RCロックシェッド模型の耐衝撃挙動と許容応力度法による設計落石エネルギーとの比較

寒地土木研究所	正会員	ОЦП	悟
寒地土木研究所	正会員	西	弘明

1. はじめに

現在、RC 製ロックシェッド(以後、ロックシェ ッド)の設計は許容応力度法^{1,2)}により行われてい[®] るが、過去の被災事例の検証や実験結果からロック シェッドの設計耐力は終局耐力に対して非常に大き な安全率を有しているものと考えられる. このため, より合理的な設計を可能とする性能照査型耐衝撃設 計法の確立が急務となっている.

本研究では性能照査型耐衝撃設計法の確立に向け た基礎資料の取得を目的に、一般国道に設置されて いるロックシェッドの 2/5 縮尺模型を製作し、重錘 落下衝撃実験を実施した³⁾. 今回, その耐衝撃挙動 と現行設計法である,許容応力度法による設計落石 エネルギーとの比較を行ったので報告する.

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1 には、試験体の形状寸法を示している. 試 験体の形状は、外幅が 4.4 m、長さ 4.8 m、高さ 2.8 m、 の矩形断面であり、内空断面は幅 3.6 m、高さ 2.0 m、 頂版,底版,側壁,柱の厚さは全て40 cm である.

模型縮尺を考慮し,鉄筋比は実ロックシェッドと 同程度とすることとし、頂版下面には D13

(SD345)の鉄筋を 50 mm 間隔 (主鉄筋比 0.75 %) で 配置している. D13 の力学的特性は, 降伏強度, 引張強度がそれぞれ 413 N/mm², 580 N/mm² であった. また, 使用したコンクリートの設 計基準強度は 24 N/mm² であり、実験時の圧縮強度 は 29.7 N/mm² であった.

2.2 緩衝材と衝撃実験概要

表-1には、実験ケースを一覧にして示している. 本論文では、重錘落下高さを示す H とその高さ(m) を付し, 簡略化して示している.

写真-1 には、衝撃実験状況(H10)を示してい る. 衝撃荷重載荷位置はロックシェッド頂版中央部 に限定し、質量10tの鋼製重錘(直径1.25m)を落 下高さの低い方から順次載荷する,漸増繰返し載荷 法により実験を行った.



敷砂 t= 500 mm

岸

徳光

今野 久志





図-1 試験体の形状寸法 写真-1 衝撃実験状況 表-1 実験ケース

実験	緩衝材	重錘質量	落下高	入力エネル
ケース	の有無	M (ton)	さ <i>H</i> (m)	ギー $E_k(kJ)$
H1	· 有 · (砂)	10	1.00	98
Н5			5.00	490
H10			10.00	980

頂版上面には、試験体の縮尺に対応して敷砂緩衝 材を厚さ t = 50 cm で設置した. 実験に使用した敷 砂は細目砂で,実験時の湿潤密度は 14.1 kN/m³,含 水比は 7.33% である.

計測項目は, 重錘の表面に設置したひずみゲージ 式加速度計による重錘衝撃力,非接触型レーザ式変 位計による内空変位である.また,各実験終了後に は頂版上面の敷砂を取り除き、試験体全体のひび割 れ状況をスケッチしている.

3. 実験結果

3.1 ひび割れ発生状況

図-2には、ひび割れ状況を各実験ケース順に重 ね書きをして示している. なお、H1 の場合には、ひ び割れの発生は確認できなかった.

H5(黒色)の場合には、重錘の敷砂への貫入量が 41 cm であり, 敷砂厚に対する貫入の割合は 82 % と 重錘直下の敷砂は過度に締め固められた状態となって いるが, 頂版上面においてひび割れは見られない. 一 方, 頂版下面には載荷点直下を中心に RC 版特有の 放射状のひび割れや各柱および側壁の頂部に道路軸 直角方向の一方向曲げに対応した曲げひび割れが発 生している.しかしながら、かぶりコンクリートの 剥落も見られず、十分供用可能であることが分かる. H10(赤色)の場合においては,H5の実験時と同

キーワード RC 製ロックシェッド,許容応力度法,性能照査型設計,重錘落下衝撃実験,繰返し載荷法,終局

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所寒地構造チーム TEL.011-841-1698 FAX.011-841-3502

様に重錘の敷砂への貫入量が 41 cm に達しており, 重錘直下の敷砂は過度に締め固められた状態となっ ている.これより頂版の上面には重錘が直撃した場 合と類似の円形状のひび割れが発生している.また, 頂版下面には放射状のひび割れが一層拡大し,かつ 円形状のひび割れも発生していることが確認できる. 大きなかぶりコンクリートの剥落は確認できないも のの,残留変位が 60 mm と道路軸直角方向スパン 長の 1.6 % に達しており,押抜きせん断破壊の兆候 も見られることから,終局限界に近い状況であるこ とが示唆される.

3.2 実験時の最大入力エネルギーと設計落石エネル ギーとの比較

設計落石エネルギーの算定は,以下の手順により 行うこととする.

- 現行設計と同様に落石覆道模型を二次元骨組に モデル化(試験体のひび割れ状況から試験体全体 の剛性を考慮);
- ② 静的二次元骨組解析により落石荷重と各部材の応 力度を算出(載荷位置は実験と同様に中央部);
- ③ 頂版鉄筋応力度が許容値に達する落石荷重を算定;
- ④ 衝撃力の算定式より上記落石荷重を生じさせる落石の落下高さを算定;
- ⑤ 落石重量と落下高さより、設計落石エネルギーを 決定する.

図-3には、二次元静的骨組解析による作用落石 荷重と、各部材に発生する断面力より算出した鉄筋 の引張応力度あるいはコンクリートの圧縮応力度と の関係を許容値とともに示している.

ここで各材料の許容値は、鉄筋 (SD345) に関して は地震の影響や衝突荷重を受ける場合の許容応力度 の基本値 $\sigma_{sa} = 200 \text{ N/mm}^2$, コンクリートに関しては 設計基準強度 24 N/mm² に対する曲げ圧縮応力度の 基本値 $\sigma_{ca} = 8 \text{ N/mm}^2$ に落石時の短期荷重割増し係数 ¹⁾ 1.5 を乗じて求めたものであり、それぞれ $\sigma_{sa} = 300 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{ca} = 12 \text{ N/mm}^2$ となる.

図より、本試験体の設計落石荷重は P = 1,372 kN であり、柱の上端コンクリートの圧縮応力度が許容 値に達している.しかしながら、実験結果の場合に は頂版部の局所的な応答が卓越していることから、 ここでは頂版下面中央部における鉄筋の引張応力度が



図-2 ひび割れ状況 図-3 許容応力度法による設計荷重 許容値に達する場合の落石荷重を設計荷重 P=1,866 kN として考察することとする.

次に設計荷重載荷時の入力エネルギーを概算する. すなわち,道路防災工調査設計要領²⁾に示されている衝撃力算定式 $P = 2.108 (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \cdot a$ より,実験条件である,重錘質量:m = 10ton,重力加速度: $g = 9.8 \text{ m/s}^2$,ラーメの定数: $\lambda = 8,000 \text{ kN/m}^2$,割増係数: $a = \sqrt{D/T} = 1.58$,D:重錘径 125 cm,T:敷砂厚 50 cmと,上述の設計落石荷重 P = 1,866kNより,落下高さ Hを逆算して求めると H = 0.58mとなる.これより,設計落石エネルギーは $E_0 = 56.9 \text{ kJ}$ となる.

次に設計落石エネルギーと本試験体において終局 に近い状態と考えられる最終実験ケース H10 の最大 入力エネルギー $E_k = 980$ kJ を比較すると, $E_k / E_0 =$ 17.2 となる.

4. まとめ

敷砂緩衝材を有する漸増繰り返し重錘落下衝撃実 験における最終実験ケースの最大入力エネルギーは、 許容応力度法による設計落石エネルギーの約 17 倍 であった.

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6
- (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
- 山口悟ほか:敷砂緩衝材を有するRC製ロックシ エッドの模型に関する衝撃載荷実験,構造工学論 文集, Vol.56A, pp.1149-1159, 2011.3

-057