

## R CおよびP C門形落石覆工の衝撃破壊に対する数値解析

川崎重工業（株） 正 員 ○阪田 洋一  
 大阪市立大学工学部 正 員 小林 治俊  
 大阪市立大学工学部 正 員 園田恵一郎

## 1. まえがき

落石覆工（ロックシェッド）の衝撃破壊特性を明らかにすることはロックシェッドの合理的な設計法を確立する上で重要である。そこで、本研究ではロックシェッドの衝撃破壊特性を容易にシミュレートできる方法として松浦ら<sup>1)</sup>により提案ならびに妥当性の検証が行われた剛体バネモデルに時間差分法として中央差分法を併用した解析手法を用いる。

まずはり部材にプレストレスを導入したP C門型ロックシェッドについて、プレストレス導入量をパラメータとし、その破壊性状を比較検討した。次にR Cロックシェッドの破壊程度の指標として残留変位量を選定し、コンピュータの使用を必要としない簡便な数式計算によりその値を求める方法を提案する。そして求められた変位量を剛体バネモデルによるシミュレーション応答値と比較・検討し簡易手法の適用性を調査した。

## 2. シミュレーション解析

ロックシェッド寸法諸元、材料定数は図1、表1に示す。また部材分割数ははり部35、柱部31、断面分割数は10とした。载荷荷重は落石対策便覧式<sup>2)</sup>に相当する非線形バネにより算定した。

R Cロックシェッドに対する解析では力学的エネルギー保存則の成立が確かめられ、本解析手法がエネルギー的に信頼できるものであることが分かった。

次にP Cロックシェッドに対する解析を行った。プレストレス鋼材は図中に示すような曲線配置とし、プレストレス導入量は図中に示す

$\epsilon_{pp}$  の値が $100\mu$ 、 $200\mu$ 、 $400\mu$ の3種類とした。なお落石重量 $W = 10tf$ 、落下高 $H = 100m$

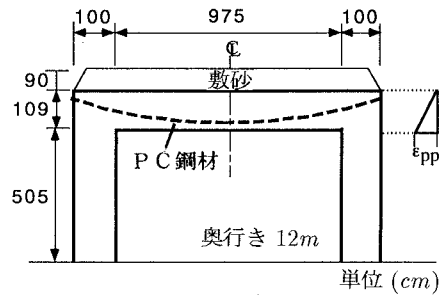
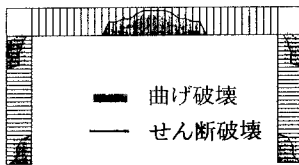
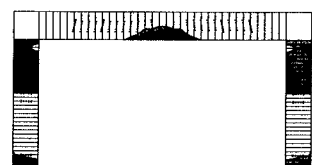


図1 ロックシェッド諸元と中央断面ひずみ分布

表1 材料定数等

| 鉄筋                |          |     |      |            |       | コンクリート            |          |          |         | 敷砂         |
|-------------------|----------|-----|------|------------|-------|-------------------|----------|----------|---------|------------|
| $E_s$             | $f_{sy}$ | $p$ | $p'$ | $A_w/bS_s$ | $S_s$ | $E_c$             | $f_{ct}$ | $f_{cc}$ | $\nu_c$ | $\lambda$  |
| $kgf/cm^2$        |          |     | %    |            | cm    | $kgf/cm^2$        |          |          |         | $kgf/cm^2$ |
| $2.1 \times 10^6$ | 2400     | 5   | 5    | 0.15       | 30    | $2.7 \times 10^5$ | 30.0     | 300.0    | 0.167   | 1000       |

図2 状態図 変形図 ( $\epsilon_{pp} = 100\mu$ )図3 状態図 変形図 ( $\epsilon_{pp} = 200\mu$ )図4 状態図 変形図 ( $\epsilon_{pp} = 400\mu$ )

とし、図2～図4に $\varepsilon_{pp} = 100\mu, 200\mu, 400\mu$ での状態図、変形図を示す。 $\varepsilon_{pp}$ を $100\mu$ から $200\mu$ へ増量するとはり部曲げ破壊領域は減少しておりまたはり中央点たわみも小さくなっている。しかし $\varepsilon_{pp}$ を $400\mu$ へさらに増量すると曲げ破壊領域は減少しているが、せん断破壊が起こりロックシェッドが崩壊しているのがわかる。つまりプレストレス導入量を増量すればするほど曲げ耐力は上がるが、ロックシェッドはせん断破壊が起こりやすくなるといえる。

### 3. 簡易計算法

#### (1) 計算方法

はり部の中央並びに両端に塑性ヒンジが発生しはり部がV字状の崩壊モードでロックシェッドが局部崩壊すると仮定する。このときの崩壊荷重 $P_{cal}$ ははり中央部および隅角・柱境界部の終局曲げモーメント $M_{u1}$ 、 $M_{u2}$ とし上界定理を適用すれば $P_{cal} = \frac{4}{l}(M_{u1} + M_{u2})$ で与えられる。ただし $l$ ははり部スパン長である。

次に、ロックシェッドのはり中央部の挙動を図5に示す質点-バネ系モデルに置換できるものとする。はり部質量を図中に示すような集中質点に置換するため、はり部の崩壊過程での運動を考慮して、はり部とサンドクッションの総質量の1/2を等価質量 $\bar{m}$ として本モデルに適用する。またバネ $K_1$ の荷重 $P$ -変位 $\delta$ の関係は図6の完全弾塑性モデルを仮定する。

いま落石とロックシェッドが一体化した直後の速度 $v' = \frac{\sqrt{2gH}}{1 + \bar{m}g/W}$ 、弾性たわみ量 $\delta_y (= \frac{P_{cal}v'^2}{48EI})$ とすると残留たわみ量 $\delta_p$ は図18の質点をもつエネルギーとバネ $K_1$ のひずみエネルギーを等価として次式で求められる。

$$\delta_p = \frac{(\bar{m} + W/g) \cdot v'^2 + \delta_y \cdot P_{cal}}{P_{cal} - (\bar{m} \cdot g + W)} \times \frac{1}{2} - \delta_y \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $W$ 落石重量、 $H$ 落下高、 $g$ 重力加速度、 $EI$ 曲げ剛性

#### (2) シミュレーションとの比較

図7に落石重量を $10tf$ で落下高さを変化させた場合の残留たわみ量に関するシミュレーション結果と式(1)による算定結果の比較を示す。なおロックシェッド寸法諸元、材料定数は図1、表1と同様である。図7より、落下高さ $30m$ までは簡易計算による値はシミュレーションの値を上まわり安全側の評価を与えるのがわかる。

### 4. まとめ

1. 本解析の全過程において力学的エネルギー保存則の成立が確認できた。ゆえに本解析手法が力学的エネルギーの見地から信頼できるものであるといえる。
2. プレストレス導入量の増加により曲げ破壊領域は減少するが、せん断破壊が曲げ破壊よりも先行しロックシェッドが崩壊することがある。したがってプレストレス導入量を増加するほどロックシェッドが崩壊しにくくなるとは一概にいえなことが分かった。
3. 簡易計算法による値はある落石重量、落下高さ以下ではシミュレーションの値を上まわり安全側の評価を与えることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 松浦幹佳、剛体バネモデルによるRCロックシェッドの衝撃破壊解析、大阪市立大学修士論文、1993,3
- 2) 落石対策便覧：日本道路協会、1983。
- 3) コンクリート標準示方書・設計編(平成3年度制定)：土木学会、1991。
- 4) 安藤智啓、中野修、菅田紀之、岸徳光：落石覆道の衝撃応答性状に関する理論的・実験的検討、土木学会第47回年次学術講演会、I-484, pp1142-pp1143, 1992, 9。

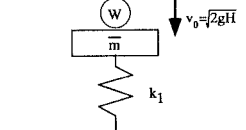


図5 質点-バネ系モデル

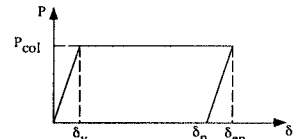


図6 バネの荷重-変位関係

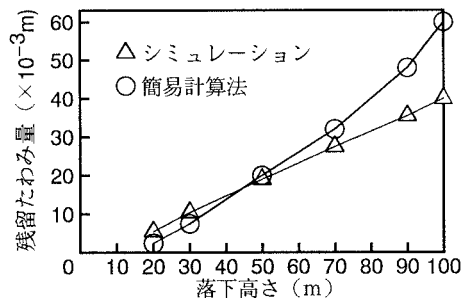


図7 残留たわみ量の比較