

低砂防ダムの断面設計について

九州大学農学部 綿 引 靖

1. はじめに

外的営力により損耗を受けやすい砂防ダムでは、堤体積節減を旨とした設計は、一般に困難である。しかし、制約条件のゆるやかな低ダムにおいては、それが可能であると考えられるので、本論文においては、低ダムの最小体積を与える断面形について述べる。

2. 断面設計

砂防ダムの断面形および、越流時の水圧の作用状態は、図-1に示されている。

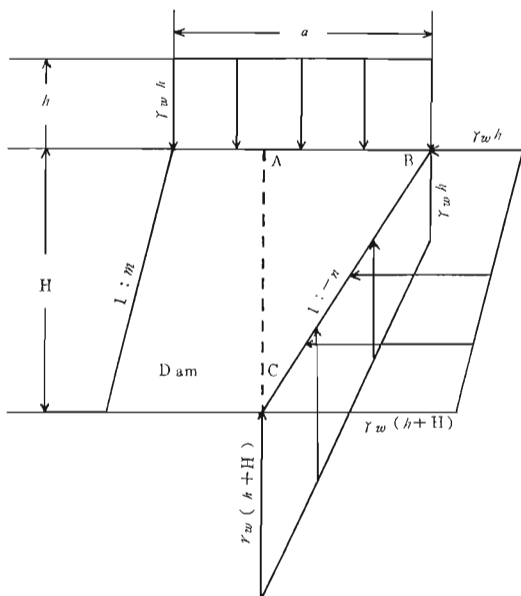


図-1 ダム断面と水圧の作用状態

図-1において、 γ_w は、水の単位体積重量を示し、 $1,200 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$ とする。ダムコンクリートの単位体積重量は γ_c であらわし、 $2,400 \text{ kg}/\text{m}^3$ とする。また、 $a/H = \alpha$ 、 $h/H = \beta$ と定義する。

断面積を S とすると、

$$S = f(m, n, \alpha, H) \quad \text{①}$$

によりあらわされる。このうち、 α 、 H を築設個所に

より決まる定数を考えれば、 m および n を求めることにより、断面形が定まる。これには、2つの条件が必要であるから、断面積を小さくすると考えられるいくつかの条件の中から、2つを選択して適用すればよい。この場合に、最小断面積が得られるのは、次に挙げる3つの方法のいずれかとなる。

Ⅰ 合力の作用点を、越流時 *middle-third* (以下 $m-t$ と呼ぶ) の下流端とし、断面積の極値の誘導に、導関数を用いる。

Ⅱ 越流時に、合力の作用点を $m-t$ の下流端とし、かつ、摩擦抵抗力を合力の水平分力に等しくする。

Ⅲ 合力の作用点を、越流時に $m-t$ の下流端に、空虚時に上流端にとる。

基本となる式は、次のようなものであり、 m および n の関係については、

合力の作用点が、越流時 $m-t$ の下流端にある場合

$$n = -2m - \alpha + \sqrt{\frac{2(1+2\beta)m^2 - 2\alpha m + 1 + 3\beta - \alpha^2}{1 + \beta}} \quad \text{②}$$

合力の作用点が、空虚時 $m-t$ の上流端にある場合

$$n = \frac{1}{2} \left\{ -m - 3\alpha + \sqrt{(m + \alpha)(m + 5\alpha)} \right\} \quad \text{③}$$

摩擦抵抗力が、越流時に合力の水平分力と等しくなる場合 (μ : 摩擦係数、0.75とする)

$$n = \frac{(1 + 2\beta) \mu - 2\alpha(2 + \beta) - 2m}{3 + 2\beta} \quad \text{④}$$

この他に、ダム断面積をあらわす式

$$S = \frac{H^2}{2} (2\alpha + m + n) \quad \text{⑤}$$

が用いられる。

各方法において、次の要領により、 m および n を求める。Ⅰでは、②および⑤から、 S を m あるいは n の一方の関数であらわし、導関数が0になる条件を適用する。Ⅱでは、②および④から、これを同時に満足するように解く。同様に、Ⅲでは、②および③が同時に満足するように解く。このうち、各々について、⑤を用い、断面積を求める。

定数である α および β を、ここでは、それぞれ 0.0 ~ 1.0, 0.0 ~ 1.2 の間で変化させ、その各々の場合における断面を、上記3方法により計算する。ダムの各種安定条件に照らし、満足しないものは棄却する。

こうして得られた値から、最小断面積を選ぶことにより、 α および β の各値における断面形が定まる。この結果として、その形状を示す m および n の値、ならびに採用された方法が、表-1に示されている。 α が小さい領域ではⅠの方法が、これが大きくなるにしたがい、ⅡおよびⅢの方法が採用されている。こうして得られるダムでは、断面積は従来のものに比べ、8~9%程度節減されるものである。

断面形の特徴として、 m が比較的大きくなり、また n が負になることが挙げられる。 m が大きくなれば、流下する石礫の作用により、下流側ノリ面が損傷されることが考えられる。しかしながら、水叩工部の洗掘を調査した結果¹⁾によれば、高さ1mから6mの低ダムにおいては、 m を0.25~1.0に採ることができる。つまり、この範囲では、ノリ面の損傷の恐れはないから、表-1に示された値は、適用の可能性を持つもの

である。なお、 n が負であるときは、上流側ノリ面が逆勾配となる。この場合、引張応力の発生が予想される。図-1において、逆勾配の部分(ABC)を、三角形片持バリと考えると、ハリ上縁のA点に生ずる応力(σ_A)は、

$$\sigma_A = -(\gamma_c - \gamma_w) n^2 H + \gamma_w h \quad \text{⑥}$$

σ_A の絶対値が最大になるのは、空虚時($\gamma_w = 0$)であり、 n は、この時を基準に決定される。コンクリートの引張強度は、設計上0とされるが、実際圧縮強度の10%程度存在する。ここでは、 $\sigma_A = -10 \text{ kg/cm}^2$ を限度とし、低ダムであるから、 $H = 6 \text{ m}$ を上限にとれば、⑥より $n = -2.635$ となるが、表-1に示された最大の逆勾配が $n = -0.397$ であるので十分安全といえる。

引用文献

- (1) 綿引 靖：日林九支研論, 30.301~302, 1977

表-1 最小断面積となる砂防ダム断面

β	0.0			0.2			0.4			0.6			0.8			1.0			1.2		
	m	n	方法	m	n	方法	m	n	方法	m	n	方法	m	n	方法	m	n	方法	m	n	方法
0.0	0.707	0.000	I, Ⅲ	0.655	0.218	I	0.624	0.356	I	0.603	0.452	I	0.588	0.523	I	0.577	0.577	I	0.556	0.634	Ⅱ
0.1	0.576	-0.012	Ⅲ	0.688	0.046	I	0.650	0.200	I	0.624	0.306	I	0.607	0.384	I	0.593	0.443	I	0.560	0.514	Ⅱ
0.2	0.470	-0.039	Ⅲ	0.624	-0.034	Ⅲ	0.672	0.041	I	0.643	0.157	I	0.623	0.242	I	0.591	0.323	Ⅱ	0.559	0.395	Ⅱ
0.3	0.380	-0.075	Ⅲ	0.522	-0.066	Ⅲ	0.633	-0.061	Ⅲ	0.648	0.019	Ⅱ	0.615	0.121	Ⅱ	0.584	0.207	Ⅱ	0.555	0.278	Ⅱ
0.4	0.299	-0.116	Ⅲ	0.433	-0.105	Ⅲ	0.536	-0.098	Ⅲ	0.621	-0.092	Ⅱ	0.597	0.007	Ⅱ	0.571	0.091	Ⅱ	0.547	0.163	Ⅱ
0.5	0.225	-0.160	Ⅲ	0.353	-0.147	Ⅲ	0.450	-0.138	Ⅲ	0.529	-0.132	Ⅲ	0.574	-0.105	Ⅱ	0.555	-0.022	Ⅱ	0.534	0.049	Ⅱ
0.6	0.157	-0.206	Ⅲ	0.279	-0.191	Ⅲ	0.372	-0.181	Ⅲ	0.446	-0.174	Ⅲ	0.508	-0.168	Ⅲ	0.534	-0.134	Ⅱ	0.518	-0.064	Ⅱ
0.7	0.092	-0.253	Ⅲ	0.210	-0.236	Ⅲ	0.299	-0.225	Ⅲ	0.371	-0.217	Ⅲ	0.429	-0.211	Ⅲ	0.479	-0.207	Ⅲ	0.499	-0.175	Ⅱ
0.8	0.030	-0.301	Ⅲ	0.146	-0.283	Ⅲ	0.232	-0.271	Ⅲ	0.301	-0.262	Ⅲ	0.357	-0.256	Ⅲ	0.405	-0.251	Ⅲ	0.446	-0.246	Ⅲ
0.9	-0.029	-0.349	Ⅲ	0.085	-0.330	Ⅲ	0.169	-0.317	Ⅲ	0.236	-0.308	Ⅲ	0.291	-0.301	Ⅲ	0.336	-0.296	Ⅲ	0.376	-0.291	Ⅲ
1.0	-0.086	-0.397	Ⅲ	-0.027	-0.377	Ⅲ	0.110	-0.364	Ⅲ	0.175	-0.355	Ⅲ	0.228	-0.347	Ⅲ	0.273	-0.341	Ⅲ	0.311	-0.336	Ⅲ