

I-42

各種緩衝構造を用いた落石覆工の実証実験

開発土木研究所 正 員 中 野 修
 開発土木研究所 正 員 今 野 久 志
 室蘭工業大学 正 員 岸 徳 光
 室蘭工業大学 正 員 松 岡 健 一

1. はじめに

落石による衝撃力を緩和する目的で、緩衝構造を落石覆工の屋根部に設置するのが一般的である。この場合に、現行の落石対策便覧¹⁾等では、敷砂を使用することを推奨している。しかしながら、この敷砂には、緩衝効果に限界があること、敷厚を増すと死荷重が大きくなり、覆工本体がトップヘビーになること、締固め度や含水比により緩衝特性が変化すること等の問題点があることも指摘されている。

著者らは、これらの点を踏まえて、敷砂より緩衝性能に優れた緩衝構造の開発を目的とする研究に平成元年度より着手し、平成3年度までに、従来の単層構造とは違う発想の基に、各材料の利点を組み合わせた複層緩衝構造「三層緩衝構造」の開発に成功し、一連の実験結果については既にいろいろな論文等²⁾で発表済みである。この開発した三層緩衝構造(図-1参照)とは、上から敷砂(50cm)、鉄筋コンクリート版(20cm)およびEPS(Expanded Polystyrol)材(50cm)を組み合わせたものを基本形としたものである。

これらの実験では、重錘に取り付けた加速度計が感知する加速度に重錘質量を乗じて求める重錘衝撃力と著者らが衝撃実験のために新たに開発したロードセル³⁾を覆工頂版上に設置し、それらが感知した基部への伝達応力が落下中心軸に対称に分布するものと仮定し、台形則を用いて応力を集積した伝達衝撃力を求め、両者を比較することにより緩衝構造の性能の評価を行っていることが特徴である。

本論文では、北海道開発局帯広開発建設部が建設中の美幌覆道(一般国道336号広尾町)を使用しての実証実験の第2年度として、三層緩衝構造の基本形を軸とし、それを変形したいろいろな複層緩衝構造や敷砂緩衝構造との緩衝性能に関する実証実験を行ったのでその結果を報告する。本実験では、美幌覆道頂版上に三層緩衝構造等を設置し、重錘重量 3 tf の重錘を自由落下させて、重錘加速度波形、ロードセル波形および覆工本体の鉄筋に取り付けたひずみゲージのひずみを測定し、重錘衝撃力、伝達衝撃力や覆工本体の曲げモーメントについて比較検討を行っている。

2. 実験概要

2.1. 実験方法

写真-1は実験の状況を写したものである。実験は、建設中の美幌覆道(RC構造)の頂版(厚さ110cm)上に、基本的には、520cm×520cmの三層緩衝構造を設置し、その中央部に重量3tfの重錘(直径100cm、高さ17.5cmの球底)を30mの高さより自由落下させることによって行っている。ただし、敷砂緩衝構造等で覆工本体に悪影響を及ぼすことが予想されるケースについては、落下高さを10mまでとしている。重錘には、容量200Gと500Gの歪ゲージ型加速度計を各2個取り付け、重錘の加速度波形を測定できるようにしている。表-1は実証実験の一覧を表したものである。

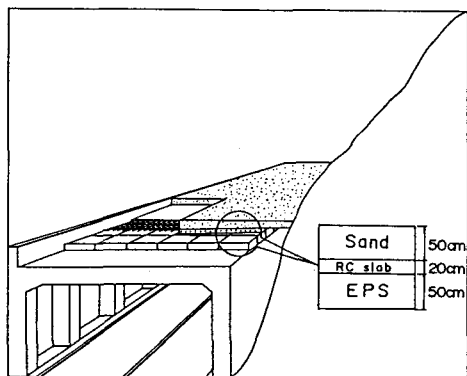


図-1 三層緩衝構造の概念図

2.2. ロードセル

本実験では、衝撃力を算定、評価のために、重錘に取り付けた加速度計とは別に、覆工本体への伝達衝撃力を算定するために、覆工頂版上にロードセルを設置している。ここで採用したロードセルは受圧部直径 32 mm、容量 100 kgf/cm² の衝撃荷重測定用ロードセルで、覆工頂版上に一列に 20 cm 間隔で計 31 個埋設している。

2.3. 敷砂材

本実験で用いた敷砂材は、単位体積重量 1.571gf/cm³、絶乾比重 2.528、吸水率 2.196 %、均等係数 4.89 の楽古川産の生コンクリート用の砂である。また、敷砂材は 20 cm 毎に平均的に踏み固めを行い、所定の敷厚を形成するとともに土の力学的状態を知るために、サンプル回収による湿潤密度、含水比および相対密度の測定も行っている。

2.4. EPS材

実験で使用したEPS材は、型内発泡法により製造された発泡スチロールであり、平均値で長さ 2006 mm、幅 1003mm、厚さ 502mm の形状寸法を有し、その密度は 20.2 kg/m³であった。また、JIS K 7220 による圧縮強さは 1.21 kgf/cm²のものである。

2.5. ひずみゲージ

ひずみゲージ（共和製 KFG-1-120-D16-11）は、平成3年度に覆工本体コンクリートを打設する前に、頂版の上縁および下縁の主鉄筋および山側側壁の主鉄筋に事前に貼付けておいたものである。ゲージの数は、頂版上縁の主鉄筋に 14 点、下縁に 34 点、側壁は両側に各 5 点である。

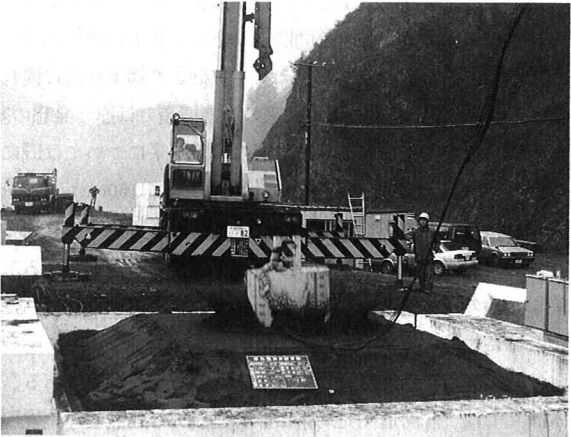
2.6. RCスラブ

実験に使用した芯材スラブ（厚さ 20cm）は、呼び強度 210 kgf/cm²のレデーミクストコンクリートを使用して製作しており、材令25日のコンクリート強度は221 kgf/cm²であった。また、全てのスラブで鉄筋比は片側 1 % の複鉄筋配筋としている。

2.7. 計測システム

実験に用いられた計測システムのフローチャートを図-2に示す。本実験におけるセンサーは、重錘に取り付けている歪ゲージ型加速度計(4ch)、覆工頂版上のロードセル(31ch)および覆工本体中のひずみゲージ(58ch)である。各センサーからの出力はデータレコーダーに一括収集した後、オフラインでウェブメモリを用いて設定時間軸に拡大し、A/D 変換した後コンピュータ処理を行っている。

写真-1 実験状況



実験 ケース	重錘 重量 (tf)	落下 高さ (m)	RC版 厚さ (cm)	表面 材厚 (cm)	裏面 材厚 (cm)
1	3	20	D20	S50	E50
2	3	20	A20	S50	E50
3	3	30	D20	S50	E100
4	3	30	A20	S50	E100
5	3	10	D20	S50	E50
6	3	30	D20	S50	E50
7	3	30	A20	S50	E50
8	3	10	D20	S50	S50
9	3	5	D20	S50	S50
10	3	30	D20	S50	E50+S50
11	3	5	---	S90	---
12	3	10	---	S90	---

A:アラミド筋、D:異形鉄筋、S:敷砂、E:EPS材
表-1 実験ケースの一覧

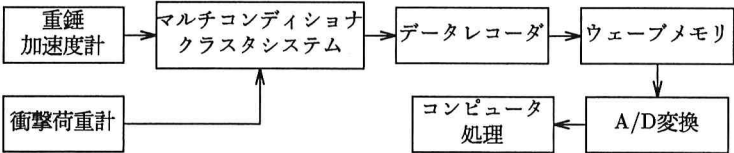


図-2 計測システムのフローチャート

3. 実験結果および考察

3.1. 基礎構造形式の影響

三層緩衝構造に関する美幌覆道での実証実験と角山実験場での基礎実験（コンクリート剛基礎）での結果を落下高さ別に重錘衝撃力と伝達衝撃力とを同一の図に整理したのが図-3である。また、重錘衝撃力と伝達衝撃力の最大値を衝突速度との関係で整理したのが図-4である。なお、角山実験場のコンクリート剛基礎の詳細については、文献4を参照のこと。

最初に、重錘加速度波形に着目すると、両実験での波形の概形は類似しており、その最大値についても落下高さ20 m 以外ではほぼ一致している。したがって、重錘衝撃力に関しては、基礎構造形式の影響はでていないと思われる。

他方、伝達衝撃力の波形については、基礎構造の応答の影響が顕著に表れており、図-4 よりも明かなように、基礎実験の結果では、伝達衝撃力のピークは落下高さにかかわらずほぼ一定であるが、実証実験の結果では、ほぼ衝突速度に比例して増加している。ただ、伝達衝撃力の最大値については、三層緩衝構造のモデルサイズが実証実験の場合には一辺が5.2 m であるのに対し、基礎実験では、一辺が約4.0 m のものを使っており、このため応答範囲の影響が大きくてきたものと思われる。

また、継続時間については、両方の実験ケースで重錘衝撃力および伝達衝撃力とも約70 msec で一定であった。

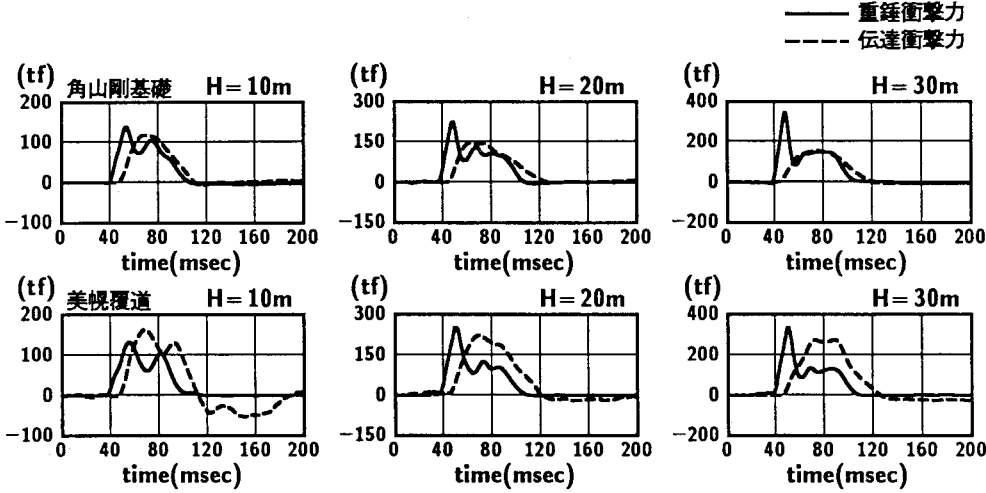


図-3 重錘および伝達衝撃力波形

3.2. 緩衝構造の影響

実証実験の内、緩衝構造の影響を調べるため、三層緩衝構造の基本形と敷砂緩衝構造（敷砂厚90 cm）での重錘および伝達衝撃力波形とを比較したのが図-5である。ただし、ここでは、覆工本体に及ぼす影響を弾性範囲内に限定しているので、過年度の実験結果より推定し、敷砂緩衝構造の場合には落下高さを10 m としている。言い換えると、比較は同一の高さではなく、三層緩衝構造の場合は、敷砂緩衝構造の場合の3倍の落下高さからのものとの比較である。

重錘衝撃力波形について見ると、当然のことながら落下高さの影響が大きく表れており、三層緩衝構造のピークは敷砂緩衝構造のそれの約3倍になっている。また、継続時間については、落下高さに3倍の差があるにもかかわらず、ほぼ同じで約70 msec である。

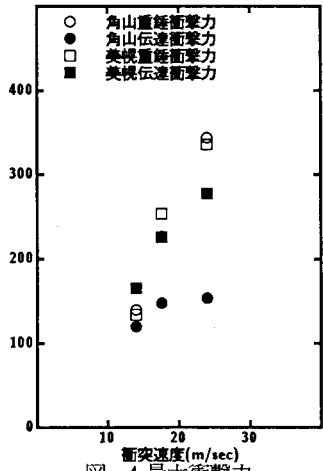


図-4 最大衝撃力

伝達衝撃力に関しては、落下高さで3倍の違いがあるにもかかわらず、三層緩衝構造の伝達衝撃力は約2割程度しか増えていない。また、継続時間については、敷砂緩衝構造が約 45 msec なのに対し、三層緩衝構造では約2倍の 80 msec となっている。このことは、三層緩衝構造の場合に、重錘が緩衝構造に衝突することにより生じる衝撃力を柔らかく覆工本体に伝えていることを表している。

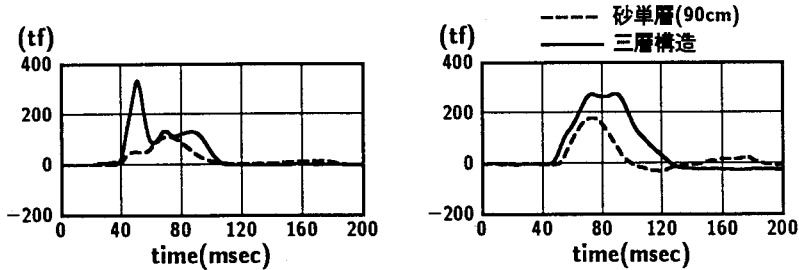


図-5 重錘および伝達衝撃力波形

図-6は、覆工本体中の鉄筋に貼付けてあったひずみゲージの出力値を曲げモーメントに換算したものを時刻歴で表したものである。

図より、敷砂緩衝構造の場合には 38 msec 前後にピークがあり、三層緩衝構造の場合には 45 msec 前後にピークになっている。しかしながら、その絶対値は、伝達衝撃力としては三層緩衝構造の方が 1.2倍大きいにもかかわらず、ほぼ同じである。これは、荷重分散領域の違いに起因するものと思われる。

敷砂緩衝構造の場合には、荷重分散効果が小さい⁵⁾こともあり、同図より、集中荷重的な力を受けていることが読み取れる。

これに対し、三層緩衝構造では、荷重の分散効果が大きいこともあり、等分布荷重を載荷した場合の曲げモーメント線に近くなっていることも分かる。

また、両方の実験ケースとも、実際の設計で考えているような静荷重載荷では絶対に現れない負載荷状態の現象も起きている。

3.3. 裏面材厚等の影響

三層緩衝構造の基本形、基本形の裏面材のEPS厚を倍の 100 cm にしたケース、耐荷力の足りない覆工の補強策の一案として敷砂 50 cm 上に基本形を設置し四層構造にした場合および基本形での裏面材

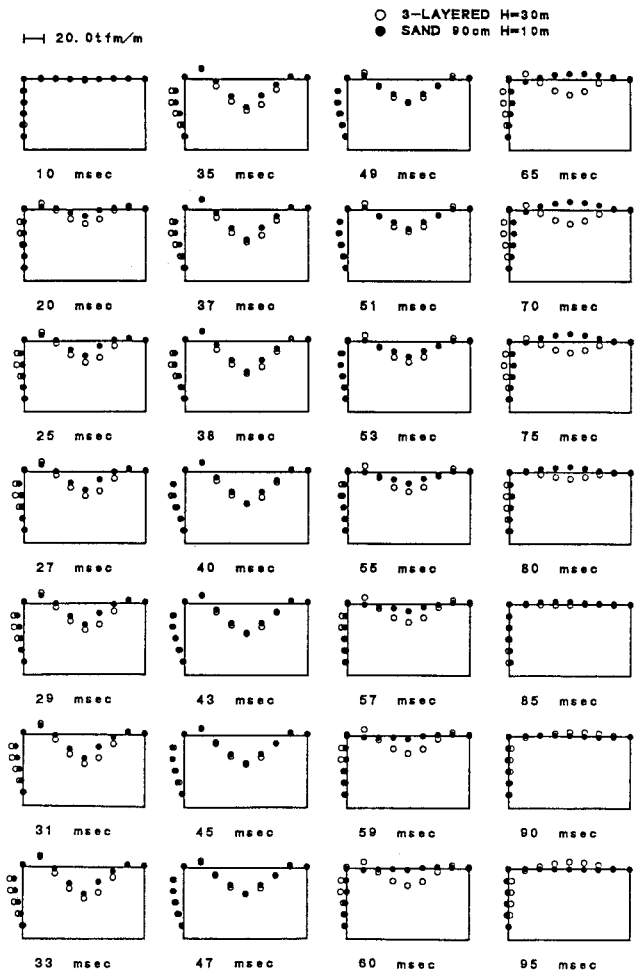


図-6 曲げモーメント図

のEPSを砂に置き換えた場合（以下、砂置換という）の4ケースの重錘および伝達衝撃力波形を示したのが図-7 である。ただし、重錘の落下高さについては、砂置換のみが 10 m であり、他の3ケースは 30 m である。

また、最大衝撃力および頂版最大曲げモーメントと各実験ケースとの関係を図-8、9にそれぞれ示している。

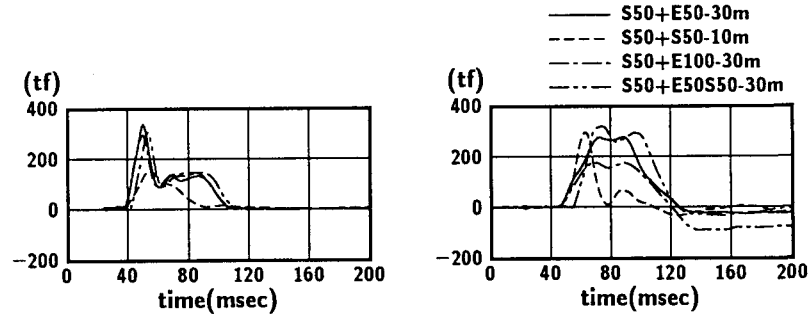


図-7 重錘および伝達衝撃力波形

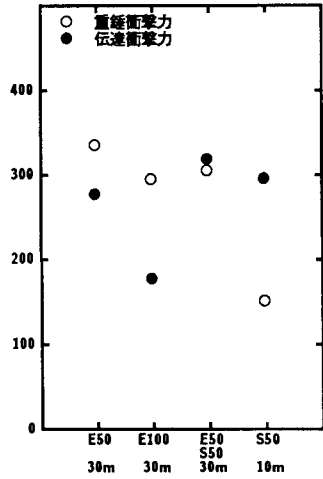


図-8 最大衝撃力 (tf)

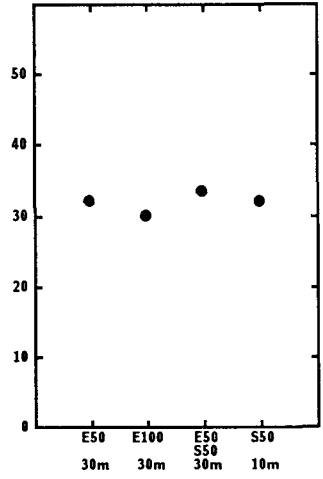


図-9 頂版最大曲げモーメント (tfm)

図-7左の重錘衝撃力波形に着目すると、落下高さが同じ 30 m の 3 ケースについては、波形は非常に類似しており、最大値についても図-8よりほぼ同じであることが分かる。また、継続時間についても約 70 msec 前後で同じであった。これに対し、砂置換の場合の継続時間は約 53 msec で敷砂緩衝構造と三層緩衝構造のほぼ中間の値になっている。

他方、伝達衝撃力波形に関しては、図-7、8より明らかなように、裏面材質および裏面材厚の影響が大きく表れている。

三層緩衝構造の基本形と四層緩衝構造とを比較すると、四層緩衝構造の方が多少伝達衝撃力の最大値は大きくなっているが、この程度の差であるならば、落石覆工の耐荷力向上のための補強策として、死荷重が三層緩衝構造より 50 cm の敷砂の分だけ増える点で問題とならない限り、四層緩衝構造は有力な案と考えられる。

三層緩衝構造の裏面材のEPS材厚を倍にすることにより、三層緩衝構造の基本形に比べて伝達衝撃力を約 40 % 減少させることができる。費用対効果の問題は残るが、長期的には設計荷重を越えるような落石が発生する可能性のある覆工箇所では、安全性を高める方策として有効なものと考えられる。

砂置換については、実験条件が同じである敷砂緩衝構造の結果（図-5参照）と比較しても明らかなように、最大

値で敷砂緩衝構造の約 2 倍、継続時間についても敷砂緩衝構造より更に短くなっている。これは、敷砂(50cm)、鉄筋コンクリート版 (20cm)、敷砂(50cm)の三層緩衝構造の上に重錘が衝突したのではなく、鉄筋コンクリート版 (20cm)、砂(50cm)、覆工頂版(110cm)の三層版の上に設置した 50 cm 厚の敷砂緩衝構造に重錘が衝突したのと同じ現象を表しているものと考えられる。これを言い換えると、三層緩衝構造の中で、EPS材が果たす役割が如何に重要であることを示していることになる。

頂版の最大曲げモーメントに関しては、EPS材厚を倍にした実験ケースが多少大きめにでている以外は、残りの3 ケースともほぼ伝達衝撃力に比例しており、これからも重錘衝撃力で衝撃荷重を推定することには問題があることが明らかになった。

4. まとめ

三層緩衝構造の現場への適用を図るため、建設中の実際の落石覆道を使用して著者らが開発した三層緩衝構造の基本形を中心とする実証実験を行った。

本実験で得られた結果を要約すると、

- 1) 重錘衝撃力波形に関しては、実証実験と基礎実験の比較より、緩衝材を受ける基礎構造形式の違いによる影響は表れないようである。
- 2) 伝達衝撃力に関しては、三層緩衝構造は、落下高さで 3 倍の違いがあるにもかかわらず、敷砂緩衝構造の約 2 割増程度であった。また、継続時間に関しても、敷砂緩衝構造の約 2 倍であった。このことより、三層緩衝構造は、衝撃力をよく吸収した上で柔らかに覆工本体に伝える特性を有していることが再確認された。
- 3) 三層緩衝構造の場合には、荷重分散効果が大きなことにより、覆工本体に対し等分布荷重的な載荷になることが再確認できた。
- 4) 衝撃荷重載荷時の覆工の挙動に関しては、実際の設計で考えているような静荷重載荷では現れない負載荷状態の現象も起きていることが明らかになった。
- 5) 四層緩衝構造は、落石覆工の耐荷力向上のための補強策として有力な案である。
- 6) 長期的には設計荷重を越えるような落石が発生する可能性のある覆工箇所では、安全性を高める方策として、三層緩衝構造の裏面材のEPS材厚を増すのが有効な方法である。
- 7) 重錘衝撃力で衝撃荷重を推定することには問題があることが明らかになった。

5. 謝辞

今回の実証実験は、平成2年度より続いている三菱油化(株)との共同研究の一環として実施したものであるが、実施に際し、北海道開発局帯広開発建設部の全面的な協力を得て、成功裡に終了したものです。広尾道路建設事業所の片岡副長を始めとする関係各位に対し、ここに深謝致します。

参考文献

- 1) 落石対策便覧, 日本道路協会, 1983.7.
- 2) 中野 修, 岸 徳光, 後藤雪夫, 遠藤 紘: 落石覆道における三層構造緩衝システムの開発, 土木学会誌, pp.20~22, 1992.3.
- 3) 中野 修, 岸 徳光, 松岡健一, 後藤雪夫: 衝撃荷重測定用ロードセルの試作, 土木学会論文集, 第453号, pp.155~161, 1992.9.
- 4) 岸 徳光, 中野 修, 今野久志, 松岡健一, 西 弘明: 芯材をRCスラブとした場合の三層緩衝構造の緩衝特性, 平成3年度土木学会北海道支部論文報告集, pp.155~160, 1992.2.
- 5) 岸 徳光, 中野 修, 松岡健一, 西 弘明: 野外実験による敷砂の緩衝性能, 構造工学論文集, 1993.3.