

砂を対象とした重錘落下衝突実験

東電設計(株) 正会員 ○山川 大貴
 東電設計(株) 正会員 落合 祐介
 東電設計(株) 正会員 小林 賢司

防衛大学校 正会員 上野 裕稔
 防衛大学校 正会員 別府 万寿博

1. 背景および目的

RC 構造物の飛来物等の衝突に対する安全性を評価する際、裏面剥離や貫通等の局所的損傷評価に対しては、飛来物の条件とコンクリートの物性等から評価式を用いて損傷が生じない最小部材厚を算定することができるが、地中構造物のように飛来物による衝突荷重が覆土を介して伝わる場合については、評価式を適用することは出来ない。

また、コンクリートの衝突問題については、衝撃解析コード(AUTODYN や LS-DYNA)を用いたシミュレーション解析による損傷評価の有効性が確認されており¹⁾、地盤材料と飛来物の衝突現象を適切に評価することができれば、地中構造物(覆土+構造物)としての損傷評価が可能になる。本研究では、地中構造物の衝撃解析手法の確立を目的として、再現解析対象となる実験データの蓄積、および地盤材料への衝突メカニズムの解明のために、砂を対象とした重錘落下実験を実施した。

2. 実験概要

重錘落下装置：本実験で使用した重錘落下実験装置は最大 25m(衝突速度 22.1m/sec)の高さから重錘を落下させることができる。

重錘(飛翔体)：質量 210.2kg の先端形状が半球形重錘を用い、所定の高さからの自由落下により実験を行った。重錘先端部の概略図を図-1 に示す。

砂箱(衝突体)：本実験では、覆土の緩衝効果を把握するため、構造物は考慮せずに、鋼製の箱の中に緩衝材料(砂)を敷きつめたものを衝突体とした。砂箱の概略図を図-2 に示す。

緩衝材料：緩衝材料には乾燥状態の珪砂 5号を使用し、相対密度が $Dr=50\%$ となるように締固めて衝突体を作成した。使用した珪砂 5号の粒度分布と拡大写真を図-3 に示す。

計測項目(圧力センサー、高速カメラ)：砂箱の底面には圧力センサー(104kHz)を図-2 に示す位置に設置し、緩衝材を介して伝わる衝撃力の時刻歴を計測した。重錘の速度および貫入量は、側方から撮影する高速カメラ

ラ(5kHz)の画像から算定した。

実験ケース：表-1 に実施ケースを示す。実験ケースは砂の層厚を 50cm, 70cm, 90cm とするケースと、重錘落下高さを 5m, 10m, 20m とするケースの組み合わせで、計 5 ケース実施した。

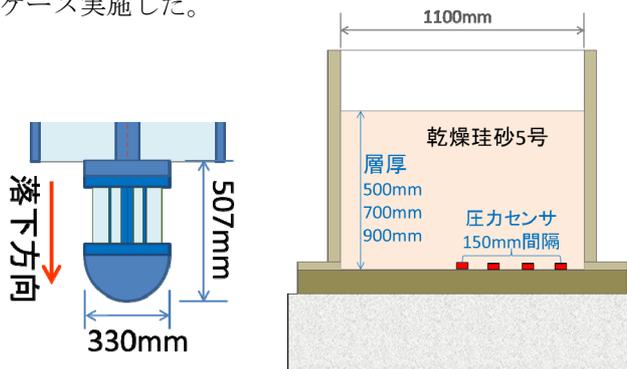


図-1 重錘先端部概略図

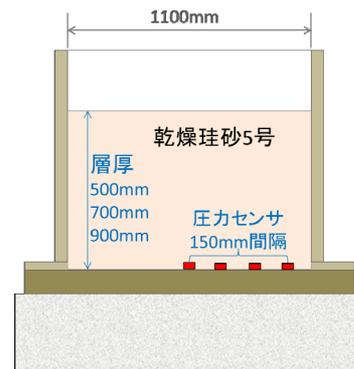


図-2 砂箱概略図(断面図)

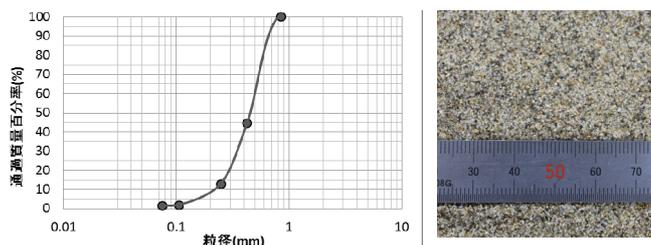


図-3 珪砂 5号の粒度分布と拡大写真

表-1 実験ケース一覧

ケース	落下高さ m	衝突速度 m/sec	砂の層厚 cm
1-1	5	9.9	70
1-2	10	14.0	50
1-3	10	14.0	70
1-4	10	14.0	90
1-5	20	19.8	70

3. 実験結果

重錘の貫入量：表-2 に各ケースの重錘貫入量を示す。衝突速度の増加に伴い貫入量が増加する結果となった。また、ケース 1-2, 3, 4 の結果より、砂の層厚による影響は確認されなかった。

底面圧力と重錘速度：図-4 にケース 1-3 での圧力センサーと重錘速度の時刻歴を示す。圧力センサーの時刻は高速カメラと同期を取っており、重錘先端が砂に接触する瞬間を 0 秒として整理した。圧力センサーの時刻歴より、明確な 2 山のピークを確認することができ

キーワード 中速度衝突、重錘落下衝撃実験、緩衝材

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 東電設計株式会社 E-mail d.yamakawa@tepsco.co.jp

る。圧力センサーのピークは、重錘速度の減速と一致しており、1山目は砂に接触して減速した瞬間に立ちあがり、2山目は重錘が停止する直前の減速に対してピークが生じていた。各センサーの値としては、中心部から離れるほど小さくなる傾向はあるが、1山目はNo. 1, 2が同程度の値となった。これはNo. 1, No. 2が重錘先端の直径330mm内にあるためと考えられる。

また、剛飛翔体とRC版との衝突現象では飛翔体が衝突して停止するまでの時間は数msec程度である²⁾が、本実験において重錘が停止するまでの時間は全てのケースで80~100msecの範囲であり、砂への貫入により重錘衝撃力が大きく低減されていることが確認できる。

中央圧力センサーの時刻歴：各ケースの中央圧力センサーの時刻歴について、図-5に重錘落下高さを変えたケース(1-1, 3, 5)、図-6に砂の層厚を変えたケース(1-2, 3, 5)を示す。圧力センサーのピーク値は1山目、2山目ともに衝突速度が大きいほど、また層厚が薄いほど大きくなる傾向を示している。1山目のピークについて、落下高さに対しては比例して増加しているが、層厚に対しては50cmと70cmの結果に大きな差が生じている。

2山目のピークについては、ケース1-2を除き1山目よりも小さい結果となっているが、これは、重錘停止時の圧力センサーまでの距離(層厚-貫入量)に大きく依存しており、層厚と貫入量の関係次第では、2山目が大きくなる可能性があることが示された。

重錘衝撃力と伝達衝撃力：ケース1-3の重錘の加速度から求めた重錘衝撃力と各センサーの圧力から求めた底面全体にかかる衝撃力(伝達衝撃力)の時刻歴の例を図-7に示す。今回の実験では全てのケースで伝達衝撃力が重錘衝撃力の1.5倍~2倍となった。これは剛な底面による反射波の影響で応力が2倍になったものと考えられ、砂の影響により伝播中の応力波が減衰する現象は明確には確認されなかった。

4. まとめ

本研究では砂を対象とした重錘落下実験を行い、実験結果より、以下の現象について確認した。

- ・重錘の衝突により砂の底面に伝わる圧力は明確な2山のピークが確認された。
- ・2山目のピークの大きさは重錘の貫入量に大きく依存するため、砂の伝達衝撃力を求める際には、重錘の貫入量を精度良く求めることが重要である。
- ・砂の緩衝効果として、応力波の大きさが減衰する効果は確認されなかったが、砂の貫入により重錘衝突時

間が長くなり、重錘衝撃力を大きく低減する効果があることを確認した。

今後は再現解析を実施し、地盤モデルの衝撃解析手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 例えば、伊東雅晴, 別府万寿博, 片山雅英: 非線形動的コンクリート構成則 CAPROUS の開発と高速衝突解析への応用, 土木学会, 第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010
- 2) 例えば、岸徳光, 三上浩, 栗橋祐介: 低速度衝撃を受ける四辺支持RC版の耐衝撃設計法に関する一提案, 構造工学論文集, Vol. 55A, pp. 1327-1338, 2009

表-2 各ケースの重錘貫入量

ケース	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
貫入量 cm	40.6	44.6	42.1	44.9	50.2

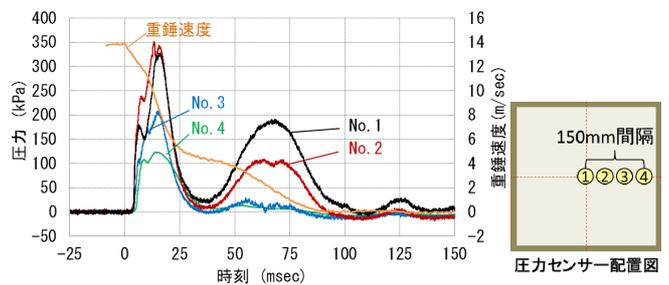


図-4 ケース1-3の圧力センサーと重錘速度の時刻歴

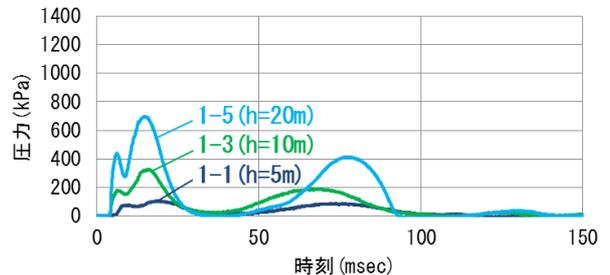


図-5 落下高さの違いによる中央圧力センサーの時刻歴

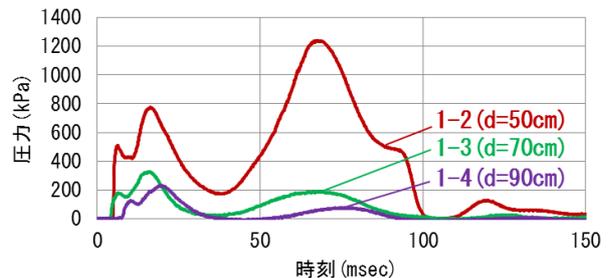


図-6 層厚の違いによる中央圧力センサーの時刻歴

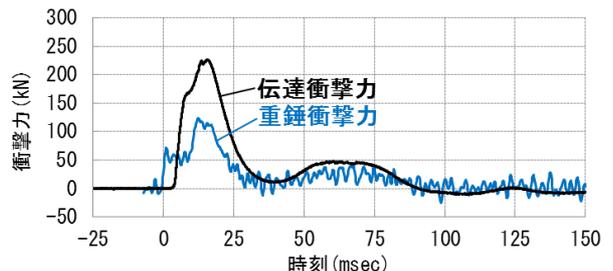


図-7 ケース1-3の重錘衝撃力と伝達衝撃力の時刻歴