

室蘭工業大学	正員	松岡 健一
室蘭工業大学	正員	岸 徳光
開発土木研究所	正員	中野 修
防衛庁	正員	安藤 智啓

1.はじめに 道路に設けられる落石覆工構造物には、通常落石等によって発生する衝撃力を吸収緩和する目的で緩衝構造が設置されている。現在、この緩衝構造としては山砂等、土砂を敷き均して用いるのが一般的である。この緩衝特性に関する実験的研究は、最近活発に行われており、落石等が敷砂に衝突するときの衝撃力(重錘衝撃力)と緩衝構造を通して覆工本体に伝達される衝撃力(伝達衝撃力)の関係が実験的に明らかにされつつある。それによれば、伝達衝撃力は重錘衝撃力より大きいことが示されている^{1),2)}。

一方、落石覆工の設計のためには、覆工本体に伝達される衝撃荷重を合理的に算定できることが望ましい。本論文では、これを数値解析的に行うことを目的として敷砂緩衝構造の緩衝特性に関する数値シミュレーションを3次元有限要素法による非線形動的応答解析プログラム DYNA3D³⁾を用いて行った。ここでは著者らが行った敷砂に関する大型実験をモデル化して重錘衝撃力や伝達衝撃力の経時変化及び伝達応力の分布性状について検討を行った。また、実験結果と解析結果を照合させて解析に用いる材料定数の同定を行い、解析の妥当性の評価も行った。

2.解析の概要 本解析に用いたモデルは平成4年8月に江別市角山にて行われた屋外実験を参考としたもので、図-1にその1/4モデルを寸法と共に示す。また重量 3tf の重錘についても 1/4 にモデル化し、緩衝構造中央に自由落下させる形で解析を行った。

本解析に用いた重錘及び砂層の物性モデル、及びパラメータは平成3年2月に建設省土木研究所で解析で用いられたものに準拠しており⁴⁾、詳細は文献5)に譲る。砂層のせん断係数式中の圧力 P は体積歪 (e) の関数として折線近似で与えなければならない。ここでは静水圧状態を仮定し、 $P = -Ee / \{3(1 - 2\nu)\}$ のように体積歪と圧力の関係を求めている。この弾性係数 E は、ポアソン比 ν とラーメ定数 λ で与えることとし、 ν を 0.45、 λ を 100, 500, 1000tf/m² の3通りに与えて解析した。さらに、実験結果と解析結果を照合することにより、解析時のラーメ定数の同定を試みた。

砂層に関する境界条件は、底面は完全拘束とし、外側面は実験において外枠を設けて砂の横方向への移動を拘束しているため、解析でも同様に横方向への移動を拘束し、縦方向の移動のみ許すこととした。また、接触が予想される砂層表面及び重錘底面にスライディング・インターフェースを定義している。重錘の初速度は、角山の実験ケースと同様に落下高さ 10m, 20m, 30m の3ケースについて解析を行っているためそれぞれ 14, 19.8, 24.2m/sec を用いている。

3.解析結果 図-2に落下高さ30mの場合の敷砂底部における伝達衝撃応力の時系列分布をラーメ定数 1000tf/m² の場合について示した。図より応力が1mの範囲に分布しており、特に中央部に応力が集中しているのがわかる。

図-3には重錘が敷砂表層に衝突した際の重錘加速度より算定される重錘衝撃力と敷砂底部に伝達された衝撃応力の総和としての伝達衝撃力の時刻歴波形を示している。ここでは 30m 落下の解析結果を取り上げ考察を行うこととした。図より伝達衝撃力の最大値は、

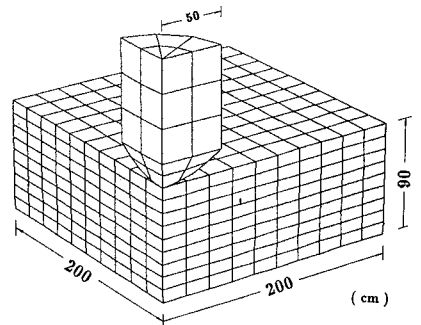


図-1 解析モデル

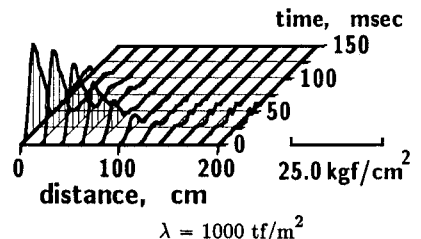


図-2 敷砂底部の伝達衝撃応力の時系列分布

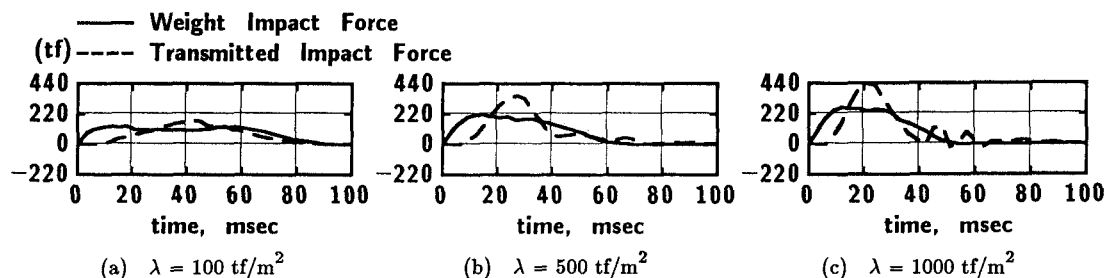


図-3 重錘衝撃力及び伝達衝撃力の時刻歴波形

ラーメ定数 100 tf/m^2 の場合を除くと重錘衝撃力のその 1.7 倍程度の応答を示していることがわかる。この傾向は過去の著者等の実験結果と良く一致している¹⁾。

図-4 は横軸に衝突速度を取り、縦軸にそれぞれ最大重錘衝撃力、最大伝達衝撃力を取って整理したものである。なお、それぞれの直線は各ラーメ定数あるいは実験結果を回帰直線で示したものである。各図において、解析結果及び実験結果とも衝突速度にほぼ比例し、衝突速度の増大とともに増加して

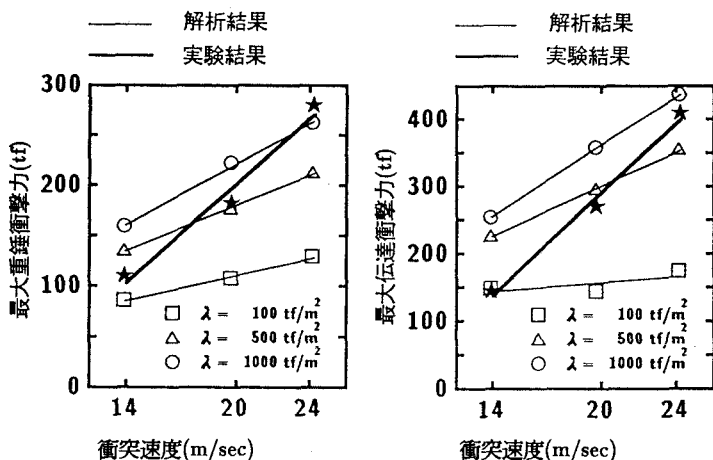


図-4 衝突速度と衝撃力の関係

いるのがわかる。また解析結果では、いずれの図においてもラーメ定数が大きい程、傾きが大きくなっているが、実験結果の傾きの方が解析結果のそれに比して大きいことがわかる。また、実験結果と解析結果を比較すれば、衝突速度が 14 m/sec の場合の実験結果は、ラーメ定数 100 tf/m^2 を用いた解析結果に、 19.8 m/sec 及び 24.2 m/sec の場合（落下高 30 m ）の実験結果は、それぞれラーメ定数 500 tf/m^2 及び 1000 tf/m^2 を用いた解析結果に近い値を示しているようである。このことから実際の敷砂は衝突速度によってかなり大きく剛性が変化しているものと考えられる。

4.まとめ 以上敷砂緩衝構造への重錘落下衝撃による衝撃応答解析を DYNA3D を用いて行った。DYNA3D を用いる場合、材料物性値や材料の構成式をどのように決定するのが問題であるが、ここでは建設省土木研究所の解析で用いられたものを採用し、砂層のラーメ定数を変化させた場合の解析を行い、敷砂の緩衝特性を検討するとともに実験結果との比較検討も行ないラーメ定数の同定を試みた。解析ケースはそれ程多くはないが、今回の研究から、DYNA3D による衝撃応答解析は、材料定数を的確に同定することにより、緩衝構造の緩衝性能に関する検討にも有効であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 岸徳光、中野修、松岡健一、西弘明：野外実験による敷砂の緩衝性能，構造工学論文集，Vol.39A，pp.1587-1598，1993.3.
- 2) 三上敬司、中野修、岸徳光、松岡健一：重錘衝撃を受ける敷砂材のラーメ定数の推定，土木学会北海道支部論文報告集，第49号，pp.205-210，平成5年2月.
- 3) J.O.Hallquist：DYNA3D User's Manual, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID-19592, Rev.4, 1988-4.
- 4) 建設省土木研究所動土質研究室：落石による衝撃力の解析業務，平成3年2月.
- 5) 安藤智啓、岸徳光、中野修、菅田紀之：DYNA3D を用いた重錘落下衝撃を受ける三層緩衝構造の衝撃応答解析，土木学会年次学術講演集，第I部，1993.9.