ソイルセメントと EPS ブロックを組み合わせた緩衝工に関する 重錘落下衝撃実験

Folling-weight impact test of absorbing system composed of soil-cement and Expanded Polystyrene

室蘭工業大学大学院	○ 学生会員	岡田	伸之 (Nobuyuki Okada)
室蘭工業大学大学院	フェロー	岸	徳光 (Norimitsu Kishi)
構研エンジニアリング	正会員	牛渡	祐二 (Yuji Ushiwatari)
室蘭工業大学大学院	正会員	小室	雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学大学院	正会員	栗橋	祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線を通過する道路において,落石 災害の危険性がある区間には,落石防護擁壁などの落石防 護構造物が建設されている.一方,昨今の異常気象や巨大 地震の発生および調査方法の高度化などにより,設計落石 荷重が設計当初よりも大きく評価されているケースが少な くない.そのため,落石防護構造物の耐衝撃性の向上が強 く求められているのが現状である.この種の構造物の耐衝 撃性向上法としては,落石衝突面に敷砂緩衝材などの緩衝 工を設置する方法がある.しかしながら,落石防護擁壁の 場合には,落石の衝突位置が鉛直面であることから敷砂の 設置が困難であり,効率な緩衝システムの開発に向けた検 討が諸研究機関で実施されている.著者らも,過去に発泡 スチロールブロック(以後, EPS)と芯材 RC 版から成る二 層緩衝構造を開発している.

このような背景より,著者らは,さらに緩衝性能に優れ る新しい複合緩衝システムとして,図-1に示す表層材と してソイルセメント,芯材としてジオグリッド,裏層材と して EPS ブロックを積層する方法を考察した.この緩衝シ ステムは,ジオグリッドで補強されたソイルセメントで落 石による衝撃力を吸収するとともに広く分散させ,さらに EPS ブロックでエネルギー吸収するという概念を下に提案 されたものである.

本研究では,新しい緩衝システムの実用化のための基礎 **表-1 実験ケース一覧**

試験体名	ソイル セメント厚 (cm)	EPS 厚 (cm)	衝突 速度 (m/s)	入力 エネルギー (kJ)
S20E-V2.0		25	2.0	0.80
S20E-V2.5			2.5	1.25
S20E-V3.0			3.0	1.80
S20E-V4.0	20		4.0	3.20
S20E-V5.0			5.0	5.00
S20E-V5.5			5.5	6.05
S20E-V6.0			6.0	7.20
S30E-V3.0			3.0	1.80
S30E-V4.0			4.0	3.20
S30E-V5.0			5.0	5.00
S30E-V6.0	30		6.0	7.20
S30E-V7.0			7.0	9.80
S30E-V7.5			7.5	11.25



図-1 新しい複合緩衝システム



図-2 実験装置

データを収集することを目的として,ジオグリッドを配置 しないソイルセメントと EPS ブロックを組み合わせた緩衝 工に関する重錘落下衝撃実験を行った.なお,本研究はソ イルセメント厚さおよび重錘衝突速度をパラメータとして 実験を行った.

2. 実験概要

図-2には、実験装置の概要を示している.本実験装置 は、荷重計が設置された鋼製底盤(1.6 m四方,厚さ75 mm) と底盤を支持する9個の反力計測用のロードセルから構成 されている.荷重計は、底盤中央部および左側50 mmの位 置に1個ずつ、および中央部から右側端部まで50 mm間隔



図-4 各種応答波形



図-3 EPS 応力 - ひずみ関係

で11 個の計 12 個設置されており,その受圧面は底盤上面 と同一平面上に設置されている.実験は,本装置を剛基礎 上に設置し,EPS ブロックとソイルセメントを組み合わせ た試験体を装置の中央に配置して,重錘を所定の速度で底 盤中央部に落下させる形で行った.なお,重錘質量は400 kg,先端部直径は φ 200 mm であり,その底面は片当たり 防止のために 2 mm のテーパが設けられている.

表-1には、本実験ケースの一覧を示している.また、試験体は平面寸法1m四方のEPS ブロックとソイルセメントを積層する形で構成されている. EPS ブロックの厚さは25 cm,ソイルセメントの厚さは20 および30 cm である.

表中の実験ケース名のうち,第1項目はソイルセメントの厚さ(cm)を示し,第2項目は衝突速度(m/s)を表している.表中には入力エネルギーも示している.ソイルセメントは,比較的粒度分布が広い細骨材と早強ポルトランドセメントを用いて,細骨材の含水比を15%(最適含水比)単位セメント量を100 kg/m³として製造した.また,実験時におけるソイルセメントの圧縮強度は0.8 MPaであった. EPS ブロックは,密度が20 kg/m³,発泡倍率が50倍の型内発泡法のものを用いている.**図**-3 には,EPS ブロックの静的な応力-ひずみ関係を示している.

測定項目は,重錘衝撃力,底盤反力,底盤面における伝 達応力分布,および重錘貫入量(以後,貫入量)である.な お、重錘衝撃力は重錘に内蔵されているロードセル、底盤 反力は底盤を支持している9個のロードセル、底盤上への 伝達応力分布は前述の荷重計、および貫入量はレーザ式変 位計を用いて測定することとした.

3. 重錘衝撃載荷実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-4には,重錘衝撃力,底盤反力,載荷点直下の伝達 応力(以下,載荷点伝達応力)および貫入量に関する時刻歴 応答波形を示している.

重錘衝撃力波形は,重錘衝突により急激に立ち上がる第 1波目と継続時間の長い第2波目から構成されている.ま た衝突速度の増加に伴い,第1波目の振幅が増大するとと もに,第2波目の継続時間が長くなっていることが分かる.

底盤反力波形は衝突速度が小さい場合には,正弦半波状 の波形が見受けられる.また,衝突速度の増大に伴ってそ の継続時間が短くなり,かつ振幅が小さい第2波が励起す る傾向にある.なお,第1波目の最大振幅は衝突速度によ らずほぼ同様でソイルセメント厚が小さい場合において小 さくなる傾向にある.

載荷点の伝達応力は衝突速度が小さく,かつ最大振幅が EPS ブロックの降伏応力(0.2 MPa 程度)以下の場合には, 降伏応力を上限値とする継続時間の長い波形性状を示して いる.一方,衝突速度が大きくかつ最大振幅が0.2 MPa 以 上の場合には,EPS が重錘径状にせん断破壊されて伝達応 力が急増し最大値に到達した後一気に除荷状態になる傾向 を示している.また,同一衝突速度における伝達応力の最 大値はソイルセメント厚が小さい場合で大きくなる傾向に ある.これは,1)入力エネルギーが大きい場合には,ソイ ルセメントがコーン状の破壊面を有する押し抜きせん断破 壊に至ること,2) EPS ブロックに作用するせん断コーン底 面の面積はソイルセメントの厚さに対応して大きくなるこ



図-4 重錘衝撃力,底盤反力および伝達応力-重錘貫入量関係



写真-1 ソイルセメントの破壊性状の一例 (S30-E-V5.0 試験体)

と、によるものと推察される.

貫入量は,S30E-V3.0を除き,いずれのケースにおいて も正弦半波状の第1波が励起した後,振動中心が変位の残 留分だけシフトした状態で減衰自由振動を呈している.ま た,同一衝突速度における波形性状を比較すると,ソイル セメント厚が小さい場合において最大振幅が大きくかつ第 1波の周期が長くなる傾向にあることがわかる.これは, ソイルセメント厚が小さい場合には,上述のとおり,EPS 材への荷重の作用面積も小さくなることにより,結果とし て EPS は大きく変形することとなる.

3.2 重錘衝撃力, 底盤反力および伝達応力-重錘貫入量関係

図-4には、重錘衝撃力、底盤反力および載荷点伝達応 力と貫入量との関係を示している. 重錘衝撃力-貫入量関 係より、重錘衝撃力は衝突速度の増加に伴って増大してい ることが分かる.また、その分布性状を見ると、重錘貫入 初期に重錘衝撃力が急増し、最大値到達後一気に除荷に転 じている.その後、ほぼ一定の荷重レベルを保ち貫入量の みが増大している.これは、重錘貫入初期にソイルセメン トが破壊し、その後 EPS ブロックが大きく変形しているこ とを暗示している.

一方,底盤反力-貫入量関係を見ると,底盤反力の最大 値は重錘衝撃力の場合よりも小さく,かつ衝突速度によら ずほぼ一定の値を示していることがわかる.また,重錘衝 撃力の場合と比較する,底盤反力は貫入量の増加に伴って 緩い勾配で上昇し,最大値到達後貫入量の増加を伴いなが ら小さくなる傾向を示している.これは,ソイルセメント



図-5 EPS の中央部切断面の破壊性状

がせん断破壊に至った後, EPS ブロックの変形により衝撃 エネルギーが吸収されていることを示しているものと考え られる.なお、ソイルセメント厚が小さい場合や衝突速度 が大きい場合には、底盤反力除荷後、貫入量の増大に伴っ て底盤反力が再度載荷状態に至る傾向にある.このような 性状は、載荷点伝達応力-貫入量関係において、伝達応力 が EPS ブロックの降伏応力 (0.2 MPa 程度)を上回る場合に 見られる.これより、入力エネルギーが大きく EPS の応力 状態が応力勾配が急増する領域広く、達していることを暗 示している.

3.3 ソイルセメントおよび EPS ブロックの破壊性状

写真-1には,実験終了後におけるソイルセメントの破壊性状の一例を示している.ソイルセメントは,衝突速度に関わらず,重錘外縁から40~50°の角度で押抜きせん断コーンを形成して破壊に至っている.

図-5には、実験終了後における EPS ブロック中央部切 断面の破壊性状を示している. EPS ブロック切断面には押 抜きせん断コーンが形成されており、ソイルセメント厚に よらず衝突速度の増加に伴って EPS ブロックのひびわれ幅 や長さおよび変形量が増大していることがわかる.また、 ソイルセメント厚が大きい場合の方が EPS ブロック上面に おける見かけ上の載荷面の幅が大きいことも確認できる..



図-7 伝達応力分布



図-6 各種応答値と入力エネルギーの関係

以上より、ソイルセメントと EPS ブロックを組み合わせた緩衝工のメカニズムは、

- i) ソイルセメントの押抜きせん断破壊により衝撃エネル ギーが吸収されるとともに、押抜きせん断コーン底面 部より衝撃力が EPS ブロックに伝達される。
- ii) EPS ブロックは衝撃力の分散範囲に対応して変形し衝 撃エネルギーを吸収する,

であるものと考えられる.

3.4 各種応答値と入力エネルギーの関係

図-6には、各応答値と入力エネルギーの関係を示している。図より、重錘衝撃力は、入力エネルギーの増加に伴って増大し、かつソイルセメント厚が大きい場合ほど大きくなる傾向にあることがわかる。一方、底盤反力は衝突速度によらずほぼ一定の値を示している。また、ソイルセメント厚による影響も小さい。これは、前述の図-4に示したように EPS ブロックの変形により衝撃エネルギーが吸収され衝撃力が低減されることによるものである。

載荷点における伝達応力および最大貫入量は,入力エネ ルギーの増加に伴って増大し,かつソイルセメント厚が大 きい場合ほど小さくなる傾向にある.これより,ソイルセ メント厚が大きい場合ほど緩衝性能が高いことがわかる. このことより,入力エネルギーの観点から,緩衝性能を評 価すると,ソイルセメント厚を20から30 cm に増加させる ことにより緩衝性能が約1.5 倍向上することがわかる.

3.5 伝達応力分布

図-7には、各試験体の伝達応力波形を衝突速度 V=3,

6および7.5 m/s の場合について三次元的に示している. 横軸には重錘落下位置(試験体中心)からの距離,奥行き方向には時間軸を,縦軸には伝達応力を取っている. 図より,いずれのケースにおいても,伝達応力は試験体の外縁まで分布していることがわかる.また,ソイルセメント厚が大きい場合において,各位置の伝達応力は小さくなる傾向にあり,S30E-V7.5とS20E-V6.0を比較すると最大値や分布が同程度になっている.これより,ソイルセメント厚が厚いほど緩衝性能に優れていることがわかる.これは,ソイルセメント厚が大きい場合には,ソイルセメントの押抜きせん断破壊時に衝撃エネルギーが消費されるとともに衝撃力がソイルセメントの押抜きせん断コーンの底面を介してEPS ブロックに伝達されることによるものと考えられる.

4. まとめ

本研究では、ソイルセメントと EPS ブロックを組み合わ せた緩衝工に関する基礎データの収集を目的にソイルセメ ント厚さおよび重錘衝突速度を変化させ、重錘落下衝撃実 験を実施した.本研究で得られた結果をまとめると、以下 の通りである.

- ソイルセメントは衝突速度に関わらず重錘外縁から40 ~50°の角度で押抜きせん断コーンを形成して破壊に 至る。
- EPS ブロックはソイルセメント厚に関わらず衝突速度の増加に伴ってひび割れや変形量が増大し、押抜きせん断コーンを形成する.
- ソイルセメント厚が厚い場合の緩衝効果は薄い場合よりも大きく、ソイルセメント厚を20から30cmとすることで入力エネルギーの観点から緩衝性能を約1.5倍向上する。

参考文献

- 岸徳光,三上浩,栗橋祐介:低速度衝撃を受ける四辺 単純支持 RC 版の耐衝撃設計法に関する一提案,構造 工学論文集, Vol.55A, pp.1327-1336, 2009
- 2)岸 徳光,今野久志,岡田慎哉:重錘落下衝撃荷重載 荷時の大型 RC 桁に関する衝撃応答下解析法の適用性 検討,構造工学論文集,Vol.53, pp.1227-1238, 2007.3
- 3) 土木学会:構造工学シリーズ8ロックシェッドの耐衝 撃設計,平成10年11月