

PS I-16 個別要素法による落石の衝撃特性に関する研究

金沢大学 正員 吉田 博・正員 榎谷 浩・今井 和昭

1. はじめに

道路を落石から防護するための施設として、落石覆工（以後、ロックシェッドという。）が各所で架設されている。このロックシェッドの設計のための衝撃荷重を推定するために、多くの落石実験が行われ、これに基づき、その衝撃特性を究明するために、各種の解析モデルによる推定式が提案がされてきたが^{1,2)}、そのいずれも、落石の衝撃特性を十分に説明するには至っていない。ロックシェッド上には、緩衝の目的で一般に砂が敷かれており、落石による衝撃荷重の推定には、このクッション材の緩衝メカニズムの解明が不可欠であるが、これについては、まだ十分に解明されていない。図-1は落石実験における測定重錘加速度より得られた衝撃力と、敷砂底での土圧分布を積分して得られた全土圧の時間変化の一例である。本研究では、緩衝メカニズムの解明のため、個別要素法の適用を試みた。すなわち、個別要素法を3次元に展開し、立体モデルを用いて解析を行い、衝撃特性を定量的に解明できる可能性を示唆したものである。

2. 解析方法の概要

Δt 時間における要素 i の変位増分を図-2のように仮定する。また、隣接する i, j 要素が接触する条件は、次式により判定できる。

$$r_i + r_j \geq L \quad (1)$$

そして、この条件を満たした要素間では、図-3に示す非線形ばねとダッシュボットから成るモデルにより力が伝達されるものとする。この粘弾性モデルで伝達される力は、次式のように表される。

$$\begin{aligned} F_x &= e_x + d_x \\ F_{y,z} &= e_{y,z} + d_{y,z} \\ F_h &= e_h + d_h \end{aligned} \quad (2)$$

要素 i と接触するすべての要素との力のつりあいを考慮し、運動方程式を時間増分

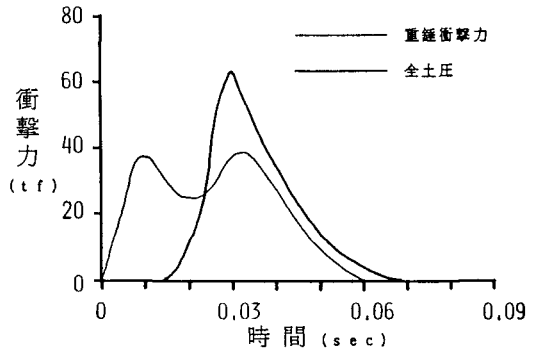


図-1 衝撃力の時間的変化

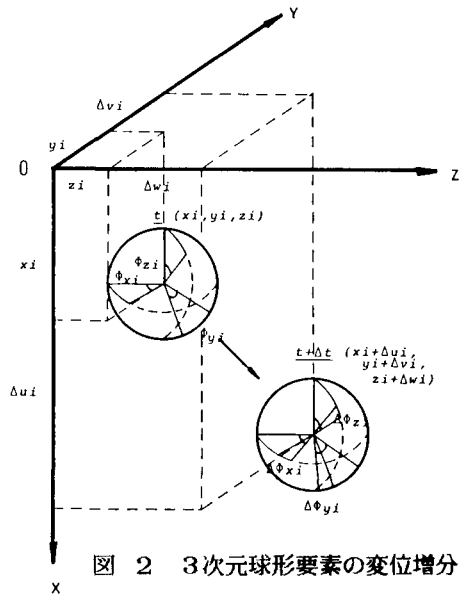


図-2 3次元球形要素の変位増分

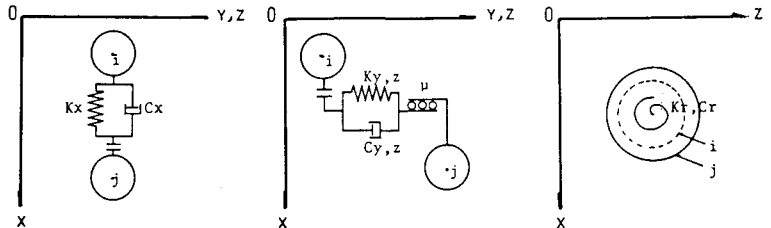


図-3 接触時の粘弾性モデル

Δt で数値積分すると、各要素の加速度、速度および変位を求めることができる。

3. 諸定数の設定

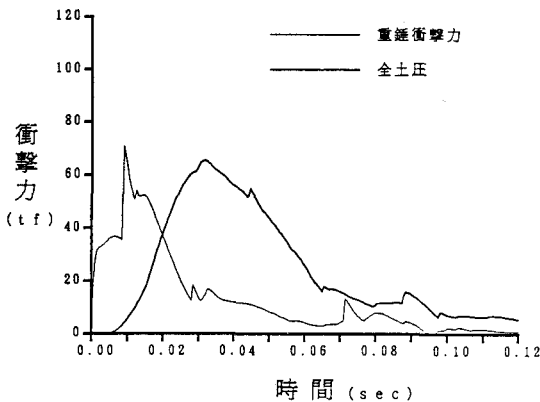
パラメトリックな解析を行った結果、法線方向のばね定数 k_n の影響が支配的であることが明らかとなったので、まず、法線方向のばね定数を決定するため、装置内に砂を充填して荷重を作用させ、荷重－変位関係を測定した。試験結果より得られた剛性－ひずみ関係より、剛性は一定ではなく、ひずみに対して比例関係にあることが認められた。そこで、ばね定数 $k_n = \alpha u_n$ と置くことにした。また、その他の計算に使用した定数は表－1 にまとめて示した。

4. 解析結果および考察

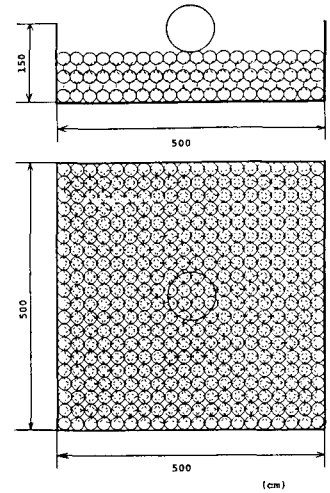
サンドクッション材のモデル化は、図－4 に示すように枠内に球形の土粒子を配列し、重錘は、図中の位置に初速度を与えて配置した。解析より得られた重錘が受ける衝撃力と、サンドクッション底面が受ける全土圧の時間的変化の結果を図－5 に示す。衝撃力、全土圧とも図－1 に示した実験結果と、波形の傾向が良く一致していることがわかる。さらに、全土圧の時間的変化では、従来のモデルでは表現できなかった立上がり時間の遅れもとらえることができた。また、図－8 に土圧分布を示す。この図より、土圧が徐々に広がり、減衰してゆく様子を視覚的に把握することができる。以上の結果より、3次元に展開した個別要素法を用いることにより、敷砂上への落石の衝撃力の緩衝メカニズムを定量的に解明できる可能性を示した。今後は、粘弾性モデルの定数の検討が必要であると考えらる。

参考文献

- 1) 園田他：第1回落石シンポジウム論文集，PP.25-35
- 2) 三上他：第2回落石シンポジウム論文集別冊



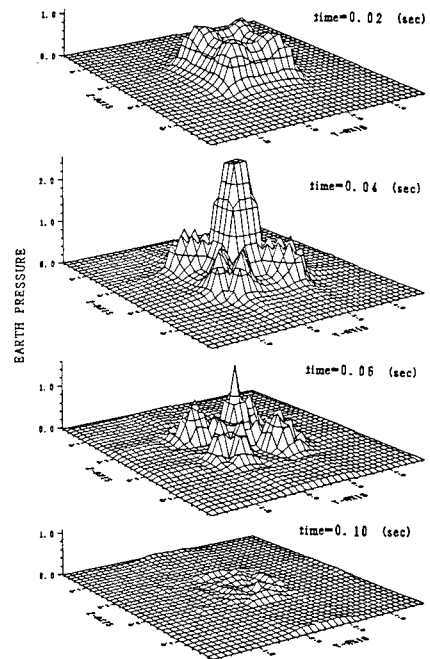
図－5 衝撃力と全土圧の時間的変化



図－4 球形土粒子の配列

表－1 使用した諸定数

土粒子の単位体積重量	; 1.8 tonf/m ³	$K_n = 48000 \cdot u_n$ (tonf/m ²)
土粒子の半径	; 1.0 tonf	$C_n = 1.0$ (tonf·s/m ²)
重錘の重量	; 0.05 m	$K_s = 3.0$ (tonf/m ²)
重錘の半径	; 0.45 m	$C_s = 0.066$ (tonf·s/m ²)
土粒子の内部摩擦角	; $\phi = 30.0^\circ$	$\mu = \tan \phi$
壁面との摩擦角	; $\phi = 15.0^\circ$	



図－6 全土圧の時間的変化