

三角状水面波列がブロック安定性に与える影響に関する実験

土木研究所 寒地土木研究所 ○岩崎 理樹・井上 卓也・矢部 浩規

1. はじめに

急流河川における洪水時の流れは高速流となりやすく、流体力の増加による河川構造物の被災や、土砂輸送の増大に伴う高水敷・河岸の侵食などを引き起こす可能性があるため、高速流の発生は河川管理上重要な要素の一つである。一方、高速流条件下では流速増大に伴い、フルード数が増加し、しばしば射流流れとなる。このような場では、三角波と呼ばれる急峻な水面波が発生することがあり、橋梁や河川構造物に影響を与えることが懸念されている。しかしながら、三角波が河川管理上、どのような影響を持つかについて具体的に示した例は少ない。本論文は、三角波が護岸ブロック等の河川構造物に与える影響について、室内水理模型実験により検討を行うものである。

2. 実験条件

実験は長さ 20m、水路幅 0.5m の可傾斜水路において行った。実験条件は、三角波の発生条件を系統的に調べた井上ら¹⁾の実験を元に表-1のように設定する。ここでは、三角波が発生するケースと非発生であるケースの両方が含まれるように設定している。これらすべてのケースで、移動床条件と移動床に相当する河床材料で粗度付けした平坦固定床条件において実験を行った。固定床条件は、三角波の発生と密接な関係があると考えられている反砂碓を発生させないことを狙ったものである。

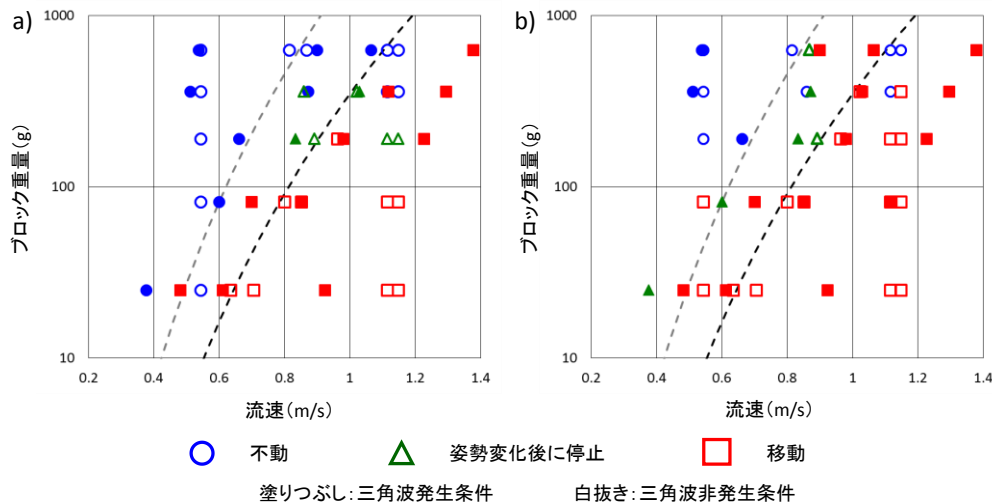
表-1 実験条件

	粒径 (mm)	勾配	平均流速 (m/s)	水深 (m)	フルー ド数	シー ルズ数	三角波
Case 1	1.42	0.008	0.591	0.037	0.98	0.13	発生
Case 2	1.42	0.008	0.826	0.055	1.13	0.19	発生
Case 3	1.42	0.008	0.981	0.073	1.16	0.25	発生
Case 4	1.42	0.03	0.543	0.021	1.20	0.27	非発生
Case 5	1.42	0.03	1.115	0.023	2.35	0.29	非発生
Case 6	1.42	0.03	1.148	0.026	2.27	0.33	非発生
Case 7	5	0.018	0.85	0.045	1.28	0.10	非発生
Case 8	5	0.018	0.945	0.053	1.31	0.12	非発生
Case 9	5	0.018	1.254	0.071	1.50	0.15	発生

このような条件の下、セメントで作成した平型ブロックを底面に設置し、各水理条件におけるブロックの移動の有無を調べた。平型ブロックは、長さ×幅×高さが 33mm×33mm×10mm の形状を基本とし、大きさを 1, 1.5, 2, 2.5, 3 倍とした 5 つのブロックを用いた。ブロック移動の有無については、次のような手順で調べた。まず、通水状態においてブロックを底面に設置し、流されないように木製の棒で支えておく。次に棒を外し、流されるかどうかで移動の有無を調べる。このとき、棒を離れた段階ですぐに動き出さない場合でも、一分間流れの中に設置したままにし、この間に動かないものを不動と判定した。なお、移動床条件においては河床面には反砂碓が発生し、ブロックと底面の条件や設置位置などが固定床条件と著しく異なり、比較が難しくなる。そこで水路の短い区間に固定床を設置し、その上を三角波が通過している時に、ブロックを底面に設置し、固定床ケースと同じ要領でブロック移動の有無を調べた。この際、水路の一部を固定床としても、その上下流が移動床であり、固定床部を流砂が通過しているために、固定床上にも三角波と河床波が発生していた。ブロックの移動の有無は、特にブロックが移動する場合においては複数回の試行を行い、不動・移動について判定した。各水理条件における水理量の指標として、固定床条件において各サイズのブロック高さにおける流速を電磁流速計で測定している。

キーワード：三角波、反砂碓、ブロック

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34 土木研究所 寒地土木研究所 TEL: 011-841-1639



図－1 ブロック移動の有無に対するブロック重量と流速の関係． a) 固定床条件， b) 移動床条件．

3. 実験結果

実験においては，固定床条件では移動しないブロックが，三角波が発生する移動床条件において移動するケースがいくつかあった．例えば Case 3 で三倍のブロックを用いたケースでは，固定床条件ではブロックは不動だったが，移動床条件においては滑動によって移動した．なお，粗度付き固定床条件ではすべてのケースで三角波の発生は認められなかった．ブロックが移動を開始したときのブロック位置は，水面波の谷の部分であることが多かった．このようなブロックの移動は，主として三角波の発生により，流速，水深等の局所的な水理量が平均的な値から大幅に変動し，局所的な発生した高流速が原因であると考えられる．特に，反砂碓形成時は河床形状と水面形状が同位相となり，一般に谷部において流速が最大となる．これがブロックの安定性を低下させる主要因と考えられるが，詳細なメカニズムについては今後検討を要する．

ブロックの安定性を議論する指標の一つとして，護岸の力学的設計法²⁾ではブロックが移動しないために必要なブロック重量 W はブロックに作用する流速 U の 6 乗で増加するとされている．通常，護岸ブロック等の設計では，基準となる流速は平均流であり，三角波発生時に生じる流速の変動等は考慮されていない．従って，平均流で設計を行うと必要ブロック重量を過小評価する可能性がある．この点に着目し，本実験結果においてブロック移動の有無を固定床上で測定されたブロック天端位置の流速とブロック重量の関係で整理したものが図－2 である．ここではあえて三角波が発生した際にブロックに作用する流速を用いていないことに注意を要する．図より，移動床条件では固定床条件よりも移動したブロックの範囲が広がっていることがわかる．図中の黒点線は固定床の実験結果を元に描いた $W \propto U^6$ のラインである．一方で，移動床条件の結果では，グレーの点線まで移動限界の閾値が変化する可能性がある．移動しないための必要ブロック重量は流速の 6 乗に比例するために，三角波によって生じる平均流速からの流速変動がそれほど大きくなくとも，ブロックの重量をかなり増やさなければいけない可能性がある．

4. まとめ

本研究では，三角波と護岸ブロックの安定性の関連性に関する実験を行ったものである．実験結果は，三角波の発生により，ブロックの安定性が低下することを示唆した．今後，詳細なメカニズムについて把握し，より適切な護岸ブロックの設計指針に資する知見を得たいと考えている．

参考文献

- 1) 井上ら，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol. 71, No. 2, pp. I_739-I_746, 2015.
- 2) 国土開発技術研究センター編：改訂護岸の力学設計法，山海堂，pp.1-153, 2007.