

## (44) 実物PC製シェッドの落石による破壊実験について(1)

日本サミコン(株)研究所 松葉美晴・○後藤吉晴

日本サミコン(株)研究所 佐藤 彰・音田 奨

日本サミコン(株)研究所 岡畑博子・井上理恵

山岳道において、雪崩や落石の危険から道路利用者の安全を確保するために、最近では防護工として覆工(シェッド)を設置することが多く、中でもPC製のシェッドが多く見られる。特に福井の事故以来、ロックシェッドへの関心が高まってきており、各研究機関で各種の研究が進められている。しかしながら、落石によるシェッドの破壊状況については未だ未解明の部分が多く研究者の間でも議論の分かれる所である。筆者らは、今回、研究所敷地内において、実物大のプレキャストPC製スノーシェッドを製作し、重錘を用いた破壊実験を行った。その結果、破壊時の設計条件が重錘重量3tf、落下高さ10mであるのに対し、実際には重錘重量5tf、落下高さ20mの条件でも十分な破壊には至らなかった。このことは、プレキャスト部材の版効果が十分に発揮されていることを示していると共に、現行ロックシェッドの設計が破壊荷重に対して十分な安全性を有することを物語っている。したがって、現行シェッドの設計に対する評価を改めて見直す必要がある。なお、ここでは、今回の実験結果の概要を報告する。

### 1. 実験の目的

設計上の破壊荷重と実際の破壊荷重の各値を比較すると、かなりの差がみられることが過去の各種実験から知られている。本実験はその差異を明かにすることが主目的であり、また併せて、プレキャストPCシェッドの桁横締による落石荷重の荷重分配効果(版効果)およびプレキャスト部材の各接点の破壊時の挙動を確認することが目的である。

以下に本実験の目的をまとめて列挙するが、紙面の都合により、今回の報告は①のみとする。

- ①. 桁の破壊過程の確認
- ②. 横締による荷重分配効果(分担率の確認)
- ③. 剛接部(桁と柱の接合部)の破壊時の挙動の確認
- ④. 山側支承部の破壊時の挙動の確認
- ⑤. 谷川柱根入れ部の破壊時の挙動の確認

### 2. 実験の方法

#### 2.1 実験供試体

実験供試体は図-1および写真-1に示すような実物大のPC構造物で、幅1.50m、長さ約10mのPC製の桁と、高さ3.00mの柱を組み合わせたプレキャストシェッド(1セット)を5組(道路延長7.5m)架設し、その桁の上に緩衝材として砂(特性は表-1を参照)を90cm敷均した。各桁は、版効果が得られるようにPC鋼より線(緊張力10tf/本)で横締めされている。なお、横締め位置は横梁1ヶ所置きで、横梁1ヶ所当りの緊張力は20tf(PC鋼より線2本使用)とした。また、柱の頂部は桁とPC鋼より線で剛結されており、柱脚部はコンクリートヒンジを設けて、その先端は現場打ちの下部工に挿入固定されている。さらに、各桁は山側の下部工に鉛直アンカーおよび水平アンカーで留められたヒンジ沓となっている(水平アン

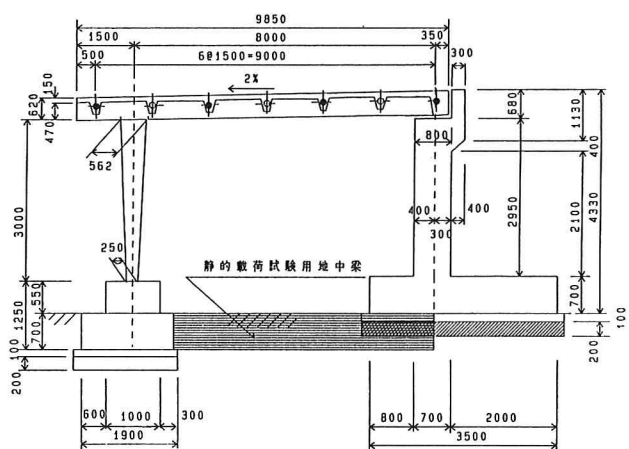


図-1-A 実物大の実験供試体 (横断面図)

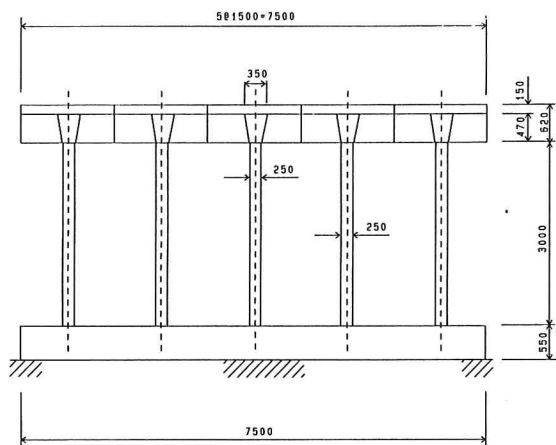


図-1-B 実物大の実験供試体 (縦断面図)

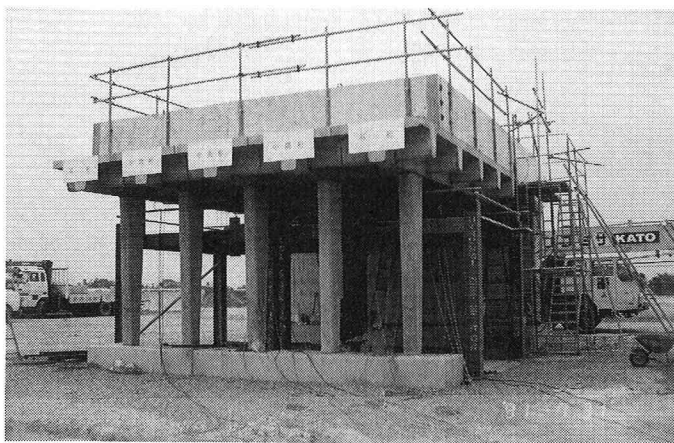


写真-1 実物大の実験供試体全景

カーは桁落下防止用のもの)。構造としては1剛2ピンの1次不静定で、いわゆる逆L型の構造形式である。

表-1 砂の特性

比重: $D_s$	10%粒径: $D_{10}$ (mm)	60%粒径: $D_{60}$ (mm)	均等係数: $U_0$
2.49	0.17	0.35	2.06

部材断面寸法は、実験装置の関係からスノーシェッド用の小断面を用いた。したがって、本実験は厳密にはロックシェッドの破壊実験ではないと言えるが、PC製シェッドの破壊過程を確認するうえでは十分その目的を果たすものである。

本実験の供試体は下記の条件で現行シェッドの設計方法により設計されている。

- ①. 立体構造を平面ラーメン(2次元骨組み)として解析する。
- ②. 桁の横締めによる版効果として、過去の実験より荷重分担率  $\kappa = 0.54$  とする。
- ③. 設計落石荷重を  $P = 30tf$ 、破壊落石荷重を  $P_{cr} = 100tf$  とする。
- ④. PC断面設計は3種設計(PRC設計)とする。
- ⑤. 破壊計算では安全率をすべて  $\alpha = 1$  とする(実際の設計では、荷重割増し係数および部材低減係数を考慮して  $\alpha > 1$  である)。

したがって、平面ラーメンでの荷重は以下ようになる。

- ①. 許容設計時:  $P' = 30tf \times 0.54 = 16.20tf$  (集中荷重)
- ②. 破壊時:  $P' = 100tf \times 0.54 = 54.00tf$  (集中荷重)

また、FEMによる桁の中央部の発生モーメントは

- ①. 許容設計時:  $M_{max} = 52.132tfm$
- ②. 破壊時:  $M_{max} = 119.085tfm$

であり、設計上の破壊耐力は  $M_{uo} = 108.925tfm$  である。

落石荷重を落石対策便覧式(式-1)で算出したのが下記の値である。

$$P = 2.455 \times W^{2/3} \times H^{3/5} \times \lambda^{2/5} \\ = 15.49 \times W^{2/3} \times H^{3/5} \quad (\lambda = 100tf/m^2) \quad (式-1)$$

$W = 1$	$H = 5$ $p1 = 40.685t$	$W = 3$	$H = 5$ $p1 = 84.628t$	$W = 5$	$H = 5$ $p1 = 118.963t$
	$H = 10$ $p1 = 61.667t$		$H = 10$ $p1 = 128.272t$		$H = 10$ $p1 = 180.315t$
	$H = 15$ $p1 = 78.651t$		$H = 15$ $p1 = 163.601t$		$H = 15$ $p1 = 229.978t$
	$H = 20$ $p1 = 93.469t$		$H = 20$ $p1 = 194.424t$		$H = 20$ $p1 = 273.306t$

以上から、

落石条件は、設計荷重時では  $W = 1tf$ 、 $H = 5m$  とし、破壊荷重時では  $W = 3tf$ 、 $H = 10m$  とした。

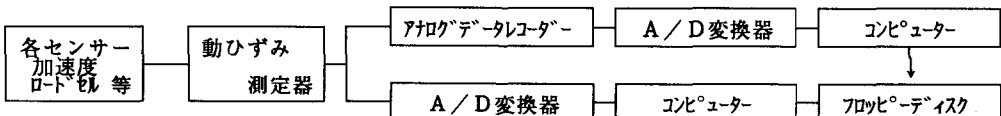
## 2.2 計測システムと重錘落下条件

### (A) 計測システム

実験における計測は、次の項目について行ったが、緩衝砂の土圧は今回は計測していない。

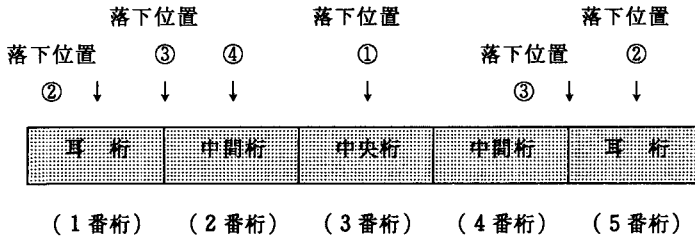
- ①. 重錘加速度(2個)
- ②. 各桁のスパン中央の加速度、変位置、ひずみ量
- ③. 5セットの内の中央セットについて山側、谷側の各支点位置の鉛直力および水平反力
- ④. 5セットの内の中央セットについて剛接部の開口量(変位置)
- ⑤. 柱の軸力を計るため、1番、3番、5番セットの柱軸方向ひずみ量

また、計測システムの概略を下記に示すが、詳しい計測方法については別途報告をする。



(B) 重錘落下条件

重錘の落下位置を下記に示す。



落下位置②は屋根版の端部における挙動をみるためのもの、落下位置③は桁スラブにおける挙動をみるためのものである。

実験内容のまとめたものを表-2に示す。

表-2 実験の内容

実験 日報	月日	実 験 内 容			備 考
		荷重の種類	落下位置	重錘落下(荷重)条件	
1 2	7/30 7/31	静的	①	p=0-10-0, 0-20-0	p=2tf毎 3サイクル
3 ↓ 6	8/01 ↓ 8/06	動的	①  ②	1t-5, 10m                  各2回 1t-5, 10, 15, 20m    3t-5m    各2回 1t-5, 10m                  各2回 1t-5, 10, 15m    3t-5m    各2回	中央桁  耳 桁
7	8/07	動的	③	1t-5, 10, 15, 20m    3t-5, 10, 15, 20m 5t-10, 20m                  注1)	スラブ
8	8/08	破壊	① ④	3t-10, 15, 20m, 5t-5, 10, 15, 20m 5t-20m	中央桁 中間桁

注1) 一部は9月末に実験

3. 実験結果

破壊荷重に関する実験結果の概略をまとめて示すと下記のようなになる。なお、写真-2~4のクラックはマジックで強調されたものであり、実際には、目視により確認できないヘアークラックも多い。

- ①. W=1tf, H=5mでは、計算されたクラックが全く発生しなかった。
- ②. W=3tf, H=10mでは、クラックが発生する程度で破壊しなかった(写真-2)。
- ③. W=5tf, H=20mで、疲労した中央桁(衝撃荷重による負荷20回)が破壊した(写真-3)。
- ④. W=5tf, H=20mで、疲労していない中間桁(この桁は中央桁破壊後に実験を行っているため、横締による荷重分担が期待出来ない状態のもの)はクラックが発生した程度であった(写真-4)。

3. 1 中央桁, スパン中央に落下の場合

計算上では、中央桁のスパン中央にW=3tf, H=10mで重錘を落下させると破壊するものが、本実験では、この条件ではクラックが進行した程度で破壊には至らなかった(写真-2)。

写真-2

落石条件  $W = 3 \text{ tf}$ ,  $H = 10 \text{ m}$

中央桁スパン中央載荷

衝撃荷重載荷回数 14回目

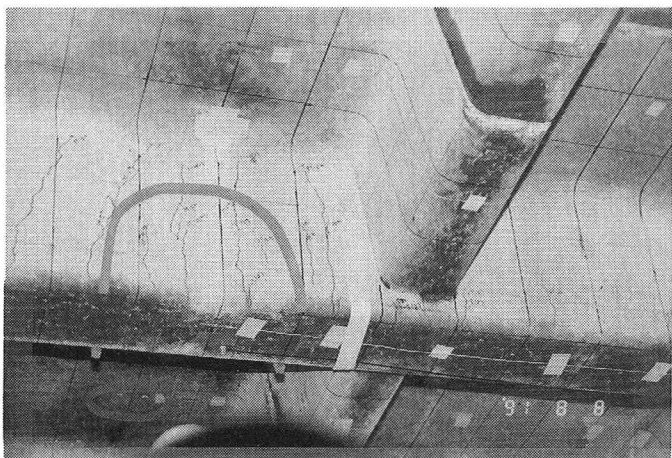


写真-3

落石条件  $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20 \text{ m}$

中央桁スパン中央載荷

衝撃荷重載荷回数 20回目

注) 写真奥から3本目

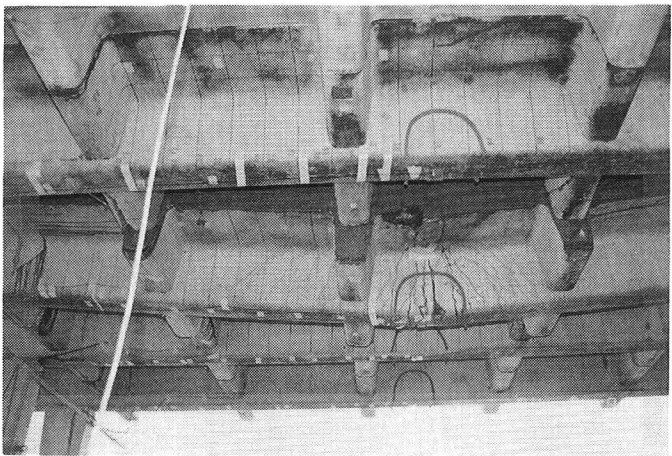


写真-4

落石条件  $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20 \text{ m}$

中間桁スパン中央載荷

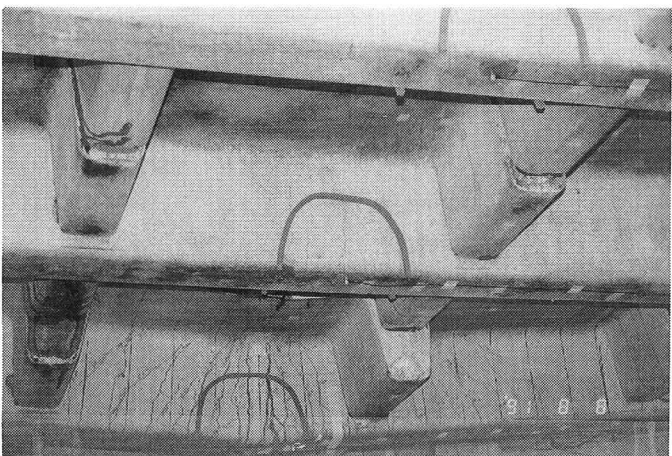
衝撃荷重載荷回数 1回目

注) 中央桁：写真手前から3本目

(写真-3の桁)

中間桁：写真手前から2本目

損傷状況が明らかに違う。



さらに、衝撃荷重を上げるために、 $W = 3 \text{ tf}$ を15m, 20m,  $W = 5 \text{ tf}$ を5 m, 10mとそれぞれ落下条件を厳しくしたが、破壊に至ったと確認できる状態にはならなかった。 $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 15\text{m}$ では、桁および柱等に変形及び部分的な損傷が見られたが、破壊と呼べる状態は生じなかった。最終的には、 $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20\text{m}$ で、桁は大変形を起こし、静的実験等に見られる曲げ破壊の性状を示した(写真-3)。

### 3. 2 中間桁、スパン中央に落下の場合

中央桁の場合は、落石衝撃力を漸増させながら、繰り返して実験を行っていたので、部材はかなりの疲労を起こしていた。したがって、疲労を起こしていない部材の破壊耐力を知るため、中央桁左隣の中間桁に $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20\text{m}$ で落石実験を行った。この桁は、中央桁の破壊後であるので桁横締による荷重分配が期待出来ない状態のものである。実験の結果は写真-4に示す様に、破壊と呼べる状態ではなく、クラックが生じた程度のものであった(中央桁、スパン中央における $W = 3 \text{ tf}$ ,  $H = 10\text{m}$ 程度の損傷)。

横締めによる効果がないと言うことは、横締効果がある場合の1.85~1.67倍(=1/0.54, 1/0.6)の衝撃荷重が掛かったものと考えられる。したがって、疲労を起こしていないPC部材は疲労を起こしたPC部材に比べ、その破損状況から約2倍以上の耐力があるものと考えられる。

### 3. 3 設計荷重との比較

#### (A) 対策便覧式からの破壊荷重の検討

落石荷重を対策便覧式で得られる値で実際の破壊荷重と比較検討する。

3. 2で桁の破壊は $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20\text{m}$ では起こらないことを既に述べたが、ここでは便宜上、破壊条件を $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20\text{m}$ とし、横締め効果および非疲労桁の影響を約2倍とすると破壊荷重に対して、

- ①. 3種設計(許容値設計)で $\alpha = 1.8$ 倍(=273tf / 30tf × 2)以上、
- ②. 破壊計算で  $\alpha = 5$ 倍(=273tf / 100tf × 2)以上の安全率がある。

#### (B) 実測衝撃力による破壊荷重の検討

重錘の重心に取り付けられた加速度に重錘質量を掛けた値、即ち重錘衝撃力で実際の破壊荷重との比較検討を行う。 $W = 5 \text{ tf}$ ,  $H = 20\text{m}$ の条件において、実測による重錘加速度の最大値( $G_{\max}$ )は、中央桁落下の場合が $G_{\max} = 74.2 \text{ g}$ で、中間桁落下の場合が $G_{\max} = 76.1 \text{ g}$ であった。これに質量5tをかけると、衝撃力(P)は $P = 371 \text{ tf} \sim 380 \text{ tf}$ となる。この値を用いて前項と同様に倍率を計算すると、

- ①. 3種設計(許容値設計)で $\alpha = 2.4$ 倍(=371tf / 30tf × 2)以上、
- ②. 破壊計算で  $\alpha = 7$ 倍(=371tf / 100tf × 2)以上の安全率がある。

## 4. 結 論

以上から、現行のシールド設計では、次の2点が判明した。

- ①. 許容値計算で、実際の破壊荷重に対して、約1.8~2.4倍以上の安全率がある。
- ②. 破壊計算で、実際の破壊荷重に対して、約5~7倍以上の安全率がある。

この現象を、現段階で無理に推論すると、

- ①. 動的破壊は、静的破壊に比較して大きな荷重を必要とする。
- ②. 重錘の衝撃エネルギーが、緩衝材(砂)にかなり吸収される。
- ③. 重錘の衝撃力が緩衝材中を伝播する時間と衝撃波形のピーク発生時間の差から衝撃ピーク力がPC部材に伝わらない。
- ④. 立体構造を平面構造で解析しているための誤差が影響している。
- ⑤. PC部材の横締めによる版効果が設計分担率 $\kappa = 0.54$ より大きい( $\kappa < 0.54$ )。

等が挙げられるが、これは今後の検討課題である。