

# 小規模落石に対する応急対策時の 大型土のうの連結方法

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○中村 拓郎  
石原 寛也  
三浦 之裕

大型土のうは道路や河川を対象とした緊急を要する応急復旧工事で広く活用されている。本研究では、50kJ程度の小規模な落石に対する簡便な応急対策の提案に向けて、2段積み的大型土のうの一体性を確保するための連結方法が、大型土のうの落石衝突時の挙動や破損状況、落石捕捉性能に及ぼす影響について、重錘衝突実験によって検証し、現場適用時の留意点等を整理した。

キーワード：防災、落石、大型土のう、応急対策

## 1. はじめに

落石が群として存在する斜面において施設の被災や経年劣化による部材交換が必要となった場合や、新たに落石の懸念が生じた場合には、通行規制や施設等による対応が求められる。落石に対する応急対策の代表例としては鋼製の仮設防護柵があり、道路防災工調査設計要領(案)<sup>1)</sup>等を参考に設置されている。また、近年は、高エネルギーを有する大規模な落石や崩壊土砂に対応できるような製品開発も進められている<sup>例えば 2)</sup>。これらの工法は、大規模な落石を対象としており、資材調達や施工に時間を要する場合もある。このため、写真-1に示すような小規模な落石に対しては過大な対策となる可能性もあり、また、現地調達が可能な資材や標準工法によって早急に対応できることが望ましい。

大型土のうは道路や河川を対象とした緊急を要する応急復旧工事で広く活用されており、写真-2に示すように、斜面防災上の応急対策として設置される場合も少なくない。大型土のうを活用した落石対策については、「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル<sup>3)</sup>において、簡易な落石対策工として使用した事例や落石対策工の衝撃緩衝用として使用した事例が紹介されているが、落石捕捉性能等に関する具体的な適用範囲等は明示されていない。小規模な落石に対する応急対策として耐候性的大型土のうを選定することができれば、即日の規制解除等による社会的影響の大幅な軽減だけでなく、恒久対策までの猶予期間の確保等による維持管理コストの縮減が期待される。

寒地構造チームでは、落石規模に応じた簡便な応急対策の提案に向けて、重錘衝突実験によって耐候性大型土のうの落石衝突時挙動や落石捕捉性能の検証を進めてき



写真-1 直径 70cm 程度の落石



写真-2 耐候性大型土のうの設置例

た。著者らは、既報<sup>4, 5)</sup>において、直径25cm程度で1kJ程度の衝突エネルギーの落石であれば回転運動をとまなう場合でも大型土のう1体で捕捉できること、2段積みで大型土のうを配置する場合には、2段目を2列にするか、2段目の土のうを連結して一体性を確保することで従来型落石防護柵で対応する程度の衝突エネルギーの落石を捕捉できる可能性を示している。

本研究では、2段積み的大型土のうの一体性を確保するための連結方法が落石衝突時の挙動や破損状況、落石捕捉性能に及ぼす影響を確認することを目的に、振り子式の重錘衝突実験を実施した。

表-1 実験ケース一覧

実験 番号	実験 ケース 名称	土のう 1段目 (個)	土のう 2段目 (個)	連結 方法	連結材	重錘 載荷位置	重錘 落下高さ (m)	目標衝突 エネルギー (kJ)
1	3C-N-10	4×2	3	－	－	土のう	1.0	11.6
2	3C-N-20	6×2	3	－	－	土のう	2.0	23.1
3	5G-N-10	6×2	5	－	－	土のう間	1.0	11.6
4	3C-W-50	4×2	3	一括	ワイヤロープ	土のう	4.5	52.1
5	3C-S-50	4×2	3	一括	ベルトスリング	土のう	4.5	52.1
6	5C-S-50	6×2	5	一括	ベルトスリング	土のう	4.5	52.1
7	5G-S-50	6×2	5	一括	ベルトスリング	土のう間	4.5	52.1
8	5C-C-35	6×2	5	単体	結束ベルト	土のう	3.0	34.7
9	5C-C-45	6×2	5	単体	結束ベルト	土のう	4.0	46.3
10	5C-C-50	6×2	5	単体	結束ベルト	土のう	4.5	52.1
11	5G-C-35	6×2	5	単体	結束ベルト	土のう間	3.0	34.7
12	5G-CS-50	6×2	5	単体 ＋一括	ベルトスリング ＋結束ベルト	土のう間	4.5	52.1



(a) ワイヤロープ



(b) ベルトスリング



(c) 結束ベルト

写真-3 連結材



(a) 連結なし



(b) 一括連結



(c) 単体連結

写真-4 連結方法

## 2. 実験概要

### (1) 実験ケースと試験体

本研究における実験ケースを表-1に示す。試験体は、1段目を2列、2段目を1列で配置した2段積み耐候性大型土のうとし、実験パラメータは、大型土のうの積み方、連結方法、重錘載荷位置、重錘落下高さである。土のうの袋材は、「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアルに規定された性能を満足した長期仮設対応（3年）型で、直径が約1.1m、高さが約1.0mの形状寸法の製品を用いた。中詰め材は、石狩市親船産の路盤・埋戻し用の埋砂（分類：細粒分まじり砂）とした。なお、中詰

め材を充填した後の土のうは個別に計量しており、約1.50～1.59tonであった。2段目の大型土のうを一体化するための連結方法は、一括連結、単体連結、一括連結と単体連結の組み合わせとした。連結材には、写真-3に示すワイヤロープ（径10.39mm、破断力52.1kN）、ベルトスリング（ベルト幅50mm、最大使用荷重1.6ton）、結束ベルト（ベルト幅50mm、引張強さ30kN以上）を用いた。一括連結では、写真-4(b)に示すように、ワイヤロープまたはベルトスリングを大型土のうの外周を一周させて設置した。単体連結では、大型土のうのオプション品である結束ベルトを使用し、写真-4(c)に示すように、各土のうの吊りベルトに結び付けながら外周を一周させて設置



した。なお、いずれの連結方法においても、連結材が緩みのない緊張状態で取り付けられていることを確認している。また、応急対策として大型土のうを積み上げた直後に落石が衝突することを想定しているため、重錘衝突実験は、土のうを積み上げた直後に速やかに実施した。

## (2) 重錘衝突実験

本研究における重錘衝突実験は、重錘を所定の高さから振り子運動によって試験体に衝突させる方式を採用した。写真-5に示すように、門型フレームにワイヤロープで吊り下げた重錘をクレーンで所定の高さまで吊り上げた後、振り子運動によって試験体に衝突させた。なお、本実験では、衝突時に吊り下げロープと重錘の切り離しは行っていない。

重錘には、先端が丸みを帯びた直径0.5mの円筒形で、質量が1,181kgの鋼製重錘を用いた。重錘の載荷位置は、2段積みの2段目の中央に配置した土のうの中央、または、土のうと土のうの間とした。衝突高さは土のうの中央となるように高さ1.5mとし、いずれの実験ケースにおいても、1段目に配置された土のうに重錘が衝突していないことを確認している。なお、各実験ケースの重錘の落下高さは、表-1に示すとおりであり、重錘の衝突エネルギーが最大で従来型落石防護柵の設計可能吸収エネルギーと同程度の50kJとなることを目標にしている。

## 3. 実験結果

実験結果の概要を表-2に、各実験ケースにおける試験体の損傷状況を写真-6から写真-17に示す。なお、表中の重錘の衝突速度は、試験体の側面側に設置した高速度カメラの撮影画像から解析した水平方向の衝突速度であり、衝突エネルギーは、その水平方向の衝突速度から算



写真-5 振り子式の重錘衝突実験

出した値である。本章では、各実験ケースについて、大型土のうの連結方法に着目し、以下のとおり、連結なし、一括連結、単体連結に区分して整理する。

### (1) 連結なし

大型土のうの中央部に衝突エネルギー10kJ程度の重錘を衝突させた場合、土のうは重錘を押し返しており、試験体の損傷状況としては、衝突部の凹みや背面への軽微なずれが生じた程度であった（写真-6）。衝突エネルギーを20kJ程度にした場合には、重錘の試験体背面へのすり抜けは生じなかったものの、重錘が衝突した土のうは中詰め材の流出をとまって背面に転落した（写真-7）。また、土のうと土のうの間に衝突エネルギー10kJ程度の重錘を衝突させたケースでは、衝突部近傍で土のうの袋材に破れが認められたものの、重錘のすり抜けは生じなかった（写真-8）。既報<sup>4)5)</sup>の結果も踏まえると、2段目に設置する大型土のうを連結なしで設置する場合には、落石エネルギー20kJ程度までの落石を捕捉できる可能性があるものの、試験体の損傷状況を加味すると、10kJ程度の落石が適用の目安と考えられる。

表-2 実験結果の概要

実験 番号	ケース 名称	連結 方法	連結材	重錘 載荷位置	衝突 速度※1 (m/sec)	衝突 エネルギー※2 (kJ)	重錘 捕捉状況	試験体の 損傷状況
1	3C-N-10	-	-	土のう	4.3	10.8	捕捉	衝突部凹み
2	3C-N-20	-	-	土のう	6.1	22.1	捕捉	転落、中詰め材流出
3	5G-N-10	-	-	土のう間	4.2	10.2	捕捉	衝突部一部破れ
4	3C-W-50	一括	ワイヤロープ	土のう	9.3	51.4	捕捉	転落、中詰め材流出
5	3C-S-50	一括	ベルトスリング	土のう	9.3	51.0	捕捉	衝突部凹み
6	5C-S-50	一括	ベルトスリング	土のう	9.3	50.7	捕捉	転落、中詰め材流出
7	5G-S-50	一括	ベルトスリング	土のう間	9.3	51.4	捕捉	中詰め材流出
8	5C-C-35	単体	結束ベルト	土のう	7.5	33.5	捕捉	衝突部凹み
9	5C-C-45	単体	結束ベルト	土のう	8.8	46.0	捕捉	転落、中詰め材流出
10	5C-C-50	単体	結束ベルト	土のう	9.4	52.1	捕捉	転落、中詰め材流出
11	5G-C-35	単体	結束ベルト	土のう間	7.5	33.0	捕捉	衝突部一部破れ
12	5G-CS-50	単体 +一括	ベルトスリング +結束ベルト	土のう間	9.4	51.9	捕捉	衝突部一部破れ

※1 高速度カメラの撮影画像から解析した水平方向の衝突速度、※2 水平方向の衝突速度より算出



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-6 3C-N-10



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-7 3C-N-20



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-8 5G-N-10



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-9 3C-W-50



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-10 3C-S-50



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-11 5C-S-50



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-12 5G-S-50



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-13 5C-C-35



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-14 5C-C-45



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-15 5C-C-50



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-16 5G-C-35



(a) 衝突面



(b) 背面

写真-17 5C-CS-50



## (2) 一括連結の効果

既報<sup>4)5)</sup>において、2段目に配置した3個の大型土のうを一括連結によって一体化することで、落石捕捉性能が向上することを報告している。本項では、一括連結における連結材、土のう個数の影響について検討を行う。

3個の土のうをワイヤロープによって一括連結した試験体に衝突エネルギー50kJ程度の重錘を衝突させた場合、重錘の試験体背面へのすり抜けは生じなかったものの、重錘が衝突した土のうはワイヤロープで絞られるように変形するとともに中詰め材が流出し、2段目から転落する結果となった。また、重錘が衝突した土のうの両側の土のうもワイヤロープで絞られるように変形し、これらからも中詰め材が流出した（写真-9）。一方、3個の大型土のうをベルトスリングで一括連結した場合には、土のうが背面側に大きく移動しているものの、2段目からの転落もなく、袋材に顕著な損傷も認められなかった（写真-10）。一括連結をする場合には、連結材には線状の部材よりも帯状の部材の方が土のう袋への食い込みが抑制されと考えられる。なお、ベルトスリングの設置位置を土のう中央より下側に取り付けられた場合には、重錘の衝突により、土のうが転落する場合があることも別途確認しており、取り付け位置によっては連結材の効果が低減する恐れがある点に留意する必要がある。続いて、土のう5個を一括連結したところ、重錘が衝突した土のうは転倒し、中詰め材も流出する結果となった（写真-11）。このケースでは、重錘が衝突した土のうの両脇の土のうによる貢献が認められず、外周の距離が長くなったことによって一括連結の効果が低減されたと推察される。一方、土のうと土のうの間に衝突させた場合には、中詰め材の軽微な流出はあったものの、重錘の衝突位置が端部に近かったこともあって重錘を捕捉できている（写真-12）。

## (3) 単体連結の効果

一括連結の結果を踏まえ、結束ベルトを用いて大型土のうを1個ずつ連結する方法の効果を検証した。衝突エネルギーが35kJ程度の重錘を衝突させた場合、土のうは背面側に大きく移動したものの、重錘を押し返しており、中詰め材の流出も認められなかった（写真-13）。その後、衝突エネルギーを45kJ、50kJ程度にした場合には、重錘が背面にすり抜けることはなかったものの、結束ベルトを結び付けた位置から土のうの袋材に破れが生じ、中詰め材の流出をともなって転落する結果となった（写真-14、写真-15）。また、土のうと土のうの間に、衝突エネルギー35kJ程度の重錘を衝突させた場合であっても、重錘を問題なく捕捉することを確認した（写真-16）。単体連結の場合、一括連結に比べて一体性が確保される傾向にあるものの、落石の衝突エネルギーが大きくなると、一括連結の際には生じなかった土のう袋材自体の破れが懸念されることが明らかになった。

最後に、単体連結と一括連結を組み合わせた試験体を対象に、衝突エネルギー50kJ程度の重錘を土のうと土のうの間に重錘を衝突させた結果、土のう袋材の顕著な破れや、中詰め材の流出、土のうの転落は生じず、重錘を押し返すことができた（写真-17）。従来型落石防護柵で対応するような50kJ程度の衝突エネルギーを有する落石に対しては、結束ベルトによる単体連結を行ったうえで、ベルトスリング等を外周に巻き付ける対策が有効であると考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、小規模な落石に対する簡便な応急対策の提案に向けて、2段積みの耐候性大型土のうの連結方法と捕捉性能の関係を確認することを目的に、振り子式の重錘衝突実験を実施した。本実験で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 大型土のうを2段目に1列で連結なしで設置する場合には、落石エネルギー10kJ程度の落石が適用の目安と考えられる。
- (2) 結束ベルトによって単体連結する場合には35kJ程度の衝突エネルギーを有する重錘を捕捉できることを確認した。なお、落石エネルギーが大きくなると、袋材の連結部が破れが懸念される点に留意する必要がある。
- (3) 単体連結とベルトスリング等による一括連結を組み合わせることで、従来型落石防護柵で対応するような50kJ程度の落石も捕捉できる可能性を示した。なお、一括連結では、連結材が土のうに食い込む恐れがあるため、線状の部材ではなく、帯状の部材を使用することが望ましい。

本研究では、限られた実験ケース数ではあるものの、2段積みで2段目を1列で配置した場合の大型土のうの連結方法と落石捕捉性能の関係を整理するとともに、現場適用時の留意点を示した。本稿が現場での応急対策を選定する際の参考資料のひとつとなれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 社団法人北海道開発技術センター：道路防災工調査設計要領（案）落石対策編、2001.3
- 2) 難波正和、前川幸次、濱晃子、河崎隆志：大型土のうを用いた防護擁壁の実規模重錘衝突実験および土砂流下衝撃載荷実験、土木学会第73回年次学術講演会、I-234、2018.8
- 3) 一般財団法人 土木研究センター：「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル〔第2回改訂版〕、2023.5
- 4) 中村拓郎、三浦之裕、畠山乃：大型土のうによる小規模落石に対する応急対策に関する実験的検討、第68回(2024年度)北海道開発技術研究発表会、安-45、2025.2
- 5) 中村拓郎、山澤文雄、石原寛也、三浦之裕、畠山乃：2段積み大型土のうの落石捕捉性能に関する実験的検討、寒地土木研究所月報、No.870、pp.20-25、2025.6