

信頼性理論に基づく水門の耐震安全性の評価

鳥取大学工学部 正会員 上田 茂 栗本鐵工所(株) 河合 廣治
 鳥取大学工学部 正会員 野田 英明 りんかい建設(株) 正会員 岡崎 浩一
 鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 広島市役所 正会員 〇佐々木 茂治
 鳥取大学工学部 正会員 松保 重之

1. まえがき ダムを管理するための水門等の機械設備は、洪水・出水時に働かせることが本来の設置目的である。したがって、その作動については100%の確実さが要求される。このようにダムの水門は、確実に水門扉が開閉するという操作性の信頼性と必要な耐久性を確保するという機能保全の基本思想に基づき設計されている。さらに近年では周辺環境との調和なども重要視されている。本研究では水門の機能保全に着目し、その中でもとくに、現行設計法によって設計された水門の地震時における安全性の評価について検討を行った。なお解析モデルとしては、ダムゲートとして使用実績の多い鋼製クレストローラーゲートを用いた。

2. 静水圧応力の算定 まず図-1のような解析モデルを用いて静水圧を算定する。荷重条件としては、図-2に示すような $H=5.800(m)$ 、 $H_0=1.050(m)$ 、 $H_1=1.500(m)$ 、 $H_2=1.450(m)$ 、 $H_3=1.350(m)$ 、 $H_4=1.100(m)$ 、 $H_5=0.400(m)$ とし、桁に作用する分担荷重を求める。構造解析モデルとしては、単純ばりに部分分布荷重を載荷させるとし、静水圧による曲げ応力を算定する。

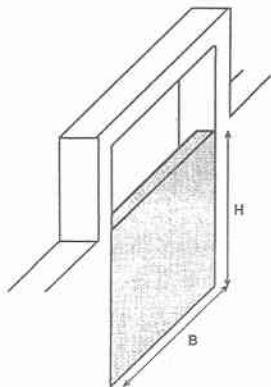


図-1 解析モデル

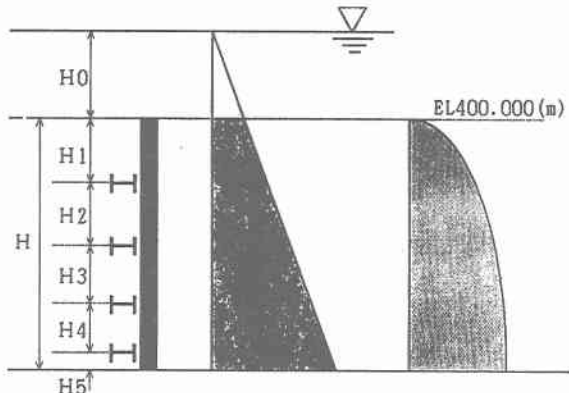


図-2 荷重条件

3. 地震時荷重応力の算定 水深hにおける地震時動水圧 P_d は、式(1)で表されるZangerの実験式を用いて算出し、地震時慣性力Iは、式(2)を用いて計算を行う¹⁾。そして、地震時慣性力Iは、最大荷重が作用している場所に作用させた。式(1)(2)中の設計震度Kは、式(3)のように表される。本研究では、式(3)における地震応答加速度 α を確率変数として応力を算定する。この応答加速度 α の確率分布関数としては、式(4)で表される極値III型分布を適用した²⁾。また、構造物の供用期間 θ における応答加速度 α の最大値の確率分布関数は、式(5)で与えられる。ここでは、地震の発生はポアソン分布と仮定し、平均して2年に1回発生すると考えた。

$$P_d = C \cdot W_0 \cdot K \cdot H \tag{1}$$

$$C = \frac{C_m}{2} \left\{ \frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right) + \sqrt{\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right)} \right\}$$

P_d : 水深hの点での動水圧

W_0 : 水の単位体積重量

K: 設計震度

H: 水面から基礎地盤までの距離

h: 水面から作用位置までの距離

C_m : 与えられたダム等の上流面勾配により定まる定数

$$I = W \cdot K \tag{2}$$

W: 扉体の自重、K: 設計震度

$$K = \frac{\alpha}{g} \tag{3}$$

α : 応答加速度、g: 重力加速度

4. 安全性の評価 扉体の強度に関する安全性の評価は、式(6)で表される破壊基準関数式を用いてを行い、たわみに関する安全性の評価は、式(7)で表される関数式を用いて評価を行う。そして、耐用年数50年の最大荷重応答値に対する超過確率をもって扉体の破壊確率とする。本研究では、表-1に示す固有周期0.2、0.3、0.5、0.7、1.0secという5つのケースについて安全性の検討を行った。表-2は、現在供用されている水門の主桁(断面1)と許容応力度いっぱい設計しなおした主桁(断面2)の破壊確率を示したものであり、これは曲げ応力に関するものである。本研究で用いた水門の主桁の固有周期は約0.6secである。これを見ると、固有周期が大きくなる、すなわちゲートの剛性が小さくなるにしたがって破壊確率は小さくなっている。この結果より、固有周期の違いを考慮した安全性の評価の重要性がわかる。次に、断面1の主桁は降伏点強度を超過する確率が非常に小さく十分な安全性を有する断面であることが分かる。断面2については断面1に比べると破壊確率がかなり大きな値となっているがISOの基準と比べると十分な安全性を有する断面であるといえる。たわみに関する超過確率の計算結果を表-3に示す。この結果を前述の曲げ応力に関する結果と比べると、曲げ応力によるものよりたわみの破壊確率の方が約10²大きくなっていることが分かる。

5. まとめ 以上のことをまとめると、現行設計法によって設計された水門扉は地震に対して降伏点強度を超過する確率が非常に小さく、十分に安全性のある断面であることが言える。また、現行の設計法においては曲げ応力によるものよりたわみに関する基準の方が厳しいこと分かる。

<参考文献> 1)社団法人ダム・堰施設技術協会:ダム・堰施設技術基準(1次案),平成2年9月。
2)阪神高速道路公団(社)システム総合研究所:都市高速道路の設計荷重と耐用年数評価における信頼性概念の導入に関する研究,昭和62年3月。

$$F_a(\alpha) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\alpha - \varepsilon}{k - \varepsilon}\right)^\beta\right\} \quad (4)$$

$$k \geq \varepsilon, \beta > 0, k > \varepsilon > 0$$

ε : 下限値、 β 、 k : 定数

$$F_{\max, \alpha}(\alpha) = \exp[-\nu \cdot \theta \cdot \{1 - F_a(\alpha)\}] \quad (5)$$

ν : 下限値 ε に対する α の年平均発生回数

θ : 供用期間

$$\sigma_y \text{ (or } \sigma_a) - (\sigma_w + \sigma_e) < 0 \quad (6)$$

σ_y : 降伏点強度

σ_a : 許容応力度

σ_w : 静水圧による応力

σ_e : 地震荷重(地震時動水圧・地震時慣性力による応力)

$$\lambda_A - \left(\frac{\delta_w + \delta_E}{L}\right) < 0 \quad (7)$$

λ_A : たわみ度の許容値

δ_w : 静水圧によるたわみ

δ_E : 地震時荷重によるたわみ

L : ローラー支間長

表-1 確率分布関数

固有周期	確率分布関数
0.2	$F_a(\alpha) = 1 - \exp[-\{(\alpha - 56.01)/59.99\}^{0.924}]$ $\alpha > 56.01 \text{gal}$
0.3	$F_a(\alpha) = 1 - \exp[-\{(\alpha - 56.08)/49.66\}^{0.926}]$ $\alpha > 56.08 \text{gal}$
0.5	$F_a(\alpha) = 1 - \exp[-\{(\alpha - 41.28)/34.24\}^{0.913}]$ $\alpha > 41.28 \text{gal}$
0.7	$F_a(\alpha) = 1 - \exp[-\{(\alpha - 25.88)/26.12\}^{0.879}]$ $\alpha > 25.88 \text{gal}$
1.0	$F_a(\alpha) = 1 - \exp[-\{(\alpha - 17.91)/18.05\}^{0.850}]$ $\alpha > 17.91 \text{gal}$

表-2 主桁の破壊確率

	固有周期	断面1	断面2
許容 応 力 度	0.2	1.086E-06	4.041E-03
	0.3	3.753E-08	7.271E-04
	0.5	2.488E-11	1.264E-05
	0.7	6.337E-13	1.035E-06
	1.0	4.441E-16	1.250E-08
降 伏 点 強 度	0.2	1.379E-10	5.753E-06
	0.3	7.802E-13	2.780E-07
	0.5	0.0	3.546E-10
	0.7	0.0	1.116E-11
	1.0	0.0	1.477E-14

表-3 主桁のたわみの超過確率

固有周期	断面1	断面2
0.2	3.416E-05	4.831E-02
0.3	2.361E-06	1.453E-02
0.5	6.082E-09	7.044E-04
0.7	2.431E-10	8.912E-05
1.0	5.730E-13	2.732E-06