

I-18

敷砂緩衝材の緩衝性能に及ぼす均等係数の影響

室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 北海道開発局 正員 佐藤 昌志
 北海道開発局 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 学生員 佐竹 利治

1. はじめに

山岳地帯や海岸線等の落石などの恐れのある地域にある道路や線路には、落石覆工等の建設が行われている。この落石覆工構造物では、落石などの衝撃力を直接構造物に作用させないように、落石対策便覧¹⁾にあるような敷砂などの緩衝工を屋根部に設置するのが普通である。この敷砂緩衝工の研究は過去に様々な研究機関により行われてきた。これらの研究は、吉田等²⁾や北海道開発局土木試験所(現在の開発土木研究所)³⁾に代表される。これらの研究は全て重錘重量とその衝突加速度を掛け合わせて求められる重錘衝撃力から、敷砂底部に伝達される伝達衝撃力を算定しようとするものである。この重錘衝撃力と伝達衝撃力の二つの衝撃力の関係を明らかにすることは、合理的な落石覆工の設計に役立つものと考えられる。

しかし、この緩衝工に用いる敷砂の物理的特性は、その砂ごとに異なり、同じ砂においても常に一定ではなく含水量や締固め具合によっても変化する。これら砂の特性の違いによって緩衝性能も変化すると考えられ、砂の特性と衝撃力の関係を明らかにする事が重要と考えられる。

この様な観点から、本論文では、砂の特性と重錘衝撃力および伝達衝撃力の関係を明らかにするために大型野外実験を行い検討を行った。実験は、均等係数の大きく異なる2種類の砂を用い、敷砂厚90cmの敷砂緩衝工を基礎コンクリート上に設置し、5tfの重錘を5~25mの高さから自由落下させ、重錘加速度やコンクリート基礎上に設置したロードセルの応力を測定する形で行った。

2. 実験概要

2.1. 実験方法

図-1に実験の概略を示す。重錘落下衝撃試験は、6.8m×6.8m×1mのコンクリート基礎上に、4m×4mの敷砂緩衝工を設置し、緩衝工の中央部に5tfの重錘(直径100cm、底部に17.5cmのテーパ付)を、トラッククレーンによって5~25mの高さより自由落下させることにより行った。実験では、重錘内底部に取り付けられた加速度計による重錘加速度と、コンクリート基礎上に取り付けられた伝達衝撃力測定用ロードセルによる伝達衝撃力を測定した。加速度は、容量が200G、500Gの加速度計を各2個ずつ重錘内部に取り付け測定を行った。伝達衝撃力は受圧部直径32mm、容量100kgf/cm²のロードセルをコンクリート基礎上に、コンクリート表面と同一面となるように39個設置し、加速度計同様に測定を行った。

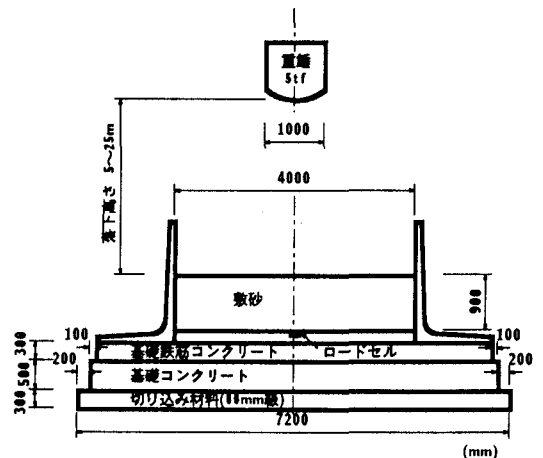


図-1 実験概略図

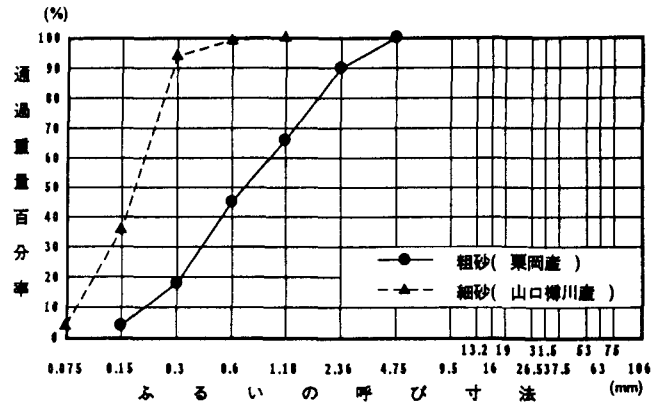
2.2. 敷砂材

本実験では、均等係数による緩衝性能の違いを検討するために栗丘産砂と山口樽川産砂の 2 種類の砂（以後、栗丘産を細砂、山口樽川産砂を粗砂と呼ぶ）を敷砂緩衝材として用いている。

敷砂材の締固めは、現場での状態を再現するのが最良であると考えられるが、測定結果もなく明確な数値も示されていないことから、吉田等と同様の方法を用い実験を行うこととした。すなわち、締固めは砂厚 20 cm 毎に平均的に足踏みによって所定の敷砂厚（90 cm）に整形した。敷砂の整形後には、サンプリングを行い、敷砂の密度、含水比の測定も各実験毎に行っているが、いずれも各砂毎にほぼ同様の数値となっていることを確認している。表－1 に各砂の物性値を、図－2 に粒度分布を示す。

表－1 敷砂材の試験結果

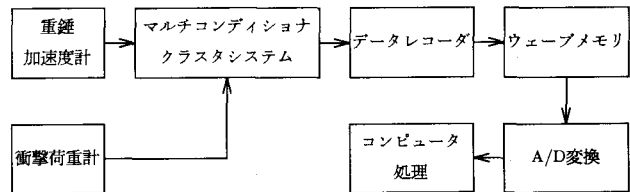
	産地	絶乾比重	吸水率 %	平均粒径 D ₅₀ mm	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}
細砂	栗岡	2.55	1.64	0.18	4.85	0.87
粗砂	山口樽川	2.46	3.42	0.74	2.38	1.01



図－2 粒度分布図

2.3. 計測システム

実験に用いた計測システムのフローチャートを図－3 に示す。計測に用いたセンサーは、歪ゲージ型加速度計 4 ch、ならびに基礎コンクリート上のロードセル 39 ch で合計 43 ch である。各センサーからの出力波形は、シグナルコンディショナーを介し、データレコーダーに一括収集し、実験終了後 A/D 変換を行ってからワークステーションを用い各種データ処理を行った。



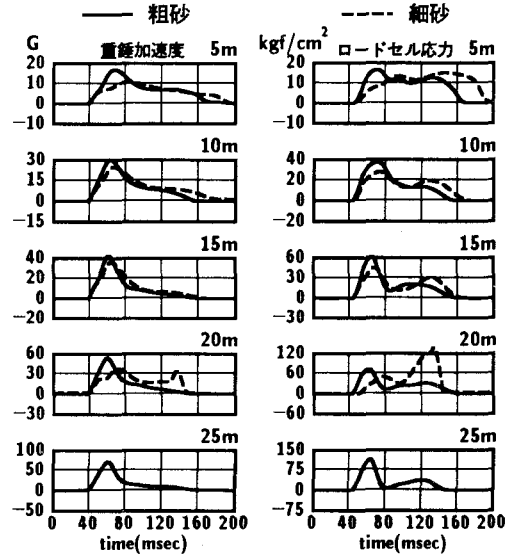
図－3 計測システムのフローチャート

3. 実験結果および考察

3.1. 加速度波形とロードセル波形

図－4 に重錘加速度波形とロードセル応力波形を示す。図中の実線は粗砂、破線は細砂の実験結果を示し、波形の右肩の数字は落下高を表している。加速度波形について検討すると、いずれの落下高においても粗砂の場合が細砂の場合より加速度の立ち上がりが急で、その最大値も大きな値を示している。また、その波形の立ち上がりから最大値発生時刻までの時間差は、細砂の場合が粗砂に比べて 5 ～ 10 msec 程度長くなっている。加速度波形の波動継続時間を見てみると、細砂の方が継続時間が長くなっており、重錘が衝突によって砂中に深く貫入し、重錘による衝撃力を吸収しているものと考えられる。しかし、細砂を用いた H = 20 m の実験の場合には、重錘が基礎コンクリートに衝突したと考えられる 2 波目の波形が現れ、細砂では落下高の高い場合には敷砂層を厚くしなければ構造物が危険な状態になる可能性があるともいえる。

ロードセル応力波形は、加速度波形より 10 msec 程度遅れて立ち上がり、2 つの山を持つ波形をしていることは両者同様である。最大値は粗砂の場合が細砂よりも大きく、その継続時間も粗砂の場合が短く、落下高が低い場合には、細砂を用いる方が良い緩衝性能を有するものと考えられる。また最大値に達する時間も細砂の方が遅く、この傾向も加速度と同様である。2 つのピークの大きさは粗砂では第 1 ピークが大きく、また、落下高が高くなるほどその第 1 ピークが大きくなっている。これに対して、細砂では第 2 ピークもかなり大きく、落下高が低いときは第 2 ピークの方が大きい傾向を示している。細砂の落下高 $H = 20$ m の第 2 ピークの異状な大きさは、前述の加速度波形の場合と同様である。

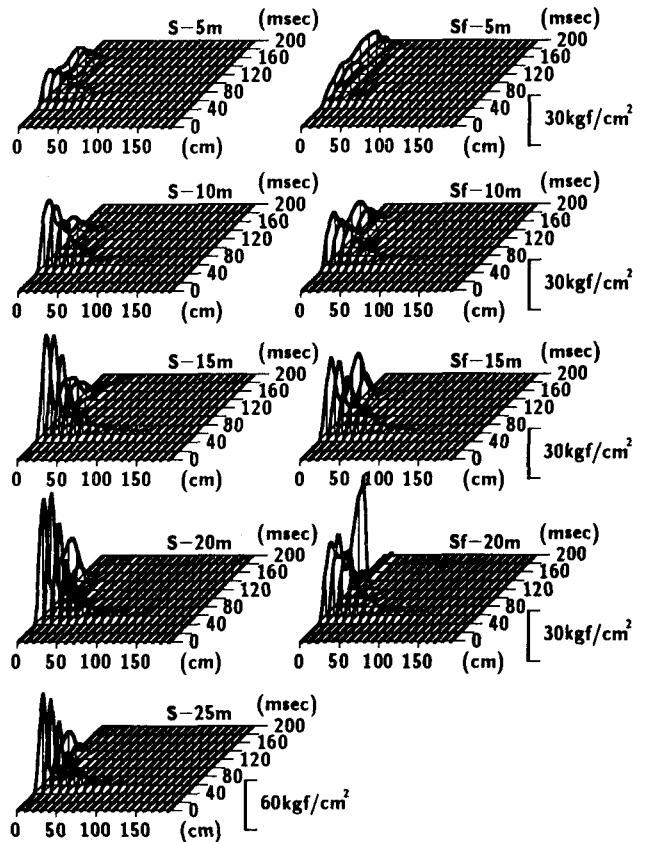


図—4 加速度とロードセル波形

3.2. 伝達応力の 3 次元分布波形と

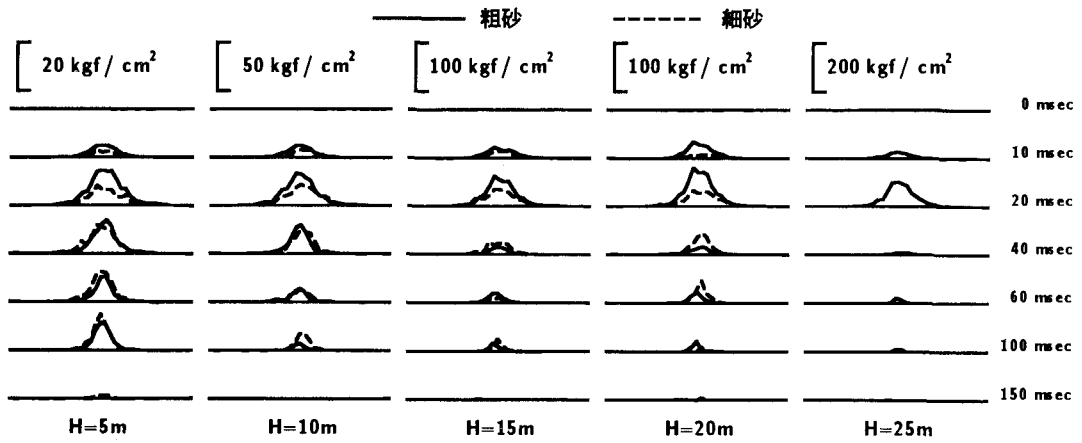
時刻歴分布

図—5 は、伝達応力の 3 次元分布波形を示したものである。各波形の上部に実験名を示してある。実験名の、S, Sf は、それぞれ敷砂材に粗砂、細砂を用いたことを示し、数値は重錘の落下高を表している。各波形ともに、中心部の伝達応力が大きく、その傾向は落下高が高くなるにつれて顕著である。 $H = 5$ m の場合、第 1 波動の分散幅は粗砂で 100 cm 程度、細砂で 90 cm 程度となっており、若干粗砂の方が分散性が良いようである。しかし、落下高が高くなるとその差はそれほど現れていない。いずれの場合も落下中心近傍（約 30 cm の範囲）では、伝達応力波形の波動継続時間が長く、それ以遠の範囲では急激に応力が減少している。伝達応力の大きさは、先に述べたように最大値は粗砂の方が大きい、中心から離れるに従って減少しており、応力の集中度も粗砂の方が大きいようである。また、細砂では落下中心近傍で第 2 ピークがはっきり現れているのが特徴的である。



図—5 伝達応力の 3 次元分布波形

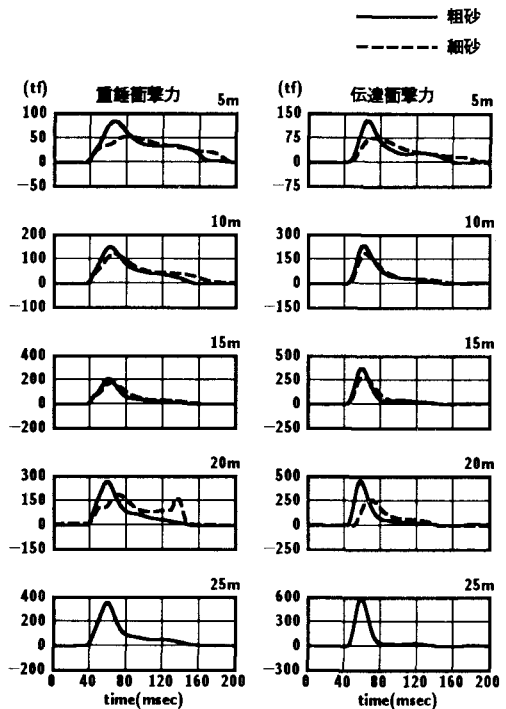
図一 6 にロードセルを配置した断面の応力分布の時刻歴分布を示している。先に述べたように衝撃の初期には、いずれの落下高でも粗砂の方が大きく、時間の経過とともに第 2 ピークの影響が現れ、細砂の方が大きくなっていく様子がわかる。



図一 6 伝達応力の時刻歴分布

3.3. 重錘衝撃力波形と伝達衝撃力波形

ここで云う重錘衝撃力は、重錘加速度と重錘重量の積であり、伝達衝撃力は、伝達応力が重錘落下点を中心とした同心円状に分布すると仮定して、台形則を用いてその応力を集積して得られたものである。図一 7 に重錘衝撃力と伝達衝撃力の時系列波形を示している。いずれの場合においても伝達衝撃力が重錘衝撃力よりも大きな値をとっていることがわかる。粗砂の場合、落下高が $H = 5$, $H = 10$ m では、重錘衝撃力の主波動の後に比較的大きな第 2 波動がみられるが、落下高が高くなるにつれてこの第 2 波動は小さくなっていく傾向がみられる。伝達衝撃力は、はっきりとした第 2 ピークはなく、落下高が高くなるに従って鋭いピークを持つ波形となっている。細砂の場合には、落下高が $H = 10$, $H = 15$ m では粗砂と同様の傾向がみられるが、 $H = 5$, $H = 20$ m においては次のような特異な挙動がみられる。 $H = 5$ m では細砂の優れた緩衝性能が発揮され、粗砂の場合に比べて重錘衝撃力、伝達衝撃力ともに約半分程度になっており、さらに継続時間も長く、重錘を軟らかく受けとめたと思われる波形となっている。また、 $H = 20$ m では、継続時間はそれほど変わらないものの各衝撃力は粗砂の約半分位である。しかし、それぞれの波形を詳しく検討すると、



図一 7 重錘衝撃力波形と伝達衝撃力波形

重錘衝撃力波形では、立ち上がりから 10 msec 位のところに波形の乱れがみられ、重錘軸の大きな傾きなど、重錘に何らかの異状があったことが伺える。後半部分のピークは先に述べたように重錘が基礎に衝突したと考えられる波形である。また、伝達衝撃力波形では、立ち上がり時間の遅れが他の落下高に比べ著しい。波形の収録は加速度をトリガーとしているため、伝達衝撃力の算定の基となるロードセル応力波形に多少の立ち上がりの時間差があることは一般的であるが、 $H = 20\text{ m}$ の場合には、これ以上に大きいことが示されている。この原因としては重錘が正しく中心に落下しなかったことが考えられ、これが伝達衝撃力が粗砂に比べ異状に小さくなった原因ではないかと思われる。従ってこの結果で細砂の $H = 20\text{ m}$ の特徴を議論するのは困難と思われる。

3.4. 最大衝撃力と波動継続時間

図-8 に最大衝撃力と衝突速度の関係を示している。図には、振動便覧式の算定式による衝撃力の値も各ラメ定数毎に示した。最大重錘衝撃力は、粗砂より細砂の方が小さいが細砂の $H = 20\text{ m}$ の場合を除けば、粗砂、細砂ともに衝突速度の増加とともに増加しており、その勾配はほぼ同じようである。また、最大伝達衝撃力についても、重錘衝撃力同様に、粗砂より細砂の方が小さく、細砂の $H = 20\text{ m}$ を除けば衝突速度の増加とともに増している。その増加率は、重錘衝撃力に比べて大きい。これを振動便覧に示されている算定式と比較すると、粗砂の場合、実験値は広い範囲にわたり重錘衝撃力では速度の増加とともに $\lambda = 50\text{ tf/m}^2$ から 200 tf/m^2 の値に移動し、伝達衝撃力では、 $\lambda = 100\text{ tf/m}^2$ から 500 tf/m^2 の値に移動している。一方、細砂の場合には全体的に値が小さく、 $H = 20\text{ m}$ の正確な値が確認できないためはっきりとした傾向は述べることができないが、重錘衝撃力では $\lambda = 50\text{ tf/m}^2$ の衝撃力に近く、伝達衝撃力ではほぼ $\lambda = 50\text{ tf/m}^2$ から 200 tf/m^2 の範囲を示している。

図-9 に重錘衝撃力と伝達衝撃力の波動継続時間を各重錘衝突速度毎に示している。重錘衝撃力、伝達衝撃力とも衝突速度の増加とともに、継続時間は減少している。重錘衝撃力の波動継続時間は、粗砂に比べ、細砂の方が大きい。衝突速度とともに減少する割合も大きく、衝突速度 $15 \sim 20\text{ m/sec}$ 程度の間で継続時間の逆転する現象がみられる。伝達衝撃力波動継続時間も粗砂より細砂の方が大きい。細砂の場合、速度の増加とともに重錘衝撃力波形の場合と同様の継続時間の大きな減少がみられるが、粗砂については、著しい継続時間の減少はみられない。

このことから、敷砂に細砂を用いると波動継続時間は長いものの、衝撃力の最大値が減少することから粗砂に比べ緩衝性能の改善を計ることができると考えられるが、落下高が高い場合には、敷砂厚に対する注意が必要となることもあり、結論を出すにはより詳細な検討が必要と思われる。

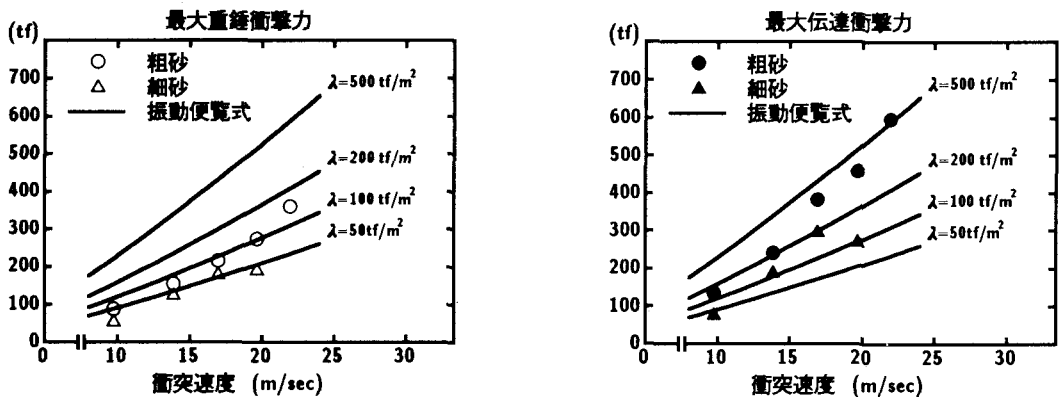
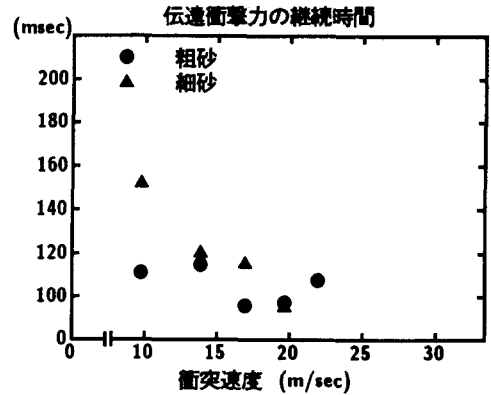
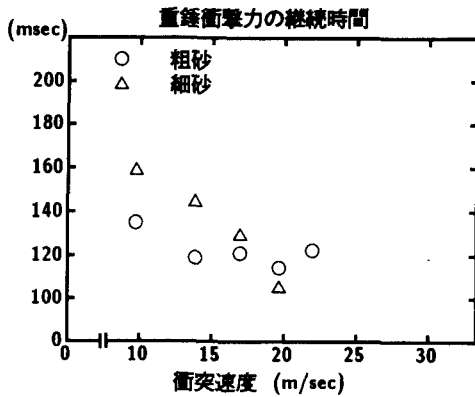


図-8 最大衝撃力と衝突速度の関係



図一 9 衝撃力継続時間と衝突速度の関係

4. まとめ

敷砂の特性が緩衝性能に及ぼす影響を検討するため、均等係数の異なる 2 種類の砂を用いた重錘落下衝撃実験を行い検討を行った。敷砂厚は 90 cm と一定であり、実験ケースは必ずしも十分ではないが、今回の実験から以下のことが明らかになった。

- 1) 重錘加速度の最大値は、細砂の方が粗砂よりも小さく、継続時間は細砂の方が長い傾向にある。
- 2) 載荷点のロードセル応力波形は、2 つのピークを持ち、粗砂の場合は第 1 ピークが大きく、細砂では落下高が低い場合第 2 ピークが大きい。また、最大値はやはり細砂の方が小さい。
- 3) ロードセル応力の 3 次元時系列波形では、粗砂の方が細砂より中心部に集中した分布をしている。
- 4) 粗砂、細砂の場合とも、衝撃力の最大値は重錘衝撃力より伝達衝撃力の方が大きい。
- 5) 重錘衝撃力・伝達衝撃力ともその最大値は粗砂の方が大きく、落下高 $H = 15$ m 以下では、波動継続時間は、細砂の方が長い。
- 6) 敷砂厚 90 cm の条件では、落下高 $H = 15$ m 以下の場合に限れば、細砂の方が粗砂より緩衝性能が優れているようである。

参考文献

- 1) 落石対策便覧, 日本道路協会, 1983.7.
- 2) 吉田 博, 榎谷 浩, 岡 衛: 落石覆工屋根上への落石による衝撃荷重特性について, 土木学会論文集, 第362号, pp.461~470, 1985.10.
- 3) 岡田憲治, 中松俊裕: 覆道の衝撃実験について, 第23回北海道開発局技術研究発表会, pp.112~123, 1979.2.