

防衛大学校土木工学教室 学生員 ○園林 栄喜

〃 〃 鈴木 真次

〃 正会員 石川 信隆

1. 緒言：土石流災害の防止のために、砂防施設の一つとして鋼製アーチ式砂防ダムが検討されているが、このダムは、①外力を主として曲げと軸力で受け持つため、比較的少ない鋼材で大きな強度を発揮できる。②鋼製アーチ材を短スパン化して工場製作できるため、現場への搬入が容易である。③アーチの曲率を利用して土石流を谷幅方向へ振り分けるので、均一に堆砂させることができる、などの特色を有している。このアーチ式砂防ダムの設計に当っては、通常の堆砂圧を対象とする使用荷重レベルの許容応力設計に加えて、土石流中の巨礫が衝突する場合の終局荷重レベルを対象としたエネルギー設計についても検討することが必要である。本研究は、このアーチの使用時における許容応力設計と土石流中の巨礫に対する終局時のエネルギー設計とを比較するとともに、使用時と終局時を同時に考慮した鋼管円弧アーチの最適設計法を開発し、その有用性について検討したものである。

2. 設計法の定義：本研究では使用限界状態（使用時）と終局限界状態（終局時）を考慮した鋼管円弧アーチの設計法を開発するために、以下の設計法の定義を行う。

表-1 設計基本式

1) S設計（使用時（Service Level）のみを考慮した設計）

S設計とは、構造物の挙動を弾性体とみなして、通常の使用荷重レベルにおける応力制約を考慮した、いわゆる最適弾性設計をいい、対象とする使用荷重レベルは堆砂圧である。

	S設計	U設計	S+U設計
目的関数	$W \rightarrow \min$	$W \rightarrow \min$	$W \rightarrow \min$
制約条件	$\sigma_{\max} \leq \sigma_a$ $30 \leq D/t \leq 100$ $0.22 \leq t \leq 10.0$	$E \leq U$ $\delta u \leq \delta a$ $30 \leq D/t \leq 100$ $0.22 \leq t \leq 10.0$	$E \leq U$ $\sigma_{\max} \leq \sigma_a$ $\delta u \leq \delta a$ $30 \leq D/t \leq 100$ $0.22 \leq t \leq 10.0$

ただし W : アーチの自重 $\sigma_{\max}$: 最大応力 σ_a : 許容応力 δu : 終局変位
 δa : 許容変位 U : 塑性変形吸収能力 E : 許容変形能力
 D : 鋼管直径 t : 鋼管肉厚 θ : 半中心角

2) U設計（終局時（Ultimate Level）のみを考慮した設計）

U設計とは、構造物の挙動を弾塑性体と仮定して

終局レベル以前では崩壊しないようなエネルギー制約や変形制約を考慮した、いわゆる最適弾塑性設計であり、対象とする終局荷重レベルはアーチに対する巨礫の衝突である。

3) S+U設計（使用時（Service Level）と終局時（Ultimate Level）の両方を同時に考慮した設計）

S+U設計とは、通常の使用荷重レベルにおける制約条件と終局時における制約条件とを同時に考慮した最適設計をいい、本研究で提案する設計である。

3. 基本式：以上の各設計法の基本式は表-1のように表わされる。いずれの設計も設計変数として鋼管径 D 、鋼管肉厚 t 、半中心角 θ 、すなわちアーチライズ（ f/L ）の3つである。これらの基本式を最適化問題として、アーチ全体の重量 W をかつ最小となるような D 、 t 、 θ を ADSP プログラムを用いて求める。

なお、S設計では許容応力、U設計では衝撃エネルギーをそれぞれ制約条件として用いて設計を行った。また工学的判断から、 $30 \leq D/t \leq 100$ と $0.22 \leq t \leq 10.0$ を側面制約条件として追加している。それぞれの設計での目的関数および制約条件は表-1のとおりである。

表-2 設計条件

4. 数値計算例：(1) 計算例-1：まず各設計法の妥当性を検討するために各設計法を比較検討した。設計条件は表-2に示すとおりである。これに基づいて設計計算を実施すると表-3のような結果が得られた。計算結果からもわかるように制約条件が有効

S設計	U設計	S+U設計
線荷重 $q = 7.38 \text{ t/m}$ 支間長 $L = 17.4 \text{ m}$	巨礫重量 $M = 1.026 \text{ tf}$ 衝突速度 $V = 7.5 \text{ m/s}$ 支間長 $L = 17.4 \text{ m}$	線荷重 $q = 7.38 \text{ t/m}$ 巨礫重量 $M = 1.026 \text{ tf}$ 衝突速度 $V = 7.5 \text{ m/s}$ 支間長 $L = 17.4 \text{ m}$

に作用している。これより①S設計はU設計に比し D/t が大きく、また重量もかなり小さくてすむことが認められる。S+U設計はU設計に比し D/t が比較的大きく、また重量を約21%も大きく要求されることがわかる。(2) 計算例-2: 次に、S設計において等分布荷重 q を 1 t/m から 10 t/m まで変化させた場合、またU設計およびS+U設計において衝突速度 V を 1 m/s から 10 m/s まで変化させた場合 ($q = 7.38 \text{ t/m}$ と一定) の最適形状を求めた。図-1にS設計、図-2にU設計、図-3にS+U設計で得られた鋼管アーチ重量 W 、アーチライズ比 f/L 、径厚比 D/t と線荷重関係並びに衝突速度関係を示す。これらの図より、①アーチ重量は荷重あるいは衝突速度が大きくなるにつれていずれも

表-3 設計結果

	S設計	U設計	S+U設計
未知数	$D=65.7 \text{ cm}$ $t=0.651 \text{ cm}$ $\theta=84.8^\circ$	$D=73.1 \text{ cm}$ $t=2.115 \text{ cm}$ $\theta=58.96^\circ$	$D=84.4 \text{ cm}$ $t=1.921 \text{ cm}$ $\theta=82.1^\circ$
目的関数	$W=2.67 \text{ tf}$	$W=7.74 \text{ tf}$	$W=9.86 \text{ tf}$
制約条件	$\sigma_{\max} = \sigma_a = 1400 \text{ kgf/cm}$ $D/t = 100$	$E=28.856 \text{ tfm}$ $\leq U=29.819 \text{ tfm}$ $\delta u=9.83 \text{ cm}$ $\leq \delta a=9.84 \text{ cm}$ $D/t=34.57$	$E=28.56 \text{ tfm}$ $\leq U=28.873 \text{ tfm}$ $\delta u=9.35 \text{ cm}$ $\leq \delta a=15.18 \text{ cm}$ $\sigma_{\max}=911 \text{ kgf/cm}$ $\leq \sigma_a=1400 \text{ kgf/cm}$ $D/t=43.97$

大きくなる。②また D/t がS設計では上限の100をとり、U設計では下限値の30に近づこうとすることがわかる。③またアーチライズがS設計では高くなり、U設計では低くおさえられることもわかる。すなわち、S設計では薄肉の大口径でアーチライズの高いアーチが有効であり、U設計では逆に厚肉のアーチライズの低いアーチが有効であるといえる。④S+U設計では、これらの傾向が影響

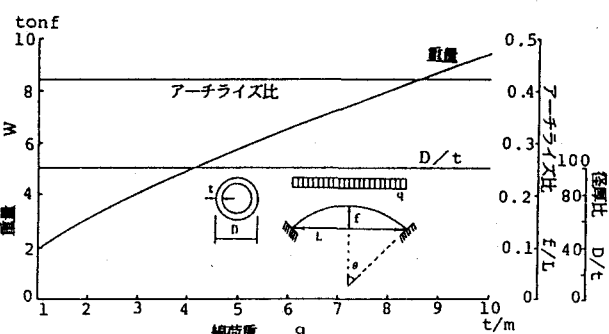


図-1 S設計の結果

し合って図-3のように D/t が次第に小さくなるが、重量 W は逆に増加し、アーチライズはS設計の場合と同じになるという結果が得られた。

5. 結 言 : (1) 使用時のS設計と終局時のU設計とでは、径厚比 D/t およびアーチライズの傾向は互いに相反することが認められた。(2) またS+U設計では衝突荷重の増大とともに D/t がやや小さくなるが、鋼管重量 W は増大する傾向が示された。したがって鋼管円弧アーチ式砂防ダムの設計に当っては使用時と終局時を同時に考慮した最適設計がより合理的であり望ましいといえる。

参考文献: 1) 砂防・地すべり技術センター: 鋼製砂防構造物委員会、鋼製砂防構造物設計便覧、昭和62年

2) 星川、香月、石川、飯田: 衝撃を受ける鋼管円弧アーチの最適設計に関する一考察、構造工学論文集、pp. 451~458

1990年3月

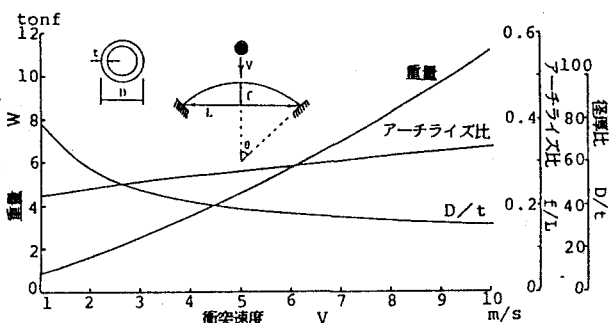


図-2 U設計の結果

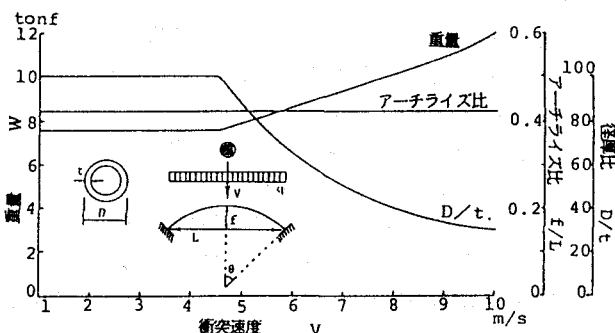


図-3 S+U設計の結果