

I - 9

基礎を考慮した三層緩衝構造を用いたRC落石覆道の設計と課題

(株)構研エンジニアリング 正員 太田越郁郎
 開発土木研究所 正員 今野 久志
 " 正員 佐藤 昌志
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一

1. はじめに

山岳部や海岸部のなどの急崖地では、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。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持つ静的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2次元フレーム計算とは異なった結果となることが明らかになっている²⁾。

本報告は、RC落石覆工の合理的な設計法の確率を目的として、緩衝材に敷砂を用いて現行設計法に従い設計されたRC落石覆工の基礎形式に着目し、三層緩衝構造を用いた場合との比較検討を行った。

現行設計法による断面計算は、道路防災工調査設計要領落石覆道編(以下要領と略す)に従って計算を行い、これに対し三層緩衝構造を用いた場合の落石覆工の設計は、伝達衝撃力を用いた動的立体解析と等価な最大断面力が求まるように応答倍率及び有効幅を考慮して行っている⁴⁾。

2. 設計方法(三層緩衝構造を用いる場合)

- 1) 覆工断面形状は図-1に示すように、道路規格を第3種2級、総幅員(路肩+車道+管理用道路)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の長さは、12mとしている。

基礎形式は、支持力が得られないため、 $\phi 1.2\text{m}$ の場所打ち杭とし、既設海岸擁壁には、鉛直荷重も水平荷重も伝達しない構造を採用している。(図-3b)

- 2) 落石荷重は、 $\phi = 1.6\text{m}$ (比重 2.5tf/m^3)、 $W = 5.3\text{tf}$ 、 $H = 59\text{m}$ (μ , θ で補正した落下高)、斜面勾配 $\theta = 52^\circ$ で斜め方向に載荷するものとする。

要領より、頂版中央に載荷する場合の落石荷重は、覆道設置位置が落石の水平到達距離 $l = 5 \cdot \cos \theta$ 以上であるため、第2落下点として $0.4P_1$ とする。覆工背面に載荷する場合は、第1落下点として、 P_1 とする(図-2)本設計では、落石による背面土圧の影響が大きいことから、第1落下点にも三層緩衝構造を採用した。

・覆工上の三層緩衝構造の設計

$$P_1 = 2.455 \times \lambda^{2/5} \times W^{2/3} \times H^{3/5} \\
= 2.455 \times 200^{2/5} \times 5.3^{2/3} \times 59^{3/5} = 717\text{tf}$$

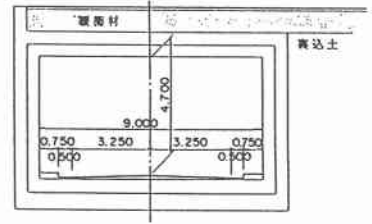


図-1 覆工断面形状

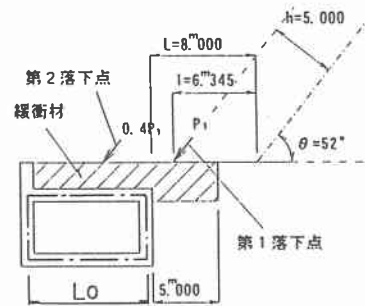


図-2 載荷方法

A design and subjects for the RC Rock-Sheds adopted 3 Layered Shock Absorbing System considered with the foundation

by Ikurou OHTAGOSHI, Hisasi KONNO, Masashi SATO and Ken-ichi MATSUOKA

従って、RC版に作用する落石荷重の鉛直成分は、

$$P_v = 0.4 P_1 \times \sin \theta = 0.4 P_1 \times \sin 52^\circ = 226 \text{ tf}$$

伝達衝撃力 P_t は、⁵⁾

$$E_w = \frac{P_v^2}{559.5 \times (12.8 + 40 h_c + W)} = 3.50 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$P_t = 176 \sqrt{0.9 + \frac{E_w}{44 h_e}} = 181 \text{ tf}$$

E_w ; 歪エネルギーの総和 (tf・m)

h_c ; RC床版厚 (m)

W ; 落石の重量 (tf)

h_e ; 裏層EPS材厚 (m)

ここに、 $h_c = 0.20 \text{ m}$, $W = 5.3 \text{ tf}$, $h_e = 0.50 \text{ m}$

覆工に作用する水平力は、 $P_H = 181 \times 0.35 = 63 \text{ tf}$

・背面上の三層緩衝構造の設計

RC版に作用する落石荷重の鉛直成分は、

$$P_v = P_o \times \sin \theta = 717 \times \sin 52^\circ = 565 \text{ tf}$$

伝達衝撃力 P_t は、

$$E_w = \frac{P_v^2}{559.5 \times (12.8 + 40 h_c + W)} = 18.96 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$P_t = 176 \sqrt{0.9 + \frac{E_w}{44 h_e}} = 203 \text{ tf}$$

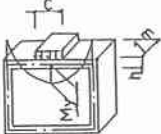
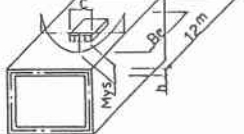
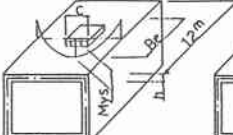
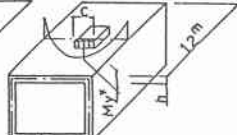
ここに、 $h_c = 0.30 \text{ m}$, $W = 5.3 \text{ tf}$, $h_e = 1.0 \text{ m}$

覆工に作用する水平力は、 $P_H = 203 \times 0.35 = 71 \text{ tf}$

3) 荷重方法としては、荷重の分散範囲は、 $4 \times 4 \text{ m}$ に分布するとし、載荷位置としては $(0/4)L_o \sim (4/4)L_o$ 及び覆工背面 1 m に載荷するが、今回の計算は、頂版中央と背面 1 m のみについて計算する。

4) 計算は、表-1に示すような、静的2次元フレーム解析にて頂版厚 h 及び各部材厚を仮定し、有効幅

表-1 有効幅、応答倍率の算出法 (断面方向曲げモーメント M_y 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 M_{ys} と静的解析による M_y とが等価となるような有効幅 B_e を算出する。 $B_e = \frac{M_y}{M_{ys}}$ 荷重分布幅 C と頂版厚 h で整理する。
α の 算 出	静的立体解析  動的立体解析 	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。 $\alpha = \frac{M_{y*}}{M_{ys}}$ 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。

Be を奥行幅とするフレーム計算により断面力を算出する。この断面力に各断面での動的応答倍率 α を乗ずることにより、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、仮定部材厚を照査し、仮定部材厚と一致するまで繰り返す、各部材厚を決定する。

3. 計算結果と考察

曲げモーメントの分布を表-2に示す。

最大曲げモーメントの発生位置は、常時、地震時は、頂版では頂版中央で、底版では海側杭基礎位置が最大となっている。

次に落石時の頂版では、頂版中央に載荷した場合は頂版中央で、背面1mに載荷した場合は海側隅角部で最大曲げモーメントとなり、頂版厚は頂版中央に載荷した時に決定している。底版では、中央部に載荷した場合は、海側隅角部で、背面1mに載荷した場合は山側隅角部で最大曲げモーメントとなる。

落石時の底版の曲げモーメントに着目すると、頂版中央に載荷した場合、及び背面1mに載荷した場合底版にはあまり曲げモーメントが発生せず、許容応力度を考慮すれば、底版厚は常時で決定している。

表-2 頂版・底版の最大曲げモーメント

(奥行き 1m 当り 単位 t・m)										
三層緩衝構造	荷重ケース	部材名	曲 げ モー メ ン ト						版 厚	部材厚決定位置
			常 時	地震時	落 石 時					
	自重・土圧	鉛直			水平	合計				
	頂版中央	頂版	37.97	37.40	33.79	56.52	0.94	91.25	100	落石時頂版中央
		底版	124.96	163.90	27.08	8.70	13.44	49.22	140	常時海側杭位置
背面 1m	頂版	37.97	37.40	-26.69	—	-50.59	-77.28	100	—	
	底版	124.96	163.90	1.78	—	-102.98	-101.20	140	常時海側杭位置	

は部材厚の決定ケース

緩衝材に敷砂を用い、現行設計法による覆工断面形状を図-3aに、三層緩衝構造を用い、前述の設計法による覆工断面形状を図-3bに示す。

図より、三層緩衝構造を用いた場合は、敷砂に比較し、頂版、側壁、柱ともに部材厚は1.6m、1.5m、1.5mから各々1.0mと大幅に薄くなっているが、底版厚は1.4mと同じになっている。これは底版厚が杭の鉄筋の定着長($l=35D$)で部材厚が決定しており、応力的には余裕があることを意味する。鉄筋を折り曲げて定着長を確保すれば、さらに110cm程度まで底版厚を薄くすることも可能である。このことは、三層緩衝構造を採用することにより、同一落石荷重の場合は、敷砂を採用する場合に比較し、数十cm部材厚を薄く

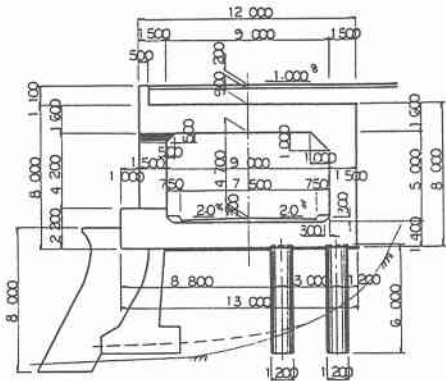


図-3a 敷砂による現行設計

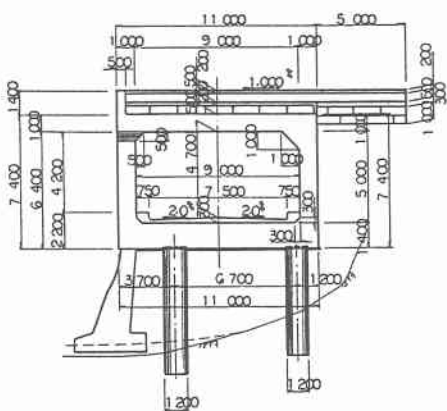


図-3b 三層緩衝構造

することが可能で、同一部材厚の場合は、大きな落石荷重にも対応できることになることを意味する。

又、基礎状態でみると、現行設計法は、既設海岸擁壁に鉛直力の一部を負担させているが、三層緩衝構造の場合は、鉛直力の一部を負担させていないにもかかわらず、杭本数は同じで、かつ既設海岸擁壁の腹付けを実施しなくてもよい結果となった。

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、又対外協議等で、海側へ海岸擁壁を腹付けできない場合等に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。

4. まとめ

本報告では、現行設計法と、三層緩衝構造を用いた場合の基礎形式に着目して、比較検討を行った。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。

三層緩衝構造を用いた場合

- 1) 頂版厚は、落石時の頂版中央に載荷した場合で決定している。
- 2) 底版厚は常時で決定し、落石による曲げモーメントは、あまり発生しない。また、底版と杭の接合方法を工夫することで底版厚は、薄くすることが可能と思われる。
- 3) 各部材厚は、現行設計法に比べ数十 cm 薄くすることが可能で、同一部材厚の場合は、大きな落石荷重にも対応できる。
- 4) 鉛直力の一部を負担させていないにもかかわらず、杭本数は同じで、既設海岸擁壁の腹付けを実施しなくてもよい。

しかしながら、落石覆工の設計に際しては、荷重の評価、水平力の伝達などに課題が残っており、これらを総合的に判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) 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
- 4) 菅田紀之：有効幅を用いた R C 落石覆工の断面力に対する一考察 土木学会北海道支部論文報告集 第 51 号 PP146 ～ 149 1995. 2
- 5) 佐藤昌志，岸徳光，松岡健一：三層緩衝構造の伝達衝撃力算定式の定式化 構造工学論文集 Vol 42A PP1337 ～ 1346 1996. 3
- 6) 佐藤昌志，松岡健一，西弘明，太田越郁郎：三層緩衝構造を適用した R C 落石覆工の試設計について 土木学会北海道支部論文報告集 第 51 号 (A) PP168 ～ 171 1995. 2