

落石の衝突速度が実在する逆L字型ロックシェッドの挙動に及ぼす影響

長崎大学大学院 学生会員 ○杉町仁哉

長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三

長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. まえがき

ロックシェッドの設計には現在許容応力設計法が採用されている。落石による衝撃力を振動便覧式¹⁾を用いて静的解析より発生応力を求め、これを許容応力度内に抑えるというものである。この方法が適用可能な範囲では、想定される落石の作用に対し十分な余裕を持って安全にロックシェッドを設計することができるが、どの程度安全余裕があるかについては明らかではない。また、本研究の対象構造では、衝撃応答特性も明らかにされていない。本研究では実在するロックシェッドの挙動に対し、落石の衝突速度の変化がどのような影響を与えるのかを明らかにするために衝突解析を実施した。

2. 対象とする構造

本研究で対象とする構造は、擁壁、主梁部、柱部からなる実在する逆L字ロックシェッドであり、主梁部・柱部からなるラーメン構造を解析対象とする。実構造では、主梁上部に敷砂緩衝材が設置され、擁壁部・柱部にはそれぞれ基礎が連なっているが、解析では対象外とした。

3. 解析概要

今回対象とした主梁部は柱部との連結構造が複雑であるため、簡易的に標準断面が連続するモデルとした。主梁の標準断面モデルの寸法・配筋状況を図-1(a)に示す。また、柱部の側面図・断面図を図-1(b)に示す。コンクリート強度は設計値の $f_{ck}=60(\text{N/mm}^2)$ とする。コンクリート・鉄筋・PC鋼材それぞれの使用要素、弾性係数およびポアソン比を表-1に示す。PC鋼材に作用する緊張力は初期応力として考慮するものとし、主梁で $1.24 \times 10^3(\text{N/mm}^2)$ 、柱部で $1.18 \times 10^3(\text{N/mm}^2)$ を導入した。それぞれの使用材料に仮定した応力-ひずみ関係を図-2²⁾に示す。解析モデルは解析時間短縮のため、幅方向に関し1/2モデルとした。境界条件は、擁壁との結合部をローラー支点、柱基部をピン支点とした。時間積分法にはシングルステップフォーボルト法を用い、時間刻みは $1.0 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^{-6}(\text{sec})$ で自動制御するものとした。落石については、円柱体とし先端形状が半球状となるようモデル化した。また、解析では衝突速度を制御するにあたり、落石モデルが自由落下するものとし、落下位置を変化させ落石衝突現象を再現した。落石の物性については、細粒火成岩を想定し、弾性係数 $7.6 \times 10^{10}(\text{N/m}^2)$ 、

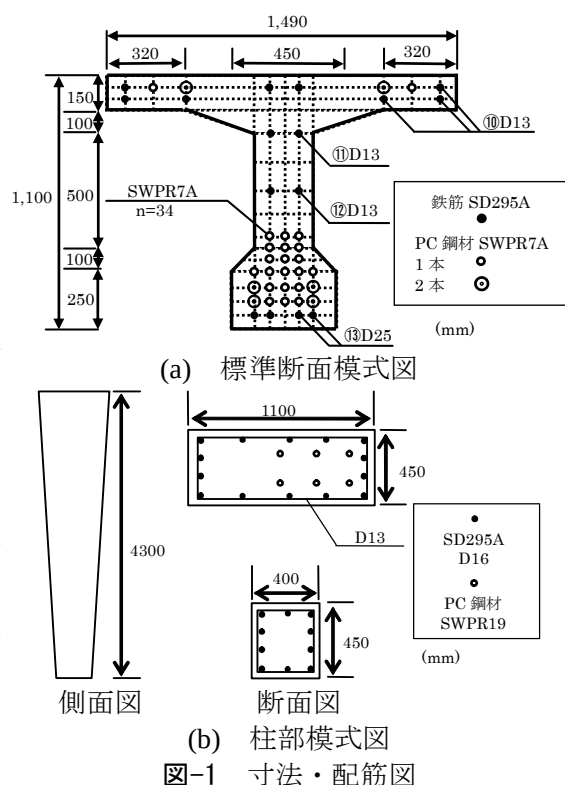


図-1 寸法・配筋図

表-1 使用材料とそのモデル化

材料	使用要素	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	8 節点ソリッド要素	35	0.2
鉄筋 PC 鋼材	2 節点トラス要素	200	0.3

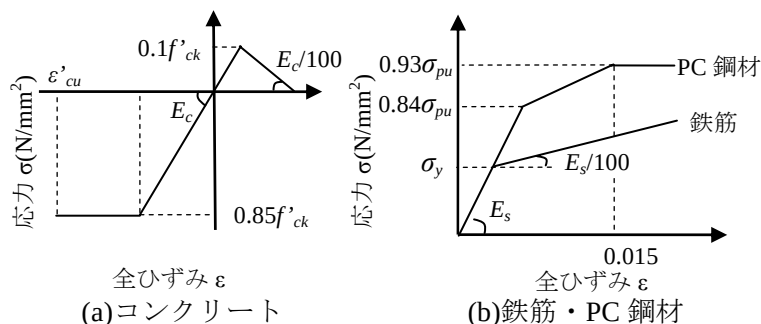


図-2 各材料の応力-ひずみ関係

細粒火成岩を想定し、弾性係数 $7.6 \times 10^{10}(\text{N/m}^2)$ 、

ポアソン比 0.23, 質量密度 $2600(\text{kg/m}^3)$ とした. 今回の衝撃応答解析では, 衝突速度を $1.0\sim 9.0(\text{m/s})$ まで $2.0(\text{m/s})$ ずつ変化させ, 衝突箇所はロックシェッド主梁中央とした. ロックシェッドの解析モデルを図-3に示す. なお, 解析には汎用有限解析ソフトウェア MARC³⁾を用いた.

4. 解析結果と考察

解析結果の一例として, 衝突速度が $1.0(\text{m/s})$, $5.0(\text{m/s})$, $9.0(\text{m/s})$ の場合について, 衝撃力波形, 支点反力波形, 载荷点変位波形を示していく. なお, 波形の時間は衝突時を $0(\text{ms})$ として整理している.

4-1. 衝撃力

図-4(a)に衝撃力波形を示す. 図-4(a)から, どの衝突速度の場合においても衝突後 $5(\text{ms})$ 間に最大衝撃力に達して, ほぼゼロに収束していることが確認できる. また, 図-4(b)に各衝突速度に対する最大衝撃力をまとめたものを示している. $7.0(\text{m/s})$ 以下の比較的低速度では, 衝突速度と最大衝撃力との間に比例関係があることが確認できる. これは, 既往の研究¹⁾でも明らかにされている.

4-2. 支点反力

図-5に支点反力波形を示す. 衝突後 $2.0(\text{m/s})$ 程度までは反力は発生せず, その後リバウンド力が発生していることが確認できる. また, 衝突速度 $5.0(\text{m/s})$, $9.0(\text{m/s})$ では比較的類似した波形となっている. 衝突速度 $1.0(\text{m/s})$ の場合では, 最大衝撃力も小さいため, 発生するリバウンド力も小さくなっていることが確認できる.

4-3. 载荷点変位

図-6に载荷点変位波形を示す. 初期のたわみは衝突速度の増加に伴って大きくなるのがわかる. 衝突速度 $1.0(\text{m/s})$ に対する挙動は自由振動に近い波形となっている. 解析モデル変形図は紙面の制約上載せていないが, 衝突速度が $9.0(\text{m/s})$ のときは落石モデルがロックシェッドにめり込む変形を示しており, 負の変位はほとんど生じていない.

5. まとめ

今回, 落石の衝突速度の変化によって実在するロックシェッドに及ぼす影響について解析的検討を行い, 衝突速度と最大衝撃力の関係は比較的低速度の場合は, 比例関係にあることが確認できた.

今後の課題として, 解析モデルの分割数, 材料構成則, 落石モデル形状を変化させ, より忠実に落石衝突現象を再現していくことが挙げられる.

【参考文献】

- 1)土木学会 構造工学委員会 衝撃問題研究小委員会: ロックシェッドの耐衝撃設計, 平成 10 年 11 月
- 2)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編, 平成 14 年 3 月
- 3)MSC Software: MSC.Marc2005 日本語オンラインマニュアル

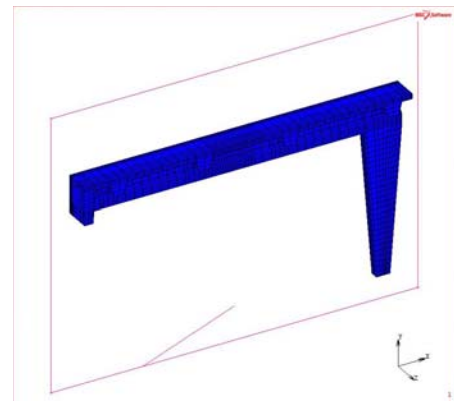
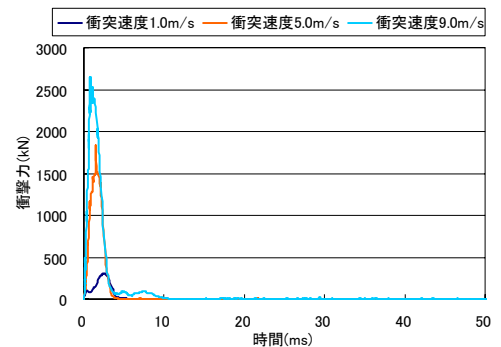
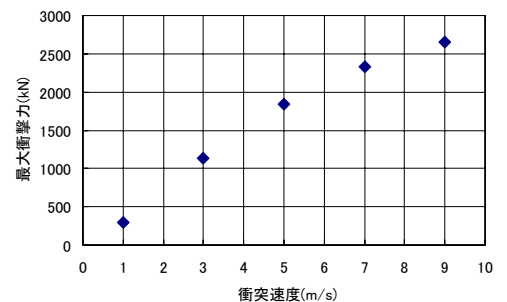


図-3 解析モデル



(a) 衝撃力波形



(b) 衝突速度-最大衝撃力関係

図-4 衝撃力

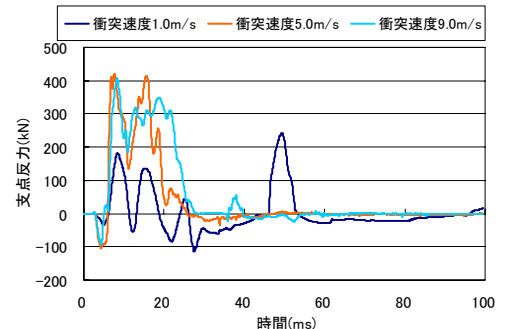


図-5 支点反力波形

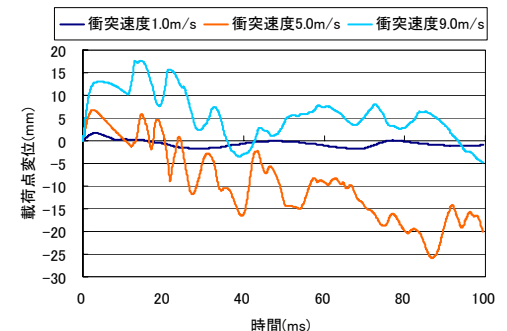


図-6 载荷点変位波形 (鉛直下向き正)