敷砂緩衝材の衝撃による伝達衝撃力の発達に関する個別要素法解析

名古屋工業大学	学生会員	○内藤	駿佑
名古屋工業大学	正会員	前田	健一
名古屋工業大学大学院	学生会員	内藤	直人
構研エンジニアリング	正会員	牛渡	裕二
土木研究所寒地土木研究所	正会員	山口	悟

1. はじめに

我が国は、高度経済成長期を中心に整備されてきた社会 インフラの大更新時代を迎えようとしている。そこで、老 朽化した構造物を長寿命化することが重要課題である。毎 年多発する落石の対策工も例外ではなく、その効率的な対 策方法及び評価手法の提案が求められている。

本研究では、ロックシェッド上面に設置される敷砂緩衝 材に着目した. 重錘衝突時に敷砂底面に伝達する伝達衝撃 力は、ロックシェッドへの入力衝撃力となるため、その予 測方法が必要である. しかし、入力エネルギーの違いによ って重錘衝撃力と伝達衝撃力の最大値の比率は異なるなど、 伝達衝撃力の発達メカニズムは良く分かっていない.

そこで、個別要素法 (Discrete Element Method,以下 DEM と略す)解析¹⁾によって、重錘の敷砂への接触時間と伝達 衝撃力の発達の関係について検討した.

2. 衝撃力伝達に関する DEM 解析の概要

2. 1 DEM 解析モデルの概要

本研究では、図-1 に示すような二次元 DEM 解析を行った. 落体は重錘形状とし、円形粒子を剛結することで表現した. また、敷砂の土粒子モデルは、土の圧縮性と高い強度の両方の性能を再現するために3 つの円形粒子を三角形配置し、直径の50%のオーバーラップで剛結して一つの非円形粒子とした. ばねは線形ばねを用いている. 解析パラメータは、既報に従い、表-1 に示す値を用いている.



表-1 DEM 解析に用いた敷砂の基本的パラメータ

パラメータ	記号(単位)	基本設定値	
	D(m)		
粒子直径	最大粒径 D _{max}	0.020	
	最大粒径 Dmin	0.010	
	平均粒径D50	0.015	
粒子の密度	ρ_s (kg/m ³)	2650	
接触面法線方向ばね定数	k_n (N/m)	2.0×10 ⁷	
接触面接線方向ばね定数	<i>k</i> _s (N/m)	5.0×10 ⁶	
接触面法線方向減衰定数	h _n	1.0	
接触面接線方向減衰定数	hs	1.0	
粒子間摩擦角	ϕ_{μ} (deg.)	25	

2. 2 入力エネルギーが異なる場合の衝撃力波形の比較

図-2 では、落下条件が異なる 2 ケースの DEM 解析結果 の比較を行う.敷砂緩衝材は幅 W=5.0m、厚さ T=0.7m で、 図-2(a)は重錘質量 M^f=2.0t で落下高さ H=10.0m、図-2(b)は M^f=5.0t で H=15.0m のケースである.どちらのケースも伝 達衝撃力の方が重錘衝撃力に比べて大きくなることが分か る.しかし、重錘衝撃力と伝達衝撃力の最大値の比率を比 べると、(a)の条件では、伝達衝撃力は重錘衝撃力の 1.40 倍 であるのに対し、(b)の条件では、伝達衝撃力は重錘衝撃力 の 1.13 倍であり、2 つの解析ケースで差異が生じることが 分かる.このように、入力エネルギーの条件によって重錘 衝撃力と伝達衝撃力の最大値の関係は異なることも、伝達 衝撃力の予測を難しくする要因の一つである.



キーワード 敷砂緩衝材,衝撃力,個別要素法

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497





図-3 重錘衝突による敷砂内の応力伝播の様子: (左列)通常の自由落下;(右列) t₀=7.8ms で重錘消滅

3. 重錘接触時間と伝達衝撃力の発達の関係

本章では、重錘の敷砂への接触時間と敷砂底面で受ける 伝達衝撃力の発達の関係について、数値解析の特徴を活か した検討を行う.検討方法は、重錘を自由落下させた後に、 所定の時刻で重錘を消してしまうことで、敷砂へ力が伝わ らず、底面からの応力の反射波が再び重錘に反射し底面へ 反射しないようにする.これにより、重錘のどこまでの貫 入過程が伝達衝撃力の発達にどれだけ影響するかを見るこ とができる.今回、解析対象としたケースは、重錘質量 M^{f} =2.0t で落下高さ H=10.0m のケースである.

図-3 には、自由落下時の敷砂内の応力伝播状況(左列) と、貫入途中に重錘を消した時の応力伝播状況(右列)を 示す. t₀=7.8ms に重錘を消してからは、敷砂に新たに応力が かからない様子が確認できる.また、t=16.0msのとき、右 列の重錘を消したケースが、伝達衝撃力が最大値の瞬間で ある.さらに、t=20.0msのとき、左列に示した自由落下さ せたケースが、伝達衝撃力が最大値になるときの応力状態 を示している.

図-4 には、貫入途中に重錘を消した時の重錘衝撃力波形 (青色実線)及び伝達衝撃力波形(赤色実線),通常の自由 落下時の重錘衝撃力波形(灰色破線)及び伝達衝撃力波形 (灰色実線)を示す. 図-4(a)より, 重錘を t=3.6ms まで接 触しその後消去すると、重錘衝撃力は自由落下時の80%程 度まで立ち上がるが、伝達衝撃力は自由落下時の最大値の 20%程度しか発現しない. 続いて, 図-4(b)から, 重錘消去 の時刻を重錘衝撃力の最大値となる to=7.8ms とした場合で も、伝達衝撃力は70%にも満たないことが分かった. さら に、 図-4(c)より、重錘衝撃力が最大値に達し、重錘衝撃力 が低下過程に入る to=10.8ms まで貫入させると、伝達衝撃力 は 80%を超える. そして, 図-4(d)から, 重錘が t₀=14.0ms まで貫入し続けた場合、伝達衝撃力は最大値の 97%まで達 した. よって、伝達衝撃力の波形には、重錘衝撃力が最大 値になるまでの波形だけでなく、重錘衝撃力の低下過程の 寄与も大きいと言える.

4. まとめ

本研究では、敷砂の衝撃力伝達に関して二次元 DEM 解析 を実施し、重錘の敷砂への接触時間と敷砂底面で受ける伝 達衝撃力の発達の関係について数値解析的検討を行った. 解析結果より、通常の自由落下時に生じる伝達衝撃力の最 大値は、重錘衝撃力が最大値になるまでの衝撃力の増加過 程だけでなく、重錘衝撃力が最大値に達した後の衝撃力の 低下過程の寄与も大きいことが分かった.

参考文献

 羽柴寛文,前田健一,内藤直人,山口 悟,牛渡裕二, 鈴木健太郎,川瀬良司:落石特性の異なる水平堆積層内 の衝撃力伝達挙動に関する二次元個別要素法解析,土木 学会論文集 A2(応用力学), Vol.68, No.2, pp.443-454, 2012.9.