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			Roethl	in 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	\bigcirc	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20mm、容量10MPa)(以後、応力計と記述する)が設置された鋼製底盤(1.6m四方、厚さ75mm)と砕石緩衝材を設置するための鋼製円筒(内径1.52m、高さ800mm、厚さ9mm)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87mm、容量100kN)(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50mm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





写真-1 衝撃載荷実験状況

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

平成27年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第72号



図-2 砕石の粒径過積曲線

2. 日手戦内大歌/ ヘ 見								
	実験	敷砂厚	重錘質量	落下高さ				
	ケース	t (mm)	M (kg)	<i>H</i> (m)				
	G250-W4-H0.25	250		0.25				
	G500-W4-H0.25		400					
	G500-W4-H0.50	500		0.50				
	G500-W4-H0.75			0.75				

まー1 衝撃載荷宝騐ケース―覧

表-2 砕石の物性値

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0.07~30mm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 60mmの半球状で総重量 4.5 kg 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-H0.25 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-H0.25/0.50/0.75 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=4~6ms程度である.これは、貫入量波形 を参考にすると、貫入量が10cm程度の時点で両衝撃力の

平成27年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第72号



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.



図-5 各時刻歴応答波形



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.

- 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

- 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
- 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.