

緩衝材を設置しないRC製ロックシェッド模型の耐衝撃挙動に関する 重錘落下衝撃実験

Falling-weight impact test for small scale model of RC type rock-shed without sand cushion

寒地土木研究所	○ 正員	西 弘明
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光
寒地土木研究所	正員	今野久志
寒地土木研究所	正員	山口 悟

1. はじめに

RC製落石防護覆道（以後、ロックシェッド）は、許容応力度法により設計された同種の構造物では、耐力的に非常に大きな安全余裕度を有していることが明らかになっている¹⁾。近年、様々な構造物の設計法が許容応力度設計法から限界状態設計法を経て、性能照査型設計法へ移行しつつあり、ロックシェッドの設計においても各性能に対する断面設計を可能とする性能照査型の耐衝撃設計法の確立が望まれている。

設計手法を確立するためには、様々な载荷条件に対する終局状態までの挙動を把握することが必要となり、数値解析的アプローチが必要不可欠である。

これまで、筆者らは、小型RC梁や大型RC梁等の衝撃実験結果^{2,3)}に基づき、弾塑性衝撃応答解析を実施し、実験結果を精度よく評価可能であることを明らかにしている。上記数値解析手法の実構造物への適用性を検討するためには、可能な限り大型の試験体における終局までの耐衝撃挙動データを取得することが極めて重要である。

そこで、本研究では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検討として、実ロックシェッドの2/5縮尺模型試験体を製作し、重錘落下衝撃実験により終局状態に至るまでの耐衝撃挙動に関するデータを取得した。実験は、緩衝材の影響を受けない状態でのロックシェッドの耐衝撃挙動の把握および現行設計を考慮して敷砂緩衝材を設置した状態での耐衝撃挙動

把握を目的に2体のロックシェッド縮尺模型を製作し、重錘落下衝撃実験を実施した。本論文では、その内の敷砂緩衝材を設置しない状態に対して実施した重錘落下衝撃実験結果について、報告するものである。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、実験に供したRC製ロックシェッド縮尺模型試験体の形状寸法を示している。試験体は、1ブロックの道路軸方向長さが12m、頂版厚1m、内空幅9m程度の一般的なRC製ロックシェッドの2/5縮尺模型となるよう、外幅4.4m、道路軸方向長さ4.8m、壁側高さ2.8mの箱形構造とした。部材厚さは、頂版、底版、柱、側壁共に0.4mである。

図-2には、試験体の道路軸直角方向断面の配筋図を示している。鉄筋比は一般的な実ロックシェッドと同程度としており、頂版下面および上面の断面方向鉄筋としてD13を50mm間隔（鉄筋比0.75%）、頂版の配力筋は、断面方向鉄筋の50%を目安に上下面共にD13を100mm間隔で配置している。コンクリートのかぶりはいずれの部材も鉄筋からの芯かぶりを60mmとしている。鉄筋は全てSD345であり、力学的特性は、D13の降伏強度、引張強度がそれぞれ413、580MPa、D16の場合は430MPa、609MPaである。また、使用したコンクリートの設計基準強度は24N/mm²であり、実験時の圧縮強度は29.7N/mm²であった。

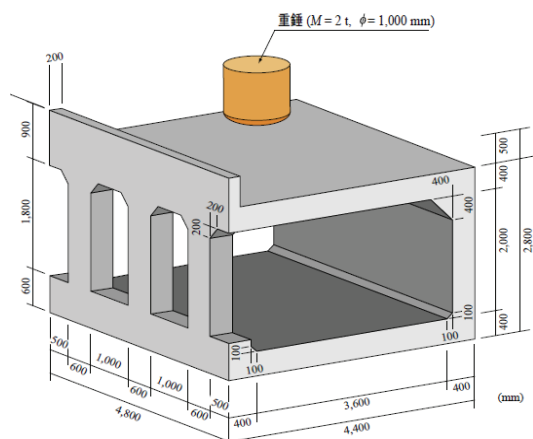


図-1 RC製ロックシェッド試験体形状寸法

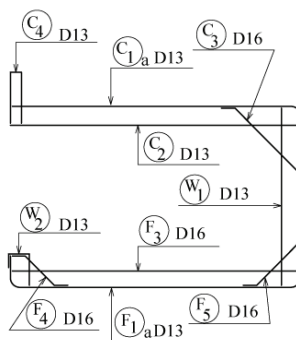


図-2 道路軸直角方向断面配筋図

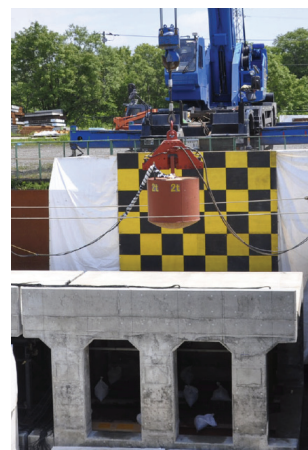


写真-1 衝撃载荷実験状況

表- 1 実験ケース一覧

実験ケース名	緩衝工	重錘質量 M(kg)	載荷 方法	載荷 位置	落下高さ H(m)	入力エネルギーEk(kJ)
N-C-H0.25	無	2,000	繰り 返し	中央	0.25	5
N-C-H0.50					0.50	10
N-C-H0.75					0.75	15
N-C-H1.00					1.00	20
N-C-H1.25					1.25	25

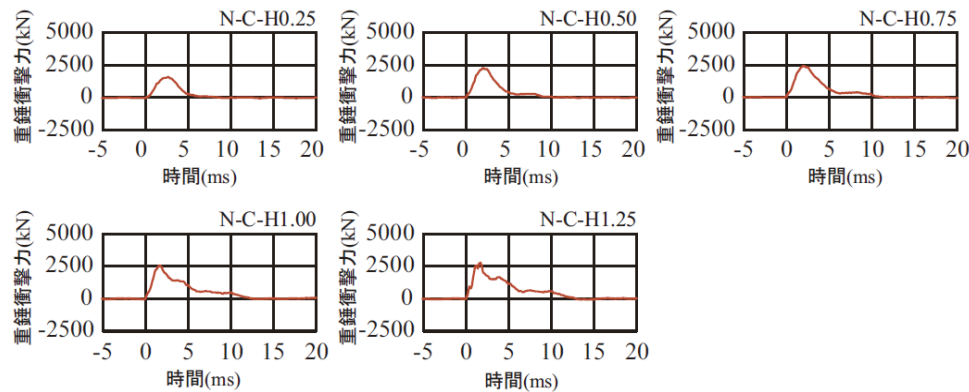


図- 3 重錘衝撃力波形

筋ひずみより確認している。

2.2 衝撃実験の概要

写真-1 には、衝撃載荷実験状況を示している。実験は、質量 2,000 kg の鋼製重錘をトラッククレーンを用いて所定の高さまで吊り上げ、自由落下させることにより行っている。

使用した鋼製重錘は、直径が 1.0 m、高さが 97 cm の円筒状で、底部より高さ 17.5 cm の範囲が半径 80 cm の球状となっている。

表-1 には、各実験ケースの実験条件を一覧にして示している。いずれの場合も、実験は緩衝材を設置しない状態で実施している。実験ケース名は、第 1 文字目に緩衝材なしを示す N、第 2 文字目には中央載荷を示す C、第 3 文字目に重錘の落下高さを示す H と落下高さ (m) を付し、それらをハイフンで結んで示している。

実験は、ブロック中央断面 C へ、落下高さ H = 0.25 m から 0.25 m ピッチで落下高さを漸増させ、頂版部に押し抜きせん断破壊が顕著に現れるまで実施した。

2.3 計測方法

本実験における計測項目は、1) 重錘の頂部表面に設置したひずみゲージ式加速度計（容量 500 G、応答周波数 DC ～ 5 kHz）による重錘衝撃力、2) 非接触型レーザ式変位計（容量 300 mm および 500 mm、応答周波数約 1 kHz）による試験体内空変位、3) 鉄筋に貼付したひずみゲージによる鉄筋ひずみである。非接触型レーザ式変位計は、底版上面にアンカーで固定した H 形鋼により組み立てられた架台に設置し、所定の位置の水平および鉛直方向変位を計測している。

衝撃実験時の各種応答波形は、0.1 ms のサンプリングタイムで一括収録を行っている。また、各実験ケース終了後には、試験体のひび割れ状況をスケッチした。なお、各実験において底版が変形していないことを底版鉄

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力波形

図-3 には、全実験ケースに関する重錘衝撃力波形を示している。なお、重錘衝撃力波形に関しては、ノイズを含んだ高周波成分を除去するために 1 ms の矩形移動平均法により数値的なフィルター処理を施している。

5 ケースの実験結果を比較すると、落下高さの低い段階では正弦半波状の性状を示しているものの、落下高さが増加するに従って三角形状波形に小さな振幅で、周期の長い波形が合成された性状を示している。また、落下高さの増加と共に重錘衝撃力波形の立ち上がり勾配が大きくなり早期に最大値に至る。波形継続時間は、落下高さの増加と共に増加し、N-C-H0.25 で 5 ms であったものが、N-C-H1.25 では 12 ms 程度となっている。

3.2 載荷点変位波形

図-4 には、載荷点変位波形を示している。

5 ケースの実験結果を比較すると、いずれの載荷点変位波形も重錘衝撃力波形より若干遅れて励起しており、重錘衝突による正弦半波状の最大応答波形とその後に続く減衰自由振動波形より構成されている。最大変位は重錘衝突後約 10 ms 経過時点で発生しており、最大重錘衝撃力発生時間とは大きく異なっている。また、落下高さの増加と共に最大変位および波形の周期が増加する傾向が示されている。N-C-H0.75 以降の実験ケースでは、落下高さの増加に対応して残留変位も増加の傾向を示している。これは、後述のひび割れ状況からも確認できるように、押し抜きせん断破壊が顕在化したためと考えられる。

3.3 各種応答値と入力エネルギーの関係

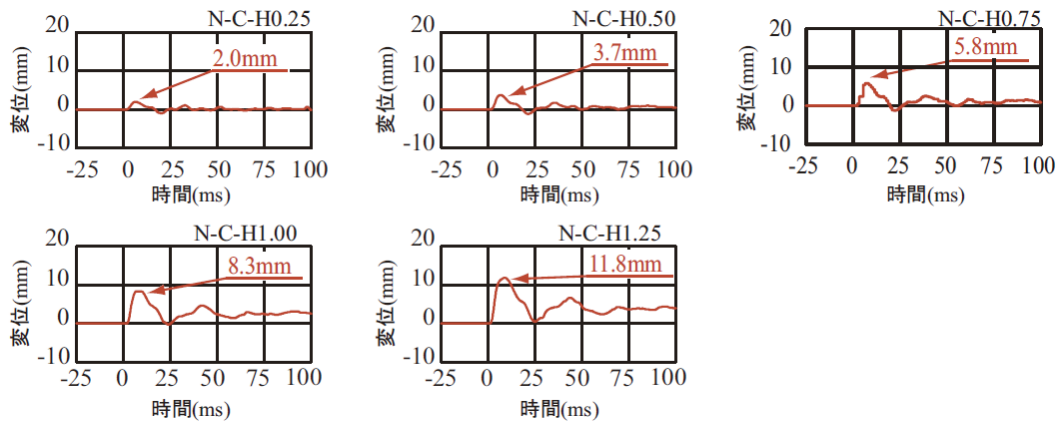


図-4 荷点変位波形

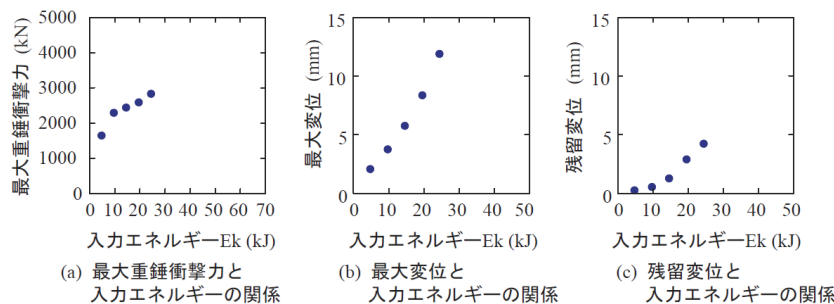


図-5 各種応答値と入力エネルギーの関係

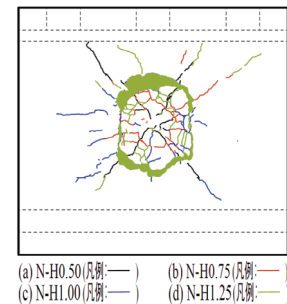


図-6 頂版下面のひび割れ状況

図-5 には、最大重錘衝撃力、最大変位、残留変位の各種応答値と入力エネルギーの関係を示している。

全実験ケースの最大重錘衝撃力と入力エネルギーの関係を示している。本実験ケースでは、入力エネルギー $E_k = 10 \text{ kJ}$ を境にして、最大重錘衝撃力の増加割合が大きく変化している。これは、後述するひび割れ状況からも分かるように、頂版上面の重錘衝突部に重錘形状と同一の円形状のひび割れが発生し、押し抜きせん断型の破壊傾向を示すためと推察される。

3.4 ひび割れ発生状況

図-6 には、各荷点位置に対する各実験ケース終了後の頂版下面におけるひび割れ状況を実験ケース順に重ね書きして示している。

実験ケース N-C-H0.25 においては、ひび割れが発生していない。図より、N-C-H0.50 (黒色) の頂版下面には荷点を中心とする両柱方向に向かう版としての曲げひび割れが発生している。N-C-H0.75 (朱色) ひび割れより、頂版下面には斜めひび割れが増加すると共に荷点近傍部には道路軸方向の曲げひび割れおよび押し抜きせん断破壊を示す円形状のひび割れが一部に発生している。さらに落下高さを増加させた N-C-H1.00 (青色) の場合には、道路軸方向の曲げひび割れの増加および押し抜きせん断破壊に起因する円形状ひび割れが顕在化している。落下高さ最大の N-C-H1.25 (黄緑色) の場合には、押し抜きせん断破壊により頂版コンクリートが完全に押し抜かれコンクリートが一部剥落していることが分かる。

なお、頂版上面のひび割れに関しては、実験ケース N-C-H0.75 まではひび割れは発生していないが、N-C-H1.00 以降において荷点部に直径 20 cm 程度の円形状

のひび割れが発生していることを確認している。

また、柱上部ハンチ付け根近傍では若干曲げひび割れが発生していた。側壁部では、N-C-H0.50 において上部ハンチ下方に水平方向のひび割れが若干発生した程度であり、頂版部に比較して損傷程度はいずれも小さい。

4. まとめ

本実験により得られた結果を整理すると、以下のよう

- 1) 入力エネルギーの増加に対応して最大重錘衝撃力も増加するが、押し抜きせん断破壊型のひび割れが顕在化することにより、その増加割合は減少する傾向にある
- 2) 入力エネルギーの増加に対応して荷点変位はほぼ線形的に増加するものの、その残留変位は押し抜きせん断破壊面が形成される場合に急増する傾向にある。
- 3) 敷砂緩衝材を設置しない条件下でのロックシェッド試験体中央部への重錘落下衝撃実験では、押し抜きせん断破壊により終局に至る。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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.2，2006.6
- 3) 岸 徳光，今野久志，三上 浩，岡田慎哉：大型 RC 梁の性能照査型耐衝撃設計法に関する一提案，構造工学論文集，Vol.54A，pp.1077-1088，2008.3