

(技術資料)

鋼製透過型砂防堰堤（格子形－2000C）の段階施工方法

Phased Construction Method for Steel Grid Sabo Dam (KOUSHIGATA-2000C)



川村崇成*1
Takanori KAWAMURA



加藤光紀*1
Mitsunori KATO



高野昭彦*1
Akihiko TAKANO



佐伯拓也*1
Takuya SAEKI



籠橋慶太*1
Keita KAGOHASHI

When a construction of a steel-grid sabo dam is taken more than a year, a common practice is to construct its closed section in the first year, leaving the open section for the following years. If a debris flow occurs before the construction of the open section, the sabo dam cannot provide any effect against it, and closed section may add to the damage. Against this background, a phased construction method was developed in which the steel structure of the open section is split into an upper part and a lower part. The lower part is constructed at the same time as the closed section, thereby providing some effect before the open section is completed. Improved accuracy of fabrication and erection has enabled the completion of sabo dam construction even when debris flow was trapped during the period after the first phase.

まえがき＝近年、自然災害から国民の命や財産を守るための国土強靱（じん）化政策が進められるなか、土石流災害を防止または軽減するため、全国の河川・溪流において砂防堰（えん）堤の整備が進められている。当社は鋼管をフレーム状に組んだ鋼製透過型堰堤（「格子形－2000C」、以下、格子形堰堤という）を開発し、製品供給を通じて砂防堰堤の整備に貢献している。

この格子形堰堤の施工が複数年に分割される場合において、鋼製部を上下に分割して段階的に架設し、早期に施設効果を発揮させる工法（以下、段階施工方法という）を開発した。段階施工方法は当社のオンリーワン技術であり、これまでに17基（平成26年9月末現在）の実施事例がある。さらにそのなかの2基は、実際に一期施工後に土石流を捕捉する効果を発揮している。

本稿は、この段階施工方法を実施するための技術的要素、および実施工での据付精度検証と効果検証の結果を紹介するものである。

1. 段階施工方法の概要

段階施工方法の概要として、格子形堰堤の概要、および段階施工方法の開発背景を以下に示す。

1.1 格子形堰堤の概要

格子形堰堤は、鋼管（φ508、φ609.6）をフレーム状に組み合わせた立体状の鋼構造物である。最上流面は格子状に組んだ縦横部材によって土石流を捕捉し、下流側はフレーム構造によって土石流流体力や土圧に耐える。鋼管はフランジ継手（以下、継手という）で分割されており、継手は高力ボルトで締結される。また鋼管柱はコンクリート基礎に固定される（図1）。



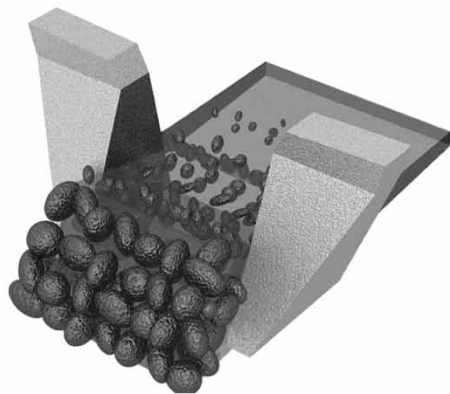
図1 格子形堰堤（下流側より）
Fig. 1 KOUSHIGATA sabo dam (from downstream side)

1.2 段階施工方法の開発背景

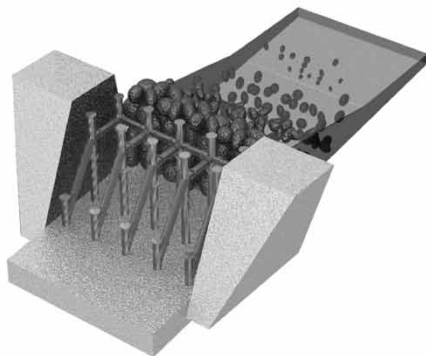
格子形堰堤の施工が複数年に渡る場合、これまでは初年度に非越流部（コンクリート部）の施工が行われ、次年度以降に越流部（鋼製部）の架設を行う方法が一般に採用されてきた。このとき、非越流部のみが施工されて越流部がない期間が長くなるので、この間に土石流が発生する可能性がある。そして仮にこの間に土石流が発生したとすると、土石流は越流部の鋼製部材によって捕捉されることなく下流に流下してしまい、砂防堰堤としての効果が発揮できない（図2 a）。さらには、非越流部による土石流の縮流効果によって土石流の水深や流速が大きくなることで、無施設の状態よりも下流域の災害が大きくなる可能性がある。

平成13年に鹿児島県種子島の軍場川にて格子形堰堤が土石流を捕捉したが、土石流が発生したのは格子形堰堤

*1 エンジニアリング事業部門 鉄構・砂防部



(a) Conventional construction method
Debris flow pass sabo dam



(b) With phased construction method
Debris flow is caught by steel members

図2 段階施工を実施した場合の効果
Fig. 2 Effect of Phased construction method

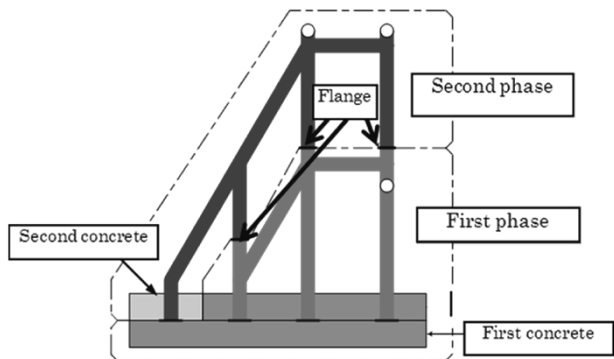


図3 段階施工方法の概略
Fig. 3 Overview of phased construction method

が完成した直後であった。このとき、越流部の施工予定年度が土石流発生年度より後であったと仮定すると、土石流を捕捉できずに下流域にて大きな被害が発生していたと考えられた。工事着工後において土石流による被害を防ぐ、もしくは軽減するためには、なるべく早期に越流部も施工する必要があることが判明した。そこで格子形堰堤について、初年度工事にて非越流部と鋼製部を一定の高さまで施工（一期施工）し、次年度以降に鋼製部の残りの部分を施工（二期施工）する段階施工方法の開発に取り掛かった（図3）。この段階施工方法を実施することで、初年度の施工後に土石流が発生しても、一期施工高さまでは土砂の捕捉が可能となり、下流での被害を軽減して施設効果を発揮することができる（図2b）。

2. 段階施工方法実施のための技術的要素

格子形堰堤は、①自立可能な柱が主体の構造物であり比較的架設が容易、②専用工場での製作により部材製作精度が高い、③一期施工部のみでも土石流荷重に抵抗できるフレーム構造が組まれる、といった点から段階施工方法への適用可能性が高いと判断した。

2.1 段階施工方法の課題

段階施工方法の実施に向けて、部材製作や現場架設についての具体的な検討の結果、以下の課題が抽出された。

(1) 格子形堰堤全体の製作・据付精度を確保すること

段階施工方法においては、全体を上下二段階に分割して製作・据付が行われるが、工事完了時には全体の製作・据付精度が所定の基準を満たす必要がある。このために、各段階の製作・据付の公差は、全体の公差より厳しく設定する必要がある。

(2) 二期施工を確実に完成させること

二期施工での部材は、一期施工で完成した部材の上に立体的に連結されるため、一期での施工の出来形の影響によっては二期施工の部材の取り付けができない（継手の高力ボルトが締結できない）可能性がある。そこで一期施工の据付精度を厳しく管理するとともに、一期施工完了後の出来形を考慮した二期施工の実施が必要となる。

2.2 課題解決のための技術的要素

上記の課題を解決するため、つぎの技術的事項を検討して実施に適用することとした。

(1) 製作および据付公差を、「鋼製砂防構造物設計便覧（平成21年版）」¹⁾（以下、便覧という）や施主の定める施工管理基準に示される許容値の1/2以下にすること。

一期施工および二期施工においてそれぞれの公差を許容値の1/2以下に収めれば、完成時に全体でも所定の精度を確保できる。これは鋼製橋梁をはじめとする鋼構造物の分野において、一構造物を分割して製作・据付される場合に一般的に行われている方法である。

(2) 一期施工終了時に、二期施工の部材が取り付く全接点の出来形を確認すること。

一期施工の出来形が上記の精度を確保できなかった場合、二期施工の据付に問題が発生する可能性が高くなる。そこで一期施工の出来形を詳細に確認し、上記の精度が確保されているか否かの確認を行う。また一期施工の出来形が上記の精度を確保できていない場合には、その誤差を二期施工の部材寸法に反映させることで二期施工における据付時の問題発生を未然に防ぐことが可能となる。

3. 段階施工方法の実施工

これまで段階施工方法により全国で17基の格子形堰堤が施工された（表1）。以下に、実施工時の部材製作および現場での据付作業における具体的確認事項を示す。

3.1 部材製作

部材製作の公差を便覧に示されている部材寸法精度の

表 1 段階施工方法による砂防堰堤一覧

Table 1 List of sabo dams with phased construction method

No.	Name of dams	Placa
1	Dai2hariharagawa sabo entei	Kagoshima Pref.
2	Ishiodorigawa sabo entei	Kagoshima Pref.
3	Ootakenogamidani sabo entei	Kagoshima Pref.
4	Tomogawa4gou sabo entei	Kagoshima Pref.
5	Kanashikigawa sabo entei	Shizuoka Pref.
6	Eragawashikei sabo entei	Kagoshima Pref.
7	Tashironakadai3tani sabo entei	Kagoshima Pref.
8	Ideguchigawa sabo entei	Kagoshima Pref.
9	Kotokonabegawa sabo entei	Fukui Pref.
10	Shiomigawa sabo entei	Kagoshima Pref.
11	Nonakasawadai2 sabo entei	Niigata Pref.
12	Nishitanigawa sabo entei	Ehime Pref.
13	Ichinokawakaryuu sabo entei	Ehime Pref.
14	Setogawalgou sabo entei	Kagoshima Pref.
15	Furukogawa sabo entei	Ehime Pref.
16	Sanbonmatsugawal sabo entei	Kagoshima Pref.
17	Ushiogawajouryuu sabo entei	Kagoshima Pref.

1/2に設定した。これまでの実績17件全てにおいて、製作期間・コストや製作管理の負荷は大きく変わらずに、設定した精度を確保できた。したがって、部材製作公差を通常の1/2に設定しても工期や製作費用に大きな影響なく実行可能であることが確認できた。

3.2 一期施工

一期施工での据付公差は、便覧や施主が規定する標準公差の1/2に設定したが、現場での据付作業手順・内容は通常の格子形堰堤と同じ要領で実施した。その結果、これまでの全ての実績において標準公差の1/2の据付精度を満たすことができた。これは、部材の製作精度が通常の1/2になっていることが据付精度にも大きく影響していると考えられ、据付作業自体は通常のままでも十分に要求する据付精度を確保できることが確認できた。

3.3 二期施工

二期施工の実施に当たり、一期施工の出来形を測定して据付精度の確認を行ったところ、目標とした据付公差を超える誤差が生じた事例はなかった。これにより、二期施工の部材は全て設計図面どおりの寸法で製作した。

一期施工時に底版コンクリートの打設まで行ってしまうため、固定された一期施工の部材に二期施工の部材を据え付けることになる。固定された一期施工の部材は動かすことができないため、二期施工部材を据え付けるための部材間クリアランスの確保が難しく、また据付後の部材の位置調整の自由度が小さい。その結果、据付作業の遅延や据付誤差が大きくなる可能性が高い。そこで、通常の格子形堰堤の据付作業要領に加えて以下の2項目を実施した²⁾。

(1) ボルト孔径と同径のドリフトピンの使用

通常の据付時には、ボルト孔径より1.5mm小さい径の仮止め用ボルトを主に使用して継手部の仮止めを行っていた。しかし、部材の中心位置を厳密に所定の位置に合

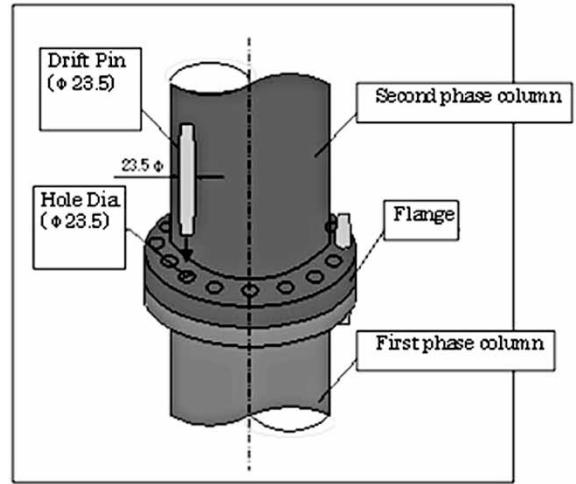


図 4 ドリフトピンによる仮止め
Fig. 4 Temporarily fix by drift pin

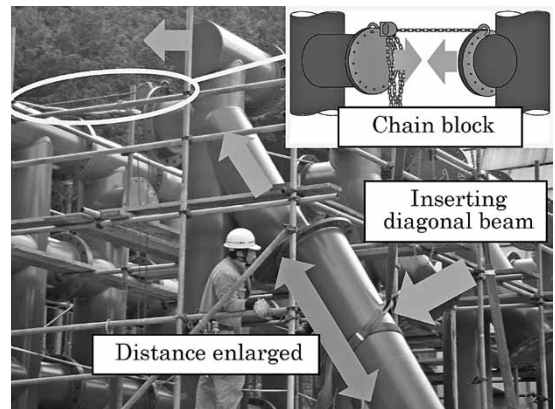


図 5 梁部材の挿入
Fig. 5 Insert of beam member

わせることは難しいため、最終的には部材の位置調整によって据付精度を確保していた。一方、段階施工方法の二期施工においては部材の位置調整の自由度が小さいため、所定の据付精度を確保できない可能性が高い。そこで仮止めボルトに加えて、ボルト孔径と同径のドリフトピンを継手の仮止めに併用し、据付精度向上のために継手位置で部材の中心位置を厳密に合わせることにした(図4)。

(2) 工具による部材間クリアランスの確保

水平梁や斜梁などの梁部材を柱部材の間に収める際には、柱部材の間隔(部材間クリアランス)を広げて梁部材を挿入する必要がある。通常の据付時には一期施工の柱部材から位置調整をして部材間クリアランスを確保していたが、段階施工の二期施工においては一期施工の柱部材を動かさずに部材間クリアランスを確保する必要がある。そこで、ジャッキやチェンブロックなどの工具を使用して部材間を押し広げ、梁部材挿入のためのクリアランスを確保した(図5)。

これにより、全ての実績において所定の据付精度を確保しつつ予定工期内に二期施工を完成させることができた。

3.4 施工結果

段階施工方法の実施初期の敷件においては、作業の各段階において工程遅れや出来形を詳細に確認し、実行可

能性を検証しながらの施工となった。しかしながら、上記のとおり工場での部材製作精度の向上および工具や治具を使った据付作業の工夫を行うことにより、工期に影響を及ぼすことなく格子形堰堤全体の据付精度を確保できることが確認できた。

以降の段階施工方法による施工においては上記の作業を標準として採用し、設計図面どおりの部材製作を行うこととした。その結果、全ての段階施工方法事例において全体の出来形を所定の公差に収め、かつ予定工期限内に完成させることができた。

4. 段階施工方法を実施した堰堤での土石流捕捉

表1に示したように、全国での施工実績を重ねてきたなかで平成23年7月に野中沢第2堰堤（北陸地方整備局湯沢砂防事務所管内）が、続いて同年8月に西谷川堰堤（愛媛県東予地方局四国中央土木事務所管内）が、一期施工完了後に発生した土石流を捕捉し、"早期に施設効果を発揮する"という段階施工方法の効果を実証することができた。またその後、両堰堤とも二期施工が問題なく完了し、堰堤全体が竣工した。

本章では、これらの事例を調査し、効果、構造強度、施工性について検証した結果をまとめる。

4.1 効果の検証

平成23年7月、野中沢第2堰堤は二期施工中の右岸側の鋼製部が天端まで完成し、左岸側の鋼製部を架設する直前の状態であったなか、豪雨により発生した流木交じりの土石流の作用を受けた³⁾。最寄りの雨量観測所における当日の最大時間雨量は71mm/h、また日雨量は262mm/日であった。この日雨量をもとに有効降雨強度を算定すると41.6mm/h程度となるが、この値は設計諸元の有効降雨強度（re）40.2mm/hとほぼ同等であり、発生した土石流は設計規模に相当する大規模なものであったと推定された。

図6に一期施工終了時の状態を、図7に土石流捕捉時の状況を、図8に土石流捕捉後の上流側の状況を示す。図7に破線で示すように、土石流は一期施工の高さまで捕捉されているのが分かる。また、上流側の堆砂敷表面に堆積していたのはほとんどが小礫（れき）や細粒土砂であった（図8）。加えて、野中沢第2堰堤の下流約300mにあるコンクリートスリット堰堤においては土

石流が到達した痕跡がなかった（図9）。

以上より、下流域に被害を及ぼすような巨礫や土砂は、ほぼ完全に野中沢第2堰堤により捕捉されたものと考えられる。

また平成23年8月には西谷川堰堤において、一期施工が終了した後に台風12号により発生した土石流の作用を受けた。図10に土石流捕捉時の捕捉状況を、図11に土

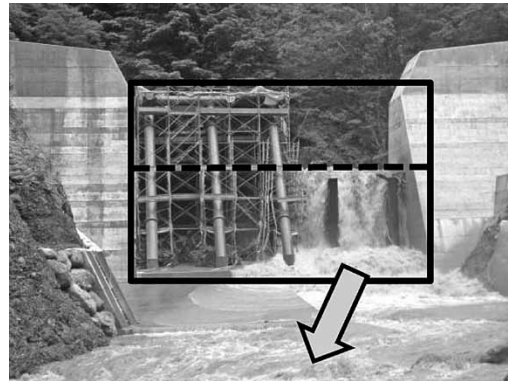


図7 土石流後の野中沢第2堰堤
Fig. 7 Nonakasawa 2nd sabo dam after debris flow

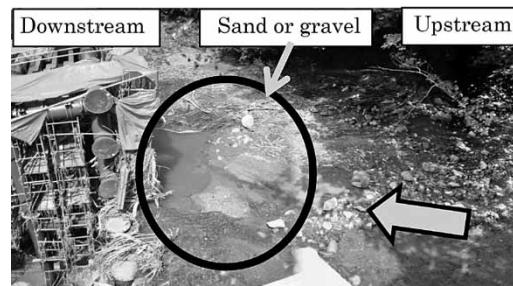


図8 土石流後の野中沢第2堰堤上流
Fig. 8 Upstream of Nonakasawa 2nd sabo dam after debris flow

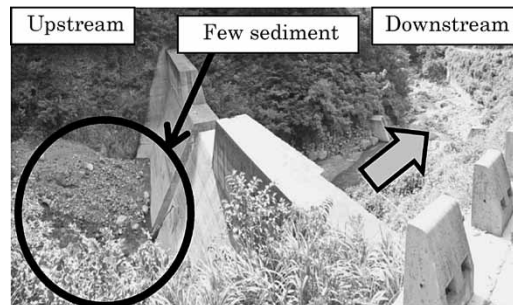


図9 下流のコンクリートスリット堰堤
Fig. 9 Concrete slit sabo dam at downstream

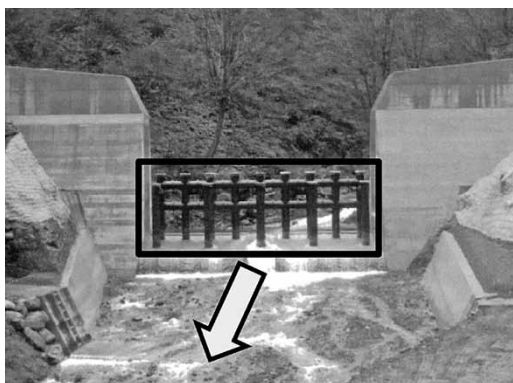


図6 一期施工後の野中沢第2堰堤
Fig. 6 Nonakasawa 2nd sabo dam after first phase



図10 土石流後の西谷川堰堤
Fig. 10 Nishitanigawa sabo dam after debris flow

石流捕捉時の上流側の状況を示す。図10中に破線で示すように、発生した土石流は一期施工高さまで捕捉されており、巨礫や土砂の流出量を軽減させた。

以上2事例より、工事着工後の早期に土砂捕捉機能を発揮する、という効果が段階施工によって発揮されることが実証された。

4.2 構造面および施工面の検証

土石流捕捉後の調査の結果、目立った凹み変形などの損傷は見られなかった。また継手部に関しては、図12に示すように野中沢第2堰堤のフランジ端部においてわずかな擦痕が見られたが、構造強度には全く影響を及ぼさないものであった。今回作用した土石流は計画規模とほぼ同等のものであったと推測されるが、一期施工範囲の構造のみでも大きな損傷はなく、計画規模の土石流の一部を捕捉できることが実証された。

一方、一期施工終了後の構造について、計画規模の土石流を作用させた場合の構造解析を行ったところ、最も発生応力度が大きい部材でもその応力度は許容応力度の8割程度に収まっていた。このことから、一期施工後の構造のみでも土石流に耐え得ることが分かり、今回の現地調査結果を裏付ける結果となった。

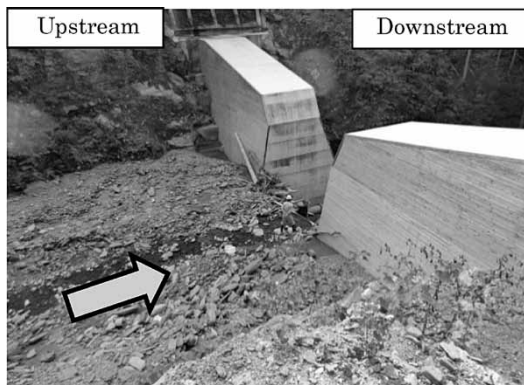


図11 土石流後の西谷川堰堤上流
Fig.11 Upstream of Nishitanigawa sabo dam after debris flow

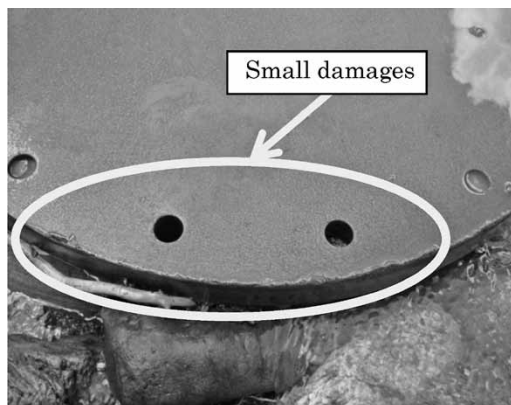


図12 フランジ面の傷（野中沢第2堰堤）
Fig.12 Damages on flange (Nonakasawa 2nd sabo dam)



図13 二期施工後の野中沢第2堰堤
Fig.13 Nonakasawa 2nd sabo dam after second phase

また施工性について、上記2堰堤とも工期の都合で除石をせずに二期施工が行われたが、一期施工の部材に変形や残存変位がなかったため、問題なく部材据付を完了することができた（図13）。

なお、今回現地にて確認された一期施工部材の継手フランジ端部の擦痕については、一期施工終了後にフランジ径程度の鋼板をフランジに被せて保護するなどの養生方法を検討し実践していく予定である。

むすび=本稿で紹介した段階施工方法は、現場での実施の実績を多く積み上げて架設精度の確認ができており、完成度が高い工法である。一期施工が完了した段階で土石流を捕捉して下流の被害を防いだ事例から、早期に土石流捕捉効果を発揮するという効果の有効性を確認することができた。さらに、一期施工完了後に土石流を捕捉しても鋼製部材の健全度が損なわれることなく、その後の二期施工が大きな支障なく完了することができたことから、構造強度や施工性についても問題ないことが確認された。

このような実績が評価され、平成26年度砂防学会技術賞を受賞することができた。今後、限られた公共事業予算や施工期間のなかで、砂防施設の効果を早期に発揮できる工法の一つとしてこの段階施工方法の採用が推進されることによって土石流による被害の低減に寄与し、安全な社会の実現に向けたインフラ整備に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) (一財)砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物研究会. 鋼製砂防構造物設計便覧：平成21年版. 2009.
- 2) 加藤光紀ほか. 新工法：格子形えん堤の段階施工について. 砂防学会誌. 2010, Vol.63, No.4, p.22-25.
- 3) 藤田幸雄ほか. 格子形鋼製砂防えん堤の段階施工の効果事例について. 平成24年度砂防学会研究発表会概要集. 2012, p.56-57.