

2 カットオフタイプ砂防ダムの設計に関する検討

愛知県豊田土木事務所 ○近 藤 観 慈

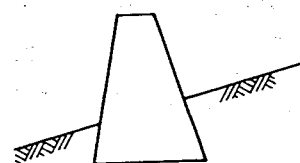
〃 多 田 哲 也

〃 丹 羽 康 博

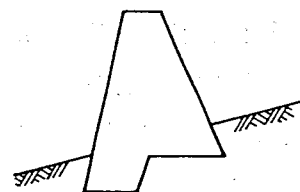
1 はじめに

河床勾配の大きな溪流に重力式砂防ダムを計画する場合、必要根入れ深さは、根入れが小さくなる下流側で所定の深さを確保するように設計するため、上流側の根入れが過大になる場合がある。このため、経済設計の観点から、図-1に示すような上流側の根入れ深さを小さくする断面（カットオフタイプ）がしばしば用いられる。このような砂防ダムの設計方法は、カットオフ底面上流端及び堤底上流端に引張応力を発生させない方法として既に提案¹⁾されている。

ところで、建設省河川砂防設計技術基準(案)設計編²⁾（以下、技術基準という）に重力式コンクリートダムの設計における転倒に対する安定条件として「ダムの堤底端に引張応力が生じないこと」が示されている。カットオフタイプの砂防ダムの設計において、カットオフ底面上流端及び堤底上流端でこの条件を満足するように設計した場合、転倒に対する安全性が確保されているか否かは明らかではない。つまり、技術基準に「ダム堤底において引張応力を発生させないように、ダムの自重及び外力の合力を堤底の中央1/3以内に入れるように（以下、中央1/3の条件という）すれば、同時に転倒に対する安全性も確保される」と解説されており、転倒に対する安定条件を中央1/3の条件により代用することができるとしている。しかし、この基準は標準的な台形状断面（以下、標準タイプという）を前提にしたもので、カットオフタイプの場合は、別途に検討する必要があると考え、設計に関する検討を実施したので報告する。



標準タイプ



カットオフタイプ

図-1 砂防ダム断面図

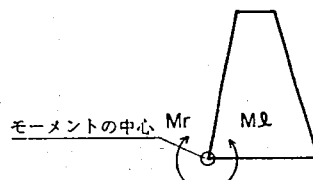


図-2 転倒安全率の定義

2 標準タイプの砂防ダムの転倒安全率

15m未満の標準タイプの砂防ダムについて、中央1/3の条件を満足する最小断面の転倒安全率を、天端幅2.0m、下流法勾配2分を想定し、設計荷重に自重と水圧を考慮して算出した。なお、ここで、転倒安全率(Fs)を図-2に示すように、砂防ダム堤底下

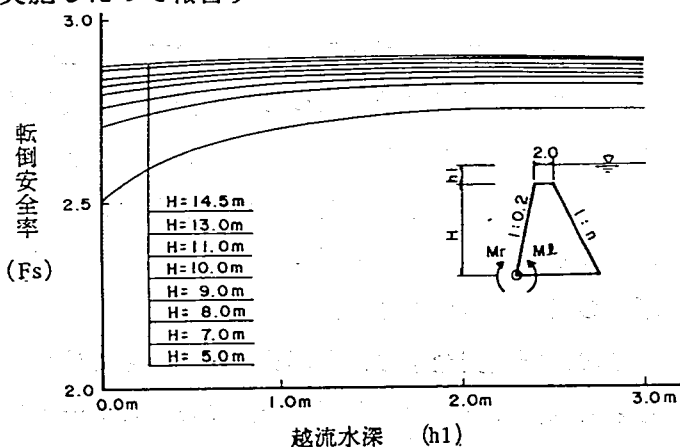


図-3 標準タイプ砂防ダムの転倒に対する安全率

流端における転倒モーメント (M_i) と抵抗モーメント (M_r) の比として式(1)により定義する。また、流水の単位体積重量に 1.2 tf/m^3 、コンクリート単位体積重量に 2.35 tf/m^3 を用いる。

$$F_s = \frac{M_r}{M_i} \quad (1)$$

ダム高毎に、越流水深の変化に対する転倒安全率の変化を図-3に示す。この図から中央1/3の条件を満足する断面の転倒安全率が、2.5~2.9であることが分かる。また、ダム高が高いほど、また、越流水深が大きいほど転倒安全率が大きいことが分かる。

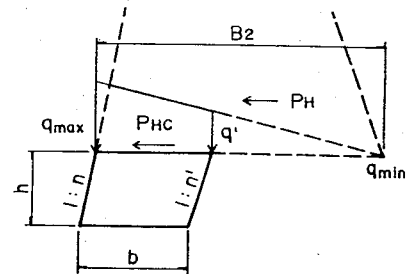


図-4 カットオフ部分の安定計算

3 カットオフ断面の算定方法

前述のとおり、文献1)に剛体論を用いたカットオフタイプの砂防ダムのカットオフ底面上流端及び堤底上流端に引張応力を発生させない設計方法が提案されている。ここでは、この方法に、カットオフ上面にせん断力を考慮するように若干の修正を加えて用いる。設計方法を以下に示す。

- ① カットオフ上部堤体の底面反力の内、カットオフ上面に作用する反力（軸力及びせん断力）を算出する。
- ② ①で算出したカットオフに作用する上部堤体からの反力とカットオフの自重を用いて、カットオフ底面反力を算出する。
- ③ カットオフの底面の上流端に引張応力が発生しないかを確認する。

なお、カットオフに作用するせん断力 (P_{HC}) は、カットオフ上面に作用するせん断応力分布が、ここに作用する鉛直応力分布と比例関係にあると仮定して、式(2)を用いて算出する。

$$P_{HC} = \frac{(q_{max} + q') \cdot \{b + h \cdot (n' - n)\}}{(q_{max} + q_{min}) \cdot B_2} \cdot P_H \quad (2)$$

ここで、図-4に示すように、 P_H はカットオフ上部堤体に作用する水平合力、 q_{max} はカットオフ上部堤体底面下流端の鉛直応力、 q_{min} は同上流端の鉛直応力、 q' はカットオフ上面上流端の鉛直応力、 b はカットオフ底面幅、 B_2 はカットオフ上部堤体底面幅、 n は下流法勾配、 n' はカットオフ背面勾配、である。

4 カットオフタイプと標準タイプの転倒安全率の比較

ここでは、以下に示す二つの転倒安全率を具体的な事例を用いて比較する。一つは、「3カットオフ断面の算定方法」によりカットオフ底面の上流端及び堤底上流端に引張応力が発生しない条件（中央1/3の条件）を用いて定めたカットオフ底面幅が最小となる断面の転倒安全率である。もう一つは、カットオフ上部堤体（標準タイプ）の堤底中央1/3の条件を用いて定めた堤底幅が最小となる断面の転倒安全率である。

なお、転倒安全率は、標準タイプにあってはカットオフ上部堤体底面下流端、カットオフタイプにあっては、カットオフ底面下流端におけるモーメントの比として標準タイプと同様に式(1)により定義する。また、上部堤体の形状は、外力（水圧）の高さ（ H ）が同等であれば、カットオフの高さに

拘らず，中央1／3の条件により一義的に定まる。

比較のための具体的な断面として，外力の高さ(H)に8.0m，10.0m，14.5m，天端幅に2.0m，カットオフの高さに1.0，2.0，3.0mを想定する。なお，カットオフの背面勾配は3分とする。また，図-3が示すように，越流水深の変化が転倒安全率に与える影響は，比較的小さいため，比較にあたっては，越流水深はないものとする。他の条件は「2標準タイプの転倒安全率」と同じである。

表-1 カットオフ最小断面と転倒安全率(天端幅2.0m)

外力高さ(H)	8.0m			10.0m			14.5m		
上流法勾配	0.315			0.386			0.470		
堤底幅(B)	6.12m			7.86m			11.715m		
カットオフの高さ(h)	1.0m	2.0m	3.0m	1.0m	2.0m	3.0m	1.0m	2.0m	3.0m
必要最小幅(b)	1.1m	2.2m	2.8m	0.9m	2.0m	2.9m	1.2m	2.1m	2.9m
転倒安全率(Fs)	2.14	1.85	1.71	2.28	1.97	1.80	2.46	2.18	1.99
標準タイプの転倒安全率	2.76			2.82			2.87		

計算結果を表-1，及び図-5に示す。この図から，カットオフの高さが大きくなると，カットオフタイプの転倒安全率が小さくなる事が分かる。また，「2標準タイプの転倒安全率」で示したように，標準タイプの転倒安全率が2.5～2.9程度であるのに対して，カットオフタイプでは，この値より小さくなり，カットオフ高さ3.0mでは，標準タイプに対して6割程度まで低減することが分かる。

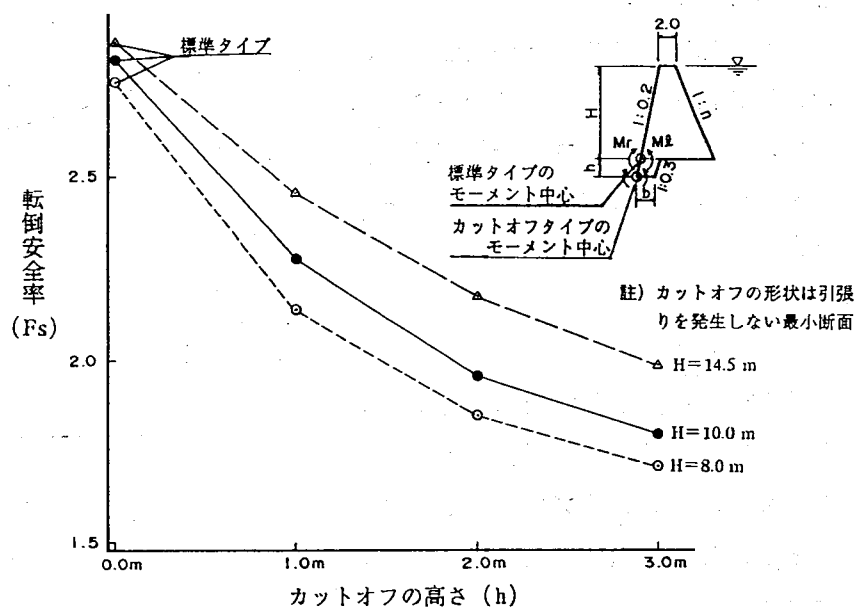


図-5 標準タイプとカットオフタイプの転倒安全率

5 転倒安全率を考慮したカットオフタイプの断面

標準タイプとカットオフタイプとの経済性を比較するため，堤体断面積を指標にして，外力(水圧)条件を一定に取り，以下に示す方法で各々の断面積を求め，概略の検討を実施した。

標準タイプの断面積は，図-6のようにダム上流面に作用する外力の高さ(H)を一定(8m)にして，破線で示すカットオフの高さを含めた全高をダム高(H+h)とする標準タイプの断面を定めて求める。カットオフタイプの断面積は，先に定めた標準タイプと同等の転倒安全率を有するように，カットオフ上部堤体の上流法勾配を大きくして求める(実線)。なお，他の条件は「4カットオフタイプと標準タイプの転倒安全率の比較」と同じである。

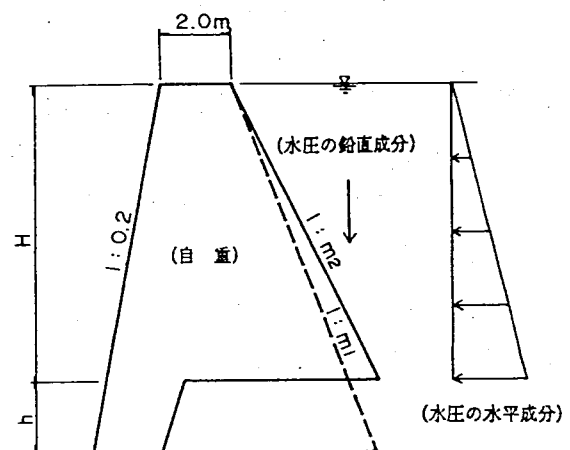


図-6 ダム及び荷重諸元

二つのタイプの断面積の比較結果を表-2、及び図-7に示す。この図から、カットオフの高さが高くなると、カットオフタイプの断面積が、標準タイプの断面積に対して小さくなることから分かる。また、この結果は、限られたケースでの検討であるが、カットオフタイプの転倒の安定性を、現在実施している標準タイプの安定性と同等にしても依然経済的な断面が得られることを示している。

なお、標準タイプの転倒安全率は、比較にあたって外力高さを一定にしたため、「2標準タイプの転倒安全率」で示した値に対して大きな値になっている。

6 おわりに

河床勾配の大きな溪流に重力式砂防ダムを計画する場合、経済性の観点から、カットオフタイプの断面を用いることがあるが、設計に際して、カット

オフ底面上流端及び堤底上流端に引張応力が発生しない条件だけに着目すると、標準タイプに対して、カットオフタイプの転倒安全率が低下することを示した。また、カットオフタイプの断面に標準タイプと同等の転倒の安定性を考慮した場合でも、標準タイプの断面に対して、カットオフタイプが経済的であることを示した。

砂防ダムの転倒に対して必要な安定性は、別の観点からも検討する必要がある事項であるが、カットオフタイプの断面を用いる場合に、技術基準に示されている中央1/3の条件だけに着目すると、転倒に対する安定性を損なう恐れがあるので設計時に留意する必要がある。

また、今回は、転倒モーメントに着目し、地盤条件を考慮しない方法で検討を進めたが、堤体の基礎地盤の変形特性によっては、堤体及び基礎地盤内に偏った応力の発生が考えられ、地盤条件の違いによる設計時の留意点について今後検討を進めていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1)建設省河川局砂防部砂防課，建設省土木研究所（昭和63年度）：砂防施設の設計・施工に関する研究，第42回建設省技術研究会報告，pp.2～10
- 2)建設省河川局監修（平成6年）：建設省河川砂防技術基準（案）設計編〔Ⅱ〕，pp.9～10

表-2 標準タイプとカットオフタイプの断面比較

ダム高 (H+h)	9.0m	10.0m	11.0m	
外力 (水圧) 高 (H)		8.0m		
カットオフ高 (h)	1.0m	2.0m	3.0m	
転倒安全率 (Fs)	3.041	3.313	3.556	
上流法勾配	標準タイプ (m ₁)	0.406	0.467	0.504
	カットオフタイプ (m ₂)	0.482	0.682	0.756
堤体断面積	標準タイプ (A ₁)	42.543㎡	53.350㎡	64.592㎡
	カットオフタイプ (A ₂)	38.974㎡	47.096㎡	55.442㎡

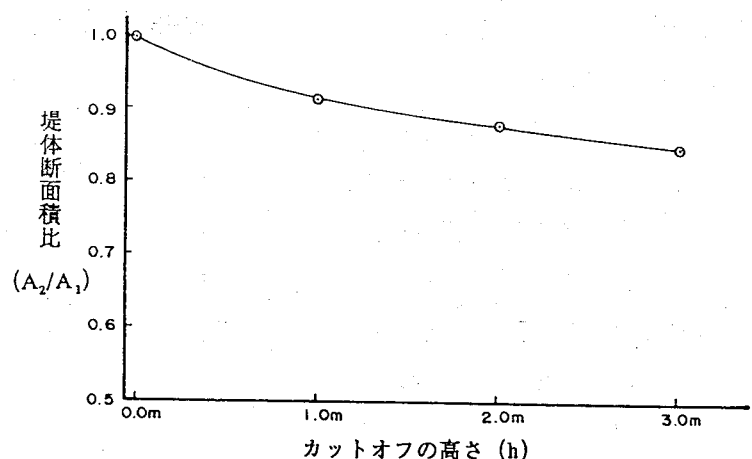


図-7 標準タイプとカットオフタイプの断面積比