

(I-34) 支持フレーム付きセル型砂防ダムの衝撃挙動シミュレーション解析

防衛大学校 学生員 ○政枝憲太郎 防衛大学校 正会員 香月 智
防衛大学校 フェロー 石川 信隆 住友金属建材 正会員 竹内 大輔

1. 緒言

近年、オープン型の砂防ダムの一つとして、鋼製セル内部に現地発生土砂を詰めたセルダムとこれを支持する鋼製トラス構造を組み合わせた支持フレーム付き鋼製セル型砂防ダムが提案・開発されている。著者らは、この構造物の巨礫衝突に対する応答を 1/5 スケールモデル実験¹⁾によって調べたが、未だその衝撃応答を解析的に検討していなかった。本研究は、FEM 動的解析法により、この模型実験の衝撃挙動シミュレーション解析を試みたものである。

2. 解析モデルおよび解析法

解析対象とする実験は、高さ 960mm、直径 400mm、厚さ 1.6mm の鋼管内に粒径 1mm のケイ砂を中詰めした鋼製セル本体とこれを支える $\phi=60.5\text{mm}$ 、厚さ 2.3mm の鋼管によって作られた鋼製トラス構造物に対して、150kg の重錘を速度 1m/s および 6m/s で水平衝突させたものである。本研究では、これを図-1 に示すような骨組要素と三角形平面ひずみ弾性要素を用いてモデル化した。まずセル中詰材部分については、平面ひずみ三角形弾性要素によってモデル化した。鋼製セルの部分は、径厚比 250 の極薄肉の鋼製セルと中詰材の剛性の相互作用によって構成される。鋼製セルの抵抗力のほとんどは無視できるものと仮定し、中詰材(けい砂)の抵抗力は、図-2(a)に示すような引張り側にほとんど応力の生じないモデルとした²⁾。また、質量分布および剛性分布の基礎となる要素厚は、図-1 上に示すような離散化された厚さ分布とした。重錘は、実物と同じ長さおよび質量分布を持つ骨組軸力要素とし、支持フレームは、実物と同じ質量分布を持つ曲げモーメントと軸力に抵抗する骨組要素モデルとした。これらの要素の材料レベルの構成則は図-2(b)に示す。衝突問題の解析では、重錘衝突点の接触と離反を合理的にモデル化する必要がある。本研究では、重錘先端と鋼製セル部分の衝突点に相当する接点との間に、図-1 に示すような仮定の接触バネを設けてこれを表現するものとした。この接触バネの構成則は図-2(c)に示すようなものであり、接触バネ係数については汎用コード LS-DYNA³⁾で使用されているペナルティー係数法から決定した。

さて、衝突問題の解析においては衝突点において瞬間的に消失するエネルギーのモデル化が重要である⁴⁾。本研究では、この効果についてセル堤体部分の減衰係数を調節することにより表現することを試みた。すなわち、既往の研究⁵⁾において、砂質土では高減衰で 10~20%、通常では 5~10%を用いることを考慮して、図-3 に示すようにセル堤体全体に高減衰分布を有する場合と、衝突点近傍の局所的な要素にのみ高減衰を与えるモデルによって検討した。

3. 解析結果および考察

図-4 に衝突速度 $V=6\text{m/s}$ の場合の構造全体の変形の推移を示す。また、図-5 には、対応する時刻におけるセル部分の応力分布を示す。衝突から 10msec 後では、重錘が 2.5cm セルに凹み変形を生じさせており、この時点で衝突点から約 5cm 範囲に約 5kN/cm^2 を越える応力を発生している。40msec では、重錘はセルに 8.8cm 程度の凹み変形を生じさせており、このときセル内部の応力は衝突点で約 16kN/cm^2 、裏面には約 3kN/cm^2 となり、応力が後方にも伝達されていることがわかる。やがて重錘は跳ね返され 70msec では、重錘はセル要素から離反しセル内部の応力が減少傾向にある。

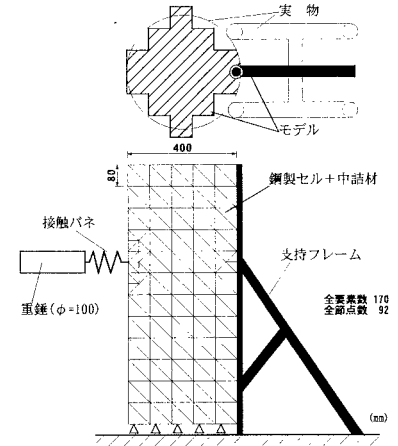
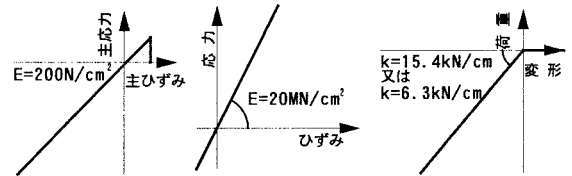


図-1 解析モデル

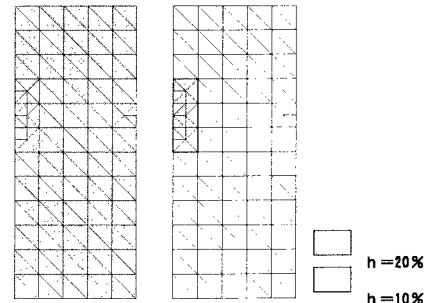
表-1 各要素の構成則値

重錘	弾性軸力要素	$h=0.02, \phi=100\text{mm}, W=150\text{kgf}$
接触バネ	弾性軸力要素	$h=0.00$
鋼製セル堤体+中詰体	三角形弾性要素 (平面ひずみ型)	$h=0.1\sim0.2, \nu=0.3$ $t=175\sim525\text{cm}$
支持フレーム	弾性骨組型軸力と曲げ要素	$h=0.02, A=8.4\text{cm}^2, I=35.6\text{cm}^4$



(a) セル+中詰材 (b) 重錘・支持フレーム (c) 接触バネ

図-2 各要素の構成則



(a) 全体高減衰 (b) 局部高減衰

図-3 減衰分布モデル

キーワード: セル型砂防ダム, 衝撃挙動, シミュレーション解析

連絡先: 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 土木工学科 TEL 0468-41-3811(3518), FAX 0468-44-5913

図-6 に重錘加速度～時間関係を示す。 $V_0=1\text{m/s}$ では実験では2Gしか発生しないのに対して解析ではどちらのケースも約3.5Gの最大加速度が生じており、あまり良い一致はしない。 $V_0=6\text{m/s}$ の場合には興味深いことに同一条件の2回の実験結果が異なる波形を示しており、それぞれに対して全体高減衰モデルと衝突局部高減衰モデルが良い一致を示している。図-7には、重錘加速度から得られた衝突点での荷重～変位関係を示す。荷重の大きさについては、図-6 の場合と同様の傾向を示しているが、最大変位量については解析値の方が実験値よりも若干小さくなる傾向が見られる。図-8 には支持フレームの斜材に生じたひずみの時刻歴応答を示す。図-8(a)の $V_0=1\text{m/s}$ の解析では、減衰分布モデルの違いによる差はなく、両者とも約 40μ の最大ひずみで実験値を良くシミュレートしている。一方、図-8(b)の $V_0=6\text{m/s}$ の場合には2回の実験の最大ひずみは 240μ と 270μ で約10%ほど差がある。これに対し両解析モデルとも実験値を良くシミュレートしている。以上、図-6～8を比較概観すると、衝突点の荷重応答に減衰モデルは非常に大きな影響を及ぼし、実際の実験でもばらつきが大きい。これに対し、伝達された荷重を支える支持フレームの応答では、減衰モデルの影響も小さく実際の実験でも前面の応答に比較して2回の実験結果はほぼ安定した応答を示すことがわかる。

4. 結 言

本研究の成果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 本衝突実験では衝突局部の衝撃力に大きな影響を及ぼすので、セル中詰材要素の減衰係数の与え方に注意する必要があることが示された。
- (2) 中速度の 6m/s では実験結果を良く表現できるが、低速度の 1m/s では要素の剛性が大きすぎたためあまりよく一致しなかった。これは、実験において当初セル中詰材要素の空隙による影響が生じていると思われる。
- (3) 支持フレームのひずみ応答は、衝突部の影響が小さく、減衰係数にかかわらず比較的安定した結果を得た。

参考文献

- 1) 政枝ら: 支持フレーム付きセル型砂防ダムの衝撃挙動と相似則に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.47A, 2001年3月
- 2) 伊藤ら: 水平衝撃実験と砂中詰材の動的変形特性と個別要素解析, 土木学会論文集, No.591, I-43, pp.351-364, 1998年4月。
- 3) 日本総合研究所: LS-DYNA Version940 使用の手引き, 1998年10月
- 4) 鈴木ら: 鋼球のコンクリート供試体への振り子衝突実験による局部損失エネルギーとその評価モデルに関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.543, I-36, pp.91-105, 1996年7月。
- 5) 土質工学会編: 土と構造物の動的相互作用, pp248-249, 1980年。

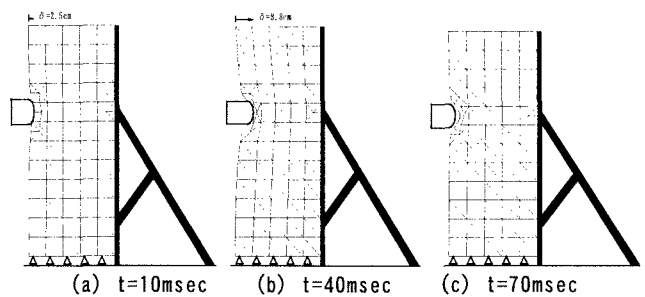


図-4 セル部分の変形図 ($V_0=6\text{m/s}$)

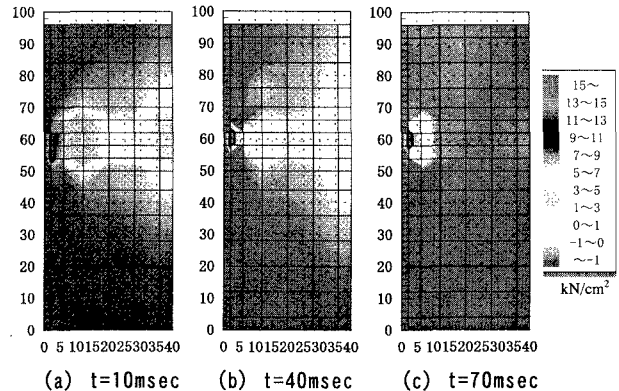


図-5 セル部分の応力分布 (全体減衰 $V_0=6\text{m/s}$)

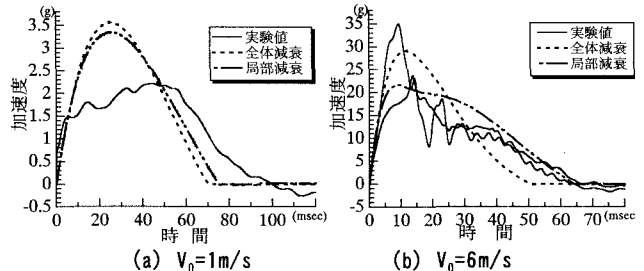


図-6 重錘衝撃力の時刻歴応答

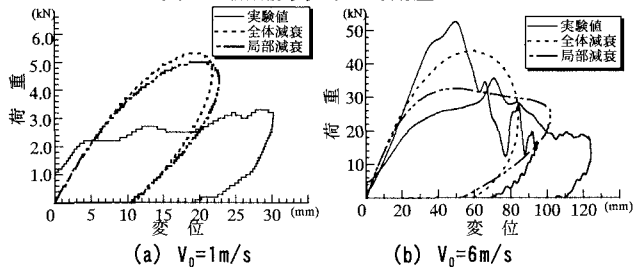


図-7 重錘の荷重～変位関係

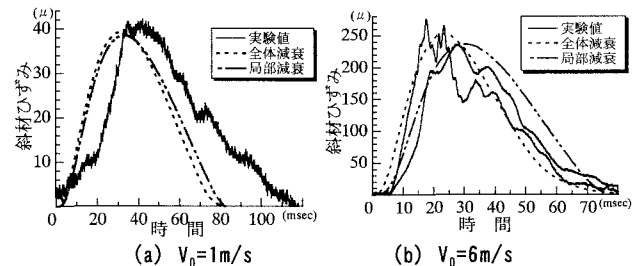


図-8 支持フレームのひずみ応答