

## 86 鋼製アーチ式砂防ダムの衝撃载荷実験

住友金属工業(株)○喜田 浩 飯田 毅 寺澤 岳真  
防衛大学校 石川 信隆  
建設省土木研究所 水山 高久

### 1. まえがき

近年、土石流の貯留、減勢、水と砂との分離を図る透過型の鋼製砂防ダムとして鋼管を用いた立体格子タイプや平面フレームタイプ等の骨組構造がみられるが、堆砂後の除石が必要な場合や面外荷重に対し強度・剛性をより必要とする場合も予想される<sup>1)</sup>。そこで、図1に示すように、コンクリート充填鋼管製の複数の水平アーチ部材を鉛直繋ぎ材で連結し、鉛直曲面格子構造を形成した鋼製アーチ式砂防ダムを開発中である。

本砂防ダムは①土石流の流下方向に対しより高い強度・剛性を確保できること、②アーチ面外荷重には鋼製の鉛直繋ぎ材の適切な配置により対抗し得ること、③鉛直曲面格子であるため除石が容易であること、などの特長を有している。ここでは、衝撃外力に対するアーチの耐荷性状把握のために行った衝撃载荷実験結果の概要につき報告する。なお、本砂防ダムの土石流捕捉効果については文献2)を参照されたい。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験の種類と目的

実験の種類と目的を表1に示す。実験はアーチ単体の吸収エネルギー把握のための静的载荷実験および巨礫の衝突に対するアーチ挙動把握のための衝撃载荷実験の2種類とした。後者は相似則に関する予備衝撃载荷実験、衝撃を繰返し与える繰返し衝撃载荷実験、新たな供試体へ衝撃を与える処女衝撃载荷実験、の3ケースとした。さらに、繰返し衝撃载荷実験については重錘エネルギーを増加させつつ衝撃を繰返す場合(その1)と同一重錘エネルギーで载荷を繰返した後、エネルギーレベルをあげ、これを繰返す場合(その2)の2ケースとした。

#### (2) 供試体および計測項目

供試体および計測位置を図2に示す。供試体は両端

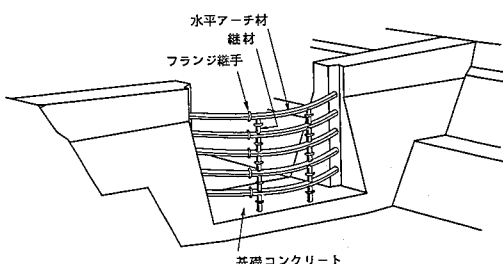


図1 鋼製アーチ式砂防ダム

表1 実験の種類と目的

| 実験ケース | 種 類     | 目 的        |
|-------|---------|------------|
| 1     | ・静的载荷実験 | 吸収エネルギーの把握 |
| 2-1   | ・予備実験   | 相似則の検討     |
| 2-2   | ・繰返し载荷  | 衝撃载荷時の挙動把握 |
| 2-3   | ・処女载荷   |            |

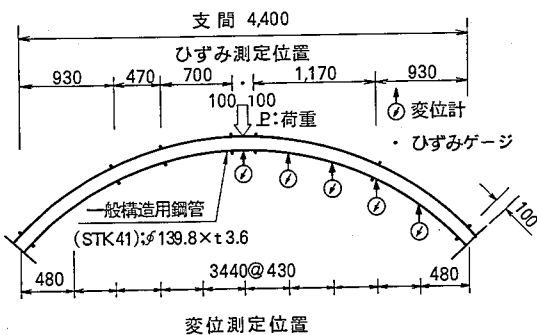


図2 供試体および測定位置

表2 モルタル配合 (単位: kgf/m³)

| 水セメント比 | セメント | 水   | 細骨材  |
|--------|------|-----|------|
| 0.47   | 636  | 300 | 1265 |

備考: 早強セメント使用 (圧縮強度: 300kgf/cm²)

固定の円弧7-チ(7-チイ $\sim$ f=96cm)構造であり、半径 $r=3m$ 、中心角94.4度で、使用鋼管は $\phi 139.8 \times t 3.6$ mmの一般構造用鋼管(STK41)である。また、鋼管内には表2に示す材料が充填されている。計測項目は鋼管のひずみ、変位、衝突時の鋼管に作用する荷重、重錘の落下速度である。

### (3) 実験方法

衝撃载荷の実験方法を図3に示す。固定治具上に設けた供試体の上面に载荷盤とロードセルからなる载荷体を置き、その上に重錘を自由落下させた。各実験に対する重錘重量 $W$ と落下高 $H$ を表3に示す。なお、重錘が载荷体中央に確実に衝突するようにガイドロッドを介して落下させ、2組の光電スイッチにより重錘の落下速度を測定している。また、静的载荷の実験方法は図示していないが図3と同様に供試体を固定し、7-チ中央を油圧ジャッキにより载荷した。

## 3. 実験結果および考察

### (1) 静的载荷実験

図4に円弧7-チ中央への静的载荷により得られた荷重-7-チ中央変位関係( $P-\delta$ 関係)を示す。最大荷重は $P_{max}=18.7tf$ であり、 $\delta=30\sim 40mm$ 付近で塑性状態を示し、 $\delta=140mm$ 付近で固定端の溶接部に亀裂が見られた。また、図5に示す7-チのひずみ分布から、塑性ヒンジが7-チスパンの中央、 $l/4$ 点付近、および7-チ固定端の順に生じ、破壊形態が5点降伏型<sup>5)</sup>であることがわかる。

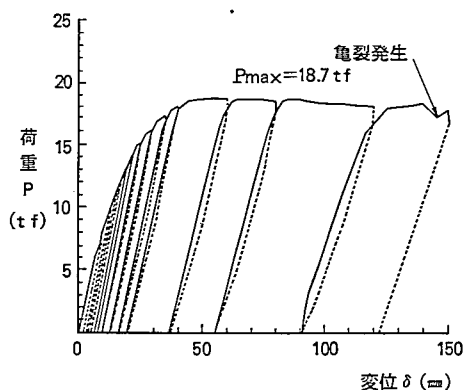


図4 静的载荷における荷重と変位の関係

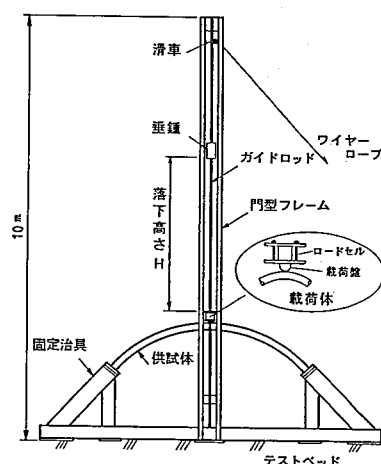
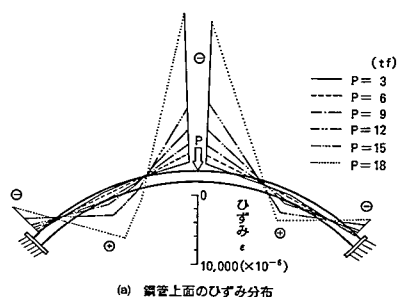


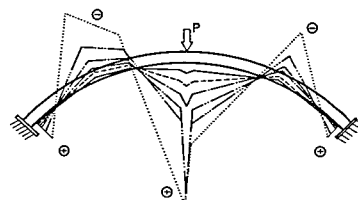
図3 衝撃载荷用実験装置

表3 実験に用いた重錘重量と落下高

| 実験<br>ケース | 予備<br>実験          | 繰返し衝撃<br>载荷実験     | 処女衝撃载荷実験<br>(*印:文献3), 4) |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| 重錘重量(kgf) | 70                | 360               | 420                      | 1680*             |
| 落下高(m)    | 0.25<br>~<br>2.25 | 0.50<br>~<br>3.50 | 4.90                     | 0.70<br>~<br>1.60 |



(a) 鋼管上面のひずみ分布



(b) 鋼管下面のひずみ分布

図5 鋼管のひずみ分布 (静的载荷実験)

## (2) 衝撃载荷実験

### (a) 予備実験

図2の供試体を長さの相似比1/5の模型と見なし、衝撃に対する応力相似を適用すると<sup>6)</sup>、巨礫の直径1m強(1.4tf以上)、衝突速度約10m/sec(落下高H=5.1m)の実物を想定した場合、模型の重錘重量は1/25(56kgf以上)、衝突速度は4.47m/sec(H=1.02m)となる。重錘重量70kgfを用いた結果、表4に示すように、落下高を約2倍まで増加しても残留変位は見られず、供試体は健全であった。

供試体に関する相似則についてはさらに検討の余地があるが、これらの結果から実物の礫(またはコンクリート)充填鋼管7-7構造は直径約1mの巨礫が速度10m/sec程度で衝突しても十分な耐衝撃性を有すると考えられる。

### (b) 繰返し衝撃载荷

#### および処女衝撃载荷実験

重錘重量360kgfの繰返し衝撃载荷実験(その1)について、重錘エネルギー、最大動変位、残留変位の結果を表5に示す。表5の実験No.1~3にみられるように、落下高を0.5mから1.0mまであげ、重錘重量を予備実験の約5倍(幾何縮尺程度)まで増加しても残留変位は生じていない。次に、繰返し衝撃载荷および処女衝撃载荷における重錘エネルギーEと残留変位 $\delta r$ の関係(E- $\delta r$ 関係)を図6に示す。図より、処女衝撃载荷ではEが0.2~0.3tf・m付近から残留変位が生じE=2.0tf・m付近でE- $\delta r$ 関係の勾配が変化するが、繰返し衝撃载荷では残留変位が生じてから勾配の変化点までの傾きが小さく、それ以降(E>0.7tf・m)で処女衝撃载荷での最終勾配と一致するようである。これらの結果より、繰返し衝撃载荷実験(その1)では、

表4 予備実験結果 (W=70kgf)

| 実験 No. | 落下高さ H(m) | 重錘エネルギー E (tf・m) | 最大動変位 $\delta_{max}$ (mm) |
|--------|-----------|------------------|---------------------------|
| 1      | 0.25      | 0.018            | —                         |
| 2      | 0.25      | 0.018            | —                         |
| 3      | 0.25      | 0.018            | —                         |
| 4      | 0.25      | 0.018            | —                         |
| 5      | 0.50      | 0.035            | —                         |
| 6      | 0.75      | 0.053            | —                         |
| 7      | 1.00      | 0.070            | —                         |
| 8      | 0.50      | 0.035            | 3.55                      |
| 9      | 0.75      | 0.053            | 4.30                      |
| 10     | 1.00      | 0.070            | 5.10                      |
| 11     | 1.25      | 0.088            | 5.90                      |
| 12     | 1.50      | 0.105            | 7.14                      |
| 13     | 1.75      | 0.123            | 7.60                      |
| 14     | 2.00      | 0.140            | 10.00                     |
| 15     | 2.25      | 0.158            | 8.57                      |

備考：・载荷体上に厚5mmのゴム板有り  
・全実験とも残留変位無し

表5 繰返し衝撃载荷実験結果 (その1: W=360kgf)

| 実験 No. | 落下高さ H(m) | 重錘エネルギー E (tf・m) | 最大動変位 $\delta_{max}$ (mm) | 残留変位 $\delta r$ (mm) |
|--------|-----------|------------------|---------------------------|----------------------|
| 1      | 0.50      | 0.180            | 13.7                      | 0/ 0                 |
| 2      | 0.75      | 0.270            | 17.1                      | 0/ 0                 |
| 3      | 1.00      | 0.360            | 20.4                      | 0/ 0                 |
| 4      | 1.25      | 0.450            | 24.0                      | 3.5/ 3.5             |
| 5      | 1.50      | 0.540            | 25.3                      | 7.0/ 3.5             |
| 6      | 1.75      | 0.630            | 28.8                      | 11.0/ 4.0            |
| 7      | 2.00      | 0.720            | 34.4                      | 17.0/ 6.0            |
| 8      | 2.25      | 0.810            | 36.9                      | 25.5/ 8.5            |
| 9      | 2.50      | 0.900            | 47.5                      | 37.5/ 12.0           |
| 10     | 2.75      | 0.990            | 51.1                      | 45.0/ 7.5            |
| 11     | 3.00      | 1.080            | 43.1                      | 57.5/ 12.5           |
| 12     | 3.50      | 1.260            | 63.6                      | 79.5/ 22.0           |

備考：・载荷体上に厚5mmのゴム板有り  
・本実験では予備実験の供試体を使用

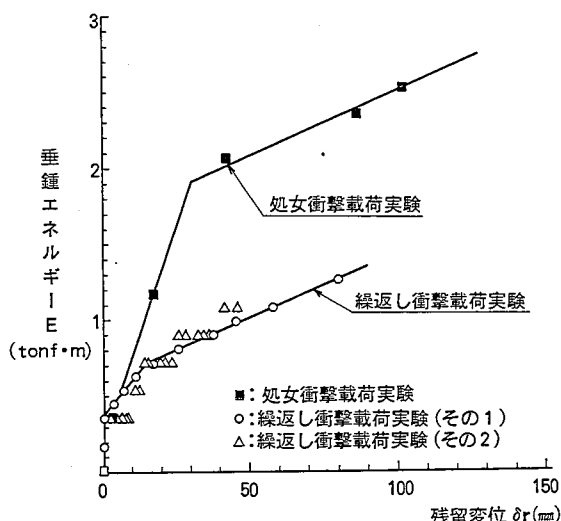


図6 衝撃载荷における重錘エネルギーと残留変位の関係

処女衝撃載荷の約1/2程度のエネルギーで供試体の残留変位が大きくなること、繰返し衝撃載荷実験(その2)の結果も同様の傾向を有すること、などがわかる。なお、本供試体は重錘エネルギーが約2.0tf・mまで処女衝撃載荷に耐えていると見なし得るが、このエネルギー量は直径約60cmの礫が速度約10m/secで衝突する場合に対応している。

### (3) 静的吸収エネルギーと衝撃エネルギー

静的載荷実験から得られる吸収エネルギーと変位の関係( $U-\delta$ 関係)および処女衝撃載荷実験から得られた衝撃エネルギーと最大変位の関係( $E-\delta_{max}$ 関係)を図7に併せて示す。図より、 $U-\delta$ 関係と $E-\delta_{max}$ 関係はエネルギー値が約0.3tf・mまで一致し、以降、同じ変位に対し衝撃エネルギーは吸収エネルギーより高い値を示し(文献7)と同様の傾向である。

$E=0.3\text{tf}\cdot\text{m}$ までは、図4、図6からも推測されるように衝撃エネルギーの大部分がアーチ構造の弾性的挙動により吸収されることによると考えられる。

### 4. あとがき

珪石充填鋼管を用いた円弧アーチ構造に対する静的載荷実験および衝撃載荷実験により、以下の諸点が判明した。

- ① アーチ中央への静的載荷では、珪石の中央、1/4点付近およびアーチ固定端の順で塑性ヒンジが形成され、5点降伏型の破壊形態を示す。
- ② 重錘落下法での衝撃条件に相似則を考慮した結果、本構造は十分な耐衝撃性を有するものと考えられる。
- ③ 本構造の耐衝撃性は載荷条件により異なり、繰返し衝撃載荷では、処女衝撃載荷の約1/2程度のエネルギーで供試体の残留変位が大きくなる。

### 参考文献

- 1) 鈴木、及川、森田:透過型立体鋼製ダムの水理実験及び塑性解析、昭和63年度砂防学会研究発表会
- 2) 小国、高瀬、松村:製アーチ式珪石砂防ダムの土石流捕捉効果、平成元年度砂防学会研究発表会発表予定
- 3) 喜田、飯田、高瀬、寺澤、石川、水山:珪石型鋼製砂防ダムの実大部分模型に対する衝撃載荷実験、昭和63年度砂防学会研究発表会
- 4) 寺澤、喜田、飯田、高瀬、石川、水山:鋼製珪石式砂防ダムの耐衝撃性に関する実験的検討、平成元年度砂防学会研究発表会発表予定
- 5) 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、昭和63年度土木学会関東支部技術研究発表会
- 6) 江守、D.J.シェリマン:模型実験の理論と応用、技法堂、昭和49年7月
- 7) 斎藤、石川、大野、水山:鋼管片持ち梁の衝撃吸収エネルギーに関する研究、土木学会論文集、第386号/I-8、1987.10

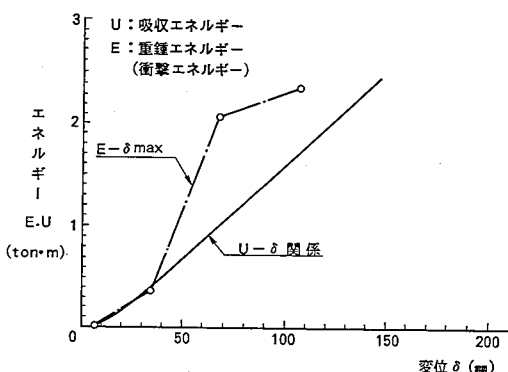


図7 エネルギーと変位の関係