

仮設落石防護柵に用いられる土のうの緩衝効果

ABSORBING EFFECT OF SAND BAGS USED WITH TEMPORARY ROCKFALL PREVENTING FENCE

阿部和樹*, 池田憲二**, 今野久志***, 岸 徳光****, 川瀬良司*****

Kazuki ABE, Kennji IKEDA, Hisashi KONNO, Norimitsu KISHI and Ryoji KAWASE,

*(株)構研エンジニアリング技師 防災施設部 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目)

**北海道開発土木研究所室長 構造研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

***博(工) 北海道開発土木研究所主任研究員 構造研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

****工博 室蘭工業大学教授 建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

***** (株)構研エンジニアリング部長 防災施設部 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目)

キーワード: 鋼製仮設落石防護柵, 衝撃実験, 土のう, 緩衝効果

(rockfall preventing fence, impact test, sand bag, absorbing effect)

1. はじめに

山岳道路沿いの防災対策工事において, 不安定岩体の除去を行う場合には通常現道の安全対策として組立てが簡易な鋼製仮設落石防護柵(以下, 仮設柵)が設置されている。その緩衝材として大型土のうが用いられている。また, 落石等の災害が発生した場合には, 現道の安全確保を目的として応急的に仮設柵を設置することもある。これらの構造物に対する設計は, 落石対策便覧¹⁾に基づき, 土のうに作用する衝撃力をラメの定数 $\lambda = 1,000 \text{ kN/m}^2$ と仮定して振動便覧式により算定し, 安定計算と各部材の応力照査を行うことによって実施している。しかしながら, 真の土のうの緩衝効果は明らかにされていない。

本研究は, 仮設柵の合理的な設計法を確立することを目的に, 実規模の仮設柵の重錘衝突実験を実施し, 土のうの緩衝効果を明らかとすると共に, 現設計手法の妥当性について検討を行うものである。実験は, 小規模落石に対応でき, かつ規格が統一され道路防災工調査設計要領(案)²⁾にも示されている 2 つのタイプの仮設柵を用いることとした。また, 土のうの積み方による緩衝効果についても検討を行っている。

2. 実験概要

2.1 実験方法

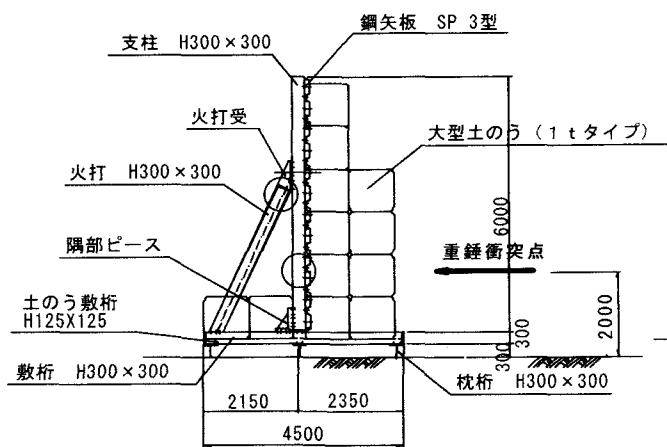
仮設柵は, 一般に良質な地盤上に設置されることを



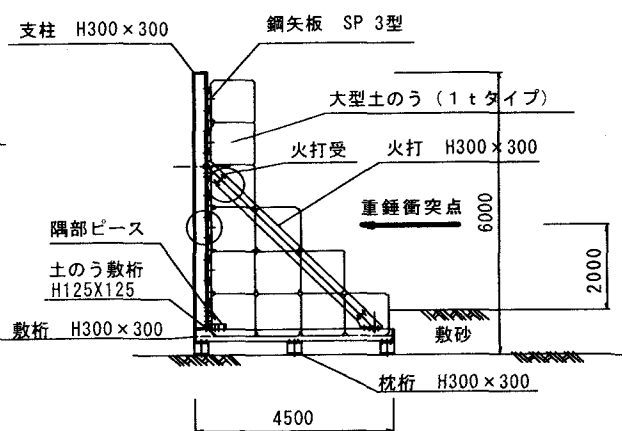
写真-1 実験風景

条件に, 落石衝突時の部材の応力状態および転倒に着目して設計が行われている。したがって, ここでは仮設柵をコンクリート基礎上に設置し, アングル材で滑動を制御することとし, 衝突エネルギーがすべて土のうによる吸収エネルギー, 仮設柵の変形エネルギーおよび転倒エネルギーに変換されるように配慮した。H 鋼は SS400, 矢板は SY295 である。

衝突体である重錘は, 高さ 97 cm, 直径 1 m の円柱状で, 底部の高さ 17.5 cm 部が球状で, 質量が 2,000 kg の鋼製である。衝撃荷重は, 門型フレームに吊り下げられた重錘をトラッククレーンで所定の高さまで吊り上げ, 着脱装置による振り子運動によって作用させることとした。緩衝工には, 前述のように直径 1.1 m, 高さ 1.0 m の大型土のう(化学繊維製の袋に土を入れたもの)を用いている。土のうは重錘衝突によって袋



(a) タイプ A 仮設落石防護柵形状



(b) タイプ B 仮設落石防護柵形状

図－1 鋼製仮設落石防護柵形状

(図中○印は部材応力検討箇所)

が破損することから、実験毎に新しいものを用いることとした。実験は仮設柵の主要鋼材が弾性範囲内で行うこととし、重錘速度を最大 10.4 m/s とした。計測項目は、歪ゲージ型加速度計による重錘加速度、歪ゲージによる各部位の歪である。写真－1 には、実験風景を示している。

2.2 実験ケース

表－1 に実験ケースを示す。各実験ケースは、構造形式 (A : タイプ A, B : タイプ B)、土のうの積み方 (S : 直積み, C : 千鳥積み)、衝突速度 V (m/s) をハイフンで結び表している。重錘衝突位置は、落石の跳躍量から地盤面より 2.0 m の点とした。仮設柵の延長は、6.0 m である。また、載荷方法は、単一載荷である。

図－1 には、本実験で採用した仮設柵の形状のタイプ A、タイプ B を示している。また、図中に応力の検討位置を示している。タイプ A は道路からのクリアランスが比較的大きい場合に採用することが多く、タイプ B はタイプ A に比べ道路からのクリアランスが小さい場合に採用されている。

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力波形

図－2 には、A-S-V10.4、A-C-V10.4、B-S-V9.9、B-C-V9.9 の重錘衝撃力波形 (2.5 msec 矩形移動平均処理後の波形) を示している。なお、重錘衝撃力は重錘加速度に重錘重量を乗じて評価している。

衝撃力波形の分布性状は、いずれの場合も土のうへの衝突直後に急激に立ち上がり緩やかに減少している。

表－1 実験ケース一覧

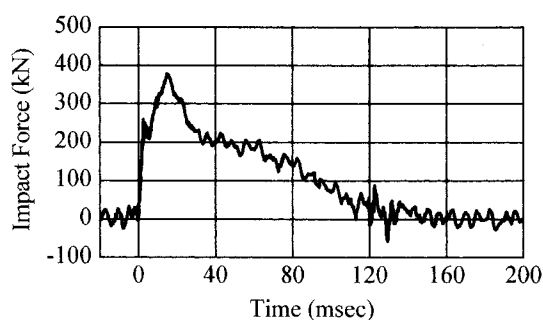
実験ケース	構造形式	土のう積み	衝突速度 (m/s)
A-S-V8.3	タイプ A	直積み	8.3
A-S-V9.4			9.4
A-S-V10.4			10.4
A-C-V10.4		千鳥積み	10.4
B-S-V8.9	タイプ B	直積み	8.9
B-S-V9.6			9.6
B-S-V9.9			9.9
B-C-V9.9		千鳥積み	9.9

継続時間は、120 msec ～ 200 msec 程度である。

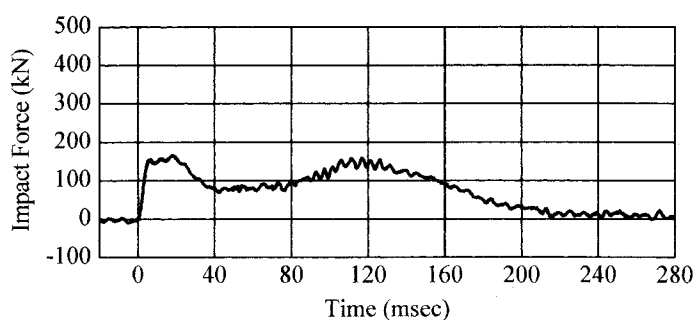
土のうの積み方による最大衝撃力を比較すると、タイプ A の A-S-V10.4 と A-C-V10.4 の場合は、いずれの場合も 400 kN 程度の値を示している。また、タイプ B の B-S-V9.9 と B-C-V9.9 を比較すると、B-C-V9.9 の最大衝撃力は 300 kN 程度の値を示しているが、B-S-V9.9 では 200 kN 程度であり、土のうの積み方によって緩衝効果に明確な差のないことが分かる。

3.2 最大重錘衝撃力と衝突速度の関係

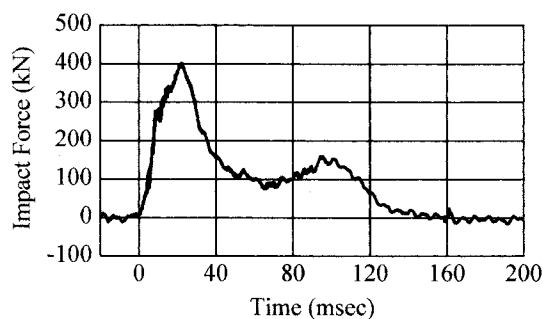
図－3 には、タイプ A とタイプ B の最大衝撃力と衝突速度の関係を設計計算結果と比較して示している。タイプ A の場合には、実験値は計算値のほぼ 1/2 程度であることが分かる。また、タイプ B の場合には、実験値は計算値の 1/2 ～ 1/6 の範囲に分散分布している。タイプ A とタイプ B を比較すると、タイプ B は 4%



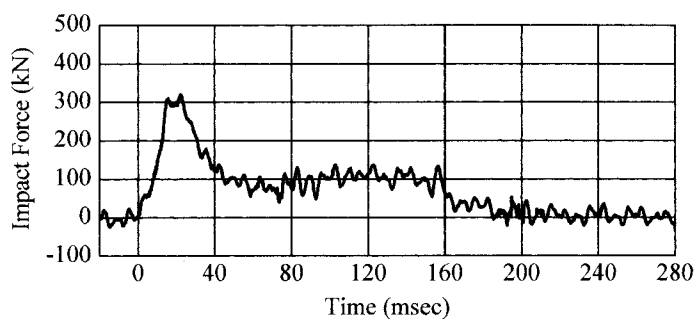
(a) A-S-V-10.4



(b) B-S-V-9.9



(c) A-C-V-10.4



(d) B-C-V-9.9

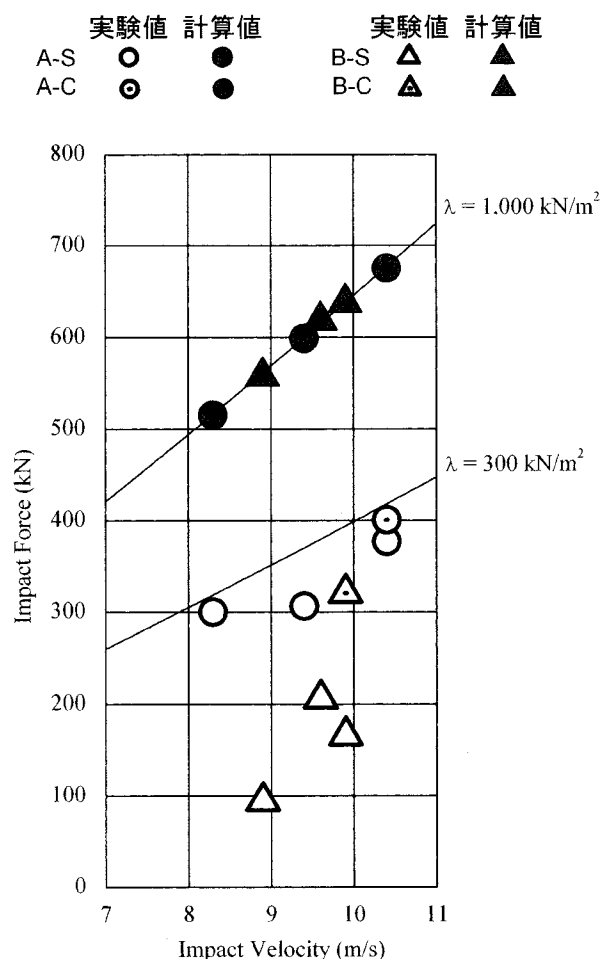
図－4 重錘衝撃力波形

～ 50 % 程度小さな値を示している。このことから、衝撃力に関しては、現行の仮設柵は設計計算よりも 2 倍程度の安全余裕度を有していることが明らかとなった。また、土のうの緩衝効果を重錘衝撃力の値を用いて考察すると、現設計法ではラーメの定数 $\lambda = 1,000 \text{ kN/m}^2$ とする落石対策便覧式で評価している。しかしながら、本実験結果より、最大でもラーメの定数を $\lambda = 300 \text{ kN/m}^2$ として評価可能であることが分かる。

3.3 最大部材応力

表－2 には、各部材応力に関して実験結果と計算結果を比較して示している。タイプ A の場合に注目すると、支柱の曲げ応力に関する実験結果は計算結果の 9 % ～ 12 % 程度、火打ちの軸応力に関しては 18 % ～ 21 % 程度、矢板の曲げ応力は 10 % ～ 13 % 程度であることが分かる。また、設計計算時の許容応力度に対しては、支柱曲げ応力が 9 % ～ 14 % 程度、火打ちの軸応力が 2 % ～ 3 % 程度、矢板の曲げ応力が 20 % ～ 27 % 程度を示しており、実験結果は許容応力度に対しても十分安全側に推移していることが分かる。タイプ B の場合に対する各部材応力もタイプ A の場合と類似の傾向を示していることが分かる。

また、タイプ A とタイプ B を比較すると、応力はタイプ B が全ての部材で大きな値を示している。また、各部材で比較すると、許容応力度に対してはタイプを



図－3 最大衝撃力と衝突速度の関係

表－２ 各部材の応力状態

測定部材	支柱		火打ち		矢板	
応力種類	曲げ応力 (N/mm ²)		軸応力 (N/mm ²)		曲げ応力 (N/mm ²)	
実験ケース	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値
タイプ A						
A-S-V8.3	22	167	4	-19	52	433
A-S-V9.4	19	195	4	-22	53	504
A-S-V10.4	28	220	6	-25	72	568
A-C-V10.4	27	220	5	-25	52	379
許容応力度	210		-165		265	
タイプ B						
B-S-V8.9	24	182	8	21	60	469
B-S-V9.6	37	202	13	23	89	520
B-S-V9.9	42	208	15	24	99	536
B-C-V9.9	34	208	15	24	66	358
許容応力度	210		210		265	

問わず火打ちの軸応力が小さな値を示しているのに対し、矢板の曲げ応力は他の部材より大きな値を示している。特にタイプ A のケース A-S-V10.4、A-C-V10.4、タイプ B のケース B-S-V9.9、B-C-V9.9 の場合に、設計計算上の応力が許容応力度の約 1.5 ～ 2 倍と示されている。しかしながら、実験結果の応力は、許容応力度の 1/4 ～ 1/3 と極めて小さな値を示し、十分安全側であることが分かる。

全体的には、実験結果は許容応力度の最大 37 % 程度であることから、応力的には許容応力度に対して 3 倍程度の安全余裕度のあることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、鋼製仮設落石防護柵（仮設柵）の合理的な耐衝撃設計法を確立することを目的として、実規模の仮設柵を用いた重錘衝突実験を実施した。また仮設柵に用いられる土のうの緩衝性能に関する検討も実験結果と設計計算結果と比較する形で行っている。本研究で得られた結果を要約すると、以下のように示される。

- (1) 大型土のうの積み方による、最大重錘衝撃力への影響は小さい。
- (2) 大型土のうは緩衝性能が高く、現行設計結果に対して 2 倍程度の緩衝性能を有している。
- (3) ここでは 2 つのタイプの仮設柵に関する検討を行っているが、現行設計法に基づいた仮設柵は、応力的には許容応力度に対して 3 倍程度の安全余裕度を有している。
- (4) 土のうを用いる場合の最大衝撃力は、ラーメの定数を $\lambda = 300 \text{ kN/m}^2$ 程度とする振動便覧式で評価可能である。

参考文献

- 1) 落石対策便覧：(社)日本道路協会，平成 12 年 6 月
- 2) 道路防災工設計要領(案)落石対策編：北海道開発局建設部道路建設課監修，(社)北海道開発技術センター発行，平成 13 年 3 月