

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 ○今井 和昭・正員 榎谷 浩・正員 吉田 博

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が各所で架設されている。この落石覆工の設計のための落石荷重を推定するために、多くの落石実験が行われ、また、各種の推定式が提案されてきた。落石覆上には、緩衝の目的で一般に砂が敷かれており、その緩衝メカニズムについては、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、敷砂そこ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。これらの波形に基づき、その衝撃特性を研究するために各種のモデルが提案されてきたが^{1,2)}、そのいずれもが落石の衝撃特性を十分に説明するには至っていない。本研究では、緩衝メカニズムの解明のために、個別要素法の適用を試みた。本報告では、その第一段階として、平面モデルを用いて衝撃特性を定性的に解明できることを示す。

2. 解析方法の概要

図-2において、 i, j 要素が接触する条件は、次式により判定できる。

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \geq r_i + r_j$$

そして、この条件を満たした要素間では、図-3に示す非線型ばねとダッシュポットから成るモデルにより、作用力が伝達されるものとする。このモデルで伝達された作用力は以下の式によって表すことができる。

$$F_n = K_n u_n + C_n \dot{u}_n \quad F_s = K_s u_s + C_s \dot{u}_s \quad M = K_r r_i$$

この計算をある要素 i と接触するすべての要素について行い、それらの総和をとり、運動方程式を時間増分 Δt で差分近似すると、各要素の時間ステップ毎の加速度、速度、変位を求めることができる。

3. 諸定数の設定

本計算法では、法線方向のばね定数 k_n の影響が支配的であるので、まず、法線方向のばね定数を決定するために、図-4に示す装置内に砂を充填させて載荷し、その変位を測定した。なお、装置と砂との摩擦を低減させるために、それらの間にテフロンシートを介在させた。図-5は、試験結果より算出したばね定数 k_n と変位の関係を示したものである。これより、ばね定数 k_n は一定ではなく、変位に対して比例関係にあることが認められる。そこで k_n を次式で与えることにする。

$$k_n = A u_n$$

また、その他の定数は表-1にまとめて示した。

4. 解析結果および考察

緩衝材のモデル化は、従来の落石実験を参考に、図-6に示すように枠内に土粒子を配列し、重錘は図中の位置に初速を与えて配置し解析を行った。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変化の結果を図-7に示す。衝撃力、全土圧ともに図-1で示した実験値と、波形の傾向が良く一致していることがわかる。さらに、全土圧の時間変化では、従来のモデルでは表現できなかった立ち上がり時間の遅れもとらえることができた。

以上の結果より、個別要素法を用いることによって、敷砂上への落石の衝撃力の緩衝メカニズムを定性的にはあるが解明できた。しかし、の定量的には3次元モデルの導入が不可欠であると言える。

(参考文献) 1) 園田, 小林, 鈴木; ロックシェッドに対する落石荷重計算法, 第1回落石シンポジウム論文集, pp.25 ~ 35

2) 三上, 能町, 松岡; 落石覆工への落石による衝撃力に関する評価, 第2回落石シンポジウム論文集

3) 木山, 藤村; カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析, 土木学会論文報告集, 第333号, pp.137 ~ 146

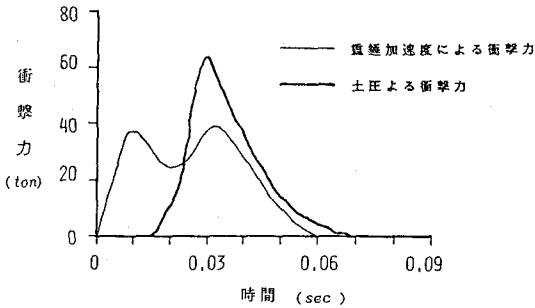


図-1 衝撃力の時間的変化

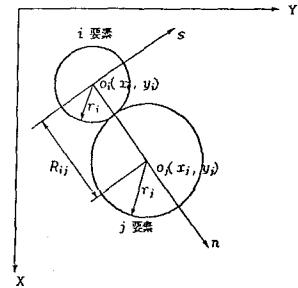


図-2 接触している2つの要素

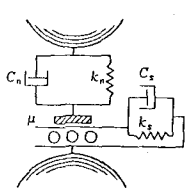


図-3 接触点における粘弾性モデル

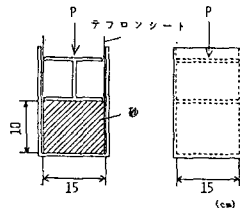


図-4 載荷試験装置

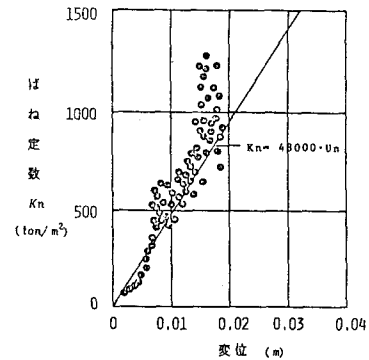


図-5 変位とばね定数

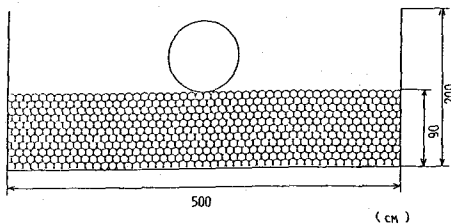


図-6 落石の解析モデル

表-1 使用した諸定数

土粒子の単位体積重量	1.8 tF/m^3	$Kn = 48000 \Delta n$ (tF/m^2)
土粒子の半径	1.0 tf	$Cn = 1.0$ ($\text{tF} \cdot \text{s/m}^2$)
重錘の重量	0.05 m	$Ks = 3.0$ (tF/m^2)
重錘の半径	0.45 m	$Cs = 0.066$ ($\text{tF} \cdot \text{s/m}^2$)
土粒子の内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$	$\mu = \tan \phi$
壁面との摩擦角	$\phi = 15^\circ$	

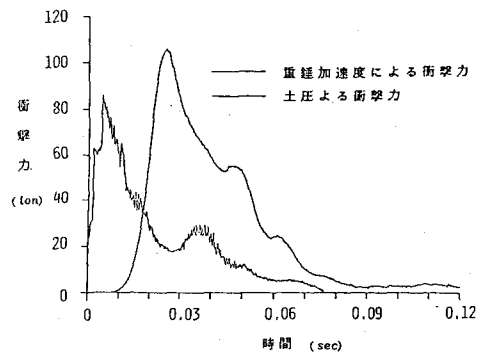


図-7 解析結果