

個別要素法による覆工上のクッション材への落石衝突解析について

○金沢大学 正 榎谷 浩
金沢大学 秋山 博

1. まえがき

著者らはサンドクッションを介して落石が衝突する場合の衝撃力を中心とした検討を進めるとともに、限界状態による設計のために落石の持つエネルギーの覆工への伝達率についても研究を進めてきている。しかし、落石覆工の合理的な設計法を考えていく上で落石による衝撃力と覆工との相互作用、そしてエネルギー伝達の相互関係を明らかにすることが必要と考えられる。そこで個別要素法を用いた簡単なモデル解析を行い、得られた落石とクッション材そして覆工の3者の相互作用の影響についてここでは報告する。

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みなし、各土塊は便宜上剛と仮定し、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ばねとダッシュポットによって表現することにする。この場合、土塊すなわち個々の剛要素の並進 u と回転 ϕ について運動方程式は次のように表される。

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

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

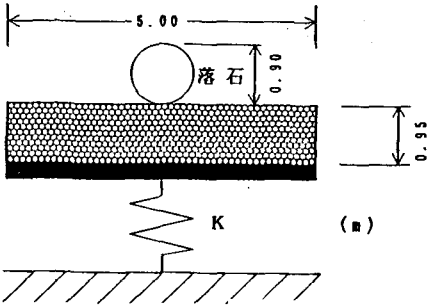
ここに、 m および J は要素の質量および慣性モーメントであり、 k および c はそれぞればね定数と減衰定数である。また r は要素の半径である。ドット(・)は時間に関する微分を表している。本解析では、時間増分 Δt により上式を差分近似し、 Δt 時間ごとに逐次計算して解いた。

図-1は解析に使用した要素配置を示したものである。上部の大きな要素は落石であり、所定の初速度をもたせて配置した。また、黒塗の要素は覆工を表す要素であり、上下方向の移動だけが可能な剛要素とした。また、クッション材の側面は作用力を受けるが変位は生じないものとした。

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

表-1 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	0.05 m	$K_n = 800.00 \text{ tf/m}$
土粒子の内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$	法線方向の減衰定数
壁面との摩擦角	$\phi = 15^\circ$	$c_n = 0.4297 \text{ tf}\cdot\text{s/m}$
重錘の半径	0.45 m	接線方向のバネ定数
重錘の重量	1.0 tf	$K_s = 200.00 \text{ tf/m}$
重錘の初速度	$v_0 = 17.14 \text{ m/s}$	接線方向のバネ定数
		$c_s = 1.0740 \text{ tf}\cdot\text{s/m}$



サンドクッション

落石覆工屋根

図-1 解析モデル

表-2 解析条件

Type 番号	Case 番号	L (m)	K (tf/m)	v (tf/m)	T (ms)
Type1	1	5.00	1.32E+08	1.000	42.80
	2	5.00	1.32E+08	1.250	47.20
	3	5.00	1.32E+08	1.500	51.24
	4	5.00	1.32E+08	2.000	58.41
Type2	1	5.00	6.11E+04	1.000	191.41
	2	5.00	6.11E+04	1.250	211.08
	3	5.00	6.11E+04	1.500	229.08
	4	5.00	6.11E+04	2.000	261.38
Type3	1	5.00	6.42E+05	1.000	59.07
	2	5.00	6.42E+05	1.250	65.14
	3	5.00	6.42E+05	1.500	70.88
	4	5.00	6.42E+05	2.000	80.88
Type4	1	5.00	6.11E+03	1.000	605.35
	2	5.00	6.11E+03	1.250	667.49
	3	5.00	6.11E+03	1.500	724.35
	4	5.00	6.11E+03	2.000	826.43

を示したものである。

また、表-2は覆工を表す底部要素の解析条件を表したものである。すなわち4種類のTypeのばね定数 k （覆工の剛性に対応）に対し、各々4種類の重量（表中の w は覆工の重量で

あり、クッション材重

量は含まない）について解析した。なお、参考のために、落石覆工とクッション材を合わせて1質点とした場合のばね系の固有周期 T も示した。これは覆工の1次固有周期に対応するものである。

3. 解析結果

図-2は、解析結果の1例として、クッション材底面が固定の場合と底面が覆工であり変位する場合（Type4, Case 1）の土圧衝撃力と重錘衝撃力波形を示したものである。ここに、土圧衝撃力とはクッション材の底面に作用する力（覆工表面に作用する力）であり、重錘衝撃力とは、重錘の質量にその加速度を乗じたものである。これより、重錘衝撃力ではほとんど両者にほとんど差異は認められないが、土圧衝撃力では底面が覆工の場合波形に変化が認められ、衝撃力が小さくなっていることがわかる。

図-3は、土圧衝撃力の最大値 P_{max} を底面が固定の場合の最大衝撃力 P_0 との比 P_{max}/P_0 として表し、土圧衝撃力の作用時間 T_0 （底面が固定の場合）と覆工の固有周期 T の比 T_0/T との関係を表したものである。これより、 T_0/T が0.5程度以上であれば荷重の最大値にはその影響は小さいが、 T_0/T が小さい場合にはクッション材と覆工の相互作用により最大荷重が少し低下することがわかる。

図-4は、動動倍率と土圧衝撃力の作用時間 T_0 （底面が固定の場合）と覆工の固有周期 T の比 T_0/T との関係を示したものである。どのCaseにおいても T_0/T の増加に伴い動動倍率が増加していることがわかる。動動倍率が小さな領域においてはクッション材と覆工の相互作用が少し現れることになるが、設計において重要となる動動倍率が1以上となる領域においては比較的影響が小さいことがわかる。

4. まとめ

以上の検討より、落石覆工の主桁の弾性挙動を考える場合においては、クッション材と覆工の相互作用の影響は小さいことが明かとなった。しかしながら、剛性の比較的低い床版上への落石や落石衝突位置付近での覆工主桁の破壊が生ずる場合には相互作用による影響が予想され、今後さらに検討の必要がある。

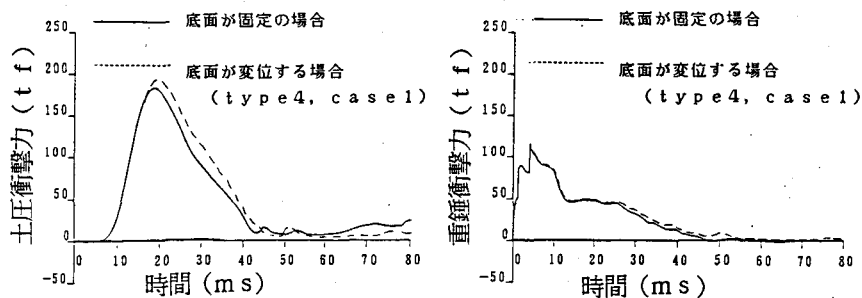


図-2 衝撃力の一例

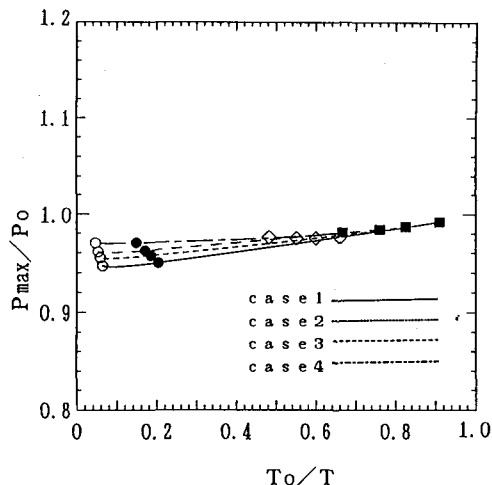


図-3 覆工の固有周期と最大衝撃力

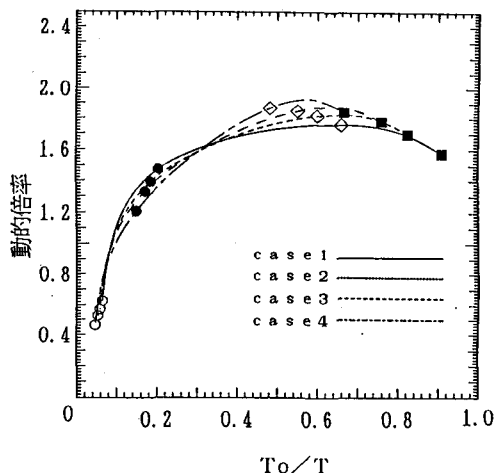


図-4 覆工の固有周期と動動倍率