

実規模 RC ロックシェッドの耐衝撃性におよぼす緩衝材の影響

Effects of cushion materials on impact resistant behavior of full-scale RC rock-shed

室蘭工業大学大学院	○	学生員	佐伯 侑亮 (Yusuke Saeki)
(独) 寒地土木研究所		正 員	今野 久志 (Hisashi Konno)
室蘭工業大学		正 員	栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
釧路工業高等専門学校		フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

日本は国土の約7割が山岳や丘陵地であり狭く細長い地形であることから、山岳部や海岸線の急崖斜面沿いには落石災害を防止するための落石防護構造物が数多く建設されている。その落石防護構造物の一つであるロックシェッドは、現在落石対策便覧¹⁾等に基づき許容応力度法にて断面設計が行われている。これに対し、近年構造物の設計手法は許容応力度法からより合理的な性能規定を基本とする性能照査型設計法への移行が進められている。また、ロックシェッドにおいても過去の被災事例²⁾や既往の研究結果によって、終局限界耐力に対して大きな安全率を有していることが明らかとなっており、性能照査型設計法への移行が叫ばれている。

このような観点から、著者らはRCロックシェッドの性能照査型耐衝撃設計法を確立するための基礎的な研究として、RC梁やRC版等の部材単位での衝撃実験³⁾および数値解析⁴⁾や、2/5および1/2縮尺のRCロックシェッド模型に関する重錘落下衝撃実験⁵⁾を実施してきた。しかしながら、これらの検討は全て縮小模型によるものであることから、合理的耐衝撃設計法を確立するためには重錘に対する試験体の寸法効果等の影響を排除し、実現象を再現する実験を実施することが課題として残されていた。

本研究グループでは、上述の課題解決のために実規模 RC ロックシェッドを製作し、緩衝材種類、重錘質量、落下高さ、載荷位置を変化させた全 23 ケースの重錘落下衝撃実験を実施した。本論文では、ロックシェッドの許容応力を上回るレベルの各種入力エネルギーが作用する場合において、緩衝材の種類がロックシェッドの耐衝撃挙動におよぼす影響を検討することを目的に、載荷位置をロックシェッドの頂版中央部に限定して、緩衝材を敷砂および碎石とした場合の実験結果を比較検討した。なお、一連の実験では 1 体の実規模 RC ロックシェッドに対し、種々の要因を変化させて重錘落下衝撃実験を行っている。そのため、本論文においても載荷履歴を有するロックシェッドを対象とした実験となっている。

2. 実験概要

図-1には本実験に使用した実規模ロックシェッド模型の形状寸法および載荷位置を示している。本ロックシェッドは、緩衝材として90 cm厚の敷砂を用いることを前提に、設計落石条件を質量2 ton、落下高さ5 mの入力エネルギー100 kJを基に、許容応力度法に基づいて設計を行っている。実験は、ロックシェッド模型に砂あるいは碎石を90 cm敷き、ロックシェッド頂版部中央に質量10 tonの鋼製重錘を高さ15 mから自由落下させることにより行っている。このときの入力エネルギーは1,500 kJであり、設計入力エネルギーの15倍の大きさとなっている。

実験に用いた敷砂はアスファルト合材用の細目砂であり、その表乾密度は 2.56 g/cm^3 である。また、碎石は小樽市美晴産の路盤用切込碎石であり、表乾密度は 2.678 g/cm^3 である。緩衝材はそれぞれ厚さ 30 cm ごとに敷均し、その後にバックホウおよびタンピングランマー等を使用し転圧を行うことで所定の高さである 90 cm に整形した。

図-2には、実験に使用した敷砂および碎石の粒径加積曲線を示している。図より、敷砂緩衝材に用いた砂は粒形が最大で1mm程度であるのに対し、碎石は最大で30mm程度であることが分かる。

図-3 には、試験体の配筋状況を示している。鉄筋比は一般的なロックシェッドと同程度の 0.68 % としている。頂版下面および上面の軸方向鉄筋は、それぞれ SD345 D25 を 125 mm 間隔および SD345 D29 を 250 mm 間隔で配置している。コンクリートのかぶり厚は、いずれの部材も鉄筋からの芯かぶり厚で 100 mm としている。また、コンクリートの

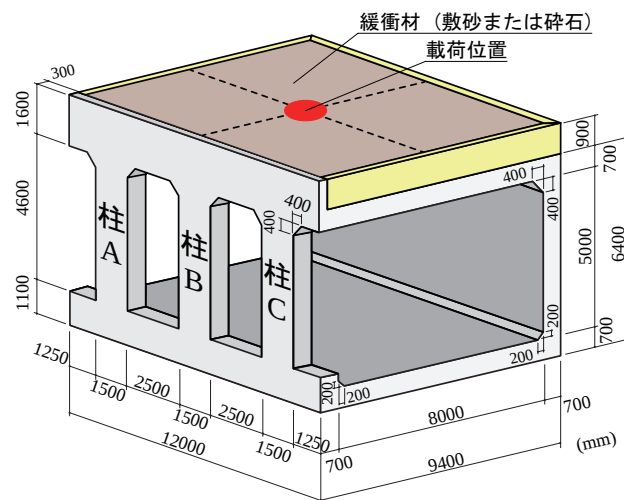


図-1 ロックシェッド形状寸法

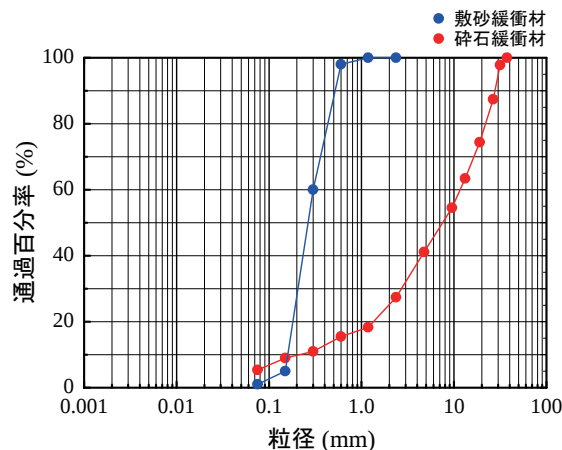
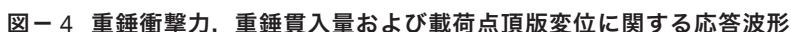


図-2 緩衝材の粒径加積曲線



測定項目は加速度 α 、鉄筋ひずみ ε 、頂版、柱面、側壁の内空法線方向変位 δ 、重垂貫入量 Δ である。また、実験終了後には頂版、柱および側壁のひび割れを撮影し、ひび割れ分布を観察している。

3.1 時刻曆応答波形

よび $6,500 \text{ kN/m}^2$ 程度として評価される。

図-4 (c) より、載荷点変位波形は、両ケース共に重錘衝突後に継続時間 80 ms 程度の第 1 波が発生し、敷砂の場合には経過時間 $t = 200$ ms 程度でほぼ一定値に収束しているものの、碎石の場合には $t = 400$ ms においても収束していないことが分かる。また、敷砂の場合における最大変位は、碎石の場合の 50 % 以下である。両ケース共に残留変位が発生していることから、頂板部が塑性域に達していることが示唆される。

図-5には、載荷位置における断面内変位分布の経時変化を示している。図より、緩衝材の種類によらず、変位は経過時間 $t = 10 \sim 30 \text{ ms}$ にかけて急激に増大し、その後復

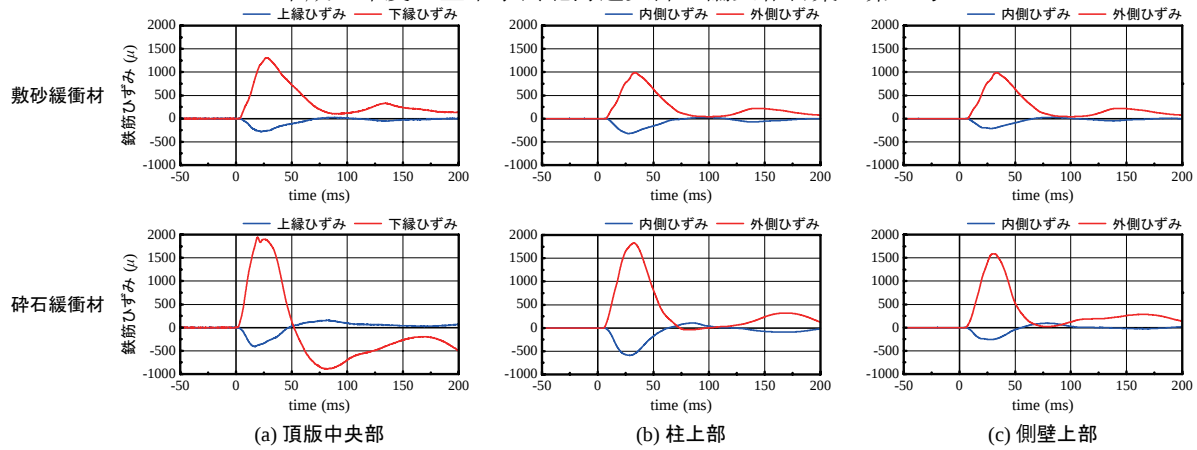


図-6 鉄筋のひずみ波形の一例

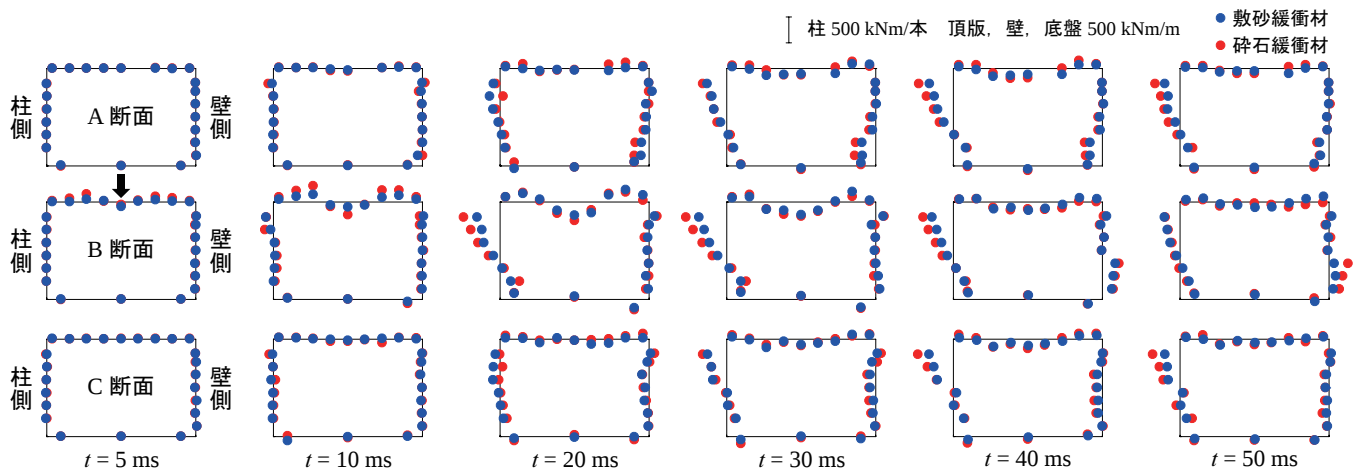


図-7 断面方向曲げモーメントの断面内分布に関する経時変化

元する性状を示している。

また、頂版の変位分布に着目すると、碎石の場合には敷砂の場合よりも中央部の変形量が大きく、かつ角折れに類似した分布性状を示していることが分かる。このことから、碎石の場合には頂版中央部に大きな曲げモーメントが作用しているものと考えられる。

3.3 鉄筋ひずみ波形

図-6には、頂版中央部、柱／側壁上部断面の鉄筋ひずみ波形を示している。図より、頂版部の場合には上・下縁、柱および側壁の場合には内・外縁の鉄筋ひずみが最大振幅を示した後、減衰する波形性状を示している。いずれの箇所においても、重錘衝突後引張側のひずみが圧縮側よりも大きく示されていることから、引張縁にはひび割れが発生し断面中立軸が圧縮縁側に移行しているものと推察される。また、各部位の最大ひずみは、碎石を用いる場合が敷砂を用いる場合よりも大きい。特に頂版中央部および柱上部では、 $2,000 \mu$ 程度のひずみが発生していることから、鉄筋が降伏に至っているものと推察される。

3.4 曲げモーメント分布の経時変化

図-7には、断面方向曲げモーメントの断面内分布に関する経時変化を示している。図より、全般的に碎石を用いる場合が敷砂を用いる場合よりも大きいことが分かる。また、各断面の曲げモーメントは、緩衝材の種類によらず経過時間 t 毎に以下の様に推移している。すなわち、1) $t = 5 \sim 10$ ms においては、B断面頂版部の中央部では正曲げ、その周辺では負曲げを呈する；2) $t = 20$ ms においては、B断

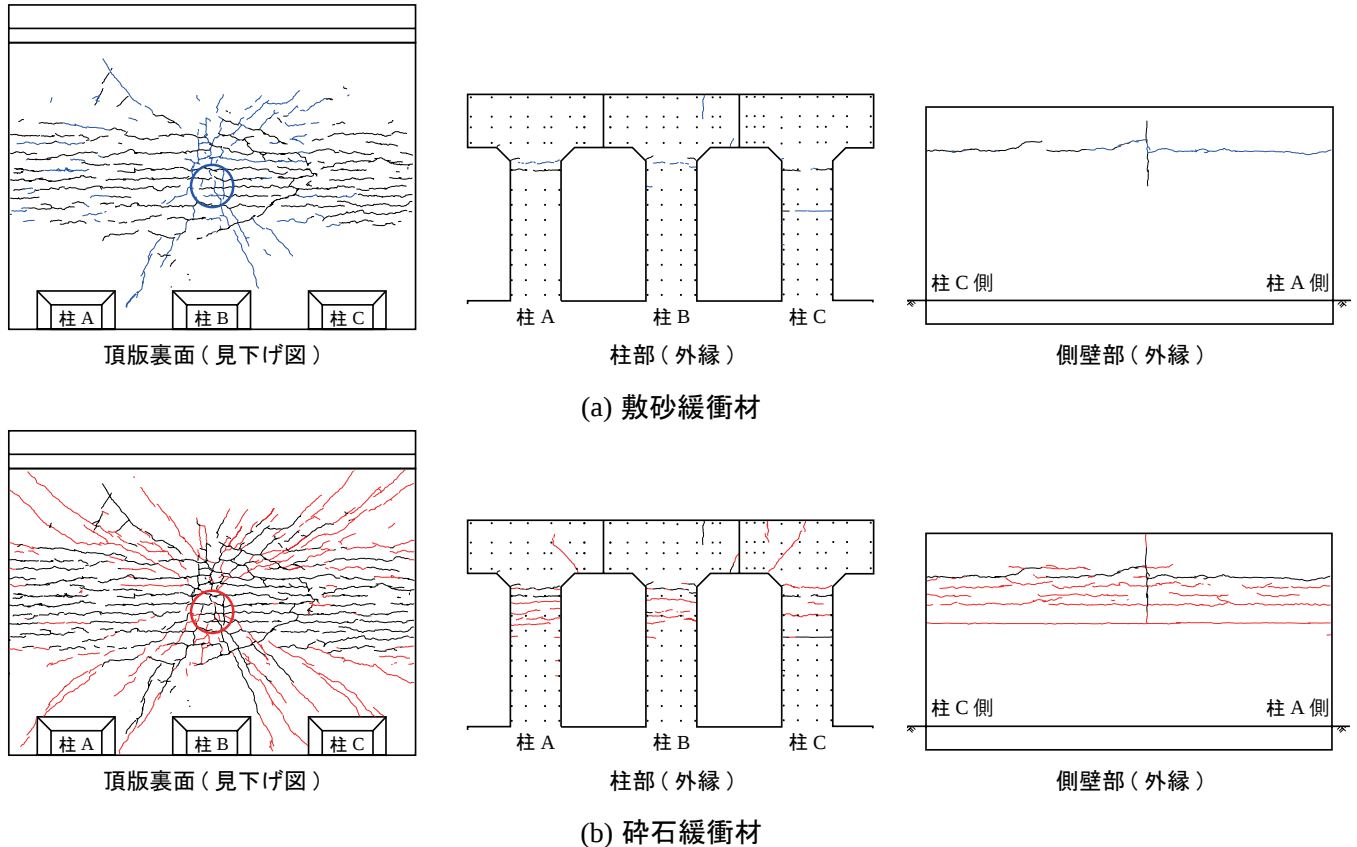
面の柱／側壁部にも曲げモーメントが伝播するものの、A/C断面では未だ大きな応答は見られない；3) $t = 30$ ms では、B断面頂版部の曲げモーメントは減少傾向を示すのに対し、B断面の柱／側壁部では増加傾向を示し、かつA/C断面においても大きな曲げモーメントが伝播する；4) $t = 40$ ms では、B断面の曲げモーメントが減少傾向を示すのに対し、A/C断面では増加傾向を示す；5) $t = 50$ ms では、いずれの断面においても減少傾向を示す。以上のように、曲げモーメントは、時間経過と共に載荷点からロックシェッド全体に伝播していく性状を示すことが明らかになった。

3.5 ひび割れ分布性状

図-8 (a), (b) には、それぞれの実験終了後における頂版裏面、柱部、側壁部外縁のひび割れ分布を示している。図中、既存のひび割れは黒線、それぞれの実験終了後におけるひび割れを青線、赤線で示している。なお、頂版裏面ひび割れは見下げ図とした。

頂版裏面ひび割れに着目すると、緩衝材の種類によらず道路軸方向に進展する曲げひび割れと共に載荷位置から放射状のひび割れが発生していることが分かる。特に、碎石を用いる場合には放射状ひび割れが頂版端部に到達していることから、その損傷度合いは敷砂を用いる場合よりも大きいことが推察される。

柱部外縁のひび割れに着目すると、柱上部に曲げひび割れが発生している。碎石の場合には、敷砂の場合よりも多くの曲げひび割れが発生していることから、より大きな曲げモーメントが発生していることが推察される。



図－8 頂版裏面、柱／壁部外側のひび割れ分布性状

側壁部外縁のひび割れに着目すると、側壁上部には柱部同様に曲げひび割れが発生している。また、碎石を用いる場合においてより多くの曲げひび割れが発生していることから、柱部と同様に大きな曲げモーメントが作用したことが窺える。

4. まとめ

本研究では、緩衝材の種類がロックシェットの耐衝撃挙動におよぼす影響を検討することを目的に、緩衝材を敷砂および碎石とした場合の重錘落下衝撃実験結果を比較検討した。

その結果、設計条件の15倍の入力エネルギーが作用する条件下においては、緩衝材として敷砂を用いる場合が碎石を用いる場合よりも、重錘衝撃力が小さく、それに対応して応答変位および各断面に作用するモーメントが小さくなることが明らかになった。また、ロックシェットの損傷度合いも軽微であることが示された。従って、本実験の条件下では、敷砂の場合が碎石の場合よりも緩衝性能に優れているものと判断される。

ただし、敷砂を用いる場合には重錘貫入量が大きくなる

傾向にあることから、より大きな入力エネルギーが作用する場合には緩衝性能が十分に発揮されない可能性があることに留意する必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：落石対策便覧，2000.6
- 2) 熊谷守晃：ルランベツ覆道における落石災害に関する報告，第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.286-290，1993.6.
- 3) 今野久志，岸 徳光，石川博之，三上 浩：敷砂を設置した大型RC梁の重錘落下衝撃実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.2，pp.859 - 864,2006.7.
- 4) 岸 徳光，今野久志，三上 浩：RC梁の繰返し重錘落下衝撃挙動に関する数値シミュレーション，構造工学論文集，Vol.55A，pp.1225-1237，2009.3
- 5) 西 弘明，岸 徳光，牛渡裕二，今野久志，川瀬良司：敷砂緩衝材を設置した1/2縮尺RC製ロックシェット模型の重錘落下衝撃実験，構造工学論文集，Vol.57A，pp.1173-1180，2011.3.