緩衝工を設置したRC製ロックシェッド模型の 二次元骨組み動的解析を用いた一検討

A numerical study on RC type rock-shed model with sand cushion under falling-weight impact loading

(株) 構研エンジニアリング	正会員	牛渡裕二 (Yuji Ushiwatari)
(株) 構研エンジニアリング	正会員	刈田圭一 (Keiichi Karita)
寒地土木研究所	正会員	今野久志 (Hisashi Konno)
寒地土木研究所	正会員	山口 悟 (Satoru Yamaguchi)
室蘭工業大学大学院	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線における道路網には,落石災 害を防止するための落石防護構造物が数多く建設されて いる.その落石防護工の一つとして RC 製ロックシェッド (以後,ロックシェッド)が挙げられる(写真-1参照).こ れらのロックシェッドは一般に落石対策便覧¹⁾に基づき, 以下の要領で設計が行われてきた.すなわち1)設計対象 となる落石の比高や斜面の状態から,落石衝突エネルギー を決定する.2)決定された落石衝突エネルギーに対して, 落石対策便覧で規定している衝撃力算定式を用いることに より最大衝撃力を決定する.3)この最大衝撃力を静的荷重 に置き換えて二次元骨組み解析により断面力を算定する. 4)求められた断面力に対して,許容応力度法を適用し,断 面設計を行ってきた.

上記設計法に対し,筆者らはロックシェッドの耐衝撃挙動を考慮した合理的な設計法を確立するために実際のロックシェッドを用いた弾性範囲内での重錘落下衝撃実験および数値解析的検討を実施し^{2),3)},敷砂あるいは三層緩衝構造を設置した場合の耐衝撃挙動を詳細に把握している.また,これらの実験結果をもとに三次元衝撃応答解析を実施し,実挙動を考慮した設計法を提案しており,これらの成果は北海道開発局におけるロックシェッドの設計要領⁴⁾に取り入れられている.

一方,許容応力度法を用いた設計は耐力的に過大でコス ト高となる傾向があるため,近年,橋梁等の設計では従来 の許容応力度法から性能照査型設計法に移行しつつある



写真 - 1 RC 製ロックシェッドの一例





(b)配筋状況

図 - 1 ロックシェッド模型の形状寸法および配筋状況

のが現状である、今後、ロックシェッドにおいても同様に 性能照査型設計法の確立が求められることが想定される、 また、その設計は比較的簡易な設計法とする必要がある、 ロックシェッドの場合には、衝撃荷重を考慮した設計法が 必要となるため、三次元弾塑性衝撃応答解析を基礎として、 最終的に二次元解析への移行を図ることが望ましいと考え られる、二次元解析へ移行するためには、基礎となる三次 元弾塑性衝撃応答解析の精度向上が必要となるが、緩衝工 となる敷砂の構成則を一意に定めることが難しいなど、実 挙動を詳細にモデル化するには緩衝工の構成則あるいは緩 衝工を介した作用力についてのさらなる検討が必要である、 このような中で、本研究ではロックシェッドの性能照査 平成22年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第67号

表 - 1 解析ケース一覧

解析ケース	落下高さ(m)	敷砂のモデル化
H5-s	5	有り
H10-s	20	有り





図 - 2 解析モデル

型設計法確立に向けたアプローチの一つとして,実験で得 られた重錘衝撃力が敷砂緩衝工を介してロックシェッドに 与える伝達衝撃力を想定し,二次元骨組みモデルに与えた 動的解析を実施した.さらに二次元骨組み動的解析結果を 実験時挙動と比較し,今後の性能照査型設計法の確立に資 する一資料とすることを目的としている.

2. 検討条件

2.1 実験概要

一般的に,実RC製ロックシェッドは12m毎に1ブロッ ク構造となっている.また,箱型断面を有しているが,左 右非対称の柱部と側壁部,上下には頂版と底版による構造 となっており,各部材毎に剛性が異なる.このことから, 本実験では,より実物大に近いロックシェッド模型(縮尺: 2/5)を製作した.敷砂緩衝工も,縮尺を考慮し頂版上面に t = 50 cmの厚さで設置した.

図 - 1(a) には衝撃実験に使用したロックシェッド模型の 形状寸法,(b) 図にはその配筋状況を示している.ロック シェッドの断面形状は,頂版部材厚,側壁および柱部が 400 mm,内空幅3,600 mm × 高さ2,000mm となっており, 道路軸方向の1 プロック延長は,4,800 mm である.頂版引 張主鉄筋には D13 を 50 mm 間隔で配置し,圧縮側鉄筋は 引張側鉄筋の50%を目安に D13 を 100 mm 間隔で配置して いる.また,かぶりは 60 mm となっている.鉄筋の材質は 全て *SD*345 であり,降伏強度は 413 MPa,コンクリートの 圧縮強度は $f_c = 29.7$ MPa であった.

実験は繰り返し載荷で,重錘質量 10,000kg を,落下高さ H = 1 m,5 m,10 m で漸増させて実施した.

図-3 材料物性モデル

2.2 二次元骨組み動的解析概要

表 - 1 には,解析ケースの一覧を示している.本研究では,落下高さH=5mの場合とH=10mの場合について 二次元骨組み動的解析による検討を実施した.また,解析 においては繰り返し載荷による供試体の損傷状態は考慮し ていない.

(1) 数値解析モデル

図 - 2 に本数値解析に用いた解析モデル図を示す. 骨組 みモデルは実験供試体の頂版・側壁・柱・底版コンクリー ト中央に配置するようモデル化している.また,隅角部に は、道路橋示方書に準拠し剛域を設定している.骨組みモ デルにはファイバー要素を使用しており,断面寸法を設定 している.断面設定の際には実験供試体延長4.8mに対し, 1.6mの柱間隔を加味し,有効幅として,L=4.8m(全幅),L = 3.2m(全幅の1/3),L=2.4m(全幅の1/2)の3種類でモ デル化した.境界条件は底面を完全固定とし,頂版上の敷 砂質量を要素に付加することで考慮している.

減衰定数は、質量比例および剛性比例を考慮するものとし、事前に本解析モデルを用いた固有振動解析を行い、鉛直方向最低次固有振動数に対して10%と設定している.

なお,骨組みモデルの総節点数,総要素数はともに70 である.

(2) 材料物性モデル

図 - 3 には,解析に用いた各材料物性モデルを示している.(a)(b)図にそれぞれ,コンクリート要素および鉄筋要素に用いた応力-ひずみ関係を示しており,コンクリート標準示方書⁵⁾および道路橋示方書⁶⁾より採用している. (3)衝撃力入力モデル

図-4には,解析に用いた衝撃力波形を示している.入



平成22年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第67号

図 - 4 衝撃力入力モデル



図 - 5 載荷点直下における変位波形

力波形は実験から得られた重錘衝撃力波形を簡易化し,載 荷範囲にある節点に等分割して与えている.載荷範囲は敷 砂に衝突する点を中心に重錘径で作用すると仮定し,設定 した(重錘径d=125cm).なお前述の通り,敷砂は死荷重 のみを直下の頂版に付加しており,載荷荷重は直接頂版へ 入力している.

3. 実験と二次元骨組み動的解析結果の比較

3.1 載荷点直下における変位波形

図 - 5(a) には,落下高さH = 5 mの場合での載荷点直下 における変位波形について,実験結果と解析結果を比較し て示している.図より数値解析結果の波形は,実験値に比 べて若干早く立ち上がっているものの,第2波目から残 留変位に至るまでほぼ同様の性状を示していることがわ かる.また,最大変位および残留変位に着目すると,有効 幅L = 3.2 mの場合において、最大変位は実験11mmに対 して解析が10mm,残留変位は,実験1.8mmに対して解析が 2.2mmと、概ね実験値と一致している.以上から,落下高さ H = 5 mの場合において,2次元化する際の有効幅は,L = 3.2 mの場合において,2次元化する際の有効幅は,L = 3.2 mと推察される.参考までに落下高さH = 5 mの場合にお ける頂版のひび割れ図を図-7に示す.ひび割れは曲げに より発生したものと考えられ,二次元骨組み動的解析の適 応可能範囲と推察される.

図 - 5(b) に示す落下高さH = 10 mの場合における載荷 点直下変位波形に着目すると,数値解析結果は,有効幅L= 2.4 m を除いて落下高さH = 5 mの場合と同様に概ね実験 結果と同様の波形性状を示している.ただし,最大変位およ 残留変位量は実験結果より大幅に小さな値を示している. この結果より,2次元化する際の有効幅は 3.2 m より小さな 値になるものと想定されるが,有効幅L = 2.4 mについて解 析すると、解析は発散し解を求めることかができなかった. ここで,落下高さH = 10 mの場合における頂版のひび割れ 図(図-7)に着目すると,押し抜きせん断により発生した と考えられる円形状のクラックが確認された.以上より,破 壊性状が押し抜きせん断になる場合の衝撃応答解析は,二 次元骨組み動的解析では適応できないことが示唆されたも のと考えられる.

3.2 最大変位発生時における変位分布

図 - 6 には,載荷点直下での最大変位発生時刻における 覆工内変位分布を実験・解析ともに示している.(a)図の H = 5 m 落下時においては,載荷点直下における最大変位 発生時刻での変位分布性状は,数値解析結果は実験結果を 比較的精度良く再現していることがわかる.

また,(b)図に示すH=10m落下時においては、数値解



図-6 変位分布(載荷点直下最大変位時)



図-7 ひび割れ分布性状

析が発散したため解析結果は実験結果を再現できないこと がわかる.

4. まとめ

本検討ではロックシェッドの性能照査型耐衝撃設計法 の確立に向けた基礎資料を得ることを目的に,実際のロッ クシェッドの2/5程度のモデルに対し,落石を模擬した重 錘落下衝撃実験を実施した.また,有効幅および減衰定数 を変化させた二次元骨組み動的解析を実施し,実験から得 られた重錘衝撃力を等分布荷重として簡易に入力すること で,変位波形や変位分布などの挙動の整合性を,実験結果 と比較することで分析した.検討結果を整理すると,以下 のように示される.

- (1)数値解析結果における変位波形性状は, H=5m落下時においては、有効幅の調整で概ね精度良く再現可能である.一方、H=10m落下時においては,有効幅を調整しても変位波形性状は,二次元骨組み動的解析では再現ができなかった.
- (2) 載荷点直下での最大変位発生時刻における覆工内変位 分布は, H = 5 m 落下時においては、有効幅の調整で 概ね精度良く再現可能である.一方、H = 10 m 落下時 においては,有効幅を調整しても変位波形性状は,二 次元骨組み動的解析では再現ができなかった.
- (3)破壊性状が曲げ破壊型の場合においては、二次元骨組み動的解析を用いることで実験結果を再現できるが、 せん断破壊型の場合は、実験結果を再現できないことが明らかとなった。

本検討においては,ロックシェッド模型への重錘落下実 験に対し,実験から得られた重錘衝撃力波形を衝撃荷重と して,簡易に作用させることで数値解析を実施したが,破 壊性状が曲げ破壊型の場合においては、数値解析結果は, 比較的良く実験結果を再現できることが明らかになった. 今後は,ロックシェッドの性能照査型設計法の確立に向け て,三次元衝撃応答解析を用いた検討を進めると共により 簡易な解析モデルを用いた場合に対して,有効幅の決定方 法など検討が必要であるものと考えられる.

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6.
- 2) 岸 徳光,中野 修,松岡健一,菅田紀之:RC 覆工の衝撃応答解析手法の適用性に関する実証的検討,土 木学会論文集,第483号,pp97-106,1994.1
- 3) 岸 徳光,佐藤昌志,今野久志:敷砂や三層緩衝構造 を設置した場合の柱式 RC 覆道の衝撃挙動解析,構造 工学論文集, Vol.44A, pp.1773-1782, 1998.3
- (社) 北海道開発技術センター:道路防災工調査設計要領(案)落石対策編,2001.3.
- 5) (社) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2007.3.
- 6) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2002.3.