

I-32 表層材に軽量コンクリートを用いた三層緩衝構造の緩衝性能

室蘭工業大学 正 員 松岡健一
 室蘭工業大学 同 岸 徳光
 開発土木研究所 同 佐藤昌志

1. はじめに

落石等による災害が予想される道路に設けられている落石覆工には、その上部に緩衝工が設置されている。この緩衝工としては従来敷砂等が採用されている。しかしながら、敷砂は落石等が受ける衝撃力以上の衝撃力を本体構造に伝える特性があることから、緩衝材としては必ずしも最適ではないことが明らかとなっている¹⁾。著者らはより緩衝性能の優れた緩衝工として、異種材料を組み合わせた三層緩衝構造を開発し実用化に向けて詳細な研究を行なっている^{2)~7)}。これらの研究の結果、表層材を敷砂、芯材として各種補強コンクリート(RC)版、裏層材として発泡スチロール(EPS)材を用いた三層緩衝構造は、従来の敷砂のみによる緩衝工に比べ格段に緩衝性能を向上出来ることが明らかとなっている⁸⁾など。この三層緩衝構造は、落石等の衝突による衝撃力を表層の敷砂で緩和させ、これを芯材のRC版で広く分散させるとともに、裏層のEPS材でさらに衝撃力を吸収し、本体の落石覆工に伝えようとするものである。著者らが開発した三層緩衝構造はこのような緩衝機構を有することから、それぞれの層はその機能を発揮する材料であることが望まれる。これらに関してもすでに詳細な検討が行われ、落石の規模に対する芯材RC版の剛性や裏層材としてのEPS材の厚さ等の関係が明らかとなりつつある^{8)~11)}。

一方、表層材は落石等の衝撃を直接受けることから、ある程度の剛性を有するとともに緩衝能力を有することが必要であるため、これまで主として敷砂を用いた構造に対する検討を行ってきた。しかしながら、これまでの研究から敷砂の緩衝性能がその締固めの程度に左右され、過度に締固められた敷砂材は、緩衝能力が低下することが示されている¹²⁾。自然に堆積している土砂は、降雨排水等の経年変化により締固められ、緩衝材としての能力も時間とともに低下することが考えられる。また、表層に敷砂材を用いた構造では三層緩衝構造と云えども、大規模な落石を考慮しなければならない覆道に於いては、表層の敷砂厚を大きくする必要があり、これが覆工をトップヘビーの状態にし、耐震設計に悪影響を与えることが懸念される。これらのことから、三層緩衝構造の緩衝性能を確保するためには表層材として敷砂以外の軽量で経年変化を受け難い材料の開発も重要な課題である。

著者らは、この点に着目し、軽量で緩衝能力があり、さらにある程度の剛性も期待できる表層材として、発泡剤を用いた軽量コンクリートを考えた。本論文は、これを表層材として採用した三層緩衝構造について、その緩衝性能を実験的に検討したものである。発泡剤を用いた軽量コンクリートは、その配合により種々のものが得られるが、比重は0.5~0.7と軽量であり、圧縮強度は5~10kgf/cm³と、ある程度の剛性も有することから、表層材として利用することが可能と判断した。ここでは表層に軽量コンクリートを用いた三層緩衝構造の実規模衝撃実験を行い、敷砂を用いたものと比較する形でその緩衝性能を検討した。

2. 実験概要

2.1. 実験方法

実験は北海道開発局開発土木研究所が江別市角山に設けた屋外実験場で行った。実験方法等については既に発表している¹⁾などので詳細は省略することとし、概要のみ簡単に述べる。実験は一辺約7mのコンクリート製の剛基礎上に、2.2.に述べる試験体を設置し、直径1m、高さ約1m、重量3tfの重錘を高さ30mから自由落下させて行った。実験の概略を図-1に示す。剛基礎上には10cm間隔に衝撃応力測定用のロードセルを設置している。実験項目は、

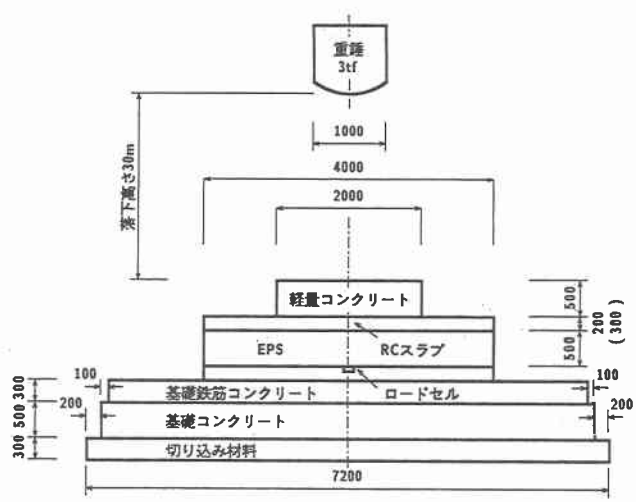
Absorbing Capacity of a Three-Layered Absorbing System Using Foamed Concrete for Surface Layer
 by Kenichi MATSUOKA, Norimitsu KISHI and Masashi SATO

各試験体に対して重錘内部に取り付けた加速度計による加速度波形、剛基礎上に設置されたロードセルから得られる衝撃応力波形及び芯材 RC 版のひび割れ状況である。

2.2. 試験体

本試験体は大きさが 4m × 4m であり、裏層材として 50cm 厚の EPS 材、芯材として 20cm 厚の RC 版を使用しており、表層材は 50cm 厚の軽量コンクリート又は敷砂である。各材料の特性を以下に示す。

- i) 裏層材：裏層材として用いた EPS 材は、型内発泡法で製造された単位体積重量 20kgf/m³ のもので、寸法 200cm × 100cm × 50cm のブロックを組み合わせて用いている。
- ii) 芯材：芯材として用いた RC 版は、形状寸法が 400cm × 400cm × 20cm で、補強筋として D13 の異形鉄筋をかぶり 3cm、片側鉄筋比約 1 % で複筋配置したものである。また、使用したコンクリートの設計基準強度は 210 kgf/cm² である。
- iii) 表層材：表層材としては軽量コンクリート又は敷砂を用いた。
 - a) 軽量コンクリート：表層材として用いた軽量コンクリートは、形状寸法 200cm × 200cm × 50cm のブロックに成形し使用した。その配合及び圧縮強度等は表－1 に示す通りである。ただし、配合種別 K0-5 のうちの一体は、養生の関係で圧縮強度が目標強度まで発現せず、約 3kgf/cm² であった。なお、使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、発泡剤の密度は 1.0g/cm³ である。また、この配合によるフロー値はいずれも 18cm であった。
 - b) 敷砂材：ここで用いた敷砂材は、表－2 に示す物理的特性をもつ栗丘産砂である。敷砂材は 20cm 毎に敷き均し、足踏みにより締固め所定の厚さとしている。締固め後の湿潤密度、含水比及び相対密度はそれぞれ 1.63g/cm³、4.0 %、56.4 % であった。



図－1 実験概略図

表－1 軽量コンクリートの配合等

種別 配合	圧縮強度 q _u kgf/cm ²	空気量 %	水セメント比 W/C %	セメント C kgf/m ³	発泡剤 W ₁ kgf/m ³	希釈水 W ₂ kgf/m ³	混練水 W ₃ kgf/m ³	水量 W W ₁ +W ₂ +W ₃ kgf/m ³	比重
K0-5	5	66.5	91.5	272	2.67	24.03	222	249	0.52
K0-10	10	61.5	83.3	335	2.45	22.05	255	279	0.62

表－2 敷砂材の物理的性質

産地	絶乾比重	吸水率	10%粒径 D ₁₀ (mm)	30%粒径 D ₃₀ (mm)	60%粒径 D ₆₀ (mm)	均等係数	曲率係数
栗丘	2.55	1.64	0.20	0.41	0.97	4.85	0.87

実験は表層材の材質を変化させて行ったが、用いた試験体の種別を表-3に示す。なお、FC50-3は軽量コンクリートの配合がK0-5と同様であるが、先に述べたように圧縮強度が十分発現されなかったものであり、別種別とした。なお、表層として軽量コンクリートを使用した試験体の設置後の状況を写真-1に示す。

表-3 試験体種別

種別	表層材 (厚さ 50cm)
S50	敷砂
FC50-3	軽量コンクリート ; 圧縮強度 3kgf/cm ²
FC50-5	軽量コンクリート ; 圧縮強度 5kgf/cm ²
FC50-10	軽量コンクリート ; 圧縮強度 10kgf/cm ²

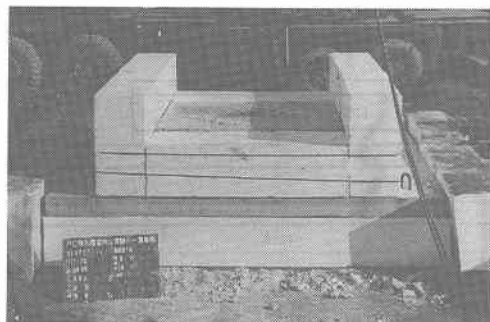


写真-1

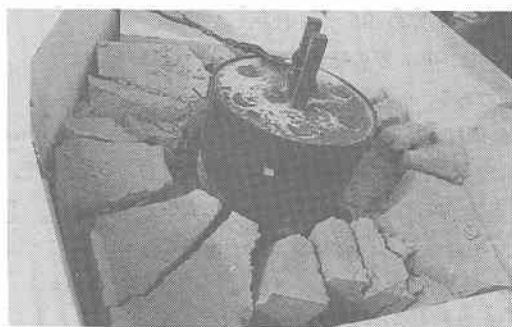


写真-2

3. 実験結果及び考察

FC50-10試験体の実験終了時の状況を写真-2に示す。表層軽量コンクリートの破壊状況はコンクリート強度により異なり、低強度のものほど激しく破砕された。以下に各項目別に各試験体の特性を考察する。

3.1. 伝達衝撃応力の分布性状

先に述べたように本実験では、緩衝構造を通して本体構造へ伝えられる衝撃力を評価するために緩衝構造が置かれている剛基礎上に衝撃応力測定用のロードセルを設置し計測している。得られた衝撃応力(伝達衝撃応力と呼ぶ)波形の空間的・時間的分布状況を図-2に示す。図には横軸に載荷中心からのロードセルの位置、奥行き方向に時間軸

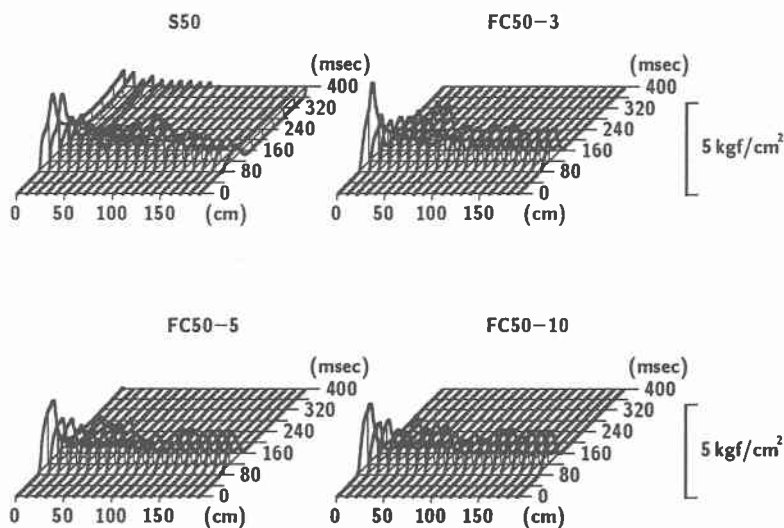


図-2 伝達衝撃応力の空間的・時間的分布

を、縦軸に伝達衝撃応力を示した。図から明らかなように、伝達衝撃応力の空間的な分布はいずれの場合も構造全体に分布していることが示されている。また時間的な変化もほぼ同様であり、中心部では継続時間 80msec 前後の分布を示している。さらに各試験体毎に詳しく考察すれば、表層を敷砂材とした S50 では分布がやや中心部に集中しており周辺部に向かって緩やかに減少していることがわかる。これに対して軽量コンクリートを用いた 3 試験体では、空間分布はかなり平均的であり周辺部でもそれほど減少していない。3 試験体それぞれでは、強度の小さな FC50-3 で中心部に大きな応力を発生しており、全体としても他の 2 試験体より大きな分布を示している。このことは圧縮強度の小さな軽量コンクリートでは衝撃力の吸収性がやや劣ることを示しているものと考えられる。

3.2. 重錘衝撃力と伝達衝撃力の経時変化

重錘に埋設した加速度計から得られた加速度に重錘質量を乗じて得られる衝撃力（重錘衝撃力）とロードセルから得られる伝達衝撃応力を分布面積で合計した衝撃力（伝達衝撃力）の経時変化を図-3 に示した。図には実線で重錘衝撃力を、破線で伝達衝撃力を示した。S50 と FC50-3 の重錘衝撃力は、衝撃の初期に鋭く立ち上がり衝突後約 10msec で最大値を示し、その後急激に減少し、50msec 前後に第 2 のピークを示しながら全体の継続時間約 80msec で終了している。第 1 ピークの最大値は FC50-3 で約 260tf、S50 で約 270tf と FC50-3 の方が S50 よりやや小さい。一方 FC50-5、FC50-10 では衝撃初期には S50、FC50-3 よりも鋭く立ち上がるものの、その後波形が崩れ第 1 ピークに達する時間は約 20msec となっている。また、最大値も FC50-5 で約 220tf、FC50-10 で約 230tf と、前二者よりさ

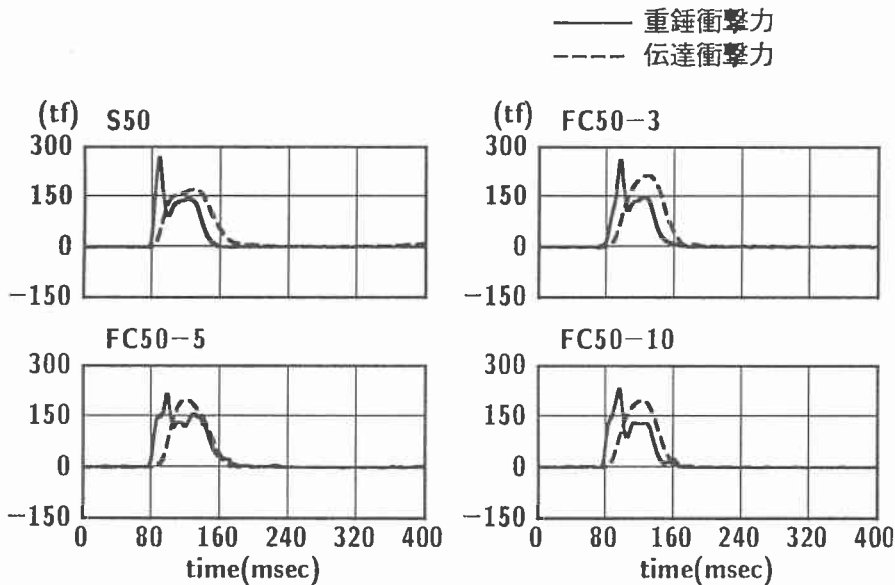


図-3 重錘衝撃力と伝達衝撃力の経時変化

らに小さくなっている。その後はやはり急激に減少し、第 2 ピークを示しながら全体の継続時間約 80msec で終了している。一般的に重錘衝撃力波形は重錘が表層に衝突するとともに立ち上がり、重錘の貫入に伴い表層の塑性変形によりエネルギーを消費しながら芯材 RC 版へ衝突して行くときに第 1 ピークを示す。その後 EPS 材でさらにエネルギーを消費することから重錘の加速度は減少するが、基礎からの衝撃波の反射を受けて第 2 ピークを示しながら減少して行くものと考えられる。このことから FC50-5、-10 試験体の第 1 ピークの値が小さいのは、最初の衝突後軽量コンクリートの破壊によって吸収される衝撃エネルギーが、圧縮強度の大きなもの程大きいと考えられる。これに対して伝達衝撃力は、いずれのケースも重錘衝撃力より約 10msec 程度遅れて緩やかに立ち上がり、sine 半波に似た

波形を示し、継続時間約 80msec で終了している。最大値は、S50 で約 170tf と最も小さく、FC50 シリーズでは -3 がやや大きいものの約 200~210tf とほぼ同程度の衝撃力となっている。このことは先に伝達衝撃応力の波形分布で考察したように、S50 は中心部の応力は FC50 より大きいものの周辺に向かっては FC50 より減少しており、全衝撃力としては FC50 の方が大きくなったものと考えられる。

3.3. 芯材 RC 版の破壊性状

実験後の芯材 RC 版のひび割れ状況を図-4 に示す。FC50-10 試験体の表面のひび割れ図は写真撮影が不可能になったため得られていない。表面のひび割れ図を見ると、S50 が最も広範囲に同心円状にひび割れが発生していることが分かる。FC50 シリーズは、圧縮強度 10kgf/cm^2 のものが不明のため十分な考察は困難であるが、強度が大きい程ひび割れが衝突部に集中的になり量も少ないようである。裏面のひび割れ図も同様の傾向を示している。すなわち S50 は中心部でかなり激しい周状のひび割れが見られ、版全面にわたり放射状のひび割れが無数に発生している。この傾向は FC50-3 も同様であり、S50 より中心部の損傷は大きいようである。FC50-5、-10 と強度が大きくなるに従い放射状のひび割れは減少しているが、中心部の周状のひび割れは激しくなり、損傷の程度も大きいことを示している。すなわち、強度の大きな軽量コンクリートを用いたものは、集中荷重的に芯材 RC 版に衝撃力を伝えていることが分かる。軽量コンクリートは衝撃力に対して破壊の直前まで弾性的に挙動すると考えられることから、重錘による衝撃力を一次的に芯材 RC 版へ伝えるため、強度の大きなもの程衝撃力が衝突部に集中するものと考えられる。このように芯材 RC 版の破壊状況には各ケース多少の差は見られるものの、いずれの表層材もほぼ同様の緩衝効果を示していることが推察される。

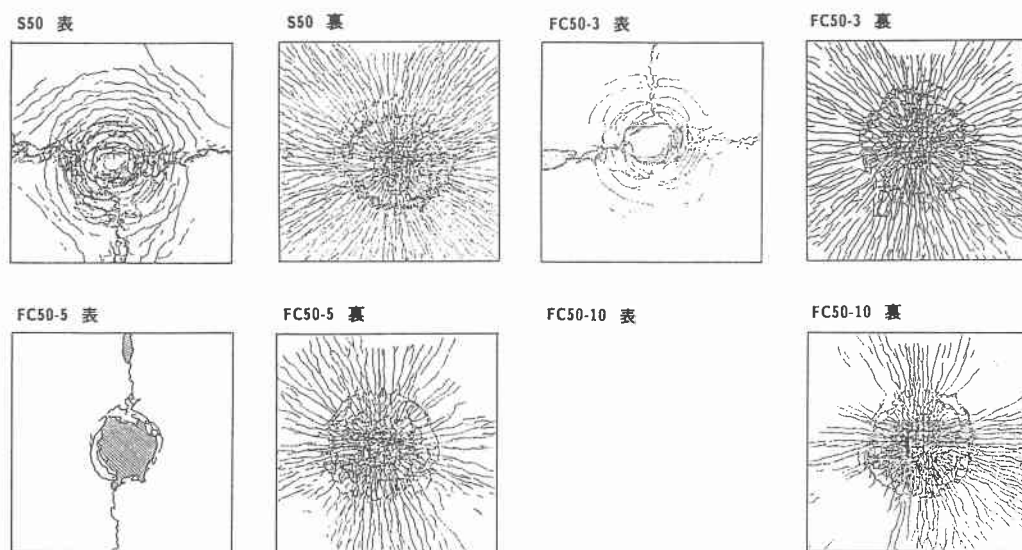


図-4 芯材 RC 版のひび割れ状況

4. まとめ

落石覆工の緩衝材として従来用いられている敷砂材より緩衝性能の優れた緩衝構造として開発された三層緩衝構造の表層材について軽量コンクリート版を用いた場合の緩衝性能を検討した。軽量コンクリートは、圧縮強度の異なる 3 種類を採用し、敷砂を表層材とした場合と比較することにより、その緩衝性能を検討した。その結果得られたことを以下に列挙する。

- 1) 本体構造に作用する伝達衝撃応力の分布は、軽量コンクリートを用いた場合の方が敷砂を用いた場合より平均的である。

- 2) 重錘衝撃力は、各ケース最大値に多少差があるものの衝撃の継続時間はほぼ同じであった。
- 3) 伝達衝撃力の最大値は敷砂が最も小さく、軽量コンクリートを用いたものは強度によらずほぼ同程度であった。
- 4) 芯材 RC 版の破壊状況からは軽量コンクリートの強度が大きなもの程損傷が中心部に集中する傾向が見られるものの、全体としてそれ程大きな差は見られない。

以上を総合すると本実験の結果から、軽量コンクリートは敷砂材と同程度の緩衝性能を有することから、経年変化を受けない軽量材として三層緩衝構造の表層材として用いることは可能と判断される。

また、軽量コンクリートは経年変化を受けないことから、維持管理の不用な緩衝材として三層緩衝構造の表層材のみならず、一般の敷砂材の代わりとしても使用出来ると考えられる。

本論文を取りまとめるに当たり室蘭工業大学工学部建設システム工学科構造力学研究室の院生学生の諸君に多大の協力を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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、vol.39A, pp1587-1597, 1993.3
- 2) 岸 徳光、中野 修、今野久志、松岡健一：芯材をRCスラブとした場合の三層緩衝構造の緩衝特性、土木学会北海道支部論文報告集、第 48 号、pp155-160, 1992.2
- 3) 岸 徳光、中野 修、今野久志、松岡健一：三層緩衝構造の緩衝効果に関する室内実験、構造工学論文集、vol.38A, pp1577-1586, 1992.3
- 4) 中野 修、岸 徳光、後藤雪大、遠藤 紘：落石覆道における三層緩衝システムの開発、土木学会誌、pp20-22, 1992.3
- 5) 岸 徳光、中野 修、三上 浩、松岡健一：組紐状AFRPロッドで補強したRCスラブを用いた大型緩衝構造の衝撃吸収性能、コンクリート工学年次論文報告集、vol.14, No.2, pp655-660, 1992.6
- 6) 中野 修、今野久志、岸 徳光、三上 浩、遠藤 紘：各種緩衝構造を用いた落石覆工の実証実験、第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp230-235, 1993.6
- 7) 菅田紀之、中野 修、岸 徳光、三上 浩：PC多主桁上に設置した新素材を用いたPC版を有する緩衝構造の緩衝特性、コンクリート工学年次論文報告集、vol.15, No.2, pp941-946, 1993.6
- 8) 中野 修、西 弘明、松岡健一、尾山靖史：三層緩衝構造の芯材RCスラブの剛性が緩衝性能に与える影響、第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp188-191, 1993.6
- 9) 中野 修、岸 徳光、松岡健一、遠藤 紘：三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす裏面材の影響、第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム、pp192-198, 1993.6
- 10) 佐藤 昌志、西 弘明、岸 徳光、松岡健一：三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす芯材RCスラブの継手部の影響、土木学会北海道支部論文報告集、第 50 号、pp152-157, 1994.2
- 11) 三上 浩、岸 徳光、佐藤昌志、中野 修、松岡健一：AFRP補強RC版を芯材とする三層緩衝構造体が緩衝性能に及ぼす表、裏面材の影響、構造工学論文集、vol.40A, pp1639-1646, 1994.3
- 12) 佐藤昌志、西 弘明、松岡健一、佐藤 京：敷砂緩衝材の緩衝特性に関する大型実験、土木学会北海道支部年次論文報告集、第 51 号、1995.2