

I-231 弾塑性吸収エネルギー量による鋼製ロックシェッドの安全性評価法に関する一考察

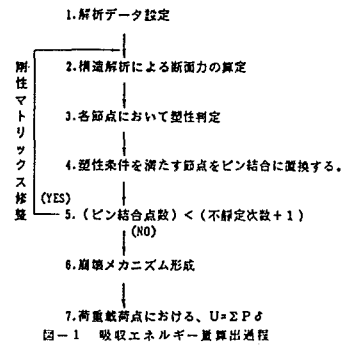
防衛大学校 正員 ○園田佳巨
正員 佐藤紘志
正員 石川信隆

1. 緒言

現在、ロックシェッドの設計は、一般に落石対策便覧の中の荷重評価式を用いて落石荷重を算出し、許容応力度設計法により設計が行われている。しかし、ロックシェッドの屋根上のサンドクッションの砂の特性によって、発生する最大衝撃荷重が非常に異なるため、これまで多くの実験的研究がなされ、衝撃荷重の算定法についての検討が行われてきた^{1)・2)}。これに対し、本研究は落石による衝撃をエネルギーとして評価し、荷重ではなくエネルギー的観点から、鋼製ロックシェッドの安全性評価および設計を行い、その基礎的考察を試みたものである。

2. ロックシェッドの吸収エネルギー量による安全性評価法

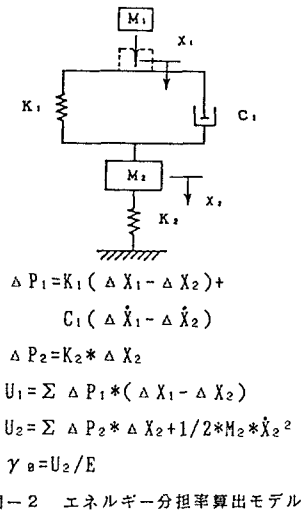
(1) 吸収エネルギー量算定法 ロックシェッドの吸収エネルギー量を、荷重載荷点における荷重-変位曲線の面積で評価し、数値的には図-1に示すようなフローチャートにより塑性関節法を用いた静的な弾塑性増分解析を行って、崩壊メカニズムに至る（最終塑性ヒンジが形成される）までの面積により吸収エネルギー量を算定した。ここでは、弾塑性変形まで許容することとしたが、これは落石がまれにしか発生しない現象であること、およびエネルギーを基準とした信頼性理論による合理的な限界状態設計法の確立を今後の目的としたためである。



なお、静的解析により吸収エネルギー量を算定しているの、厳密な意味での衝撃吸収エネルギー量とは異なるが、一般的に静的吸収エネルギー量は破壊形態が同じ場合、安全側の値を与えている³⁾ので、本研究ではこれを吸収エネルギー量として採用することとした。

(2) ロックシェッドのエネルギー分担率 落石の持つ運動エネルギー量の大半は、落石がサンドクッションに貫入する際に、砂層の変形によって吸収されると考えられる。したがって、落石の持つ運動エネルギー量のうち、ロックシェッドが負担しなければならないエネルギー量の割合を表す定数 γ_0 （ロックシェッドのエネルギー分担率）を導入する。算定方法としては、図-2に示すように、ロックシェッドの固有値解析を行ったうえで等価な一質点（質点2）で表し、落石（質点1）との間にフォークトモデルで表したサンドクッションを設けた二質点系モデルを用いて、落石の速度が衝突時の初速度から0になる（停止する）まで、線形加速度法による時刻歴応答計算を行い、簡易的にその概略値を求めた。なお、サンドクッションの状態を表す弾性バネ係数 K_1 および粘性係数 C_1 をパラメータとして検討を試みた。

(3) エネルギーによる安全性評価式 2.(1) で算定した吸収エネルギー量と、2.(2) で示したロックシェッドのエネルギー分担率 γ_0 を用いて以下の式により安全性評価を行う。



$$U \geq \gamma_0 \cdot E$$

(1)

ここに U : ロックシェッドの弾塑性変形による吸収エネルギー量

E : 落石の持つ運動エネルギー量 ($= 1/2 m v^2 = W \cdot H$)

γ_0 : ロックシェッドのエネルギー分担率

3. 計算結果と考察

計算例として、落石重量1.0t、落下高さ10.0mの落石に対し、図一3に示すような構造寸法の鋼製ロックシェッドについて、現行の許容応力度設計法によって算定した断面を持つモデルを用いて考察した。

(1) エネルギー分担率 γ_g 表一1(a), (b)はそれぞれ弾性バネ係数 K_1 および粘性係数 C_1 をパラメータとして検討を行ったものである。表より、このモデルでは、衝突直後の

最大衝撃荷重に与える影響は、弾性バネ係数 K_1 より粘性係数 C_1 の値の方が大きい。また、表一1(b)より、エネルギー分担率 γ_g は最大衝撃荷重の変動量に比べあまり変化せず、粘性係数 C_1 の値とともに増加傾向にあるが、ほぼ10%以下の値が得られている。

(2) エネルギーによる安全性評価

弾塑性解析によって得られた弾性および弾塑性吸収エネルギー量を表一2に示す。この解析モデルのエネルギー分担率 γ_g は、3.(1)の考察より10%以下であると考えられるので、 $\gamma_g=10\%$ とすると落石の運動エネルギー量($E=10.0\text{tm}$)は弾性変形のみによって吸収されることがわかる。また、弾塑性変形まで許容すると4倍以上も安全であることになる。

(3) エネルギーを基準とした設計法

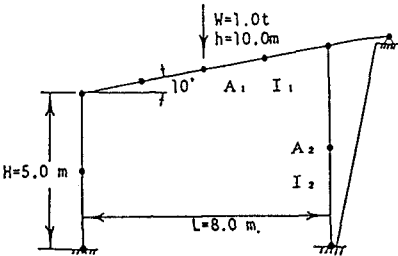
弾性限界変位および弾塑性変形まで許容して、安全性評価式を最小断面で満たすように簡単な設計計算を行うと、表一3のように理論的には大幅な断面の低減が可能となる。なお、弾塑性変形の値としては崩壊メカニズム形成時の終局変形までを許容したが、今後の研究によって、落石の生起確率を考慮した許容変形量を決定できれば、より合理的な設計が可能となる。

4. 結論

- (1) 落石による衝撃をエネルギーとして評価することにより、ロックシェッドの変形による吸収エネルギー量を考慮した安全性評価および設計が可能であることがわかった。
- (2) ロックシェッドのエネルギー分担率 γ_g は非常に重要な定数であるので、今後の実験的検討およびより厳密な解析による検討によって、落石側、ロックシェッド側（特にサンドクッションの性状）の諸要因による影響を明らかにする必要がある。
- (3) 二質点系モデルによる簡易計算の範囲内では、エネルギー分担率 γ_g の方が最大衝撃荷重に比べて、サンドクッションの性状による影響を受けにくいことを考えると、エネルギーを基準とした設計の方が容易であると予想される。

参考文献

(1) 吉田博、桐谷浩、鈴木哲次：数値上の落石の衝撃加速度と衝撃土圧に関する実験的研究、土木学会論文、No.352, pp.61-70, 1984年12月
(2) 三上敬司、能町純雄、松岡健一、岸徳光：落石による落石覆工への衝撃力に関する評価、構造工学論文、Vol.33A, pp.559-569, 1987年3月
(3) 斎藤英明、大野友則、石川信隆、水山高久：局部変形を考慮した鋼管片持ばりの衝撃吸収エネルギーに関する実験的研究、構造工学論文、Vol.35A, pp.1057-1068, 1989年3月



図一3 計算モデル

表一1(a) サンドクッションの剛性とエネルギー分担率

サンドクッションの剛性 K_1 (t/m ²)	50.0	100.0	200.0	500.0
最大衝撃荷重 P_1 (t)	69.9	70.0	70.1	80.1
エネルギー分担率 γ_g (%)	5.3	6.3	7.9	6.0

$C_1=5.0(t \cdot s/m^2)$

表一1(b) サンドクッションの粘性とエネルギー分担率

サンドクッションの粘性 C_1 (t・s/m ²)	1.0	5.0	10.0	20.0
最大衝撃荷重 P_1 (t)	37.5	70.0	139.4	277.1
エネルギー分担率 γ_g (%)	3.9	6.3	8.4	10.0

$K_1=100.0(t/m^2)$

表一2 エネルギーによる安全性評価

弾性吸収エネルギー量 U_e	1.212 $\geq \gamma_g \cdot E$	SAFE
弾塑性吸収エネルギー量 U_{ep}	4.752 $\geq \gamma_g \cdot E$	SAFE
エネルギー分担率 $\gamma_g \cdot E$	1.000	

ただし、エネルギー分担率 γ_g は10%とする。 単位(t・m)

表一3 設計結果の比較

	許容応力度設計法	エネルギー設計法 (弾性限界変位まで許容)	エネルギー設計法 (弾塑性変形まで許容)
梁 A_1 (cm ²) I_1 (cm ⁴)	189.9 132600.0	165.1 100300.0	41.6 6359.0
柱 A_2 (cm ²) I_2 (cm ⁴)	164.9 100000.0	143.4 75620.0	36.1 4795.0