

I-483 落石覆工上のクッション材への落石衝突解析

(株) 銭高組 正 秋山 博
 金沢大学 正 榎谷 浩

1. まえがき

著者らは、落石覆工に落石がサンドクッションを介して衝突する時の衝撃力を中心とした検討を進めるとともに、落石覆工の限界状態による設計についても研究を行っている。ここで、覆工の合理的な設計法を考えていく上で落石衝突による衝撃力と覆工との相互作用、覆工へのエネルギー伝達を明らかにすることが必要と考えられる。本研究は以上のような観点により、個別要素法を用いて簡単なモデル化を行い、衝撃力および覆工へのエネルギー伝達について報告するものである。

2. 解析方法

落石覆工上のクッション材をある大きさを持った土塊の集合体と做し、各土塊は便宜的に剛と仮定し、クッション材の持つ弾性的、および非弾性的性質を剛要素間に挿入したバネとダッシュポットおよびスライダーによって表現する。この場合、土塊すなわち個々の剛要素の並進変位 u と回転角 ϕ について運動方程式は次のように示される。

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = 0 \quad (1)$$

$$J \ddot{\phi} + c r^2 \dot{\phi} + k r^2 \phi = 0 \quad (2)$$

ここに、 m および J は要素の質量および慣性モーメントであり、 k および c はそれぞれバネ定数と減衰定数である。また、 r は要素半径である。ドット (\cdot) は時間による微分を表している。本解析では、時間増分 Δt により上式を差分近似し、時間毎に逐次計算して解く。

図-1 は本解析で用いた解析モデル図である。図1-a) で上部の大きな要素は落石である。また、黒塗の要素は覆工を表す要素であり、鉛直方向のみ運動可能な剛要素とした。また、クッション材の側面は作用力は受けるが変位は生じないものとした。図1-b) は、接触要素同士の力学関係を表

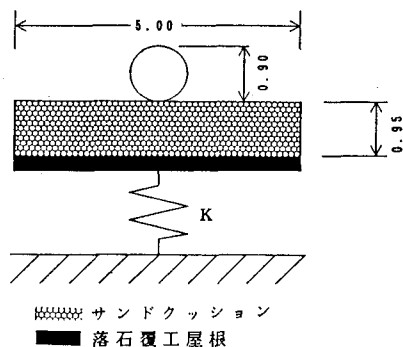


図-1a) 解析モデル図

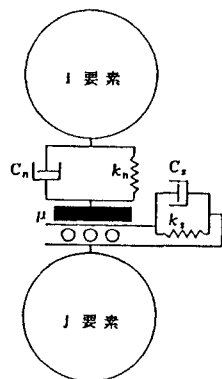


図-1b) 接触要素の力学モデル

表-2 解析条件

Type 番号	Case 番号	L (m)	K (tf/m)	W (tf)	T (ms)
Type1	1	5.00	6.14E+04	5.000	90.36
	2	5.00	6.14E+04	6.250	94.71
	3	5.00	6.14E+04	7.500	98.86
	4	5.00	6.14E+04	10.000	106.68
Type2	1	5.00	3.07E+04	5.000	127.79
	2	5.00	3.07E+04	6.250	133.94
	3	5.00	3.07E+04	7.500	139.81
	4	5.00	3.07E+04	10.000	150.87
Type3	1	5.00	3.07E+03	5.000	404.12
	2	5.00	3.07E+03	6.250	423.54
	3	5.00	3.07E+03	7.500	442.11
	4	5.00	3.07E+03	10.000	477.09
Type4	1	5.00	1.25E+03	5.000	633.33
	2	5.00	1.25E+03	6.250	663.76
	3	5.00	1.25E+03	7.500	692.86
	4	5.00	1.25E+03	10.000	747.67

表-1 解析に用いたクッション材と落石の特性値

土粒子の単位体積重量	1.8 tf/m ³	法線方向のバネ定数
要素(土粒子)半径	0.05m	$k_n = 800.00 \text{ tf/m}$
土粒子の内部摩擦角	30°	法線方向の減衰定数
壁面との摩擦角	15°	$c_n = 0.4297 \text{ tf}\cdot\text{s/m}$
落石の半径	0.45m	接線方向のバネ定数
落石の重量	1.0tf	$k_t = 200.00 \text{ tf/m}$
落石の初速度	17.14m/s	接線方向のバネ定数
(落下高さ15m)		$c_t = 1.0740 \text{ tf}\cdot\text{s/m}$

したものである。

表-1は解析に用いたクッション材と落石の特性値と諸条件を示したものである。表-2は覆工要素の解析条件をまとめたものである。本解析においてはバネ定数 K (覆工の剛性に相当する)と覆工の重量 W (サンドクッション含まず)とをそれぞれ4種類ずつ変化させて解析を行った。また、

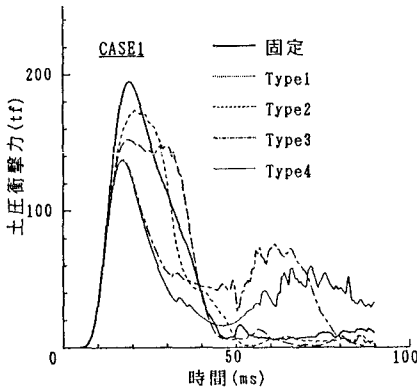


図-2 土圧衝撃力

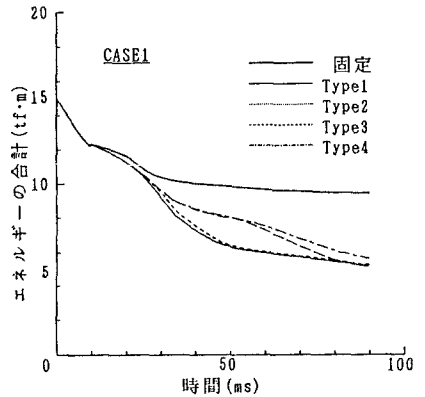


図-3 エネルギーの合計

参考のために覆工屋根とサンドクッションを併せて、1質点としたときの系の固有周期 T を示した。これは覆工の1次固有周期に相当するものである。

3. 解析結果

図-2は、土圧衝撃力の解析結果の一例である。これは、覆工屋根が固定されていて変位を生じない場合と変位を生じる場合との結果である。ここに、土圧衝撃力とはクッション材の底面に働く力である。これから、覆工の剛性が小さいほど土圧衝撃力の最大値が緩和され、力の作用が長く継続していることが分かる。

図-3は、系のエネルギーの合計を示したものの一部である。この結果から、覆工屋根が固定の場合には、他と比べてエネルギーの合計が減少しにくいこと、覆工屋根が可動の場合には覆工の剛性が大きいほどエネルギーの合計が減少しやすい傾向があることが分かる。

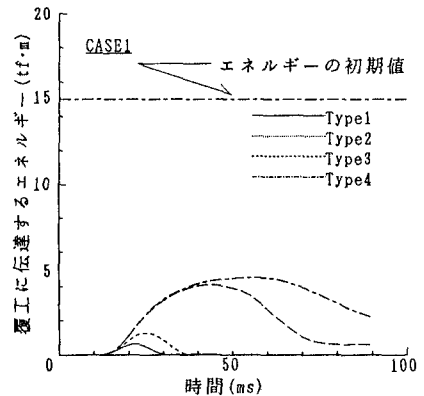


図-4 覆工に伝達するエネルギー

図-4は、落石衝突によって覆工に伝達されたエネルギーの合計(覆工の運動エネルギーと覆工のひずみエネルギーの和)である。この結果から、覆工の剛性が小さいほどエネルギー伝達率が大きくなることが分かる。また、覆工へのエネルギー伝達率は、およそ30%~5%程度になるという結果を得た。

4. まとめ

以上のことから、覆工の剛性が低いほど最大土圧衝撃力が小さいこと、系のエネルギーの合計は、覆工の剛性が大きいほど減少し易いこと、覆工の剛性が大きいほど覆工自身へのエネルギーが伝達しにくいという結果を得た。また、覆工へのエネルギー伝達率は、およそ30%~5%となった。

今後は、覆工の衝撃力による挙動をさらに検討するためには、覆工屋根部分を有限要素法で、落石およびサンドクッションを個別要素法により同時に解析することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 園田恵一郎: 限界状態設計法とロックシェッドの設計, 北陸道路研究会35周年記念シンポジウム論文集, pp. 22~34, 1988年10月
- 2) 榎谷 浩: 落石覆工の落石による衝撃力に関する研究, 学位論文, pp. 67~102, 1989年4月