

(50) 各種緩衝構造を用いたPC製覆工の断面試算

北海道開発局 ○西 弘 明
 北海道開発局 中 野 修
 室蘭工業大学 岸 徳 光
 北海道大学 三 上 隆

1. はじめに

我国では現在、PC 製覆工は次のような条件の下で設計が行なわれている。すなわち、(1) 90 cm 厚の敷砂を緩衝材として用いる。(2) 衝撃力は落石対策便覧¹⁾に基づいて、ラーメ定数 $\lambda=100\text{tf/m}^2$ を仮定する振動便覧式より算定する。(3) 断面力の算定は一方曲げ問題として行なう。

一方、著者等は覆工の合理的な設計手法を確立するため、各種緩衝材の緩衝性能に関する大型野外実験^{2), 3)}を試みている。これまで得られた結果を列記すると緩衝材として敷砂単層 $h=90\text{cm}$ を用いた場合は、

- 1) 重錘衝撃力は、ラーメ定数 $\lambda=200\text{tf/m}^2$ とする振動便覧式にほぼ対応している。
- 2) 緩衝材を通過して構造物に作用していると考えられる衝撃力（これ以後を伝達衝撃力と呼ぶ）は、ラーメ定数 $\lambda=800\text{tf/m}^2$ とする振動便覧式にほぼ対応している。
- 3) 伝達衝撃力の分布は、重錘半径内で大きく示され落石対策便覧において規定しているほど分散しない。

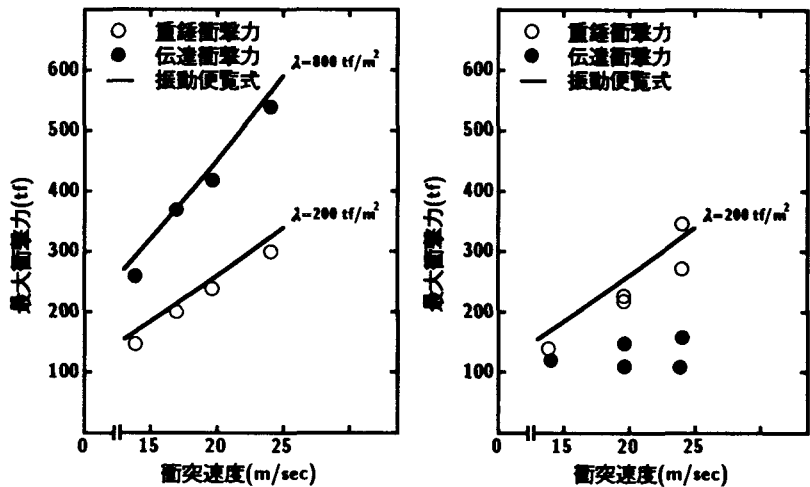
また、表層材として $h=50\text{cm}$ 厚の敷砂材、芯材として 20cm 厚の RC 版、裏層材として $h=50\text{cm}$ 厚の EPS 材（密度 20kg/m^3 ）とする三層緩衝構造を用いる場合は、

- 1) 重錘衝撃力は、敷砂単層 $h=90\text{cm}$ を用いる場合と大差がない。
- 2) 伝達衝撃力は、重錘衝撃力の $1/2$ 程度に低減される。
- 3) 伝達力は平均化され優れた分散効果を示す。

等である。各緩衝構造を用いた場合の重錘衝撃力、伝達衝撃力に関する実験結果を図-1に示している。

落石覆工の設計は軽量で緩衝性能、荷重分散性能に優れた緩衝材を用い、耐衝撃性および耐震性の高いより効率的な断面とすることが肝要であるものと考えられる。

本論文では、このような観点から、大型実験より得られた敷砂材および三層緩衝構造に関する上記の結果を基にして PC 製覆工の断面試算を試み、従来より用いられている落石対策便覧に基づいた結果との比較検討を行った。ここでは PC 桁の床板幅を 1.5m 、床板厚を 20cm 、桁幅を 40cm に固定し、桁高を変化させることによって算定された断面力と対応させることとした。



(a) 敷砂単層 $h=90\text{cm}$ の場合

(b) 三層緩衝構造の場合

図-1 最大衝撃力

2. 設定条件

本研究では、1tf および 3tf の落石が直接 30m 落下衝突する場合を想定し、次の 3 ケースについて検討している。

Case-1 : 緩衝性能実験結果に基づいて、敷厚 $h=90\text{cm}$ の敷砂材を単独に用いた場合

Case-2 : Case-1 と同様実験結果に基づき、上述の三層緩衝構造を用いる場合

Case-3 : 落石対策便覧に準拠した場合

図-2 に各ケースに関する PC 製覆工の概念図を示している。

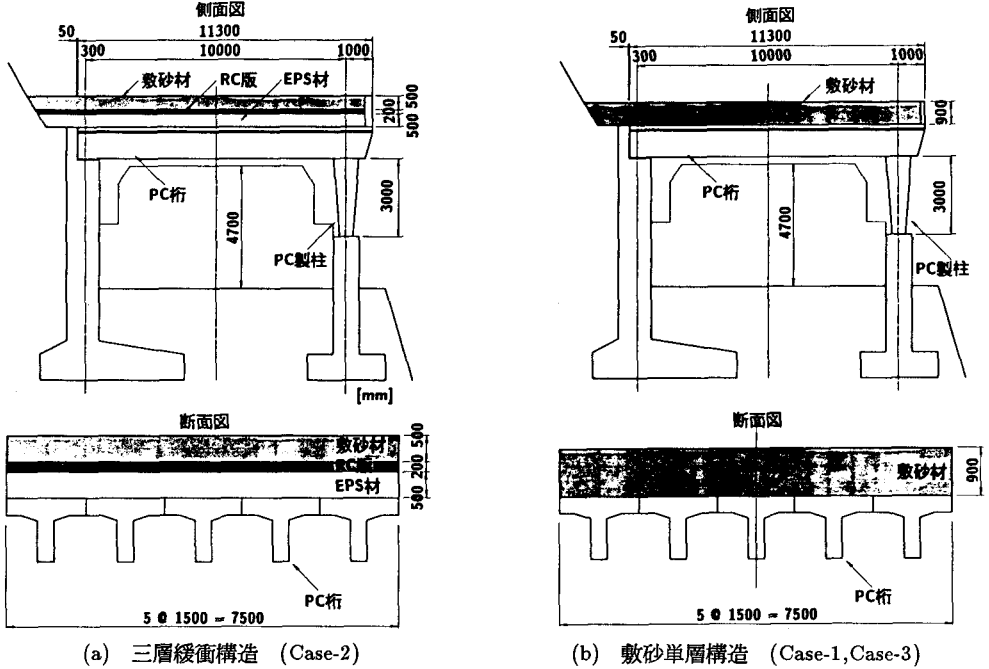


図-2 各ケースのPC製覆工の概念図

各ケースの設計条件は、

- 1) 頂版支点間距離を 10.0m、建築限界高さを 4.7m とし、実績の多い逆L型 2 ヒンジラーメン構造とする。
- 2) 各ケースの荷重分布状態は図-3 ~ 5 に示すとおりとする。衝撃力は Case-1 の場合には、ラーメ定数 $\lambda=200\text{tf/m}^2$ とする振動便覧式による衝撃力の 1.74 倍 ($\lambda=800\text{tf/m}^2$ の場合に相当) とし、分散幅は重径に等しく

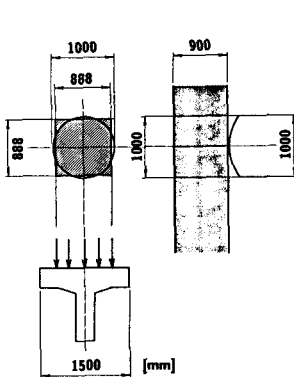


図-3 敷砂単層構造の場合の荷重分布 (Case-1)

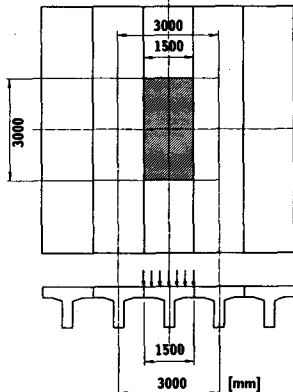


図-4 三層緩衝構造の場合の荷重分布 (Case-2)

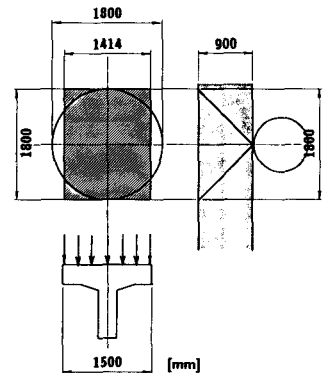


図-5 敷砂単層構造の従来設計による荷重分布 (Case-3)

- 1.0m とする。Case-2 の場合は、 $\lambda=200\text{tf}/\text{m}^2$ とする振動便覧式による衝撃力の 0.5 倍とし、分散幅は安全をみて 3.0m×3.0m とする。Case-3 の場合は、 $\lambda=100\text{tf}/\text{m}^2$ とし衝撃力、分散幅とも落石対策便覧に準拠するものとする。
- 3) 設計はあくまでも概算であり、主として曲げモーメントに対して行なう。
- 4) 断面設計は PC 部材として行なうが、ひび割れを許すⅢ種の領域で計算する。

3. 結果および考察

2. で設定した条件のもとに試算した一覧を表-1、表-2 に示す。

表-1 落石重量 $W = 1\text{tf}$ 、落下高さ $H = 30\text{m}$ の場合の断面試算

CASE	CASE-1	CASE-2	CASE-3
構造の概念	図-2 (a)	図-2 (b)	図-2 (a)
緩衝材の構造	敷砂単層 ($H_s=90\text{cm}$)	三層緩衝構造	敷砂単層 ($H_s=90\text{cm}$)
ラーメ定数 λ (tf/m^2)	200	200	100
重錘衝撃力 P_0 (tf)	$P_0=20.439 \times W^{2/3} H^{3/5}=157$	$P_0=20.439 \times W^{2/3} H^{3/5}=157$	$P_0=15.490 \times W^{2/3} H^{3/5}=119$
伝達衝撃力 P_1 (tf)	$P_1=1.74 \times P_0 = 274$	$P_1=0.5 \times P_0 = 79$	$P_1=P_0 = 119$
分布幅	0.89m × 0.89m (図-3)	3.0m × 3.0m (図-4)	1.80m × 1.414m (図-5)
荷重強度 q (tf/m^2)	$q = 346$	$q = 8.74$	$q = 46.9$
作用荷重 P (tf)	$P = 274$	$P = 39.3$	$P = 119$
断面力 M (tfm)	(※ $M = 362$)	$M = 96$	$M = 253$
所要桁高 コンクリート体積	(※ $H = 130\text{cm}$) (※ $V = 8.7\text{m}^3$)	$H = 80\text{cm}$ $V = 5.7\text{m}^3$	$H = 100\text{cm}$ $V = 7.1\text{m}^3$

※ は分担率 = 0.6 を考慮した場合を示す。

表-2 落石重量 $W = 3\text{tf}$ 、落下高さ $H = 30\text{m}$ の場合の断面試算

CASE	CASE-1	CASE-2	CASE-3
構造の概念	図-2 (a)	図-2 (b)	図-2 (a)
緩衝材の構造	敷砂単層 ($H_s=90\text{cm}$)	三層緩衝構造	敷砂単層 ($H_s=90\text{cm}$)
ラーメ定数 λ (tf/m^2)	200	200	100
重錘衝撃力 P_0 (tf)	$P_0=20.439 \times W^{2/3} H^{3/5}=327$	$P_0=20.439 \times W^{2/3} H^{3/5}=327$	$P_0=15.490 \times W^{2/3} H^{3/5}=248$
伝達衝撃力 P_1 (tf)	$P_1=1.74 \times P_0 = 569$	$P_1=0.5 \times P_0 = 164$	$P_1=P_0 = 248$
分布幅	0.89m × 0.89m (図-3)	3.0m × 3.0m (図-4)	1.80m × 1.414m (図-5)
荷重強度 q (tf/m^2)	$q = 725$	$q = 18.2$	$q = 97.5$
作用荷重 P (tf)	$P = 569$	$P = 81.8$	$P = 248$
断面力 M (tfm)	(※ $M = 720$)	$M = 168$	$M = 505$
所要桁高 コンクリート体積	該当なし	$H = 90\text{cm}$ $V = 6.3\text{m}^3$	$H = 150\text{cm}$ $V = 9.6\text{m}^3$

※ は分担率 = 0.6 を考慮した場合を示す。

各ケースにおいて床板上面が受ける伝達衝撃力とその分布面積に大きな差異があることを前提としているため、桁が受ける作用荷重および断面力の算出値には大差が生じている。設計計算はいずれもひび割れを許すⅢ種の領域で行われているが、Case-1 の場合には $W=1tf$ 、 $H=30m$ を想定した場合、隣接桁の荷重分担として0.6を考慮しても桁高は130cmとなり、分担率を0.4程度としなければ適当な断面を算定することができない。また、Case-1で $W=3tf$ 、 $H=30m$ を想定した場合には、1000tfm以上の曲げモーメントとなり、荷重分担を考慮してもPC製としては工学的に製造不可能な断面となる。一方、三層緩衝構造を設置するCase-2の場合には、同様な落石条件でも90cm程度の桁高で設計可能であることがわかる。

本試算結果より、緩衝構造として三層緩衝構造を採用することで、同一設計条件に対して従来工法および従来設計手法と比較して60%～70%の桁高で設計可能であることが明らかになった。これは三層緩衝構造を採用し、従来までの断面寸法とすることにより、設計で仮定した3倍程度の衝撃力に対しても十分な安全余裕度を持っていることを意味しているものと考えられる。

一方、緩衝構造として敷砂単層を用いる場合には、桁同士の連結を考慮できる構造とし荷重分担性能を向上させることが必要であるものと考えられる。

4. まとめ

本解析では、各緩衝構造の緩衝性能に関する大型実験結果を基にして、実規模のPC製覆工の曲げに注目した場合の断面試算を行なった。検討結果、三層緩衝構造を用いる場合には、 $h=90cm$ 層の敷砂単層を用いる場合に比較して60%～70%の桁高で設計可能になることが明らかとなった。これより、集中的かつ衝撃的に作用する荷重に対して、PC製覆工のような一方曲げ部材は、衝撃力の低減は勿論であるが、荷重分散性能に優れた三層緩衝構造を用いることにより、RC製覆工同様、より効率的な設計が可能であることが明らかになった。

実構造上に緩衝材を設置した場合、衝撃力や荷重分散性状、桁の荷重分担性状に本体の振動特性が影響するため、より合理的なPC製覆工構造設計のためには、落石、緩衝構造と本体構造との相互作用を考慮した動的特性を明らかにすることが必要であると思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.
- 2) 岸 徳光、中野 修、松岡健一、西 弘明：野外による敷砂の緩衝性能、構造工学論文集、Vol.39A、1993.3
- 3) Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, Ken-Ichi MATSUOKA and Jin YOSHIMURA：Development of 3-Layered Shock-Absorbing System for Rock Sheds, Proceedings of the International Symposium on Impact Engineering, Vol.2,pp725～729,1992.9, Sendai