

敷砂緩衝材を設置した 2/5 スケール RC 製ロックシェッド模型の重錘落下衝撃実験

(株) 構研エンジニアリング 正会員 保木 和弘 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光  
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 川瀬 良司 寒地土木研究所 正会員 西 弘明  
 寒地土木研究所 正会員 山口 悟 寒地土木研究所 正会員 今野 久志

1. はじめに

本論文では RC 製落石防護覆道（以後、ロックシェッド）の限界状態設計法あるいは性能照査型設計法の確立に向けた基礎資料を得ることを目的に、現在設置されている一般的なロックシェッドに対して、2/5 スケールのロックシェッド模型を製作し、入力エネルギーを変化させた重錘落下衝撃実験を実施した。

2. 実験概要

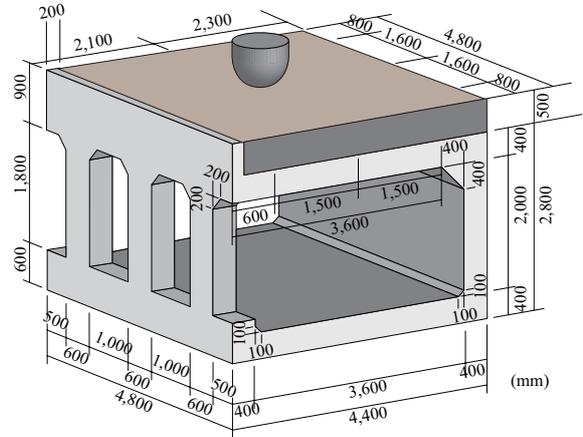
本実験では、一般的な RC 製ロックシェッドの 2/5 縮尺模型を製作し、耐衝撃挙動を検証することとした。なお、実際の落石覆工には頂版上に敷砂が  $t=90\text{cm}$ 、飛散防止材が  $t=20\text{cm}$  設置されていることから、模型の縮尺に対応した敷砂厚 ( $t=50\text{cm}$ ) を設定した。

図 - 1(a) には、重錘落下衝撃実験に使用した RC 製ロックシェッド模型の形状寸法を示している。模型は、外幅 4.4m、長さ 4.8m、高さ 2.8m の矩形断面であり、内空断面は幅 3.6m、高さ 2m で、頂版厚は 40cm である。なお、ロックシェッドの基部には 1,200mm 厚のコンクリート剛基礎を配置している。

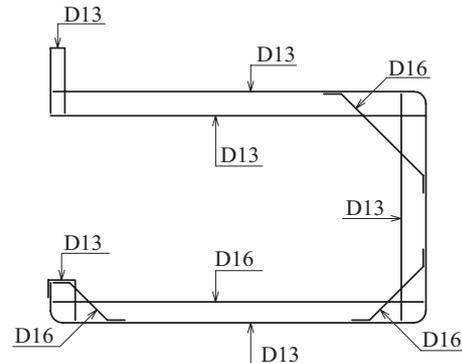
図 - 1(b) には、道路軸直角方向断面の配筋状況を示している。模型縮尺を考慮し、鉄筋比については実ロックシェッドと同程度とした。鉄筋は D13 および D16 を使用し、鉄筋の材質は全て SD345 である。鉄筋のかぶり、いずれの部材も芯かぶり 60mm である。力学的特性は、D13 の降伏強度、引張強度がそれぞれ 413MPa、580MPa であり、D16 の場合は 430MPa、609MPa である。また、使用したコンクリートの設計基準強度は  $24\text{N/mm}^2$  であり、実験時の圧縮強度は  $29.7\text{N/mm}^2$  であった。

表 - 1 に、実験ケース一覧を示す。ケース名は、緩衝工 (S: 敷砂)、重錘落下位置 (C: 中央)、および重錘落下高さを示す H とその高さ (m) を付し、それらをハイフンで結び簡略化して示している。

重錘落下衝撃実験はトラッククレーンを用いて 10,000kg 重錘を所定の高さまで吊り上げ、着脱装置を介して落下させることにより実施している。



(a)形状寸法



(b)配筋状況

図 - 1 試験体の形状寸法および配筋状況

表 - 1 実験ケース一覧

実験 ケース名	重錘質量 $M$ (kg)	落下高さ $H$ (m)	入力エネルギー $E_k$ (kJ)
S-C-H1.0	10,000	1.0	100
S-C-H5.0		5.0	500
S-C-H10.0		10.0	1,000

実験は、1 試験体に対して繰り返し重錘を衝突させる繰り返し斬増载荷により実施した。重錘は直径 1.25m、高さ 95cm で底部より高さ 30cm の範囲が半径 1m の球状となっている。また、重錘全体の質量は、鋼製円筒の内部に鋼塊とコンクリートを充填することで調整している。

実験に際して敷砂緩衝材は、頂版上に型枠を設置し、厚さ 25cm 毎に足踏みによって締め固めを行い、所定の厚さ

キーワード：RC 製ロックシェッド、敷砂緩衝材、重錘落下衝撃実験、性能照査型設計法

連絡先：〒065-8510 札幌市東区北18条東17丁目1-1 構研エンジニアリング TEL 011-780-2813 FAX 011-785-1501

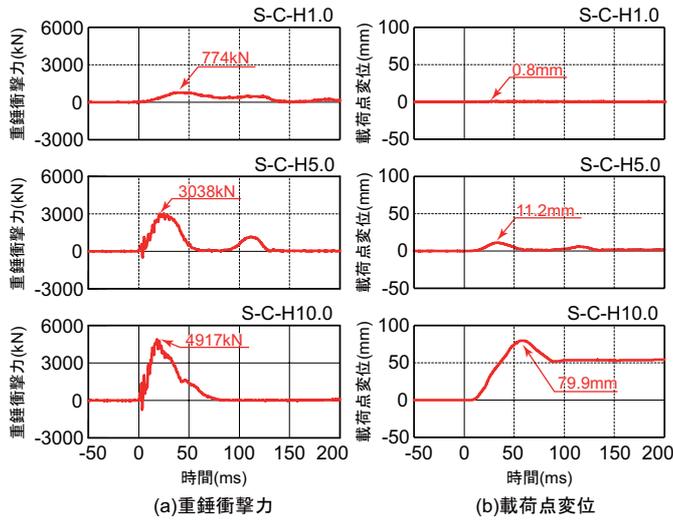


図 - 2 各種応答波形

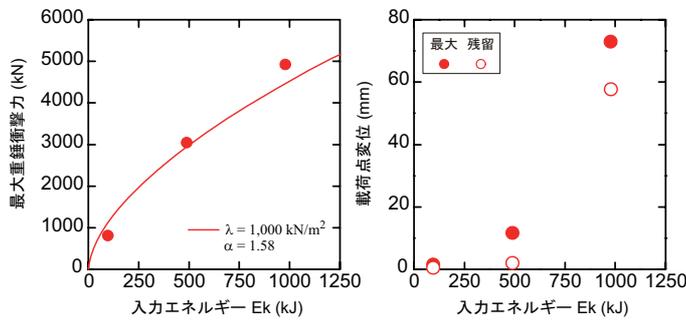


図 - 3 入力エネルギーとの関係

に整形した。なお、各実験ケース終了後には、所定の厚さに再設置している。実験時の単位体積重量は  $14.1\text{kN/m}^3$ 、含水比は  $7.33\%$  であった。

本実験における測定項目は、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  $100\text{G}$ 、応答周波数  $\text{DC}\sim 2\text{kHz}$ ) による重錘衝撃力、2) 非接触型レーザ式変位計 (容量  $500\text{mm}$ 、応答周波数約  $1\text{kHz}$ ) による内空変位である。これらの各センサーからの出力波形は、サンプリングタイム  $0.1\text{ms}$  でデジタルデータレコーダにて一括収録を行っている。

3. 実験結果

図 - 2 には、重錘衝撃力波形および載荷点変位波形を示している。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が含まれているため、波形収録後に  $1\text{ms}$  の矩形移動平均によりフィルター処理を施している。

重錘衝撃力波形より、S-C-H1.0 の場合には振幅は小さいものの、主波動継続時間は S-C-H5.0 の場合と同程度である。S-C-H5.0 は波動継続時間 (以後、継続時間) が  $t=60\text{ms}$  程度の正弦半波状の第 1 波と継続時間が  $t=40\text{ms}$  程度の正弦半波状の第 2 波から成る波形性状を示している。主波動継続時間は  $125\text{ms}$  程度である。S-C-H10.0 の

場合には、継続時間が  $80\text{ms}$  程度の三角形状となっている。これは、入力エネルギーが大きいことにより、重錘は頂版との相互作用によって生ずるリバウンドに類似した挙動を示すことなく敷砂中に貫入し、最大衝撃力に達した後大きくリバウンドして除荷状態に至ったためと推察される。

変位波形に着目すると、各ケースともに重錘衝突時点から  $10\text{ms}$  程度経過後に励起しており、波形性状は重錘衝撃力波形に類似していることがわかる。S-C-H1.0 および S-C-H5.0 の場合には残留変位はほとんど発生していないものの、S-C-H10.0 では  $60\text{mm}$  程度の残留変位が発生し、さらに除荷後に減衰自由振動を呈していないことから、著しく損傷を受けていると推察される。

図 - 3 には、最大重錘衝撃力と入力エネルギーの関係を示している。図中には、敷砂緩衝工を用いる場合の Hertz の接触理論に基づく振動便覧式により算出した衝撃力 (ラーメ定数:  $\lambda = 1,000\text{kN/m}^2$ 、割増係数:  $\alpha = \sqrt{D/T} = 1.58$ 、 $D$ : 重錘径  $125\text{cm}$ 、 $T$ : 敷砂厚  $50\text{cm}$ ) を示している。図より、実験結果の最大重錘衝撃力は、ラーメの定数を  $\lambda = 1,000\text{kN/m}^2$  とし、 $\alpha$  を  $1.58$  とした場合の振動便覧式より得られた重錘衝撃力分布とほぼ同程度の値を示すことが分かる。

載荷点変位と入力エネルギーの関係より、入力エネルギー  $E_k=1,000\text{kJ}$  (S-C-H10.0) において最大変位、残留変位ともに大きな値を示していることがわかる。これは、 $H=10.0\text{m}$  落下時において著しい損傷を受けたためと考えられる。また、残留変位の道路軸直角方向全幅に対する割合は  $1.6\% (= 60/3600)$  であり、終局に近い状態であることが確認できる。なお、紙面の都合上省略しているが、S-C-H10.0 の実験後にスケッチしたひび割れ状況より、曲げひび割れとともに押し抜きせん断破壊型のひび割れを確認している。

4. まとめ

本研究より得られた結果を整理すると、以下のように示される。

- 1) 最大重錘衝撃力は、落石径と敷砂厚を考慮し、かつラーメ定数を  $\lambda = 1,000\text{kN/m}^2$  とした Hertz の接触理論に基づく振動便覧式により評価可能と考えられる。
- 2)  $50\text{cm}$  厚の敷砂緩衝材の緩衝効果は、入力エネルギー  $E_k=500\text{kJ}$  までは使用限界を十分確保可能である。また、 $E_k=1,000\text{kJ}$  の場合には、残留変形が道路軸直角方向幅の  $1.6\%$  となり、終局限界に近い状態となる。