

鋼製仮設落石防護柵の重錘衝突実験による耐衝撃性検討

Impacting test for rock-fall prevention fence

(株)構研エンジニアリング	○正員	嶋倉 一路(Kazumichi Shimakura)
室蘭工業大学	正員	岸 徳光(Norimitsu Kishi)
北海道開発土木研究所	正員	今野 久志(Hisashi Konno)
室蘭工業大学	正員	岡田 慎哉(Shinya Okada)
(株)構研エンジニアリング	正員	川瀬 良司(Ryoji Kawase)

1. はじめに

山岳道路沿いの、防災対策工事として不安定岩体の除去を行う場合、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）を設置することが多い。また、落石等の災害などが発生した場合、応急的に現道の安全確保を目的として仮設柵を設置することもある。しかし、現状の設計は落石対策便覧¹⁾に基づき、振動便覧の推定式よりラーメ定数 $\lambda=1,000\text{kN/m}^2$ と仮定して衝撃力を算定し、安定計算と各部材の応力照査を行っているが、落石を受けた場合の仮設柵の耐衝撃性は明らかとなっていない。

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行い、耐衝撃性を明らかとすると共に、現設計手法の妥当性を確認するものである。仮設柵の形状は、小規模落石に対応でき、最も汎用的で規格が統一されている、道路防災工調査設計要領（案）²⁾に示されている2つのタイプについて検討を行うこととする。また、衝突面の緩衝材として設置されている大型土のうの積み方による緩衝効果についても検証している。

実験時の測定項目は、重錘衝撃力波形および各部材の歪である。

2. 実験概要

2.1 実験方法

仮設柵は、一般的に良質な地盤上に設置されること、設計は落石衝突時の部材の応力状態および転倒に着目していることから、ここでは、仮設柵をコンクリート基礎上に設置し、アングルで滑動を制御することで、衝突体の衝突エネルギーがすべて構造物の変形エネルギーと転倒エネルギーになるよう配慮し、安全側の評価を可能とした。H鋼はSS400、矢板はSY295である。

衝突体である重錘は、直径1mの円形状で、高さ97cm、底部の高さ17.5cm部が球状で、質量が2,000kg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。緩衝工に大型土のう（袋に土を入れた材料）直径1.1m、高さ1.0mを用いている。土のうは衝撃実験を行うと袋が破断することから、各衝撃実験後大型土のうを積み替えた。また、衝突速度は仮設柵の主要鋼材における設計上の弾性範囲内で行った。計測項目は、



写真-1 実験風景

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	構造型式	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

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に実験風景を示す。

2.2 実験ケース

表-1に実験ケースを示す。実験ケースは、構造形式（タイプA：A，タイプB：B）、土のうの積み方（直積み：S，千鳥積み：C）、衝突速度V（m/s）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2.0mの点とした。仮設柵の延長は、設計方法を考慮し6.0mとした。また、載荷方法は、単一載荷である。

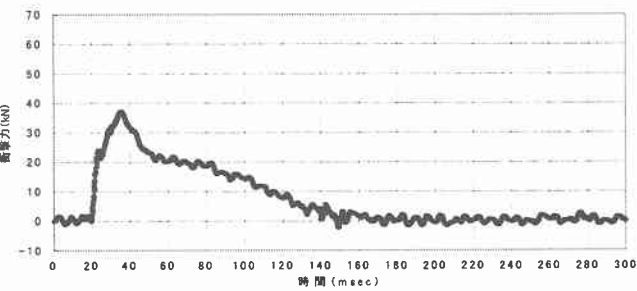
図-1に仮設柵の形状のタイプA，タイプBを示している。また、図中に応力の検討位置を示している。タイプAは、比較的道路からクリアランスが大きい場合に採用することが多く、タイプBは、タイプAに比べ道路からのクリアランスが小さい場合に採用している。

が安定計算上は不利な構造と考えられている。

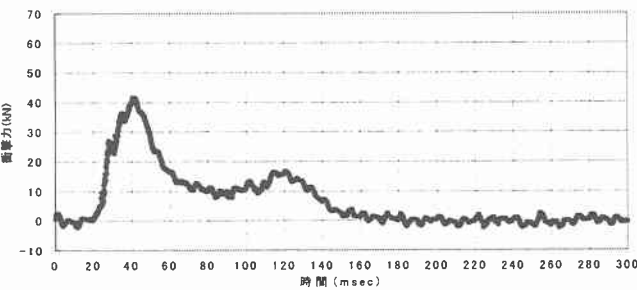
3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力波形

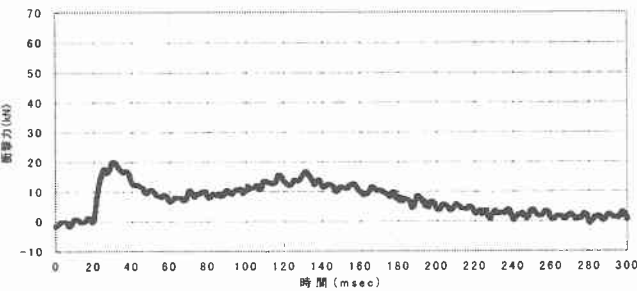
図-2 には、A-S-V10.4, A-C-V10.4, B-S-V9.9, B-C-V9.9 の重錘衝撃力波形を示す。ただし、重錘衝撃力波形は、2.5msec 矩形移動平均の処理を施したものである。また、重錘衝撃力は重錘加速度に重錘重量を乗じて評価している。



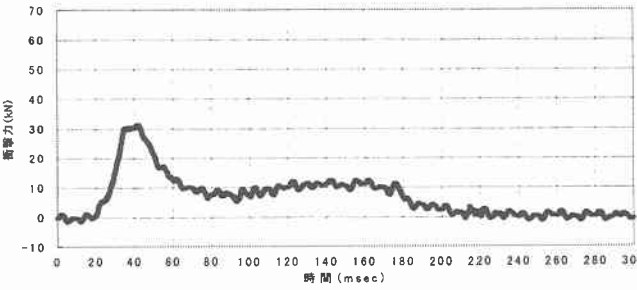
A-S-V10.4



A-C-V10.4

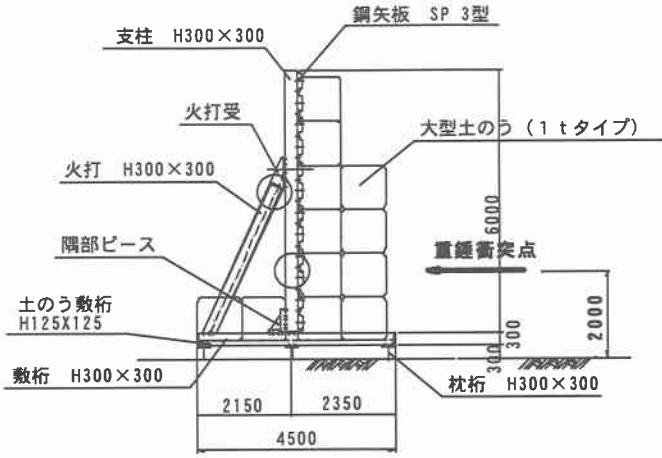


B-S-V9.9

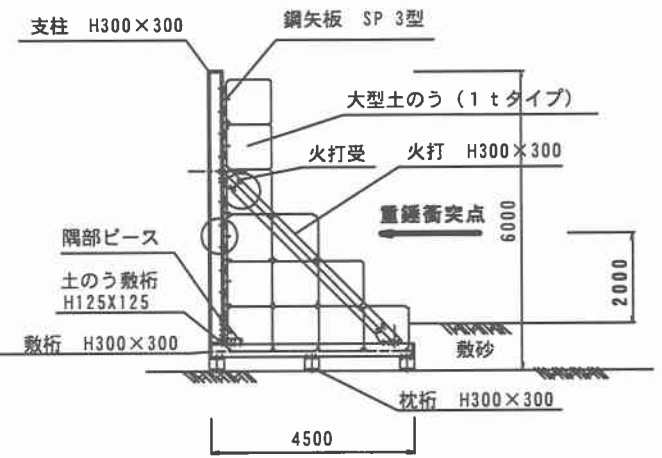


B-C-V9.9

図 - 2 重錘衝撃力波形



(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)

衝撃力波形の形状は、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。本文の継続時間は、120msec～180msec 程度である。最大衝撃力は、タイプ A の A-S-V10.4 と A-C-V10.4 を比較するといずれの場合も 40kN 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 は最大衝撃力が 30kN 程度の値を示しているが、B-S-V9.9 では 20kN 程度である。これより、直積みの場合が緩衝性に優れているものと判断される。

3.2 最大重錘衝撃力と衝突速度の関係

図-3にタイプAとタイプBの最大衝撃力と衝突速度の関係を示す。図中には、設計計算結果も示している。タイプAの場合は、実験値が計算値の1/16～1/18程度であることがわかる。また、タイプBの場合には、実験値が計算値の1/20～1/30程度である。タイプAとタイプBを比較すると4%～20%程度タイプBが小さな値を示している。以上のことから、1)土のうは非常に大きな緩衝性能を有していること、2)現行の仮設柵は設計計算よりも衝撃力に関して15倍程度以上の安全余裕度を有していることが明らかとなった。

3.3 各部材の応力状態

表-2に各部材の応力状態の一覧をタイプ別に整理し示した。表中には比較のために実験値の歪から算定した応力と設計計算から求まる応力や許容応力度も示している。応力の検証する部材および検証する応力の種類は、支柱の曲げ応力、火打ちの軸応力、矢板の曲げ応力であり、各実験ケースについて求めている。

タイプAの場合には、支柱の曲げ応力の実験値が計算値の9%～12%程度、火打ちの軸応力は18%～21%程度、矢板の曲げ応力は10%～13%程度であることがわかる。また、許容応力度と実験値を比較すると支柱曲げ応力が9%～14%程度であり、火打ちの軸応力は2%～3%程度、矢板の曲げ応力が20%～27%程度であり、許容応力度に対しても十分な安全余裕度が確保されていることがわかる。

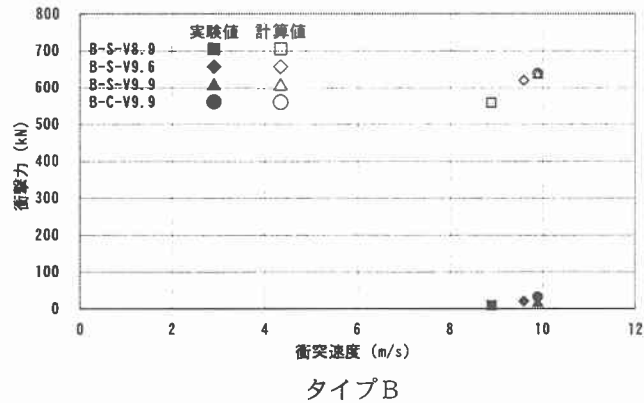
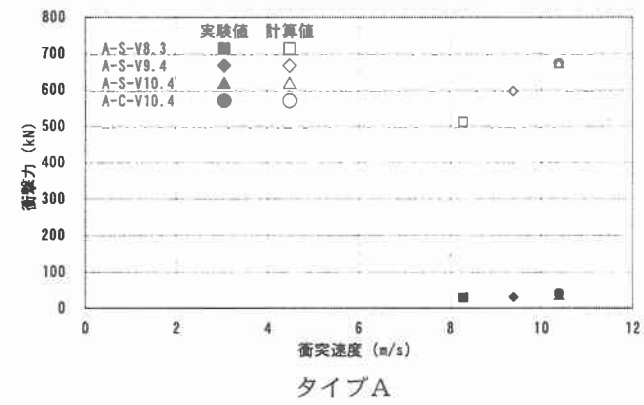


図-3 最大衝撃力と衝突速度の関係

表-2 各部材の応力状態の一覧

タイプA

(N/mm²)

測定部材	実験ケース	A-S-V8.3		A-S-V9.4		A-S-V10.4		A-C-V10.4		許容値
	応力種類	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	
支柱	曲げ応力	21	179	19	208	29	234	26	234	210
火打ち	軸応力	-4	-19	-4	-22	-5	-25	-5	-25	-165
矢板	曲げ応力	52	433	52	504	72	568	54	379	265

タイプB

(N/mm²)

測定部材	実験ケース	B-S-V8.9		B-S-V9.6		B-S-V9.9		B-C-V9.9		許容値
	応力種類	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	
支柱	曲げ応力	24	196	36	217	41	224	34	224	210
火打ち	軸応力	8	21	13	23	15	24	15	24	210
矢板	曲げ応力	59	469	90	520	99	536	66	358	265

タイプ B の場合には、支柱の曲げ応力の実験値が計算値の 12%～18%程度、火打ちの軸応力が 38%～63%で、矢板の曲げ応力が 13%～18%程度であることがわかる。また、許容応力度と実験値を比較すると、支柱の曲げ応力が 11%～20%程度、火打ちの軸応力は 4%～7%程度、矢板の曲げ応力が 22%～37%程度であり、タイプ A 同様の安全余裕度が確保されていることがわかる。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、許容応力に対し、火打ちの軸応力が小さな値を示しているのに対し、矢板の曲げ応力が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 の矢板では、設計計算上の応力は許容応力度のそれぞれ約 1.5 倍～2 倍であるが、実験で測定された応力は、それぞれ許容応力度の 1/4～1/3 と極めて小さい。全体的に見ると許容応力に対して実験値が最大 37%であることから、応力に関して 2.7 倍程度の安全余裕度があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、鋼製仮設落石防護柵の耐衝撃性を検討するために、2 つのタイプについて重錘衝突実験を行い、実験値と設計値と比較することで耐衝撃性を明らかにするとともに、現行設計法と比較検討を行った。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り、重錘衝撃力は変化しない
- (2) 大型土のうのは緩衝性能が高くラーム定数 $\lambda = 1,000 \text{ kN/m}^2$ と仮定した衝撃力の 1/15 である。
- (3) 部材応力的には許容応力に対して衝撃力に換算すると 2.7 倍の安全余裕度を有している。

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