

二層緩衝構造を用いた杭付落石防護擁壁の重錘衝突実験

Impact Test of RC Wall with Two-layered Absorbing System Including Pile Foundation

(独) 寒地土木研究所
(独) 寒地土木研究所
国土交通省北海道開発局
(株) 構研エンジニアリング
室蘭工業大学

○正 員
正 員
非会員
正 員
フェロー

今野 久志 (Hisashi Konno)
西 弘明 (Hiroaki Nishi)
岩田 一夫 (Kazuo Iwata)
刈田 圭一 (Keiichi Karita)
岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

我が国の海岸線道路沿いには、落石に対する道路防災施設として、落石防護擁壁が数多く設置されている。現在、落石防護擁壁の設計は落石対策便覧¹⁾に基づき、擁壁を弾性地盤に支持された剛体と仮定し、落石の衝突によって擁壁に伝達される運動エネルギーと基礎地盤の弾性応答エネルギーが等価となる水平変位および回転が許容されるものとして設計されている。従って、一般的に直接基礎による無筋コンクリート製の重力式擁壁が用いられている。また、擁壁は一般に良質な支持層に根入れされていることが条件となっていることから、支持力が十分に期待できない基礎地盤の場合には、支持力が期待できる地盤まで掘削し、良質な材料と置き換える工法等が多く用いられている。しかしながら、擁壁背面と落石発生源である斜面との距離が短い場合には、置き換え基礎の施工に伴い、その斜面法尻を掘削しなければならず、斜面崩壊を誘発する危険性が懸念される。

これらのことから、本研究では斜面法尻の掘削を最小限に出来る新たな工法として、図-1に示すように基礎杭を擁壁内まで立ち上げ、フーチングを設けず土留壁勾配を垂直として基礎杭頭部を鉄筋コンクリート構造で結合する杭付落石防護擁壁を提案した。さらに、落石衝撃力の分散・緩衝による壁体の損傷防止や杭基礎の規模を最小限にすることを目的として、筆者らが開発した二層緩衝構造²⁾を併用する工法について検討を行っている。

本論文では、二層緩衝構造を併用した杭付落石防護擁壁の耐衝撃挙動を把握することを目的に実施した実規模重錘衝突実験の結果について報告するものである。

2. 実規模重錘衝突実験の概要

2. 1 試験体

図-2には、実験に使用した杭付落石防護擁壁の形状寸法を、図-3には擁壁本体および二層緩衝構造用 RC 版の配筋状況を示している。実験に使用した擁壁の形状寸法は、高さを $H = 2.0\text{ m}$ 、壁厚を $B = 0.8\text{ m}$ とし、擁壁延長は $L = 4.0\text{ m}$ 、 2.0 m の 2 種類とした。また、二層緩衝構造の構成は、表層材を 15 cm 厚の RC 版、裏層材を 50 cm 厚の EPS 材としている。杭の根入れ深さは、擁壁本体に 1.8 m 、上層の置き換え地盤（砂質土、 N 値 2 程度）に 3.0 m 、下層地盤（原地盤、 N 値 5 程度）に 5.7 m とした。また、鋼管杭の擁壁本体根入れ部分には、杭上端から 400 mm まで中詰めコンクリートを施している。表-1、2には、実験時における各材料の物性値一覧を示している。

2. 2 実験方法

写真-1には、実験状況を示している。実験は、門型フレームに吊り下げられた鋼製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 RC 版の所定の位置に水平衝突させることにより行っている。実験に使用した重錘は、質量 $5,000\text{ kg}$ 、直径 1.0 m の円柱状であり、衝突部が半径 80 cm の球面状となっている。重錘衝突位置は、擁壁の高さを H として設計上で規定されている最も厳しい高さである $0.9H$ とし、衝突位置は壁体中央としている。実験における測定項目は、重錘に埋設されているひずみゲージ型加速度計による重錘加速度、レーザー式変位計による擁壁の変位、杭に貼付したひずみゲージによる杭基礎のひずみである。

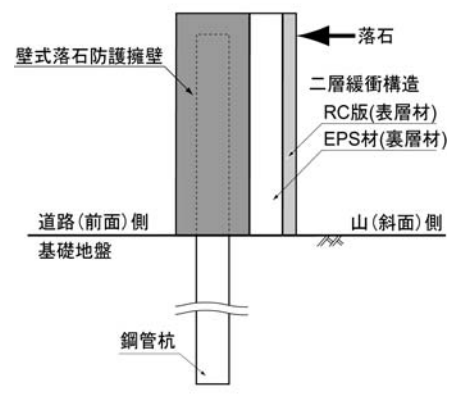


図-1 杭付落石防護擁壁の概略図

表-1 コンクリートの力学的特性値

材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比 ν
19	30.0	25	0.167

表-2 鋼材の力学的特性値

材料	材質	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比 ν
鉄筋	SD345	380.0	206	0.3
鋼管杭	SKK400	293.0		

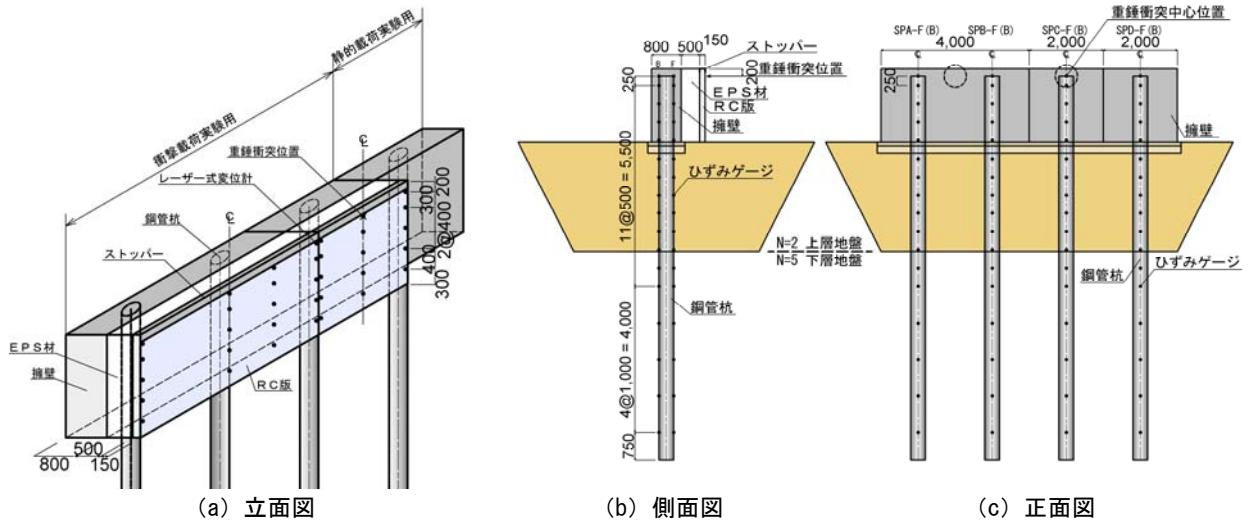


図-2 杭付落石防護擁壁の形状寸法

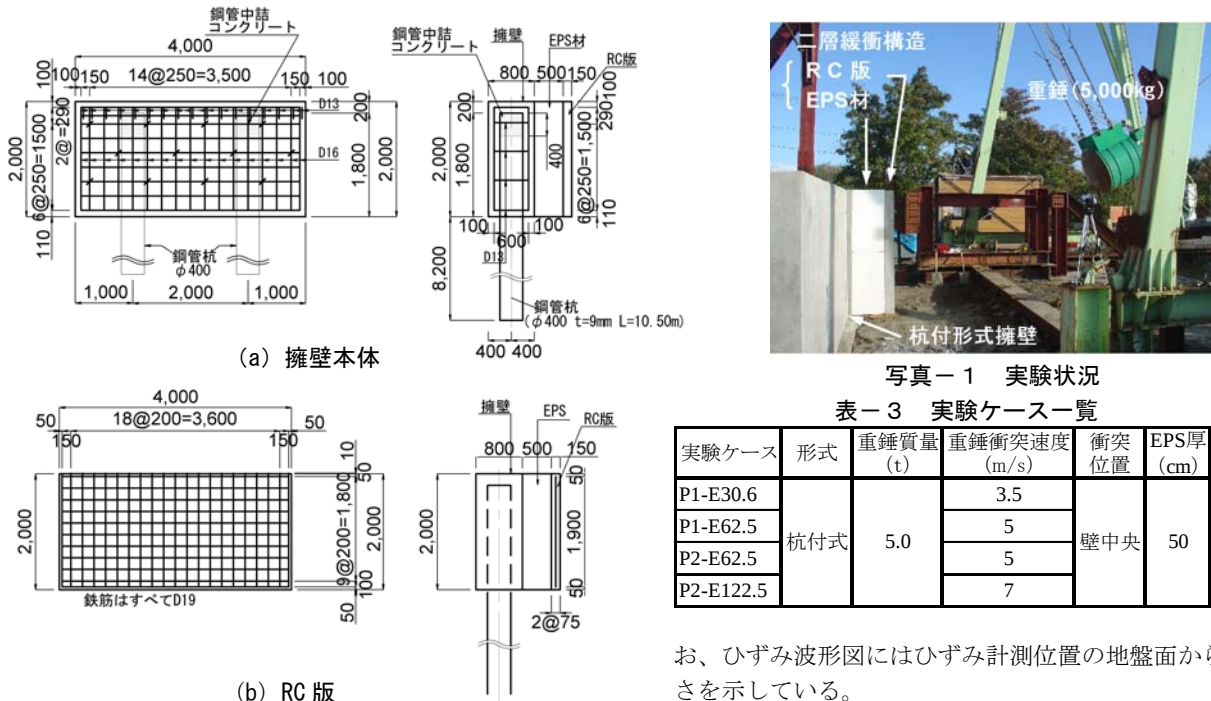


図-3 構造配筋図

2. 3 実験ケース

実験ケースは、表-3に示す全4ケースである。表中の実験ケース名は、杭本数(P1:杭1本、P2:杭2本)と重錘衝突エネルギー(kJ)をハイフンで結んで表している。なお、各実験ケースにおいて、二層緩衝構造を構成する各部材(EPS材、RC版)は常に未使用材を用いることとした。しかしながら、擁壁本体はいずれの実験においても損傷が確認されないことより、同一の試験体を用いて実験を実施している。

3. 実験結果および考察

3. 1 応答波形

図-4には、各実験ケースに対する重錘衝撃力波形、擁壁の荷点変位波形、杭の最大引張りひずみ発生位置あるいはその近傍におけるひずみ波形を示している。図中、各波形は重錘衝突時点を0msとして整理している。な

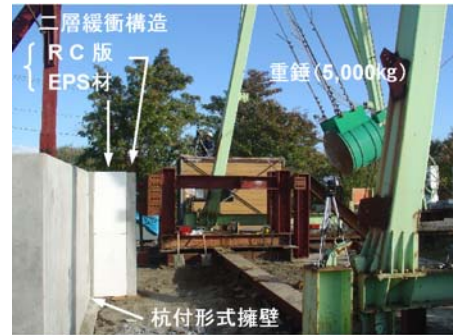


写真-1 実験状況

表-3 実験ケース一覧

実験ケース	形式	重錘質量(t)	重錘衝突速度(m/s)	衝突位置	EPS厚(cm)	RC版厚(cm)
P1-E30.6	杭付式	5.0	3.5	壁中央	50	15
P1-E62.5			5			
P2-E62.5			5			
P2-E122.5			7			

お、ひずみ波形図にはひずみ計測位置の地盤面からの深さを示している。

重錘衝撃力波形は、いずれも電源ノイズと思われる高周波成分が示されているが、ノイズ処理により波形性状が変化する可能性があることから、ここでは原波形の状態で考察を行うこととする。

重錘衝撃力波形は、重錘衝突初期に最大応答値を示し、衝突初期から5～10ms間は高周波成分が卓越し、その後、振幅がほぼ一定の単純な波形性状を示している。衝突初期の高周波成分から成る波形は、重錘が二層緩衝構造の表層RC版に衝突した際に発生したものであり、その後の単純な波形はRC版の損傷によるエネルギー吸収とともにEPS材の塑性変形に伴う緩衝効果によって発生したものと推察される。波動継続時間は、80～100ms程度であり、P1、P2ともに衝突エネルギーに対応して増加することがわかる。

擁壁の荷点変位波形および杭のひずみ波形は、P1、P2いずれも単純な正弦半波状の波形性状を示し、衝突速度の増加とともに波形の継続時間が長くなり、最大応答値も大きくなっていることが分かる。

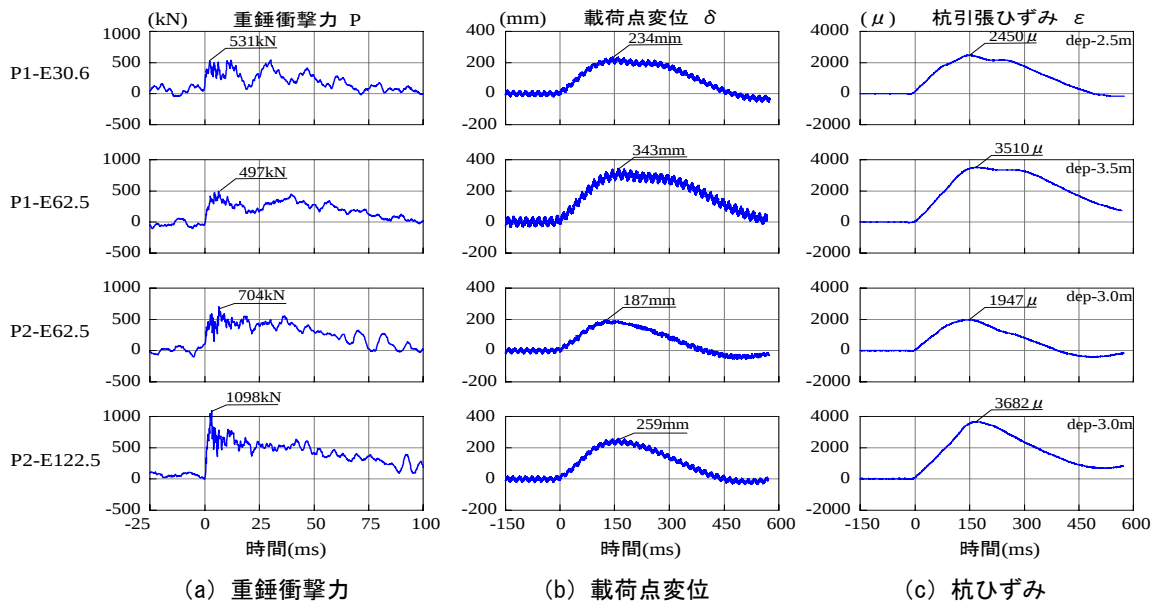


図-4 重錘衝撃力、荷点変位、杭ひずみの応答波形図

3. 2 最大重錘衝撃力

図-5には、本実験における最大重錘衝撃力と二層緩衝構造を設置した既往の重力式擁壁の実験結果³⁾をラーメの定数を $\lambda = 6,000 \text{ kN/m}^2$ とする振動便覧式⁴⁾による算定結果とともに示している。なお、重錘衝突エネルギーは、 $E_w = M_w V^2/2$ より求めている。ここに、 M_w は重錘質量(kg)、 V は重錘の衝突速度(m/s)である。図より、重力式擁壁の場合には衝突エネルギーが $E_w = 50 \text{ kJ}$ 程度までは、振動便覧式による算定値と同程度の値を示しているものの、それ以降の衝突エネルギーでは重錘衝撃力が徐々に減少する傾向が示されている。一方、杭付擁壁の場合には衝突エネルギーが $E_w = 30 \text{ kJ}$ 程度で、算定値と同程度の値を示しているものの、それ以降の衝突エネルギーでは算定値の70%程度の値となっている。これは、杭付擁壁の場合には二層緩衝構造のRC版の損傷によるエネルギー吸収とEPS材の塑性変形に伴う緩衝効果に加えて、杭の変形によるエネルギー吸収効果により、衝突エネルギーの小さい段階から重錘衝撃力の減少が現れていることによるものと考えられる。

3. 3 変位分布およびひずみ分布

図-6(a)、(b)には、P2-E62.5に関するRC擁壁部の変位分布および杭のひずみ分布を示している。なお、図には荷重直後より $t = 600 \text{ ms}$ までの応答値分布を100ms毎に示すとともに、最大応答発生時の分布図を併せて示している。

RC擁壁部の変位分布に着目すると、変位は荷重直後から地盤面より深部位置を中心として擁壁が転倒するような状態で荷点部の変位が増大し、 $t = 154 \text{ ms}$ で最大変位応答を示している。その後、元の位置に復元するように変位が減少し、 $t = 400 \text{ ms}$ 程度で変位がほぼ零となり、さらに荷点側に若干リバウンドした後、ほぼ元の形状に戻っている。

杭のひずみ分布に着目すると、ひずみは原地盤と置き換え土との境界部である深度3m程度の位置を中心として荷重直後から圧縮・引張ともほぼ同程度の値で対称

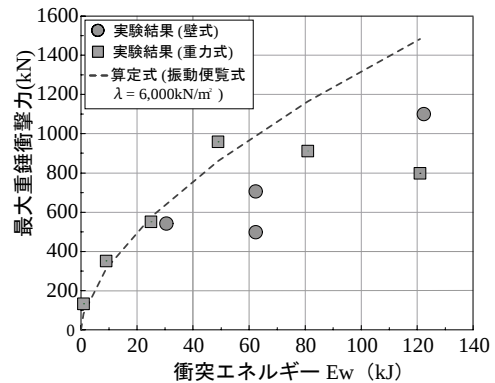


図-5 最大重錘衝撃力と衝突エネルギーの関係

に増加し、最大変位発生時と同時刻で最大応答値に達している。その後、変位分布と同様に時間の経過とともに元の状態に復元した後、リバウンドによりひずみ値が正負反転している。また、杭の下端2mと擁壁内部の2.8mについては杭が固定状態にあるためひずみは殆ど発生していない。

3. 4 最大変位および最大ひずみ

図-7(a)には、擁壁荷点位置および地表面位置における最大変位量を、(b)図には杭に発生する軸方向ひずみの最大値を実験ケース毎に示している。(a)図より、杭本数が等しく重錘衝突エネルギーが異なるP1、P2の各2ケースを比較すると、いずれも重錘衝突エネルギーが約2倍に増加しているのに対して、荷点位置の変位量はそれぞれ47%、38%の増加に留まっている。次に、重錘衝突エネルギーが等しく杭本数の異なるP1-E62.5とP2-E62.5の比較では、杭本数を2倍にすることによって荷点位置の変位量が55%低減されている。また、荷点位置の変位量は杭本数や重錘衝突エネルギーによって異なるものの、地盤面の変位量については4ケースともほぼ同程度の値を示している。これは、この位置が杭の変形モードにおける節に近い位置にあるためと推察される。(b)図は杭の軸方向ひずみの最大値であるが、重

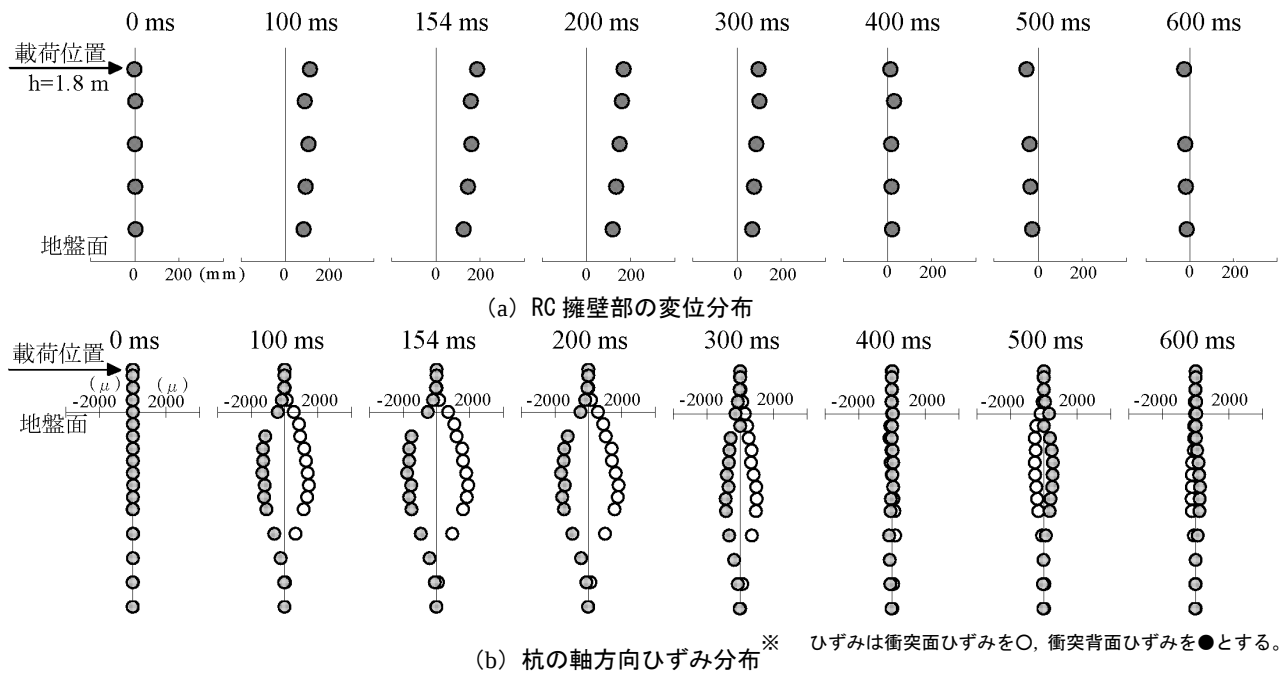


図-6 変位およびひずみ分布図 (P2-E62.5)

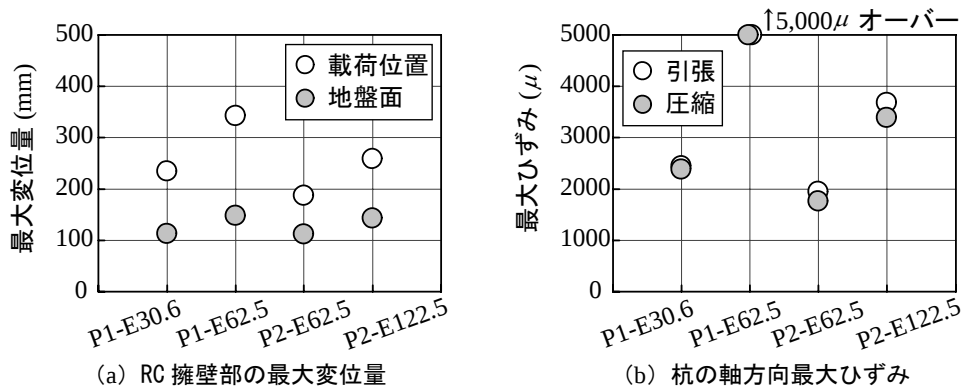


図-7 最大変位量および最大ひずみ

錘衝突エネルギーの増加による軸方向ひずみの増加あるいは杭本数の増加による軸方向ひずみの減少といった最大変位量と同様の傾向が示されている。また、最大ひずみ値より杭の状態を考察すると P1-E30.6 では弾性限度近傍の値を示しているが、P1-E 62.5 では $5,000 \mu \epsilon$ 以上のひずみが発生しており鋼管の一部が塑性化している。次に、P2-E 62.5 では弾性範囲内のひずみ値となっているものの P2-E 122.5 では鋼管の一部が塑性化しているものと考えられる。しかしながら、地表面位置における実験後の残留変位量は最大でも 15 mm 程度であることから、杭付落石防護擁壁は落石エネルギーの吸収性能に優れた工法であることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、新工法として二層緩衝構造を併用した杭付落石防護擁壁構造を提案し、耐衝撃挙動を把握するために、実規模試験体を用いた重錘衝突実験を実施した。その結果より得られた事項を整理すると、以下のように示される。

- (1) 二層緩衝構造を設置した杭付落石防護擁壁に作用する重錘衝撃力は、杭の変形による落石エネルギーの吸

収効果により、ラーメの定数を $\lambda = 6,000 \text{ kN/m}^2$ とする振動便覧式による算定値の 70% 程度の値を示す。

- (2) 二層緩衝構造を設置した杭付落石防護擁壁は、杭の一部が塑性化するような落石エネルギーに対しても残留変位量は小さく、落石エネルギーの吸収性能に優れた工法であることが明らかとなった。

今後は、詳細な衝撃応答解析を実施するとともに、杭付落石防護擁壁の合理的な設計手法確立に向けた検討を進める予定である。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：落石対策便覧、2000.6
- 2) 岸 徳光、川瀬良司ら：二層緩衝構造を用いた落石防護擁壁の重錘衝突実験と数値解析的検討、構造工学論文集、Vol.48A、pp.1567-1578、2002.3
- 3) 岸 徳光、川瀬良司、今野久志、岡田慎哉：落石防護擁壁用途二層緩衝構造の伝達衝撃力算定式の定式化、構造工学論文集、Vol.49A、pp.1289-1298、2003.3
- 4) 土木学会：土木技術者のための振動便覧、第2版 (昭和60年)、pp.514-520