

落差工周辺の河床構造物の崩壊メカニズムに関する研究

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○小田島寛通
長岡技術科学大学大学院 非会員 森山諒
長岡技術科学大学大学院 正会員 細山田得三

1. 序論

落差工は床止め的一种であり、河床を安定させ、河川の縦断・横断形状を維持することを目的として設置される河川横断構造物である。¹⁾²⁾ 落差工の下流部において河床低下が発生すると、護床ブロック下流部の水深が小さくなり、設計で予定していた水叩き・護床工区間での跳水による流水の減勢が不十分となる。これにより、落差工上下流の水位差増大による浸透流の影響や、護床工上の流速増大によって生じる強い負圧や土砂の吸出し、掃流力の増加が発生する。この結果、護床ブロックの変位が促進し、護床ブロックのみならず落差工本体が滑動・流出し、崩壊へ至る危険性が高まる。そのため、護床ブロック等の構造物に作用する外力を評価し、崩壊に至るメカニズムを解明することは、安全性の確保の点から重要である。

本研究では護床ブロックの崩壊メカニズムの解明を目的とし、水叩きを有するコンクリート構造の落差工を対象に移動床の水理模型実験を行った。特に、護床ブロックに作用する圧力に着目し、河床形態・水面形の変化がもたらす構造物に作用する圧力の影響を評価する。

2. 実験方法および条件

(1) 実験水路, モデル地盤, 水理模型の概要

図-1に実験水路の概略図を示す。実験水路は水路延長10m、水路幅0.37m、水路深さ0.6mである。流水は上流端にあるヘッドタンクから作用させている。水路上流側の5m区間を流水の整流区間とし、下流部の4m区間にはモデル地盤を設置した。モデル地盤の前後には、地盤を固定するためにアクリル製の構造物を設置している。

モデル地盤の河床高は30cmであり、2種の試料を用いて作成した。河床高25cmまでは珪砂を使用し、その上に砂利を5cm設置することで、河床高30cmのモデル地盤を作成した。砂利を設置した理由としては珪砂のみでモデル地盤を作成した場合、河床変動が著しく、通水後、瞬間に構造物が滑動・流出するためである。河床変動を緩慢にし、構造物に作用する外力を観測するために砂利を設置した。

落差工には水叩きを有する落差4cmのコンクリート製の水理模型を用いた。護床工構造物にはコンクリート製のブロックを用いた。

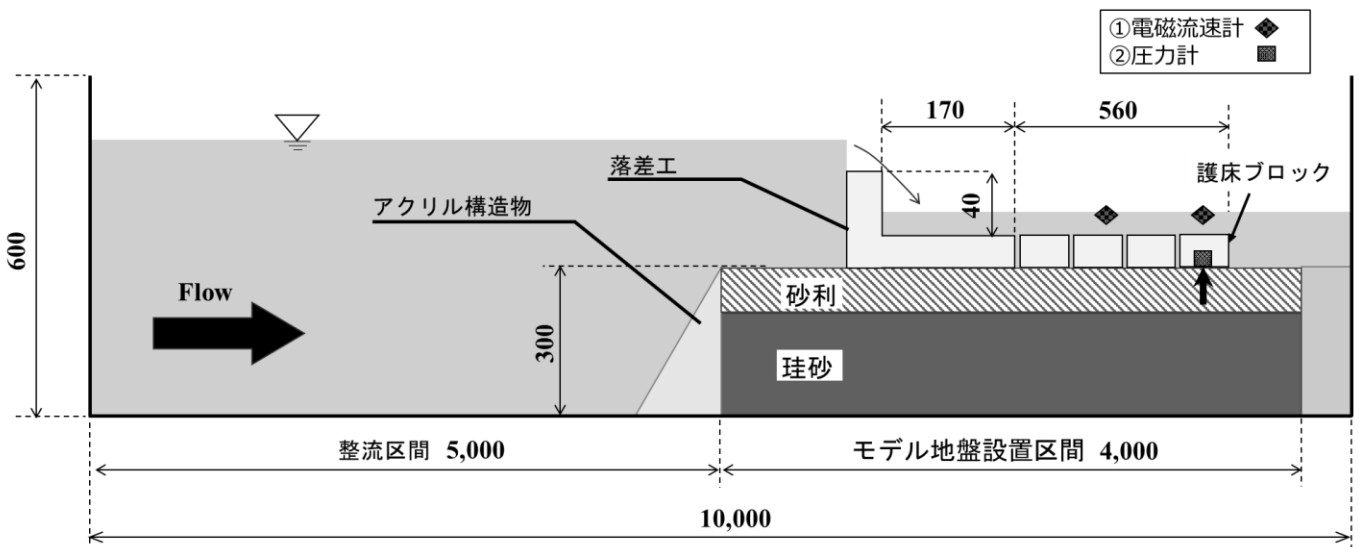


図-1 実験水路の概略図 (単位: mm)

実験は図-1に示す通り、モデル地盤上に落差工とブロックを設置して行った。流水を流量規模別に定常的に作用させ、①流速 ②圧力の測定を行った。実験流量ケースを表-1に示す。また、流量変化のみならず、実験流量ケース3で護床工下流部の河床洗掘による流速と圧力の変化を確認した。

圧力の測定には、圧力計をブロック内に埋設した『圧力計ブロック』を使用し、ブロックに作用する圧力の測定を行った(写真-1, 表-2)。圧力計ブロックは受圧面を河床に向け、ブロック群の最下流部に設置した。

流速計は圧力計ブロック地点、圧力計ブロックから25cm上流地点に設置した。流速計の設置高さはブロックから1cmである。流速は流下方向の測定を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 流量規模に対する検討

流量規模別に作用させた流水に対する流速と圧力変化について検討を行う。図-2, 図-3, 図-4にそれぞれケース1, ケース2, ケース3の流速と圧力の関係を示す。

まず、流速についての検討を行う。上流地点の平均流速は、ケース1:0.34m/s, ケース2:0.48m/s, ケース3:0.54m/s, となっている。流量規模に応じて上流地点における流速は大きくなっており、両者は比例関係にあることがわかる。

圧力計ブロック地点の流速においては、平均流速では、ケース1:0.18m/s, ケース2:0.23m/s, ケース3:0.26m/s となっている。圧力計ブロック地点の流速においても、上流地点の流速と同様に、流量規模と流速が比例関係にある。

次に圧力計ブロックに作用した圧力について検討を行う。流況が安定した通水1分後の平均圧力は、ケース1:899Pa, ケース2:794Pa, ケース3:948Paである。流量規模の大きいケース3では下流水位が他のケースよりも高くなり、それにより圧力が最も大きくなったといえる。ケース2では通水40秒後をピークに、時間経過に伴って圧力が低下している。これは、通水初期では圧力計ブロックの上流側にあった跳水が、時間経過とともに下流側へと移動した

表-1 実験流量ケース

ケース名	流量 (ℓ/s)
ケース1	3.15
ケース2	4.47
ケース3	5.63

表-2 ブロックの諸元

長辺 (mm)	65
短辺 (mm)	50
厚み (mm)	25
重さ (g)	145
配置	千鳥配列
配置区間	ブロック群最下流部

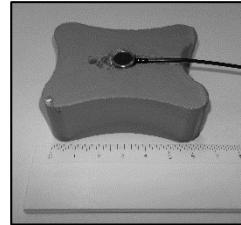


写真-1 圧力計を埋設したブロック

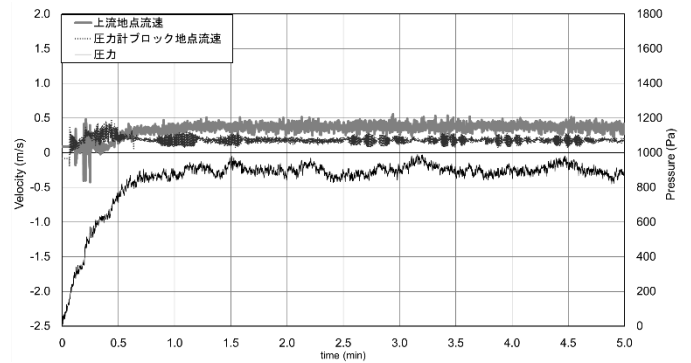


図-2 ケース1 (Q=3.15 ℓ/s) の流速と圧力の関係

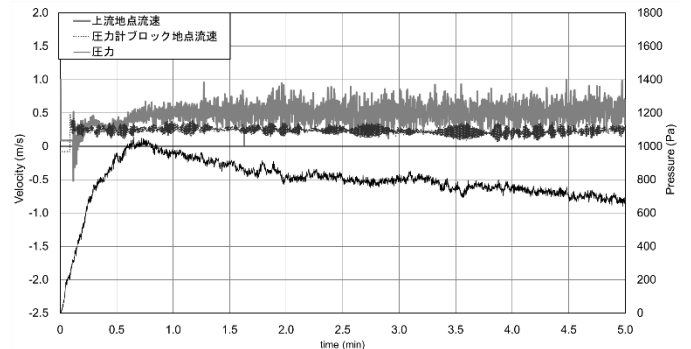


図-3 ケース2 (Q=4.47 ℓ/s) の流速と圧力の関係

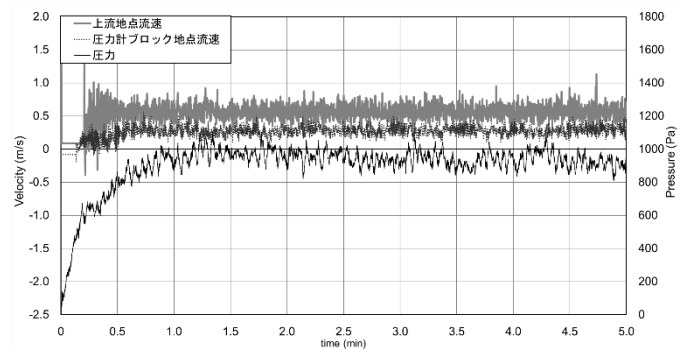


図-4 ケース3 (Q=5.63 ℓ/s) の流速と圧力の関係

ためだと考えられる。跳水が下流側へと移動することで、背水により水位上昇している地点も下流側へと変動し、圧力計ブロック地点の水位は徐々に低下していく。そのため、ケース 2 ではブロックに作用する圧力が時間経過とともに低下している。ケース 1 は流量規模が最も小さいが、流量で勝るケース 2 より平均圧力が約 100Pa 大きい。これは、ケース 1 では圧力計ブロックの上流地点で跳水が発生し、背水によって水位が高くなり、圧力が大きくなったためだと考えられる。

以上のことから流量規模と護床工上の流速は比例関係にあることが示された。圧力においては、大流量では下流水位が高くなるため、ブロックに作用する圧力も大きくなる。中小流量においては、跳水による上下流での水位差が大きく、対象が跳水に対して上下流のどちらに位置するかで作用する圧力も変化する。そのため、中小流量では跳水位置がブロックに作用する圧力に与える影響が大きい。いずれのケースにおいても、護床ブロックは一定量の圧力を受けていたが、ブロックの変位を確認することはできなかった。そのため、ブロックへ作用する圧力と、流量変化にともなう水面形の変化のみでは、ブロックの変位に至らないことが示された。

(2) 河床洗掘に対する検討

ブロック群下流部の河床洗掘に対する流速と圧力変化について検討を行う。図-4、図-5、図-6にケース 3 (流量 5.56 l/s) 時におけるブロック下流部の河床洗掘 0cm, 洗掘 1.5cm, 洗掘 2.0cm の圧力と流速の関係を示す。上流地点における流速はいずれのケースにおいて、0.5-0.6 m/s を示しており、河床洗掘による顕著な流速変化は確認できない。

圧力計ブロック地点の流速においては、いずれのケースも平均 0.1 -0.2m/s を示しており、上流地点と同様に河床洗掘による顕著な流速変化は確認できない。また、河床洗掘 2.0cm (図-6) の流速の波形においては、通水後 30 秒後を皮切りにして、約 15 秒周期で 3 波の大きな振幅変化が現れている。これはブロック下流部で河床洗掘が発生したために、下流部で跳水位置が変化し、渦の乱れにより波形に振幅変化が生じたのだと考えられる。

次にブロックに作用した圧力についての検討を行

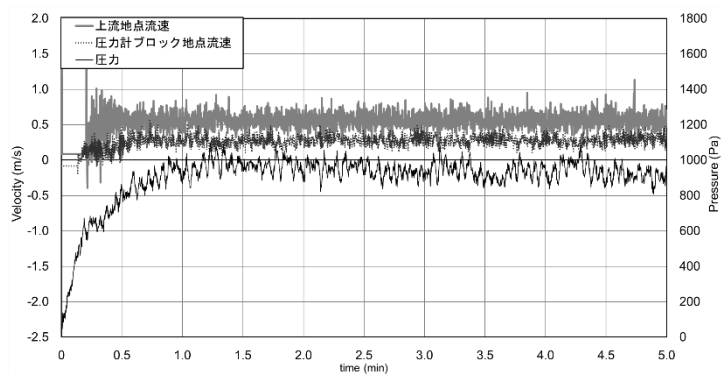


図-4 河床洗掘 0cm 時の流速と圧力の関係 (ケース 3) (再掲)

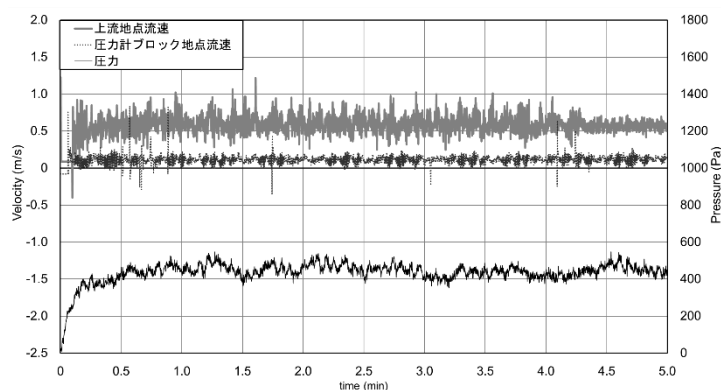


図-5 河床洗掘 1.5cm 時の流速と圧力の関係 (ケース 3)

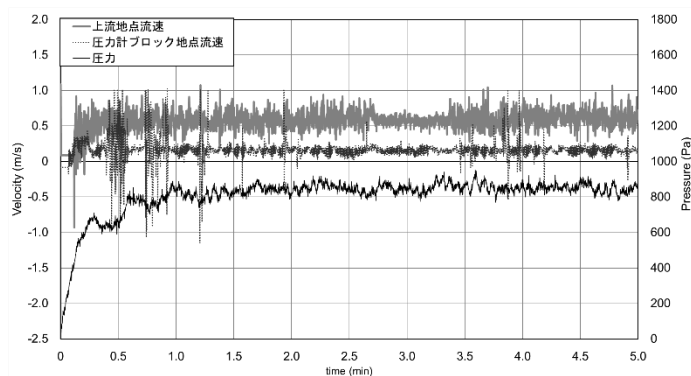


図-6 河床洗掘 2.0cm 時の流速と圧力の関係 (ケース 3)

う。河床形状が安定した通水 1 分後の平均圧力は、洗掘無し : 948Pa, 洗掘 1.5cm : 450Pa, 洗掘 2.0cm : 850Pa である。河床洗掘無しでは、流量が大きいため、下流水位が高くなり、ブロックに作用する圧力が大きくなっている。河床洗掘時では洗掘に伴い水位が低下するものの、上下流間の水位差が大きくなり、圧力が増大している。河床洗掘深さが大きいほど、その傾向は顕著である。

以上のことから、河床洗掘が護床工上の流速変化に与える影響が小さいことが示された。その一方で、河床洗掘発生時においては、ブロックに作用する圧力は河床洗掘深さが大きいほど増大することが示された。そのため、実構造物において、落差工下流での河床低下の進行が護床工上の流速変化に与える影響は小さく、護床工構造物に作用する圧力には大きく影響するといえる。

(3) 護床ブロックの滑動・流出プロセス

河床洗掘による護床ブロックの滑動・流出プロセスについて検討する。ブロック群下流部において河床洗掘が発生、進行するとブロックと地盤部の境界部で段落ち流れの発生を招き、河床洗掘が著しく進行する(写真-2)。また、境界部での落差に起因して跳水位置が変化する。段落ち流れによる河床洗掘が進行した場合、ブロックの滑動や流出へと進展していくことが目視によって確認できた。これは、ブロック下部地盤の洗掘と、水位差増大によりブロックに作用する圧力の増大が関係して発生していると考えられる。

ブロックの流出形態としては、ブロック群最下流部の端部からの流出を皮切りに、同一行内で流出が進行していき(写真-3)、上流側へと波及していくことが目視によって確認できた。端部からブロックが流出していく要因としては、壁面での抵抗や流況変化によるものと考えられる。

4. 結論

本研究では水叩きを有するコンクリート構造の落差工を対象に、流量変化や下流側の河床洗掘が護床ブロックに与える流速・圧力変化について実験と検討を行った。本研究から次のことが明らかになった。

流量変化は護床工上の流速と比例関係にある。また、流量変化は護床ブロックに作用する圧力に影響を与える。それは大流量であれば、下流水位が影響し、中小流量であれば、跳水位置の変動が影響を与える。加えて、ブロックへ作用する圧力と、流量変化にともなう水面形の変化のみでは、ブロックの変位に至らない。

河床洗掘が護床工上の流速に与える影響は小さい。

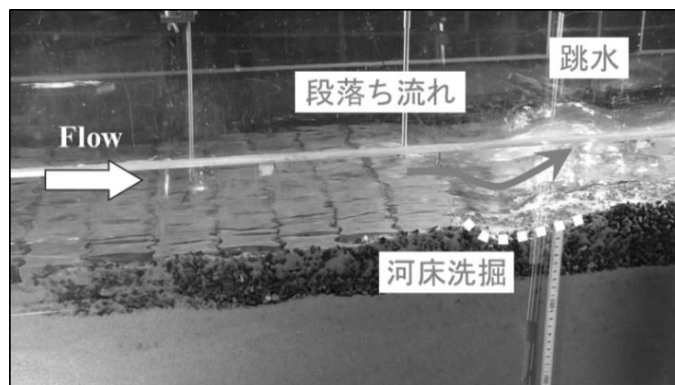


写真-2 段落ち流れによる河床洗掘の進行



写真-3 ブロックの流出形態

しかし、ブロックに作用する圧力に関しては、洗掘深さは圧力に影響を与える。

河床洗掘の進行は護床ブロック最下流部での段落ち流れを招き、ブロックの滑動・流出へつながる。また、ブロックの変位は、ブロック群最下流部の端部から発生し、上流側へと波及していくことが目視によって確認できた。

謝辞：本研究を実施するにあたり、長岡技術科学大学水圏防災工学研究室の学生の皆様からは、実験に関して多大な助力と助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

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.
- 2) 楊宏選，福元豊，細山田得三，大塚悟：落差工による跳水・浸透流およびそれらの河床構造物の安定性に及ぼす影響，河川技術論文集，第24巻，pp.656-660，2018.