砕石緩衝材の緩衝性能に関する重錘落下衝撃実験

Falling weight impact tests of compacted gravel cushion

 室蘭工業大学
 正 員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)

 チューリッヒ工科大学
 Roethlin Christina

 寒地土木研究所
 正 員 今野 久志 (Hisashi Konno)

 釧路工業高等専門学校
 フェロー 岸 徳光 (Norimitu Kishi)

 室蘭工業大学
 学生員 西尾 友宏 (Tomohiro Nishio)

1. はじめに

落石災害から道路交通車両や人命を保護する落石防護構造物の1つにロックシェッドがある。通常、ロックシェッドの頂版部には緩衝材として、砂や現地発生土などが設置されている。また、ヨーロッパ諸国では、砕石を用いる場合もある。著者らは、これまで、砂や砕石を単体もしくは、RC版やロックシェッドの上部に設置した場合に関する重錘落下衝撃実験を多数行ってきた1)。その結果、砕石を緩衝材とする場合(以後、砕石緩衝材と呼ぶ)には、敷砂緩衝材の場合よりも、重錘衝撃力が大きく、構造物に及ぼす影響も大きいことを明らかにしている。一方で、砕石緩衝材の場合の重錘貫入量は、敷砂緩衝材の場合よりも小さいことから、過大な入力エネルギーが作用する場合には、伝達衝撃応力の局所化を回避できるものと考えられる。

これまでの研究では、敷砂緩衝材の重錘落下衝撃実験を行い、重錘衝撃力、重錘貫入量、伝達衝撃力および伝達衝撃応力の分布について検討し、敷砂緩衝材の緩衝特性を明らかにしている²⁾. しかしながら、砕石緩衝材を対象とした検討はほとんど行われていないのが現状である.

このような背景より、本研究では、砕石緩衝材の緩衝特性を解明することを目的に、砕石単層の重錘落下衝撃実験を行った。実験は、砕石の敷厚および重錘落下高さを変化させて実施した。なお、各ケースにつき3回の衝撃実験を行い、実験結果のばらつきを評価した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図-1には、本研究に使用した実験装置の概要を示している。本実験装置は、伝達衝撃応力計測用の起歪柱型ロードセル(受圧面の直径 20 mm、容量 10 MPa)(以後、応力計と記述する)が設置された鋼製底盤 (1.6 m 四方、厚さ 75 mm)と砕石緩衝材を設置するための鋼製円筒(内径 1.52 m、高さ 800 mm、厚さ 9 mm)および鋼製底盤を支持する 9 個の反力計測用の起歪柱型ロードセル(受圧面の直径 87 mm、容量 100 kN)(以後、反力計と記述する)から構成されている。なお、反力計は厚板鋼板を介して実験室ピット内の剛基礎上に設置されている。また、応力計は、図に示すように底盤中央部から一方向に 50 mm 間隔で 16 個設置されており、その受圧面は底盤上面と面一となっている。

2.2 実験方法

図-1 には、衝撃載荷実験の状況を示している。実験は、 所定の厚さに成形した砕石緩衝材に対して、鋼製重錘を所 定の高さから鋼製円筒中央部に落下させることにより行っ ている。なお、重錘は、写真に示すような重錘落下衝撃実

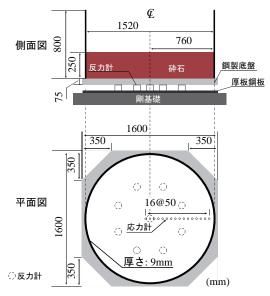


図-1 実験装置概要



写真-1 衝擊載荷実験状況

験装置内のリニアレールに沿って精度よく落下衝突するようになっている.

衝撃載荷実験に使用した鋼製重錘は質量 400 kg であり、 先端部に起歪柱型ロードセルが組み込まれている。 重錘の 先端部直径は 230 mm で、底部の中央部には片当たり防止 のため 2 mm のテーパが設けられている。

表-1 には、衝撃載荷実験の実験ケース一覧を示している。衝撃載荷実験は、砕石厚と重錘落下高さをパラメータに取って実施した。砕石厚は、重錘の直径と同程度の250 mmを基本ケースとし、その2倍となる500 mmとした。また締固めは、エンジン式タンピングランマー(型式: MT-500 W, 打撃数:630~660回/min)を用いて、鋼製円筒内の外側から中央部に向かって円を描くように行った。ま

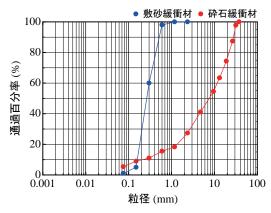


図-2 砕石の粒径過積曲線

表-1 衝撃載荷宝騒ケース一覧

衣一! 閨掌戦何夫級ソーム―見				
実験	敷砂厚	重錘質量	落下高さ	
ケース	t (mm)	M (kg)	H(m)	
G250-W4-H0.25	250		0.25	
G500-W4-H0.25		400	0.23	
G500-W4-H0.50	500	400	0.50	
G500-W4-H0.75			0.75	

表-2 砕石の物性値

24 - 11 - 12 2 2 2			
産地	種類	表乾 密度	
		(g/cm ³)	
小樽市見晴	路盤用切込砕石	2.63	

た、砕石厚 250 mm の場合は 1 回で、500 mm の場合は 2 回に分けて締固めを行った。重錘の落下高さ H は、砕石厚 250 mm の場合には H = 0.25 m、砕石厚 500 mm の場合には H = 0.25 m、0.5 m、0.75 m とし、応力計と反力計の計測可能 容量 (定格容量の 200 % 以下とした)を超過しない範囲で実験を実施している。また、実験ケース名は、砕石厚 (G250: 250 mm、G500: 500 mm)、重錘質量 (W4: 400 kg)、重錘 落下高さ (H0.25: 0.25 m)をハイフンで結び示している。実験ケースの末尾には、通し番号 (1, 2, 3) を付している。実験後の含水比は概ね 6 % 程度であった。

図-2には、本実験に使用した砕石の粒形過積曲線を示している。図より、砕石の粒径は0.07~30 mm まで広く分布していることが分かる。表-2には、砕石の物性値を一覧にして示している。砕石緩衝材は、実験ケースごとに鋼製底盤が確認できるまで掘り返し、再度締固めと成形を行っている。成形後には、道路盛土の密度管理等に用いられている衝撃加速度試験機により、計測加速度がほぼ同程度の値となるようにして締固め度の管理を行った。衝撃加速度試験機は、先端部が直径60 mmの半球状で総重量4.5kgの鋼鉄製のランマーであり、高さ40 cm から自由落下させたときの衝撃加速度を表示するものである。

衝撃載荷実験における計測項目は、起歪柱型ロードセルによる重錘衝撃力、荷重計による伝達衝撃応力、反力荷重計による鋼製底盤反力、非接触式レーザ変位計による重錘貫入量である.

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-3には、各実験ケースにおける各測定項目に関する時刻歴応答波形を示している。本実験では、各ケースにつき3回の衝撃実験を実施し、実験結果のばらつきを評価している。図より、各ケースの各測定項目における応答波形は、概ね同様の形状を呈しているものの、最大振幅や継続時間が大きくばらついているケースも見受けられる。これは、砕石の場合には、粒径の異なる骨材が不規則に分布しているためと考えられる。

重錘衝撃力波形は,継続時間が 15 ms 程度の正弦半波状の性状を示している.落下高さ H=0.25 m の G250/500-Ho.25 を比較すると,砕石厚が最大重錘衝撃力に及ぼす影響は顕著ではないことが分かる.一方,落下高さ H が異なる G500-Ho.25/0.50/0.75 を比較すると,H の増大に伴って,最大重錘衝撃力が大きくなる傾向を示している.

伝達衝撃力波形は、重錘衝撃力波形よりもばらつきが大きい傾向を示している。これは、衝撃力が鋼製底版に伝播する過程において、砕石の不均一性が伝達衝撃力のばらつきに影響を及ぼすことによるものと推察される。

貫入量波形を見ると、経過時間t=10 ms までは、ほぼ線形に貫入量が増加しており、実験ケースにおけるばらつきは比較的小さい。なおその後、最大貫入量にばらつきが認められる。これは、最大重錘衝撃力が小さい場合ほど、最大貫入量が大きくなる傾向にあること等から、砕石緩衝材の締固め度合いや粒径の大きな骨材の偏在などが応答値に鋭敏に影響を及ぼすものと推察される。

3.2 伝達衝撃応力分布

図 -4 には、鋼製底版の応力計を用いて測定した伝達衝撃応力の分布を経過時間 t=2,4 ms 時、および各点における最大応力の分布を示している。図より、各実験ケースの伝達応力分布は、時間経過とともに大きな値を示していることが分かる。また、前述の応答波形よりもばらつきが大きいことが分かる。これは、砕石の不均一性は勿論のこと、応力計に接触する砕石の粒径が大きい場合には過大な応力が作用することなどが主な要因であるものと考えられる。

砕石厚 250 mm の G250-H0.25 の場合には, 載荷点近傍において最大伝達衝撃応力が生じる傾向にある。一方, 砕石厚 500 mm の G500 の場合には, 落下高さによらず最大伝達衝撃応力が載荷点近傍よりも外側の領域において発生する傾向にある。また, 大きな伝達応力の分布領域は, 中心から 60 cm の位置まで及んでいる。これは, 砕石緩衝材内部における衝撃応力の伝達機構が密接に関連しているものと考えられるが, この点については数値解析結果等を併用すると比較する形で今後検討してゆく必要があるものと考えられる。

3.3 砕石緩衝材と敷砂緩衝材の比較

図-5 には、本実験の G500-H0.5 および既往の敷砂緩衝材の各応答波形に関する実験結果 2) を比較して示している. 図より、重錘衝撃力および伝達衝撃力波形の最大振幅は、砕石緩衝材の場合が敷砂緩衝材の場合に対して 2 倍以上大きいことが分かる. また、主波動継続時間も長い. ただし、両衝撃力波形が最大振幅を示す時間は、緩衝材の種類によらず t=4~6 ms 程度である. これは、貫入量波形を参考にすると、貫入量が 10 cm 程度の時点で両衝撃力の

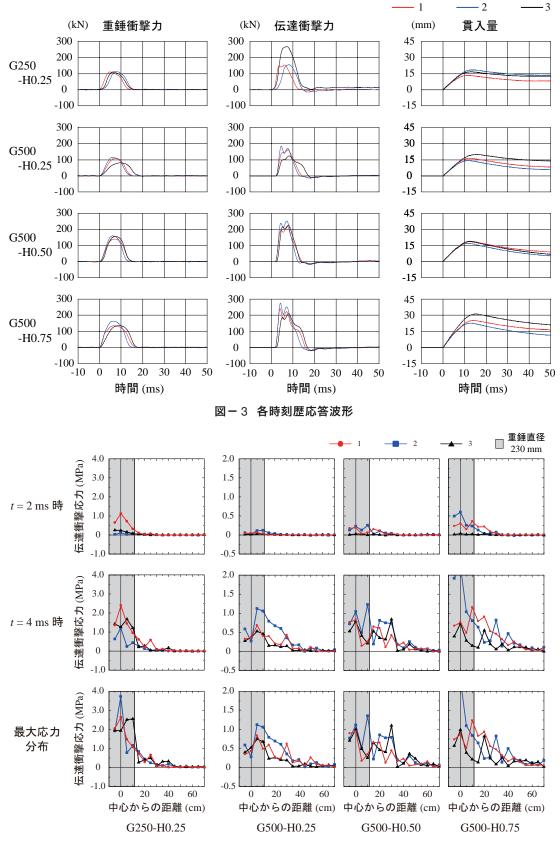


図-4 伝達衝撃応力分布図

最大値が発生していることが分かる.

図-6 には、本実験の G500-H0.5 および既往の敷砂緩衝 材の伝達衝撃応力分布に関する実験結果を比較して示して いる. 図より、砕石緩衝材の伝達衝撃応力は、敷砂緩衝材の場合に比較して大きく、またその分布形状は乱れており、かつ分布範囲は広い.

平成27年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第72号

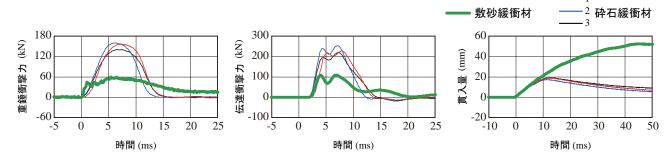
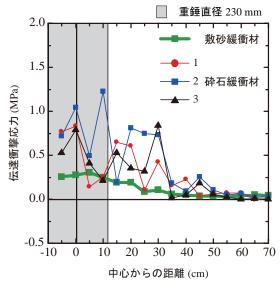


図-5 各時刻歴応答波形



図ー6 伝達衝撃応力分布図

以上のことから、砕石緩衝材における伝達衝撃応力の分布範囲は、敷砂の場合よりも広く、その分布形状は大きく 乱れることが明らかになった。今後は、より落下高さが高く、貫入量が大きい場合についても実施し、緩衝メカニズムの解明に向けた検討を行う必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、砕石を緩衝材とする場合における緩衝特性を解明することを目的に、砕石単層の重錘落下衝撃実験を行った。実験は、砕石の敷厚および重錘落下高さを変化させて実施した。なお、各ケースにつき3回の衝撃実験を行い、実験結果のばらつきを評価した。本実験により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 砕石緩衝材に関する各種応答値は、敷砂緩衝材の場合に比べてばらつく傾向にある。これは、粒径の異なる骨材が不規則に分布しているためと考えられる。
- 2) 伝達衝撃応力の分布範囲は、敷砂緩衝材の場合よりも 大きい.これは、小さな貫入量において、大きな重錘 衝撃力が励起し、緩衝材内部を伝播することによるも のと考えられる.

参考文献

- 1) 佐伯侑亮, 今野久志, 栗橋祐介, 岸徳光: 緩衝材として砕石を設置した実規模 RC 製ロックシェッドの耐衝撃挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, 547-552, 2014.7
- 2) 今野久志,岸徳光,西弘明,山口悟,岡田伸之:敷砂 緩衝材の緩衝特性に関する重錘落下衝撃実験,構造工 学論文集,土木学会,Vol.58A,1051-1063,2012.