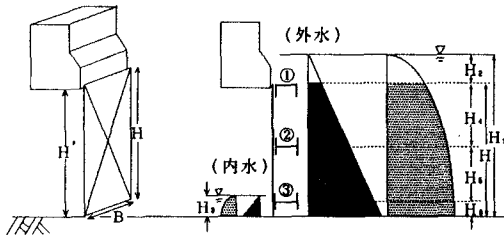


信頼性理論に基づく水門の耐震安全性の評価

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 栗本鐵鋼所(株) 河合 廣治
鳥取大学工学部 正会員 野田英明 鳥取大学大学院 学生員 岡崎 浩一

1. まえがき 河川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。このように河川のゲートは、確実に水門扉が開閉するという操作の信頼性と、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。そこで本研究では、ゲートの機能保全に着目し、中でもとくに、現行設計法によって設計されたゲート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、ゲートとして使用実績の多い鋼製ローラーゲートを用いた。

2. 死荷重応力の算定 まず設計荷重条件1として、図-1に示すような $H_1=6.048(m)$ 、 $H_2=0.998(m)$ 、 $H_3=0.659(m)$ のゲートにおける静水圧 P_w の計算を行う。次に設計荷重条件2として、図-2に示すような $H_1=7.248(m)$ 、 $H_2=2.198(m)$ 、 $H_3=4.950(m)$ のゲートにおける静水圧 P_w の計算を行う。その結果を表-1、2に示す。ゲートの設計は、上部桁最大荷重53.235(tf)、主桁最大荷重155.445(tf)をもとに行う。



①：上部桁、②、③：主桁、扉体の自重：63.000(tf)、 $B=18.200(m)$ ：水密巾、 $H=5.050(m)$ ：ゲート高、 $H'=4.950(m)$ ：呑口高、 H_1 ：設計水深、 H_2 ：越流までの水深、 H_3 ：背面の水深、 $H_4=2.550(m)$ 、 $H_5=1.850(m)$ 、 $H_6=0.650(m)$ 、 $H_7=2.450(m)$

図-1 解析モデル(設計荷重条件1)

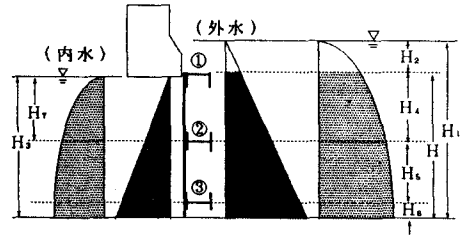


図-2 解析モデル(設計荷重条件2)

表-1 設計荷重条件1

	P_w (外水)	P_w (内水)	合計荷重 (tf)
①	42.883		42.883
②	120.600	-0.919	121.520
③	160.316	4.871	155.445
	P_E (外水)	P_E (内水)	合計荷重 (tf)
①	51.324 K		51.324 K
②	121.339 K	-0.938 K	122.322 K
③	154.900 K	5.587 K	149.311 K

表-2 設計荷重条件2

	P_w (外水)	P_w (内水)	合計荷重 (tf)
①	70.729	17.494	53.235
②	166.154	78.920	87.235
③	197.208	126.560	70.648
	P_E (外水)	P_E (内水)	合計荷重 (tf)
①	76.877 K	24.442	52.453 K
②	161.652 K	80.007 K	81.645 K
③	187.442 K	124.998 K	62.444 K

3. 地震荷重応力の算出 設計震度 K は、式(1)のように表される。本研究では、式(1)における地震応答加速度 α を確率変数として応力を算出する。この応答加速度 α の確率分布関数としては、式(2)で表される極値Ⅲ型分布を適用した¹⁾。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(3)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。

次に、水深 h における地震時動水圧 P_w は、式(4)で表されるWestergaardの簡易式を用いて算出し、地震時慣性力 I は、式(5)を用いて計算を行う²⁾。そして、地震時慣性力 I は、上部桁、主桁ともに最大荷重が作用している場所に作用させた。

4. 安全性の評価 扉体の安全性は、式(6)で表される破壊基準関数式を用いて評価を行う。また破壊確率の算定は、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破壊確率とする。本研究では、表-3に示す固有周期0.5、0.7、1.0secという3つのケースについて安全性の検討を行った。表-4は、静水圧と地震時動水圧のみを考えたときの主桁の破壊確率を示している。本研究で用いたゲートの主桁の固有周期は約1.0secである。これを見ると、せん断応力よりも曲げ応力の影響の方が大きく、また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。ここでは示していないが、上部桁についても同様な結果が得られたが、主桁よりも1オーダー破壊確率が小さくなった。表-5は、地震時慣性力を考慮したときの主桁の破壊確率を示している。上部桁についても同様な結果が得られた。この結果を前述の結果とくらべると、破壊確率は約1オーダー大きくなっており、主桁と上部桁の破壊確率の差は小さくなった。

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、かなり安全性が高いといえる。しかし、これは逆にいえば、不経済な断面設計になっている可能性があるということで、信頼性設計を行えばより合理的な設計が出来るのではないと思われる。

<参考文献> 1)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. 2)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.

表-4 主桁の破壊確率(地震時慣性力無視)

	固有周期	曲げ応力	せん断応力
許容応力度	0.5sec	2.085E-01	1.313E-04
	0.7sec	5.991E-02	1.376E-05
	1.0sec	8.291E-03	2.839E-07
降伏点強度	0.5sec	1.858E-12	0.0
	0.7sec	3.886E-14	0.0
	1.0sec	0.0	0.0

$$K = \frac{\alpha}{g} \tag{1}$$

α : 応答加速度
 g : 重力加速度

$$F_{\alpha}(\alpha) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\alpha - \epsilon}{k - \epsilon}\right)^{\beta}\right\} \tag{2}$$

$$y \geq \epsilon, \beta > 0, k > \epsilon > 0$$

ϵ : 下限値

β, k : 定数

$$F_{max, \alpha}(\alpha) = \exp[-\nu \cdot \theta \cdot \{1 - F_{\alpha}(\alpha)\}] \tag{3}$$

ν : 下限値 ϵ に対する α の年平均発生回数
 θ : 供用期間

$$P_E = \frac{7}{8} \cdot W_0 \cdot K \cdot \sqrt{H \cdot h} \tag{4}$$

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水深

$$I = W \cdot K \tag{5}$$

W : 扉体の自重

K : 設計震度

$$\sigma_v \text{ (or } \sigma_a) - (\sigma_w + \sigma_E) < 0 \tag{6}$$

σ_v : 降伏点強度

σ_a : 許容応力度

σ_w : 静水圧による応力

σ_E : 地震荷重による応力

表-3 確率分布関数

固有周期	確率分布関数
0.5 (sec)	$F_{\alpha}(\alpha) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{(\alpha - 41.28)}{34.24}\right\}^{0.912}\right]$ ($\alpha > 17.91 \text{ gal}$)
0.7 (sec)	$F_{\alpha}(\alpha) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{(\alpha - 25.88)}{26.12}\right\}^{0.879}\right]$ ($\alpha > 25.88 \text{ gal}$)
1.0 (sec)	$F_{\alpha}(\alpha) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{(\alpha - 17.91)}{18.05}\right\}^{0.850}\right]$ ($\alpha > 41.28 \text{ gal}$)

表-5 主桁の破壊確率(地震時慣性力考慮)

	固有周期	曲げ応力	せん断応力
許容応力度	0.5sec	6.774E-01	4.810E-03
	0.7sec	3.143E-01	7.650E-04
	1.0sec	7.627E-02	3.751E-05
降伏点強度	0.5sec	9.642E-09	7.929E-13
	0.7sec	4.011E-10	1.554E-14
	1.0sec	1.039E-12	0.0