

I-325 鋼管円弧固定アーチの衝撃応答解析 に関する一考察

防衛大学校土木工学教室	学生員	○星川辰雄
同上	正員	石川信隆
同上	正員	香月 智
住友金属工業（株）	正員	飯田 毅

1. 緒言 近年、砂防ダムの分野では、従来のコンクリートダムに対し、急速施工・補修の容易さ等の観点から鋼製砂防ダムが注目され、実用化の機運にある¹⁾。このため、アーチ型鋼製砂防構造物も考案され、検討されつつあるが、土石流中の巨礫が衝突した際のアーチ構造物の耐衝撃性について未だ不明な点が多く、設計法も確立されていない。先に著者ら²⁾はアーチ型鋼製砂防構造物の耐衝撃設計法を確立することを目的として、鋼管円弧固定アーチに対する落錘式衝突実験を行い、その衝撃吸収エネルギーを実験的に求めた。本報告では、これをさらに理論的に解明するため、鋼管円弧アーチと重錘の衝突現象を簡単な2質点系モデルに置き換え、これを数値的に解いて衝撃荷重と衝突点変位を求め、衝撃吸収エネルギーを算定した。また、これらを実験値と比較することにより、本解析法の妥当性について検討した。

2. 解析方法 本解析では、図-1(a)に示すような重錘とアーチ構造物の衝突現象を図-1(b)に示すように局部変形を考慮した2質点系モデルに置き換えた。実験においては载荷治具を用いたため、アーチと载荷治具とを一体化したものと仮定し、これを質点1に置き換え、また重錘を質点2に置き換えた。図-1(c)の力のつり合いより重錘とアーチの運動方程式は次のようになる。

$$M_2 \ddot{y}_2 = M_2 g - C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - P \quad (1a)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 = C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + P - C_1 \dot{y}_1 - Q \quad (1b)$$

ここにPは、衝撃荷重を示し、次式で与えられるものとした。

$$P = k_2 (y_2 - y_1) \quad (\text{ただし } P \geq 0) \quad (2)$$

またQは復元力を示し、これは静的载荷実験よりえられた $P \sim \delta$ 関係を図-2のように線形化したものを用いた。ここで、 M , y , $\dot{y}$, $\ddot{y}$ はそれぞれ質量、変位、変位速度、変位加速度を、添字1, 2はそれぞれアーチおよび重錘を示す。また k_1 , C_1 はそれぞれアーチのばね定数と減衰定数を示し、 k_2 , C_2 はそれぞれ局部変形のばね定数と減衰定数を示す。 k_2 は静的局部めり込み実験の勾配より求めた。 C_1 は臨界減衰定数 $C_{cr1} (= 2 \sqrt{m_1 k_1})$ に減衰係数を $h = 0.03$ と仮定してこれに乗じたもの($C_1 = h \cdot C_{cr1}$)を用いた。 C_2 はアーチの衝撃応答実験のうち重錘の変位～時間曲線から求めた。本解析では上述の基本式とRunge-Kutta法を用いて数値計算を行った。

3. 解析結果と実験結果との比較・検討

(1)荷重～時間曲線 図-3は、計算からえられた荷重～時間曲線($P \sim t$ 曲線)と実験結果とを比較し

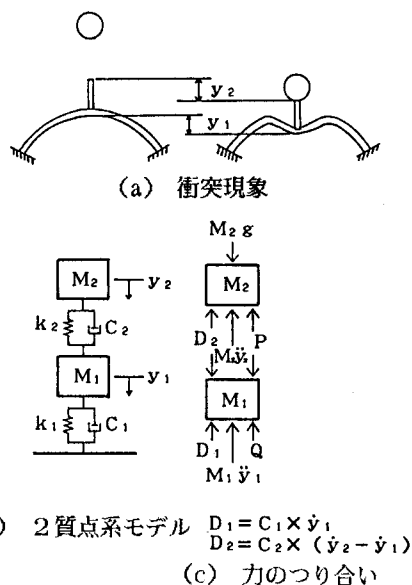


図-1 衝突現象のモデル化

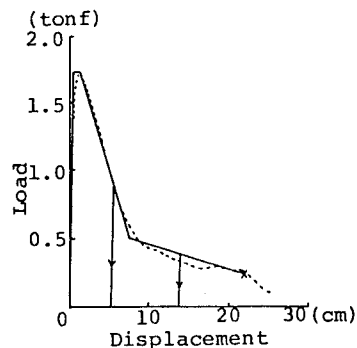


図-2 復元力特性の線形化

て図示した一例であり、図より $P \sim t$ 曲線の計算結果は実験結果と同様に第1波、第2波のようなピーク値を持ち、その波形も細かい振動を除けば実験結果をよくシミュレートしていることが認められる。第1波で発生しているシャープな波形は、アーチの全体応答によるものではなく、衝突直後の局所的な応答によるものと考えられる。また計算結果は、局部応答による荷重の振動が落ち着いた後の荷重値をやや小さく評価している。これは、解析ではひずみ速度の影響を考慮していないためと考えられる。

(2) 荷重点変位～時間関係 図-4は、計算から求めた荷重点変位～時間曲線（ $\delta \sim t$ 曲線）と実験結果とを比較して図示した一例であり、計算結果は実験結果をよくシミュレートしていることが認められる。しかし、計算結果は実験結果より大きな変位を与えている。これは本解析においてはひずみ速度の影響を考慮していないため復元力を過小に評価していると考えられ、与えられたエネルギーに対し変位が大きく発生したためと考えられる。

(3) 荷重～荷重点変位関係 図-5は、計算からえられた $P \sim t$ 曲線および $\delta \sim t$ 曲線から時間軸を消去して作成した荷重～荷重点変位関係であり、実験結果と比較している。図より計算結果は実験結果をよくシミュレートしていることが認められる。

(4) 衝撃吸収エネルギー 衝撃吸収エネルギーは $P \sim \delta$ 曲線において最大変位に達するまでの外力仕事量として求めた。図-6は計算からえられた衝撃吸収エネルギーと実験結果とを比較して図示したものである。図より、荷重速度が遅い範囲内（ $V=4.0\text{m/s}$ 以下）では両者はよく一致しているが、荷重速度が速くなると両者の差は大きくなることが認められる。特に重錘重量 100kgf 、荷重速度 6.0m/s のケースにおいて実験ではアーチは破断しなかったのに対し、計算においてアーチは破断した結果がえられた。これは、限界状態に達するに従い、解析上の復元力を過小に評価しているため、実験結果と計算結果との間に差異が生じたためと考えられる。すなわち、ひずみ速度の影響等を考慮すれば、さらによく一致するものと考えられる。

4. 結論 本研究では、衝突により生じるアーチの衝撃荷重およびアーチの応答を2質点系モデルを用いて解析することができた。またこれを用いて衝撃吸収エネルギーが算定できることを示した。しかし、局所変形のメカニズムおよびアーチの全体的な変形状態については本解析では解明できないので、今後は多質点系モデルを用いた解析を行っていく予定である。最後に、本研究を行うにあたり柚山昌秀氏の御協力を得たことを付記し、謝意を表します。

参考文献 1) 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧，1985.11

2) 星川，柚山，石川，飯田：鋼管円弧固定アーチの衝撃実験に関する一考察，土木学会第16回関東支部技術研究発表会講演概要集，pp.30～31，平成元年3月

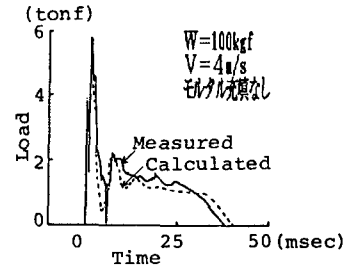


図-3 荷重～時間曲線

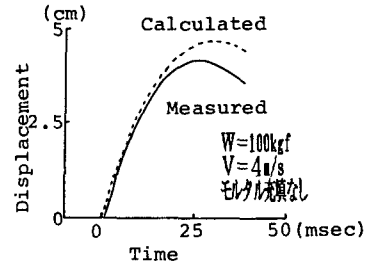


図-4 変位～時間曲線

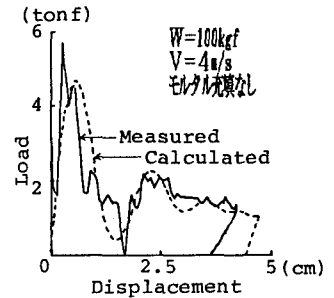


図-5 荷重～変位曲線

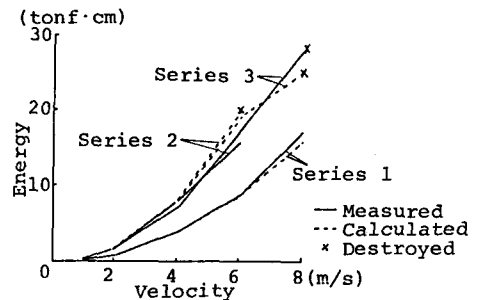


図-6 衝撃吸収エネルギー～衝突速度関係