

鋼製枠構造における礫中詰材の緩衝効果について

砂防鋼構造物研究会 ○大隅 久、浅井信秀

九州大学大学院工学研究院 園田 佳巨、神田幸弘

1. はじめに

写真-1に示すような鋼製枠砂防えん堤は堆積土砂の地下水位低下に有効な透水機能と地盤の変形に追従できる可撓性など、コンクリート製砂防えん堤にない特徴を有している。しかし、鋼製枠組内に小径の礫を中詰材とする独特な構造形式であるため、耐衝撃性能については明確にされていない。

本研究では、昨年度までに開発した3次元個別要素法¹⁾による動的応答解析ソフトの中詰材モデルの緩衝効果を明らかにすることを目的として、中詰材の衝撃荷重の緩衝効果に関する模型実験を行い、解析によって実験をシミュレートすることにより、その緩衝効果を表現可能な衝撃応答解析手法の開発を行った。

2. 実験

2.1 実験内容

落錘式実験装置を用いて鉄球（直径 13cm、質量 6kg）をロードセルに落下させる実験により衝撃力 - 時間関係を測定した。ロードセル上には中詰材を埋設し、中詰材としては小径（直径 2cm 程度）の礫を用いた。本実験では、衝撃力 - 時間関係に及ぼす諸要因の影響を基礎的に把握するために、ロードセル上に詰める中詰材の埋設深さ（0cm, 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm）、鋼球の落下高さ（30cm, 90cm, 150cm, 210cm）をパラメータとして、計 23 ケース（直接落下は 3 ケースのみ）の実験を行った。なお、本実験では図-1のような寸法の鋼製枠・ロードセルを用いた。

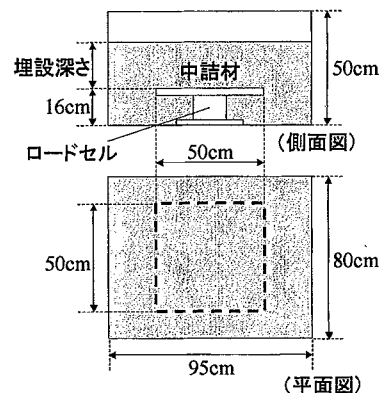


図-1 装置の寸法

2.2 実験結果

図-2に各埋設深さの最大衝撃力 - 落下高さ関係を示す。この図より、中詰材として礫を埋設した場合は直接落下の場合と比較して、衝撃力が約 90% も低減されることが分かった。また、落下高さが増加すると最大衝撃力も増加することが確認できた。図-3に落下高さを 210cm とし、埋設深さをパラメータとした衝撃力 - 時間関係を示す。この図より中詰材の埋設高さが増加すると、最大衝撃力は減少することが分かった。

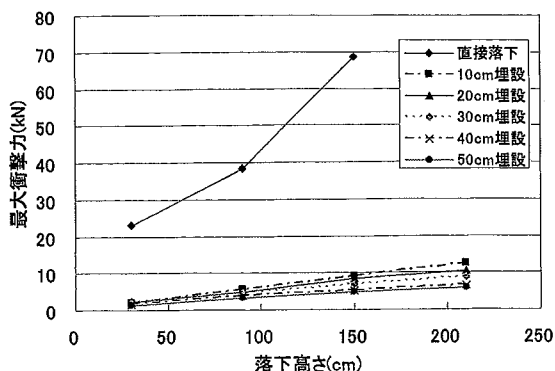


図-2 最大衝撃力 - 落下高さ関係

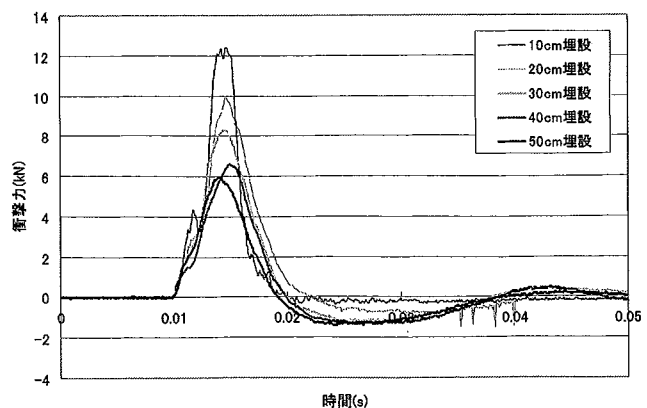


図-3 衝撃力 - 時間関係

3. 解析

3.1 シミュレーション解析の手法

解析対象は鋼製枠・中詰材・鉄球・ロードセルの4種類から構成されており、その挙動を正確に把握するためには、それぞれの力学的特性を考慮したモデル化を行う必要がある。特に中詰材は個々が独立した固体であるため、その挙動を通常の有限要素法を用いて解析することは困難である。そこで、本解析では中詰材のモデル化に適した個別要素法を用いた。また、拘束条件を考慮する必要があることから、3次元でモデル化を行った。

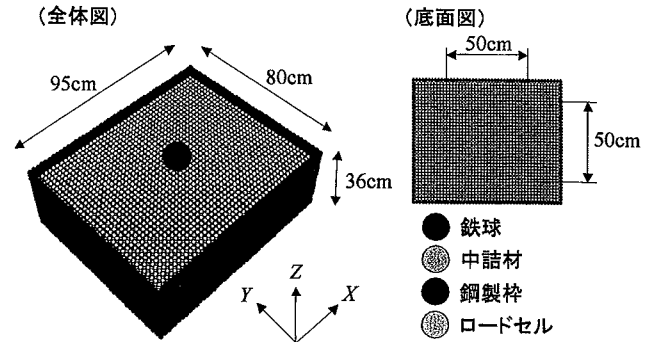


図 - 4 解析モデル

3.2 解析モデル

本解析では、図 - 4 のように球形要素で離散化した解析モデルを用いた。中詰材の埋設深さは 30cm とし、鉄球には 210cm の高さから落下させた際の衝突速度として初速 $6.4 \times 10^3 \text{ (mm/s)}$ を与えた。また、ロードセル・鋼製枠・底面の中詰材は全方向に固定し、ロードセル要素の鉛直方向作用力の総和をロードセルにかかる衝撃力として算出する。中詰材・ロードセル・鋼製枠・鉄球の材料特性は表 - 1 の通りである。



図 - 5 接触面積 (投影面積)

表 - 1 材料特性

材料	要素半径 cm	密度 g/cm ³	ヤング率 N/mm ²
礫	1.0	2.67	—
ロードセル	1.0	7.87	2.1×10^5
鋼製枠	1.0	7.87	2.1×10^5
鉄球	6.5	5.22	2.1×10^5

3.3 解析結果

厳密には中詰材相互の相対変位の非線形関数として評価する必要があるが、中詰材の衝撃緩衝効果を簡易に評価するには、図 - 5 に示すような要素の投影面積を用いることが望ましい。ここで、接触面積は過大に評価されるので式(3.1)に示すように法線方向のバネ剛性に低減係数 α を乗じて低減させる。また、本解析ではこの低減係数 α をパラメータとして解析を行い、実験と同様の緩衝効果を表現する α の算出を試みた。

$$k_n = \alpha \times \frac{\bar{E}A}{l} \quad (3.1)$$

ここに、 k_n ：法線方向バネ剛性、 α ：低減係数、 $\bar{E}$ ：ヤング率の重みつき平均、 A ：投影面積、 l ：接触要素の半径和を表す。図 - 6 に低減係数をパラメータとした衝撃力 - 時間関係を示す。ここで、求められた最大衝撃力が実験値と等しいとき同様の緩衝効果が発揮されたとし、図 - 6 より低減係数を 1000 分の 1 程度に見積もれば中詰材の緩衝効果を再現できる。低減係数を乗じた法線方向バネ剛性が非常に小さい値となる原因としては、1)現実の礫材が点接触に近いこと、2)中詰材個々が独立して非可逆的な変位を生じて衝撃エネルギーを消費する効果が存在することの2点が主たる理由であると考えられる。

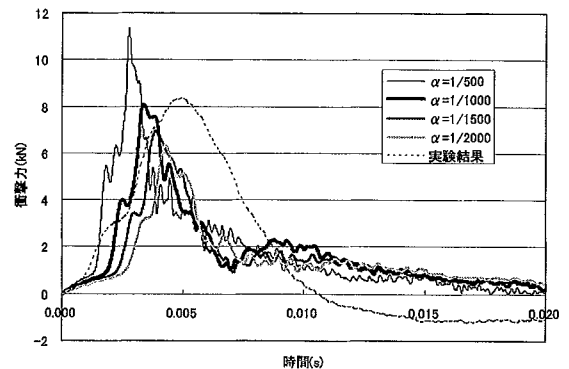


図 - 6 衝撃力 - 時間関係
(埋設深さ 30cm、落下高さ 210cm)

4. むすび

本研究では、簡易な衝撃実験により中詰材の緩衝効果を確認することができた。また、3次元個別要素法をベースとした解析により、中詰材の緩衝効果を表現する低減係数を定量的に把握することができた。

今後は、適切な中詰材モデルを用いた鋼製枠砂防えん堤の全体解析を行い、耐衝撃性能の定量的な評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 大隅久, 浅井信秀, 園田佳臣, 神田幸弘; 鋼製枠砂防えん堤の礫衝突荷重に対する保有耐力について, 平成 19 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.56-57