

I-497

鋼製アーチ式砂防ダムの最適耐衝撃設計法に関する一考察

防衛大学校土木工学科 学生員 ○ 山本 恭嗣
 〃 〃 鈴木 真次
 〃 正会員 石川 信隆
 住友金属工業（株） 〃 飯田 毅

1. 緒言：近年、土石流中の巨礫を受け止めるために、鋼製砂防ダムが数多く建設されるようになってきたが、その一つとして鋼製アーチ式砂防ダムも検討されつつある。本研究は、この鋼製アーチ式砂防ダムの設計に当たって、通常の堆砂圧を対象とする使用時の許容応力度制約と土石流中の巨礫に対する衝撃荷重時のエネルギー制約とを同時に考慮した鋼製アーチ式砂防ダムの最適耐衝撃設計法（いわゆる2段階設計法）を開発したものである。また、使用荷重レベルの許容応力度設計と衝撃荷重時のエネルギー設計も単独に行うとともに、これら両者の安全側の値を用いた包絡設計との比較検討も行ったものである。

なお、本研究では①鋼製アーチ式砂防ダムとして鋼管固定円弧アーチ単体を対象とする、②衝撃吸収エネルギーを静的弾塑性エネルギーとみなすことができる、などの仮定を用いた。

2. 設計法の定義と基本式：上記の仮定に基づくと、通常の堆砂圧を対象とする使用時の許容応力度設計（これをS設計と呼ぶ）と、土石流中の巨礫を対象とする終局荷重時のエネルギー設計（これをU設計と呼ぶ）およびこの両者の設計制約を同時に考慮した設計（これをS+U設計と呼ぶ）の基本式は、それぞれ表-1、2、3に示すようになる。すなわち、

1) S設計：使用時（Service Level）のみを考慮した設計で、アーチ全体の鋼管重量が最小となるように、制約条件として堆砂圧を対象としたときの最大応力 σ_{max} が許容応力度 σ_a 以内になるような応力制約と D/t 、 t の側面制約を満足させて設計変数としての鋼管径 D 、肉厚 t 、半中心角 θ を求めるもので、その基本式は表-1のようになる。

2) U設計：終局時（Ultimate Level）のみを考慮した設計で、アーチ全体の鋼管重量が最小となるように衝撃吸収エネルギー U が運動エネルギー E を上回り、かつ弾塑性変位 δ_u が許容変位 δ_a 以内にあるという変位制約を満足させて、 D 、 t 、 θ を求めるもので、その基本式は表-2のようになる。

3) S+U設計：通常の使用荷重レベルにおける応力制約と終局時における衝撃吸収エネルギー制約を同時に考慮する設計で、本研究で提案する最適耐衝撃設計法で、その基本式は表-3のようになる。

上記の各設計法の解法に当たってはADSプログラムを用いた。

3. 数値計算例

(1) 計算例-1：まず各設計法の妥当性を検証する

ために各設計法を比較検討した。設計条件は表-4の第1行に示すとおりで、これに基づいて設計すると、第2行および第5行に示す値がそれぞれ得られた。これより①S設計は D/t が大きく大口径の薄

表-1 S設計（堆砂圧のみを考慮した最適設計）

未知数	D : 鋼管径 t : 肉厚 θ : 半中心角
目的関数	アーチ重量: $W \rightarrow \min$
制約条件	$\sigma_{max} \leq \sigma_a$ $(D/t)_L \leq D/t \leq (D/t)_u$ $t_L \leq t \leq t_u$
	添字 L: 下限値 添字 u: 上限値

表-2 U設計（巨礫の衝撃のみを考慮した最適設計）

未知数	D : 鋼管径 t : 肉厚 θ : 半中心角
目的関数	アーチ重量: $W \rightarrow \min$
制約条件	$E \leq U$ $\delta_u \leq \delta_a$ $(D/t)_L \leq D/t \leq (D/t)_u$ $t_L \leq t \leq t_u$
	添字 L: 下限値 添字 u: 上限値

表-3 S+U設計（堆砂圧と巨礫の衝撃力を考慮した最適設計）

未知数	D : 鋼管径 t : 肉厚 θ : 半中心角
目的関数	アーチ重量: $W \rightarrow \min$
制約条件	$\sigma_{max} \leq \sigma_a$ $E \leq U$ $\delta_u \leq \delta_a$ $(D/t)_L \leq D/t \leq (D/t)_u$ $t_L \leq t \leq t_u$
	添字 L: 下限値 添字 u: 上限値

肉鋼管で、アーチライズの高い傾向の設計が行われるが、当然エネルギー制約を満足しないことが認められた。

②U設計は、 D/t を小さくして変形量を大きくしてエネルギーを吸収し易くさせるため、厚肉鋼管でアーチライズの低い傾向の設計が行われるが、応力制約を満足しないことが認められた。

③S+U設計は、 D/t がU設計に比しやや大きく、鋼管重量も増加する傾向があるが、すべての制約条件を満足するので安全性が高く、かつ経済的な設計であることを確認できた。

④包絡設計は、 D/t がS+U設計に比し増加することが認められ、安全性はすべて満足しているものの、経済性にやや劣ることを確認した。

(2) 計算例2：(a) S設計において等分布荷重（堆砂圧） q を $1t/m$ から $10t/m$ まで変化させた場合、また(b) U設計及びS+U設計において衝突速度 V を $1m/s$ から $10m/s$ まで変化させた場合（ $q=7.38t/m$ 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重量 W 、アーチライズ f/L 、径厚比 D/t と線荷重 q 関係および衝突速度 V 関係をそれぞれ示す。これらの結果より、①アーチ重量は線荷重 q および衝突速度 V が大きくなるにしたがい、いずれも増加する傾向となることが認められる。

② D/t はS設計において上限の100をとり、U設計においては下限値の30に近づく傾向となることがわかる。

③アーチライズは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設計では逆に厚肉でアーチライズの低いアーチが望ましい。

④S+U設計では、これらの傾向が影響し合って、図-3のように D/t が次第に小さくなるが、重量 W は包絡設計よりも小さく、アーチライズはやや低くなる傾向となることが認められた。

表-4 S設計、U設計、S+U設計、包絡設計の比較

	S設計	U設計	S+U設計	包絡設計
1 荷重条件 (設計条件)	$q=7.38t/m$ $L=17.14m$	$M=1.03ts/m$ $V=7.5m/s$ $L=17.4m$	$q=7.38t/m$ $M=1.03ts/m$ $V=7.5m/s$	$L=17.4m$
2 鋼管径 内 厚 半中心角	D t θ	112.0cm 1.12cm 60.2	85.2cm 1.92cm 80.2	112.0cm 2.10cm 80.2
3 径厚比 D/t	100	33.3	44.5	53.2
4 アーチライズ 比 f/L	0.42	0.31	0.42	0.42
5 アーチ重量	7.58	7.58	9.738	$\times 14.08$
6 荷重条件 (設計条件)	線 荷 重 巨 壁 荷 重	$q=7.38t/m$ $M=1.03ts/m$	巨壁衝突速度 支 間 長	$V=7.5m/s$ $L=17.4m$
7 許容応力	$\sigma_a = 1400kg/cm^2$			
8 最大応力	1400	$\times 14400 > \sigma_a$	1400	758.9
9 許容変位	185.0cm	125.0cm	185.0cm	
10 終局変位	3.98cm	10.5cm	9.95cm	7.54cm
11 衝突 エネルギー	$E = 25.9 t \cdot fm$			
12 衝撃吸収 エネルギー	$\times 10.5 t \cdot fm$ $< E$	28.3 t·fm	28.9 t·fm	44.4 t·fm

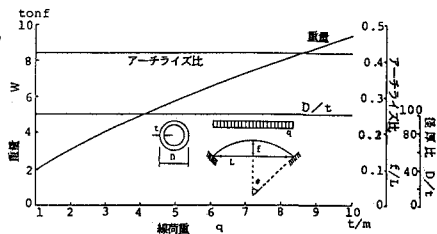


図-1 S設計の計算結果

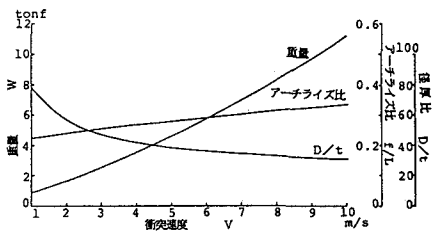


図-2 U設計の計算結果

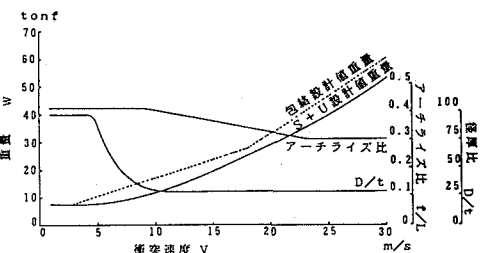


図-3 S+U設計の計算結果

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、pp451～458（1990年3月）