

杭基礎構造におけるRCロックシェットの3次元衝撃応答解析について

Three-dimensional impact response analysis of RC type Rock-Shed including pile foundation

交通事業本部 交通第2部 鈴木 正良



概要 (Abstract)

山国である我が国では、山岳地帯や海岸線部の急峻な地形にも道路や鉄道が施設され、それら交通網の落石災害に対する安全施設として多くのロックシェット(落石覆工、落石覆道、洞門工とも言う)が設けられてきた。その中で、RCロックシェットの合理的な設計手法に関する研究・開発等も進み、現在では事前に行った3次元衝撃応答解析結果をまとめた数値一覧表³⁾を用いて設計する手法がとられている。しかし、この数値表は直接基礎を前提としたモデルでまとめられており、杭基礎を有するRCロックシェットへの適用には困難なものと判断される。

本論文は、杭基礎構造におけるRCロックシェットのより正確な断面力評価を行うため3次元衝撃応答解析を実施し、その結果を用い検討したことを報告するものである。

1. はじめに

落石現象は、多様な形態をもつ複雑な自然現象であり、その発生場所、規模等を正確に把握することは困難である。その一方、落石衝撃力を対象としたRCロックシェットの3次元特性はほぼ明らかになっており、現在では3次元の衝撃応答解析及び実規模実験結果から落石により生じる断面力を評価し、2次元骨組に換算するための基本断面力を定め、その値を用い許容応力度法に基づいた設計手法がとられている。なお、許容応力度法を採用している背景には、落石を対象としたRCロックシェットの3次元特性はほぼ明らかになっているが、靱性能の評価が可能になるまでには至っていないことによるものである。

前述の基本断面力値は、直接基礎のロックシェットモデルを頂版厚や落石入射角などを各パラメータとした断面力の結果を一覧表にまとめられたものである。そのため、杭基礎のように直接基礎と異なる基礎モデルのロックシェットの正確な断面力評価を行うことは困難と判断される。そこで、一般国道 231 号湯泊覆道間の明り部に計画される新設覆道の事例を対象に、杭基礎を有するロックシェット固有のモデルを作成し、それを用いた3次元衝撃応答解析の結果について記述する。



写真-1 対策検討箇所の全景

2. 現地の状況および対策の概要

(1) 現地の状況

当該明り部は、急峻な岩盤斜面が背後に切迫した海岸道路であり、斜面からの落石防護のためのロックシェットが連続して設置されている。(写真-1)

明り部の背面斜面(写真-2)は、標高 35m 付近(現道から比高約 30m)から下位は斜面勾配 35~40°程度で崖錐堆積物が分布する。標高 35~95m 付近にかけては斜面勾配 60~80°程度の急崖斜面を呈する安山岩溶岩が露呈し、部分的に表層の緩みや不安定な状態の岩塊が認められる。



写真-2 明り部の斜面状況

露岩部および不安定岩塊は約 1m間隔で亀裂が介在し、落石発生時の最大径は 1m程度と想定される箇所である。

(2) 対策の概要

落石災害の危険性が指摘される当該箇所における落石対策としては、落石エネルギーや落石跳躍高などから『RCロックシェッド』を計画した。また、緩衝材については、落石衝撃力が敷砂緩衝材で $P_a=5,000\text{kN}$ ($\lambda=8000\text{kN/m}^2$) 超となり、構造上現実的な落石衝撃力としては $P_{ref}=2,500\text{kN}$ 程度が目安¹⁾ であり、それを大きく超えるものであった。そこで、三層緩衝工構造を採用し落石衝撃力を $P_a=1900\text{kN}$ 程度に抑えることとした。基礎形式は、当該箇所の支持層深度が深く、杭基礎形式(場所打ち杭 $\phi 1500$)を採用している。

3. 数値解析の概要

(1) 解析モデル

図-1に標準断面図、図-2に解析モデルの要素分割状況および形状寸法を示す。なお、要素モデルに関しては、8 節点固定要素を用い、積分点は 1 点積分とした。

図-3に本解析モデルの境界条件、表-1に本解析に用いた物性値を示す。境界条件としては、支持地盤、中間地盤および裏込め土の側面および支持地盤の底面には無反射境界を設定し、支持地盤の底面は完全固定とした。また、覆道本体と中間地盤および裏込め土、場所打ち杭と中間地盤および支持地盤の間には、面と面との接触・剥離を伴うすべりを考慮した接触面を定義し、場所打ち杭に関しては、杭底面において支持地盤と節点を結合させることで固定とした。なお、本数値解析では衝撃応答解析汎用コード LS-DYNA(ver.9.71)を用いて解析を行った。

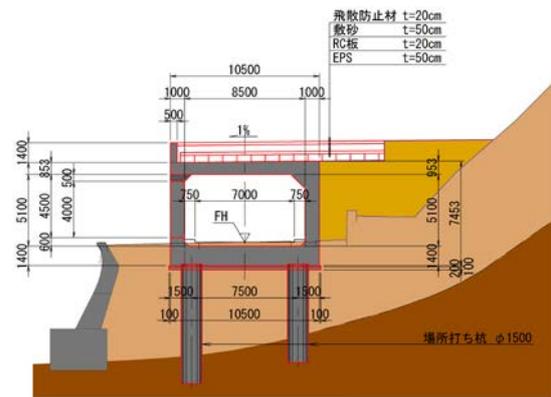


図-1 RC ロックシェッド標準断面図

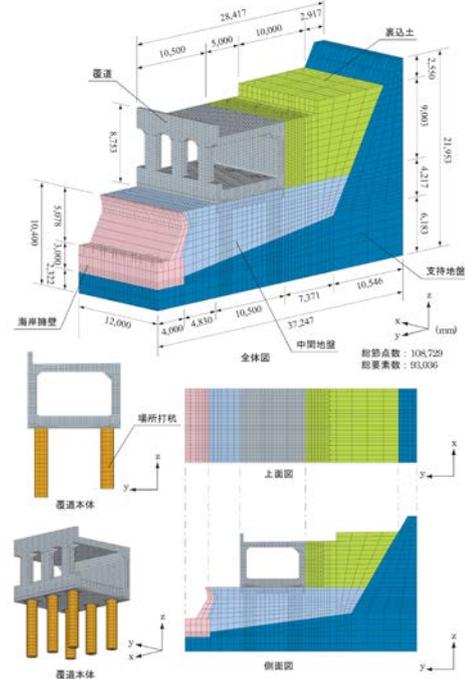


図-2 モデル図および形状寸法

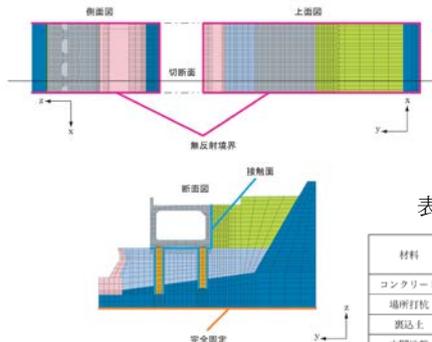


図-3 境界条件

表-1 物性値一覧

材料	密度 ρ (ton/m^3)	弾性係数 E (GPa)	ポアソン比 ν
コンクリート	2.45	25	0.2
場所打ち杭	2.45	25	0.2
裏込め土	1.90	0.1	0.45
中間地盤	2.00	0.1	0.45
支持地盤	2.00	0.6	0.40

(2) 解析の仮定

図-4 に本解析ケースの落石载荷位置を示す。载荷位置は、断面方向を 4 分割した位置を基本とし、海側の道路軸方向中央から山側に向かって载荷位置を変えている。

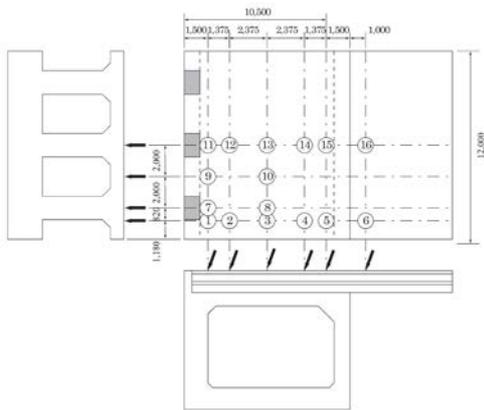


図-4 荷重載荷位置図

本解析では、衝撃荷重が緩衝構造によって分散され部分分布状態で覆工頂版上および裏込め部に作用するものとして解析を行った。落石による実衝撃荷重は同心円状に分散分布するものと考えられるが、本解析では、幅員方向分布幅 C、道路軸方向分布幅 $B = \pi C/4$ とする円形分布と等価な面積となる矩形分布に換算して入力した。具体的には、三層緩衝構造を設定し、その幅員方向分布幅は $C=3.0\text{m}$ 、軸方向分布幅は $B=2.36\text{m}$ とした。また、質量に依存した減衰効果のみを考慮することとし、鉛直方向の最低次固有振動数に対し 5% の減衰定数を設定した。なお、衝撃荷重の最大値は弾性解析であることから 500kN と設定した。

その他の解析条件は以下と設定した。

- ・接触面: 面と面との接触・剥離を伴うすべりを考慮
- ・接触面の摩擦: 考慮しない
- ・重力: 考慮しない
- ・解析時間: 150ms

4. 数値解析の結果

(1) 主応力分布図

本解析では各載荷位置ごとに最大応答時の主応力分布図(最大応力および最小応力)が得られる。

一例として、図-5、6 に頂版中央に載荷した場合(載荷位置 2)の主応力分布図を示すとともに、図-7 に各断面力分布図を示す。応力分布図より、落石荷重を載荷させた位置の下面側(頂版下面)に内側引張が作用していることがわかる。

(2) 最大断面力包括線および数値表

図-8 には、各載荷位置ごとに得られる各断面力を包括する最大断面力包括線図を示す。また、表-2 には本数値解析結果の数値一覧表を示す。なお、曲げモーメントは内側を内側引張、外側を内側圧縮とし、軸力は頂版部に関しては下側を圧縮、柱部お

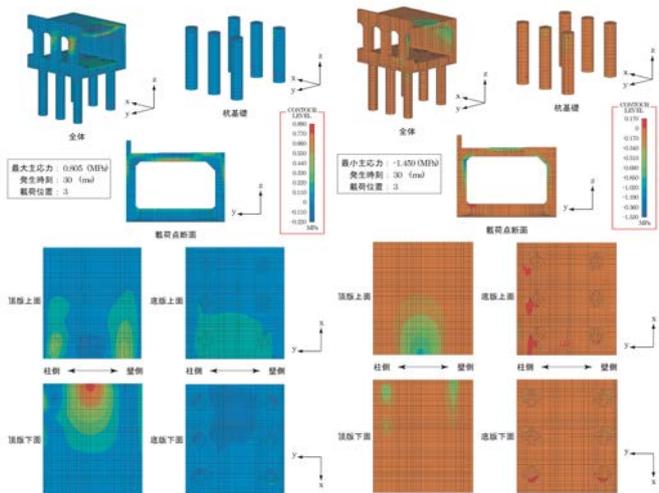


図-5 最大主応力分布図

図-6 最大主応力分布図

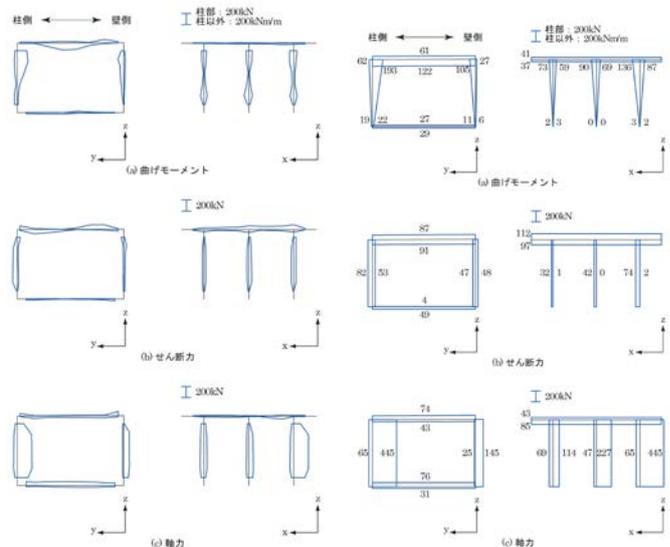


図-7 断面力分布図

図-8 最大断面力包括線図

表-2 数値一覧表

■道路軸直角方向

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2
M	-61	122	27	-29	-193	62	-22	19	27	-105	6	-11
S	-87	91	4	-49	-82	53	-48	47	-	-	-	-
N	-74	43	43	76	-31	-445	65	-145	25	-	-	-

■道路軸方向

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2	g1	g2
M	-41	37	-73	59	-2	3	-90	69	0	0	-136	87	-3	2
S	-112	97	-32	1	-42	0	-74	2	-	-	-	-	-	-
N	-43	85	-114	69	-227	47	-445	65	-	-	-	-	-	-

よび壁部に関しては右側を圧縮として示す。

(3) 断面力の算定および必要鉄筋量

本解析により求められる数値一覧表は、衝撃荷重を 500kN として算定した値であることから、設計落石衝撃力 $P_a=1918\text{kN}$ に換算する必要がある。その場合の落石衝撃力の換算倍率は $1918\text{kN}/500\text{kN}=3.83$ となる。表-3 に換算倍率を考慮した数値一覧表とその値より必要とされる配筋状況を図-9 にまとめる。

表-3 数値一覧表(倍率考慮)

■道路軸直角方向

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2
M	-234	468	104	-111	-740	238	-84	73	104	-403	23	-42
S	-334	349	15	-188	-315	203	-184	180	-	-	-	-
N	-284	165	292	-119	-1707	249	-556	96	-	-	-	-

■道路軸方向

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2	g1	g2
1倍率	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836
2倍率	1.86	1.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
M	-293	264	-280	226	-8	12	-345	265	0	0	-522	334	-12	8
S	-799	692	-123	4	-161	0	-284	8	-	-	-	-	-	-
N	-307	606	-437	265	-871	180	-1707	249	-	-	-	-	-	-

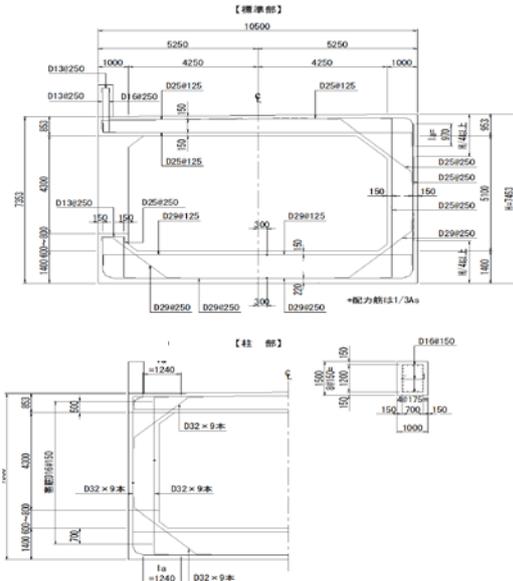


図-9 ロックシェッドの配筋状況

4. 本数値解析と基本断面力値との比較

本ロックシェッド固有のモデルにより実施した数値解析により算定した断面力値と、直接基礎を前提とした文献³⁾にまとめられる数値一覧表より求められる値とを比較し、その差異について検証を行った。

図-10には前者と後者の断面力値を重ね合わせた最大断面力包括線比較図、表-3 にその断面力値をまとめた比較数値一覧表を示す。

結果、曲げモーメント値で最大 2 倍程度、せん断力値で最大 4 倍程度、軸力値で最大 3 倍弱程度の違いが確認された。これは、基礎モデルの影響が大きいと考えられるが、本数値解析では周辺環境(波返し擁壁、地形状況、地層傾斜など)もモデルに取り込み解析を実施したことも少なからず影響したものと推定される。

今回、断面力値の差異による鉄筋量への影響までの検証は実施していないが、特に曲げモーメント値で 2 倍程度の差異が生じていることから、必要とされる鉄筋量においてもランクアップ等の影響があると判断される。ただし、許容応力度法に準拠して設計が行われているロックシェッドでは、設計落石エネ

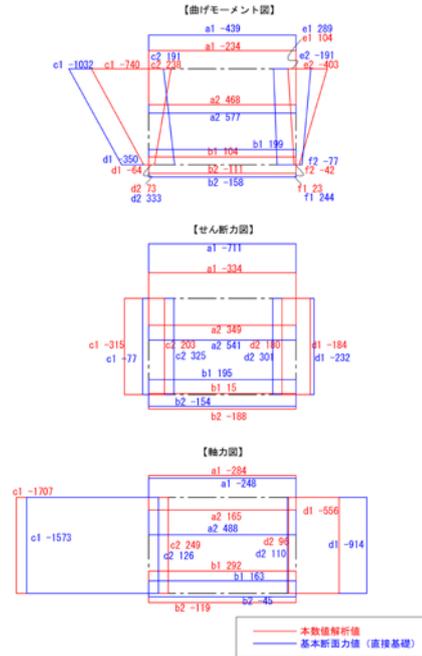


図-10 最大断面力包括線比較図

表-3 比較数値一覧表

	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d1	d2	e1	e2	f1	f2	
M	本数値解析①	-234	468	104	-111	-740	238	-84	73	104	-403	23	-42
	基本断面力値②	-439	377	199	-158	-1032	191	-350	333	289	-191	244	-77
	倍率①/②	0.53	0.84	0.52	0.7	0.72	1.25	0.24	0.22	0.36	2.11	0.09	0.55
S	本数値解析①	-334	349	15	-188	-315	203	-184	180	-	-	-	-
	基本断面力値②	-711	541	195	-154	-77	325	-232	301	-	-	-	-
	倍率①/②	0.47	0.65	0.08	1.22	4.09	0.62	0.79	0.6	-	-	-	-
N	本数値解析①	-284	165	292	-119	-1707	249	-556	96	-	-	-	-
	基本断面力値②	-445	489	163	-45	-1573	126	-914	110	-	-	-	-
	倍率①/②	1.15	0.34	1.79	2.64	1.09	1.98	0.61	0.87	-	-	-	-

ルギーを 20 倍程度上回るまでは崩壊には至らないとの研究例もあり、文献³⁾にまとめられる数値一覧表を用いた場合でも崩壊までの余裕はあると考えられる。

5. まとめ

本数値解析結果より、杭基礎構造におけるロックシェッドの衝撃応答特性については、直接基礎をモデルしてまとめられる基本断面力とは差異があることが証明された。

今後、性能照査型設計法への移行が進む中で、対象とするロックシェッド固有のモデルを用いて衝撃応答解析を実施し、より正確な断面力を求めることは重要であるとも考えられる。その場合、解析の煩雑性を考慮し、より合理的な設計手法の研究・開発等も同時に望まれるところである。

参考文献

- 1) 構造工学シリーズ8,ロックシェッドの耐衝撃設計: 土木学会
- 2) 落石対策便覧: (社)日本道路協会
- 3) 道路防災工調査設計要領(案)落石対策編: (社)北海道開発技術センター