

防衛大学校 学生員 ○坊原尚記 防衛大学校 学生員 政枝憲太郎
防衛大学校 正 員 香月 智 防衛大学校 フェロー 石川 信隆

1. 緒 言

最近、土石流中の巨礫衝突に対して緩衝鋼管セルで抵抗させ、後続流の流体圧にはトラス構造の砂防ダム本体で抵抗させようとする、いわゆる“中詰鋼管セルを有する砂防ダム”が開発され、検討段階にある。本研究は、別途行われた“中詰鋼管セルを有する砂防ダム”の 1/5 スケールモデルに対する衝突実験結果¹⁾を FEM モデルを用いてシミュレーション解析すること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¹⁾は、高さ 100cm、直径 40cm、厚さ 1.6mm の鋼管内にケイ砂を中詰めした緩衝鋼管セルとこれを支える $\phi=60.5$ mm、厚さ 3mm の鋼管によって作られたトラス構造に対して、150kg の重錘を速度 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モデルによってモデル化した。まず中詰鋼管セル部分については、平面ひずみ三角形弾性要素によってモデル化した。本来、砂質材については、その弾塑性応答をモデル化することが大切であるが、伊藤ら²⁾の研究では弾性モデルでも近似的にその衝撃応答をシミュレーション可能とされたので、その研究を参考に表-1 に示す弾性係数を与えた。重錘要素については実験に使用した重錘の材料と形状をもとに 150kg の質量をもつ弾性軸力要素とした。重錘の $P \sim \delta$ の関係を図-2(a) に示す。砂防本体のトラス部分については、実験供試体の諸元に基づいて、軸力と曲げモーメントに抵抗する骨組要素モデルとし、表-1 に示す諸元を与えた。さて、重錘がセル本体に衝突すると、その接触点では接触面積の増減やセルの変形に伴う圧力分布の変化など複雑な機構によって力が伝達される。特に、離反時には力の伝達が行なわれなくなる。このような複雑なメカニズムの詳細は別途に解明される必要があるが、ここでは、この力の伝達のメカニズムを簡略化して表すために、図-2(b) に示すように引っ張り領域では抵抗力を発揮せず、圧力領域で 2 段階線形応答する弾塑性モデルによってモデル化した。

解析は重錘の先端および後端に衝突初速度 $V=6$ m/s を与えた後に、外力を零とする自由運動系を、ウィルソンの θ 法、($\theta=1.37$)を用いて解析した。なお、減衰マトリックスはレイリー減衰公式において質量係数を 0、剛性マトリックス側の係数を 5×10^{-3} として解いた。

キーワード：中詰材、砂防ダム、緩衝効果、衝撃荷重、鋼製セル緩衝材

連絡先：〒239-8686 神奈川県横浜市中区水 1-10-20 防衛大学校 土木工学科 TEL 0468-41-3811(3518), FAX 0468-44-5913

表-1 要素の構成則パラメータ

構成	要素モデル	構成則値
中詰材 (緩衝セル部)	三角形弾性 平面ひずみ 要素	$E=300 \text{ N/cm}^2$ $\nu=0.3$ $\rho=1.5 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ $t=31.4 \text{ cm}$
重錘	弾性軸力要素	$k=1.6 \times 10^5 \text{ k N/cm}$ $W=150 \text{ kg}$
接触バネ	弾塑性軸力要素	$k_1=16 \text{ kN/cm}$ $k_2=3.9 \text{ kN/cm}$ $P_y=-23.5 \text{ k N}$ $W=1.9 \times 10^{-6} \text{ kg}$
砂防本体トラス	軸力と曲げ要素 弾性骨組み	$E=2.1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ $A=8.4 \text{ cm}^2$ $I=36 \text{ cm}^4$ $w=6.4 \times 10^{-4} \text{ N/cm}$

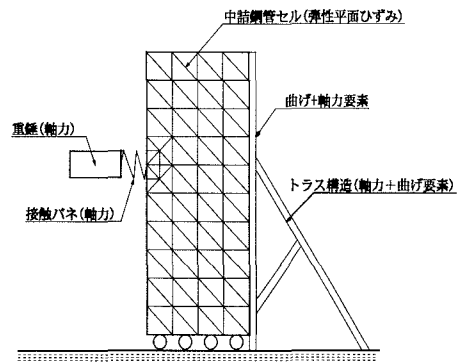
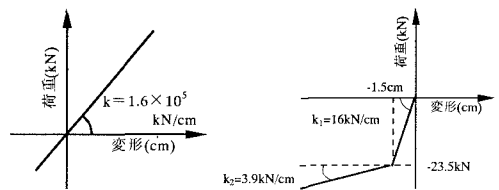


図-1 解析モデル



(a) 重錘

(b) 接触バネ

図-2 重錘および接触バネの荷重～変形関係

3. 解析結果および考察

図-3 に解析によって得られた変形の時刻歴応答を示す。 $t=10\text{msec}$ の衝突直後にはわずかに重錘がセルにめり込むような変形をしているが、 $t=40\text{msec}$ では重錘先端が約 10cm (セル初期直径の 25%) ほどめり込んだようになっている。これは、写真-1 に示す実験の変形状況とよく似たものとなっている。その後、重錘は跳ね返されるように戻り始め、 $t=70\text{msec}$ では、重錘は元の位置からさらに後方に跳ね返されている。またこの間におけるトラス本体の変形は、ほとんど確認できないほど小さくトラス本体の剛性が緩衝セルに比して大きいことがわかる。図-4 には、緩衝セル内部の応力分布を示す。 $t=10\text{msec}$ で衝突局部に集中して発生した応力は後方に伝達されて、 $t=40\text{msec}$ ではほぼ真後ろに伸びた水平の力の伝達経路が形成されている。その後、 $t=70\text{msec}$ ではセル内部の応力がすべて開放されていることがわかる。図-5 には、重錘の加速度から求めた重錘衝突力～時間関係を 2 回の実験結果と比較している。2 回の実験の最大衝撃力は 30kN と 50kN と大きなばらつきがあるが、 10msec 以降の低減過程はよく一致している。これに対して、解析結果は最大衝撃力が 30kN と実験値と概ね良い一致を示すが、その最大値の発生時刻が 30msec と実験とは異なったものとなっている。これは、セル中詰材を弾性と仮定したことや、衝突局部のモデリングの問題など今後の検討が必要である。図-6 には、トラス斜材に発生する軸ひずみの応答を実験結果と比較している。解析結果は実験結果とよく一致しており、実験結果を良くシミュレート出来ている。

4. 結 言

本研究の成果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 中詰鋼管セルを有する砂防ダム为重錘衝突モデル実験を有限要素モデルによって解析した。その際、重錘の接触、離反を表すために接触パネモデルを導入した。
- (2) 解析によると、緩衝セル内部で衝突点局部から直後方に向かって伸びる伝達経路が形成され、砂防ダム本体に衝撃力を伝達することがわかった。
- (3) 導入した接触パネについては、その構成則について今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 政枝ら：中詰鋼管セルを有する砂防ダムの衝撃実験，平成 11 年度土木学会関東支部技術研究発表会概要集，2000 年 3 月。
- 2) 伊藤一雄ら：締め固め効果を考慮した礫中詰材のせん断抵抗推定法と砂防ダム設計への応用，土木学会論文集，No. 570/1-40, pp.187~201, 1997 年 7 月。

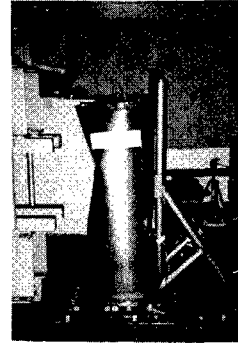


写真-1 セルの変形状況

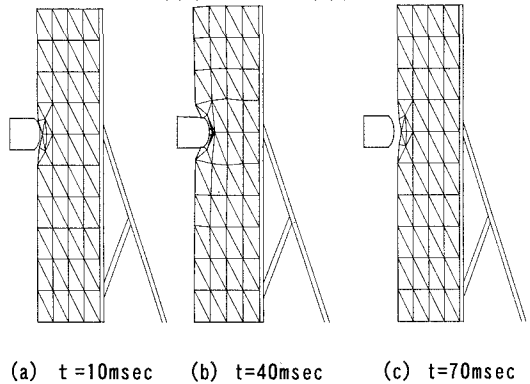


図-3 変形図

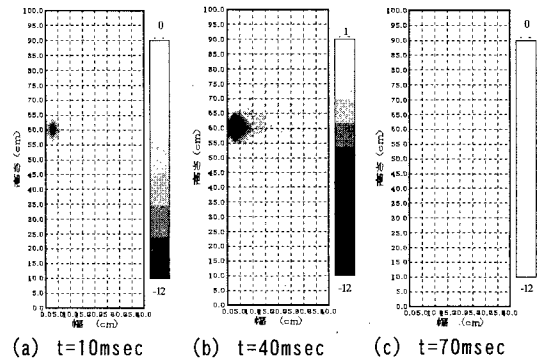


図-4 緩衝セルの応力分布

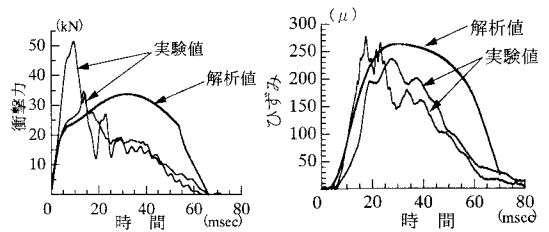


図-5 重錘衝突力の時刻歴

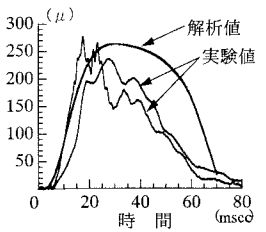


図-6 トラス斜材のひずみ応答時刻歴