

I-35

三層緩衝構造を適用したRC落石覆道の試設計について

開発局開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一
 開発局開発土木研究所 正員 西 弘明
 (株)構研エンジニアリング 正員 太田越 郁郎

1. はじめに

山岳部や海岸部などの急崖地では、落石災害を防止する目的で落石覆道等が数多く建設されている。落石覆道は、通常落石衝撃力が直接頂版に作用しないよう緩衝材として山砂等が設置されているが、敷砂材は経時変化することや、現設計法ではある荷重以上では設計不可能になるなどの課題が指摘されている。このことから北海道開発局を中心とするグループは、敷砂に代る新しい緩衝材として軽量で緩衝機能に優れた三層緩衝構造（表層材敷砂、芯材RC版、裏層材EPS）を開発²⁾し、その緩衝特性を把握する目的で種々の大型野外実験を実施してきた。その結果、三層緩衝構造は優れた荷重分散性および衝撃エネルギー吸収特性を有し、構成材厚を調整することにより、本体構造に作用する衝撃力（伝達衝撃力）を重錐の衝突加速度から算定した衝撃力（重錐衝撃力）の1/2程度まで低減できることなどを明らかにしている³⁾。

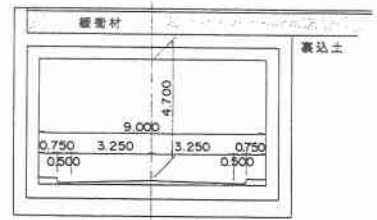
本報告は、上記実験結果を踏まえた実規模落石覆道の断面試算を静的2次元フレーム計算により実施し、三層緩衝構造の実覆道への適用について検討を行なったものである。ここでは、主に覆道の頂版厚に着目し、落石対策便覧⁴⁾の例に従った現設計法および単一載荷でかつ有効幅の概念を導入した場合を比較する形で検討を行なっている。

2. 基本設定

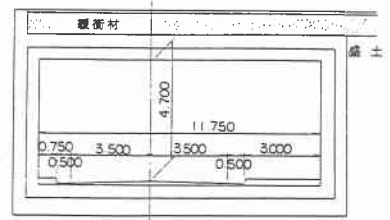
本設計では、北海道において多く建設されている箱型断面を有するRC製落石覆道について試設計を行なった。覆道断面は図-1に示すように、道路規模を第3種2級相当、総幅員（路肩+車道+管理用通路）を9m、建築限界を4.7mと設定している。また比較検討のため最大内空断面第3種1級相当、総幅員（路肩+車道+管理用通路+歩道）11.75mについても計算している。

なお、基礎形式はN値30程度の地盤を想定して直接基礎とし、覆道背面は水平に裏込めが施されているものとして土圧を考慮している。

断面設計は基本的に道路防災工調査設計要領¹⁾（以下、要領と呼ぶ）を参考に行なっている。荷重組合せケースとしては、同要領に従って常時（積雪荷重2.0m考慮）、落石時および地震時（水平震度 $K_h=0.16$ ）について計算しているが、地震時で断面決定されたケースはなかった。



(a) 一般部断面



(b) 広幅員断面

図-1 覆道断面形状

3. 試算ケース

各部材の算定条件としては、頂版および壁、柱部の版厚を同じとした（壁、柱部の応力度には余裕がある）

An examination on the Rock Shed design applying for the 3-Layer Shock Absorbing System
 by Masashi SATO, Kenichi MATSUOKA, Hiroaki NISHI and Ikuroh OHTAGOSHI

場合を考えている。

また、緩衝材としては三層緩衝構造および従来より用いられてきた敷砂単層構造を採用した場合を想定している。断面設計におけるパラメーターとしては、緩衝材底部における荷重の分布幅 B 、有効幅 ℓ （図-2）、および作用衝撃力（伝達衝撃力）の大きさの3つを考えている。なお、有効幅とは文献により定義されたもので、覆道の衝撃荷重により発生した断面モーメントが静的フレームに同じ荷重をかけた時と同じになる様フレーム幅を選定したものである。

これらのパラメーターはいずれも緩衝構造と密接な関係にある。緩衝構造を敷砂材とした場合、現行要領では緩衝材中の荷重分散角度は 45° としている。従って荷重分布は敷砂厚を半径とする円となる。実際には、これを四角形分布に換算し、断面方向に敷砂厚(h)の2倍の幅をとり、軸方向分布幅を $\pi h/2$ として設計することとなっている。

また衝撃力は、落石対策便覧の振動便覧式で $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ として算出することとしている。しかし文献によれば、敷砂材を用いた緩衝構造では、荷重の分布幅はほぼ落石の直径に近いこと、RC覆道の有効幅は落石の直径1m、敷砂厚0.9m程度であれば約4mになること、また覆道本体に作用する衝撃力は、先の振動便覧式の値の約2倍程度になることが報告されている。

一方、緩衝構造を三層緩衝構造とした場合、既往の文献によれば、荷重分布幅は、芯材RC版の大きさにも関係するが、一般的には3mとすれば十分であること、従って軸方向の有効幅も8m程度まで考慮できること、さらに作用衝撃力は、先の振動便覧式の1/2程度であることが明らかとなっている。

以上のことを考慮し、敷砂材は、敷砂厚を90cm、三層緩衝構造は、標準タイプの表層に50cm厚の敷砂、芯材に20cm厚のRC版、裏層に50cm厚のEPS材を用いることとすると、想定される試算ケースは、表-1に示すように全16ケースとなる。ここで、三層緩衝構造の場合、荷重分布幅1.5mと有効幅4mを追加したが、これは、何らかの条件により荷重分散が十分でなかった場合を考慮したものである。この中で、基本となるケースは以下の3ケースである。

ケース5：緩衝材として敷砂を用いて現行要領によって設計した場合で、緩衝材中の荷重分散角度は 45° とし、落石荷重は連続載荷させる。

ケース3：同様に敷砂を用いて既往の実験結果を参考にした場合で、緩衝材中の荷重分散角度は $1:0.5$ とし、有効幅は4m（4m間に単一落下）とする。

ケース13：緩衝材として三層緩衝構造を用いた場合で、作用衝撃力は重錐衝撃力の1/2倍、荷重分布幅は3m、有効幅は4mとする。

なお、その他のケースは比較のため、分布幅、有効幅および伝達衝撃力を実験結果を参考に組合せたものである。

落石荷重に関しては50～500tfを想定し、各荷重に対して頂版厚を10cm毎に算出している。

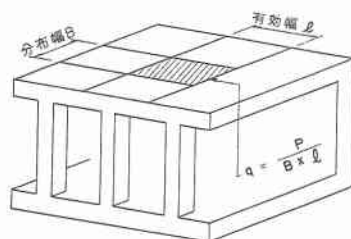


図-2 分布幅および有効幅

表-1 試算ケースの一覧

(a) 敷砂緩衝材を用いた場合

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8
荷重分布幅 0.9m	○	○	○	○	○	○	○	○
" 1.8m	○	○	○	○	○	○	○	○
有効幅 1.41m	○	○	○	○	○	○	○	○
" 4.0m	○	○	○	○	○	○	○	○
衝撃力 × 1.0	○	○	○	○	○	○	○	○
" × 2.0	○	○	○	○	○	○	○	○

(b) 三層緩衝構造を用いた場合

ケースNo.	9	10	11	12	13	14	15	16
荷重分布幅 1.5m	○	○	○	○	○	○	○	○
" 3.0m	○	○	○	○	○	○	○	○
有効幅 4.0m	○	○	○	○	○	○	○	○
" 8.0m	○	○	○	○	○	○	○	○
衝撃力 × 0.5	○	○	○	○	○	○	○	○
" × 1.0	○	○	○	○	○	○	○	○

4. 計算結果

断面計算の結果、作用荷重の分布幅に関しては、図-3に示すように、表-2、③のケースで頂版厚に10cmの差がみられるが、それほど大きな影響がないことが明らかになったことから、これについてはひとつにまとめることとした。また、三層緩衝構造を用いた場合、有効幅と衝撃力の組合せで同一荷重条件となるものがある。したがって、試算ケースを表-2に示すように単位有効幅当りの荷重の等しい6ケースに集約した。

計算結果を表-1の想定ケースの3、5、13に着目し、図-4に示す。図中の斜線部は北海道開発局で設計されたRC覆道の落石荷重の70%を網羅している。図より各ケース毎の比較を行うと、敷砂単層を用いて現要領に従い断面を設計した場合⑤には、落石荷重200tf程度という条件で頂版厚は140cmとなる。これは現在建設されている覆道の中でも厚い方と思われるが、さらに、これ以上の落石荷重を想定すれば頂版厚は相当な厚さとなる。このことは、現要領では最大鉄筋量の制限があり、ある落石荷重以上では、鉄筋量の増加で抵抗できないため、部材厚（有効高さd）で抵抗しなければならず、部材厚が急激に厚くなることを示している。

また、前述した既往の実験結果③に従うとすれば、同程度の落石荷重に対して頂版厚は90cmとなる。これは有効幅が4mとなるため載荷荷重が現要領に比較して約1/3に低減されるためである。これに対し緩

衝材として三層緩衝構造を採用した場合②には、さらに作用荷重が1/2となるため、落石荷重500tfを想定しても頂版厚は100cm程度となる。逆に同じ版厚で比較すれば、三層緩衝構造を用いた場合には落石荷重を数百tf程度大きく見積ることが可能となる。このことは、既設の覆道において敷砂に代えて三層緩衝構造を設置することにより、本体構造を補修することなく、設計荷重を大きくできることを意味している。

なお、三層緩衝構造を用いた場合に、落石荷重が小さい範囲では頂版厚が一定となっている。これは常時（図中▲印）で断面が決定されており、三層緩衝構造を採用しても、断面が極端には薄くならないことを示している。本試設計の経済性について若干言及すれば、ここに挙げた基本設定条件の下では、落石荷重が小さいうちは緩衝性能の影響が少なく、本体工のみに限定すれば構造は、同一部材厚になることから三層緩衝

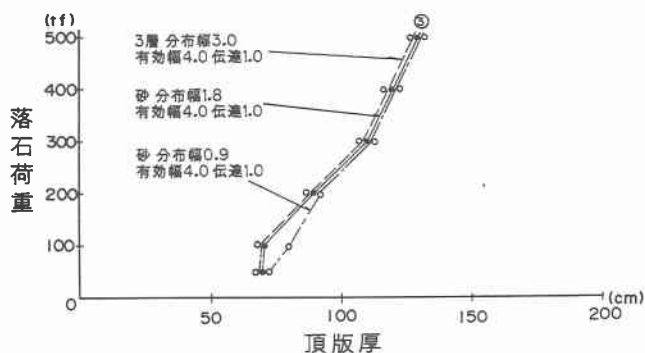


図-3 分布幅の影響

表-2 試算ケース

試算No.	ケースNo.	載荷荷重 (tf)	備考
①	15	$0.0625 \times P^*$	
②	13, 16	$0.1250 \times P$	三層
③	14, 3	$0.2500 \times P$	砂実験
④	4	$0.5000 \times P$	
⑤	5	$0.7092 \times P$	砂要領
⑥	6	$1.4184 \times P$	

*P: 落石荷重

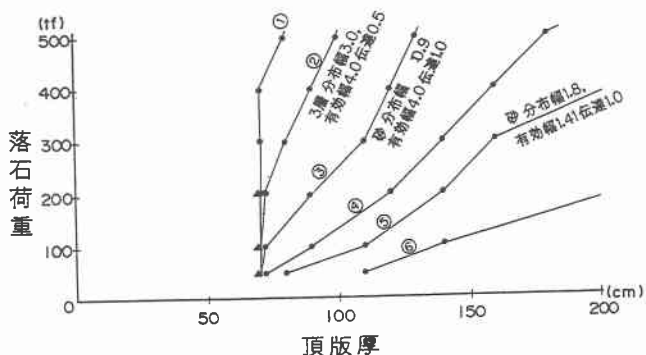


図-4 落石荷重と頂版厚

構造は、EPS、RC版が必要になり砂の方が経済性で有利になると考えられる。落石荷重が大きくなれば、三層緩衝構造は本体工の部材厚を薄くできることから当然敷砂材より有利になると考えられる。しかしながら、実施設計においては、設計条件、基礎工等を含め総合的に比較検討する必要がある。さらに、敷砂緩衝材は、経年変化とともに締め固め密度が大きくなるとが経験的に知られており、文献⁷⁾によれば、この場合の衝撃荷重が大きくなることになりこの点を設計の際に充分考慮する必要もある。

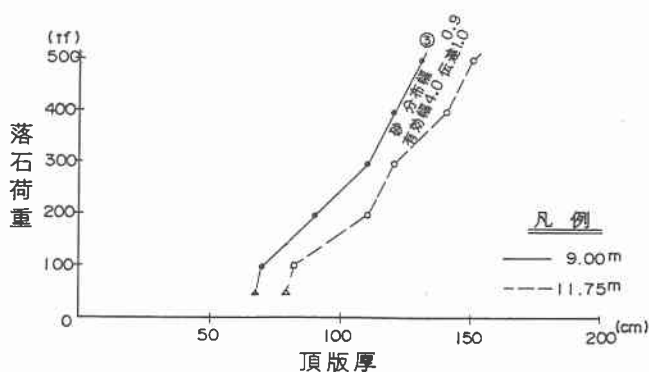


図-5 広幅員の影響

次に図-5に示すように広幅員の影響を試算ケース③について計算した結果、落石荷重500tfで20cmと単位有効幅当りの載荷荷重が大きくなるにつれて一般部に比べ、大幅に頂版厚が増加する。

5. まとめ

本報告では、落石覆道の新しい緩衝材として北海道開発局を中心とするグループが開発した三層緩衝構造の適用性に関して、現行の設計法との比較を含めた試設計によって検討を行なった。ある設計条件の下での一試算であるが、本検討結果より以下の事項が明らかとなった。

- 1) 作用荷重の分布幅を2倍程度変化させた場合の試算では、頂版厚への影響はさほど大きくはない。
- 2) 現設計法によれば、ある落石荷重から頂版厚が急激に大きくなる傾向にあり設計が不可能となる。
- 3) 三層緩衝構造を採用することで、荷重が大きい場合でも適切な頂版厚での設計が可能になる。
- 4) 三層緩衝構造は防災点検などで耐荷力不足が指摘されたような覆道における補強策として有効な手段となりうる。
- 5) 広幅員覆道では、単位有効幅当りの載荷荷重が大きくなると大幅に頂版厚が増加する。

しかしながら、落石覆道の設計に際しては荷重評価、有効幅、動的応答値などに課題が残っており、これらを総合的に判断した中で、設計手法を確立したいと考えている。

参考文献

- 1) 北海道開発技術センター：道路防災工調査設計要領（案）落石覆道編 平成2年3月
- 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，今野久志，金子学，岸徳光：美幌覆道における重錐落下衝撃実験 土木学会北海道支部論文報告集 第48号 PP 205～210 1992. 2
- 4) 日本道路協会：落石対策便覧 昭和58年7月
- 5) 菅田紀之，岸徳光，中野修，三上隆：箱型落石覆工の落石荷重に対する断面力算定法 土木学会北海道支部論文報告集 第50号 PP 158～163 1994. 2
- 6) 岸徳光，中野修，松岡健一，西弘明：野外実験における敷砂の緩衝性能構造工学論文集 Vol. 39 A PP 1587～1597 1993. 3
- 7) 佐藤昌志，西弘明，佐藤京，松岡健一：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論文報告集 第51号投稿中