

鋼・コンクリート合成構造を用いた落石覆道の耐衝撃実証実験

Prototype Impact Test of Steel-concrete Composite Type Rock-Shed

北海道開発局旭川開発建設部
(独)開発土木研究所
室蘭工業大学
(株) KGE

正員 佐藤 昌志(Masashi Sato)
正員 池田 憲二(Kenji Ikeda)
正員 岸 徳光(Norimitsu Kishi)
○ 正員 佐藤 良一(Ryoichi Sato)

1. はじめに

道路防災の観点上、落石による災害から道路交通網を確保するための落石覆道は、今後、更に整備が必要な構造物の一つと考えられる。しかしながら、最近はコスト削減が盛んに叫ばれており、緩衝性能や施工性の優れた構造物の開発が要請されている。

(独)開発土木研究所構造研究室等の研究グループは、これまで橋梁用鋼床版として開発した鋼・コンクリート合成サンドイッチ版(上下鋼板をボルトで連結した構造内にコンクリートを充填した合成鋼版)が高耐荷力と優れた靱性能を有することに着目し、落石覆道用頂版への適用性を検討するための衝撃実験¹⁾や実規模落石覆道模型を用いた実験²⁾等を行ってきた。本構造の特徴としては、①撓化性があることにより、RC、PC製に比較して落石荷重に対するエネルギー吸収能が高いこと、②破壊形式が延性的な曲げ破壊が先行し、押し抜きせん断破壊を生じないこと、③同一落石荷重であれば、RC構造と比較して大幅なコストの縮減及び工期短縮が可能であること、などが上げられている。

本報告は、本構造が初めて採用された屏風岩覆道で耐衝撃性能の確認を目的とした重錘落下衝撃実験を実施したので、その概要を紹介すると共に実験結果の一部を報告するものである。なお、本実証実験は、平成13年9月27日に公開で実施されている。

2. 実験概要

2.1. 屏風岩覆道

今回、実験を行った屏風岩覆道は北海道開発局旭川開発建設部が落石対策のため、一般国道39号上川町層雲峡に建設が進められた覆道である。なお、近接する観音岩覆道も同工法により同時期に建設が進められた。

屏風岩覆道は道路軸方向が延長216.0mであり、コンクリートの乾燥収縮及び施工性の関係から18ブロック(以下BLと称す)に分割されている。本実験は終点側の18BLにて実施した。18BLの覆道構造を図-1に示す。18BLの頂版は道路軸方向12.0m、断面方向(道路幅員方向)幅15.3m、厚さ0.3mの鋼・コンクリート合成サンドイッチ版で構成されている。また、18BLの頂版は幅2m×6連に分割されており、短辺2m×長辺15.3m×厚さ0.3mの材料を工場内で組み立て現地に搬送した後、添接板によって一体化し内部に高流動コンクリートを充填している。柱部は、断面が0.4

×0.4mで高さ約4.5mの高流動コンクリートを充填した矩形鋼管を柱とする構造で、これをRC造で厚さ1.0mの底版、壁厚1.1mの側壁と一体構造にしている。なお、基礎工は直径φ1200mmの場所打杭(CCP)が配置されている。

合成サンドイッチ版を構成している鋼板は上下端鋼板がそれぞれSS400、SM490YBで、板厚は共に9mmである。また、壁側2.1mの範囲は上側鋼板を2枚重ねとしている。頂版の縦横に約30cmピッチに65A、t=7mmのガス管を上下端鋼板のスペーサとしM22×360(F10T相当)のボルトを用いて連結している。また、ガス管は上下端鋼板を介して70.6kN/本の軸力を導入することにより鋼板と一体化させている。柱部の鋼管の材質はSTKR400で、厚さは12mmである。中詰に用いるコンクリートには高炉セメントB種

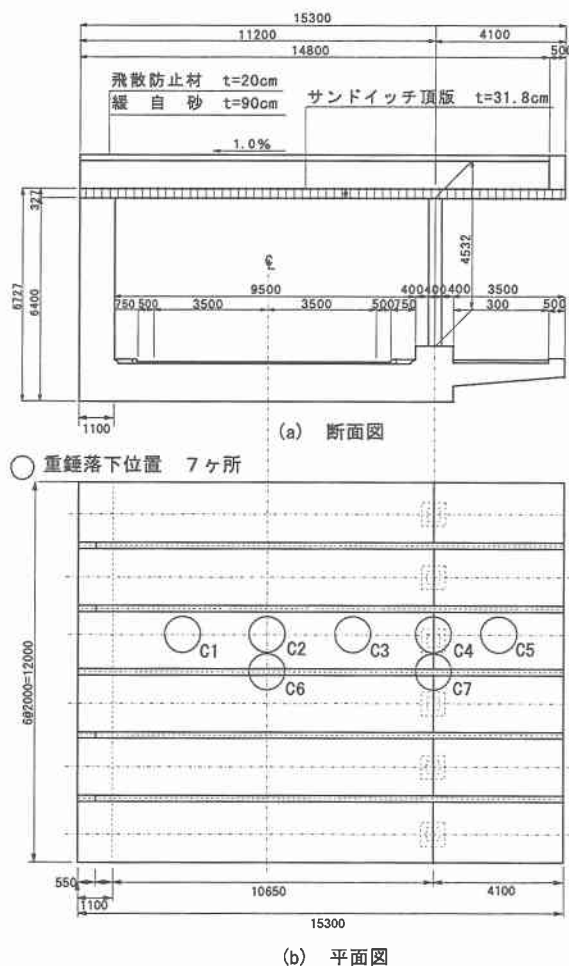


図-1 屏風岩覆道の概要および重錘落下位置

を使用した高流動コンクリートを用いている。実験時の材令は約 60 日であり、28 日時点での実験箇所の平均圧縮強度は 54MPa であった。なお、設計圧縮強度 σ_{28} は 30MPa 以上と規定されている。

合成頂版上の緩衝材は 90cm 厚の敷砂と、その上に厚さ 20cm の飛散防止材（転用土）が施工されている。

2.2. 屏風岩覆道の設計落石荷重

屏風岩覆道の設計落石荷重は、事前落石シュミレーションより設定されている。その詳細は、直径 2 m の落石（落石重量 $W=102.6\text{KN}$ 、 $\phi\ 2\text{m}$ 、 $\rho=2.5\text{g/cm}^3$ ）が覆道背面（敷砂緩衝材）上で入射角度 45° 、落石衝撃力 $P_0=4.02\text{MN}$ でリバウンドし、覆道頂版上に入射角度 45° で作用することを想定し、決定されている。設計落石荷重は $P=0.4\times P_0=1.7\text{MN}$ である。これより、鉛直方向衝撃分力は $P_v=1.18\text{MN}$ として算出される。本実験に用いた 2t 重錘から落下高さを換算すると、振動便覧式のラーメの定数を $\lambda=1000\text{KN/m}^2$ と仮定すると、 $H=14.0\text{m}$ に相当する。表-1 に設計荷重及び落石時の主要材の許容応力度を示す。

2.3. 実験方法およびケース

衝撃荷重は合成頂版上に 90cm 厚の敷砂緩衝材のみ施工された状態で、質量 2t、直径が 1m で底部から高さ 37.5cm までが球状の鋼製重錘をトラッククレーンで吊り上げ自由落下させることにより入力している。なお、実験は覆道内への一般車両供用後に実施しており、トラッククレーンは国道を片側通行規制し、覆道終点側出口付近の規制範囲内に据え付けた。なお、重錘落下実験時は一般車両の覆道に与える振動等を考慮し 1～2 分間の全面通行止めを実施した。

本実験の実験ケース一覧を表-2 に示す。表中の載荷位置の内、C1～C5 は 1 部材の幅 2m で構成された頂版の中央部付近に載荷し、C6～C7 は頂版間の接続部である添接板位置に載荷したケースである。なお、載荷位置は図-1 に示している。落下高さは、設計条件と過去に江別市角山実験場で実施した結果を基に事前に 3 次元衝撃応答予備解析を実施し検討すると共に、現地において覆道主構造物が弾性範囲内であることを確認しながら落下高さを上げることとした。

2.4. 測定項目および方法

実験における測定項目は、重錘に埋設した加速度計による重錘加速度(3 点)、覆道頂版上面に衝撃荷重計(15 点)、頂版部および柱部の鋼版に設置したひずみゲージ出力(122 点)、並びに頂版部および柱部の変位(22 点)である。測定は計 162 点の動的測定である。なお、測定位置を図-2 に、測定ブロックを図-3 に示している。

重錘加速度は重錘が緩衝材に与える衝撃力を求めるために、衝撃荷重計は覆道中央部の実験ケース C2 位置に配置し緩衝材から覆道本体に伝わる衝撃力の強度（以後伝達衝撃力強度と呼ぶ）と、これに分布面積を乗じて得られる伝達衝撃力を評価するために設置して

いる。頂版部のひずみゲージは 18BL 全体の応力分布性状を把握するために添付している他、断面方向には 2m の鋼板中央断面および鋼板添設部にも添付している。変位はレーザー式変位計を用い、覆道頂版下面および柱部の断面方向変位を測定することとした。なお、前述したように、実験時には本覆道が供用中であったため、写真-1 に示すように覆道底版部の車道壁部近傍及び歩道部を不動点とし、足場及び交通規制範囲内

表-1 設計荷重および主要材の落石時許容応力度

設計落石荷重	170tf	
鉛直方向衝撃分力	120tf	
鋼材		落石時許容応力度
頂版上面鋼板	SS400	$143\times1.5=215\text{MPa}(2100\text{kgf/cm}^2)$
頂版下面鋼板	SM490YB	$214\times1.5=321\text{MPa}(3150\text{kgf/cm}^2)$
角形鋼管	STKR400	$143\times1.5=215\text{MPa}(2100\text{kgf/cm}^2)$
コンクリート		
頂版部	高流動コンクリート	$\sigma_{ck}=30.6\text{MPa}(300\text{kgf/cm}^2)$
側壁部	高流動コンクリート	$\sigma_{ck}=24.5\text{MPa}(240\text{kgf/cm}^2)$

表-2 実験ケース一覧

載荷位置	緩衝材	重錘質量	落下高さ	落下位置
C1	S90	2t	6.10	壁部側
C2			2～17.5	中央
C3			6	柱部側
C4			6.8	柱部上
C5			2.4	張出側
C6			6.7	中央(添)
C7			6.8	柱部上(添)

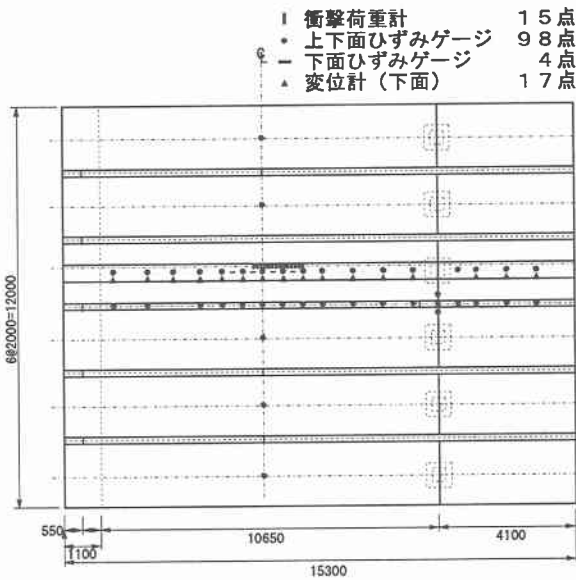


図-2 計器設置位置

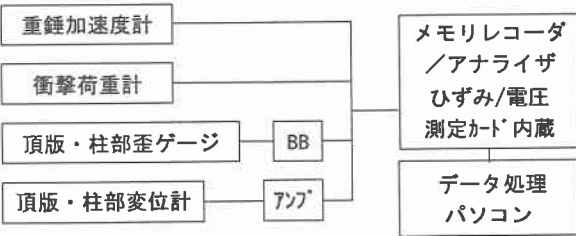


図-3 測定ブロック図



写真-1 屏風岩覆道(終点側)

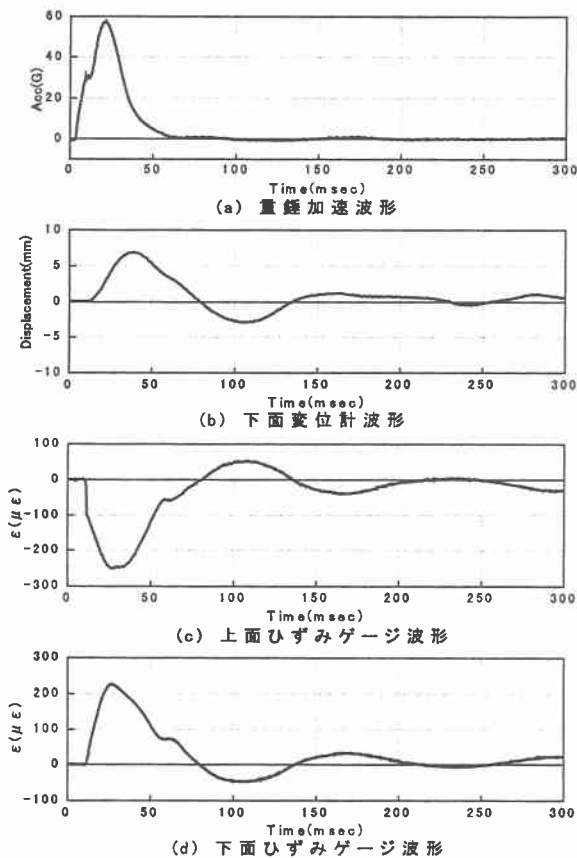


図-4 実験時測定波形例(C2, H=10m)

の高所作業車を支点として軽量鋼管を配置し変位を測定した。また、写真-2には実験状況を示している。

3. 実験結果および考察

本報では実験のうち、覆道中央部の载荷ケース C2 結果から実験結果を一部紹介する。

3.1.最大重錘衝撃力

図-4(a)~(d)には、それぞれ重錘加速度、重錘落下地点におけるサンドイッチ版の変位および上下面ひずみゲージの時系列波形を示す。(a)図より、加速度波形は応答開始から約18msec経過後に最大値を示した後、約43msecで減衰している。波形の継続時間は約61msecであり、剛基礎上における実験結果(30~40msec)³⁾より大きいことがわかる。これは、頂版が

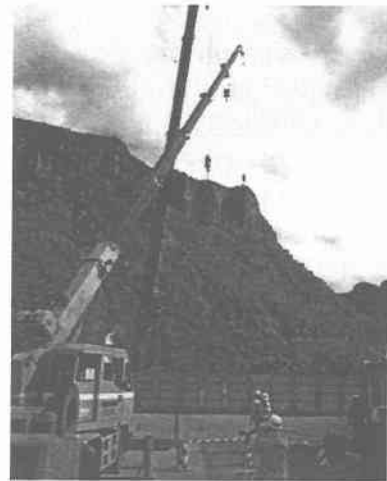


写真-2 実験状況

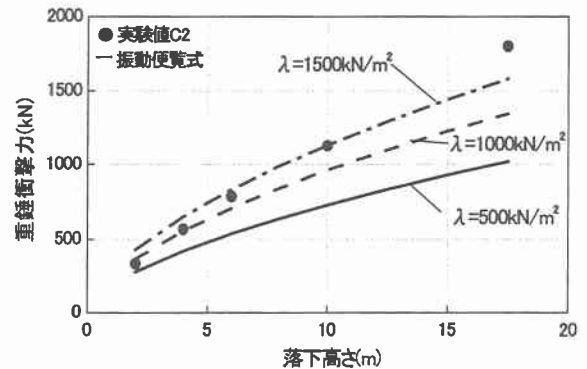


図-5 重錘衝撃力と落下高さの関係

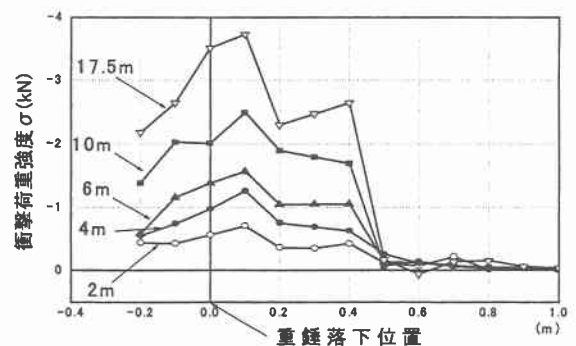


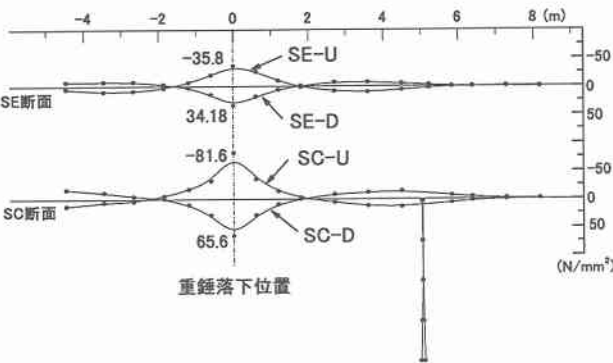
図-6 伝達衝撃荷重強度分布と落下高さの関係

撓化性に富むことに起因しているものと推察される。

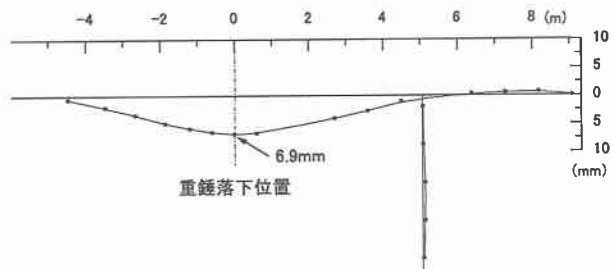
図-5に、重錘加速度の最大値と重錘質量の積により求めた重錘衝撃力と落下高の関係を振動便覧式による敷砂緩衝材のラーメの定数を $\lambda=500, 1000, 1500kN/m^2$ と仮定する場合と比較している。図より、実験結果は、 $h=17.5m$ の場合を除きラーメ定数が $\lambda=1500kN/m^2$ とする場合とよく対応していることがわかる。剛基礎上における実験結果はラーメ定数が $\lambda=200kN/m^2$ と対応していることより、本構造を用いることにより衝撃力も低減できることがわかる。しかしながら、三ブロックを用いた実験時に比較して大きい傾向を示している。これは、本実験の場合は道路軸方向に連続して建設されており、拘束度が大きくなったことによるものと推察される。

表-3 設計頂版応力度と設計値との比較

		重錘重量2tf換算 落下高 (m)	入力エネルギー (KJ)	頂版許容応力度 (MPa) / 実測値 (MPa)	
				頂版下面	頂版上面
設計値	鉛直方向衝撃力			$\sigma_s - \sigma_d (=70)$	$\sigma_s - \sigma_d (=70)$
	PV=120 t f	14.0	274.4	321.0	135.0
実験値	落下高H=10.0m	10.0	196.0	65.6	81.6
	落下高H=17.5m	17.5	343.0	102.5	136.3
実測換算値	設計値/実験値	14.0	274.4	86.9	111.6
	同上 (%)			27.1%	82.7%



(a) 断面方向応力分布



(b) 変位分布

図-7 断面方向応力および変位分布図
(C2 載荷, 落下高 10m)

図-6 には、C2 位置落下時の衝撃加速度が最大値を示した時得られた頂版上面伝達衝撃応力分布を示している。分布形状は若干のバラツキが認められるが、落下位置近傍で最大となり、重錘外縁 0.5m 位置の衝撃荷重強度は殆ど認められず、これらから重錘による衝撃荷重の分散角度を算定すると約 30° となる。

3.3. 頂版部および柱部のひずみ、変位

図-7(a), (b) には、載荷位置 C2、落下高さ 10m 時の頂版部および柱部の断面方向応力分布、変位分布を示している。(a) 図は落下位置直下頂版下面の鋼板応力度が最大を示した時の分布を示しており、図中の SE 断面は添接板位置を、SC 断面は柱を含めた添接板間中央の分布を示している。鋼板下面応力度に着目すると、最大応力度は重錘落下位置直下の SC 断面鋼板下面で 65.6MPa の引張応力度、上面で 81.6MPa の圧縮応力度である。鋼板下面応力は重錘落下位置を中心とする断面方向約 1.6m の範囲内では引張応力度を示

し、その範囲外は緩やかに圧縮応力度に移行している。頂版上面応力分布は下面応力分布とほぼ対象な分布性状を示し、頂版断面の中立軸位置は断面中央付近と推察される。

また、(b) 図には変位分布を示している。重錘落下位置直下で最大変位 6.9mm を示す緩やかな放物線状を示した。

3.4. 設計頂版応力度との比較検討

本実証実験では、C2 位置において最大落下高 H=17.5m 迄の重錘落下実験を行った。表-3 には、落石時の設計エネルギーや鋼板応力度と実験時の入力エネルギーおよび実験時の各最大応力度を比較して示している。落下高 17.5m 時における重錘直下の鋼板下面最大応力度は 102.5MPa (鋼板上面応力度は -136.3MPa) である。実験値から求めた設計落下高時の鋼板下面実測換算値は設計値の 27%、鋼板上面は 83% となり、いずれも落石時の設計許容応力度を十分満足していることが分かる。

4. まとめ

鋼・コンクリート合成サンドイッチ頂版を有する覆道として始めて採用、施工された屏風岩覆道において耐衝撃性能を確認するための重錘落下衝撃実験を行った。本覆道は、経費削減、工費短縮、省力化施工を目的として設計施工された構造物である。本報告は、同覆道および実験の概要を紹介し、実験結果の一部について報告するとともに設計値との比較検討を行うことにより本覆道の性能確認を行ったものである。本実験結果、設計落石荷重が作用する場合においても本覆道主構造は十分に落石時許容応力度を満足することより、本覆道は十分な耐衝撃性能を有することが明らかとなった。

参考文献

1) 野原栄治、今野久志、岸徳光、西弘明：鋼合成サンドイッチ版の耐衝撃特性に関する実験と考察、土木学会北海道支部論文集 Vol.54A, pp.46~49、1998.2
2) 佐藤昌志、岸徳光、西弘明、温泉重治、川瀬良司：鋼・コンクリート合成頂版を有するロックシッドの衝撃挙動、土木学会北海道支部論文集 Vol.54A, pp.84~89、1998.2
3) 土木学会：ロックシェッドの耐衝撃設計 [構造工学シリーズ], 1998.11