

スキージャンプ型余水路射出水の  
水平到達距離に関する研究A STUDY ON THE COMPUTATION OF HORIZONTAL DISTANCE  
OF JET ISSUED FROM SKI-JUMP SPILLWAY川上 謙太郎\*  
By Kentaro Kawakami

## 1. ま え が き

スキージャンプ型余水路より放出される水流はかなりの速度を有しており、ゼット流として考えられねばならない。

これまでダムの余水路より放出される水流の水平到達距離の計算には、水流は放物線軌道を描くものとし、空気抵抗の影響は考慮しなくてもよいものと考えられてきた。

著者はさきに消火用ノズルゼットの水平到達距離<sup>2)</sup>について考察した結果、ゼット流の速度がある限界(約8.5 m/sec)を越えた場合には、水流の水平到達距離が空気抵抗その他の要因により影響され、放物線軌道より得られる距離より小さくなることを明らかにした。このことからダム余水路の場合にも、水流の規模いかんによっては空気抵抗などの影響を受けることがあるのではないかと示唆しておいた。

その後、実際のダム余水路に関する調査データが皆無のため、確証を提示できないままになっていたが、昭和47年の台風期に大型射出水の飛距離について、貴重な測定資料を入手することができた。

これら中部電力大井川畑第2ダムならびに台北淡水河石門ダムに設置されたスキージャンプ型余水路における射出水測定資料について検討した結果、ダム余水路においても流速がある限度をこえた場合、水流の水平到達距離は、空気抵抗を考慮しないものよりかなり低減される事実が明らかになった。

かかる射出水の水平到達距離は、射出端の流速、射出角度などに影響されるといわれる。流速分布は、射出端で均一な分布をするものではないし、また構造物の射出角度と水流角は、必ずしも一致しないともいわれて、複

雑な要因がある。

しかし、これらの要因を総合した合成結果を考え、射出水の水平到達距離が、空気抵抗によって低減されるとの観点から、実測資料により空気抵抗に関する係数を決定し、射出水の水平到達距離を算定する方法を提案した。

## 2. 射出水の運動経路

物体が空中を運動する場合、速度が大きくなると空気抵抗はおよそ速度の2乗に比例する。そして運動経路も空気抵抗により影響され、放物線より多少はずれてくる。

図一の  $xy$  座標の原点より、初速度  $v_0$  で一定方向に射出される水流の運動経路は次式で表わされる<sup>2)</sup>。

$$y = \frac{1}{gk^2} \ln(\cos r + \tan \alpha \cdot \sin r) \dots\dots\dots (1)$$

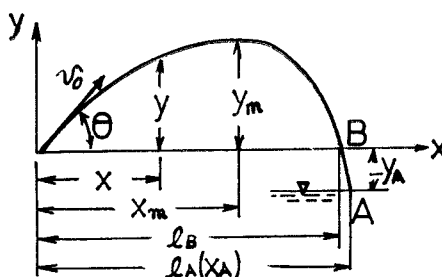
$$y_m = \frac{1}{gk^2} \ln \sec \alpha \dots\dots\dots (2)$$

$$x_m = \frac{1}{gk^2} \ln(1 + ku_1 \alpha) \dots\dots\dots (3)$$

$$l_B = \frac{1}{gk^2} \ln(1 + 2ku_1 \alpha) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

$y$ : 原点より  $x$  の水平距離にある射出水の高度



図一 射出水の経路

\* 正会員 工博 近畿大学教授 理工学部土木工学科

- $y_m$  : 射出水の最大高度 (m)
- $x_m$  : 最大高度  $y_m$  に達する水平距離 (m)
- $l_B$  : 軌道が  $x$  軸と交わる水平距離 (m)
- $k$  : 空気抵抗に關係ある係数  
 $k=0.00028 v_0^{1.20} m^{-0.070}$  (式 (8) 参照)
- $m$  : 断面係数  $= A/p$
- $A$  : 射出水始点の断面積  $= B_0 h_0$  (m<sup>2</sup>)
- $p$  : 空気に接する  $A$  の周長  $= 2(B_0 + h_0)$  (m)
- $v_0$  : 射出水の始点における速度 (m/sec)
- $r = \frac{e^{gk^2 x} - 1}{ku_1}$  (rad)
- $\alpha = \tan^{-1} kv_1$  (rad)
- $u_1 = v_0$  の水平分速度 (m/sec)
- $v_1 = v_0$  の垂直分速度 (m/sec)
- $\theta$  : 原点において射出水が水平軸となす角
- $g$  : 重力の加速度  $= 9.8$  (m/sec<sup>2</sup>)

3. 係数  $k$  の算定式

(1)  $k$  の考察と式形の選び方

空気抵抗係数  $K$  を用いて、ノズルゼット流の運動を考察する際、 $k^2 = K/Mg$  (ただし  $M$  は物体の質量) として新たに係数  $k$  を定義した。すなわち、 $k$  は空気抵抗に關係する係数である。その値は実験の結果から定まるものであるが、直接に測定することはむずかしい。しかし余水路の場合、射出水がアフターベイの水面に到達する最遠点の水平距離  $x$  とその高度  $y$  の実測値があれば、これを式 (1) に適用して  $k$  を逆算することができる。本文では概略次のように  $k$  の算定式を考察した。

- 1) 式 (1) を書き換えて式 (6) を得る。
  - 2) 中部電力畑薙第2ダムおよび台北・石門ダムの現地測定資料<sup>3)</sup> (表-2 参照) を式 (6) に代入して  $k_F$  を算定する。
  - 3) この  $k_F$  と  $v_0$  (表-3 参照) との關係を 図-4 に示し  $v_0 - k_F$  の曲線を得た。
  - 4)  $v_0$  と  $k$  の關係の実験式として  
 $k = av^b m^c$  ..... (5)
- を用いる。

(2) 測定資料より  $k_F$  の算定

本文に用いたダム余水路の諸元は表-1 に、放流時の測定調査資料は表-2 に示した。一方、射出水経路の式 (1) は、計算しやすい形として、次のように書き換える。

$$e^{gk^2 y} = \cos r + \tan \alpha \cdot \sin r \text{ ..... (6)}$$

ただし  $r = \frac{e^{gk^2 x} - 1}{ku_1}$

表-1 ダム余水路の資料 (図-2 参照)

畑薙第2ダム：中部電力、静岡、大井川筋、発電用 (完工 1961.8)  
 石門ダム：台湾省、台北、淡水河筋、灌漑用 (完工 1964)

ダム名	水路落差	入口幅	中矢幅	出口幅	水路長	出口仰角
	H(m)	B <sub>e</sub> (m)	B <sub>m</sub> (m)	B <sub>o</sub> (m)	L(m)	θ
畑薙第2	30.0	3 @ 8.8 = 26.4	25.2	24.0	55.0	20°
石門	86.6	6 @ 14.0 = 84.0	72.0	60.0	193.5	35°

表-2 ダム放水時の現地測定調査資料 (図-2 参照)

ダム名	番号	測定調査年月日	流量 Q (m <sup>3</sup> /sec)	水深 h (m)	開度 h <sub>1</sub> (m)	水平距離 x <sub>A</sub> =l <sub>A</sub> (m)	水位 -y <sub>A</sub> (m)
畑薙第2	1	1972.9.17	45	10.28	0.19	32.0	-14.27
	2	"	140	10.80	0.64	50.0	-13.81
石門	3	1972.8.9	596	6.97	1.00	80.0	-13.72
	4	1972.8.21	662	5.40	1.25	85.0	-13.70
	5	"	1251	5.65	2.49	100.0	-13.20
	6	1971.9.23	3060	10.20	5.70	110.0	-12.20
	7	1972.8.17	4250	12.11	6.30	112.0	-11.25

表-2 の資料を用いて式 (6) により  $k$  を計算する場合、 $v_0$  および  $h_0$  が必要である。しかし、これらの値を現地で直接測定することは大変困難である。そこで 図-2 において水門と水路の出口の間にベルヌーイの法則を適用して、式 (7) から  $v_0$ 、 $h_0$  を算定した。

$$H_e = H + h_e = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} + H_f \text{ ..... (7)}$$

ただし  $H_f = f_r \frac{L}{R_m} \frac{v_m^2}{2g}$ ,  $f_r = 2gn^2/R_m^{1/3}$ ,

$$n = 0.016, v_m^2 = \frac{1}{3}(v^2 + vv_0 + v_0^2)$$

$f_r$  の値は 図-3 に示した。

余水路の流れは、実際には不等流であり、上式の適用には問題があるが、実用的に適当な計算方法がないので、便宜上マンニングの損失水頭係数を適用した。

これらを用いて式 (6) の計算より得られた  $k$  を  $k_F$  として表-3 に示している。得られた  $k_F$  と初速度  $v_0$  の關係は 図-4 に示すとおりである。図中の  $k_F$  のなかには射出水の初速度  $v_0$  の影響による項  $k_0$  と、断面

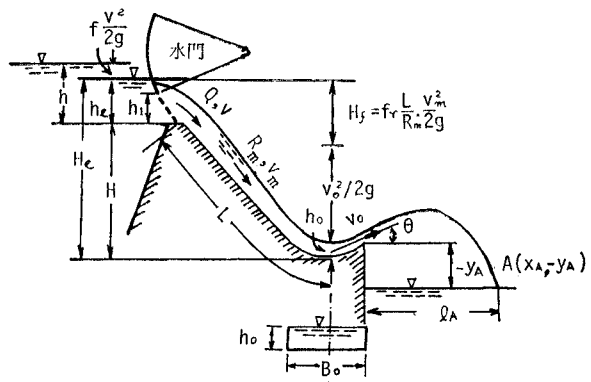


図-2 余水路縦断面図

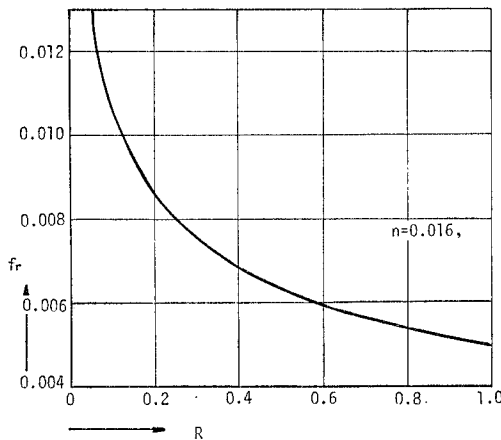


図-3  $f_r$  の値

表-3 測定資料より計算した  $k_F$

ダム名	番号	測定資料			補助資料			$k_F$
		$Q$	$L_A$	$y_A$	$v_0$	$h_0$	$m$	
畑窪第2	1	45	32.0	-14.27	14.85	0.13	0.063	0.0085
	2	140	50.0	-13.81	21.67	0.29	0.145	0.0132
石門	3	596	80.0	-13.72	28.05	0.35	0.176	0.0169
	4	662	85.0	-13.70	29.32	0.37	0.187	0.0183
	5	1251	100.0	-13.20	33.99	0.61	0.304	0.0208
	6	3060	110.0	-12.20	38.33	1.33	0.645	0.0225
	7	4250	112.0	-11.25	39.56	1.79	0.870	0.0233

単位: m

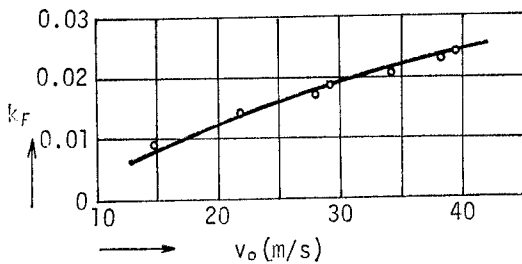


図-4  $v_0-k_F$  曲線

係数  $m$  の影響による項  $k_m$  が含まれていると考えた。この  $k_v$  と  $k_m$  の関係については次のように考えた。ダムの余水路の場合は、水路の流量が変われば、水流の連続の法則にしたがって射出口の流速と断面の大きさ形状が相関連して変化する。このため  $k$  に対する  $v$  と  $m$  の影響は不可分の関係を保ち、これらを分けて考えることはむずかしい。すなわち、 $k$  に対し  $v$  と  $m$  は相関的な関係にあるものと考えて式 (5) の形を選んだ。

$$k = av^b m^c \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $a, b, c$ : 定数

これらの定数は  $k, v, m$  の値が既知であれば、最小自乗法によって決定できる。今後各種のダムにおいて、 $k$  を決定することができる。

(3)  $k$  の式の決定

図-4 の曲線を式 (5) で表わしうるとして、最小自乗法により式 (5) の定数  $a, b, c$  を決定すると次式を得る。

$$k = 0.00028 v^{1.20} m^{-0.070} \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 $v$ : 射出水の初速度 (m/sec)

$m$ : 射出水始点の断面係数  $= A/p$

式 (8) は余水吐の大型射出水の係数  $k$  の算定式になる。

(4)  $k$  の式の精度

式 (8) から計算した  $k$  を  $k_c$  とし、 $k_F$  に対する精度を  $\sigma_r = \{ [VV]/N \}^{1/2}$  より計算して表-4 に示した。その結果によれば、標準誤差は約 1.8% であって精度はかなり高いものと考えられる。

表-4  $k_c$  の  $k_F$  に対する精度

番号	$v_0$	$m$	$k_F$	$k_c$	$k_F - k_c$	$V(\%)$	$[VV]$
1	14.85	0.063	0.0085	0.0086	-0.0001	-1.18	1.39
2	21.67	0.145	0.0132	0.0128	+0.0004	+3.03	9.16
3	28.05	0.176	0.0169	0.0173	-0.0004	-2.36	8.56
4	29.32	0.187	0.0183	0.0181	+0.0002	+1.09	1.19
5	33.99	0.304	0.0208	0.0209	-0.0001	-0.48	0.23
6	38.33	0.645	0.0225	0.0229	-0.0004	-1.78	3.17
7	39.56	0.870	0.0233	0.0233	$\pm 0.0000$	$\pm 0.00$	0.00
計	$N=7, \sigma_r = [23.70/7]^{1/2} = 1.84\%$						23.70

(5)  $k$  の式型の考察

$k$  の式は射出水の初速度  $v_0$  と断面係数  $m$  の相関関係から定まるものと考えて式 (8) を決定している。この式型が適当であるかどうかについて次のように考察した。式 (8) を書きかえて

$$k = aX, \text{ ただし } X = v^{1.20} m^{-0.070}$$

表-5  $X, k_c$  の計算

番号	$Q$ ( $m^3/sec$ )	$v_0$ ( $m/sec$ )	$m$ (m)	$v_0^{1.20}$	$m^{-0.070}$	$X$	$k_c$
1	45	14.85	0.063	25.1	1.21	30.5	0.0086
2	140	21.67	0.145	39.5	1.14	45.2	0.0128
3	596	28.05	0.176	53.7	1.12	60.7	0.0173
4	662	29.32	0.187	56.7	1.12	63.7	0.0181
5	1251	33.99	0.304	67.6	1.09	73.4	0.0209
6	3060	38.33	0.645	78.0	1.03	80.5	0.0229
7	4250	39.56	0.870	81.0	1.01	81.9	0.0233

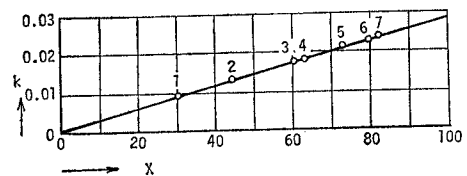


図-5  $k-X$  の関係

とし、 $X$  についての直線式とする。表-5 に計算した  $X-kc$  の関係が直線上に点示できれば、選んだ式型は適正のものといえる。この検証は 図-5 に示すように、資料の7つの点はすべてほぼ一直線上に点示されている。すなわち、式 (5) から導かれた式 (8) は  $k$  の式型として適正であると判断される。

#### (6) $k$ の値に影響する $v_0$ と $m$ の割合

表-5 に  $k$  に影響する  $v$  と  $m$  の項の絶対値を示した。流量が  $45 \text{ m}^3/\text{sec}$  および  $4250 \text{ m}^3/\text{sec}$  の場合、その比はおよそ 20:1 および 80:1 の割合になっている。流量がおよそ  $3000 \text{ m}^3/\text{sec}$  を越える大型余水路の場合は、 $m^{0.070}$  の値は1に近づいている。このように大流量の場合は、 $k$  はほとんど  $v$  だけの影響によって定まるものと考えられる。

### 4. 水平到達距離 $l_k$ の算定

#### (1) 射出水の水平到達距離

石門ダム余水路の構造の概要と放流時の射出水の状況を写真-1~5 に示した。射出水の流過状況は、水路の

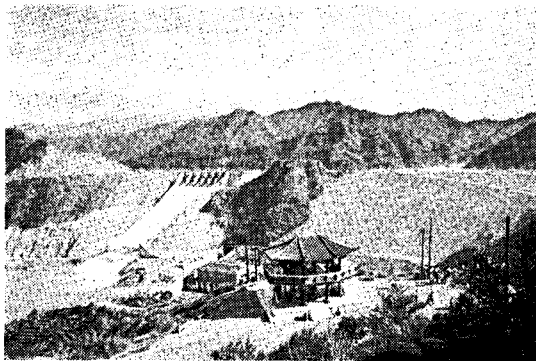


写真-1 石門ダム余水路全景（水門閉鎖時）

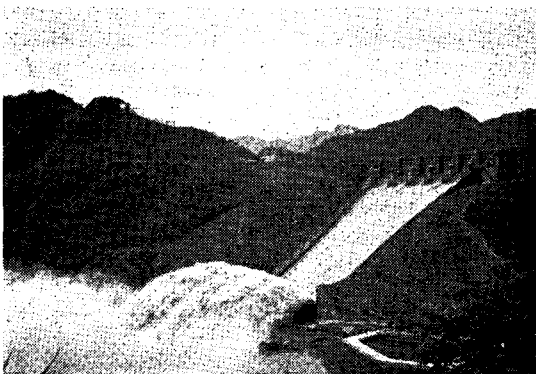


写真-2 石門ダム放流時の射出水  
 $Q=1251 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 1972.8.18

出口を放たれると、進行方向に対して左右への拡散は認められない。しかし、上下方向にかなりの厚さの水脈となってアフターベイの水面に広い分布長さをもって到達する。写真-3 の場合、先端の到達距離は 100 m、後端のそれは 50 m と推測されている。このように水流は広い分布長さをもってアフターベイに落下するのであるが、後端の落下点決定は現場では危険多く事実上測定不可能であり、十分な資料は得られていない。

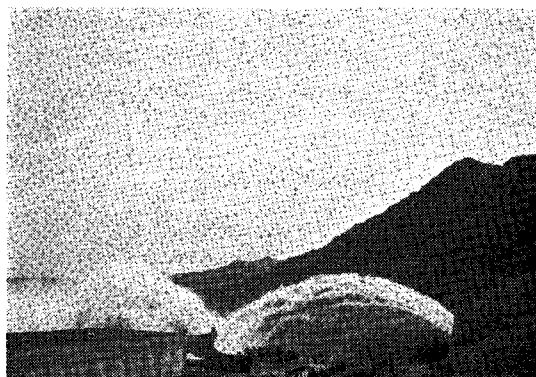


写真-3 石門ダムの射出水  
 $Q=1251 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 1972.8.18

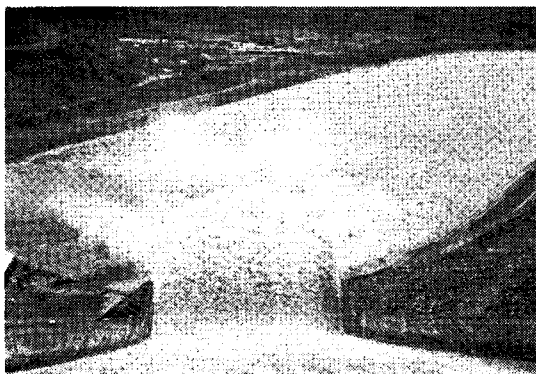


写真-4 石門ダム射出水、余水路上流より見た射出水 1972.8.18

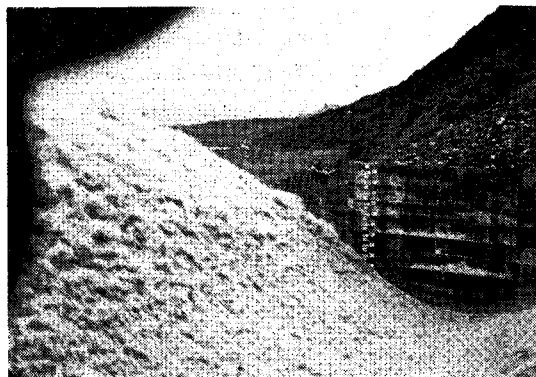


写真-5 石門ダム射出水始点付近の流況  
1972.8.18

本来、射出水流の中心軌道について、その水平到達距離を算定すべきところであるが、現在の資料では、水流の分布幅が不明確で、水流中心線の軌道を資料として示しがたい。そこで不明確な要素のはいる水流中心線よりは、明確な水流先端の軌道を  $k$  の算定資料として用いている。

また、ここでは流速を射出端で一様と考えているが、通常の水路では、等流の場合表面と底面近くでかなりの速度差がある。しかし射流の場合、流速は平均化され、表面と底面近くでの速度差は少なくなるものとする。

(2)  $v_0$  と  $l_k/l_0$  の対照および  $k$  の無視できる限界速度

式 (6) から計算した射出水の水平距離  $l_k$  と、空気抵抗がないものとする放物線軌道の水平距離  $l_0$  の差は、 $v_0$  とともに増大する。両水平距離の比  $l_k/l_0$  と  $v_0$  の関係を 図-6 に示す。この図において、 $l_k/l_0$  は初速度  $v_0$  によって大きく左右されている。

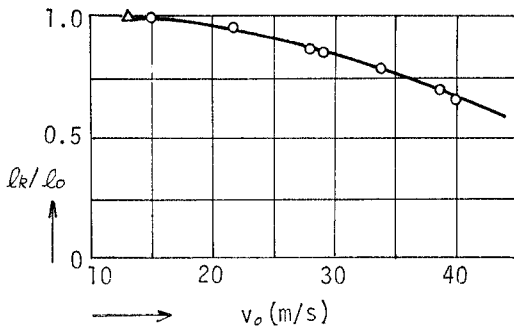


図-6  $v_0$  と  $l_k/l_0$  の対照

$v_0$  が 40 m/sec になると、この比はおおよそ 68% になって  $k$  の影響がかなり大きいものになる。また、 $v_0$  が 13 m/sec のとき比は 1 になり、 $k$  の影響がなくなっている。この速度が射出水の軌道の計算に  $k$  を考慮すべき限界の速度を示すものと考えられる。したがって、式 (8) は  $v > 13$  m/sec の場合に用いて有効となる。

(3) 射出水の末端の速度

射出水がアフターベイの水面に落下する方向および流速は、アフターベイの洗掘を予想する尺度として重要である。

図-1 の A 点における流速  $v_A$  は水平分速度  $u_2$ 、および垂直分速度  $v_2$  を合成すればよい。

$$u_2 = \frac{1}{\frac{1}{u_1} + gk^2t}$$

$$v_2 = \frac{1}{k} \tan \{ \tan^{-1} kv_1 - gkt \}$$

ただし、 $t = \frac{e^{gk^2x} - 1}{gk^2u_1}$  : 到達時間

より

$$u_2 = \frac{u_1}{e^{gk^2x}} \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots (9)$$

$$v_2 = \frac{1}{k} \tan(\alpha - \gamma) \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots (10)$$

ただし、 $\alpha = \tan^{-1} kv_1$  (rad),  $\gamma = \frac{e^{gk^2x} - 1}{ku_1}$  (rad)

ゆえに

$$v_A = \sqrt{u_2^2 + v_2^2} \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots (11)$$

式 (11) より射出水がアフターベイ水面の A 点に到達するときの速度が計算される。しかし、射出水の拡散のため断面が拡大するので、実際の速度はこれより若干小さくなるであろう。また射出水の方向は、A 点において水平軸と角  $\theta_A$  をなし下向きになる。

$$\tan \theta_A = v_2/u_2 \dots\dots\dots (12)$$

5. 射出水の経路の比較

係数  $k$  を考慮した場合と考慮しない場合の経路の比較を、流速  $v_0$  の 5 段階について行なった。その資料は表-6 に示し、計算の結果を 図-7 (a)~(e) に示した。図 (a), (b) の畑雑第 2 ダムの程度の規模の流量や流速については  $k$  の影響はきわめて小さく、2 つの経路はほとんど一致している。図 (b) の場合に終端近くで若干影響がある程度である。次に 図-7 (c), (d), (e) の石門ダムでは畑雑第 2 ダムに比べて余水路の規模ははるかに大型である。流量が 1 251~4 250 m<sup>3</sup>/sec、流速が約 29~40 m/sec と増大するにしたがって  $l_k/l_0$  の比は 85, 79, 68% のように小さくなり、 $k$  の影響はかなり大きくなっている。このような  $k$  の影響は軌道の後半に現われる傾向にある。すなわち、経路の前半はほとんど影響はないが、最高点  $y_m$  を過ぎて経路が下向するにしたがって著しくなっている。これによって経路の水平距離は短縮し、もはや  $k$  の影響は無視することができなくなっている。このことはダム地点の基礎地盤が軟弱で大型のスキージャンプ型余水路を築造しようとする場合に、アフターベイの適切な規模を判断するうえに役立つであろう。

表-6 経路の比較計算資料

ダム名	Q (m <sup>3</sup> /sec)	$v_0$ (m/sec)	$m$ (m)	$\theta$ (度)	$k_C$	$l_k/l_0$ (%)
畑雑第 2	45	14.85	0.063	20°	0.0085	99
	140	21.67	0.145	"	0.0128	95
石 門	662	29.32	0.187	35°	0.0181	85
	1 251	33.99	0.304	"	0.0208	79
	4 250	39.56	0.870	"	0.0232	68

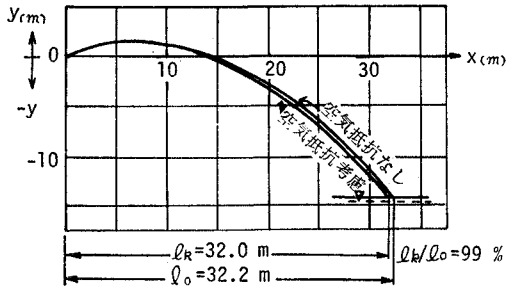


図-7 (a) 畑籾第 2 ダム  
 $Q=45 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $v_0=14.85 \text{ m/sec}$

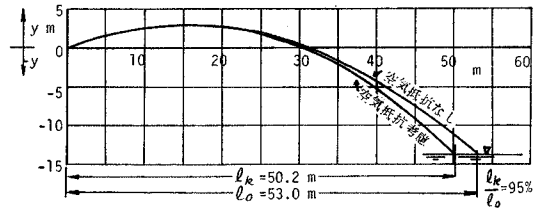


図-7 (b) 畑籾第 2 ダム  
 $Q=140 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $v_0=21.67 \text{ m/sec}$

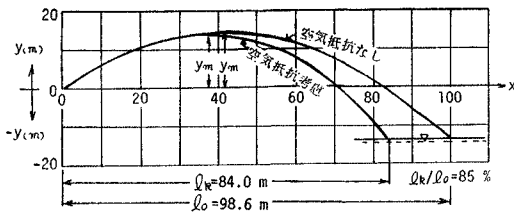


図-7 (c) 石門 ダム  
 $Q=662 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $v_0=29.32 \text{ m/sec}$

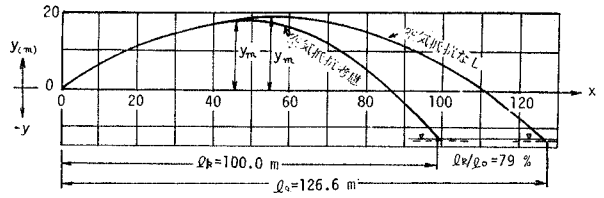


図-7 (d) 石門 ダム  
 $Q=1251 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $v_0=33.99 \text{ m/sec}$

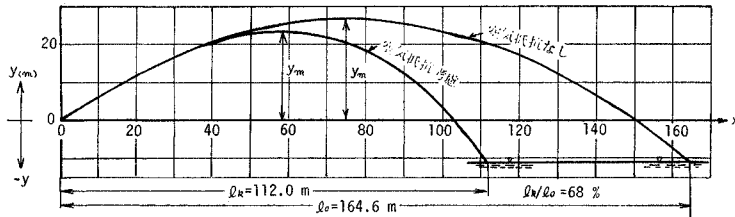


図-7 (e) 石門 ダム  
 $Q=4250 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $v_0=39.56 \text{ m/sec}$

以上の計算は次の式によって行なった。

a) 空気の抵抗を考慮した場合

$$y = \frac{2.30}{gk^2} \log(\cos r + \tan \alpha \cdot \sin r),$$

$$r = \frac{e^{\theta k^2 x} - 1}{ku_1}, \quad l_B = \frac{2.30}{gk^2} \log(1 + 2k\alpha u_1)$$

$$y_m = \frac{2.30}{gk^2} \log \sec \alpha, \quad x_m = \frac{2.30}{gk^2} \log(1 + k\alpha u_1)$$

b) 空気の抵抗を考慮しない場合

$$y = x \left( \tan \theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x \right),$$

$$l_B = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta,$$

$$y_m = \frac{l}{4} \tan \theta, \quad x_m = \frac{l_B}{2}$$

### 6. 大型射出水の研究に対する模型実験の可能性

大型射出水の経路に対する空気抵抗の影響の有無は、

模型実験により検討すればよいとの論もあろう。

本研究では、水流の初速度が 13 m/sec を越えると、空気抵抗の影響が現われることを示した。この傾向は現地の水流から見出されたものであるが、模型の水路の場合にもあてはまるものと考えられる。したがって、空気抵抗のある水流の模型実験を行なう場合、模型の流速は現地の流速に対応し、13 m/sec 以上を保持することが必要である。いま、現地の流速を  $V$ 、模型の流速を  $v_n$ 、模型の縮尺を  $1/n$  とし、上の条件に沿う三者の関係を求めると、流速の相似律により

$$1/n = v_n^2 / V^2 \dots\dots\dots (13)$$

が得られる。次に石門ダムの現地資料(表-3)を引用して、模型の流速が 13 m/sec になる  $1/n$  およびこのとき模型に与える流量  $q$  を計算すると表-7 のとおりである。

計算結果が示すように、模型の縮尺、流量ともにこれまでの慣例をはるかに越えた大きさであり、模型実験ではとうてい応じられない巨量のものである。すなわち、空気抵抗の影響を受けるスキージャンプ大型余水路の射

表一7 石門ダム模型実験の規模

Q (m <sup>3</sup> /sec)	v <sub>0</sub> ≡V (m/sec)	v (m/sec)	1/n	q (m <sup>3</sup> /sec)
662	29.32	13.0	1/5.6	8.9
1 251	33.99	13.0	1/6.8	10.4
4 250	39.56	13.0	1/9.3	16.3

表一8 石門ダム模型実験結果 (米国顧問団 1960)

流 量 (m <sup>3</sup> /sec)	最遠到達距離 (m)	着水の分布長さ (m)
1 000	97.0	31.5
1 500	127.0	32.0
2 000	135.0	29.0
3 000	156.0	30.0
5 000	176.0	29.0
8 000	206.0	29.0

出水の経路に対する実験研究は模型実験からは無理であり、本文のように、現地の測定調査資料によるほかはないであろう。

なお、石門ダムの計画に際し、米国顧問団は模型実験を行ない、射出水の軌道<sup>5)</sup>を報告している。これより射出水の最遠の到達距離、および着水の分布長さを求めると表一8のようになる。

この到達距離は著者の試算によれば、空気抵抗の影響を考慮しない放物線軌道の値とほとんど同じである。

このように模型実験から空気抵抗の影響を検討することは困難であると考ええる。

### 7. ノズルゼットの k の式の再提示

さきにノズルゼットの k の式<sup>2)</sup>に

$$k = k_v + k_m = 0.00057 v + 0.000027 / m^{1.35} \dots (A)$$

を提示した。式の右辺を和の形にしたのは、k が m のちがう3種のノズルの実験資料をもとにし、k<sub>v</sub> と k<sub>m</sub> をはっきり区別することができたためである。しかし、本文の余水路の場合は、水流の連続性の法則にしたがって v と m が関連連して変化することを考慮し、k<sub>v</sub> と k<sub>m</sub> は不可分に av<sup>b</sup>m<sup>c</sup> なる指数形を選んだ。ノズルの場合もこの指数形のなかに含まれるものと考えた。よって、(A) の式の決定に用いた資料を本文の式(5)の式形に適用し、定数 a, b, c を決定した。これをノズルの k として新しく次の (B) の式を得た。

$$k = 0.00019 v^{0.41} m^{-0.77} \dots (B)$$

式 (B) の誤差は資料の k<sub>F</sub> に対して約 1% になり、さきに求めた式 (A) の 2.3% にくらべて若干小さまっている。よってノズルの k の式として新しく提案する。

### 8. む す び

本文はスキージャンプ型余水路の大型射出水の運動経

路ならびに水平到達距離について、実測結果をもとに、その算定法を考究したものである。

実測資料によれば、規模の小さい射出水の水平到達距離は、従来の放物線軌道による計算結果と一致するが、射出端の流速が 13 m/sec 以上という大規模なものでは、水平到達距離は従来の計算値よりかなり低減する。これらは空気抵抗の影響によるものと考えて、空気抵抗に関する係数 k を導入し、水平到達距離を算定する方法を示した。

空気抵抗に関する係数 k については、水路の規模、射出口の構造によりゼットの拡散が違うことを考慮し、開水路に適合した式形を選んだ。

本文の研究の成果は次のように要約される。

(1) 中部電力大井川畑煙第2ダムならびに台北・淡水河石門ダムに施設されたスキージャンプ型余水路の射出水の実測資料を用いて、空気抵抗に関する係数 k の式を作った。

(2) この式から計算した k を用いて両ダム余水路の射出水の経路(軌道)を計算し、これを空気抵抗の影響を考慮しない場合の放物線軌道と比較した。

(3) この経路の比較により、ダム余水路の場合もノズルゼットの場合と同じように空気抵抗の影響がかなり大きく現れていることが認められた。

(4) 空気抵抗の影響の状態は、軌道のはじめの間はごくわずかであるが、最高点の少し手前から急に現われはじめる。この傾向は軌道が下向するにしたがって、終点に向かって大きく下降してくる。これによって射出水の水平到達距離が短縮されてくる。

(5) 射出水の初速度 v<sub>0</sub> が約 13 m/sec のとき、軌道は放物線に一致し、それ以下の速度の場合は k の影響は現われないものとなる。

(6) さきに提示したノズルゼットの k の式は余水吐の k の式と同じ指数型にすることができる。よって定数を算定し、本文にノズルの k の式として提案した。

上に述べた研究の成果により、スキージャンプ型余水路の大型射出水の経路ならびに飛距離は、施設や流量が小規模 (v<sub>0</sub> < 13 m/sec) の場合は、これまでのように放物線軌道にしたがうとして差し支えないが、より大型の射出水の場合は係数 k を用い空気抵抗の影響を考慮するほうが実際に近い結果が得られるであろう。

付 記：本研究を進めるに当って、測定資料の収集については、中部電力本社 原田設備運営課長ならびに静岡支店工務部 横田土木課長、菊池ダム主任、さらに中華民国經濟部水利司司長 薛履坦、台湾省石門水庫管理局營運處處長 熊汝統、同資料課課長 張維城、三祐コンサルタンツ台北連絡所所長 周耀銘氏など内外の皆

さん方の現地の不利な地勢条件，悪天候のもとに，危険をいわず献身的になされたご尽力にまつことが多く，また研究に助言，計算や現地との連絡に当られた近畿大学の目黒教授，小川助手，大学院学生 陳荊芳氏の協力と助力によるところが大でありました。

以上ご支援とご協力を賜りました内外の各位に対し，ここに深い感謝の意を表する次第であります。

なお，本研究は近畿大学・学内研究助成金の交付を受けて行なったことを追記する。

#### 参 考 文 献

- 1) 土木学会：水理公式集 昭和 46 年版，p. 308, 1971
- 2) 川上謙太郎：ノズルゼットの水平到達距離に関する研究，土木学会論文報告集，第 191 号，1971
- 3) 中部電力静岡支店工務部土木課の調査資料，1972
- 4) 台湾省石門水庫監理局 および 三祐コンサルタンツ台北連絡所の共同調査資料，1972
- 5) Republic of China : Shihmen Development commission, "Spillway, Pool Protection and Errosion", Profile. (1960)

(1973.3.31・受付)