

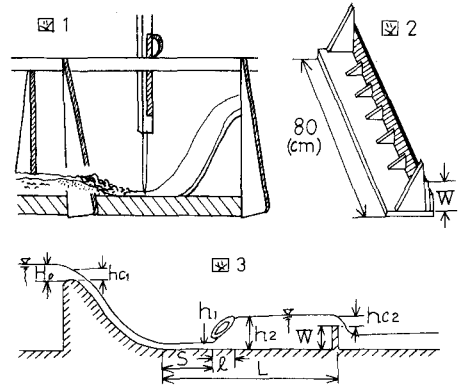
木更津高専 土木工学科 正会員 大木正喜
同上 同上 同上 ○白井淳治

1 まえがき

跳水現象は、水理学における特異な現象の1つとして注目され跳水前後の共役水深、跳水の長さ、表面渦の長さなどについて古くから多くの研究者により研究が進められてきた。余水吐水路を流下してきた水の持つ巨大なエネルギーを、そのまま下流に放散することの危険は今更、言を要す必要はない。このエネルギーを処理する一般対策としては、跳水現象を利用して跳水中に起こる減勢作用を利用する方法、噴流拡散効果を利用して、この際生ずる気泡混入によって減勢を行なう方法および空中にジェットを傾斜させて堤体より遠いところに落下させ、その落下点に生ずる滝壺でエネルギーを減殺する方法等がある。本報告では、本校水理実験室の跳水発生装置を使用し、シル型減勢工により強制跳水を発生させ、弱跳水・安定跳水・強跳水などの自然跳水との跳水の起こりうる諸条件について運動量方程式より比較検討し解析を試みた。

2 実験概要

本実験に使用した水路は矩形水平固定水路で幅80cm、高さ60cm、長さ10m、底面はステンレス、側面はアクリル樹脂仕上になっており、その水路中に図-1、図-2に示すような跳水発生装置とシル型減勢工を設置し、水叩きの長さを120cmから200cmまで20cm間隔で変化させ、それと同時にシル高も3.2cmから6.2cmまで変化させた。流量は水路上流に直結している四角堰により測定し、水深測定にはポイント・ゲージを用いた。また各位置における流速は平均流速として取り扱った。



3 次元解析

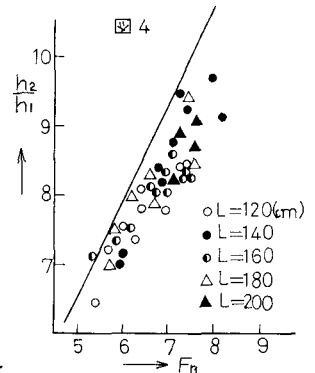
水路中にシル型減勢工を設置し、シルの高さおよび水叩きの長さ等の変化により跳水を発生させ跳水の起こる位置を制御することにより、エネルギーを削減させる。その関係は、跳水前の射流部の水深、シルの高さおよび水叩きの長さ等に大きな要因があると思われる。それらが、どのような関数の形を持って跳水発生および跳水の制御に影響を与えているかを次元解析により求め次の結果を得た。

$$F = \phi \left(\frac{\sqrt{\rho} h_1}{\rho}, \frac{h_1}{h_2}, \frac{h_1}{L}, \frac{h_1}{W}, \frac{\sqrt{\rho}}{g h_1}, \frac{\sqrt{\rho} f}{\Delta P}, \frac{\sqrt{\rho} f h_1}{\rho} \right)$$

4 強制跳水の安定

(1) フルード数と h_2/h_1 の関係

理論値は $h_2/h_1 = \frac{1}{2}(\sqrt{8Fr^2 + 1} - 1)$ で与えられる。図-4で示すように実験値と比較すると理論値の方がやや上回っているがほぼ理論値にそう傾向が見うけられる。このことより強制的に跳水を発生させても共役関係がほぼ成り立っているものと考えられる。また理論値が上回る要因の1つとしては運動量方程式を導く際にその間の摩擦損失がないものとし、圧力分布を静



水圧と仮定したことが考えられる。

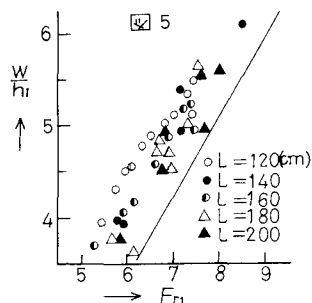
(2) フルード数と W/h_1 の関係

W/h_1 は次元解析より射流部のフルード数、跳水前後の水深および跳水前の水深と水叩きの長さによって影響を受ける。 W/h_1 の理論値は、

$$W/h_1 = \frac{(1+2Fr_1)\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1 - 5Fr_1^2}{1+4Fr_1^2 - \sqrt{1+8Fr_1^2}} - \frac{3}{2} Fr_1^2$$

で表わされる。上式は、 $h_2 + V^2/2g = W + h_c + V_c^2/2g$ より限界水深と共役関係が満足されているという条件を含んで成り立っている。実験値より $h_{c2}-Q$ 曲線と h_2/h_1-Fr_1 線を描いてみると上式がほぼ満足されていることが

いえる。図-5は、 W/h_1-Fr_1 を示している。これより理論値と実験値は、ほぼ同じ傾向を示しシル型減勢工による強制跳水はほぼ安定しているものと考えられる。



5 エネルギーの削減

エネルギーの効率を最高に保つためのシル高を求めるためには、シル高および水叩きの変化により起こる跳水のエネルギーの損失を比較するのが最も有効な手段であると思われる。本実験では、シル高 $W = 3.2$ cm, 4.0 cm, 4.6 cm, 5.8 cm, 6.2 cm の高さについてエネルギーの損失を求めた。跳水前後の比エネルギー損失は跳水前後の比エネルギーの差に等しく $\Delta e = 8^2/2g(1/h_1^2 - 1/h_2^2) + (h_1 - h_2)$ で求めることができる。

図-6は跳水前後のエネルギー損失を、シル高別に示したものである。図よりシル高 $W = 3.2$ cm では水叩きの長さ L が長くなるにしたがって、しだいにエネルギー損失の大きさが小さくなっている。またシル高 $W = 6.2$ cm の場合も同様に L が長くなるにしたがって勾配がゆるやかになっている。シル高 $W = 3.2$ cm では跳水によって失うエネルギー損失がまだ完全になされていない。つまり W が低い場合常流水深が共役関係を満たすまで完全に至っておらず常流のエネルギーになるためにはまだ完全にエネルギーが失われていないことがいえる。以上よりシル高 $W = 4.6$ cm においては、バラツキが少なく勾配が最も急であり $L = 120$ cm ~ 200 cm の範囲における跳水現象では十分エネルギー損失がなされていると考えられ最も効果的なシル高であると思われる。

図-7, 図-8はエネルギー削減の効率とフルード数との関係をシル高別または水叩きの長さ別にその効果を示したものである。実線は理論線であり、各シル高は、理論と同様の傾向を示しているがその範囲としてはフルード数 5.5 ~ 8.0 までの範囲であり、フルード数 5.5 以下ではバラついて理論とはかけ離れている。しかし、ある程度は理論線と同じ傾向を示しているものの全体的にやや下回っている。この要因としては、水路における整流装置の不健全または跳水の不均一などいろいろ考えられる。

以上の結果を総括すると、シル型減勢工による強制跳水におけるエネルギーの削減はフルード数 5.5 ~ 8.0, $L = 120 \sim 200$ cm, $W = 4.6 \sim 5.5$ cm の範囲を使用した場合に最もエネルギーを削減できるものと考えられ、シル型減勢工を使用した強制跳水は自然跳水のエネルギー効率よりすぐれていることがわかった。また、まだ究明されていないことが多いので引き続き今後とも種々のシル型減勢工による跳水の比較検討を続けていきたい。

