

VI-7 信頼性設計法に基づく発電所取水ダム仮締切の規模決定

東北電力(株)正会員 佐々木 明、東北電力(株)正会員 氏家久芳
同上、鈴木富二男、(株)大崎総合研究所 正会員 石井 清

1. はしがき

従来、取水ダムの仮締切工は、工事日、工事期間、予測される被害の程度などを勘案して、経験的な判断をもとに適用確率年(再現期間)を定めて、確率洪水量を予測し、これに対応できる規模で計画が作成される。

今回、S発電所の取水ダムの仮締切の規模決定に際して、信頼性設計法に基づき、安全性を定量的に評価するとともに、経済性をも考慮した設計洪水量の最適値を決定することを試みてみたので、ここに報告する。

2. 仮締切工の概要

S発電所は阿賀野川系に位置する最大出力8,200Kwの発電容量をもつ水力発電所のひとつとして計画されている。取水ダムは、最大取水量 $6.0\text{ m}^3/\text{s}$ として、取水ダムの高さ、堤頂長さはそれぞれ12.0 mと22.2 mである。仮締切は、土堰堤による下流締切と上流一次締切および重力式コンクリート堤による上流二次締切よりなる。工事期間は約14ヶ月であり、転流仮締切を平成3年7月中旬に、仮締切撤去を平成4年9月末に予定している(但し、冬季積雪のため12月から翌年4月までは工事は中断)。

3. 評価モデル

3.1 評価に際しての前提条件

(1) 転流から仮締切撤去までを3つの段階に分ける。すなわち、施工段階を、施工段階1：一次仮締切から二次仮締切工完成まで(1ヶ月)、施工段階2：ダム岩盤掘削から岩盤検査まで(3.5ヶ月)、施工段階3：ダムコンクリート打設(3.5ヶ月)に分ける。

(2) 洪水による被害は、一次および二次仮締切の越流によるものとする。

(4) 被害想定は、物損のみとして人的な損失(人身事故)は対象外とする。

(5) 施工段階にしたがって、河川流量(洪水量)の季節変動を考慮するため、月別の極大値分布を用いる。

3.2 計算上の仮定

(1) 0.5ヶ月を単位として各施工段階において越流が発生する確率を計算する。

(2) 越流が生じる可能性は、施工段階1で2回まで、施工段階2,3でそれぞれ3回までとする。

(3) 越流に対する片付け・復旧に要する日数は各施工段階の期間内とし工事の遅延による影響はないものとする。

(4) 越流による被害想定額は、各施工段階における1回当たりの被害額に越流回数に乗じることにより計算されるものとする。なお、(3)および(4)の仮定は、確率計算を複雑なものとしないうえに、さらに被害額の評価を容易にするために設けたものである。

3.3 確率計算の概要

確率計算は、施工段階を3つに分け、さらに各施工段階で複数回の越流を考慮することから、個々にケース分けして計算がなされる。例えば、各施工段階を無事すぎて被害を全く受けずに仮締切が完成する場合(越流回数は0回)から、各施工段階で上限回数の越流を繰り返す場合(越流回数は最大で $2+3+3=8$ 回)まで、ケース分けは48になる。さらに、河川流量が毎月の極大値分布で与えられることから、越流がどの月に発生するかということも考慮に入れて計算が行なわれる。確率計算の定式化については、文献1を参照されたい。

3.4 最適代替案の選択基準

最適代替案は、次に示す計算結果に基づき評価、選択するものとした。

(1) 安全性：(i)各施工段階において被害が発生する確率($Pf1, Pf2, Pf3$)、(ii)仮締切が越流することなく無事に竣工する確率(無被害確率 $P1=1-Pf1-Pf2-Pf3$ ：この場合をケース1とする)等から評価する。

(2) 経済性：代替案の初期建設費($C1$)と被害額の期待値との和として求まる期待総建設費(CT)から評価する。

$$C_T = C_I + \sum_{i=2}^k C_{1,i} P_i \quad (1)$$

ここで $C_{1,i}$: ケース i の予想被害額、 P_i : ケース i の発生確率、 k : ケース数 (=48)。

4. 評価結果とその考察

河川流量については下流にある測水所自記記録より毎月の最大瞬間水位を読み取り、流域面積の補正をして S 地点の月別最大瞬間流量とした。資料は、昭和 50 年から昭和 60 年までの 11 年間の記録である。

設計代替案としては、再現期間 1.1 年から 8.2 年までの 8 つの代替案（A～G 案）を作成した（表-1 参照）。また、越流による被害予測は、各代替案に対して共通として、施工段階毎に 1 回越流毎に 3.5, 7.7, 18.4（基準化したため単位はなし）の経済的損失が出るものとした。

各代替案の評価結果は、表-1 のとおりである。表より、安全性と経済性について、次の考察ができる。

(1) 安全性について：

仮締切工の施工期間は、約 1.2 年であることから、通常では代替案 B より再現期間の長い代替案の中から実施案が選択されている。しかしながら、無被害確率（仮締切が越流することなく無事に工事が竣工する確率）をみると、C 案で 0.231、D 案で 0.350 と小さく、E 案になって 0.568 と 50 % を少し上回る程度になっている。各施工段階における越流発生確率は、再現期間が長くなるに従って次第に小さくなり、D 案のとき各施工段階で 50 % 以下になっている。C 案、D 案などを実施案として採用した場合は、工事中に仮締切の越流が発生する可能性が大きいので、越流に対する十分な対策を立て、気象情報や河川流量などに注意を払い、万一被害を受けた場合にも被害を最小限にとどめられるようにする必要がある。

(2) 経済性について：

経済性の観点からは、期待総建設費が最小となる C 案を実施案として採用すればよい。越流による被害予測に増減があるとすれば、減のときには B 案の方向へ、増のときには D 案の方向へ期待総建設費の最小点は移動する。C 案の採用にあたっては、越流発生確率が施工段階 3 で 0.512 と 50 % を上回っていることから、施工段階 3 を中心として越流に対する十分な対策を講じておく必要がある。

5. まとめ

(1) 仮締切は本設構造物と異なり、経済性を無視して過度な安全性を求めるべきではないが、経済性を重視して安全性を度外視すれば、工期の遅れや社会的信用の問題が生じる。本研究から得られた安全性の定量的な評価と経済性を考慮した最適規模の決定手順は、このような構造物の規模決定手法として適用範囲の広いものといえることができる。

(2) 今回の評価事例および既往の工事記録などによれば、仮締切の越流による被害が当該工事区域内にとどまり、被害額が建設費に比べて軽微な場合、再現期間（確率年）は、2 年を限度として工事期間の 1.25 ～ 1.5 倍程度を目安にすることがおおよそ明かになったが、越流により下流に被害が生じる可能性がある場合などには、本手順に従った詳細な検討をする必要がある。

参考文献 (1) 土木構造物の信頼性設計法に関する調査研究、研究報告、東北電力（株）電力技術研究所、平成 4 年（印刷中）

表-1 設計代替案の評価結果

		代替案						
		A	B	C	D	E	F	G
再現期間（年）		1.1	1.2	1.5	1.8	3.0	5.8	8.2
洪水量（m ³ /s）		30	36	43	50	65	84	94
越流の発生確率 （P _{fi} ）	施工段階 1	0.463	0.359	0.271	0.208	0.126	0.074	0.058
	施工段階 2	0.620	0.477	0.349	0.252	0.126	0.055	0.036
	施工段階 3	0.767	0.641	0.512	0.408	0.256	0.151	0.119
無被害で工事が竣工する確率（P ₁ ）		0.048	0.120	0.231	0.350	0.568	0.743	0.800
初期建設費（C _I ）		67.0	72.1	77.9	84.9	90.5	104.6	117.6
期待総建設費（C _T ）		97.04	94.57	94.15	96.91	97.23	108.25	120.37