

5 支持フレーム付きセル型砂防ダムの衝撃挙動に関する実験的研究

防衛大学校建設環境工学科 ○香月 智 石川信隆
 (財)砂防・地すべり技術センター 松村和樹
 住友金属建材(株) 竹内大輔

1. 緒言

近年、砂防ダムの一部を開口しておき、通常時には流砂を下流に流し、土石流時には巨礫成分が開口部を閉塞することにより土石流を止めるオープン型砂防ダムが数多く建設されるようになってきた。これらのダム形式のうち、図-1に示すような支持フレーム付のセル型砂防ダムが提案され、その力学的性能について1/5スケールモデルによる実験により検討してきた¹⁾。しかし、単一のミニチュアモデル実験から実スケールの衝撃応答を推定することは相似則の問題が残る。そこで本研究は、1/2スケールモデルによる実験を行い、1/5スケールによる実験との比較により相似関係を検討し、実スケールへの適用性を検討したものである。

2. 実験概要

実験は、施設上の制約から水平方向への荷重が困難であることから、図-2に示すような鉛直型の重錘落下実験装置を用いて行った。供試体は $\phi = 267.4\text{mm}$, $t = 6.6\text{mm}$ の鋼管(STK400)を梁柱構造として溶接接合した支持フレームに、長さ2.0m、直径1.0m、肉厚4.5mm、 $(D/t = 375)$ の薄肉のSS400の鋼板セルの中にけい砂を緩く詰め、両端部を蓋で密閉したものを載せたものである。この供試体に重量10.3kNの重錘を、落下高さを変えることにより衝突速度を変えて衝突させ供試体の変形挙動等を計測した。なお、実験ケースは表-1に示すとおり、同一供試体に対して逐次に衝突速度を増しながら何度も衝突させる漸増荷重と、1つの供試体に1度だけ衝突させる単一荷重とし、衝突速度は1/5スケールモデルとの相似を考慮した落下高さとした。

3. 実験結果

図-3は、漸増荷重実験の荷重～変位関係の履歴曲線を示したものである。1回の衝突ごとに荷重時と除荷時の経路が異なる履歴ループを描き、残留変位が残っている。また、衝突する速度が大きくなるにつれて、その履歴面積は大きくなり、大きなエネルギーが消費されていることがうかがえる。図中に破線で示した包絡線は変位(重錘のめりこみ)が増加するにつれて剛性が大きくなる非線形の単調増加型の抵抗力が生じていることを示唆している。つまり、遅い速度での衝突から徐々に中詰材が締め固まることや、衝突面の変形により重錘の接触面積が大きくなることによるものと思われる。図-4は、単一荷重 ($V = 7.90\text{m/s}$) の荷重～変位関係を示したものである。これは、処女荷重のため、中詰材が緩く詰まった状態のままであり剛性が小さいため、荷重は小さいが大きな変形量によって衝突エネルギーを吸収していることがわかる。図-5は各衝突速度における最大重錘衝撃力と速度の関係を示したものである。

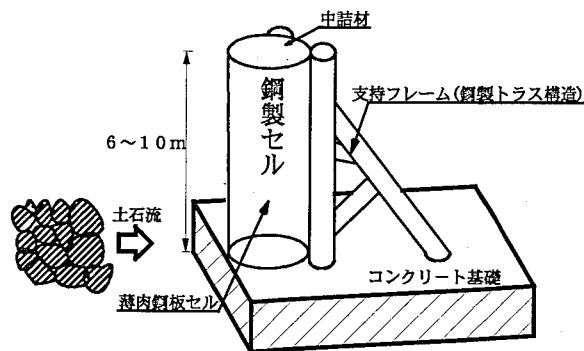


図-1 支持フレーム付鋼製セルダム

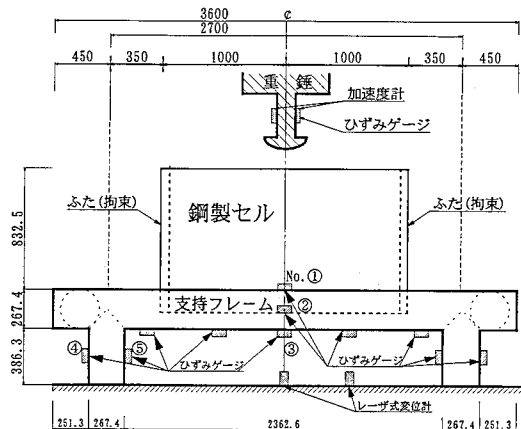


図-2 供試体計測位置

表-1 実験ケース

荷重要領	中詰材	落下高さ H (m), 衝突速度 V (m/s) (1/5 スケール相当速度)	実験回数
漸増荷重	けい砂	H	0.13, 0.50, 1.15, 2.04, 3.18, 4.58
		V	1.58, 3.16, 4.74, 6.32, 7.90, 9.48, 11.06 (1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0)
単一荷重	けい砂	H	3.18
		V	7.90 (5.0)

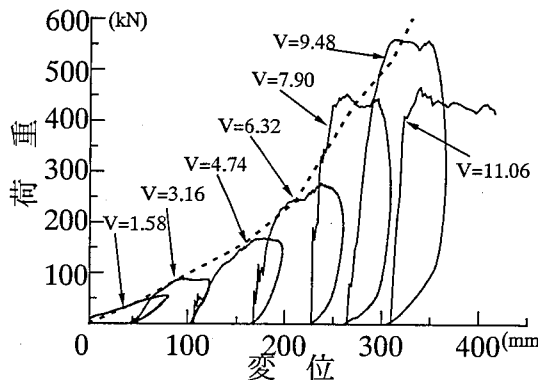


図-3 漸増荷重実験の荷重～変位関係

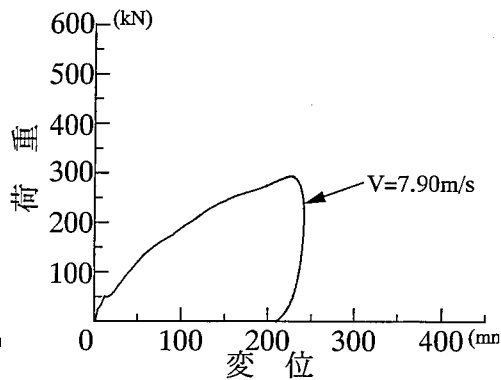


図-4 単一荷重実験の荷重～変位関係

速度の増加につれて最大重錘衝撃力が非線形的に増加していることがわかる。この結果について、落石対策便覧²⁾で用いられている衝撃力推定式を衝突速度をパラメータとして修正した次式によって最大重錘衝撃力を推定すると、 $\lambda=1000\sim 3000$ (kN/m²) の範囲で実験の傾向をよく表現していることがわかる。

$$P_w = 2.108\lambda^{2/3} W^{2/3} V^{5/3} \quad (1)$$

ここで、 P_w : 最大重錘衝撃力, λ : ラーメの定数 (kN/m²), W : 落石重量 (kN), V : 衝突時における重錘速度 (m/s)。

4. 相似則による検討

本実験による実験結果を先に行われた1/5スケールモデルにおける実験結果とともに、相似則を用いて実スケールへの適用を図る。衝撃実験における相似則にはフルード則とレプリカ則が挙げられる³⁾⁴⁾が、ここでは前者を用いることとする。このとき、支配重力加速度はモデルと実物とで同じものとする。表-2はフルード則を用いて1/2, 1/5のモデルの実験値を実物スケールに変換した場合の諸元を示す。このようにそれぞれの実験諸元に対しほぼ相似則が成り立っていることがわかる。図-6~8は、それぞれ最大重錘衝撃力、鋼製セルのへこみ量および伝達衝撃力について実スケールにおける衝突速度をパラメータとして示したものである。これらの図より、フルード則に基づく実験結果の変換値は1/2, 1/5のモデルにおいてもほぼ一致することがわかる。つまり、これらの実験結果は完全なフルード則の条件を満足しているわけではないが、得られた荷重や変形に関しては、フルード則による相似関係がほぼ成立した実験であったことがわかる。本来、中詰材の密度を調整するべきであったが、その影響が表れなかったのは、中詰材の粘性的なメカニズムが卓越していることなどの要因が考えられる。

5. 結言

本研究の成果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 漸増载荷実験による衝突荷重～変位関係の履歴によると、セル堤体の原直径の約40%程度のへこみまでは、その包絡抵抗線は減少することなく変位の増大に伴って大きくなる。すなわち、安定型の抵抗則になっている。また、この間にセル堤体の破損はない。
- 2) 最大重錘衝撃力は、落石対策便覧で用いられている衝撃力推定式を修正した式を用い、適切なラーメの定数を用いることによって概ね推定可能である。
- 3) 単一载荷実験の衝撃荷重は、漸増载荷のものよりも小さいが、セルの変位量は大きくなる。これは漸増载荷では、事前の履歴衝突によってセルの残留変形による内容積の減少および振動による締め固め効果などが複合化して、中詰材の剛性が载荷ごとに大きくなるためである。
- 4) 今回の実験を1/5スケールモデル実験と比較するとフルード則による相似性が良く成立していることがわかった。

参考文献 1) 政枝憲太郎, 香月智, 石川信隆, 竹内大輔: 砂防ダム用鋼製セル緩衝材の緩衝効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1775-1784, 2000年3月。 2) 日本道路協会: 落石対策便覧, 1983年7月。 3) 江守一郎: 模型実験の理論と応用, 技報堂出版, 1985年。 4) 坂巻勝, 伊藤康人, 大野友則: 衝撃実験に用いる供試体寸法と相似則の適用, 土木学会第40回年次学術講演会, pp.1560-1561. 平成6年9月。

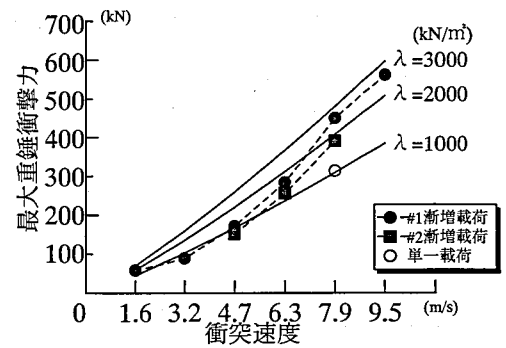


図-5 最大重錘衝撃力～衝突速度関係

表-2 フルード相似則による実寸相当パラメータ

	1/5モデル	1/2モデル
セル直径(mm)	2000	2000
セル鋼厚(mm)	8.0	9.0
重錘質量(kg)	3750	4000
セル質量(kg)	3950	11252
衝突速度(m/s)	2.23, 4.47, 6.69, 8.94, 11.18, 13.42, 15.65	2.23, 4.47, 6.69, 8.94, 11.18, 13.42, 15.65

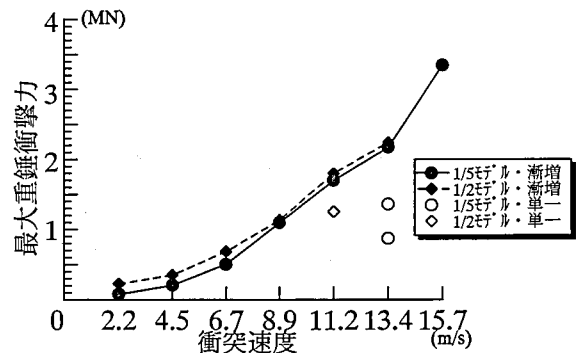


図-6 実物相当の最大重錘衝撃力～衝突速度関係

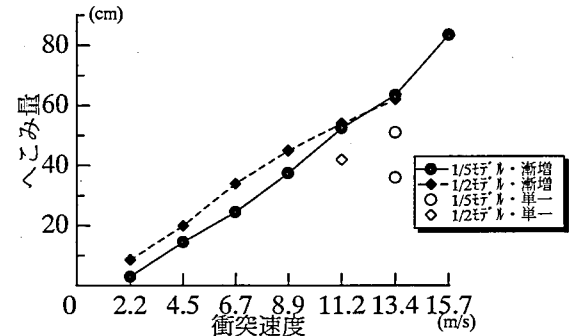


図-7 実物相当の鋼製セルのへこみ量～衝突速度関係

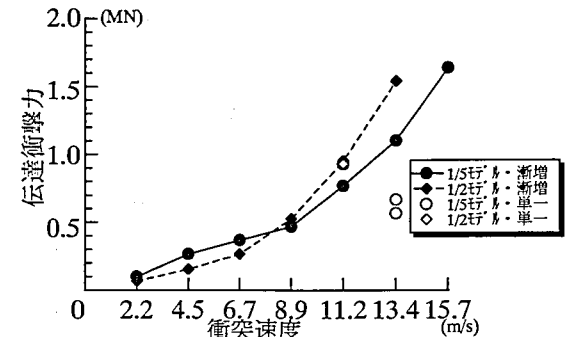


図-8 実物相当の伝達衝撃力～衝突速度関係