

1 緒 言

流水面積を大きくするために、従来の鋼製セルを小型化し、失われた自重抵抗力を補足するために、トラス構造の支持フレームを持つ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 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鋼製セルとこれを支持する $\phi=60.5\text{mm}$ 、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。まず鋼製セル部分については、平面ひずみ三角形弾塑性要素によってモデル化した。ここで、中詰材については、伊藤ら²⁾の研究をもとに砂要素を仮想弾塑性体として、表-1 に示す係数を与えた。重錘および本体トラス構造要素については実験に使用した部材の材料と形状をもとに弾性軸力要素とした。これらの荷重～変位の関係を図-2(a)に示す。トラス構造の部分については、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、重錘が鋼製セルに衝突すると、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)に示すように引張領域で抵抗力を発揮せず、圧縮領域では 2 段階線形応答で、かつ、ある変形以上で耐力が 0 となるような弾塑性モデルとした。また、鋼製セルについては、図-2(c)に示す弾塑性型砂要素モデルとして与えた。解析は重錘の先端および後端に衝突初速度 $V=6\text{m/s}$ 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。

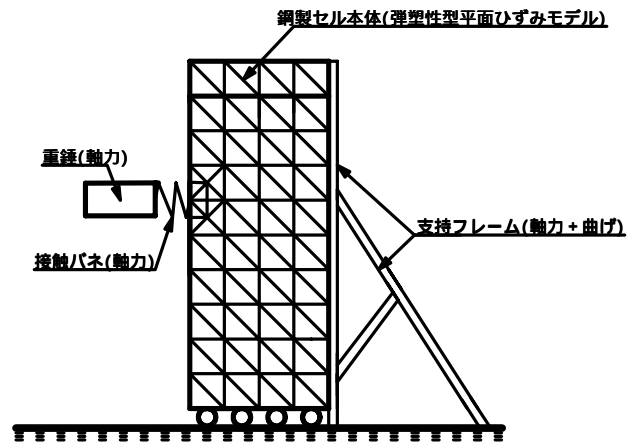
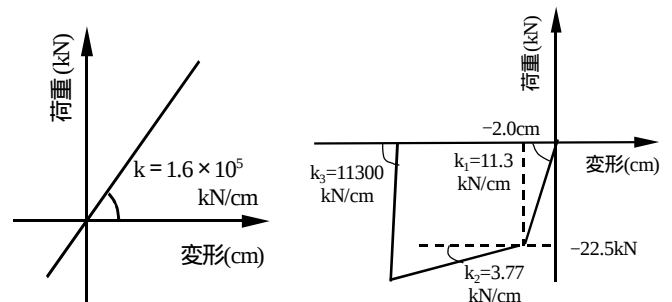


図-1 解析モデル

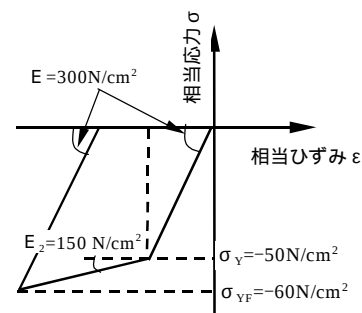
表-1 要素の構成則値

構成	要素モデル	構成則値
鋼製セル	三角形弾塑性型平面ひずみ要素	$E=150\text{ N/cm}^2$ $\nu=0.3$ $\rho=1.5 \times 10^{-6}\text{ kg/cm}^3$ $t=31.4\text{cm}$
重錘	弾性軸力要素	$k=1.6 \times 10^5\text{ kN/cm}$ $W=150\text{kgf}$
接触パネ	弾塑性軸力要素	$k_1=11.3\text{ kN/cm}$ $k_2=3.77\text{ kN/cm}$ $P_y=-22.5\text{kN}$ $W=1.9 \times 10^{-6}\text{kg}$
トラス構造物	弾性骨組型軸力と曲げ要素	$E=2.1 \times 10^7\text{ N/cm}^2$ $A=8.4\text{ cm}^2$ $I=36\text{ cm}^4$ $w=6.4 \times 10^{-4}\text{ N/cm}$



(a) 重錘およびトラス構造

(b) 接触パネ



(c) 鋼製セル

図-2 各要素の構成則

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 12cm (セル初期直径の 30%) 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支持フレームの剛性が鋼製セルに比して大きいことがわかる。図-4 には、鋼製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 25msec と実験とは異なったものとなっている。これは、鋼製セルの分割法や、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、トラス斜材部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、以下ようになる。

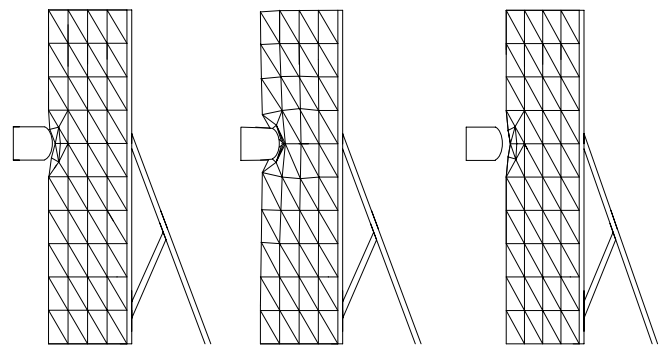
- (1) 鋼製セル緩衝材を有する砂防ダムの重錘衝突モデル実験を有限要素モデルによって解析した。その際、重錘の接触、離反を表すために接触バネモデルを導入した。
- (2) 解析によると、緩衝セル内部で衝突点局部から直後方に向かって伸びる伝達経路が形成され、砂防ダム本体に衝撃力を伝達することがわかった。
- (3) 導入した接触バネについては、その構成則について今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 政枝ら: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, 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力推定法と砂防ダム設計への応用, 土木学会論文集, No.570/I-40, pp.187~201, 1997年7月。

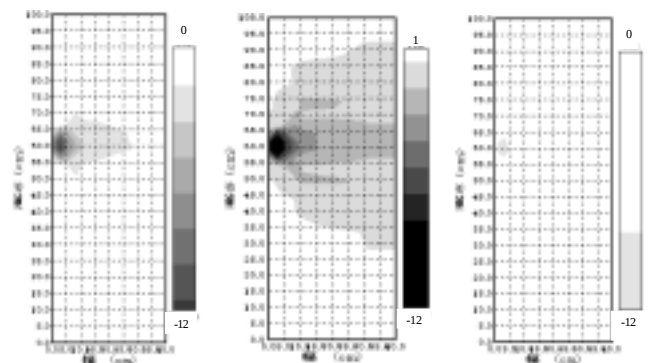


写真-1 鋼製セルの変形状況



(a) $t=10\text{msec}$ (b) $t=40\text{msec}$ (c) $t=70\text{msec}$

図-3 鋼製セルの変形図



(a) $t=10\text{msec}$ (b) $t=40\text{msec}$ (c) $t=70\text{msec}$

図-4 鋼製セルの応力分布

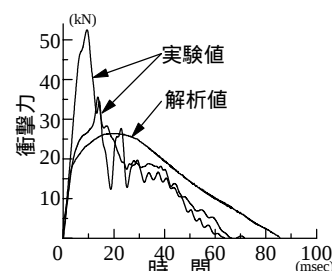


図-5 重錘衝撃力の
応答時刻歴

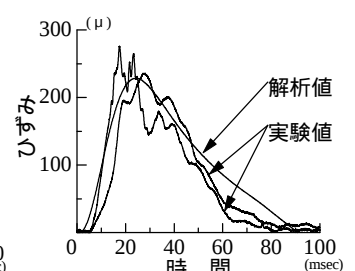


図-6 トラス斜材部の
ひずみ応答