

(Ⅱ - 12)

トンネル内の跳水現象の特性について

建設省土木研究所 正 員 新屋敷 隆
 " 高須 修二
 " 角 哲也
 " 本田 敏也

1. はじめに

ダムの洪水吐きには、いくつかの種類があるが、地形的な制約あるいは、環境的な面からトンネル洪水吐きの有用性が見直されてきている。トンネル洪水吐きは、その採用例が少なく、流入部、導流部、減勢工の設計においては、断面と線形の制約もあることから、個々の事例について検討が必要となっている。そこで、今回トンネル洪水吐きの減勢工について水理模型実験を行い、トンネル内の跳水現象の特性についての把握を行ったものである。

2. 実験内容

1) 実験内容

実験は、トンネル洪水吐き減勢工の流入フルード数（放流量）と天板の高さを変化させ、減勢工内での、高速流による空気連行、跳水による空気の巻き込み、下流水位等を調査した。

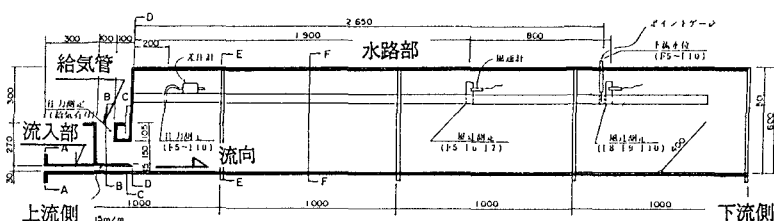


図-1 実験模型形状（縦断面図）

実験条件としては、トンネル洪水吐き減勢工の流入フルード数 $F=5\sim10$ 、天板の高さ $H/h_2=0.5\sim1.4$ （ H :天板の高さ、 h_2 :跳水計算による下流水深）の範囲とした。

計測は、跳水部の空気圧、上流の給気管や下流上部空間の風速、下流水位の測定及び流況調査を行った。これらの計測は、減勢工の上流に給気管を設けた上流側給気有りの場合と、給気管を閉鎖した上流側給気無し（下流水位条件により下流からの給気は可能）の場合について行った。

2) 実験形状

実験模型は、流況観察の容易な透明アクリル製で、上流側に流入水深3cm、幅30cmの流入部、その上部に10×10cmの給気管、この下流側に減勢工に相当する高さ60×幅30×長さ350cmの水路からなるものである。図-1に実験模型形状を示す。

3) 計測項目

計測項目としては、微差圧計による空気圧、定温度型熱式風速計による風速、ポイントゲージによる下流水位の測定及び流況調査を行った。

3. 実験結果

1) 跳水部の空気圧

上流側給気有りの場合、上流給気管からの給気により跳水部の空気圧はほぼ大気圧となる。上流側給気無しの場合、跳水部の空気圧は天板の高さが低くなると著しく低下する。 $H/h_2 \geq 1.2$ ではほぼ一定の空気圧となり、天板の影響が減少する。

2) 上流給気管の給気量

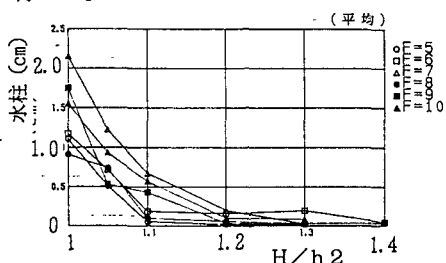


図-2 跳水部の空気圧（上流側給気無し）

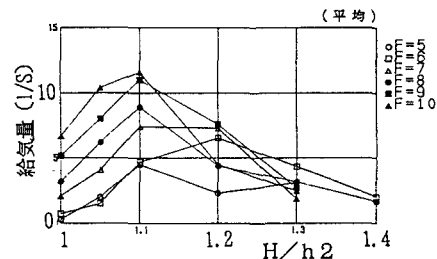


図-3 上流給気管の給気量

上流給気管の給気量は、 $H/h_2=1.1$ でピークとなる。 $1.0 \leq H/h_2 \leq 1.1$ では、跳水後の自由水面が天板に接触し、下流への空気連行が閉鎖されつつあるため、給気量は H/h_2 の低下とともに減少する。 $1.2 \leq H/h_2$ では、自由水面と天板との空間が広くなり、給気量は H/h_2 の上昇とともに減少する。

上流給気管の給気量は、天板の高さを $H/h_2=1.3$ 以上とすることにより空気量/放流量は平均0.1前後、最大0.2前後となり、給気管の規模もかなり小さくすることが可能である。各図-4 各フルード数における給気量の最高値フルード数の給気量の最高値は、平均給気量の最高値 $Q_a/Q_w=0.2 \sim 0.25$ 、最大給気量の最高値 $Q_a/Q_w=0.35 \sim 0.48$ が得られた。幾分のデータのばらつきはあるものの、フルード数と給気量は比例すると考えられる。

3) 下流上部空間の風速

上流側給気有りの場合、下流上部空間の風速は $H/h_2=1.2$ 付近で平均、最大とも流入流速の0.2倍以下に安定し、 $H/h_2 \geq 1.2$ で天板による影響が少なくなる。上流側給気無しの場合も給

気有りの場合同様、 $H/h_2 \geq 1.2$ で天板による影響が少なくなる。

4) 下流水位

上流側給気有りの場合、下流水位は計算値（水平水路の自然跳水式による跳水後の常流水深 h_2 ）とほぼ一致する。上流側給気無しの場合、 $H/h_2=1.0$ において、計算値より0.05 h_2 程度低い水位となる。これは、跳水部の空気圧の低下によるものと思われる。 $H/h_2 \geq 1.05$ では、跳水部の空気圧が上昇して大気圧に近づくとともに、下流水位は計算値に近くなり、天板の高さに関係なくほぼ一定の水位となる。

5) 跳水長

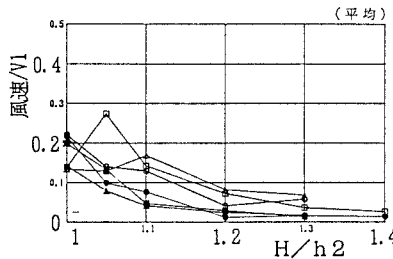
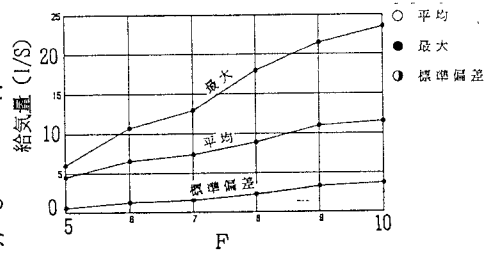
上流側給気有りの場合、 $F=8$ において、 $H/h_2 \leq 0.7$ から跳水長は顕著に短くなり、4.9 h_2 程度となる。 $H/h_2 \geq 1.2$ では、跳水長は一定となり、天板の影響が見られなくなる。

4. まとめ

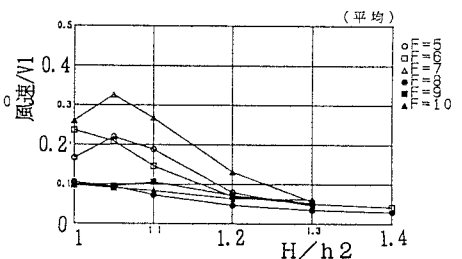
以上、トンネル内の跳水現象の特性について示してきた。これらのことから必要となる天板の高さは、フルード数 $F=5 \sim 10$ 、 $H/h_2 \geq 1.0$ の範囲では、次の通りと考えられる。

- ・給気管を設けられずトンネル断面だけで設計する場合は、 $H/h_2 < 1.2$ では跳水部の空気圧が負圧となるために、 $H/h_2 \geq 1.2$ とする必要がある。
- ・天板の高さを $H/h_2 < 1.2$ としたい場合には、給気管の設置と下流上部空間の両用を考える必要がある。これは、給気管を設けた場合、跳水部の空気圧は大気圧とはなるが、跳水部のうねり等により風速が残っているため、この分の給気量が必要となるためである。

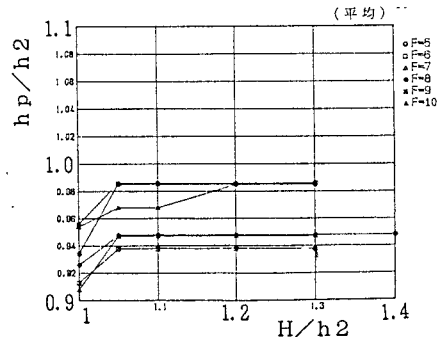
なお、トンネル内の跳水現象については、低周波空気振動の音源となる恐れもあるため、実際への適用にあたっては、十分な空断面の確保や給気設備の配置等の配慮が必要になると考えられる。



(a) 上流側給気有り
図-5 下流上部空間の風速



(b) 上流側給気無し
図-5 下流上部空間の風速



上流側給気無し
図-6 下流水位