重錘落下衝撃を受けるソイルセメント層の耐衝撃挙動に関する弾塑性応答解析

室蘭工業大学大学院	学生会員	○ トゥラシット	トゥン
(株)構研エンジニアリング	正会員	牛渡	裕二

1. **はじめに**

本研究では、ソイルセメントを活用した緩衝構造の衝 撃力緩衝効果を適切に再現可能な解析モデルの構築を目 的として、ソイルセメント層単体およびソイルセメント 層にジオグリッドを埋設し、かつ EPS と併用した緩衝構 造について三次元弾塑性衝撃応答解析を実施し、重錘落 下衝撃実験結果との比較を行った。

2. 数值解析概要

2.1 試験体概要

図1には、実験装置の概要を示している。本実験装置 は、鋼製底盤(1.6 m 四方、厚さ 75 mm)と底盤を支持する 9 個の反力測定用ロードセルから構成されている。

実験は、本装置を剛基礎上に設置し、ソイルセメント 層単体およびソイルセメント層にジオグリッドを埋設し、 かつその下方に EPS を設置した 2 種類について、重錘を 所定の高さより自由落下させることにより実施している.

本実験における測定項目は,重錘衝撃力,伝達衝撃力 および重錘貫入量である.なお,重錘衝撃力は重錘に組 み込まれている衝撃荷重測定用ロードセル,伝達衝撃力 は底盤を支持している9個のロードセル,重錘貫入量は レーザ式変位計を用いて測定することとした.

本数値解析では、はじめに重錘衝突速度が*V* = 3.0 m/s におけるソイルセメント層単体(1 m 四方,厚さ 300 mm) の試験体を対象に数値解析を行い、実験結果との比較に よって適切な材料構成則モデルの構築を行う.その後,同 定されたパラメータを用いて、ソイルセメント層にジオ グリッドを埋設し、かつその下方に EPS を設置した場合 について数値解析を行い、実験結果との比較を行った.

2.2 有限要素モデル

図2には、要素分割状況の一例としてソイルセメント層



室蘭工業大学大学院	正 会 員	小室	雅人
釧路工業高等専門学校	フェロー	岸	徳光

にジオグリッドを埋設し、その下に EPS を設置した場合 について示している.使用した要素は、ソイルセメント 層、EPS、重錘および底盤に関しては8節点固体要素を、 またソイルセメント層に埋設するジオグリッドに関して はシェル要素を使用した.なお、実際のジオグリッドは 格子状であるが、本数値解析ではその軸剛性が等価とな るようにシェル要素でモデル化している.

減衰定数は、質量比例分のみを考慮するものとし、鉛 直方向最低次固有振動数に対して 1.0% と設定した.

2.3 材料構成則

図3には、ソイルセメント層とEPSに関する応力-ひ ずみ関係を示している。ソイルセメント層に関しては、既 往の研究でコンクリートに適用されているバイリニア型 の応力-ひずみ関係を適用することとした。降伏判定に は Drucker-Prager の降伏条件式を適用し、内部摩擦角は 30°とした。なお、ジオグリッドに関しては、明確な弾性 係数やポアソン比が不明であることより、別途実施した静 載荷実験結果を参考に、密度、弾性係数およびポアソン比 を、それぞれ 0.289 t/m³, 0.4 GPa および 0.4 と設定した。

本研究では、別途実施したソイルセメントの一軸圧縮 試験結果(平均圧縮強度:1.1 MPa)を参考に、**表1**に示す ようにソイルセメントの圧縮強度および引張強度をパラ メータとして解析を実施し、実験結果との比較によって 適切な材料物性値の検討を行った。

3. 数値解析結果および考察

3.1 ソイルセメント層単体の場合

図4には、重錘衝突速度V = 3 m/s におけるソイルセメントの圧縮強度 f'_c をパラメータに取った場合の各種応答波形を実験結果と比較する形で示している.

図4(a) に示す重錘衝撃力波形を見ると,圧縮強度を1 MPaとする場合には実験結果の1/2程度の値を示している.また,ソイルセメントの圧縮強度を増加させるほど

表1 ソイルセメントに関するパラメーター覧

解析 ケース	E縮強度 f _c (MPa)	引張強度 ft (MPa)	ポアソン比 v
case1	1		
case2	2	$0.1 f_{c}'$	
case3	3		0
case4		0.15	0
case5	3	0.10]
case6		0.05	

キーワード:ソイルセメント,ジオグリッド, EPS,有限要素法,材料構成則,重錘落下衝撃実験 連絡先:〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228



実験結果の最大衝撃力に近づく傾向にあることが分かる. なお,図4(b)に示す伝達衝撃力に関してもソイルセメン トの圧縮強度が大きいほど,実験結果に近づく傾向が見 られる.特に圧縮強度を3 MPa とする場合には,実験結 果における伝達衝撃力の作用時間とほぼ等しい.

一方, 図4(c)の重錘貫入量波形を見ると, 圧縮強度が 1 MPa の場合には, 最大変位が 20 mm 程度と実験結果よ りも大きい. また, 圧縮強度が 3 MPa の場合には, 最大変 位は 10 mm 程度と実験結果よりも小さく評価されている.

図5には圧縮強度を3MPaと固定し、引張強度 f_t を変 化させた場合の解析結果を実験結果と比較して示してい る.図より、重錘衝撃力、伝達衝撃力および重錘貫入量に 及ぼす引張強度 f_t の影響は極めて小さいことが分かる.

図6には、引張強度 fi を変化させた場合のソイルセメント層衝突面および断面方向のひび割れ分布を実験終了後のひび割れ状況と比較して示している. なお、図の赤色領域は数値解析におけるひび割れ発生箇所を意味している. 両者のひび割れ状況を比較すると、引張強度を圧縮強度の 1/60 程度とする場合が、最も実験結果のひび割れ状況に近いものと考えられる.

これより、ソイルセメント層単体の材料構成則モデルと しては、圧縮強度 f'_c を3 MPa、引張強度を $f'_c/60$ ($f_t = 0.05$ MPa)と設定して、以後の解析を実施する.

3.2 ソイルセメント層と EPS を組み合わせた場合

図7には、重錘衝突速度*V*=4 m/s における実験結果と 解析結果を比較して示している.図より、実験結果の重 錘衝撃力波形は,図4および図5に示すソイルセメント 層単体の場合と異なり,振幅の大きな第1波の後に,緩 やかな正弦半波状の波形が存在している.この正弦半波 状の波形は EPS の変形に伴うエネルギー吸収効果が発揮 されていることを意味している.

解析結果と実験結果を比較すると、重錘衝撃力に関す る解析結果(図7a参照)は実験結果の最大値や波形性状と 必ずしも一致していないものの、波形の立ち上がりや荷 重の継続時間は両者概ね一致していることが分かる.一 方、伝達衝撃力に関しては、解析結果(図7b参照)が実験 結果の1/2程度と小さいものの、荷重の継続時間は概ね一 致している.

(c) 図に示す重錘貫入量に着目すると,解析結果は実験 結果よりも若干変位が大きく評価されているものの,実 験結果では衝突初期から約 22 ms,解析結果では 28 ms 程 度で最大値を示した後,いずれの場合においても変位が 減少しており,数値解析によって重錘のリバウンドを再 現できていることが分かる.

4. まとめ

- 1) ソイルセメント層単体の材料構成則モデルとしては、圧縮強度 f'_c を3 MPa,引張強度を $f'_c/60(f_t = 0.05$ MPa) と設定する場合に、実験結果を大略再現可能である.
- 2) ソイルセメント層と EPS を組み合わせた場合には、重 錘衝撃力および伝達衝撃力の解析結果は、実験結果の 最大値や波形性状と必ずしも一致していないものの、 波形の立ち上がりや荷重継続時間は両者概ね一致する。