

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

開発土木研究所 正員 中野 修
 開発土木研究所 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一
 室蘭工業大学 学生員 尾山 靖史

1. はじめに

著者等は、これまでの研究により落石等による衝撃力の緩衝問題において、緩衝材を荷重分散材と衝撃吸収材とを組み合わせた三層構造とすることにより、敷砂等の衝撃吸収材を単独で用いる場合よりも効果的に衝撃力を吸収かつ分散させることを数値的、実験的に明らかにすることができた。^{2)~5)}

著者等が採用している三層緩衝構造は、表材として 50cm 厚の敷砂、芯材として厚さ 20cm のRC版、裏層材として 50cm 厚のEPS材 (Expanded Poly-Styrol材) から構成されるものである。実験によれば、覆工構造物に伝達される衝撃力 (剛基礎上で測定された伝達土圧の総和でこれをここでは伝達衝撃力と呼ぶ) は重錘衝撃力 (重錘質量に衝突によって発する衝撃加速度を乗じて求められる力) の 1/2 程度、敷砂単独で用いる場合の伝達衝撃力の 1/4 程度に低減でき、荷重分散幅もほぼ緩衝材全体に均等に分布することが明らかになっており、著者等が提案している三層緩衝構造は実務的にも十分応用可能なものと考えられる。しかしながら実設計を考える場合には、与えられた重錘重量や落下高さに対する最適な各層厚や芯材RC版の断面設計を合理的に行えることが必要である。

本研究では、三層緩衝構造の断面設計のための基礎資料を得ることを目的として、表裏層材の材料、厚さを一定にし芯材RC版の剛性を变化させた場合の重錘落下衝撃力に対する緩衝特性や芯材の損傷程度について検討を行った。ここでは表裏層厚を 50cm、重錘重量 3tonf、落下高を 30m に固定し、芯材RC版の版厚、鉄筋比、コンクリート強度を变化させ検討を行った。

2. 実験方法および実験ケース

実験は図-1に示すような約 7m 四方の剛基礎上に中心部 4m 四方の中心線上に 10cm ピッチに合計 39 個の伝達衝撃土圧測定用のロードセル (受圧部直径 32mm、容量 100kgf/m²) を埋設し、各種三層緩衝構造を設置して行っている。(図-2)

本実験では、表層材として50cm厚の敷砂材、裏層材として 50cm 厚のEPS材 (密度 20kg/m³) を用い、芯材を種々変化させ、3tf の重錘を高さ 30m から落下させている。表-1 に本研究で検討を行った実験ケースの一覧を示す。また本文では、各実験ケースをわかりやすくするため、補強筋 (異形鉄筋を用いているため D)、版厚、鉄筋比 (0.5%, 1.0%)、配筋のタイ

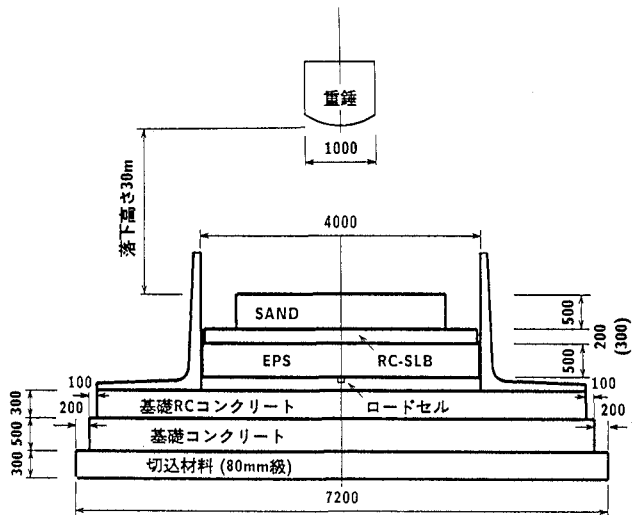


図-1 実験の概要

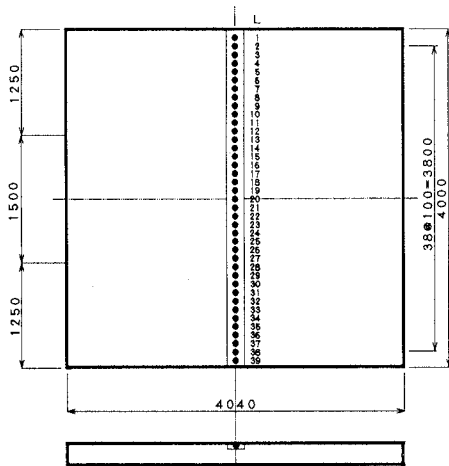


図-2 ロードセル配置図

プ (S: 単鉄筋, W: 複鉄筋)、コンクリート強度 (設計基準強度を用いる) の順にハイフンで結び簡略化して表すものとする。挙動比較の場合には、同一項目を除き短縮した形で用いている。

2.1. 表材、裏材

本実験における三層緩衝構造の表材として用いた EPS材は石油精製過程で生ずるスチレンモノマーの重合から得られるポリスチレン樹脂に、発泡材を加えたものを過熱軟化させると同時に気体を発生させて発泡樹脂としたものである。物性的には弾性挙動を示す領域は圧縮歪が 1% 程度以下であり、このときの荷重は 5% 圧縮強度の約 1/2 である。本実験では、密度 20.2kg/m^3 、5% 圧縮強度 1.21kgf/cm^2 、ポアソン比 0.05 で、寸法 $200\text{cm}\times 100\text{cm}\times 50\text{cm}$ の EPS ブロックを組み合わせ、 $400\text{cm}\times 400\text{cm}\times 50\text{cm}$ に設置している。

また、表材として用いた敷砂材は20cm毎に平均的に踏み固めを行い所定の敷厚とした。なお実験で用いた敷砂材は栗丘産であり、その特性を示すと表—2の通りである。

2.2. 芯材RC版

本研究で用いている芯材 RC 版は、かぶりを 3cm とし、表—3 のような補強鉄筋および鉄筋間隔を用いて製作している。なお、実鉄筋比は表—3 に示してある通りであるが本論では呼称として 0.5%, 1.0% を用いている。なお、複鉄筋の場合は片側鉄筋比を示している。コンクリートは 28 日強度で 210kgf/cm^2 および 500kgf/cm^2 として配合設計を行った。また実験時の圧縮強度はそれぞれ平均 211kgf/cm^2 , 471kgf/cm^2 、弾性係数は平均 $2.67 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$, $3.80 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ である。なお、本文では簡略化のために各ケースの呼称に材令 28 日の設計基準強度を用いている。芯材として用いる鉄筋コンクリート版の配筋図は紙面の都合で省略する。

2.3. 測定項目

本実験では、衝撃力を算定するために重錘には容量 100G~500G の歪ゲージ型加速度計を取り付け重錘加速度を測定し、また三層緩衝構造の底部に伝達される衝撃力を算定、評価するために、剛基礎上にロードセルを一行に間隔 10cm として計 39 個を設置し伝達衝撃応力を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1. 伝達衝撃応力の時経列分布

図-3に各ケースの剛基礎に埋設したロードセルで測定された伝達衝撃応力の時系列分布を示している。

図よりいずれの芯材でも最大応力が $2.5 \sim 3 \text{ kgf/m}^2$ 程度であることがわかる。鉄筋比にかかわらず単鉄筋の場合と

表-1 実験ケース

実験 ケース	版厚 (cm)	配筋	鉄筋比 (%)	コンクリート設計 基準強度(kgf/cm ²)
1	20	S	0.5	210
2	20	S	1.0	210
3	20	W	0.5	210
4	20	W	1.0	210
5	30	W	0.5	210
6	30	W	1.0	210
7	20	W	1.0	500

但し、表層：砂 50cm,裏層：EPS材 50cm,重錘重量 3tonf

表-2 敷砂の特性

	單位體積重量 (kgf/cm ³)	比重	吸水率 %	粗粒率
粟丘産	1.609	2.59	1.35	2.74

表一3 使用鉄筋特性

	使用鉄筋	鉄筋間隔 (cm)	実鉄筋比 (%)
D-20-0.5-(S,W)	D10	85	0.47
D-20-1.0-(S,W)	D13	80	0.91
D-30-0.5-(S,W)	D13	95	0.48
D-30-1.0-(S,W)	D16	80	0.89

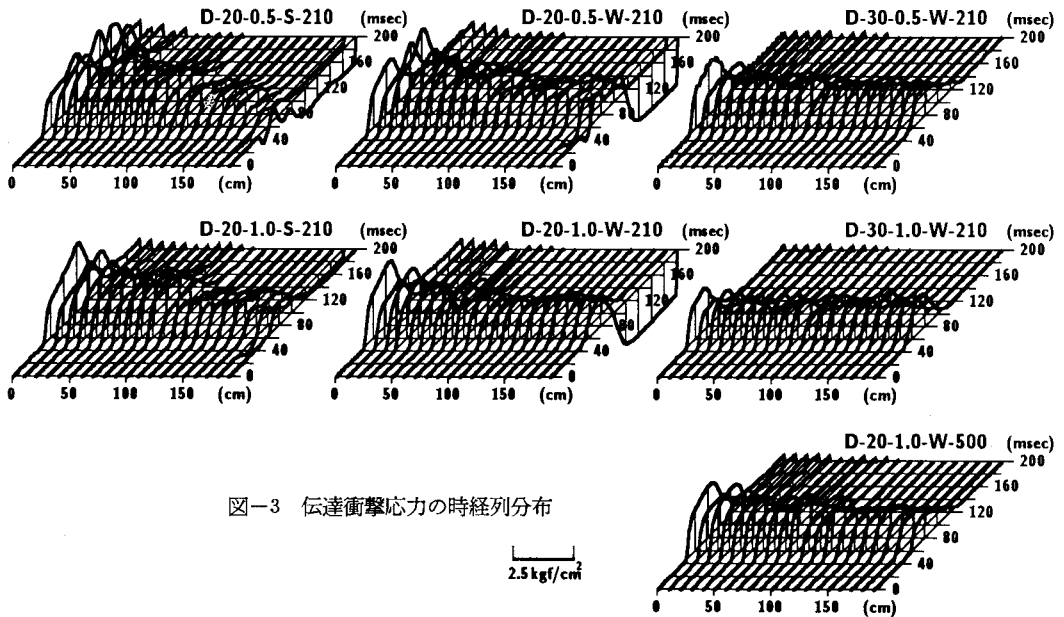


図-3 伝達衝撃応力の時経列分布

複鉄筋のうちD-20-0.5-W-210 は応力が多少中央部に集中しているようである。他 D-30 および D-20-1.0-W の場合は応力が版全体にほぼ均等に分布しているようである。D-20-0.5-S, W および D-20-1.0-W の自由端近傍部で負の応力が発生している。これは緩衝材の設置状態において負荷される初期荷重が、重錘落下後に芯材 RC 版が跳ね上がり、徐荷されたために発生したものと考えられる。

3.2. 衝撃力の時系列分布

図-4に重錘衝撃力と伝達衝撃力の時系列分布を示している。重錘衝撃力はいずれの場合も初期に大きな値を示している。これは重錘が敷砂を通して芯材に衝突しているためと考えられる。その大きさは D-30 の場合と D-20-1.0-W-210, 500 が他の場合より大きな値を示しており、剛性が大きいほど大きくなっているのがわかる。その後重錘衝撃力は伝達衝撃力の最大と同程度の値になり徐々に零に戻っている。その値は初期の極大値のほぼ 1/2 である。重錘衝撃力の波動分布は、初期の極大値発生までがいずれの場合も同様である。D-20-1.0-W を基準にしてその後の波動と継続時間を調べてみると D-20-0.5 の場合は波動継続時間が長くなっており、芯材の剛性が大きい

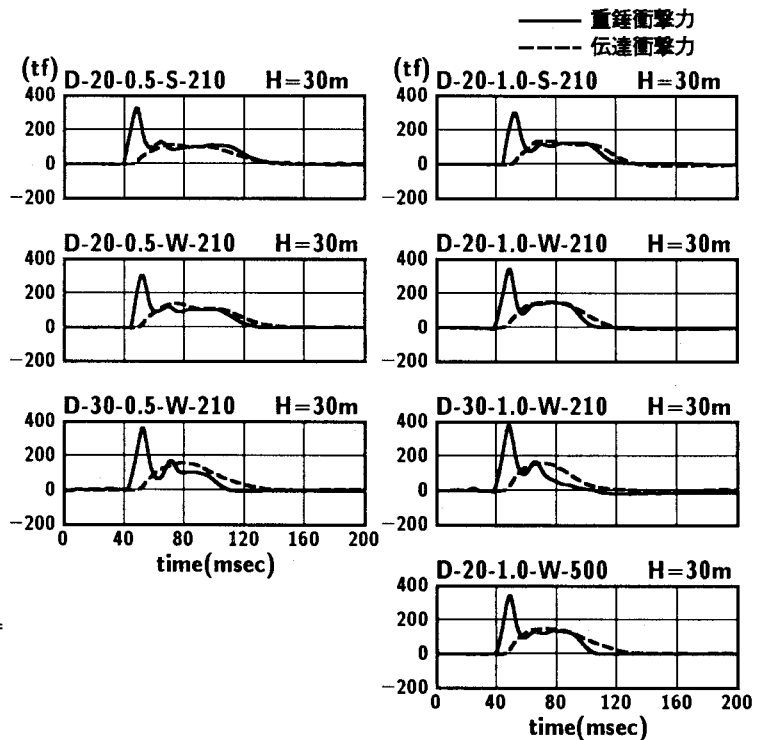


図-4 衝撃力の時経列分布

D-30, D-20-1.0-W-500 は、短くなっているのがわかる。特に D-30-1.0-W-210 の場合は極大値を示してすぐに減衰しており、最も継続時間が短いようである。一方、伝達衝撃力の最大値は、剛性が小さい D-20-0.5, D-20-1.0-S の場合が他の剛性の大きい場合より若干小さい値を示している。これは、芯材 RC 版の剛性が小さいために載荷点部の著しい塑性化によって衝撃エネルギーが吸収されること、また力積等価の考え方に従えば版の変形量が大きいために荷重作用時間が長くなり、局所的には荷重強度が増大するものの全体的には伝達衝撃力が低下するためと考えられる。剛性の大きい D-30 や D-20-1.0-W-500 の場合は、最大値に達した後単純に減衰している。

3.3. 最大衝撃力

図-5に重錘衝撃力および伝達衝撃力の最大値を振動便覧式の結果と比較して示している。前項でも述べたように重錘衝撃力および伝達衝撃力は共に芯材の剛性が大きい場合の方が小さい場合より大きいことが明確に示されている。また振動便覧式の結果と比較すると、重錘衝撃力に関しては $\lambda=200\text{tf/m}^2$ とする場合が実験結果の平均的な値と対応しており、伝達衝撃力の場合は $\lambda=40\text{tf/m}^2$ とし

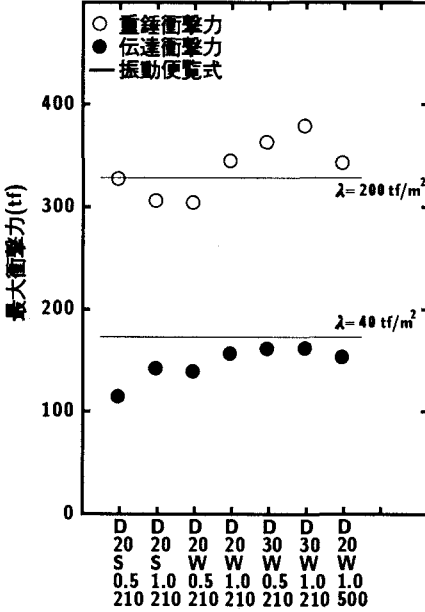


図-5 芯材RCと最大衝撃力の関係

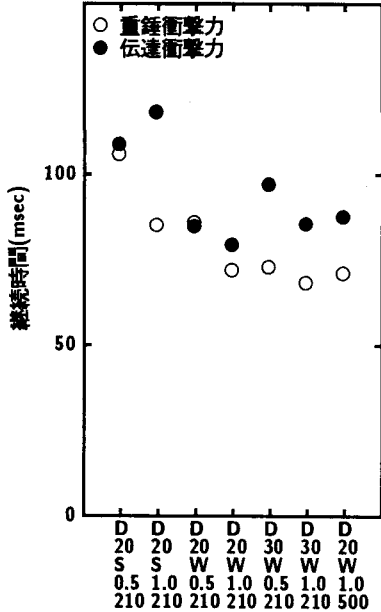


図-6 芯材RCと継続時間の関係

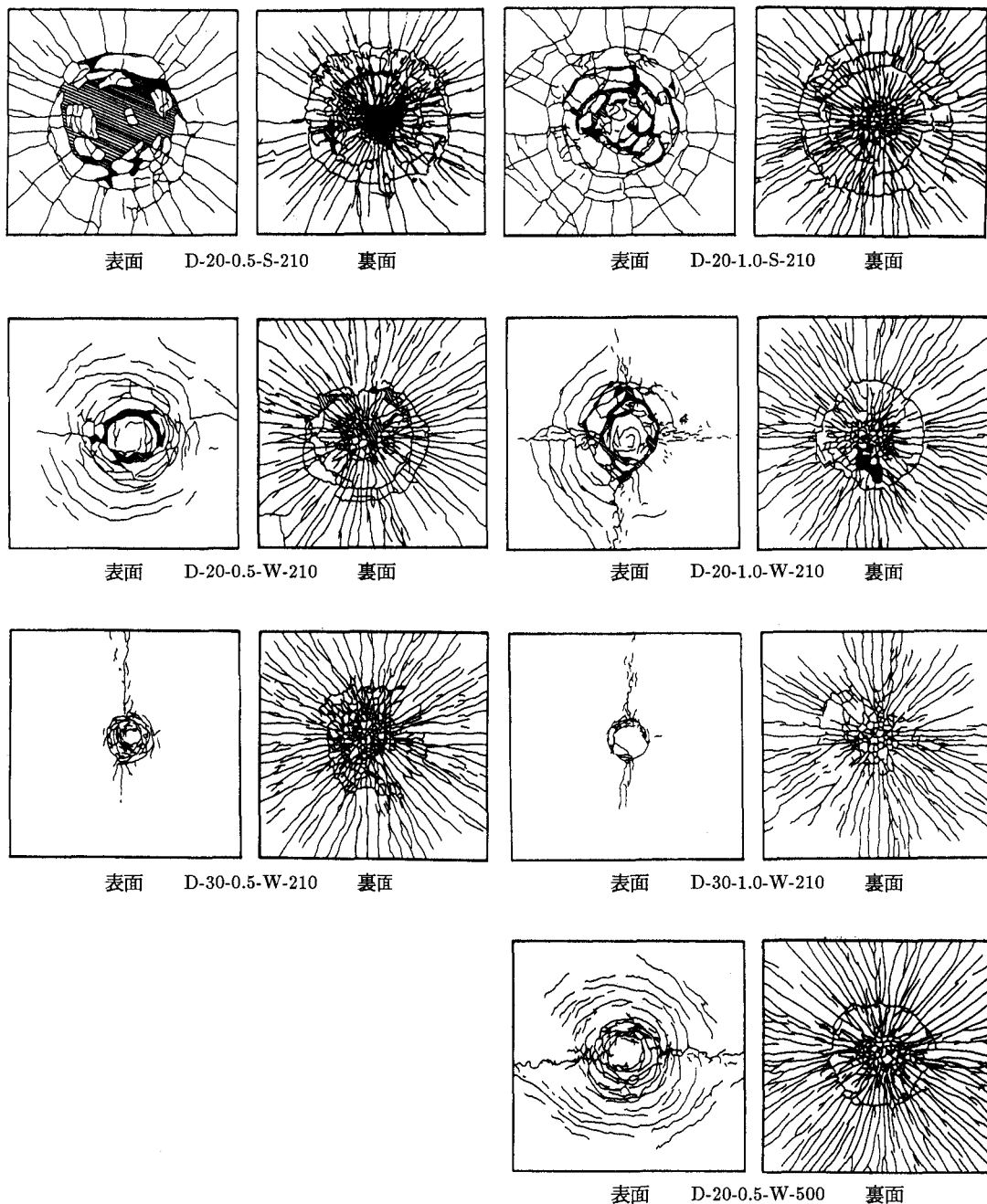
た場合における結果より小さな値となっている。なお、振動便覧式の $\lambda=40\text{tf/m}^2$ の場合は $\lambda=200\text{tf/m}^2$ の場合の $1/1.9$ の衝撃力となる。

3.4. 衝撃振動の継続時間

図-6に重錘衝撃力および伝達衝撃力の継続時間について示している。D-20-W-0.5-210 の場合を除いて他全てのケースは伝達衝撃力波形の方が重錘衝撃力波形よりも波動継続時間が長いことがわかる。伝達衝撃力波形に注目すると、D-20-S の場合が 110~120msec 前後を示しているが、D-30等の芯材の剛性が大きい場合には 80~100msec の値となっており、前者より波動継続時間が短くなっている。衝撃波動の継続時間は覆工の動的応答に深く関係する。覆工の動的応答値を低減させるためには荷重の継続時間を覆工の最低次固有周期の半周期から隔てる必要がある。幅員が 10m, 頂版厚が 1.1m 程度のRC型覆工の場合は固有周期が 70msec 程度であるため、本研究で検討を行っている全てのケースとも覆工の動的応答を低減する方向に作用している。荷重継続時間が長いほど覆工の応答値をより低減する方向に作用するのは勿論である。覆工の動的応答を考える場合には剛性の低い芯材の場合が高い場合より有利であるものと考えられる。

3.5. 芯材RC版のひび割れ性状

図-7に実験終了後の芯材 RC 版の上面,下面のひび割れ性状を示している。各ケースの裏面のひび割れ図をみると全ケースとも中心部より放射状にひびわれが発生していることがわかる。特に D-20-0.5-S-210 の場合は中央部の損傷が著しく、コンクリートがはげ落ちており、放射状のひび割れが他より少ない。これは鉄筋比が少なくかつ単鉄筋であるため、荷重載荷とともに載荷点部が著しく損傷し載荷点部でエネルギーが吸収されたために周辺部への影響が



図—7 RC版の破壊性状

小さくなったためと考えられる。表面のひび割れ図をみると、単鉄筋の場合はいずれの場合も中央部の損傷が著しく荒い放射状のひび割れが発生しているが、複鉄筋の場合は放射状のひび割れはなく同心円状のひび割れが発生しているだけである。単鉄筋の場合は重錘のリバウンドによって除荷され、上に凸状態になったときに上端筋がないために抵抗できずに放射状のひび割れが発生したものと考えられる。D-20-0.5-S の場合は載荷点部がほぼ全面にわたって抜けている状態であり最も損傷の程度が著しい。その次に大きな損傷を受けている版は、D-20-1.0-S であり、D-20-

0.5-W は D-20-1.0-S より損傷の程度が小さいようである。これより、芯材の耐力を考える上では多少鉄筋比が小さくても複鉄筋配置とした方が有利であるものと考えられる。D-20 で複筋配置の場合について比較を行うと、表裏面のひび割れ図より劣化の程度は D-20-0.5-W-210, D-20-1.0-W-210, D-20-1.0-W-500 の順に改善されているようであり、静荷重載荷同様コンクリート強度を大きくすることにより RC 版の動的耐力も向上できることがわかる。D-30 の鉄筋比が 0.5% の場合と 1.0% の場合を比較すると、表面のひび割れ状態は両者類似しているが、裏面のひび割れ状態は鉄筋比 0.5% の場合が載荷点部で若干多く発生しているようである。D-20 と D-30 を比較すると鉄筋比にかかわらず D-30 の場合ははるかに損傷の程度が小さいことがわかる。これより本実験の範囲内では RC 版の耐力向上には上述のように鉄筋比、コンクリート強度は勿論であるが、版厚による効果が最も大きいものと考えられる。

4. まとめ

著者等が提案している三層緩衝構造を実務的に設計可能とするために、表裏層材の材料、厚さを一定にし、芯材 RC 版の剛性を変化させた場合の緩衝特性や芯材 RC 版の損傷程度について検討を行った。本実験では表層材として厚さ 50cm の敷砂、裏層材として厚さ 50cm の EPS 材を用い、芯材 RC 版の厚さ、鉄筋比、配筋、コンクリート強度を変化させ検討を行った。剛性の度合に対する諸特性を明確に示すことはできないが、剛性の大小に対する傾向として次のような結果が得られた。

- (1) 単鉄筋配置の場合と D-20-0.5-W-210 の場合には伝達衝撃応力が多少載荷点部で集中しているが、他の場合にはほぼ均等に分散している。
- (2) 重錘伝達衝撃力の最大値は剛性が小さい場合に対して剛性が大きい場合は大きく示される。
- (3) 重錘衝撃力の最大値の平均値は $\lambda=200\text{tf/m}^2$ とした振動便覧式に対応しているようであり、伝達衝撃力の場合は $\lambda=40\text{tf/m}^2$ とした場合の振動便覧式より小さめの値を示している。
- (4) 覆工の動的応答性状に深く関与するものと考えられる伝達衝撃力の主波動継続時間は、剛性の小さい場合が長く、大きい場合は短くなっている。ただし、剛性の大きい場合でも 80msec 以上あり、RC 製覆工の場合には応答値を低減する方向に十分作用するものと考えられる。
- (5) 各ケースの RC 版のひび割れ状態より、単鉄筋配置よりも複鉄筋配置、鉄筋比に関しては小さい場合より大きい場合、版厚に関しては厚い場合の方が損傷の程度が小さくなることが明らかになった。芯材 RC 版にはその剛性によって衝撃荷重を分散させる効果と脆化性、および塑性化によってエネルギー吸収や力積による荷重強度を低減させる効果がある。これらの効果を発揮させる RC 版の特性は相反するものである。本実験の範囲では、考えた全ての実験ケースとも実務的に採用可能と考えられるが現場の状況を把握して適当な断面の芯材を選択するべきものとする。

参考文献

- 1). 日本道路協会, 落石対策便覧, 1983.7, pp1~239
- 2). 中野 修, 今野久志, 金子 学, 岸 徳光: 美幌覆道における重錘落下衝撃実験, 土木学会北海道支部論文報告集, 第48号 / I-51
- 3). 岸 徳光, 中野 修, 今野久志, 松岡健一, 西 弘明: 芯材 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
- 4). 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
- 5). 中野 修, 今野久志, 金子 学, 小野 裕二: EPS の落石覆工緩衝材への適用について, 建設省技術研究会, 平成3年11月