

I-42

P C 落石覆道の設計に関する留意点と試設計

開発局開発土木研究所	正 員 佐藤 昌志
室蘭工業大学	正 員 岸 徳光
開発局開発土木研究所	正 員 西 弘明
(株)構研エッジ・アソシエーツ	正 員 川瀬 良司
北海道PC防災技術協会	正 員 若林 修

1. はじめに

我国では現在、P C 製落石覆道は次のような条件の下で設計が行われている。すなわち、(1)90cm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 $\lambda=100\text{tf/m}^2$ と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向曲げ問題として行なう。

一方、著者等は覆道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(敷厚 $h=90\text{cm}$)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 $\lambda=500\text{tf/m}^2\sim 1000\text{tf/m}^2$ とした場合の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 $h=50\text{cm}$ の敷砂材、芯材として20cm厚のR C 版、裏層材として $h=50\text{cm}$ のE P S 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、有意な差はない。
- 2)伝達衝撃力は、落石荷重レベルが比較的高い場合、重錘衝撃力の1/2程度に低減される。
- 3)伝達応力は平均され、敷砂単層を用いた場合と比較して、優れた分散効果を示す。

等である。

落石覆道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と考える。

本論文では、このような観点から、今後行う実大P C 落石覆道模型実験を対象に敷砂材および三層緩衝構造に関するP C 製覆道の断面試算を試み、比較検討を行った。また、P C 製スノーシェッドに関しては標準設計ができていますがP C 落石覆道の設計法については、確立されたものがない。そこで、設計上留意すべきと思われる点についても整理した。

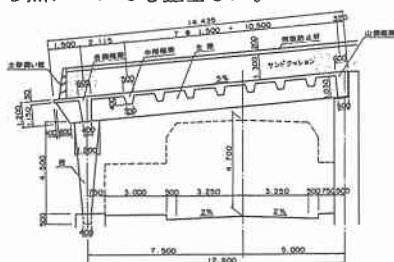


図-1 逆L型構造形状例

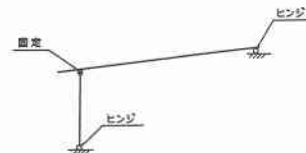


図-2 構造モデル

Attention Point and Trial Design about PC Rock-shed Design

by Masashi SATO, Norimitsu KISHI, Hiroaki NISHI, Ryouji KAWASE, Osamu WAKABAYASHI

2. PC製落石覆道の概要

PC製落石覆道の代表例を図-1に示す。示した例は今までに多く設置されている逆L型構造であり、図-2に示す通り1剛2ヒンジの一次不静定構造である。山側受台と谷側下部工は現場打ちで施工され、屋根部材と谷側柱は工場製作されたプレキャスト部材である。屋根を構成する主梁はプレテンション方式のPC部材であり、主梁巾は1.5m前後が多いようである。また、柱はポストテンション方式のPC部材であり、柱頭部から出されたPC鋼材で主梁を緊結し、1つの主構を構成している。道路縦断方向については、各横梁に設けたダクトにPC鋼材を通すこと等によって、複数組の主構を緊結し1つの構造体を形成している。

3. 設計手法の概要

PC製落石覆道の設計の流れを図-3に示す。

RC製と同様に落石対策便覧に準じて、緩衝材、衝撃力、分布幅の評価を行い荷重の算定を行っている。

断面力の算定は、衝撃荷重を静的荷重に置き換えて、主構に対して、二次元骨組解析を行い、各部の断面力や支点反力を求める。PC製は横梁、横締により各主構が連結されている場合、曲げモーメントに対してそれ相当の版効果を期待して、分担率を考慮している例もある。

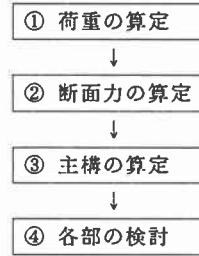
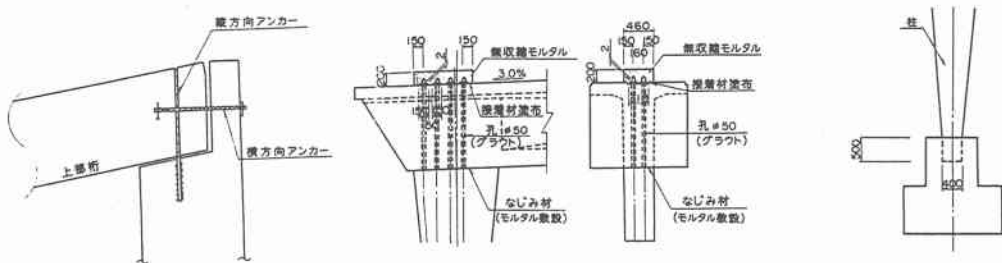


図-3 設計の流れ

主構は、許容応力度法で安全性を確認しており、主梁は常時がⅡ種（パーシャル）で設計を行い、落石時はひび割れを許すⅢ種（PRC設計）で設計している。柱は、巾が30～40cm程度の長方形断面であり、その配置上、鉄筋の依存度を極端に大きく出来ないので、落石荷重に対しては、Ⅱ種で設計している。

前記逆L型構造の場合の接合部は、主構に主梁と山側受台、主梁と柱、柱と谷側下部工の3ヶ所ある。主梁と山側受台との接合は、計算で得られた水平反力に対して、必要とされるアンカーボルトを鉛直方向に設置する。さらに、二重の安全措施として斜め落石等を考慮し、発生水平反力に対して水平アンカーを併設する。また、主梁と柱の接合は、モルタルによるウェットジョイントとなっており、主梁に開られた孔に、柱頭部から出ているPC鋼材を通して、主梁の上から緊結する型式になっている。柱と谷側下部工の接合は、柱を下部工に埋込む形で行われており、水平力と鉛直力だけを伝えるヒンジ構造としている。主構各部の接合例を図-4に示す。



(a) 主梁と山側受台接合例

(b) 主梁・柱の接合例

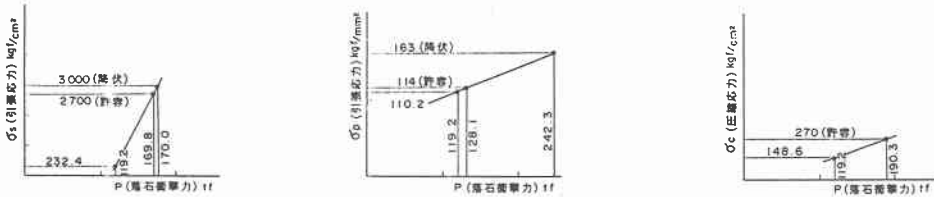
(c) 柱と谷側下部工の接合例

図-4 主構各部の接合例

4. 設計上の留意点

P C製覆道の断面試算時の留意点を以下に記す。

1) 主梁の設計法においては、耐衝撃性に対するねばりを多くもたせる(吸収エネルギーを大にする)ように、P C鋼材量と鉄筋量の割合、あるいはプレストレス導入量を決定する必要があると考えられる。また、プレストレスに対する鉄筋の拘束にも留意が必要である。本試設計では、主梁は落石時で断面が決定すると仮定し、許容応力度を満足する断面とした。鋼材量は、図-5に示すような衝撃力と応力度の関係をもとに、鉄筋、P C鋼材、コンクリートの順に降伏応力を越えるように決定している。



(a) 鉄筋応力ー落石衝撃力 (b) P C鋼材応力ー落石衝撃力 (c) コンクリート応力ー落石衝撃力

図-5 落石衝撃力とP R C設計における各応力状態の関係

2) 落石衝撃力がフランジ片持ち部に加わる場合、実験等で確認される現実の床版の挙動を表現できる一般的な簡易手法は未だ確立されていないと考えられる。参考になると考えられるのは、コンクリート道路橋の床版片持ち部の設計等である。試設計では、既往の実験結果を参考に片持ち部の有効幅(抵抗幅)として、荷重の分布幅 1.80m を採用することとした。

3) 主梁を連結する横締めは、落石荷重の隣接主構への伝達と道路縦断方向の地震慣性力の伝達が主な目的であるが、横締め方法や緊張力の荷重分担効果への影響等に関して説明が必要であると考えられる。なお、既往の実験研究⁴⁾では、荷重分担率を $0.4\sim 0.5$ 程度に見積ることができるという結果もある。

4) 主梁と柱の結合部は、一般に図-4に示したとおり、P C鋼材で結合されている。P C鋼材量は、発生する曲げ引張力で決定され、衝撃力および構造規模等によって変化するので、結合部の剛結度合は一定ではない。また、結合部に設計荷重以上の作用力が発生した場合には、ヒンジ状態に近く全体の構造形に変化が生じることも考えられるため、P C鋼材量には留意が必要である。

5. 試設計

1) 設定条件

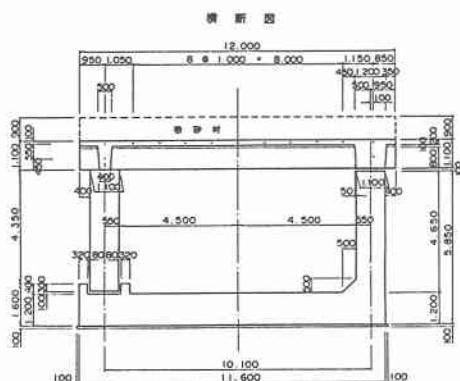
本論文では、 1tf の落石が 30m 自由落下衝突する落石荷重を想定し、P C桁の床板幅を 1.5m 、床版厚を 20cm 、桁幅を 50cm に固定し、桁高を変化させることによって算定された断面力と対応させることとした。衝撃荷重は、次の3ケースについて検討している。

CASE-1 : 落石対策便覧に準拠し、敷厚 $h=90\text{cm}$ の敷砂材を単独に用いた場合

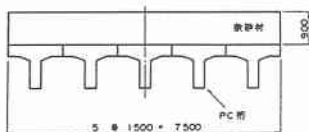
CASE-2 : 緩衝材として三層構造を用い、伝達衝撃力を重錘衝撃力(振動便覧式より得られる衝撃力)の 1.0 倍とした場合

CASE-3 : CASE-2と同様に三層構造を用い、伝達衝撃力を重錘衝撃力の 0.5 倍とした場合

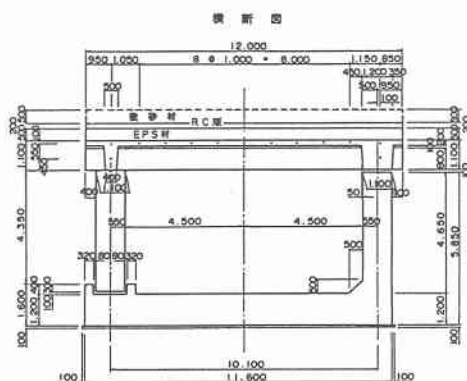
図-8に各ケースに関するP C製覆工の概念図を示している。



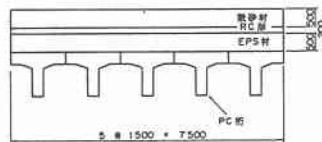
断面図



(a) 敷砂単層構造 (CASE-1)



断面図



(b) 三層緩衝構造 (CASE-2, CASE-3)

図-6 各ケースPC製覆工の概念図

各ケース条件は、

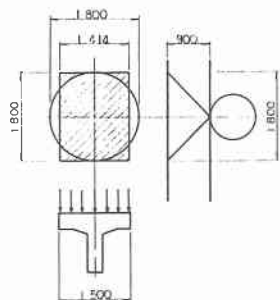
①頂版支点間距離を10.1m、建築限界高さを4.7mとし、実績の多い逆L型2ヒンジラーメン構造とする。

なお、谷側の柱の断面寸法は一率とする。

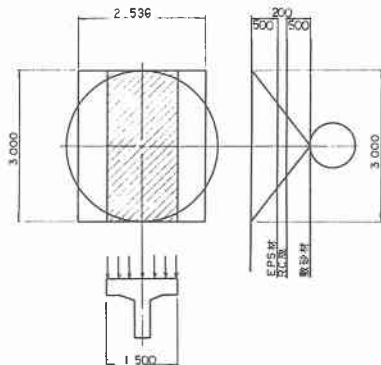
②各ケースの荷重分布状態は図-9,10に示すとおりとする。CASE-1の場合は、ラーメ定数 $\lambda = 100\text{tf/m}^2$ 、伝達衝撃力を振動便覧式より得られる衝撃力の1.0倍とし、分布幅は落石対策便覧に準拠する。CASE-2の場合もラーメ定数は $\lambda = 100\text{tf/m}^2$ 、伝達衝撃力を振動便覧式より得られる衝撃力の1.0倍とし、分布幅は実験結果の分散幅である直径 $\phi 3.0\text{m}$ を、矩形に換算し $3.0\text{m} \times 2.536\text{m}$ とする。CASE-3の場合はラーメ定数、分布幅ともCASE-2と同じとし伝達衝撃力を振動便覧式より得られる衝撃力の0.5倍とする。

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。



(a) 敷砂単層構造 (CASE-1)



(b) 三層緩衝構造 (CASE-2, CASE-3)

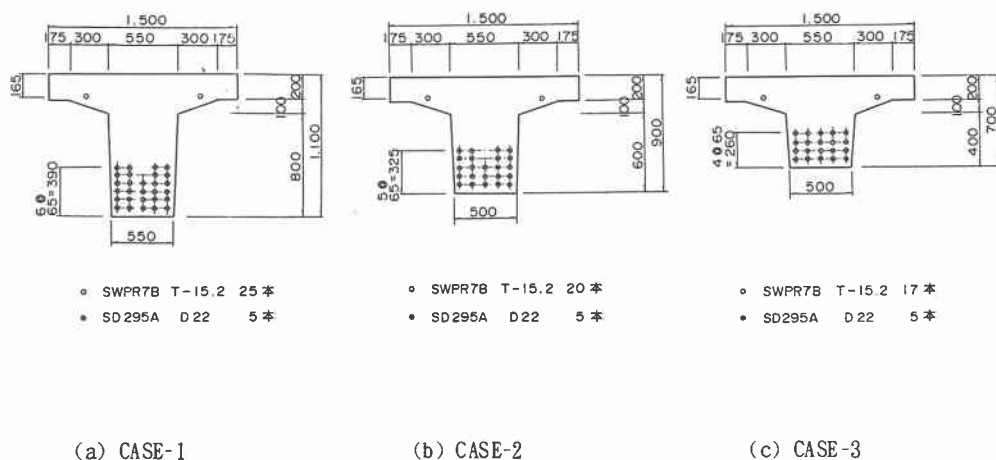
図-7 各ケースの荷重分布

2) 結果および考察

1)で設定した条件のもとに試算した結果を表ー1および図ー11に示す。

表ー1 落石荷重 $W=1\text{tf}$ 、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	図ー8(a)	図ー8(b)	図ー8(b)
緩衝材の構造	敷砂単層	三層緩衝構造	三層緩衝構造
ラーメ定数 $\lambda(\text{tf}/\text{m}^2)$	100	100	100
重錘衝撃力 $P_0(\text{tf})$	$P_0=15.49 \times W^{2/3} H^{3/5}=119$	$P_0=15.49 \times W^{2/3} H^{3/5}=119$	$P_0=15.49 \times W^{2/3} H^{3/5}=119$
伝達衝撃力 $P_1(\text{tf})$	$P_1=1.0 \times P_0=119$	$P_1=1.0 \times P_0=119$	$P_1=0.5 \times P_0=59.5$
分布幅	1.80×1.414	3.00×2.536	3.00×2.536
荷重強度 $q(\text{tf}/\text{m}^2)$	46.75	15.64	7.82
作用荷重 $p(\text{tf})$	119	70.38	35.19
断面力 $M(\text{tfm})$	257	162	96
所要桁高	$H=110\text{cm}$	$H=90\text{cm}$	$H=70\text{cm}$
コンクリート体積	$V=9.7\text{m}^3$	$V=8.4\text{m}^3$	$V=7.1\text{m}^3$



図ー11 各ケースの桁中央部断面

各ケースにおいて床版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。各ケースの桁高は、CASE-1 $H=110\text{cm}$ 、CASE-2 $H=90\text{cm}$ 、CASE-3 $H=70\text{cm}$ となり、緩衝構造を砂とした場合に比べ、三層緩衝構造の桁高は伝達衝撃力1.0倍の場合が80%、伝達衝撃力0.5倍の場合が60%で設計が可能であることが明らかとなった。このことは、従来までの断面寸法で三層緩衝構造を採用した場合、衝撃力による曲げモーメントが設計で仮定した1/

3程度となり、衝撃力に対して安全余裕度が増すことを意味しているものと考えられる。また、前述のように主梁の連結を適切に行い、荷重分担率を約50%に見積れば、従来設計法(CASE-1)においてもCASE-2とCASE-3の中間程度の断面で設計が可能であると考えられる。

6. 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製覆道の実験に向けて、曲げに注目した場合の断面計算を行なった。試設計より三層緩衝構造を用いる場合は、敷砂単層を用いる場合に比較して60%~80%の桁高で設計可能になることが明らかになった。これより、集中的かつ衝撃的に作用する荷重に対して、PC製覆道のような一方向曲げ部材は、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、効率的な設計が可能であることが明らかになった。しかしながら、PC落石覆道の設計に際しては、多くの留意点があると思われる。特に連結を行った場合での主梁の荷重分担性状は、断面形状や耐力力性状等にも大きく影響を及ぼすものと考えられる。

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と共に、PC落石覆道の終局荷重状態での耐力を明らかにする事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：野外実験による敷砂の緩衝性能，構造工学論文集，Vol139A，1993. 3
- 3) Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, en-Ichi MATSUOKA and Jin YOSHIMURA:Development of 3-Layered Shock-Absorbing System for Roc Sheds, Proceedings of the International Symposium on Impact Engineering, vol. 2, pp725~729, 1992. 9, Sendaishi
- 4) 西 弘明，佐藤 昌志，岸 徳光，松岡 健一：敷砂緩衝材を用いたPC多主桁の重錘落下衝撃実験，土木学会北海道支部論文報告集，I-31, pp. 142~147, 1994.