

(I-3) 既設鋼製ロックシェッドのエネルギー分担率に関する解析的考察

防衛大学校 学生員 ○村上圭輔

正員 園田佳巨

正員 佐藤紘志

正員 石川信隆

1. 緒言

落石覆工のエネルギーによる安全性照査を行う場合、最も重要となるのは、落石覆工のエネルギー分担率（落石の運動エネルギーに対する落石覆工への伝達エネルギーの割合）であり、その算定法については著者らが過去に簡易算定法¹⁾を示したが、その妥当性の検証については、これまで樹谷らが行った実験結果に対する比較のみであった。

本報告は、平成3年6月に青森県津軽郡にて行われた実物大鋼製ロックシェッドの破壊実験²⁾におけるエネルギー分担率の実測値を用いて、実物大鋼製ロックシェッドに対する妥当性の検討を行ったものである。

2. 実物大破壊実験の概要²⁾

2.1 実験方法の概要

破壊実験を行ったロックシェッドは図-1のような鋼製ラーメン構造であり、主構上のデッキプレート上に厚さ10cmのコンクリートを打設した上に、所定の厚さ90cmのサンドクッションを載せている。重錘重量は、1tfと3tfの2種類で、落下点は、はり上で最も曲げモーメントが大きくなる位置として、海側柱中心より3.5mの位置である。この実験においては①重錘の加速度、②サンドクッションの衝撃土圧、③はりの鉛直たわみ、④主要断面の歪み等が計測された。

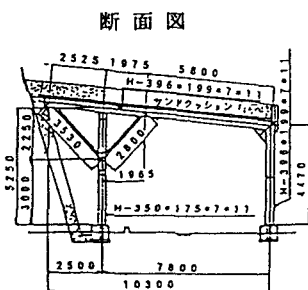


図-1 鋼製ロックシェッド

2.2 エネルギー分担率の実測値

この実験においては、エネルギー分担率が算定されているが、これは図-2を参照して以下の式によって求められたものである。

$$\text{エネルギー分担率} = \frac{(\text{重錘衝撃力と主桁変位のグラフの面積 : } S_B)}{(\text{重錘衝撃力と重錘貫入量のグラフの面積 : } S_A)} \times 100 (\%) \quad - (1)$$

3. エネルギー分担率の算定法

ここでは、以下に示すような2通りの算定法について検証した。

3.1 運動量保存則による算定法

これは、大阪市立大の園田氏³⁾が提示した算定法で、落石がロックシェッドに衝突する直前にもつエネルギー $E (=1/2 M V_0^2)$ が、ロックシェッドの変形することによって吸収されるエネルギー W_{R1} と衝突後落石へ反射されるエネルギー W_{R2} およびサンドクッションに吸収されるエネルギー W_{R3} とに等しいとするものである。ここで、衝突が完全塑性的で落石への反射エネルギー $W_{R2}=0$ とみなす（ロックシェッドにとって最も安全側の評価となる）と、エネルギー分担率は、運動量保存則 $M V_0 = (m + M) V$ を考慮して次式によって算定される。

$$\gamma = \frac{\frac{1}{2} (m + M) V^2}{\frac{1}{2} M V_0^2} = \frac{1}{1 + \frac{m}{M}} \quad - (2)$$

ここに、 M : 落石質量、 m : ロックシェッド質量、
 V_0 : 落石がロックシェッドに衝突する瞬間の速度、
 V : 衝突後の落石とロックシェッドの速度

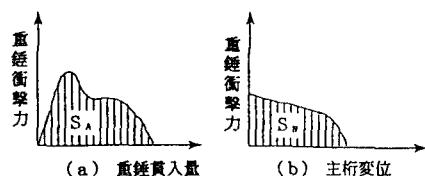


図-2 荷重～変位関係

3.2 3質点系モデルによる算定法

著者らが過去に提示した算定法¹⁾であり、落石-緩衝材-落石覆工の3者間の関係を図-3に示す3質点系モデルで表せるものとして衝撃応答解析を行うことにより、ロックシェッドに伝達されるエネルギー量 $U_{2(t)}$ および緩衝材が吸収するエネルギー量 $U_{1(t)}$ が各時刻ごとに算定され、その最大値 $U_{2(t)MAX}$ を用いて、エネルギー分担率が次式によって求められる。

$$\gamma_0 = \frac{U_{2(t)MAX}}{E} \times 100 \quad (\%) \quad - (3)$$

4. 計算結果および考察

4.1 運動量保存則による解析結果

式(2)によるエネルギー分担率は落石の落下高さが考慮されず、落石の質量とロックシェッドの質量の比のみによって求められる。よって、落石重量1.0tfと3.0tfのときのエネルギー分担率を計算すると表-1のようになる。

表-1 運動量保存則によるエネルギー分担率

落石重量(tf)	エネルギー分担率(%)	備考
1.0	6.98	Mg=1.0tf mg=13.33tf
3.0	18.4	Mg=3.0tf mg=13.33tf

4.2 3質点系モデル

図-3に示した3質点系モデルを用いた解析を行うには、その各パラメータ(K_1 、 $K_2 \sim K_3$)の決定が必要となる。まずロックシェッドの剛性 K_3 については、図-1の鋼製ラーメンに関する弾塑性解析を行い、図-4のように得られた $P \sim \delta$ 曲線の値によって与えた。

なお、砂のパラメータについては、過去に著者らが求めた回帰式⁴⁾の中で、山砂に関する次式を用いて決定した。

$$K_1 = 20.6W^{0.251} \cdot H^{0.296} \cdot h^{-0.273}$$

$$K_2 = 2.90W^{0.214} \cdot H^{0.016} \cdot h^{-0.09}$$

$$C_1 = 7.70W^{0.313} \cdot H^{0.410} \cdot h^{-0.104}$$

$$C_2 = 4.30W^{0.317} \cdot H^{0.412} \cdot h^{-0.104}$$

ここに、W：落石重量(tf)、H：落石の落下高さ(m)、
h：サンドクッションの厚さ(m)

以上のパラメータを用い、落石重量1.0tf、3.0tf、および落下高さ5~20mの各実験ケースに関して求めたエネルギー分担率を表-2に示す。これより1.0tfの場合はほぼ3~5%、3.0tfの場合は6~13%となる。図-5は、エネルギー分担率の実験値と計算値を比較したもので、3質点系モデルを用いた場合の方がより実験値に近い値が得られる。運動量保存則を用いた場合は、完全塑性的な衝突を仮定しているため、かなり安全側の評価となっている。

参考文献

- 1) 園田、佐藤、石川：落石復工のエネルギー分担率に関する衝撃シンポジウム(1991.3)
- 2) 大平、菊池、沢頭：鋼製ロックシェッドの耐荷力実験、第19回日本道路会議議文集(1991)
- 3) 園田恵一郎：落石に対する道路防護工の設計法についての一私案、土木学会構造工学委員会衝撃問題研究小委員会資料(1991.8)
- 4) 園田、佐藤、石川、榎谷：ロックシェッド上のサンドクッションの同定解析について：第2回システム最適化シンポジウム(1991.11)

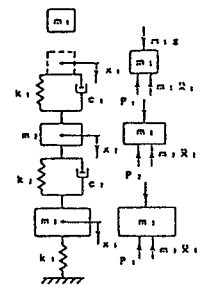


図-3 3質点系モデル

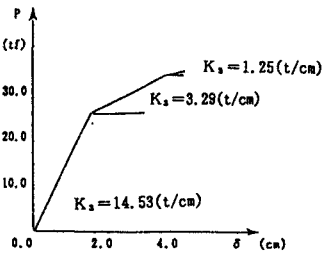
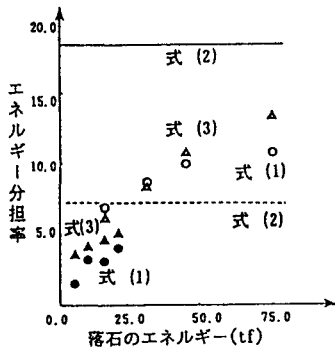


図-4 荷重-鉛直たわみの関係

表-2 3質点系モデルによるエネルギー分担率

落下高さ(m)	5	10	15	20	25
1.0tfの時のエネルギー分担率	3.577	4.071	4.633	4.928	
3.0tfの時のエネルギー分担率	6.372	8.551	10.62		13.03



● 1.0tfの実験	▲ 3.0tfの3質点系モデル
○ 3.0tfの実験	— 1.0tfの運動量保存
▲ 1.0tfの3質点系モデル	— 3.0tfの運動量保存

図-5 エネルギー分担率