落石荷重載荷位置を変化させた覆道頂版部材の耐衝撃挙動に関する解析的検討

(株) 構研エンジニアリング　正会員　○鈴木健太郎　(株) 構研エンジニアリング　正会員　高橋浩司
土木研究所寒地土木研究所　正会員　西弘明　土木研究所寒地土木研究所　正会員　今野久志
(株) 構研エンジニアリング　フェロー　川瀬良司　室蘭工業大学大学院　フェロー　岸徳光

1. はじめに

本研究では，実務設計を視野に入れ三次元動的骨組解析を用いて RC 製ロックシェッドの性能設計 [1] を行う場合の合理化および省力化を目的として，既往の実規模実験を対象とし，落石荷重載荷位置が耐衝撃挙動に与える影響を検討した．

2. 実験概要

図 1，**図 2** には，落石衝撃力 $P = 1{,}466$ kN に対して許容応力度を満足するように設計した RC 製ロックシェッド試験体の形状寸法および配筋状況をそれぞれ示している．試験体は，道路軸方向長さが 12 m，外幅 9.4 m，壁高さ 6.4 m の箱型ラーメン構造である．鉄筋比は一般的なロックシェッドと同程度として，頂版下面および上面の主鉄筋はそれぞれ D25 を 125 mm 間隔（鉄筋比 0.68 %）および D29 を 250 mm 間隔で配置している．また，コンクリートの設計基準強度は 24 N/mm^2，実験時の圧縮強度は 30.19 ～ 37.87 N/mm^2 であった．鉄筋は D13 ～ D29 を用い，いずれも降伏応力 390 MPa 程度であった．実験は，厚さ 900 mm の敷砂緩衝材を敷設し，高さ 15 m の位置から質量 10 ton の重錘を模型中央部に自由落下させて実施した．

3. 数値解析概要

図 3，**図 4** および **図 5** には，それぞれ三次元骨組解析モデル，入力荷重モデルおよび材料物性モデル [2] をそれぞれ示している．要素分割長は部材厚に対して 0.5 ～ 1.0 倍程度の範囲内で，かつある程度均等に分割が出来るように標準要素長を部材厚の 0.7 倍である 0.5 m とした．試験体内空の四隅にはハンチを設けていることから，隅角部には道路橋示方書に準拠し剛域を設定している．柱と頂版の接合部には頂版の道路軸方向の変位やねじりを適切に柱に分担するよう柱頂部より放射状に剛域を設定している．

骨組モデルには，断面寸法や各材料定数を考慮したファイバー要素を使用した．底面の境界条件は弾性床支持とし，圧縮方向のみバネを考慮している．ただし，試験体はコンクリート剛基礎上に設置されていることから，バネ定数は十分に大きな値を入力している．コンクリートおよび鉄筋の質量は，道路幅方向の部材のみに考慮し，道路軸方向部材は剛性のみを考慮している．また，頂版上の敷砂緩衝材の質量は要素に付加することで考慮している．減

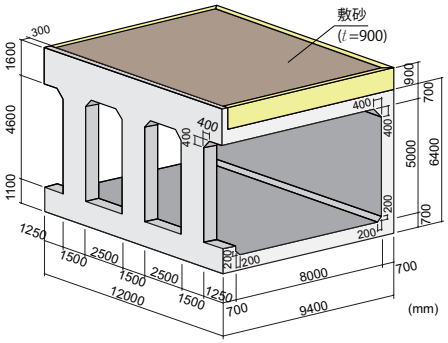


図 1　試験体の形状寸法

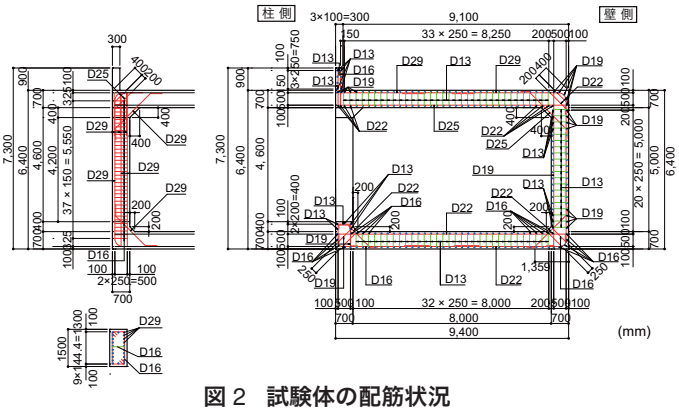


図 2　試験体の配筋状況

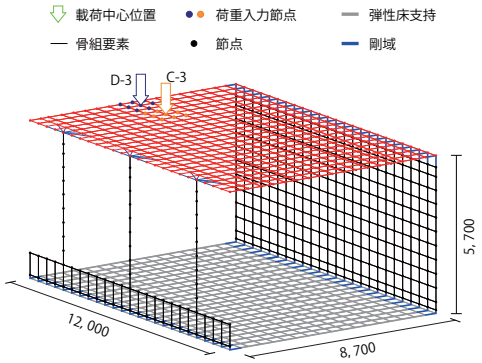


図 3　三次元骨組解析モデル

衰定数は質量比例分のみを考慮し，事前に固有振動解析を行い，鉛直方向最低次曲げ振動モードに対応した固有振動数に対して，$h = 5$ % としている．時間増分 Δ_{cr} は courant の条件を満足するように，$\Delta_{cr} = 0.1$ ms とした．本数値解析には Engineer's Studio（Ver.7.0.2）を使用している．

解析ケースは，**図 3** に示す 2 ケースとし，落石荷重載荷位置が耐衝撃挙動に与える影響を検討するため，文献 3) を参考に設定した設計衝撃力台形波形にて解析を行った．

キーワード：ロックシェッド，動的骨組解析，落石荷重載荷位置，頂版部材，曲げモーメント
連絡先：〒 065-8510 (株) 構研エンジニアリング　防災施設部　TEL / FAX 011-780-2813 / 011-785-1501

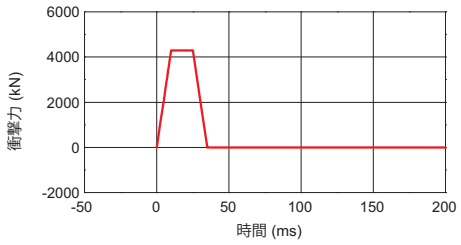
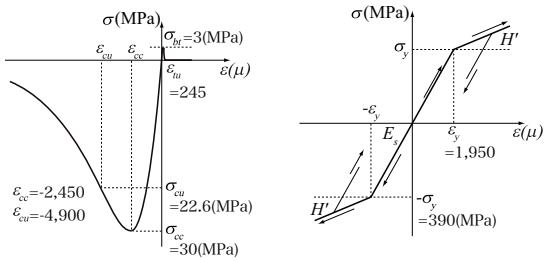
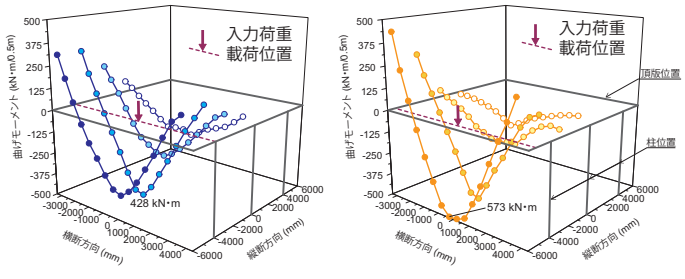


図 4　入力荷重モデル



(a) コンクリート　　(b) 鉄筋

図 5　材料物性モデル



(a) C-3 (25.6 ms)　　(b) D-3 (25.8 ms)

図 6　頂版曲げモーメント分布図（最大ひずみ発生時刻）

4.　数値解析結果

図 6 には，頂版の最大ひずみ発生時刻における曲げモーメント分布を示している．図より，端部柱断面 C-3 および端部断面 D-3 に載荷した場合には，両者ともに頂版中央部は下面引張となることが分かる．また，頂版の柱側および側壁側端部は上面に大きな負の曲げモーメントが生じている．

表 1 には頂版の最大鉛直変位および各部材各着目要素における最大曲げモーメントおよび発生時刻を示している．表下段には参考として軸力をゼロとした場合の鉄筋降伏曲げモーメントも併せて示している．表より，頂版最大鉛直変位については，C-3 よりも D-3 が大きく，D-3 は C-3 の約 1.5 倍となっており，載荷位置が端部に近いほど変位が増加することが分かる．頂版下面引張最大曲げモーメントは両ケースともに軸力ゼロとした場合の降伏曲げモーメントを超過していることが分かる．一方，頂版側壁側の上面引張最大曲げモーメントについては降伏曲げモーメントを大きく超過している．

表 2 には同要素の最大ひずみを示している．表中，上段は鉄筋の引張ひずみ，下段はコンクリートの圧縮ひずみを示している．表より，頂版中央下面の鉄筋最大引張ひずみは C-3 で 1,910 μ であり，降伏ひずみ 1,950 μ 以下であることが分かる．D-3 は 4,810 μ と降伏ひずみを大きく超過しているものの，コンクリートの圧縮ひずみは -1,500 μ 以下となっている．頂版側壁側上面の鉄筋最大引張ひずみは，両ケースともに降伏ひずみを大きく超過するが，コンクリートの圧縮ひずみは最大でも -1,900 μ となっている．これらより，頂版の一部で鉄筋は降伏ひずみを超過するものの，圧縮ひずみは -2,000 μ 以下であることから，頂版にクラック等の損傷は発生するものの圧縮破壊には至らないものと推察される．

表 1　頂版の最大鉛直変位および最大曲げモーメント一覧

載荷位置	頂版最大鉛直変位		頂版下面引張最大		頂版上面引張最大（側壁側）	
	時間 (ms)	変位 (mm)	時間 (ms)	曲げモーメント (kN･m)	時間 (ms)	曲げモーメント (kN･m)
C-3	38.0	22.7	25.6	428	32.8	-332
D-3	34.1	34.5	25.8	573	28.3	-472
降伏曲げモーメント			-	425	-	-274

表 2　頂版の最大ひずみ一覧

載荷位置	頂版下面引張最大		頂版上面引張最大（側壁側）	
	時間 (ms)	ひずみ (μ)	時間 (ms)	ひずみ (μ)
C-3	31.5	1,910	38.2	4,430
	36.7	-731	38.3	-1,040
D-3	29.6	4,810	35.9	9,240
	25.6	-1,430	34.8	-1,900

5.　まとめ

本研究では，実務設計を視野に入れ三次元動的骨組解析を用いて RC 製ロックシェッドの性能設計を行う場合の合理化および省力化を目的として，落石荷重載荷位置が耐衝撃挙動に与える影響を検討した．その結果，道路縦断方向に対して中央載荷よりも端部載荷の場合が部材に生じる曲げモーメントが大きく，また端部柱断面 (C-3) で降伏以下として部材断面を決定する場合には端部断面 (D-3) でも圧縮破壊せず利用者被害に直結するような損傷までには至らないことが明らかになった．

参考文献

1) 土木学会：構造工学シリーズ 27 爆発・衝撃作用を受ける土木構造物の安全性評価，2017.4
2) 岡村 甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991.5
3) 土木学会：構造工学シリーズ 8 ロックシェッドの耐衝撃設計，1998.11