

I-37 PC 落石覆工の合理的な耐衝撃設計法確立のための大型実験計画

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
 北海道 PC 防災技術協会 正員 森 哲哉

1. はじめに

落石覆工構造物において、PC 製覆工は RC 製覆工とともによく用いられる構造形式の一つである。今後は、将来の人手不足および工期短縮等、または交通止めが不可能な建設地の現場条件等の問題から、工事のプレハブ化が余儀なくされる場合には PC 製覆工の需要が多くなるものと予想される。一方、PC 製覆工の設計は昭和 58 年度版落石対策便覧に則して衝撃荷重および荷重分散幅を決定し、これを単一桁に静的に載荷させて行っている。しかしながら、これまで落石対策便覧の妥当性に関する検討を含め、耐衝撃性に優れた PC 製覆工を建設するための実規模レベルの実証的な実験的研究は少ないようである。

このような現状から、北海道開発局開発土木研究所、室蘭工業大学、北海道 PC 防災技術協会の三者は、国道上に建設することを前提に、支間長約 10 m で、落石重量 1 tf、落下高さ 30 m の条件のもとで設計された実規模 PC 製覆工を 5 連製作し、平成 6、7 年度の 2 年間に渡る各種の実証実験を計画し、一部実施している。

本文では、これらの実証的な実験研究の概要について紹介することとする。実験計画の主たる目的は次のような3項目である。

- 1) 敷砂単層あるいは三層緩衝構造を緩衝材として用いた場合の発生衝撃力およびその分散特性、各桁の荷重分担率の把握、各緩衝構造の適用性に関する検討
 - 2) 逆 L 型構造（1 剛接 2 ヒンジ構造）と門型構造（1 剛接 2 固定構造）、頂版の横締めの有・無等の各構造形式に対する PC 覆工の衝撃荷重載荷時の弾性、弾塑性特性の把握
 - 3) 梁部材の衝撃耐力の把握、および 2) の各構造形式の保有耐力特性の把握である。
- 以下にこれらの実験計画の概要について述べる。

2. 実大 PC 模型桁の製作

2.1 設計概要

上部工構造は、表-1 に示すような落石条件に対し、現行の落石対策便覧に基づいて算定された設計衝撃力に対して設計されている。従って荷重の分布幅は表にも示されているように半開角 45° とし、 $B = 180\text{ cm}$ としている。上部工構造の断面諸元は表-2 に示すとおりである。断面設計は逆 L 型構造を基本構造とし、門型構造にも対処できるように PC 鋼材の配置を工夫している。

表-1 落石条件および設計衝撃荷重

落石荷重	$W = 1\text{ tf}$
落下高さ	$H = 30\text{ m}$ （自由落下）
緩衝材	敷厚 $h = 90\text{ cm}$ の砂単層
設計衝撃力	$P \approx 119.2\text{ tf}$
荷重分散幅	$B = 180\text{ cm}$
桁の分散率	$\alpha \approx 1.0$

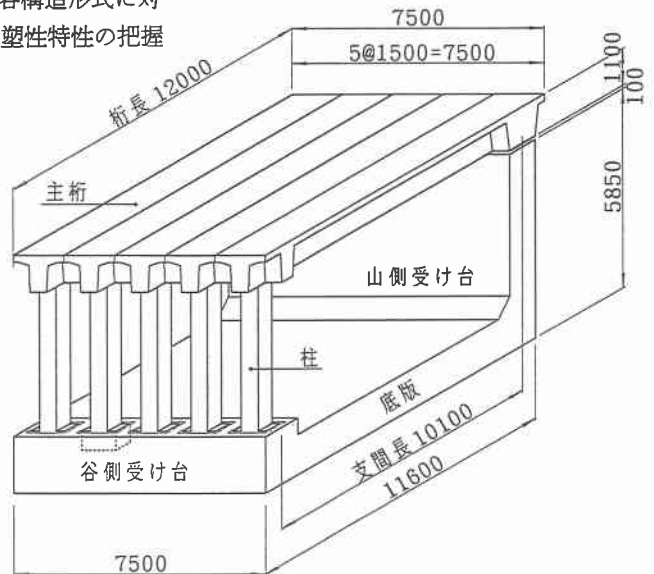
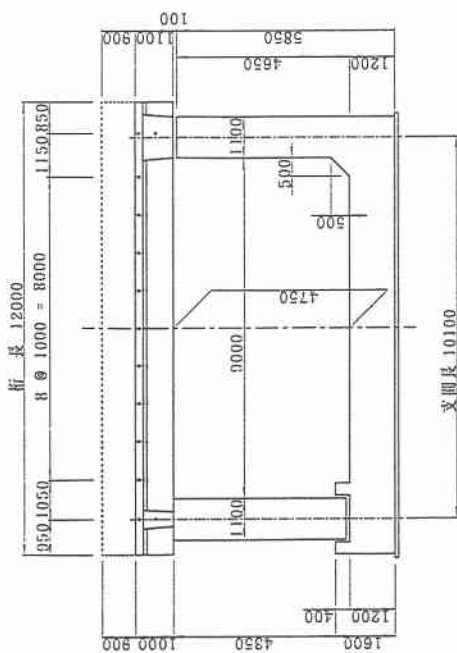
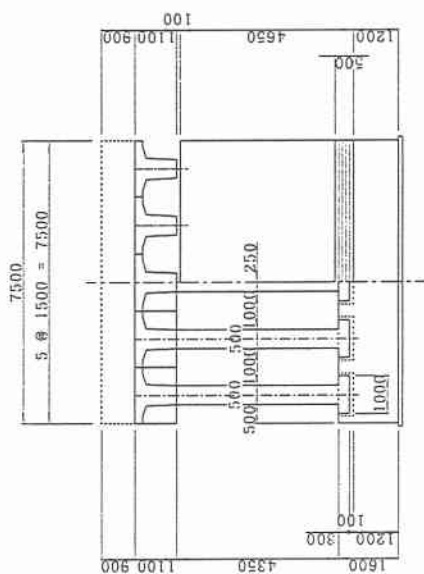


図-1 模型桁の全体概念図

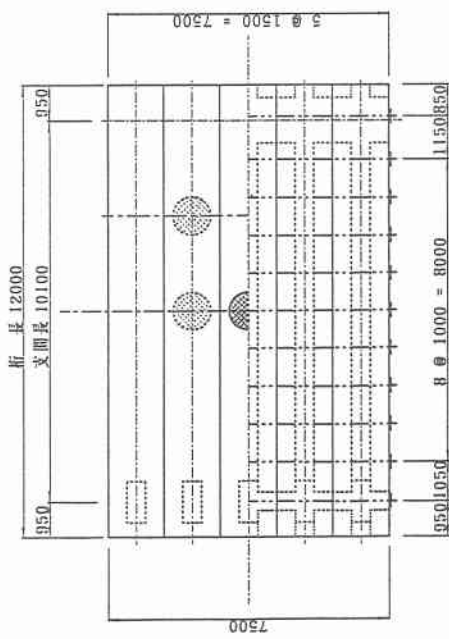
横断面图



侧面图



平面图



主梁断面图

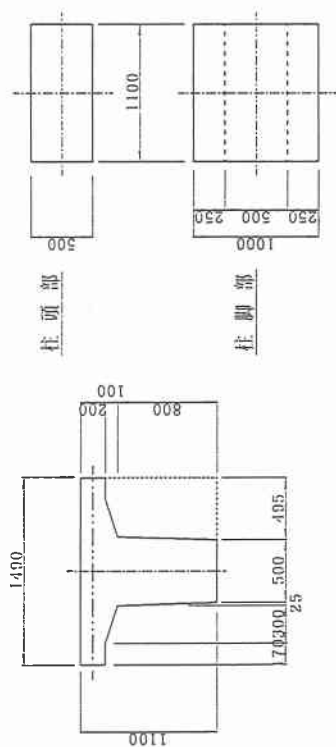


图-2 一般图

2.2 主桁の断面設計

主桁、柱材は工場製品であるプレキャスト PC 部材を現場で組み立てるプレハブ形式とする。図-1 に模型桁の全体概念図を示している。また図-2 には全体構造の一般図を示している。主桁および柱の断面形状はそれぞれ T 型、等断面矩形型とする。主桁は通常、横リブを設けて補強する場合もあるようであるが、主桁の衝撃挙動の解明を容易にするため、横リブを設けない単純 T 型断面とした。柱材は逆 L 型、門型構造のいずれにも対処できるように従来のような変断面形とせず、単純な等断面形状とした。各構造系に対する曲げモーメント分布の概略は図-3 のように示される。最大曲げモーメントが逆 L 型構造の場合に 256.5 tfm となっていることより、主桁の断面はコンクリート強度 $f_{ck} = 600 \text{ kgf/cm}^2$ とし、頂版幅 149 cm、頂版厚 20 cm、桁高 110cm、桁幅 50 cm の単純 T 型断面として設計した。主桁の鋼材配置は図-4 に示すように、桁端部では上縁の M_{min} に対応できるように、①断面のような配置とし、支間中央部では M_{max} に対応させて④断面の配置とした。また、山側支点近傍部断面に関しては門型構造とした場合の M_{min} に対応できるように⑦断面のような配置としている。プレストレス力は基本的に SWPR7B T15.2 を用い有効引張力を 13.07 tf/本 とし、プレテンション方式によって導入している。表-3、4 に逆 L 型構造、門型構造に対する主桁各断面応力、破壊曲げモーメント、抵抗曲げモーメントを示している。

表-2 上部工構造基本諸元

支間長	: $L = 10.1 \text{ m}$ 第 3 種第 2 級相当
桁幅	: $B = 7.5 \text{ m}$ 桁幅 1.5 m × 5 本
建築限界	: $H \geq 4.7 \text{ m}$
構造形式	: 逆 L 型構造 and/or 門型構造

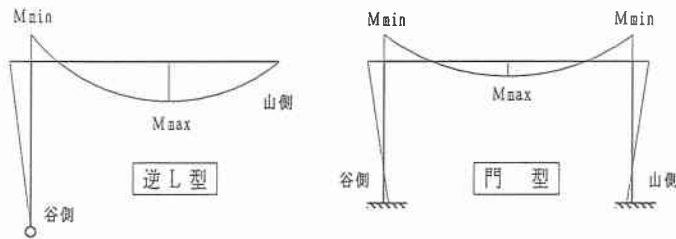


図-3 曲げモーメント図

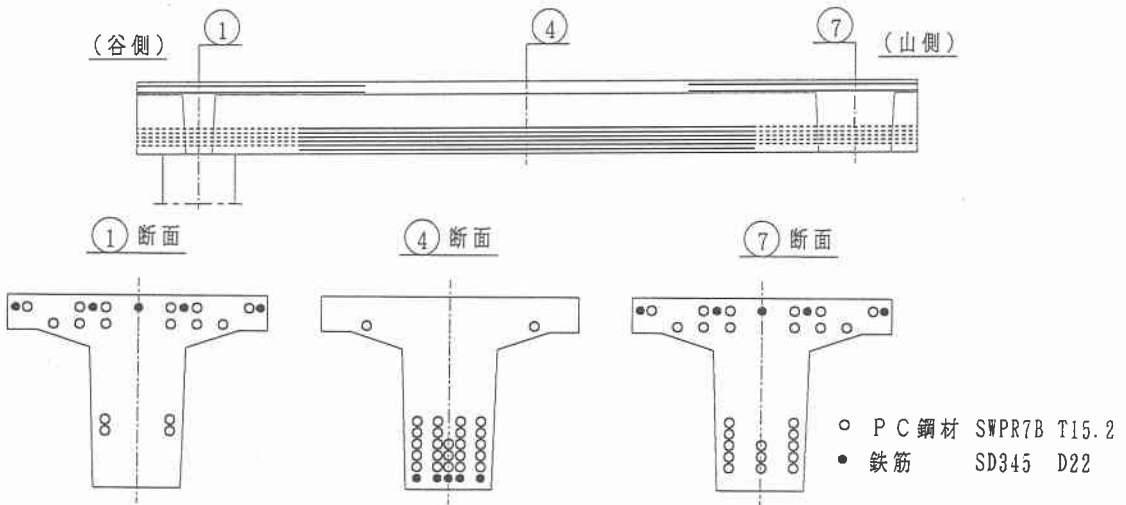


図-4 主梁の鋼材配置位置の概念図

表一３ 逆 L 型構造のときの主桁応力度

断面 No. 抵抗 Mu (tfm)	荷 重 状 態	曲 げ モーメント (tfm)	曲げ応力度 (kgf/cm ²)		有効プレストレス (kgf/cm ²)		合成応力度 (kgf/cm ²)	
			上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
①	常 時	-30.4	-14.7	23.3	41.0	4.8	26.3	28.1
-345	落石時	-149.7	-73.0	114.5	41.0	4.8	-32.0	119.3
④	常 時	41.3	19.9	-31.7	-10.5	107.1	9.4	75.4
520	落石時	256.5	123.5	-196.3	-10.5	107.1	113.0	-89.2
⑦	常 時	-2.0	-0.9	1.6	26.0	68.7	25.1	70.3
-340	落石時	-2.0	-1.0	1.0	26.0	68.7	25.0	69.7

常 時：桁自重＋緩衝材自重

落石時：常 時＋落石衝撃力

表一４ 門型構造のときの主桁応力度

断面 No. 抵抗 Mu (tfm)	荷 重 状 態	曲 げ モーメント (tfm)	曲げ応力度 (kgf/cm ²)		有効プレストレス (kgf/cm ²)		合成応力度 (kgf/cm ²)	
			上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
①	常 時				41.0	4.8		
-345	落石時	-123.5	-59.7	94.6	41.0	4.8	-18.7	99.4
④	常 時				-10.5	107.1		
520	落石時	173.0	83.7	-132.5	-10.5	107.1	73.2	-25.4
⑦	常 時				26.0	68.7		
-340	落石時	-167.0	-80.8	127.9	26.0	68.7	-54.8	196.6

2. 3 支承部および接合部の施工方法

本研究では構造形式を変えるための作業性を考えて、逆 L 型構造、門型構造の順に実験を行うことにした。

各構造形式で最も重要な点は支承部、接合部の境界条件である。本研究では模型桁ができるだけ設定した各構造形式の理想的な条件に近づくように以下のように工夫している。すなわち、

- 1) 支承部： 逆 L 型構造の場合には、図一５に示しているように、 $\phi 5\text{mm}$ の鋼棒を用いてピン支承に近い状態にし、さらに跳ね返り防止のために回転中心位置で 2 本のボルトにより基礎部に定着している。門型構造の場合には、支承部の溝部（図一５参照）にグラウトを注入して回転を拘束し、さらに 6 本のボルトを用いて基部に定着している。
- 2) 主桁・柱接合部： 図一６に示すように 8 本のアンボンド PC 鋼棒を設定し、逆 L 型構造の場合には中心軸より外側（正載荷時引張応力発生）の PC 鋼棒のみに緊張力を導入する。全有効緊張力は 183.3 tf である。門型構造の場合には全ての PC 鋼棒に緊張力を導入し堅固な剛接合とする。
- 3) 山側接合部： 図一７に示すように逆 L 型構造の場合は支承部と類似の方法により、山側受け台に定着している。回転中心部には跳ね返り防止のために SS400 $\phi 38\text{mm}$ の鋼棒 4 本を用いて受け台に定着している。門型構造の場合には固定条件に近づけるため、ローラー部にグラウトを注入し、さらにあらかじめ設置した 12 本のアンボンド PC 鋼棒（SBPR 930/1080）を緊張して剛結接合状態とすることとしている。

3. 実験方法および測定項目、測定方法

実験は重量 3 tf または 5 tf の鋼製重錘（直径 100 cm、高さ 97 cm で底部 17.5 cm が球状）をトレーラークレーンで所定の高さ（最大 30 m）まで吊り上げ、自由落下させることによって行っている。測定項目は、①重錘の衝突時減速加速度、②頂版上、あるいは山側壁部背面に伝達される衝撃応力、③断面内の各軸方向歪成分、および④主桁下端の変位成分である。①の重錘衝撃加速度は歪ゲージ式加速度計（周波数特性 5 kHz、容量 500 G、半導体型）4 ch を用いて測定している。②の伝達応力測定には、衝撃応力測定用ロードセル（周波数特性 600 Hz、容量 100kgf/cm²）を 30 ch、④の応答変位測定にはレーザー式変位計（周波数特性 700 Hz、ストローク 80 mm）10 ch を用いている。

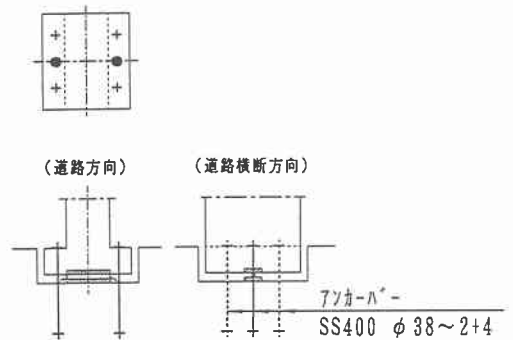


図-5 柱下端と谷側受け台部

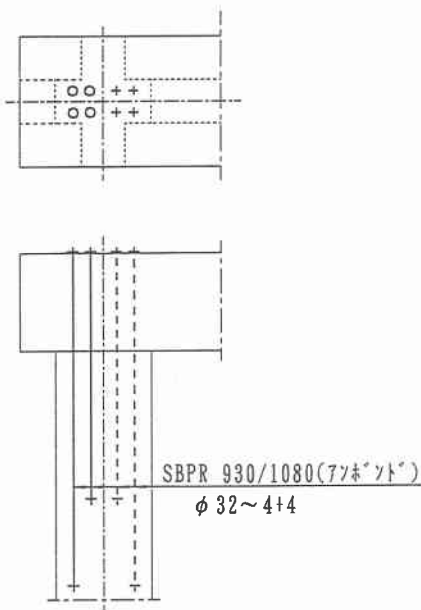


図-6 主桁・柱接合部

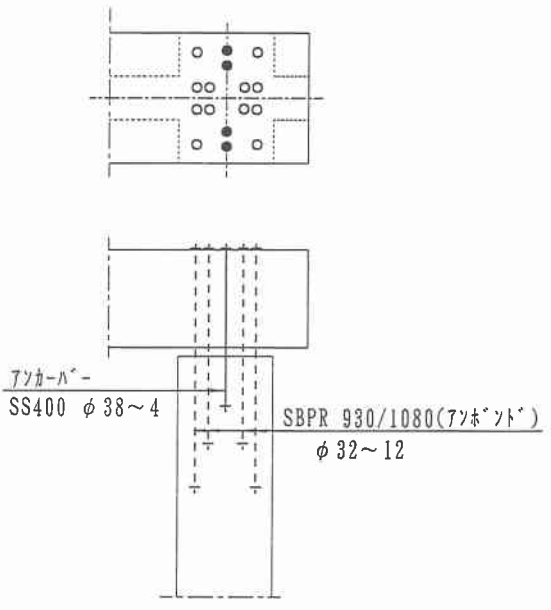


図-7 山側接合部

また、③の歪測定は各断面の曲げモーメントと軸力を算定可能にするために、断面の上下端組立筋に添付した歪ゲージを用いて行っている。全測定点数は 235 ch で、最大 155 ch を同時測定することとしている。歪ゲージ型のセンサーは増幅器を用いて波形を増幅しなければならない。測定点数が多いため、増幅器を同一の機種に揃えることが困難である。本研究では応答周波数の高い重錘加速度、伝達衝撃応力波形に関しては、周波数特性が 50 kHz 以上の直流増幅器を、断面内の鉄筋の歪波形用には周波数特性が 10 kHz の動歪測定器を使用している。増幅された各応答波形は一括してデータレコーダ（周波数特性 40 kHz 以上）に記録している。

4. 実験の年度計画（予定）

まえがきに述べている各種実験を効率的に実行するために表一5のような実施計画を作成した。平成6年度は横締めを行い、敷砂および三層緩衝構造を緩衝材として用いた場合の逆L型構造形式に対する弾性挙動実験を行った。平成7年度は逆L型構造形式に対してまず、横締めを解放した場合の2種類の緩衝構造を設置した場合の弾性挙動実験を行う（実験番号3、4）。次に再度横締めを行い、桁下縁にひびわれが発生する程度の衝撃荷重が載荷した場合について実験を行い、各桁の荷重分担率や曲げモーメント分布等、覆工内の弾塑性の性状を明らかにする（実験番号5）。さらに横締めを解放して単体のL型構造形式のPC覆工に対して載荷点部が終局状態に至る程度の衝撃荷重を載荷させ、終局時の構造内の応力再分配の程度等について検討を行う（実験番号6）。なお、三層緩衝構造を用いた場合のPC覆工の弾塑性挙動に関しては、三層緩衝構造の緩衝性能および分散性能が優れていることより、現有の落下能力（重錘重量が最大5tf、落下高さが最大40m）では、所用の弾塑性挙動実験が不可能であると判断して実験を行わないこととした。実験番号5、6によって塑性状態に至ったPC桁、あるいは柱材を新しい部材に取り替えて山側および柱支点部を固定状態にして門型構造形式とし、逆L型構造形式の場合と同様の実験を行う。これらの実験を効率よく推進し、最終的にはPC製落石覆工に適した緩衝構造やより耐衝撃性に優れた構造型式を提案したいと考えている。

表一5 実験の年度計画および順序

構造形式	横締め の有無	弾性挙動		弾塑性挙動	
		S.C.	T.A.S.	S.C.	T.A.S.
逆L型構造	有	○ 1	○ 2	△ 5	
	無	△ 3	△ 4	△ 6	
門型構造	有	△ 7	△ 8	△ 11	
	無	△ 9	△ 10	△ 12	

- （注）1) ○：平成6年度 △：平成7年度
2) S.C.：敷砂緩衝材を用いる場合
T.A.S.：三層緩衝構造を用いる場合
3) 番号は実験を行う順序を示す

5. おわりに

現行の落石対策便覧の妥当性の検討および耐衝撃性に優れ安全性の高いPC製落石覆工の設計方法の確立を目的として、実規模のPC製覆工を5連製作し、平成6、7年度の2年間に渡る実験計画を立案し、一部実施した。本年度は覆工の製作と横締めした場合の逆L型構造に関する弾性挙動に関する実験を行い、小型実験では得られない多くの貴重な成果が得られている。本実験を遂行することによって、災害に強いPC製落石覆工の建設が可能になることを確信する。