

低いダムの水理特性について

正員 北海道開発局石狩川治水事務所 小田代 弘

1. 緒 言

河川を横断して設けられる構造物のなかで取水ゼキ・落差工・床固工などは、上流側河床高の状態によつては水理学的に低いダムとして取扱うことができるのであるが、一般に用いられている横断形状は梯形型が標準となつている。また、付属構造物取付の関係から幅厚ゼキも用いられていて、一般的には梯形断面が用いられている。これらの構造物に対する在来の水理学の研究の多くは、セキ高に対して越流水深が比較的浅い場合とか、セキ高に対してセキ頂幅が比較的短い場合について行われている。このことはダムとしての水理特性を厳密に追求するためにやむをえないことではあるが、実用上の要求を十

分に満たす結果とはなつていない憾みがある。本報告は越流水深やセキ頂幅がセキ高に対して比較的大きな場合の梯形断面をもつた低いダムについて数種の室内模型実験を行つたので、それに基づいてその水理特性について現象的に若干の考察を行つたものである。

実験水路は長さ 7.0 m, 幅 60 cm の木製鉋削矩形水路で水路底は水平にしてあり、この中に 図-1 に示すような型のセキを設けた。第 I 型については上流側水路底が土砂の堆積によつて徐々に上昇してきた場合、すなわち、越流水深とセキ高の比、またはセキ頂幅とセキ高の比が大きくなつてきた場合の水理特性の変化について調べ、第 II 型ならびに第 III 型はセキ頂幅の絶対値を変化させたもので、第 I 型と逆の実験方法によつて水理特性の変

第 I-1 型 (単位 cm)

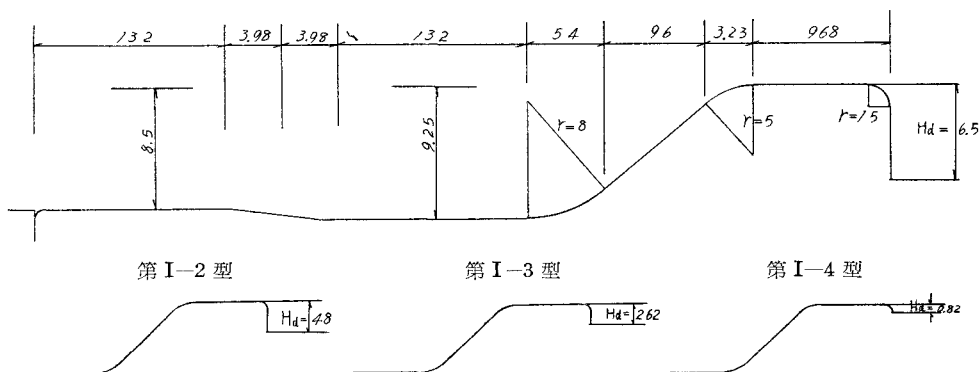
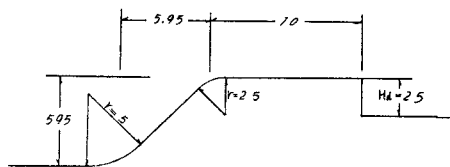


図-1-1

第 II 型 (単位 cm)



第 III 型 (単位 cm)

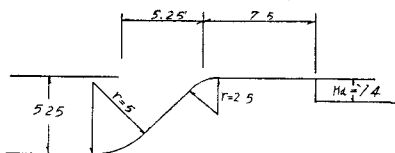


図-1-2

第 IV 型

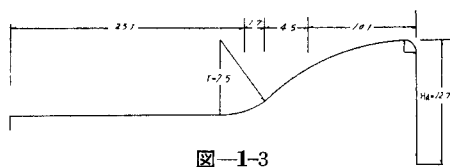


図-1-3

化を調べようとするものであり、併せて上流端に丸味をつけなくて直角としておき、上流端形状の影響をも調べようとしたものである。第 IV 型は以上のような型のダムに対して放物線の越流面をもつ一般的なダムの場合を比較として用いたものである。実験は比較的セキ頂幅の長い場合についても摩擦を無視して Froude の相似率に

よつているので、概括的には実物にも適用できるものである。

2. 実験の範囲

低いダムをセキとして考える場合は、セキとしての信頼度が低いために、それから導かれた水理特性については特にセキの形と実験の範囲に限定されることが多い。本実験の範囲は 表-1 のようである。

本間仁博士のモグリゼキの実験は矩形断面については

$\frac{H_1}{L_1} < \frac{1}{2}$ であり、本実験は $\frac{H}{L_1} = 0.1 \sim 1.0$ まで行つた。

鍋岡昭三氏の低いダムの実験では $\frac{H_d}{L_1} = 0.6 \sim 15.0$ で、

H_d が L_1 に比して大きな場合であるが、本実験は $\frac{L_1}{H_d} =$

$1.82 \sim 13.78$ で $\frac{H_d}{L_1} < 0.6$ について行つたものである。

Keutner の行つた梯形越流セキの実験は $\frac{H_d}{L_1} = \frac{21.7}{8} =$

$2.7, \frac{H_1}{L_1} \div 2.0 \sim 2.7$ である。

(文字の表わす意味については 表-1 参照)

表-1

セキの型式	上流側水深 セキ高 $= \frac{H_1}{H_d}$	上流側比 エネルギー セキ頂幅 $= \frac{H}{L_1}$	セキ頂幅 セキ高 $= \frac{L_1}{H_d}$	実験流量 (l/sec)	溢流水深 (cm)
第 I-1 型	0.5~2.0	0.1~1.0	1.82	1.24~42.24	1.23~9.90
第 I-2 型	0.5~2.0	0.1~1.0	2.35	1.18~43.43	1.05~9.84
第 I-3 型	1.0~4.0	0.1~1.0	4.31	0.63~46.04	0.86~9.90
第 I-4 型	1.0~1.0	0.1~1.0	13.78	0.78~43.48	0.86~8.93
第 II 型	0.5~4.0	0.1~1.1	4	1.96~43.20	1.58~9.47
第 III 型	0.5~5.0	0.1~1.4	5.36	1.17~40.80	0.94~8.11
第 IV 型	0.05~0.5	—	—	0.17~23.56	0.38~6.52

3. 越流係数

完全越流のときの越流係数は $\frac{H_1}{H_d}$ の函数としてそれぞれ次式で表わされる。

$$\text{第 I-1 型 } m = \frac{Q}{b\sqrt{2g}H^{3/2}} = 0.34 + 0.08 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{H_d} = 1.82$$

$$\text{第 I-2 型 } m = 0.35 + 0.07 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{H_d} = 2.35$$

$$\text{第 I-3 型 } m = 0.35 + 0.04 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{H_d} = 4.31$$

$$\text{第 I-4 型 } m = 0.35 + 0.02 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{H_d} = 13.78$$

$$\text{第 II 型 } m = 0.34 + 0.05 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{L_d} = 4$$

$$\text{第 III 型 } m = 0.44 + 0.02 \frac{H_1}{H_d} \frac{L_1}{L_d} = 5.36$$

$$\text{第 IV 型 } m = 0.33 + 0.40 \frac{H_1}{H_d} \text{ —}$$

上式の関係は第 I~第 IV 型まではほぼ等しい常数値をもつてい。 $\frac{H_1}{H_d}$ の係数が H_d が小さくなるにつれて小さくなつていのは H_d の影響が表われているものと思われる。また、 $\frac{H_1}{H_d}$ の係数は 10^{-2} のオーダーであつて H_1 の微小変位が越流係数に大きな影響を与えることはないが、 H_d の大きい方が同一の $\frac{H_1}{H_d}$ に対して大きな越流係数を与えている。 $\frac{L_1}{H_d}$ をパラメーターとして考えれば、 $\frac{L_1}{H_d}$ の大きい方が越流係数 m が小さくなつていのは、セキ頂幅 L_1 が大きくなればセキとして不利になること

を示すものである。このことは本間博士ならびに鍋岡氏の実験の $\frac{H_1}{H_d} = 0.2 \sim 0.6$ の範囲内においても認められる傾向である。

形からすれば第 I 型と第 II 型は L_1 の絶対値がほぼ等しいのであるが、第 III 型は小さくなつてい。第 III 型の越流係数の常数值が他にくらべて大きくなつてい。が、 $\frac{H_1}{H_d}$ が大きくなれば m 値はほぼ同じ値となつてくるから、 L_1 の大きさに $\frac{H_1}{H_d}$ が小さいうちは影響されていることが考えられる。

第 IV 型の実験範囲は本間博士などの実験範囲とほぼ等しく越流係数 m 値についても概数的に相似してい。ので、本実験数値もほぼ妥当であろうが、他の型に比べると $\frac{H_1}{H_d}$ の係数は第 IV 型の方が 10^{-1} のオーダーであるため非常に大きな越流係数を与えている。

セキ頂 L_1 が越流係数値に影響を与えることがわかつたので、 $\frac{L_1}{H_d}$ をパラメーターとして $\frac{H}{L_1}$ と越流係数 $C = \frac{Q}{bH^{3/2}}$ との関係調べると 図-2 のようになり、次式でそれぞれ表わされる。

$$\text{第 I-1 型 } C = 0.64 \frac{H}{L_1} + 1.53 \quad \frac{L_1}{H_d} = 1.82$$

$$\text{第 I-2 型 } C = 0.62 \frac{H}{L_1} + 1.58 \quad \frac{L_1}{H_d} = 2.35$$

$$\text{第 I-3 型 } C = 0.64 \frac{H}{L_1} + 1.58 \quad \frac{L_1}{H_d} = 4.31$$

$$\text{第 I-4 型 } C = 0.72 \frac{H}{L_1} + 1.70 \quad \frac{L_1}{H_d} = 13.78$$

$$\text{第 II 型 } C = 0.67 \frac{H}{L_1} + 1.53 \quad \frac{L_1}{H_d} = 4$$

$$\text{第 IV 型 } C = 0.64 \frac{H}{L_1} + 1.75 \quad \frac{L_1}{H_d} = 5.36$$

ここで H はセキ頂上からの比エネルギーを示している。 $\left(H_1 > \frac{H_d}{2}\right)$ ならば接近流速を無視することができる。(図-2 の示すところによれば $\frac{L_1}{H_d}$ が大きくなれば C が大きくなっている。この現象は前述した $\frac{L_1}{H_d}$ をパラメーターとした m と $\frac{H_1}{H_d}$ の関係と矛盾するように考えられるが、今度の考察の仕方は比エネルギーの函数にしているために、セキ頂幅を一定にした場合にセキ高を低くした方が越流係数 C を大きくできることを示している。すなわち、セキ頂幅が一定ならばセキ高が低い方が同一流量を小さい水深で流下させることができるわけである。それと同時に接近流速が大きくなることをも示している。この現象はセキを考える場合に重要なことで

あつて、往々見逃し易いことであるので注意を要する問題である。さらに、第 III 型と他の型をくらべると、第 III 型のセキ頂幅は短くしてあつて同一流量を流すのにはセキ頂幅の絶対値を小さくすれば小さい水深でよいことを示している。第 II 型は上流端が直角であるが、丸味をつけた方が C を大きくするということと、 L_1 に大差がなければ $\frac{L_1}{H_d}$ の大きい方が小さい水深でよいことを示している。

以上は、相対的な傾向について述べたものであるが、U.S.G.S. の King, W. H. によれば $\frac{H_1}{L_1} \geq 2$ のときに $C=1.83$ と一定値になるとしている。これは矩形断面幅厚ゼキの実験資料によるものであるが、本実験によればはるかに大きな C の値を示している。よつて、これらが適用される範囲については水面形状から考察することにする。

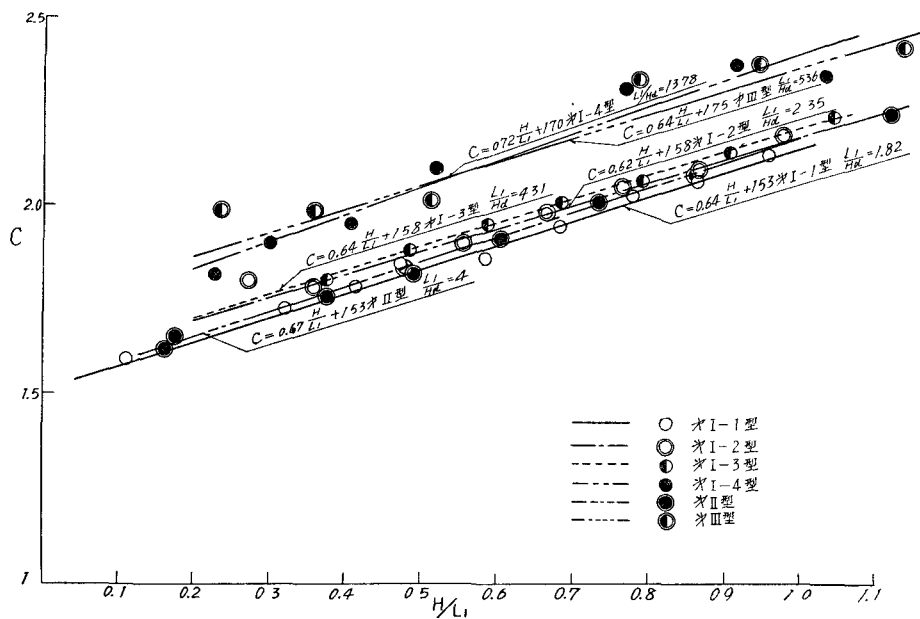


図-2

4. 水面形状

図-3 に越流水面形を示す。

一般にセキ頂幅 L_1 がある程度長くて幅厚ゼキとなる場合には Bélanger の法則の教えるところにより、セキ頂上で限界水深を生ずるはずである。越流ダムの横断形状をもつものならば河床の最も高い断面で最小エネルギーの原理が成立することになるが、幅厚ゼキの場合にはいかなる点に生ずるかによつて水面形が異なってくる。図-3 は写真撮影によつたものであるが、図から明らかなように第 I-1 型は下から 5 本目まで、第 II 型は下から 5

本目まで、第 III 型は下から 4 本目までが水面が急激に屈曲している。この場合の $\frac{H_1}{L_1}$ 値は次のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{第 I-1 型 } \frac{H_1}{L_1} = 0.109 \sim 0.447 \\ \text{第 II 型 } \frac{H_1}{L_1} = 0.158 \sim 0.458 \\ \text{第 III 型 } \frac{H_1}{L_1} = 0.125 \sim 0.457 \end{array} \right\} \frac{H_1}{L_{1\max}} = 0.45 \sim 0.46$$

矩形断面幅厚ゼキでは鋭縁ゼキ越流水脈の下縁がセキと接触する点をとらえて、 $\frac{H_1}{L_1} < 1.43$ で水面が屈曲するだろうとされているのとくらべて本実験値は非常に小

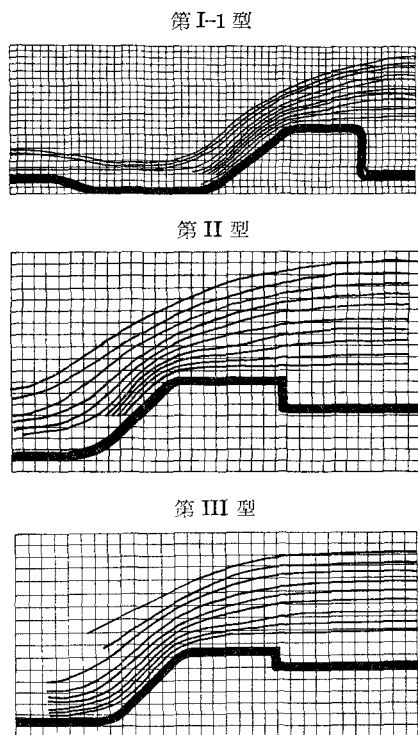


図-3

さい $\frac{H_1}{L_1}$ 値についてしか水面の屈曲がみられず、その限界値も H_d に無関係のようである。

限界水深が生ずる位置と水深の関係を $\frac{L_c}{L_1}$ と $\frac{H_1}{L_1}$ の関係で示すと 図-4 のようになる。ここに L_c はセキ上流端から限界水深の生ずる点までの距離とする。

図-4 からわかるように限界水深 ($h_c = \frac{2}{3}H$ H : 比エネルギーで表わす) の生ずる位置は次のようである。

第 I-1 型 $\frac{L_c}{L_1} = 0.49$

第 II 型 $\frac{L_c}{L_1} = 0.40$

第 III 型 $\frac{L_c}{L_1} = 0.40$

限界水深を生ずれば流量式は $Q = 1.70CbH^{3/2}$ で表わされ、一般的には角に丸味を付けて損失を少なくし、かつ、

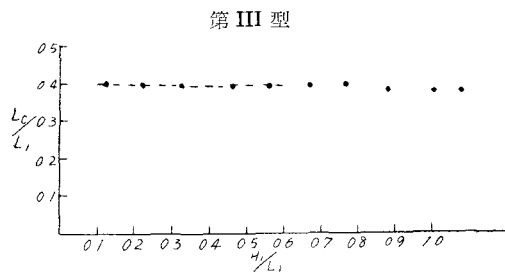
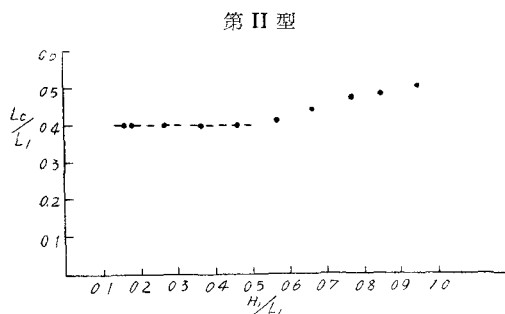
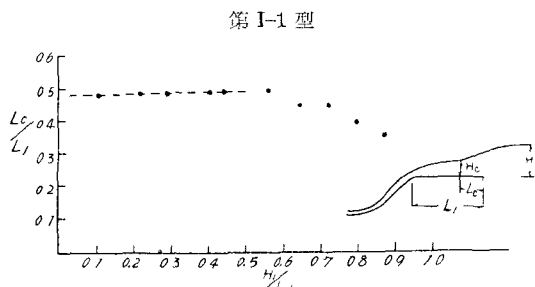


図-4

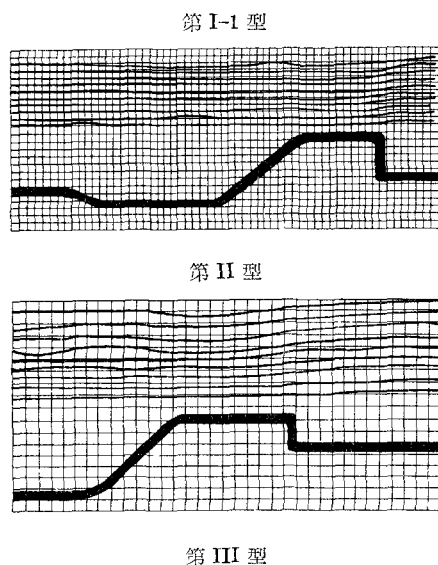


図-5

下流側の形を適当にして完全水脈を作らないようにすれば $C \approx 1$ と考えることができるが、普通は $C \leq 1$ であるが、本実験においては第 II 型のみが $C \approx 1$ であるのみで他は $C > 1$ を示している。よつて越流係数式は限界水深を生ずる場合にも使うことができよう。

水面形の屈曲しない場合において、限界水深と等しい水深をとる位置について調べてみると、第 I 型においては $\frac{H_1}{L_1}$ の大きくなるにつれて $\frac{L_c}{L_1}$ が小さくなる。つまり限界水深に等しい水深が上流側において生ずることになる。

限界水深を生ずる時に下流が段落水流になっているかどうかについて検査してみると、A. S. C. E. の Carstens, M. R. と Carter, R. W. の示した入口を丸めた幅厚ゼキの $\frac{L_1}{h_o} > 23$ の条件によれば、段落水流と考へなくともよい。

今まで述べたのは完全越流ゼキの場合であるが、下流水位が高いモグリゼキとなる場合の水面形について調べてみると 図-5 に示すようになっている。

この実験の方法は下流水位をセキ頂の高さまで上昇させておいて上流から水を流したものである。一般にこのような場合にはセキ頂上で水面が凹むものと考えられており、この解法は運動量の方程式によつて行つてゐるが、方程式をたてる限界位置については 図-5 からしること

ができよう。

この限界値は上流側についてはセキ上流端かまたはやや下りぎみであり、下流側はセキ下流にエネルギー減殺作用の ground sill などがなければ、第 II 型・第 III 型に示されるようにセキの終端で一先ず正常水面にもどるといへよう。

セキ頂上の最小水深点は凹面のほぼ中央か、やや上流側と見なすことができそうである。第 I 型のように、ground sill の存在する場合は正常水面にもどるのは、ground sill の終端でありその間に二つの凹みをつくる場合があるが、第一の凹みはやはりセキ終端と考へてさしつかえないようである。これらの場合においても上流水面と下流水面が同じ水位になることはなく、上流水位は水面勾配の分だけ高くなつてゐるが、運動量方程式をたてる断面においては下流水位と等しいと考へてよいと思われる。

結 語

以上簡単に述べたが、引續いて詳細な本研究を行う予定である。稿を終るにあたり本実験に御懇切な御指導を戴いた土木試験所古谷浩三次長ならびに本実験に協力された同所水工研究室柳本孝治君外関係各位に厚く謝意を表します。