

(50) 砂および発泡スチロールで補強したスノーシェットの衝撃破壊試験

IMPACT TEST OF SNOW-SHED WITH SAND CUSHION OR EPS

佐々木正宏*, 渡辺康夫*, 上條明洋**

Masahiro SASAKI, Yasuo WATANABE, Akihiro KAMIJO

*日本サミコン(株)名古屋支店(〒465-0094 愛知県名古屋市名東区亀の井2-269)

**日本サミコン(株)技術部(〒950-0925 新潟県新潟市弁天橋通1-8-23)

キーワード: 落石, スノーシェット, SAM, 衝撃力
(rockfall, snow-shed, shock absorb method, impact force)

1. はじめに

山間地や段丘崖近傍の道路を雪崩災害から防護する構造物として普及しているスノーシェットにおいて、現状では落石荷重を想定した設計がなされていない。しかし、実際には雪崩に混在したと予想される石片がスノーシェット屋根上に残っている状況も少なからず認められる。

本報告書は、このような落石荷重を受けたスノーシェットの挙動を明確にすることを目的として行った、実物大の重錘落下実験に関するものである。

実験は、スノーシェットとして設計された部材の形状寸法や鋼材の配置状況から設計上の破壊耐力を逆算し、その耐力に相当する重錘衝撃力を実験供試体に作用させるものとした。

また、予想を越える落石がスノーシェットに衝突する場合を想定し、設計荷重の数倍の重錘衝撃力を作用させることによりスノーシェットを破壊に至らせ、その挙動や終局耐力を明らかにするものとした。

このような予想を大きく超える落石に対しては、現在発泡スチロールを用いた衝撃力吸収工法(SAM工法)を用いる場合もあるが、この工法がどの程度有効であるかも併せて検証することとした。

2. 実験方法

図1に実験供試体の形状寸法を示す。

供試体は、5本のプレストレストコンクリート製T型

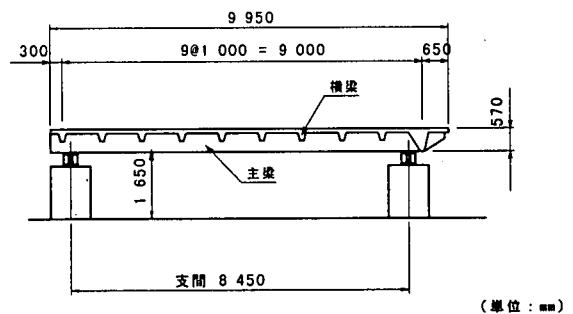
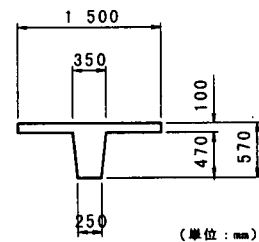


図1 実験供試体

桁を単純支持させた後、各横梁に配置したPC鋼棒を緊張し、グラウチングを施した。

供試体の上部にはサンドクッション材もしくは発泡スチロールを設置し、トラッククレーンを用いて、吊り上げた重錘を自由落下させることにより衝撃力をスノーシェットに作用させた。

測定項目は、重錘の加速度と各桁の支間中央変位とした。

表1 実験条件一覧表

実験番号	重錘質量 (t)	落下高 (m)	クッション材設置厚 (cm)	重錘落下位置
ケース1	0.3	7.40	砂30	主中A
ケース2	0.3	4.92	砂30	スラブA
ケース3	1.0	5.00	砂30	スラブA
ケース4	1.0	7.00	砂30	スラブA
ケース5	1.0	10.00	砂30	横梁
ケース6	1.0	10.00	砂30	主横A
ケース7	1.0	10.00	砂30 +SAM50	主横A
ケース8	1.0	10.00	SAM50	主横B
ケース9	1.0	10.00	SAM100	主横C
ケース10	3.0	5.00	砂30	主横D
ケース11	3.0	10.00	砂30	主横D
ケース12	3.0	20.00	砂30	主中A
ケース13	3.0	30.00	砂30	主中B

表2 設計と実験結果

実験番号	対象とする破壊耐力	重錘衝撃力 (tf)	クラックなど供試体の変状
ケース1	曲げ	19.0	変状無
ケース2	押抜きせん断	14.5	変状無

表3 落下位置による比較

実験番号	重錘落下位置	位置エネルギー (tf・m)	重錘衝撃力 (tf)	クラックの発生
ケース2	スラブ	1.48	14.5	無
ケース3	スラブ	5.0	69.8	有
ケース4	スラブ	7.0	101.9	伸長
ケース5	横梁	10.0	115.5	有

3. 実験条件

実験は表1に示すように、重錘質量、落下高さ、クッション材の種類および設置厚さ、重錘落下位置を変えて合計13ケースについて行った。

ケース1, 2は桁の曲げ破壊耐力、押し抜きせん断耐力から逆算して設定した実験条件である。ケース3～5は、重錘の落下位置による挙動を、ケース6～9はSAM工法の有効性を検証するために設定した実験条件である。ケース10～13は重錘の落下高さを上げ、桁の破壊状況を検証した実験条件である。

なお、表中の重錘落下位置に示す主中は支間中央主梁上、スラブはスラブ上、横梁は横梁上、主横は主梁と横梁の交差点上を示す。

重錘落下位置欄でアルファベットが同一のケースは、同一の箇所に繰り返し落下したことを示す。

4. 実験結果

4.1 設計と実験結果

表2に、スノーシェッドとして設計されたPC桁の耐力から落石荷重を逆算して設定したケース1, ケース2の実験結果を示す。

表に示すように、桁の曲げ耐力から逆算したケース1, 押し抜きせん断耐力から逆算したケース2の両ケースにおいて、実験直後の供試体にはクラックなど破壊を示す変状は一切確認されなかった。

4.2 落下位置による比較

ケース2～4は落下位置をスラブ上とし、3ケースとも同一の箇所に载荷を行った。その結果、ケース2でクラックは確認されなかったが、ケース3でクラックが発生し、ケース4でさらに伸長した。横梁上に落下したケース5でもクラックの発生が確認された。

表4.2.1に各ケースに関する実験結果の比較を示す。スラブ上に重錘を落下させたケース3, 4と横梁上に重錘を落下させたケース5を比較してみると、重錘の位置エネルギーに違いはあるものの、クラックの発生状況には大きな違いがなかったことから、落下位置が変化しても本タイプのスノーシェッドの挙動には大きな変化がないと考えられる。

4.3 クッション材による比較

ケース6～9は同じ落下条件（重錘質量 1.0t, 重錘落下高さ 10m）でクッション材として、砂やSAM工法（発泡スチロールによる衝撃緩衝工法）を使用した実験である。

表4に実験結果を示す。

砂30cmの上部にSAM50cmを設置したケース7は、砂30cmのみのケース6に比べて重錘衝撃力が1/2以下に低減され、クラックの発生が抑えられている。

表4 クッション材による比較

実験 番号	クッション材 設置厚 (cm)	重錘 衝撃力 (tf)	クラック の 発生
ケース6	砂30	127.3	有
ケース7	砂30+ SAM50	53.4	無
ケース8	SAM50	145.7	有
ケース9	SAM100	22.4	無

表6 落下高さによる比較2

実験 番号	重錘 衝撃力 (tf)	支間中央変位 (mm)	
		計算値	実験値
ケース1	19.0	8.5	1.6
ケース10	146.2	65.1	15.0
ケース11	245.1	109.1	31.0
ケース12	380.3	169.2	104.0
ケース13	****	****	****

表5 落下高さによる比較1

実験 番号	重錘 質量 (t)	位置 エネルギー (tf・m)	クラックなど 供試体の変状
ケース1	0.3	2.22 [1.0]	変状無
ケース10	3.0	15.00 [6.8]	クラック発生
ケース11	3.0	30.00 [13.5]	横梁破壊 一部はく離
ケース12	3.0	60.00 [27.0]	大きく変形 横梁の一部が落下
ケース13	3.0	90.00 [40.0]	(重量2~3kgf)

注) ケース13では、桁の大変形に備えて計測機器を取り外した。

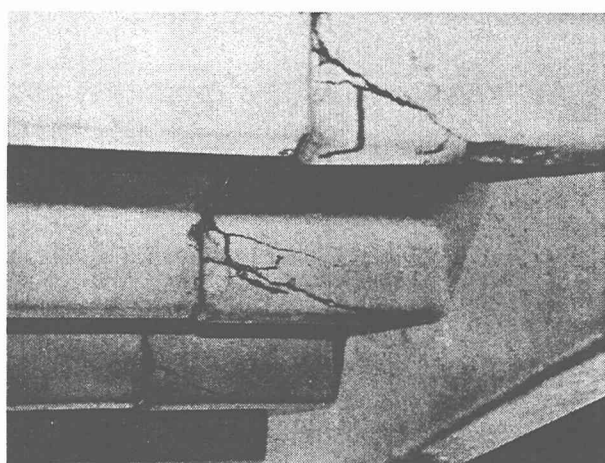


写真1 横梁のクラック (ケース11)

また、SAMのみを100cm設置したケース9は、50cm設置したケース8に比べて重錘衝撃力が1/6以下に低減され、クラックの発生が抑えられている。

これらの実験結果より、SAM工法は適切な設置厚さで用いることにより落石の衝撃力を大きく緩衝し、下部構造物のクラックを抑えられる効果をもつことが確認された。

4.4 落下高さによる比較

ケース10~13は、質量3tの重錘を用いて落下高さを5~30mに変化させた実験ケースである。

表5に各ケースの供試体の変状を示す。表中の位置エネルギー欄の[]で示す値は、桁の曲げ耐力から逆算して設定した実験条件であるケース1における位置エネルギーを1としたときの各ケースの割合(倍率)である。

位置エネルギーでケース1の6.8倍であるケース10では、桁各部にクラックが発生したが、通行車輛、歩行者に被害を及ぼす程の破壊形状ではないと考えられる。

また、13.5倍であるケース11では、桁ずれによって横締め用PC鋼材が横梁をせん断破壊させたと思われる大きなクラックが生じており、その一部は小片となって落下していた。

さらに、27倍と40倍であるケース12、13では主梁と横梁の各部に多数クラックが生じ、大変形に至った。

横梁の損傷はケース11からさらに進行し、重量2~3kgf程度のコンクリート塊がいくつも欠け落ちた。

表6には支間中央変位の計算値と実験値の比較を示す。ここで示す計算値は、集中荷重を受ける弾性単純梁として求めた値である。

表のようにいずれのケースにおいても、実験値は計算値を下回った。

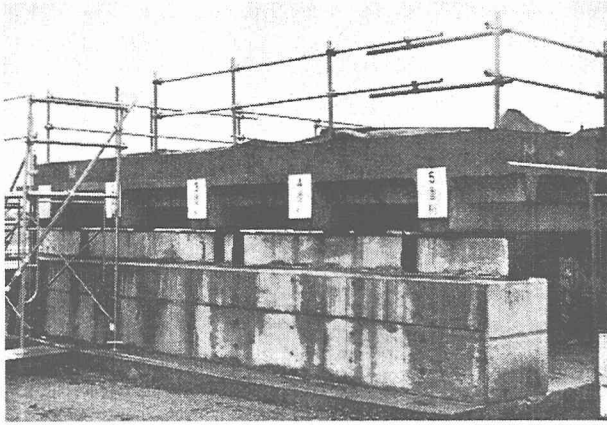


写真2 実験供試体

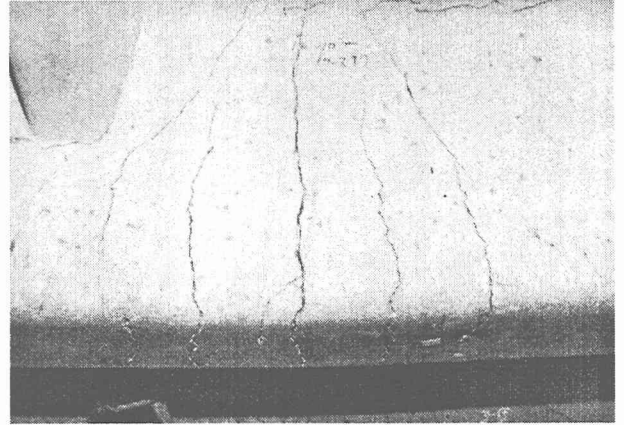


写真4 主梁のクラック (ケース13)

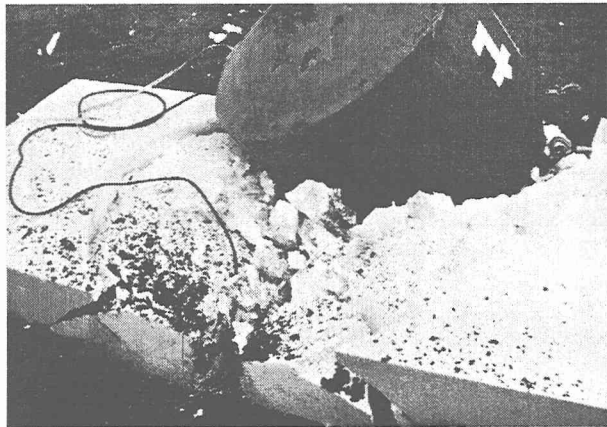


写真3 SAM工法 (ケース8)

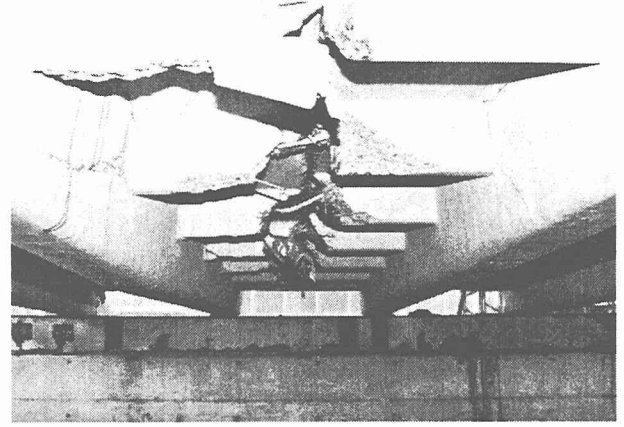


写真5 横梁の破壊状況 (ケース13)

4.5 単純梁シェッドの分担率の算出

ケース1では重錘を中央の桁（5本中）の支間中央に落下させた結果、供試体にクラックの発生が確認されておらず、弾性範囲の挙動と考えられる。

そこで、このケースにおける各桁支間中央の最大変位から重錘を衝突させた桁の分担率 λ を次式により求めてみる。

$$\lambda = \frac{\delta_c}{\sum_{i=1}^n \delta_i}$$

但し、 δ_c : 重錘落下地点（中央）桁の変位
 δ_i : n 番桁支間中央の最大変位

上記の式を用いケース1について算出する。

$$\lambda = \frac{1.62}{0.98+1.31+1.62+1.09+1.02} = 0.27$$

よって、今回の条件において、単純支持されたシェッドの分担率は0.27である事がわかった。

5. まとめ

本実験より、雪崩や積雪の荷重を対象として設計されたスノーシェッド（PC桁）は、その耐力から逆算して求められた条件の落石荷重に対しても十分な安全性を有していることが確認された。

また、予想を大きく超える落石を想定し、桁の耐力から逆算して求めた条件の位置エネルギーにして最大40倍の条件で重錘落下実験を行ったが、重錘の貫通、桁の落下といった破壊状況は生じなかった。

SAM工法を検証した実験では、サンドクッション材でクラックが発生したケースと同一条件（重錘質量、落下高さ）でもクラックが発生しなかったことから、SAM工法は落石の衝撃力を緩衝する有効な工法であることが確認された。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，昭和58年7月
- 2) 日本サミコン他：発泡スチロールの落石による衝撃力の緩衝効果に関する報告書，平成2年2月