

落差工の浸透破壊に関する実験的研究

水圏防災工学研究室
指導教員

山本 一貴
細山田 得三

1. 序論

落差工は床止め的一种であり、河床低下を安定させ、河川の縦断および横断形状を維持することを目的として設定される河川横断構造物である。しかし、従来設置されてきた床止めの中には、その結果として本来の目的である河床維持のはかれない事例や、局所洗掘等により床止め事態の構造の安定性を保てず破壊変形した事例もみられる。これは洪水時の流速や河床に働く掃流力等、各河川の河道特性に応じた水理的な観点からの配慮が不足していたことが、主な原因と推定される。¹⁾

本研究では落差工の浸透破壊に着目し、落差工下部地盤の浸透破壊時の地盤挙動、水圧の推移の把握とレインの式の妥当性の検討を目的とし、水理模型を用いて実験を行った。なお、レインの式は落差工下部の平均動水勾配の逆数が所定のクリープ比よりも大きくなるように遮水工の根入れ深さを設計するものである。

$$C \leq \frac{\frac{L}{3} + \Sigma l}{\Delta h} \quad (式 1)$$

ここで、C；クリープ比

L：水平方向の浸透流路長

Σl：鉛直方向の浸透路長

Δh：上下流最大水位差

2. 実験概要

実験は遮水工の根入れ深さ及び水叩き長を変化させることにより浸透流路長を変化させることで、限界水頭差や地盤挙動、間隙水圧がどのように変化するか計測した。実験では水槽に落差工の水理模型を配置したものに砂地盤を敷き詰め、落差工を隔てた左右で水位を変化させ、水頭差を発生させることにより浸透流を発生させた。そして、その時の地盤の地盤挙動の有無及び限界水頭差、限界水頭時の遮水工及び水叩き周辺での間隙水圧などを記録した。

2.1. 実験水路の概要

図-1 に実験水路の概略図を示す。実験に使用した水槽のサイズは高さ 520mm、横幅 800mm、奥行き 150mm である。正面は無色のアクリル板で構成されており、内部の地盤及び水面の動きを観察することができるようになっている。水槽の中央部に落差工を配置し、落差工の左側に常に水が供給されるような仕様となっている。つまり、水槽の左側が上流側となり、水槽の右側が下流側となる。水槽の左側の水面が常に水槽の右側の水面と等しい高さ或いは高い位置になるようになっており、浸透流も左側から

右側へ流れるようになっている。背面には直径 10mm の排水孔を配置しており、ゴム栓の抜き差しをすることにより水面高の変更を可能にしている。地盤材料には東北珪砂 5 号を使用した。

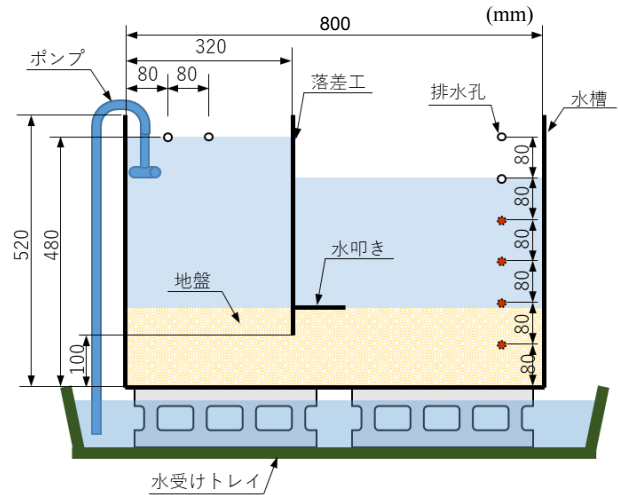


図-1 実験水槽の概要

2.2. 実験条件

表-1 に実験項目と実験ケースをまとめる。本実験での実験項目は①地盤の破壊挙動把握、②落差工下部地盤の間隙水圧、③落差工の安定性実験である。

実験は水槽内に地盤材料を敷き詰め落差工を配置することによって行った。すべての実験項目において水位差のない状態から実験をスタートし、地盤が崩壊するまで段階的に水頭差を増加させた。

地盤の破壊挙動把握では市販の PIV ソフトとひずみ計測ソフトを使用し、浸透流路長別の破壊挙動の把握を行った。落差工下部地盤の間隙水圧計測では浸透破壊時の落差工下部地盤に働く間隙水圧の推移を計測した。落差工の安定性実験では、浸透流路長別の限界水頭差を計測した。

表-1 実験ケース

csae	遮水工 根入れ深さ (cm)	水叩き長 (cm)	実験項目			
			地盤の破壊挙動の把握		落差工下部地盤の間隙水圧の計測	落差工の安定性実験
			地盤挙動の推移	ひずみの推移	間隙水圧の推移	限界水頭差 Δh
3-5	3	5	×	×	×	○
3-10	3	10	×	×	×	○
3-15	3	15	×	×	×	○
5-5	5	5	○	○	×	○
5-10	5	10	○	○	○	○
5-15	5	15	○	○	○	○
7-5	7	5	×	×	×	○
7-10	7	10	×	×	×	○
7-15	7	15	×	×	×	○

3. 実験結果

3.1. 地盤の破壊挙動把握

地盤の破壊挙動解析の一例とし、図-2に Case5-15 のひずみ解析結果を示す。地盤の破壊挙動把握により、落差工下部地盤における浸透破壊浸透破壊の過程には以下のような特徴があることがわかった。破壊初期では水頭差の増大に伴い動水勾配が増大することにより、水叩き先端部の地盤粒子が移動、飛散する。破壊中期においては水道が発生、進展しそれに伴い地盤粒子の流出量が増加し、地盤移動速度も大きくなる。破壊末期においては水道がさらに進展しさらに地盤粒子の流出量が増加、地盤移動速度はさらに大きくなり最終的には地盤崩壊が発生する。水叩き長が遮水工の根入れ深さに対して大きくなる場合、遮水工周辺での地盤移動は少なくなる。

3.2. 落差工下部地盤の間隙水圧

水頭差 0 cm の状態から間隙水圧の計測を開始し、間隙水圧計測開 15 秒後に水頭差 9 cm を増加させ、その後 5 分おきに水頭差を 8cm 増加させた。図-3 より、Case5-10 と Case5-15 を比較した際、計測地点③以外の地点での間隙水圧の推移は近い推移を示した。

しかし、計測地点③においては、水頭差 9cm を生じさせた際、Case5-10 おける水圧減少は約 5hPa であったことに対し、Case5-15 における水圧減少は約 2hPa であり、水頭差増加後の間隙水圧の減少幅に差が生じた。

Case5-10 と Case5-15 で異なる推移を示したのは、水叩きの長さが長くなったことによるものである。

時間経過につれ計測地点③の値は間隙水圧の影響を受け計測地点④の値に近づくことから、水叩きが長くなることで、落差工が間隙水圧の影響を受けるまでの時間が長くなるといえる。

3.3. 落差工の安定性実験

レインの式からわかるように水平方向、鉛直方向への浸透流路長には重みづけ係数が α 、 β がかけられており、 $\alpha = 1/3$ 、 $\beta = 1$ となっている。水平方向の浸透流路長即ち水叩き長が限界水頭差 Δh に及ぼす影響の純粋な比率 α を算出するために、クリープ比 C と鉛直方向への浸透流路長へ対する重みづけ $\beta \sim 1$ を代入し、浸透流路長ごとの限界水頭差 Δh を計測した。その結果、水平方向への浸透流路長に対する重みづけ α はおよそ 0.4-0.53 となることがわかった。

同様に鉛直方向への浸透流路長即ち遮水工の根入れ深さが限界水頭差 Δh に及ぼす影響の純粋な比率 β を算出するために、クリープ比 C と水平方向への浸透流路長へ対する重みづけ $\alpha \sim 1$ を代入し浸透流路長ごとの限界水頭差 Δh を計測した。その結果、鉛直方向への浸透流路長に対する重みづけ β はおよ

そ 0.63~0.79 となることがわかった。

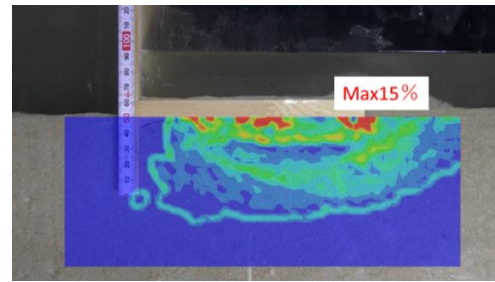
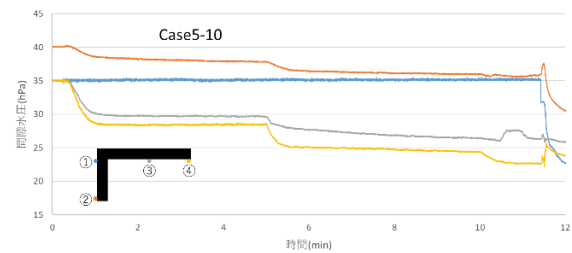
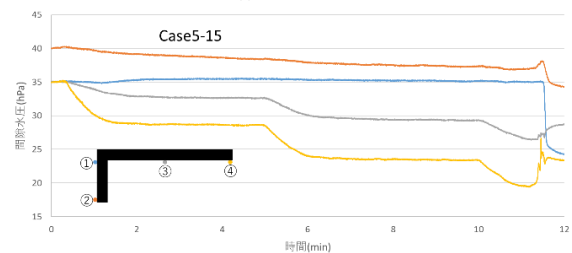


図-2 Case5-15 ひずみ解析結果



(i)Case5-10



(ii)Case5-15

図-3 間隙水圧の時系列変化

4. 結論

本研究では落差工下部地盤の浸透破壊時の地盤挙動、水圧の推移の把握とレインの式の妥当性の検討を目的として行った。本研究により得られた知見を以下に示す。

- 根入れ長さに対する水叩き長さの比率が大きくなると、浸透破壊中期～浸透破壊末期にかけての大きな地盤移動は水叩き先端側で発生するため遮水工側でのひずみはあまり生じない。
- 根入れ長さに対する水叩き長さの比率が大きくなると、水叩き先端から水叩き中央下部まで水頭差による間隙水圧影響が及ぶまでの時間スケールは大きくなるため、水叩き長が長くなるほど破壊初期から末期にかけての時間スケールは大きくなる
- レインの式が示す通り、水理模型実験においても、限界水頭差 Δh に対する影響は水叩き長よりも遮水工根入れ深さのほうが大きくなる。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター：床止めの設計手引き，pp.1-4，1998。