

I-22

鋼・コンクリート合成頂版を有するロックシェッドの衝撃挙動

北海道開発局	正 員	佐藤 昌志
室蘭工業大学	正 員	岸 徳光
北海道開発局	正 員	西 弘明
ショーボンド建設(株)	正 員	温泉 重治
構研エンジニアリング	〇正 員	川瀬 良司

1. はじめに

平成8年2月の豊浜トンネルおよび平成9年8月の第2白糸トンネル上の岩盤崩落の発生を機に、国道の防災点検が一斉に実施され、大規模災害を未然に防ぐ努力が日夜続けられている。最も困難な問題は、危険箇所の特定とその安定化対策である。後者の最も明快な方法は風化岩体の除去であろう。しかしながら、その除去作業においては作業時の安全性確保は勿論のこと、不慮の落石から道路交通網を確保することも最優先の問題となる。一般に、落石から道路網を確保するための構造としてロックシェッドがあり、RC製とPC製が主に採用されている。通常ロックシェッドは永久構造物として落石のみならず、地震荷重に対する応答も考慮して設計・施工が行われていることより、基礎部も含め大がかりな工事となる。従って、これら通常のロックシェッド設計・施工方法を岩体除去箇所に適用することは、工期短縮、経済性、簡便性の面から妥当でないものと判断される。

このような観点より、著者らは鋼・コンクリート合成構造をロックシェッドに応用することを目的とし、実規模のロックシェッド模型を用いた重錘落下衝撃実験を行い、その適用性について検討した。本合成構造はPCロックシェッドと同様、谷側がコンクリート充填鋼管柱、頂版部が幅1.9mの鋼・コンクリートサンドイッチ版から成る骨組構造である。実験は単一骨組構造とした場合および4連の構造体とする場合について行い、耐衝撃性に優れていることを確認しているが、本報告では基本構造である単一骨組に関する実験結果について報告する。

2. 実験の概要

2.1. ロックシェッド

実験は北海道開発局開発土木研究所の江別市角山実験場に作製した4連の実規模の鋼・コンクリート合成ロックシェッド模型（以下、合成ロックシェッド）の一群を用いて行った。実験に用いた合成ロックシェッドの概要を図-1に、断面寸法等の詳細を図-2に示している。ロックシェッド模型は道路軸方向の幅が1.9m、断面方向（道路幅員方向）幅が10.9m、厚さ0.3mの鋼・コンクリート合成サンドイッチ版を頂版とし、断面が 0.4×0.4 mで高さ4.5mのコンクリートを充填した矩形鋼管柱を柱とする構造で、これを既存のRC造の底版、側壁と一体構造にしている。合成サンドイッチ版を構成している鋼板は上下端

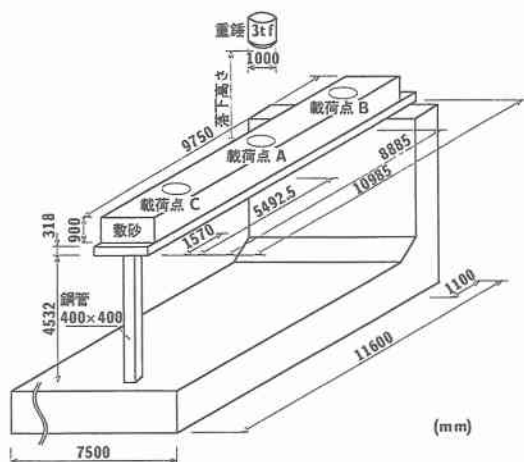


図-1 実験概略図

Impact Behavior of Steel-concrete Composite Rock-shed Structure
by Masashi SATO, Norimitsu KISHI, Hiroaki NISHI, Sigeji ONSSEN and Ryo-ji KAWASE

鋼板がそれぞれ SS400, SM490 であり板厚は共に 9 mm である。また、図-2 に示すように、壁部側 1.8 m の範囲については上側鋼板を 2 枚重ねとしている。頂板の縦横に約 30 cm ピッチに 65A t=7mm のガス管を上下端鋼板のスペースとし、M24-5T のボルトを用いて連結している。なお、ガス管とボルト間の隙間はグラウトにより充填している。また、ガス管は上下端鋼板を介してボルトに 14 tf/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 SS400 で厚さは 12 mm である。中詰に用いるコンクリートには普通ポルトランドセメント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 16 日であり、その時の平均圧縮強度は 394 kgf/cm² であった。頂版部の中詰コンクリートの打設には、充填性を高めるため充填孔にガス管を立て、水頭圧により充填性の向上を図った。また、頂版部はコンクリート重量による逆キャンバーの発生を防ぐため、上げ越しを行った。頂版-柱部および頂版-側壁部の接合は、それぞれ SDC390-D25 のアンカーボルト 6 本、SDC390-D32 のアンカーボルト 14 本を用いている。柱部と底版はメナーゼヒンジとして機能するように、図-2 に示す施工法により設置した。すなわち、柱下端部に厚さ 10 mm のゴムマットを敷き、柱下端での回転を許すると同時に、鋼管中詰コンクリートの流出を防止する構造としている。

2.2. 実験方法およびケース

衝撃荷重は合成頂版上に 90 cm 厚の敷砂緩衝材を設置し、重錘を自由落下させることにより入力している。なお、重錘は重量が 3 tf、直径が 1 m で底部から高さ 37.5 cm までが球状の鋼製重錘を用いている。本実験の実験ケース一覧を表-1 に示す。表中の実験ケースは図-1 に示す衝撃荷重載荷位置と落下高さ (m) をハイフンで結び表すこととした。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、頂版部および柱部の鋼板に添付したひずみゲージ出力である。なお、ひずみの測定位置を図-2 に併せて示している。頂版部のひずみ性状は上下鋼板のボルト間の中心位置について行うこととした。

3. 実験結果および考察

3.1. 最大重錘衝撃力

図-3 に重錘に埋設した加速度計より得られた加速度に重錘重量を乗じて得られる重錘衝撃力の最大値と重錘落下エネルギー (重錘重量 (tf) × 落下高さ (m)) の関係を示す。図には同じ重錘重量を用いた過去に行われた PC ロックシェッドおよび剛基礎上での実験結果も合わせて示している。

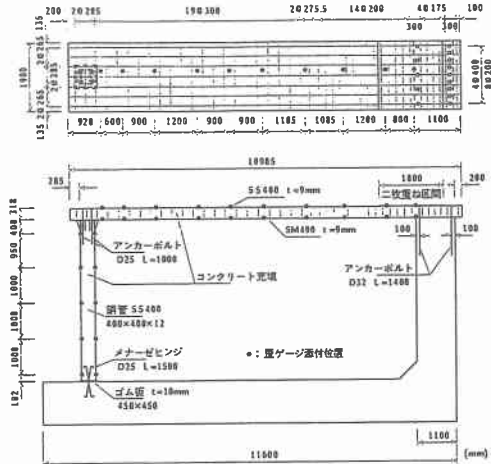


図-2 ロックシェッド模型

表-1 実験ケース一覧

実験 ケース	緩衝材	重錘重量 (tf)	落下高さ (m)	落下位置
A-1	S90	3	1	中央 (A)
A-2			2	
A-3			3	
A-4			4	
A-5			5	
A-6			6	
A-7			7	
A-8			8	
A-10			10	
A-12			12	
A-15			15	
B-5			5	壁部側 (B)
C-5			5	柱部側 (C)

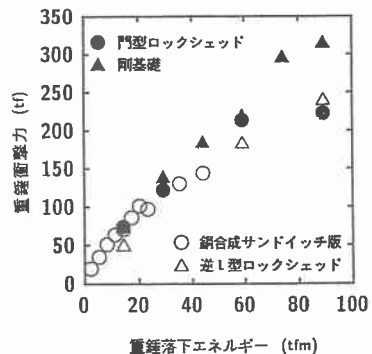


図-3 重錘衝撃力

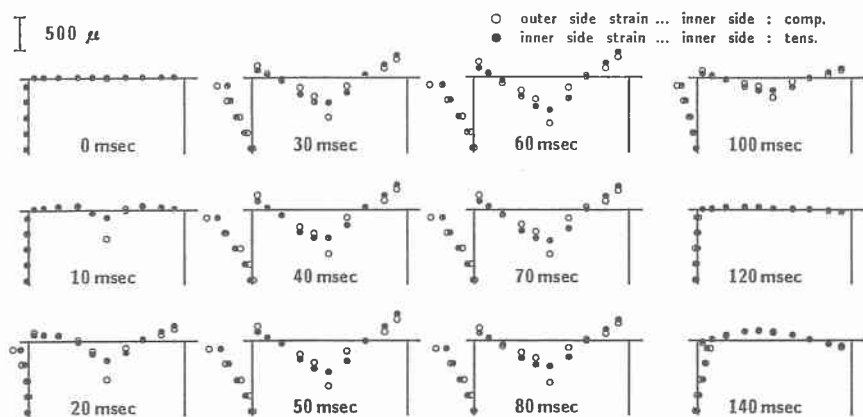


図-4 (a) ひずみ分布の経時変化 (落下高さ 5m)

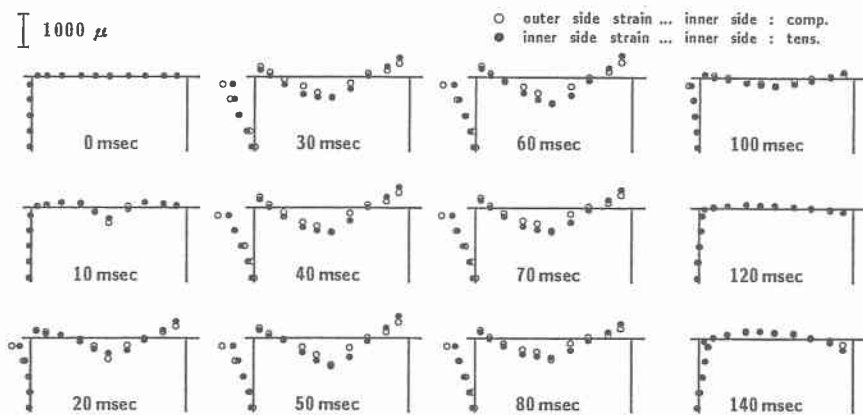


図-4 (b) ひずみ分布の経時変化 (落下高さ 10m)

本実験と PC ロックシェッドおよび剛基礎における実験は実験範囲が多少異なるものの、最大衝撃力はほぼ同様な傾向にあり、最大重錘衝撃力に及ぼす支持構造の影響は小さいことが分かる。すなわち、合成頂版を用いたロックシェッドの最大重錘衝撃力は、剛基礎における値を採用してもそれ程過大とはならないことが示されている。

3.2. 頂版部および柱部の鋼板ひずみ

図-4 に落下高さ 5 m および 10 m の場合における上下端/内外端鋼板ひずみ分布の経時変化を示す。図には外側鋼板ひずみを○印で、内側鋼板ひずみを●印で示し、内側を正（引張り）としている。なお、両ひずみの比較を分かり易くするため外側鋼板ひずみは符号を逆に示している。また、落下高さ 15 m の場合の分布性状は 10 m の場合とほぼ同様であることより、ここでは省略している。

図より 5 m 落下の場合には、載荷点にひずみが集中する傾向が強く、特に載荷点中央の頂版上側ひずみが大きい。また、10 m 落下ではひずみの分布はかなり滑らかになり、分布荷重載荷に近い分布となっている。頂版部の最大ひずみは、落下高さ 5 m に対し、圧縮側で -707μ 、引張側で 511μ 、10 m 落下に対し圧縮側で -745μ 、引張側で 888μ である。ひずみ分布は全体として頂版上下・柱部内外ほぼ同様の分布をしている。

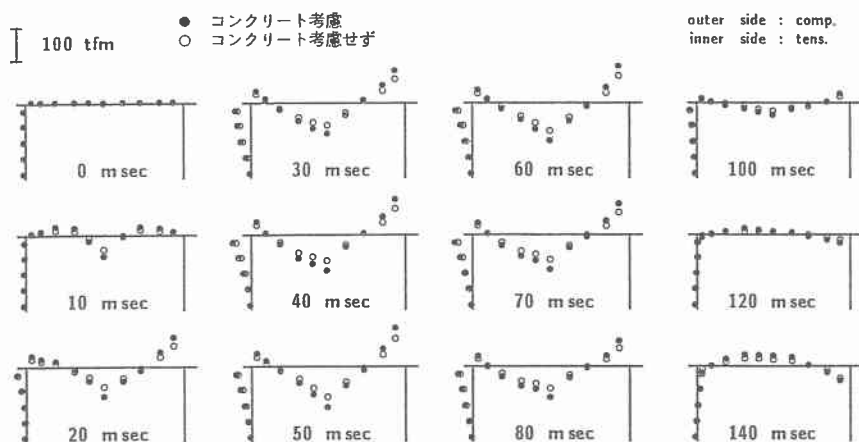


図-5 中央載荷時曲げモーメント分布の経時変化 (落下高さ 10m)

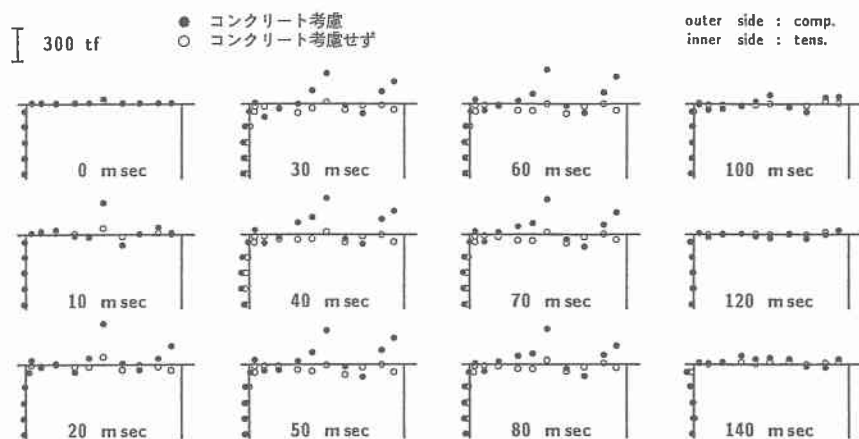


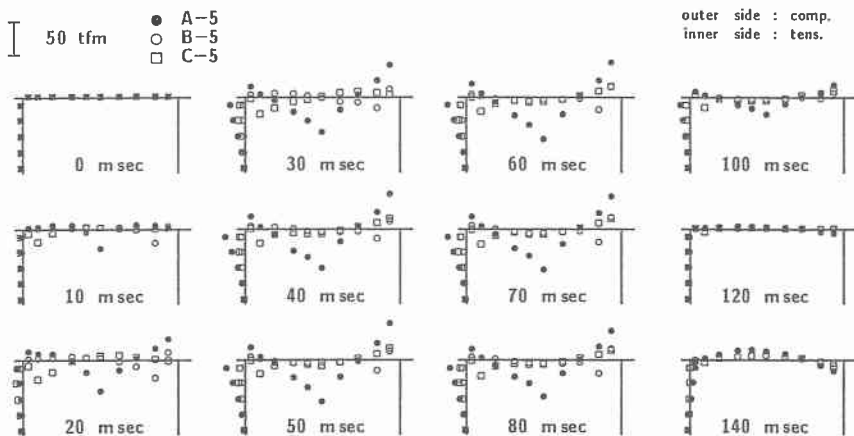
図-6 中央載荷時軸力分布の経時変化 (落下高さ 10m)

3.3. 頂版部および柱部の断面力分布

前節で求めたひずみデータを元に平面保持を仮定して断面分割法により、曲げモーメントおよび軸力を算定した。但し、前節に述べたように頂版部で上下ともひずみの値が大きく、中詰コンクリートと鋼板の付着が十分かどうか明かでないことから、断面力の算定に当たってはコンクリートを考慮する場合と考慮しない場合の両方について検討した。また、算定に当たっては鋼、コンクリートとも材料試験から得られた応力-ひずみ関係を用いている。

図-5に中央載荷時の曲げモーメント分布の経時変化を示す。図には中詰コンクリートを無視した場合を○印で、考慮した場合を●印で示した。いずれも当然のことながら、ひずみ分布とほぼ同様の傾向を示しており、コンクリートを考慮した場合の曲げモーメントが大きい。曲げモーメントの最大値は桁中央に発生しているが、側壁部の接合部にも大きな逆向きの曲げモーメントが生じており、設計上この点への配慮が必要と考えられる。

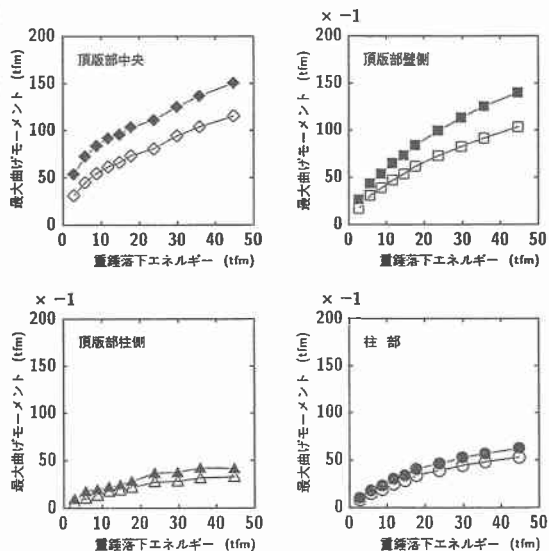
図-6に落下高さ 10 m の場合の軸力分布を示す。記号は図-5と同様である。図より、軸力の実測値は大きくばらついていることがわかる。また、中詰コンクリートを無視した場合が考慮する場合よりもばらつきが少ないことより鋼板ひずみの大きな位置では、中詰コンクリートの付着が十分でなく、コンクリートが



図一七 荷重位置を変化させた場合の曲げモーメント分布の経時変化 (落下高さ 5 m)

RC 構造として十分機能していないことが推察される。

図一七に落下高さを 5 m に限定して、荷重位置を変化させた場合の曲げモーメント分布を示す。図では柱部側載荷を□印、中央部載荷を●印、壁部側載荷を○印で示している。また、曲げモーメントの算定は中詰コンクリートを無視して行った。図より、頂版部では荷重位置で正の最大曲げモーメントを示していることがわかる。また、中央部載荷時に最も大きな値を示している。柱部側および壁部側載荷における最大曲げモーメントは中央部載荷時の約 1/3 程度である。柱部、壁部近傍部の曲げモーメントに関してもいずれも中央部載荷時に最大となっている。また、柱部側および壁部側載荷時の曲げモーメント分布は中央部載荷と比較して全体的に小さく示されている。



図一八 最大曲げモーメント

3.4. 重錘落下エネルギーと最大曲げモーメントの関係

図一八に頂版部の中央、側壁側、柱側および柱上部の最大曲げモーメントと重錘落下エネルギーとの関係を示す。図中白抜きをコンクリート無視、黒塗りをコンクリート考慮した場合として示しており、実際の断面力の値はこの中間にあるものと推察される。コンクリートを考慮する場合と考慮しない場合の差は頂版部中央および壁部側では 20 ~ 40 %，柱側および柱上部では約 20 % となっている。

3.5. PC ロックシェッドとの比較

図から曲げモーメントはいずれもエネルギーの約 1/2 乗に比例して増大している。絶対値の最大は頂版部中央で生じているが、頂版と側壁部との接合部にもほぼ同等の曲げモーメントが発生している。

図一九に落下高さ 5 m，中央載荷の場合の最大曲げモーメント分布の比較を示す。但し、PC ロックシェッドのデータは文献 1) にある実規模 PC ロックシェッドに関する実験結果である。両者のロックシェッド

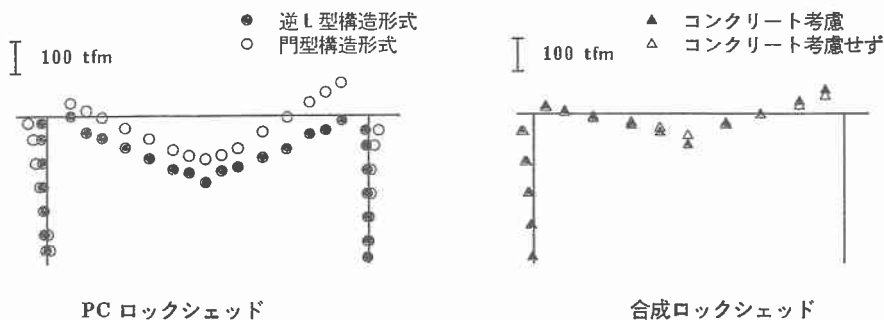


図-9 PC ロックシェッドとの比較

幅員は同一ではないため、重ね合わせて比較することはできないが、同一高さにおける重錘衝撃力は、図-3に示したようにほぼ同様であるにもかかわらず、曲げモーメント分布にはかなりの相違がみられる。合成ロックシェッドの曲げモーメントの分布形状は、門型PCロックシェッドに類似しているが、最大曲げモーメントは合成頂版でコンクリートを無視した場合には65.5 tfm、考慮した場合には95.0 tfmに対し、門型ロックシェッドでは133.7 tfm、逆L型では203.8 tfmであり、合成頂版の方が約1/2～1/3小さな値となっている。曲げモーメントの値は断面の曲げ剛性に依存するため、大小関係のみからは直接優劣を比較できないが、同じ落石エネルギーに対する結果からは、鋼・コンクリート合成頂版も落石ロックシェッドへの適用の可能性を示しているとも考えられる。

4. 結び

風化岩体除去時の道路交通網の安全性確保のために設置される簡易ロックシェッドを対象とし、経費削減、工費短縮、省力化施工を目的として、鋼・コンクリート合成構造のロックシェッドへの適用性について、一組の実規模模型を用いた重錘落下衝撃実験を行った。検討は重錘衝撃力および鋼板ひずみから算定される曲げモーメントに対して行った。衝撃荷重時における鋼板とコンクリートの付着性状など、不明な点もあるが、本実験により得られた成果は以下のようである。

- 1) 重錘衝撃力の最大値は、合成頂版ロックシェッド、PCロックシェッド、剛基礎ともほぼ等しい。
- 2) 頂版部の鋼板のひずみ分布は、重錘の落下高さが低い場合は集中荷重載荷時に、高い場合は分布荷重載荷時に類似した分布となる。
- 3) 15 tfm程度の入力エネルギーに対しては、合成頂版部の最大曲げモーメントはPCロックシェッドの頂版部の値より1/2～1/3程度小さい。

以上のことから鋼・コンクリート合成構造をロックシェッドに適用する可能性を示すことができたものと考え。今後、合理的な設計手法確立のため、静的載荷時の挙動を含めさらに研究を進める予定である。

本論文の作成に当たり、室蘭工業大学、大学院生の佐藤大君はじめ、建設システム工学科構造力学研究室の学生諸君に多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤昌志，西 弘明，岸 徳光，松岡健一：実規模PC覆工模型の耐衝撃性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.44A, pp.1851-1860, 1998.3