

I-60

衝撃挙動を考慮した各種緩衝材を有するRC覆工の試設計

開発局開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 開発局開発土木研究所 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 (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工等が数多く建設されている。箱型断面で立体形状を有するRC落石覆工の断面力の算定は、落石対策便覧に従い単位奥行幅をもつ静的2次元フレーム計算により実施しているのが現状である。しかしながら種々の大型野外実験や動的解析結果より、RC落石覆工の衝撃荷重載荷時の挙動は、静的解析結果と異なることが明らかになっている。

本報告は、RC落石覆工の合理的設計を目的とし、主に覆工の頂版厚に着目した断面試設計を行ったものである。断面設計は、1) 現行設計法による場合、2) 各種野外実験結果を参考にした静的解析による場合および、3) 動的3次元特性を考慮した断面力評価法に基づく場合の3ケースについて比較検討している。なお、緩衝材としては、従来より用いられている敷砂および著者らが新たに開発した三層緩衝構造(表層より敷砂、RC版およびEPS材で構成される)を用いることとしている。

2. 設計方法

- 1) 現行設計法は、道路防災工調査設計要領落石覆道編の規定に基づき、緩衝材として敷砂(敷厚90cm)を用いたものである。すなわち、荷重の分布幅を1.8m、道路軸方向(解析フレームの奥行き方向)の載荷幅を1.414mとし、振動便覧式で算出した落石荷重を静的に載荷して2次元フレーム解析により断面力を算出し、断面(頂版厚)を決定するものである。この場合の載荷状態は、1.8m×1.414mの部分等分布荷重が道路軸方向に連続載荷した状態を想定していることになる。
- 2) 静的解析は、基本的に1)と同様に行うが、落石荷重を道路軸方向4mあたりに単一載荷することを想定する。すなわち、奥行き方向の載荷幅が4mということになる。敷砂を用いる場合は荷重分布幅を1.0mとし、振動便覧式で算出した値の2倍の落石荷重(覆工本体に作用する荷重、伝達衝撃力で考える)を載荷する。また、三層緩衝構造を用いる場合は荷重分布幅を3.0m、振動便覧式の値の1/2の落

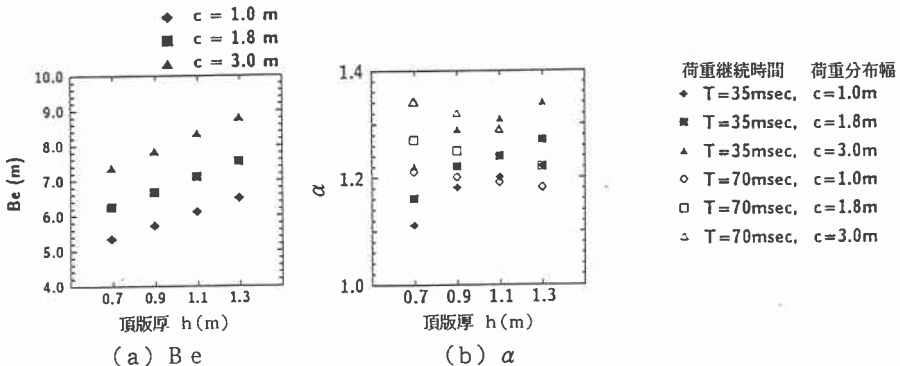


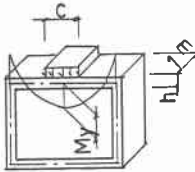
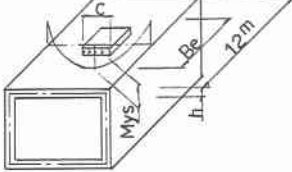
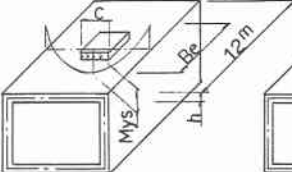
図-1 断面方向曲げモーメント M_y に対する有効幅 B_e および応答倍率 α

Trial Design of RC rock shed using various absorbing material considering impact behavior by Masashi SATO, Hiroaki NISHI, Norimitsu KISHI and Ikuroh OHTAGOSHI

石荷重を載荷することとする。

3) 動的解析は文献⁶⁾を参考に、動的3次元挙動特性を考慮した場合の断面を決定するものである。表-1に示すような予備解析を前提に、頂版厚 h を仮定して有効幅 Be を輿行き幅とするフレーム計算により断面力を算出する。この断面力に動的応答倍率 α を乗じることにより動的立体解析と等価な最大断面力を得る。次に応力計算により仮定頂版厚を照査する。なお、本試設計では敷砂の場合の荷重載荷時間は35msec、荷重分布幅は1m、三層緩衝構造の場合はそれぞれ70msec、3mとしている。

表-1 有効幅、応答倍率の算出法（断面方向曲げモーメント My を例として）

	概 念 図		コ メ ント
Be の 算 出	静的二次元フレーム解析 	静的立体解析 	静的立体解析による頂版中央の最大曲げモーメント Mys と静的解析による My とが等価となるような有効幅 Be を算出する。 $Be = \frac{My}{Mys}$ 荷重分布幅 C と頂版厚 h で整理する。 (図-1(a))
	α の 算 出	静的立体解析 	
			3次元の動的特性を考慮できる動的立体解析により頂版中央の応答倍率 α を算出する。 $\alpha = \frac{My*}{Mys}$ 衝撃荷重の継続時間 T 、荷重分布幅 C 、および頂版 h で整理する。 (図-1(b))

3. 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製落石覆工について試設計を行なった。覆工断面は図-2に示すように、道路規格を第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、覆工1ブロックの道路軸方向長さは12mとしている。

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、覆工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。

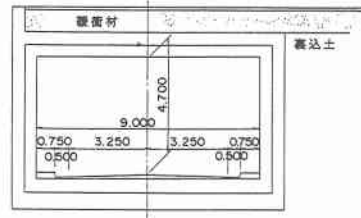


図-2 覆工断面形状

4. 試算ケース

現行設計法、および静的解析では、頂版、壁、柱、底版の各部分材厚を同じとした（壁、柱、底版の各応力度には余裕がある）場合を考えている。

緩衝材としては、三層緩衝構造および敷砂単層構造を採用した場合を想定している。

断面計算におけるパラメーターは、荷重の分布幅、荷重の載荷幅（又は有効幅）（図-3）、伝達衝撃力、およびブロック端部載荷の影響（端部載荷の場合、頂版中央部載荷の曲げモーメント

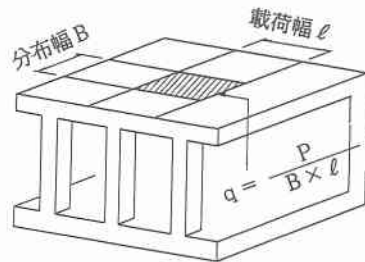


図-3 分布幅および載荷幅

の約2倍になることを想定する)を考慮し、表-2に示す7ケースについて計算する。
 落石荷重は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。

表-2 試算ケース

		荷重の分布幅(m)	伝達衝力	端部の影響	荷重の載荷幅(m)	有効幅	備考
敷	現行設計	1.8	1.0	—	1.414	—	落石荷重は連続載荷
	静的解析	0.9	2.0	—	4.0	—	砂実験結果、落石荷重は4mに1個載荷
砂	動的解析	0.9	2.0	1.0	—	Be	1ブロック(12m)に1個載荷
				2.0	—	Be	〃
三層	静的解析	3.0	0.5	—	4.0	—	三層実験結果、落石荷重は4mに1個載荷
	動的解析	3.0	0.5	1.0	—	Be	1ブロック(12m)に1個載荷
				2.0	—	Be	〃

5. 計算結果および考察

計算結果を図-4に示す。図中●は敷砂を用いた場合の現行設計法であり、□は三層緩衝構造、■は敷砂を用いた場合の静的解析結果である。△▽、▲▼は三層緩衝構造、敷砂の端部載荷の影響をそれぞれ考慮した動的立体解析結果である。△▽□は頂版厚が常時で決定しているケースを示す。図の横軸には頂版厚、縦軸には振動便覧式で算出される落石荷重をとっている。

まず、緩衝材として敷砂を用いた現行設計では荷重の増加とともに頂版厚が急激に厚くなっている。この場合、落石荷重300tfで頂版厚は160cm程度となり、実設計的には限界に近いものになると考えられる。これに対し、落石荷重を4m(ほぼ柱間隔に等しい)に1個の載荷としたケースでは、現行設計に比較して載荷荷重が約1/1.4(=2×1.414/4.0)となるため頂版厚は10~90cm程度に薄くなることわかる。また、動的解析の結果は中央部載荷時が4mに1個の載荷としたケースより若干小さな値、端部載荷の影響を考慮すると現行設計にほぼ近い値となっている。ブロックの間の接合部には実際には何らかの処置が施されているため、端部載荷時の影響を2倍に見込むのは若干安全側になると考えられるが、中央部載荷時で断面を決定するような場合においてはブロック端部には十分な補強が必要になると思われる。

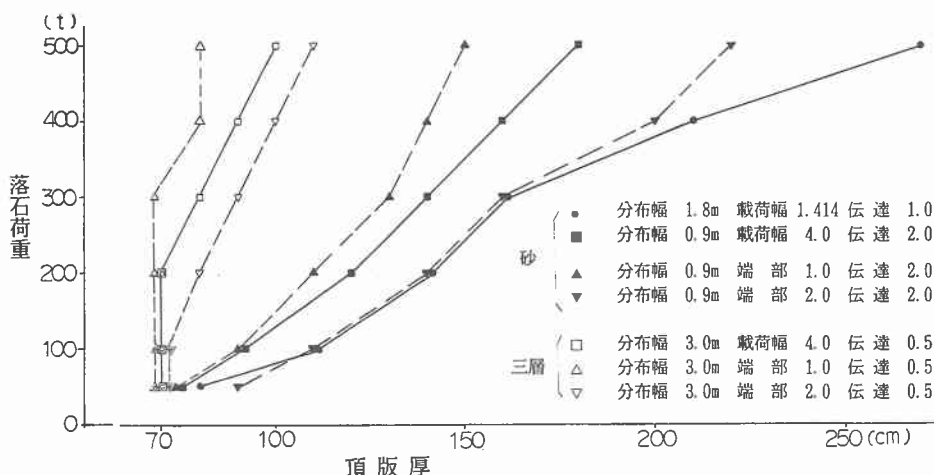


図-4 落石荷重と頂版厚の関係

三層緩衝構造を用いた場合には伝達衝撃力が小さく、かつ荷重分散範囲が広がることから、頂版厚は非常に薄くなっており、荷重の増加に対する頂版厚の増加の割合も小さいものとなっている。各ケースで比較すると、4mに1個の載荷の場合の結果が動的解析の端部載荷の影響を考慮した場合および考慮しない場合の結果のほぼ中間的な値となっている。ここで、三層緩衝構造の場合の端部載荷の影響に関しては、荷重の分散範囲が4mと広いことから敷砂を用いる場合よりさらに小さくなることが予想される。

次に、動的解析の結果より各緩衝材を用いた場合を比較する。同一落石荷重で頂版厚をみると、三層緩衝構造を用いた場合が敷砂を用いた場合に比較して数十cm薄くなっており、その傾向は落石荷重が大きくなるほど顕著になっている。ただし、三層緩衝構造を用いると落石荷重が小さい場合においては、頂版厚が常時荷重で決定されるため極端には薄くならず、敷砂を用いた場合に比較してもそれほど有効とはならないことがわかる。また、同一頂版厚では三層緩衝構造を用いることにより対応落石荷重は非常に大きくなる。このことは、敷砂を用いた既設覆工で耐力不足が指摘された場合等の対応策として三層緩衝構造を用いることが有効であることを示している。

6. まとめ

本報告では、緩衝材として三層緩衝構造、および敷砂を用いた場合の静的解析と動的立体解析の比較を試設計にて検討した。ある設計条件のもとでの結果であるが、以下の事項が明らかとなった。

敷砂を用いた場合、

- 1) 敷砂を用いた現行設計では、荷重の増加とともに頂版厚が急激に厚くなる。
- 2) 4mに1個載荷したケースでは、現行設計より0~90m程度頂版厚は薄くなる。
- 3) 動的解析の結果、4mに1個載荷したケースより若干小さな値、端部の影響を考慮すると、現行設計にほぼ近い値となる。
- 4) 中央部載荷で断面を決定する場合は、十分な端部補強が必要と思われる。

三層緩衝構造を用いた場合、

- 5) 三層緩衝構造を用いた場合、伝達衝撃力が小さく、荷重分散範囲が広がることから、頂版厚は非常に薄く、荷重に対する頂版厚の増加との割合も小さい。
- 6) 4mに1個載荷した場合の結果は、動的解析の端部載荷の影響を考慮したケースとしないケースのほぼ中間の値となる。
- 7) 同一落石荷重でみると、三層緩衝構造を用いた場合、敷砂に比較して数十cm薄くなる。
- 8) 敷砂を用いた既設覆工で耐力不足が指摘された場合の対応策として三層緩衝構造は有効である。

しかしながら、落石覆工の設計に際しては、荷重の評価、せん断力、端部の補強方法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) 日本道路協会：落石対策便覧 昭和58年7月
- 2) 中野修，岸徳光，松岡健一，菅田紀之：剛性マトリックス法を用いた落石覆工の衝撃応答解析 構造工学論文集 Vol 38A PP1597~1606 1992.3
- 3) 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 39A PP1587~1597 1993.3
- 4) 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 PP205~210 1992.2
- 5) 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
- 6) 菅田紀之：有効幅を用いたRC落石覆工の断面力に関する一考察 土木学会北海道支部論文報告集 第51号 PP146~149 1995.2