

# ( I - 34) サンドクッションの衝撃緩衝特性に関する解析的考察

防衛大学校 学生員 ○坂本晴俊 正員 園田佳巨 正員 佐藤紘志

## 1. 緒言

これまで、落石による落石覆工への衝撃力について数多くの実験的な検討<sup>1)・2)</sup>が行われており、サンドクッションの緩衝効果は、使用する砂の状態（粒度分布、含水比、転圧状況等）により大きな相違があることが指摘されてきた。しかし、現実には砂の状態を管理することは不可能であり、使用する砂の粒度分布の調査程度しかできないものと考えられる。したがって本研究では、砂の粒度分布がサンドクッションの緩衝効果に与える影響について、個別要素法による解析的な検討を行うとともに、緩衝効果の変動範囲に関する考察を試みた。

## 2. 解析手法の概要

### (1) サンドクッションのモデル化

ここでは、図-1に示すような粒度分布の異なる2種類の砂（A砂：豊浦標準砂、B砂：君津産の砂）を用いたサンドクッションについて検討を行った。すなわち、解析モデルの粒度が図-1の分布に従うように、乱数を用いた計算により各要素の大きさを決定し、それらを重力とつりあうことを条件にしてランダムに配置した。なお、本研究では粒度分布の影響を統計的に評価するために、A砂とB砂による要素配置が異なるサンドクッションモデルをそれぞれ5ケース作成した。ただし、ここでは計算量を低減させるために、実際の砂の粒径を100倍にしたうえでモデル化している。A砂およびB砂を用いたサンドクッションの解析モデルの一例を図-2に示す。

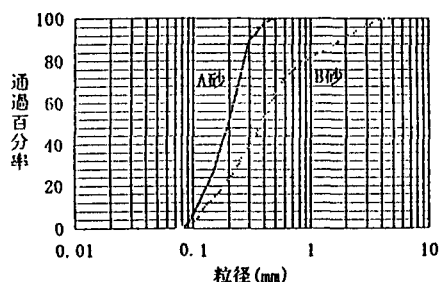
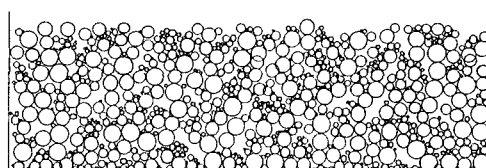
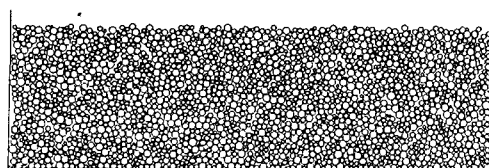


図-1 解析に用いた砂の粒度分布



(a) A砂によるサンドクッションのモデル

(b) B砂によるサンドクッションのモデル

図-2 サンドクッションの解析モデル

### (2) 衝撃応答解析手法

ここでは、図-3に示すように通常の個別要素法と同様に要素間のバネ等のモデル化を行い、2次元レベルによる衝撃応答解析を行った。なお既往の実験的研究<sup>1)</sup>では重錘衝撃力と伝達衝撃力の2種類が計測され、その大小関係が論じられてきた。ここでは、重錘衝撃力は落石要素に対する他の接触要素からの反力の和として求め、伝達衝撃力は底面の壁に接する要素への鉛直反力の和として計算した。

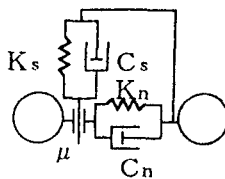


図-3 要素間のモデル化

## 3. 計算結果および考察

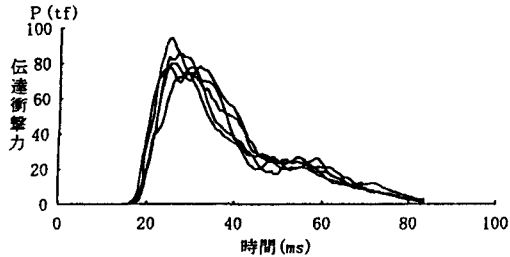
### (1) 重錘衝撃力と伝達衝撃力の比較

A砂を用いたサンドクッションに、落石が衝突したときの重錘衝撃力と伝達衝撃力の比較の一例を図-4に示す。この図より、重錘衝撃力と伝達衝撃力との発生時刻のズレは約20msであるが、荷重の継続時間はいづれもほぼ60ms程度であることが認められる。また、重錘衝撃力と伝達衝撃力の最大値を比較すると、伝達

衝撃力の方が重錘衝撃力に比べ約2倍の値を示すことが確認された。

(2) 砂の粒度分布が伝達衝撃力に与える影響

A砂とB砂による5ケースのサンドクッションに対して落石が衝突したときの伝達衝撃力を図-5に示す。最大伝達衝撃力の平均値はA砂の方が82.6tfであり、B砂の方は75.3tfであり、ややB砂の方が小さくなることが認められた。また、図-5より明らかなように、A砂の方の伝達衝撃力はB砂のそれよりもばらつきが少なく、最大衝撃力の標準偏差を比較すると、A砂は6.94でありB砂は12.03であった。したがって、粒度分布が狭いA砂の方が衝撃緩衝効果の変動の範囲は小さく、その評価は容易であることが推察される。



(a) A砂に作用する伝達衝撃力

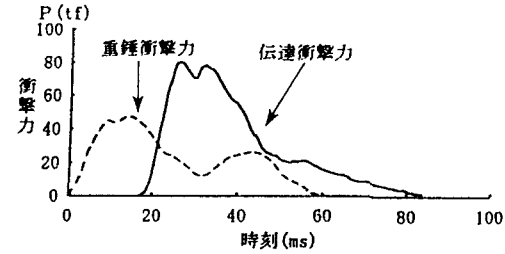
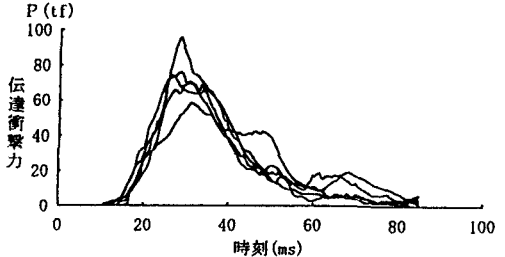


図-4 重錘衝撃力と伝達衝撃力の比較



(b) B砂に作用する伝達衝撃力

図-5 伝達衝撃力の比較

(3) 砂の間隙率が伝達衝撃力に与える影響

次に、サンドクッションの間隙率と最大伝達衝撃力との関係について検討を行った。なお、間隙率は次式により簡易に計算した値を用いた。

$$n = \frac{(V_s - \sum_{i=1}^m \pi \times r_i^2)}{V_s} \times 100(\%) \tag{1}$$

ここに、 $r_i$ ：要素  $i$  の半径、 $V_s$ ：砂槽全体の面積、 $m$ ：砂要素数

表-1は、A砂とB砂の5ケースについて間隙率を計算した結果を示したものである。この表よりA砂の場合ほぼ23～24%程度であり、B砂の場合20～30%の範囲にばらついていることが認められた。次に、A砂とB砂の全10ケースについて、間隙率と最大伝達衝撃力との関係について整理すると、図-6が得られる。この図より、間隙率と最大伝達衝撃力との間には明確な負の相関関係が認められる。したがって、砂の粒度分布から間隙率の変動範囲が把握できれば伝達衝撃力の変動範囲も推定可能であることが予測される。

4. 結論

サンドクッションの間隙率と最大伝達衝撃力の間には負の相関関係が認められた。したがって、粒度分布が狭い砂の方が間隙率の変動も小さく、衝撃緩衝効果の変動範囲も小さいことが推察された。

参考文献

1) 岸、中野、松岡、西：野外実験による数砂の緩衝性能、構造工学論文集Vol. 39A, pp. 1587～1598, 1993年 3月  
 2) 園田、佐藤、石川、太田：個別要素法によるサンドクッションの衝撃応答特性に関する基礎的考察、土木学会論文集, No. 483/I-26 1994年 1月

表-1 各砂の間隙率

|      | A砂   | B砂   |
|------|------|------|
| ケース1 | 24.3 | 28.9 |
| ケース2 | 23.8 | 26.3 |
| ケース3 | 23.4 | 26.1 |
| ケース4 | 24.6 | 29.9 |
| ケース5 | 21.7 | 20.2 |

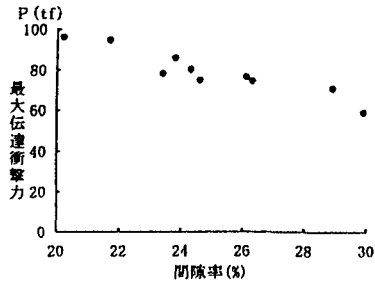


図-6 間隙率と最大伝達衝撃力との関係