

破堤決壊部へのブロック投入を想定した重機作業のサイクルタイム計測実験

Measurement Experiment Cycle Time for Construction Machines on River Embankment Failure

一般財団法人 北海道河川財団 ○正員 山本太郎 (Taro Yamamoto)

一般財団法人 北海道河川財団 友田隆啓 (Takahiro Tomoda)

寒地土木研究所 正員 島田友典 (Tomonori Shimada)

北海道開発局 帯広開発建設部 村椿俊幸 (Toshiyuki Muratsubaki)

1. はじめに

堤防が決壊すると決壊部から大量の水が堤内地に流出し、市街地や農地などに浸水被害が生じる。近年でも平成 27 年の鬼怒川での破堤、北海道網走川水系サラカオーマキキン川での破堤、平成 28 年の北海道豪雨災害の際の空知川上流、常呂川、札内川などでの破堤など、北海道内を含め全国で破堤による浸水被害が発生しているが、破堤直後から迅速に堤防破堤箇所の締切作業が行われた事例はあまりない。堤防が決壊すると河川水位が下がるまで氾濫が続き、堤内地が広範囲・長時間にわたり冠水することになる。このような破堤による被害を最小化するためには、堤防の構造を破堤しづらいものにする改良または補強を行うハード対策としてのアプローチと、破堤した箇所を迅速に閉じて氾濫被害を最小化する緊急対応としてのアプローチの 2 つの観点がある。破堤しづらい堤防としては従来からの研究成果として代表的な越水堤防調査最終報告書¹⁾や近年では服部ら²⁾により危機管理型ハード対策としての堤防天端・法尻の工夫による越水から決壊までの時間を引き延ばす方法が示されている。一方、破堤決壊部を迅速に締め切る方法については、破堤部の流速などの水理条件が明確ではないことや、重機作業の安全性の不安などもあり研究開発はあまり進んでいない状況にある。堤防を破堤しづらくするハード対策は、対策を実施した箇所の安全性は上がるものの、膨大な延長の全ての堤防区間に適用するのは現実的に困難で、破堤した場合の緊急対応の技術向上を並行して進めることが必要となる。

破堤した場合の緊急対応は時間が重要となる。緊急対応として行う決壊箇所の締切作業の手順や方法を各々の河川で考える場合に、作業着手から締切完了までの必要時間を見積もることになるが、重機作業での個々の手順の所要時間の算定の方法が確立されていない。これはブロックの運搬・投入や土工自体は単純作業であるものの、通常工事ではない緊急工事での繰り返し作業の必要時間（サイクルタイム）について公表されたデータがほとんどなく明確ではないことにひとつの要因がある。災害対応は事前の検討が重要であり、時間を追った計画もタイムラインとして検討が進められているなか、破堤時の対応も時間の見積もり方法を確立していくことは災害予防技術の向上に向けて重要である。ここでは締切作業を想定したブロック投入のサイクルタイムについて実際に重機を用いて計測実験した結果を報告する。



写真-1 (上) 玉掛けして吊り上げたブロック

写真-2 (下) ブロックからワイヤを外す玉外し作業

2. クレーンによるブロック吊り上げ実験 1

2.1 実験方法

計測実験は十勝川千代田新水路右岸の河岸で 2013 年 6 月に実施した。河岸平場から低水護岸の法面部を堤防と見立て、河岸平場に 25t 級ラフタークレーンを配置し、ブロックを積載したトラックを近づけて荷台から直接ブロックを吊り上げ河岸部に降ろす手順とした。使用したブロックは河川の根固工に使用する 2t 級立体型ブロックである。ブロックが一軸の両側にそれぞれ 4 つの脚部のある形状であるため、吊り上げの際にはワイヤを輪にして脚部の両側に掛ける「玉掛け」を行い（写真-1）、ブロックを降ろす際は「玉外し」を行い（写真-2）この一連で作業終了とした。所要時間は玉掛け、吊り上げ（ブロックを吊り上げてから地表面にブロックを着地させるまで）、玉外しで分けて計測した。なお、吊り上げたブロックが地表面に着地してから玉外しを行うまでの

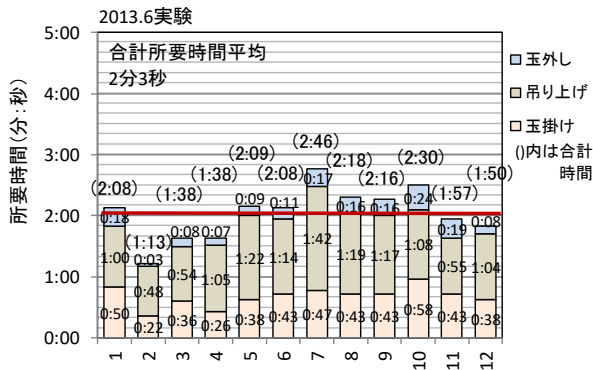


図-1 実験結果 (クレーンによる吊り上げ実験 1)

間にブロックの位置を調整する据付け作業に時間を要しているが、破堤時のブロック投入を想定すれば必要のない時間のためここでは除外した。実験は 2t 級ブロック計 12 個に対して行った。

2.2 実験結果

実験結果を図-1 に示す。玉掛けから玉外しまでの一連作業にかかる時間は平均 2 分 3 秒であった (以下、同様に計測値は平均値で示す)。このうち玉掛け作業が 41 秒、吊り上げ作業が 1 分 9 秒、玉外しが 13 秒であった。なお、これらの時間以外に実際はブロックを玉外ししたあと次のブロックを吊り上げるためにクレーンを旋回させて戻す時間が必要となり、これを含めると 1 回の一連作業に 2 分 30 秒から 3 分程度の時間が必要である。

3. クレーンによる吊り上げ実験 2・バックホウによる吊り上げ実験

3.1 実験方法

実験は十勝川千代田新水路で 2014 年 6 月に行った。クレーンでのブロック吊り上げ実験に用いたクレーンは 45t ラフタークレーンで、平坦部に準備したブロックを 3m 高い位置 (千代田実験水路の背割堤部) に置く手順とした (写真-3)。バックホウによるブロック吊り上げ実験は、平坦部にバックホウを待機させ、2t 型根固ブロックを同じく平坦部に準備しておき、バックホウのアームの先端部に格納されているフックを用い、玉掛け・玉外し作業によりブロックを移動させ平坦部に置く手順とした (写真-4)。両実験ともにブロックの吊り上げ・吊り下ろしは玉掛け・玉外し作業とした。クレーンのケースはブロック 8 個、バックホウのケースはブロック 15 個に対して計測作業を行った。なお、バックホウによる実験で法面部にブロックを移動させる実験も行ったが、ワイヤの種類などの条件が異なり実験を並列して議論するにはふさわしくないためここでは扱っていない。

3.2 実験結果

実験結果を図-2 及び図-3 に示す。クレーンの場合での玉掛けから玉外しまでの時間は平均 2 分 25 秒であり、玉掛け 33 秒、吊り上げ 1 分 34 秒、玉外し 17 秒であった。バックホウでの玉掛けから玉外しまでの時間は 2 分 50 秒であり、玉掛け 1 分 11 秒、吊り上げ 1 分 30 秒、玉外し 9 秒であった。バックホウでの玉掛け作業がクレーンのケースより時間を要しているが、準備したブロック



写真-3 クレーンによる吊り上げ実験 2

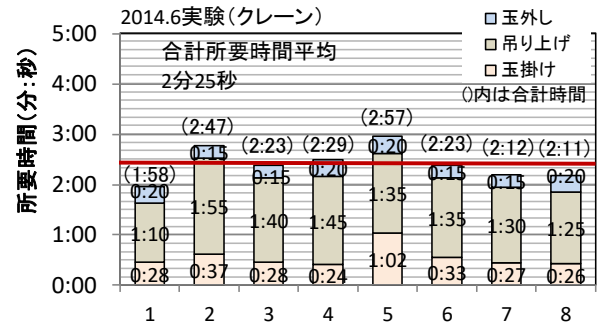


図-2 実験結果 (クレーンによる吊り上げ実験 2)



写真-4 バックホウによる吊り上げ実験

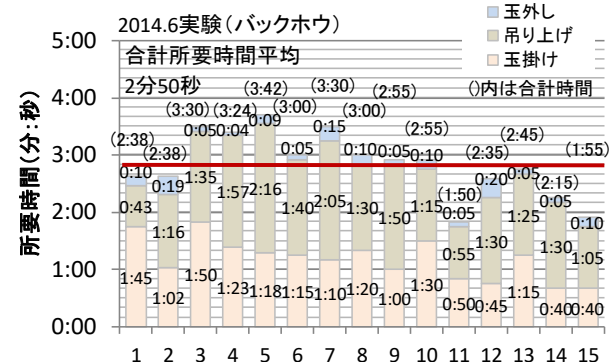


図-3 実験結果 (バックホウによる吊り上げ実験)

が仮置きされた場所の足場が悪かったことや、ブロックを 2 段に重ねて仮置きしていたために作業員がブロックを昇り降りする手間がかかったことによる時間のロスが影響した。実験精度としての誤差でもあるが、緊急時の現場対応で運搬してきたブロックの仮置きの仕方が作業時間に微妙に影響することが示唆されたとも見ることができる。バックホウ、クレーンともに玉掛けから吊り上げ、玉外しまでと次の玉掛け準備のための旋回作業を含めると 1 回の一連作業に要する時間は前項の計測実験とほぼ同じ概ね 3 分となる。



写真-5 オートフックによるブロックの吊り上げ



写真-6 バケットによるブロック転がし投入

4. バックハウ・バケットによる転がし投入実験

4.1 実験方法

前項までの計測実験でクレーン・バックハウいずれを用いてもブロック1個を吊り上げて下ろす作業に2分30秒から3分程度の時間が必要であることがわかった。堤防破堤時にブロックを用いて締切作業を行うことを考えればブロック1個を投入することに要する時間はできるだけ短縮したい。また、破堤した堤防での緊急時の作業では、バックハウの機動性を活かし、バックハウでの締切作業の効率化ができれば災害対応の迅速化に有効である。実際、H28.8に北海道内で起こった大水害時の緊急復旧作業では多くの現場でバックハウが使用されている。これらに鑑み、ここではバックハウ使用でのブロックの水中投入の時間短縮を図る方法を試行しそのサイクルタイムを計測した。

千代田実験水路の河岸平場に厚さ30cm程度盛土しこれを堤防天端、低水護岸部に覆土しこれを破堤決壊部に見立て、堤防天端部から破堤決壊部にブロックを投入する状況を仮定した。盛土部にバックハウを配置し、投入するブロックを積載したトラックを横付けし、トラックの荷台上のブロックを吊り上げて水路に落とすまでの時間を計測した。トラックは通常のダンプトラックDTとキャリアダンプCDとした。ブロックの吊り上げはワイヤによる玉掛け・玉外しのケース（以下、玉外しのケースとする）と、オートリリースフック（以下オートフック）を用いた吊り上げ・自動開放のケースを行った（写真-5）。オートフックのケースは破堤決壊部に近い位置で人力によるブロックの玉外し作業を行うのが危険

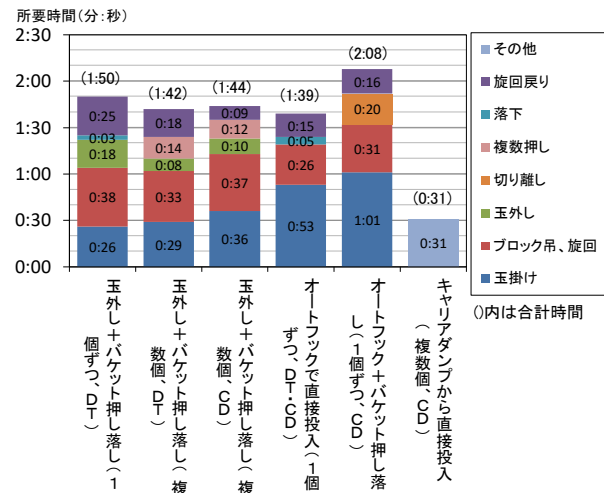


図-4 実験結果（バックハウによる吊り上げ実験、数値はブロック1個当たりの平均所要時間）

なため、吊ったブロックを自動で開放させ、同時に時間短縮を図る目的のケースである。玉外しの場合はブロックを地上に置いてワイヤを外してからバックハウのバケット部でブロックを水面方向に転がして落とす手順になるが（写真-6）、ブロックをワイヤから外して落とす作業を1個ずつ行うケースと、効率化を見込みブロックを複数地上に置いてからまとめて落とすケースに分けた。オートフックの場合は、ブロックを河岸際ぎりぎりの位置に下ろしてそのままブロックが斜面を転がり落ちるケースのみを想定していたが、転がるブロックにワイヤが絡まる危険が生じたため、オートフックでブロックを地上に下ろしたあとにバケット部でブロックを転がして落とすケースも追加した。

4.2 実験結果

実験結果を図-4に示す。各ケースの所要時間はブロック1個当たりの平均値である。玉外しのケースではブロックを1個ずつ落としたケースではブロック1個当たりの所要時間は1分50秒程度、複数まとめて落としたケースでは1分40秒程度であり、地上に下ろしたブロックを複数個まとめて落下させるとブロック1個当たり概ね10秒程度時間短縮となっている。オートフックを用いた直接投入のケースは、さらなる時間短縮を目論んだものの全体の所要時間は玉外しのケースとほぼ変わらず1分40秒程度である。作業手順ごとの所要時間を見れば、オートフックのケースは玉外しの時間がなくなるが、オートフックでの玉掛けに通常の玉掛けより20秒から30秒多く時間を要しており、オートフックを用いても全体としては時間短縮にならない結果の要因となっている。オートフックを用いてブロックを一度地上に下ろしてバケット押しする場合はさらに時間がかかり、全体で平均2分8秒となった。オートフックを用いることによる時間短縮の効果は得られなかったが、堤防決壊部近くに人が立って玉外し作業を行う必要がないことは現場での作業員の安全上有効である。この場合、次のブロックの吊り上げ作業のための旋回時間を含めると1回の一連作業に必要な時間は概ね2分30秒程度となる。



写真-7 ダンプアップによるブロックの直接投入実験

5. キャリアダンプ荷台からの直接投入試行実験

5.1 実験方法

参考実験として、作業時間の大幅短縮を図ることを意図し、バックホウを使わずキャリアダンプ CD の荷台を傾けて（ダンプアップ）ブロックを直接滑り落とす直接投入実験も行った（写真-7）。キャリアダンプ CD の荷台に2個の2t型ブロックを積載し、前進移動させたキャリアダンプを水際部で停止させ、荷台を水平半回転させたのち、荷台を傾けてブロックを落とす手順とした。

5.2 実験結果

実験結果を図-4の右端に示す。時間の計測はキャリアダンプが水際に停止したあとの、荷台の回転開始時点から荷台が傾いてブロックが落下するまでの時間とした。ブロックをキャリアダンプから直接滑り落とすのに必要な時間はブロック1個あたり平均約30秒であった。バックホウやクレーンでブロックを一度吊り上げる方法と比較すると大幅な時間短縮となる。通常のダンプトラックで直接投入をする場合にはバックの方向で堤防上を破堤決壊部の際まで接近する必要があるが、荷台が水平回転するキャリアダンプでは前進移動で決壊部まで移動できることで可能となる一方、荷台から落としたブロックが水中に落ちず地面にとどまった場合には、キャリアダンプを一度移動させバックホウなどに入れ替わってブロックを落とす作業が発生することが難点となる。

6. クレーンの準備時間計測実験

6.1 実験方法

破堤部の締切作業では作業の進捗に応じて重機の位置を移動させることが想定されるが、クレーンの場合には移動の際にブームの伸縮、アウトリガーの格納・張出しに時間を要する。このため、クレーンの作業位置移動を想定した各手順のサイクルタイムを計測した。実験は2013年6月のブロック吊り上げ実験1の際に行った。クレーン作業の位置を少しずつ状況想定し、ブームを伸ばした状態からブーム格納、アウトリガー格納、クレーン車移動（10m）、アウトリガー張出し、ブーム準備までをひとつの工程としてこれを3回行った（写真-8）。なお、これらの作業は1名の作業員が行った。



写真-8 クレーンの準備時間計測実験

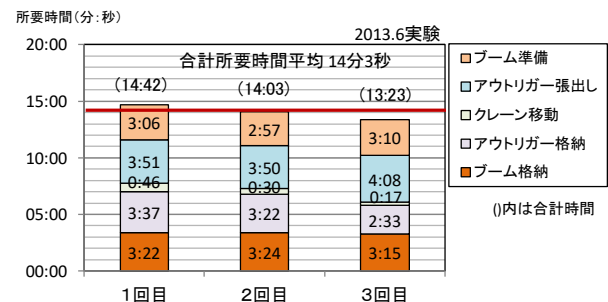


図-5 実験結果（クレーン準備時間計測実験）

6.2 実験結果

各所要時間の平均値はブーム格納3分20秒、アウトリガー格納3分11秒、クレーン車移動31秒、アウトリガー張出し3分56秒、ブーム準備3分4秒であり、合計時間の平均は14分3秒であった。クレーンを10m移動させるだけで約15分が必要であり、緊急工事での重機作業を検討する際には無視できない時間である。

おわりに

破堤時の緊急締切作業を想定した重機作業のサイクルタイムの計測実験を行った。迅速な締切作業は被害を軽減させることから、作業の効率化による時間短縮が課題となる。

謝辞

現地でのサイクルタイムの計測作業では建設技術研究所の協力を得た。ここに感謝の意を記す。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川研究室：越水堤防調査最終報告書，土木研究所資料第2074号，1984.3
- 2) 服部敦，森啓年，笹岡信吾：越水による決壊までの時間を少しでも引き延ばす河川堤防天端・のり尻の構造上の工夫に関する検討，国土技術政策総合研究所資料第911号，2016.5