるが，流体のような流動性を持つとともに，離散性ゆえに流体とも異なる不連続で複雑な挙動を示すことが知られており，衝撃的負荷を受ける場合の粒状体のふるまいについては未だ不明な点が多い．

本研究は離散要素法（DEM）を用いた粒状体モデルと有限要素法（FEM）を用いた弾性飛翔体モデルを用いて，粒状体に貫入する飛翔体の衝撃応答を粒状体内部の粒子の運動や飛翔体内部の応力波と関連付けて考察した．その結果，粒状体中の粒子運動の伝播速度は，飛翔体衝突速度と粒状体密度に依存し，この関係は単純な一次元的モデルによって説明できることを明らかにした．また，上述の一次元的モデルを低密度の場合に適用し，規則格子を用いて密度と対応させた粒子間距離を用いて，衝突直後の伝播速度の変化を説明できることを示した．

さらに，粒状体の充填率は粒径と粒子数から決定し，同一の低充填率であっても様々な組み合わせが考えられることから同一の低充填率に対して，粒子径が異なる粒子を含む場合や粒子の初期接触がある場合の粒状体モデルについて，飛翔体荷重と粒状体密度分布変化を比較した．粒状体中の粒子配置によって，高密度領域の局所的な伝播状態は異なるが，高密度領域の伝播速度や，飛翔体に加わる荷重は粒子の充填率にのみ依存し，粒子配置の影響を受けないことが分かった．充填形態によって飛翔体荷重の時間変化に局所的な差はみられるものの，粒状体初期密度・飛翔体衝突速度さえ同じであれば，飛翔体荷重の平均的な時間変化には差が生じないこと，併せて，高密度領域の伝播速度にも差が生じないことが明らかになった．これらのことから，衝突速度・粒状体密度をパラメータとして用いることで，飛翔体衝突時の動的挙動を，粒状体内部の不均一性に依らず，統一的に扱えることが確認された．

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　竹田　真之介　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	小林 秀敏
	副 査　教 授	尾方 成信
	副 査　教 授	垂水 竜一
	副 査　准教授	堀川 敬太郎

論文審査の結果の要旨

本論文は、粒状体に貫入する飛翔体の衝撃応答を粒状体内部の粒子の運動や飛翔体内部の応力波の伝播を考察するために、離散要素法を用いた粒状体モデルと有限要素法を用いた弾性飛翔体モデルを用いて、飛翔体衝突シミュレーションを行っている。その際、ユニークなアイデアで比較的簡便に低充填率モデルを作製して用い、初期充填率の影響についても考察している。その結果、

- 飛翔体が衝突した後、衝突面近傍に高密度領域が形成され、放射状に粒状体内部に伝播すること、その伝播速度は時間経過とともに徐々に低下し、飛翔体の衝突速度が大きい程、また、粒状体の初期充填率が大きい程、より大きくなること、しかも、この関係は単純な一次元的モデルによって説明できること、また、粒子径が異なる粒子を含む粒状体や、粒子間の初期接触がある粒状体であっても、粒子の充填率と衝突速度が同じであれば、高密度領域の伝播速度や飛翔体に加わる荷重は影響を受けないこと、
- 飛翔体衝突点周辺から飛散する粒子の飛散挙動は、たとえ同じ衝突速度、同じ粒状体充填率であっても、飛翔体の先頭形状が先細り形状の場合と平頭形状の場合で異なり、後者の方がより深い位置からの粒子が、より遠くへ飛散していること、そして、それは伝播している高密度領域の背後に当たって跳ね返され飛散した粒子の寄与が大きいと考えられること、
- 飛翔体衝突時の飛翔体荷重は、飛翔体前方の粒子の運動量変化の総和と深い関係があり、衝突直後はその総和の80%程度、貫入中は総和の1/3程度となり、平頭飛翔体の先端に生じる破砕コーンの形成事実を示唆していること、また、衝突直後にピークを示した飛翔耐荷重は、飛翔体内の応力波の往復によって周期的に減少していくこと、

等が明らかになった。これらの知見は、工学的・工業的に重要な新しい知見であり、本論文を博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。