

I - B 191 エネルギー的観点によるロックシェッドの安全性の簡易評価法に関する一考察

九州大学 正会員 園田佳巨

1. 緒言

落石は発生確率が非常に小さい偶発的な現象であることから、ロックシェッドの設計を耐震設計法に準じた2段階設計法へと移行させることが以前から提案されてきた¹⁾。ロックシェッドに2段階設計を適用する場合、レベル2に相当する落石には、力積やエネルギーを用いた安全性の評価を行うことが考えられるが、それらの定量的な評価は一般に困難である。本研究では、ロックシェッドへのエネルギー伝達率の簡易評価を行い、許容応力度法で設計されたロックシェッドの安全性をエネルギー的観点から検討する。

2. エネルギー伝達率の簡易算定法

ここでは、エネルギー伝達率の定量的な評価が目的であることから、シェッド屋根部への伝達衝撃力のみを再現することを条件に、図-1に示す3質点系モデルによる解析を行った。質点系モデルでは、敷砂内での衝撃力の伝播状況は表現できず、必ずしもこの問題に適したモデルとは言えないが、落錘式実験で得られた伝達衝撃力を再現できるモデルを用いれば、ロックシェッド側の質点の応答は定量的にも妥当な結果を与えるものと思われる。そこで、粘弾性体とした敷砂モデルの4つのパラメータ k_1, k_2, c_1, c_2 を、落石衝突実験結果を参考にモデル化した伝達衝撃力波形 $P_{e(t)}$ と、落石と敷砂の2質点系モデルの計算で得る衝撃力波形 $P_{a(t)}$ が一致するように（図-2参照）動的同定法を用いて決定し、静的骨組解析により求めたロックシェッドモデルと組み合わせた3質点系モデルの応答からエネルギー伝達率を算定した²⁾。

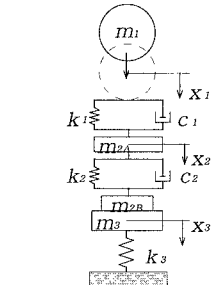


図-1 3質点系モデル

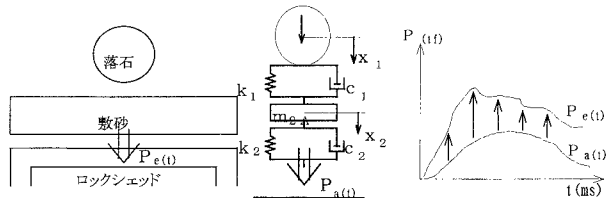
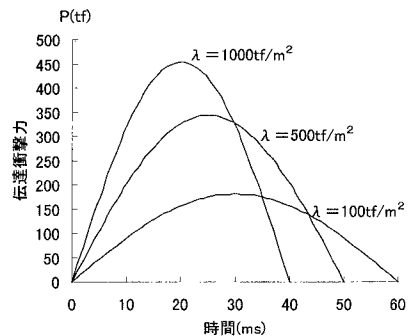


図-2 動的同定手法による敷砂のモデル化

3. 数値計算結果および考察

ここでは、岸や樹谷らが行った過去の一連の実規模実験結果を考慮して、剛基礎上の敷砂底面への伝達衝撃力波形を以下の条件でモデル化した。①伝達衝撃力波形を正弦波に仮定する。②衝撃力の最大値は、落石対策便覧式に砂の状態に応じたラーメ定数を与えて決定する。③衝撃力の継続時間は40～60msを想定し、砂の条件別に与える。表-1および図-3に仮定したモデル波形（落石重量 $W=5\text{ tf}$ 、落下高さ $H=10\text{ m}$ ）の例を示す。この波形に対して同定計算を行い、敷砂モデルの4つのパラメータ k_1, k_2, c_1, c_2 を決定した。なお、エネルギーによる照査はかなり大きな落石のみが対象と想定されるため、ここでは重量 5 tf の落石を対象とした。図-4は、同定結果の一例として普通の敷砂（ $\lambda=500$ ）に関する伝達衝撃力波形を比較したものであり、本手法により良好に伝達衝撃力を再現

図-3 伝達衝撃力波形($W=5\text{ tf}$, $H=10\text{ m}$)

キーワード：ロックシェッド、エネルギー照査、動的同定法

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学工学部地球環境工学科 TEL(兼 FAX : 092-642-3261)

できることがわかる。

表-2に3ケースの敷砂について同定計算で得られた各パラメータ値を示す。これらの値

表-1 砂の状態と伝達衝撃力波形

砂の状態	ラーメ定数	荷重継続時間
軟らかい	100tf/m ²	60ms
普通	500 tf/m ²	50ms
硬い	1000 tf/m ²	40ms

を異なる落石条件にも適用した結果、より大きな落石条件に対しては危険側の評価を与える場合が見られたが、全般的には異なる条件下のモデル波形も良好に再現しており、異なる落石条件に対しても極端な外挿を行わなければ適用可能であると考えられる。

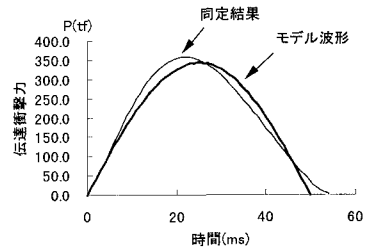


図-4 同定結果 ($\lambda=500\text{tf/m}^2$)

そこで、表-2の値を用いてエネルギー

伝達率の推定を試みた。解析対象は、図-5に示す日本サミコン（株）が実施した実規模 PC ロックシェッド破壊実験³⁾の供試体（設計条件 $W=1\text{tf}$, $H=5\text{m}$ ）で

表-2 同定計算による敷砂のパラメータ

砂の状態	$C_1(\text{tf}\cdot\text{s/m})$	$C_2(\text{tf}\cdot\text{s/m})$	$k_1(\text{tf/m})$	$k_2(\text{tf/m})$
軟らかい($\lambda=100$)	7.28	28.7	1520.0	2.320
普通($\lambda=500$)	8.37	59.4	2670.0	1990.0
硬い($\lambda=1000$)	169.0	10.0	0.30	5950.0

ある。このシェッドに PC

桁間の横締め効果として、

載荷桁の荷重分担率 $\mu =$

0.35（藤井の式⁴⁾による）、

0.54（本シェッドの設計時

に考慮された値）の2種類

を用いて弾塑性骨組構造解

析を行うと、図-6に示す

荷重-変位関係が得られる。この関係から、シェッド側質点の剛性

を決定し、3質点系モデルによる応答計算から得たエネルギー伝達

率の例を表-3に示す。この表より、載荷桁の荷重分担率が大きい

ほどシェッド自体へのエネ

ルギー伝達率も大きくなる

が、本計算においては、敷

砂モデルの設定と落石重量

の方がより顕著な影響を与

えていることがわかる。ま

た、伝達エネルギー量とシェッドの限界吸収エネルギー量の比較より、載荷桁の荷重分担率に関わらず $W=3\text{tf}$ 、

$H=20\text{m}$ 程度には耐えられることが認められ、設計で想定した落石エネルギーの10倍程度は許容できる結

果が簡易計算から得られた。今後、本手法の妥当性も含めて、エネルギーによる安全性照査の適用に関して

より定量的な検討を行う必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 園田恵一郎：落石覆工の設計法についての一提案, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.1563-1572, 1993年3月
- 2) 園田、佐藤、石川、榎谷：落石覆工への落石のエネルギー伝達率に関する基礎的考察, 土木学会論文集, No.446, 1992年4月
- 3) 松葉、後藤、佐藤、音田他：実物 PC 製シェッドの落石による破壊実験について, 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, 1993.6
- 4) 藤井智弘：プレキャスト PC 集成構造物における接合部の力学特性の評価とその応用に関する研究, 金沢大学博士論文, 1991.1

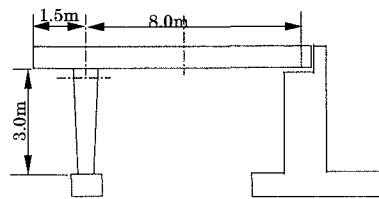


図-5 実規模 PC シェッド供試体

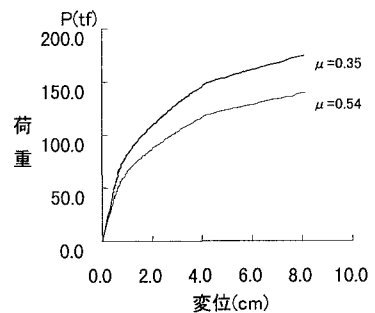


図-6 荷重-変位関係

表-3 実規模 PC ロックシェッドへのエネルギー伝達率

解析条件	載荷桁荷重分担率 $\mu=0.54$ のとき 軟らかい敷砂	普通敷砂	$\mu=0.35$ のとき 普通敷砂
$W=3\text{tf}$ $H=10\text{m}$	1.98tf·m(6.6%)	4.33tf·m(14.4%)	3.90tf·m(13.0%)
$W=3\text{tf}$ $H=20\text{m}$	4.13tf·m(6.8%)	8.90tf·m(14.8%)	7.90tf·m(13.1%)
$W=5\text{tf}$ $H=10\text{m}$	4.92tf·m(9.8%)	12.2tf·m(24.4%)	10.2tf·m(20.4%)
$W=5\text{tf}$ $H=20\text{m}$	9.95tf·m(9.9%)	25.6tf·m(25.6%)	20.4tf·m(20.4%)