

環境共生型土砂災害防御システムの開発

斜面災害に対するソフト対策～ハード対策の意志決定支援ツール

実験結果速報版

落石防護工実大規模衝撃実験 1 -2005年11月-



斜面災害のない安全安心な社会へ……



落石・急傾斜地崩壊・土石流から
人命と財産を守る環境共生型防護工の設計施工法



岐阜大学工学部地盤工学八嶋沢田研究室
国土交通省建設技術研究開発費補助金 助成

斜面災害のない安全安心な社会へ……

環境共生型土砂災害防御システムの開発

斜面災害に対するソフト対策～ハード対策の意志決定支援ツール

減らない危険斜面と減る対策費
(岐阜県内の要対策箇所数)

1882箇所(平成8年) → 1733箇所(平成15年)

平成11年 年間延べ交通規制回数500回 (全国県平均60回)

ソフト的ツール

- ・迅速で効率的な斜面形状把握
- ・最新技術による斜面安定度評価
- ・落石&土砂流動シミュレーション技術

ハード的ツール

- ・間伐材による落石防護工
- ・鋳鉄パネルを用いた落石防護工
- ・補強土防護工

岐阜大学・(株)岡本・(株)プロテックエンジニアリング



1968

飛騨川バス転落事故

斜面災害のない安全安心な社会へ……

環境共生型土砂災害防御システムの開発

斜面災害に対するソフト対策～ハード対策の意志決定支援ツール

調査の効率化手法
安定度評価手法
災害範囲予測システム

落石・急傾斜地崩壊・土石流から
人命と財産を守る

環境共生型防護工の設計施工法

環境共生型土砂災害防御システムの構成

調査

写真測量技術を用いた斜面形状簡易取得技術
高精度レーザープロファイラーによる斜面形状高精度取得技術

スクリーニング

簡易岩盤斜面安定度評価技術
詳細岩盤斜面安定度評価技術

ソフト対策

適正なハード対策のためのツール

落石シミュレーション技術
土砂流動シミュレーション技術

対策工の設計(ハード面の充実)

間伐材を用いた落石防護工
ダクティル鑄鉄パネル枠と自然石を用いた落石防護工
補強土防護工

ハード対策

土砂災害軽減のための意思決定支援システム

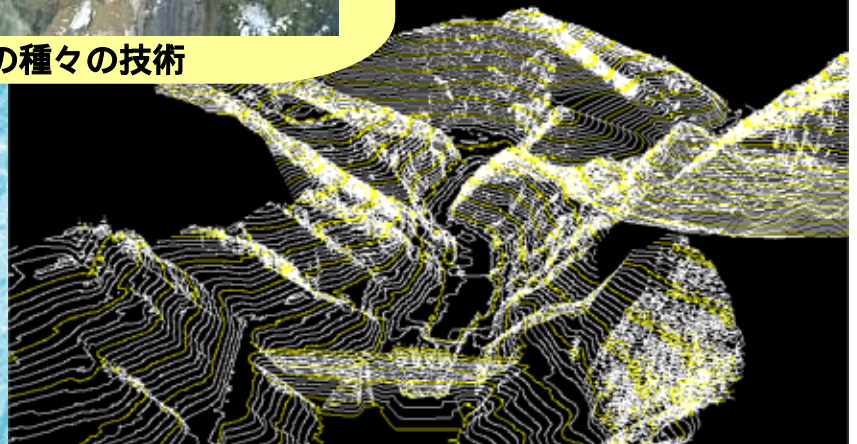
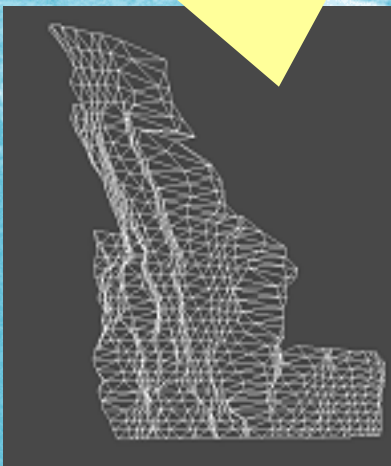
迅速で効率的な斜面形状把握 : ソフト対策1

写真測量技術を用いた斜面形状簡易取得



ステレオ画像取得の種々の技術

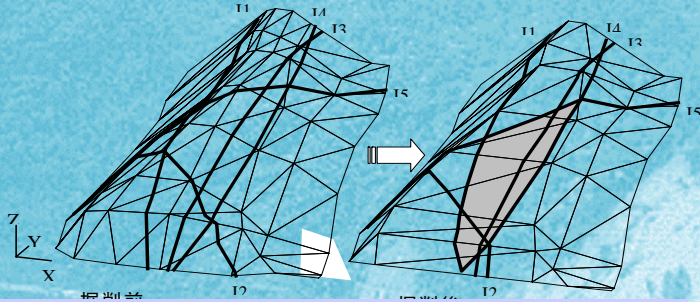
レーザープロファイラー
による高精度斜面形状取得



斜面安定度評価での効率的な利用

最新技術による斜面安定度評価 : ソフト対策2

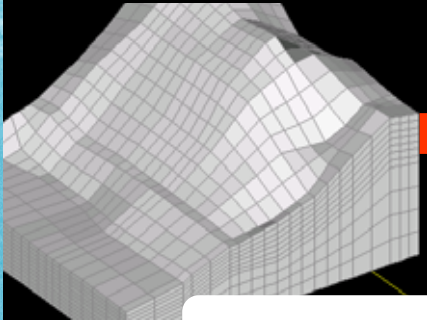
簡易岩盤斜面安定度評価技術



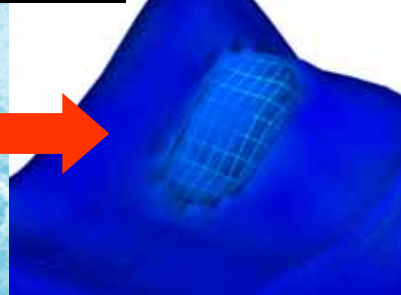
- ・簡易安定度評価
- ・斜面の危険度ランク付け
- ・危険斜面の詳細高精度評価
- ・スクリーニングによる統計処理
- ・対策意志決定のGISデータベース

不安定な岩塊とそのボリュームを自動的に抽出

詳細岩盤斜面安定度評価技術



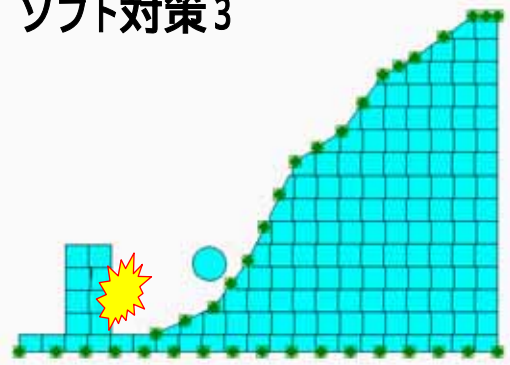
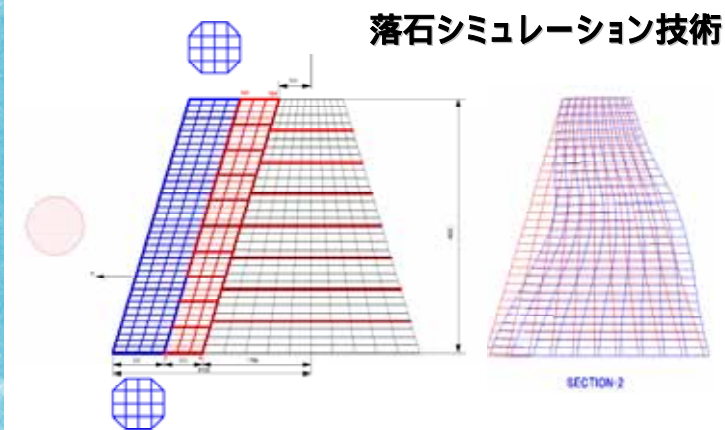
高精度解析手法による崩壊規模の予測



土砂災害軽減のための意思決定支援に寄与

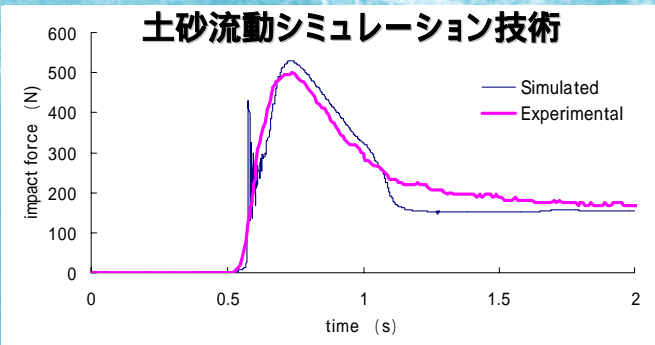
落石 & 土砂流動シミュレーション技術 : ソフト対策3

落石シミュレーション技術



- ・衝撃力の予測
- ・流動範囲の予測

土砂流動シミュレーション技術



落石・土砂流動防護工の設計の効率化のために



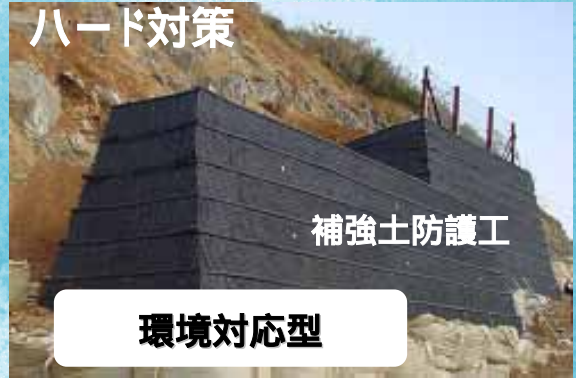
環境共生型防護工の効率的設計

ハード対策



間伐材を用いた落石防護工

間伐材の利用



補強土防護工

環境対応型

- ・現地発生土の利用
- ・高い衝撃吸収能
- ・環境共生型
- ・恒久構造物としての安定度

発送の転換



ダクタイル鋳鉄パネル砕を用いた落石防護工

高エネルギー吸収

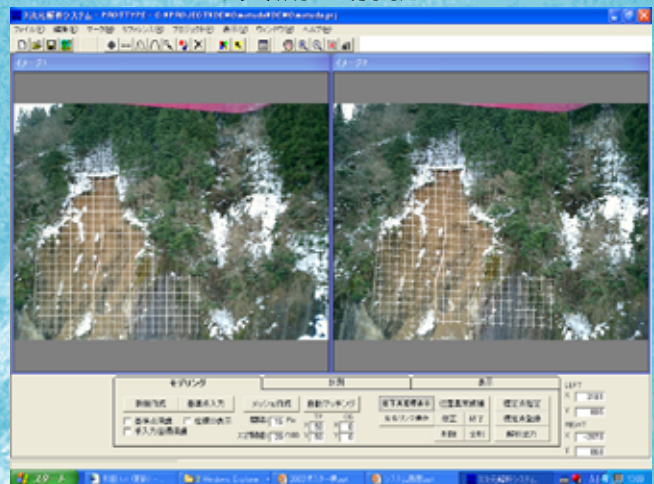


平成8年6月特急ひだ号の落石による脱線

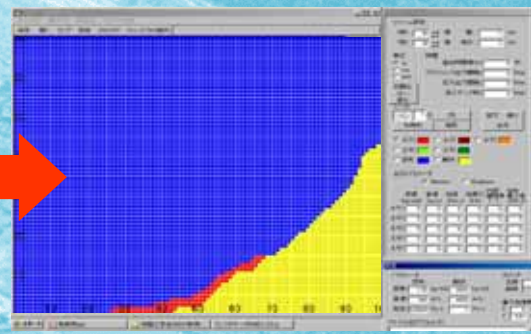
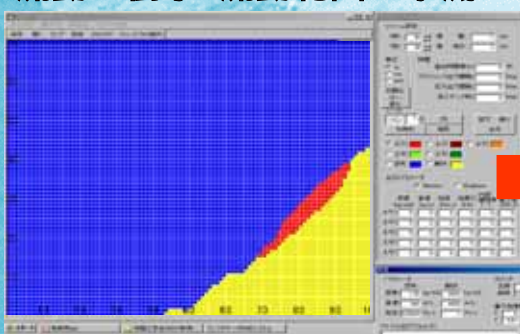
ユーザーフレンドリーなソフトウェアの開発

写真測量解析ソフト

- ・最先端技術を簡単な操作で
- ・視覚的な情報把握



土砂流動の衝撃・流動範囲の予測



システム完成までの研究推進体制

岐阜大学 : 3名
 (株)岡本 : 2名
 (株)プロテックエンジニアリング : 3名

全体とりまとめ : 岐阜大学

岐阜大学

調査・スクリーニング・意志決定支援の研究・技術開発

(株)岡本 & (株)プロテックエンジニアリング

環境共生型防護工の研究および設計・施工法の確立

システム完成までの研究計画

	平成17年度	平成18年度
ソフト対策 要素技術は確立済み 利便性のための カスタマイズ化が中心	各種プログラムのカスタマイズ化 防災意思決定支援ツールの開発	試験運用 研究とりまとめ
ハード対策 一部防護工の性能評価は検証済み 衝撃の分散メカニズムに関する詳細実験や数値解析、設計・施工マニュアルの作成	各種実験による詳細な性能評価 数値解析による衝撃伝播形態の把握	設計・施工法マニュアルの作成 研究とりまとめ

2005年10月

岐阜大学工学部社会基盤工学科八嶋・沢田研究室

落石防護工実大規模衝撃実験のご案内

仲秋の候、ますます御健勝のこととお慶び申し上げます。日頃は大変お世話になっております。このたび国土交通省建設技術研究開発助成により、「**環境共生型土砂災害防御システムの開発**」を目途として、下記公開実験を実施することになりました。つきましては、みなさまにご視察頂き、ご意見等いただければ幸いに存じます。

主催：岐阜大学工学部社会基盤工学科八嶋・沢田研究室

実験協力組織：社団法人下呂建設業協会 / 株式会社岡本 / 株式会社プロテックエンジニアリング / 前田工織株式会社

実験実施予定日：平成17年11月4日 午後12:30～15:00（雨天順延）

実験実施場所：岐阜東部改良土センター 各務原市那加桐野町5丁目6番地
末尾の地図を参照ください

1. 実験目的

本実験では、落石などの衝突による落石防護壁（堤防型補強土防護壁、ダクティル鋳鉄製パネル枠（鋳田籠） 間伐材製枠（沐沐ブロック））の変形特性・衝撃吸収特性・耐久性について観察および計測を行う。得られた実験データの分析および数値解析を経て、各構造体の設計法および破損箇所の修復方法の確立を目的とする。

2. 対象とする落石防護壁の形態

：堤防型補強土防護壁

<http://www.proteng.co.jp/dike/index.html>

：ダクティル鋳鉄製パネル枠（鋳田籠）と地盤材料（砕石）による防護壁

<http://www.nbk-okamoto.co.jp/seihin/chutaru/chuta010.htm>

：間伐材製枠（沐沐ブロック）と地盤材料（砕石）による防護壁

<http://www.crcr.pref.gifu.jp/kibanken/kenkyu/H15seika/04kanbatubrok-2.pdf>

：コンクリート擁壁

コンクリート擁壁については、他の工法との比較のために実験を行う。



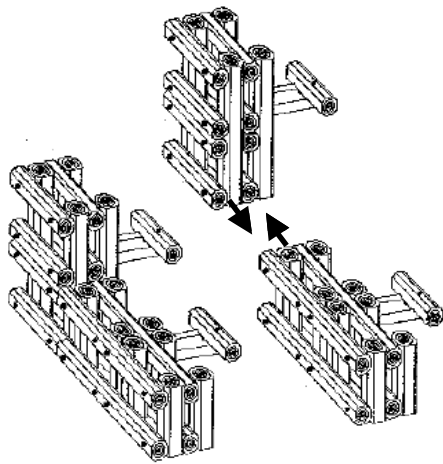
堤防型補強土防護壁

ジオシンセティクスと壁面材により堤防形状を成形し、内容物として現地発生土を充填し、土の特性を利用して、落石や土砂崩壊のエネルギーを分散させながら受け止める。



ダクティル鋳鉄製パネル枠（鋳田籠）

ダクティル鋳鉄製のメッシュ状パネルを組み合わせることによりカゴを成形し、その内容物として現地発生土を充填する。充填土にはぐり石が適しており、この場合よりよい排水機能が見込まれる。



間伐材製枠（沐沐ブロック）

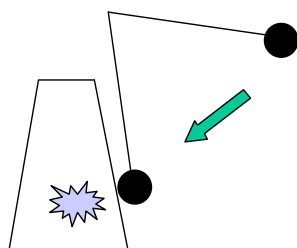
間伐材を利用した柵工として開発された。小規模の落石防護工としての性能が期待できる。

上記 および のいずれの工法も、現地発生土を使用することにより環境負荷が少ない。植生なども期待でき、また施工に大規模な重機を必要としない。実験では、落石衝突時の衝撃吸収能および防護工の破損状況と破損時の補修方法の確立に重点をおく。

3 . 衝撃荷重載荷方法

振り子方式により重錐を所定の高さから振り子を利用して衝突させる。

重錐重量：約 10kN 重錐落下高さ：10m 想定エネルギー：100KJ

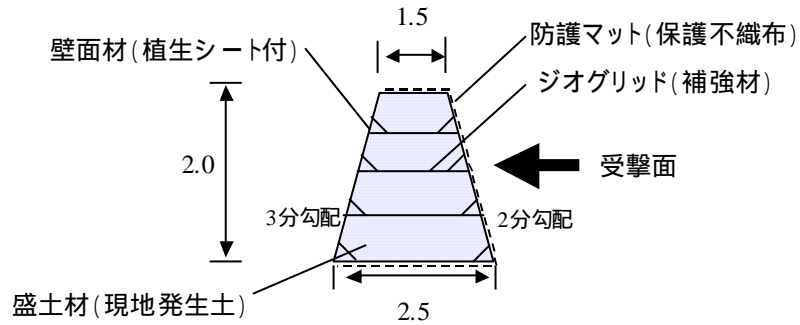


衝撃載荷方法イメージ

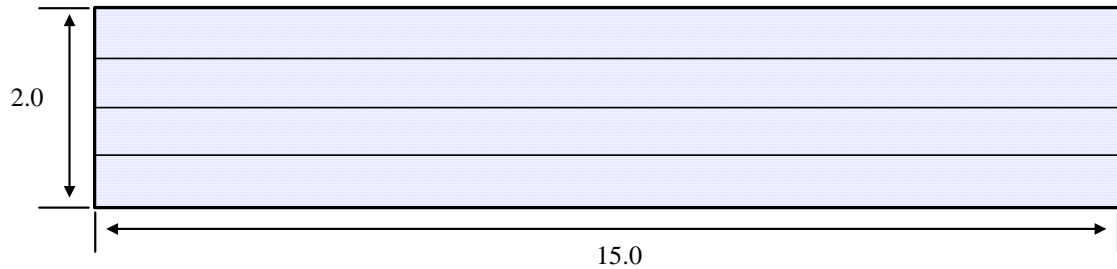
4. 構造体概略図および寸法

堤防型補強土防護壁

側面図

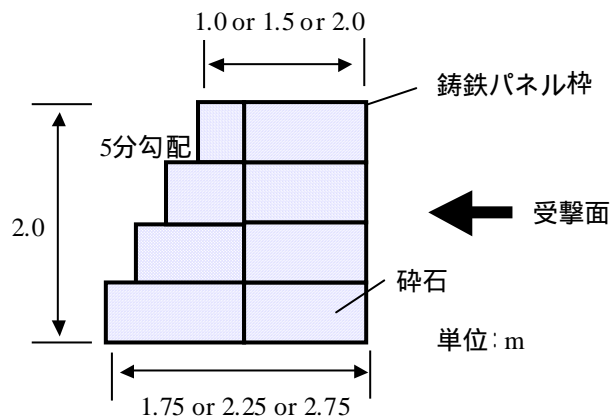


正面図

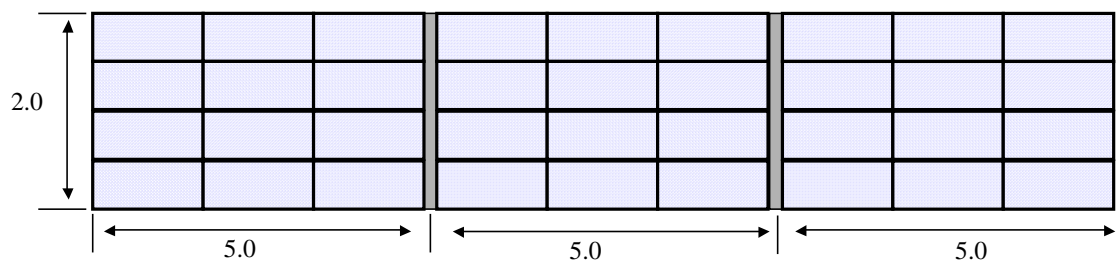


ダクティル鑄鉄製パネル枠 (鑄田籠) と地盤材料 (ぐり石) による防護壁

側面図

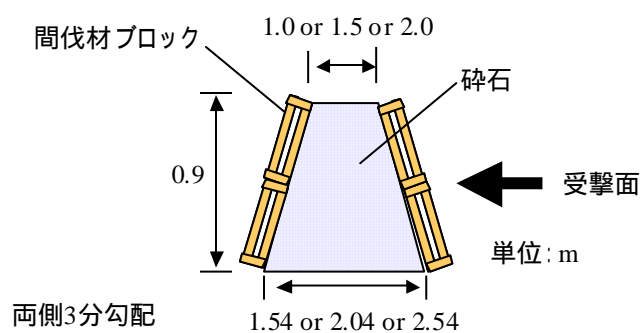


正面図

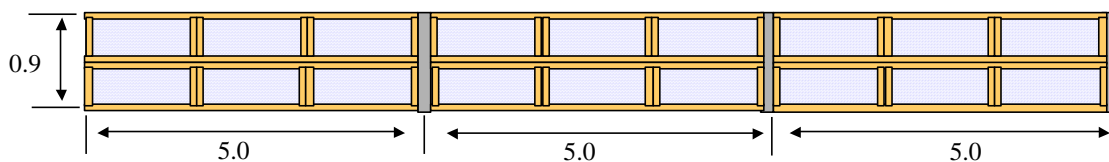


間伐材製枠（沫沫ブロック）と地盤材料（碎石）による防護壁

側面図

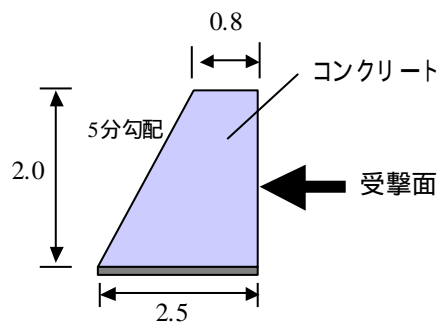


正面図

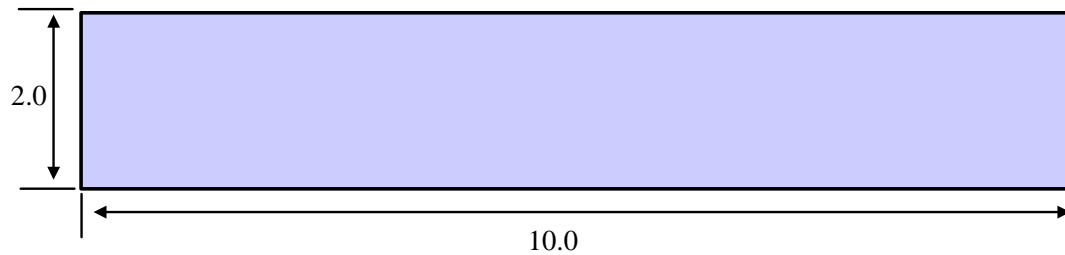


コンクリート擁壁

側面図



正面図



5 . 実験スケジュール

- 12:00 ~ 12:30 見学者受付開始
- 12:30 ~ 13:00 主催者挨拶および各構造体の説明
- 13:00 ~ 15:00 ~ 実験 破壊形態の確認
- 15:00 ~ 解散

各工法に1回ずつ以上の衝撃試験を行う予定ですが、時間の都合上、変更になる場合がありますので御了承ください。

お問い合わせ等

沢田和秀

岐阜大学 八嶋研究室

電話 / FAX 058-293-2422

E-mail : sawada@cc.gifu-u.ac.jp

**落石防護対策の落石調査・設計方法
および工法選定に関する実態調査について
(速報版)**

平成 17 年 11 月

**岐阜大学工学部社会基盤工学科
地圏マネジメント工学講座（八嶋研究室）**

本資料は、落石防護対策に関する実態調査について、本年 8 月に実施したアンケートを集計し考察を加え速報版としてまとめたものです。詳細なデータおよび資料は、近日当研究室のホームページに公開する予定ですので、是非とも御覧ください。

ホームページアドレス <http://www.cive.gifu-u.ac.jp/>

1. 調査概要

調査項目は、現状の落石の調査・設計方法とその問題点を把握できるように 4 項目を設定した。

- (1) 落石危険箇所の判別方法：防護対策必要箇所と優先順位の判断基準を調査
- (2) 設計落石条件の設定方法：対象岩塊の特定と落石エネルギーの算定方法を調査
- (3) 落石防護工法の選定方法：対策工法の選定方法を調査
- (4) 落石防護工法の採用実績調査：これまでの工法採用実績を調査

2. 調査対象機関

調査の対象とする機関は、落石対策について多くの実績を有する機関を発注官庁および建設コンサルタントを北海道から沖縄県まで承知する範囲において抽出した。

調査数 240 機関に対して 117 機関からの回答を得た。回答率は 49%である。

3. アンケート結果の概要

ここでは、アンケート結果の概要をまとめたものを示し、アンケート内容と集計の抜粋は次項に掲載する。

(1) 落石危険箇所調査と判別方法

落石危険箇所調査については、「道路防災総点検要領(平成 8 年建設省)」と「落石対策便覧(平成 12 年日本道路協会)」に準拠して照査している機関が大多数である。

落石危険箇所調査方法について、半数以上が問題があるとしており、その中で判定方法に客観性がないという意見が半数を占める。その他の意見の中でも、調査方法やシステムに主観が入る余地があることや調査者の力量に影響されるなどの調査結果への信頼性を問題としているものが多い。客観的な調査結果を得ることは困難なことであるが、調査方法のシステム整備と調査者の技術力の向上が重要であると思われる。

落石対策工法を必要とする判断基準は、落石危険箇所調査の結果と最近の落石履歴により判断するというものが大半となった。この結果は、半数以上が問題があったとした落石危険箇所調査結果を判断基準としているということになり、問題がありながらこれ以外に参考とするものがないという現状があらわれている。

落石対策工を設置する際の優先順位を調査したところ、最も優先されるのが最近の落石履歴という結果となった。緊急度という点で優先されるものと思われるが、僅差で落石危険箇所調査の結果を優先している。落石危険箇所調査結果と落石履歴を総合的に判断し、履歴箇所については早急に何らかの措置を施しているというのが実態のようである。

(2) 落石防護工法の設計条件の設定方法

落石防護工の設計に関する参考図書は、落石対策便覧がもっとも一般的に利用されている。

また、参考図書は、道路、鉄道、治山などの監督官庁により適用基準が異なることから使い分けとなることわかる。

設計条件の対象とする岩塊が特定困難な場合にどのように行っているかという問いに対し、最大の落石履歴を想定するものが多く、対策工法の性能に設計条件を合わせるとい回答もかなり多かった。対象の落石の設定は、防護工の設計上きわめて重要な要素であることから、特定が困難な場合でも様々な情報から必ず推定して設計を行っているようである。ただし、近傍の対策工法と同様な条件としているというものも相当数見られる。

落石落下高さについては、特定が困難という状況では40mを上限値として設定することが一般的に行われていると判断できる。落石跳躍量の設定は、2mとしているものが半数以上であり、それ以外では30%程度がシミュレーションによって算出している。

落石エネルギーは、70%以上が換算落下高さにより算出しており、落石シミュレーションによる算出は20%程度に留まっている。落石衝撃力は、落石便覧の振動便覧式で算出されるのが75%となり、この算出式が一般的に適用されていることわかる。

(3) 落石防護工法の選定方法

工法選定に際して参考とする基準は、落石対策便覧と道路土工が大半である。工法選定において困った点としては、工法選定基準が未整備、工法の妥当性が判断できないと維持管理を考慮していないがほぼ同数を示しており、維持管理の問題、工法の性能と落石条件の適合性、工法を組合せて適用した際の評価方法など工法選定時における様々な問題がみられる。

落石対策工法の選定は、斜面状況や用地など地形的問題と経済性からというコスト的問題の2つが予防工ではなく防護工となる大きな要因である。その他に雪崩防護の併用というものや管理者区域により選定されるという意見もある。

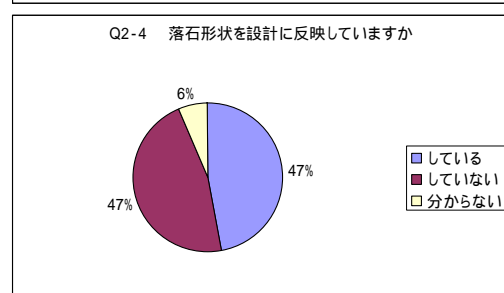
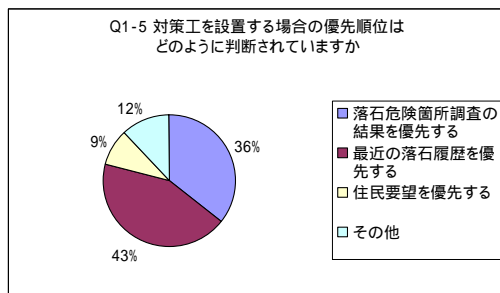
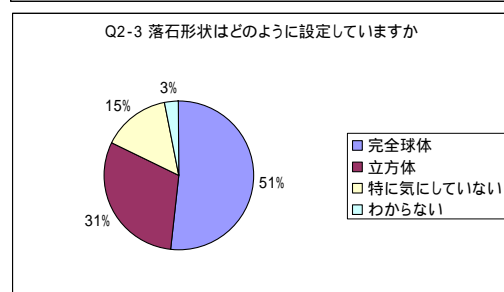
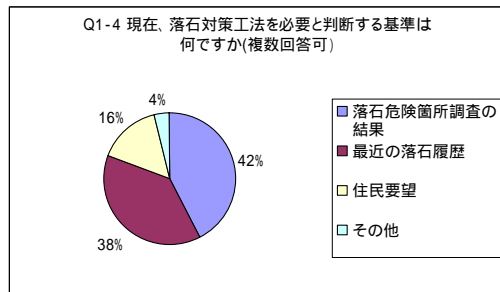
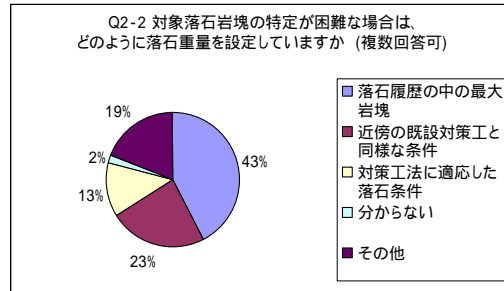
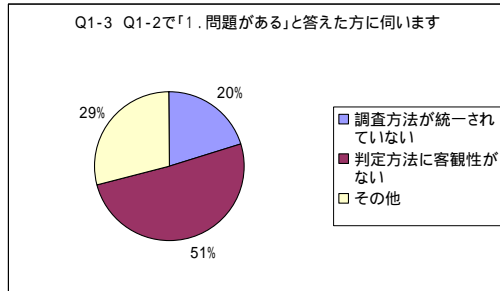
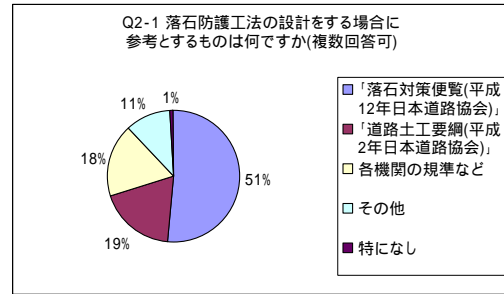
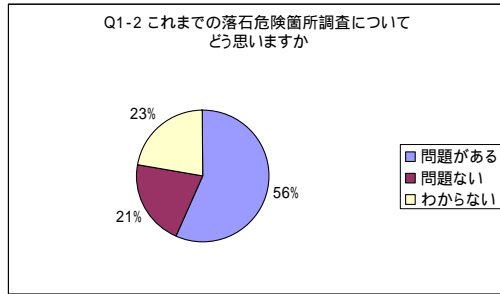
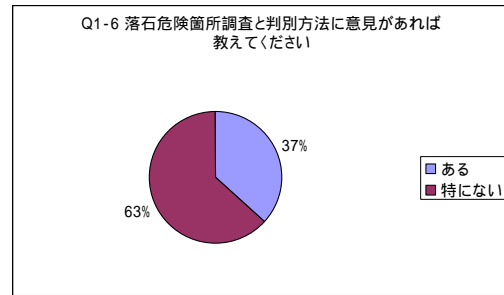
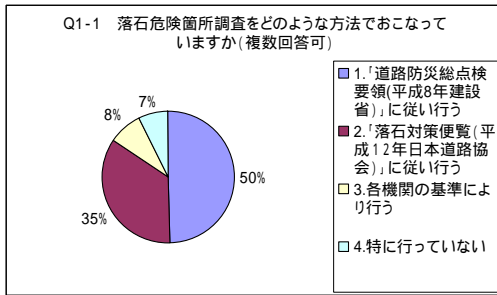
落石対策工法の実施状況では、予算上で分割施工を余儀なくされ、応急措置や優先順位をつけて着手するなどの対応で行われているところや、必ず必要予算を確保して行うところなど実施方法は異なる。

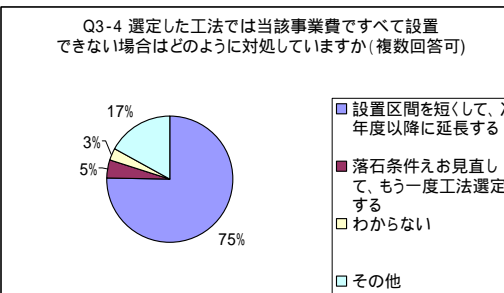
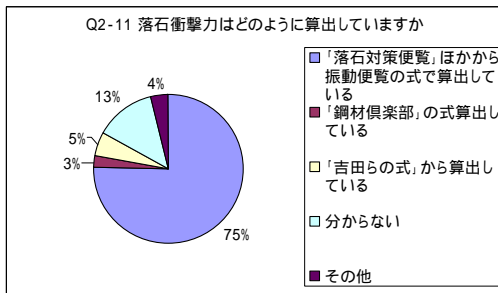
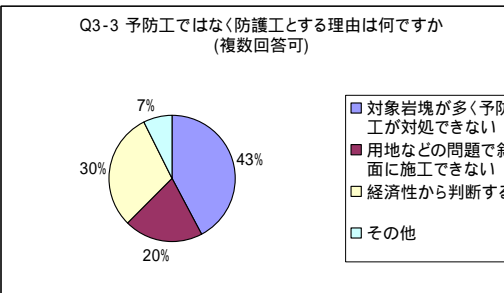
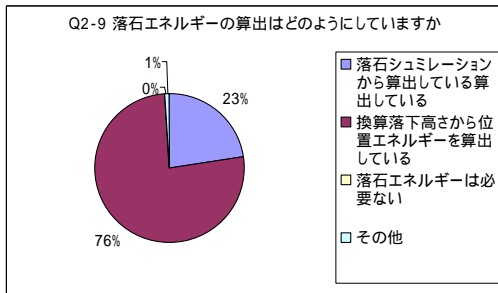
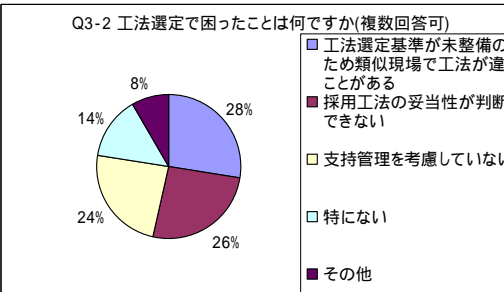
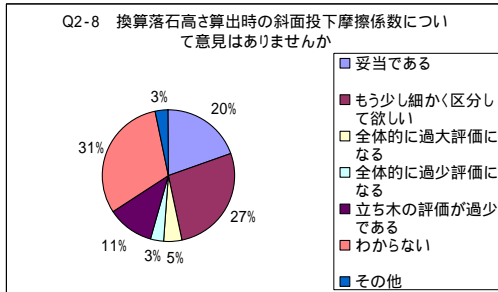
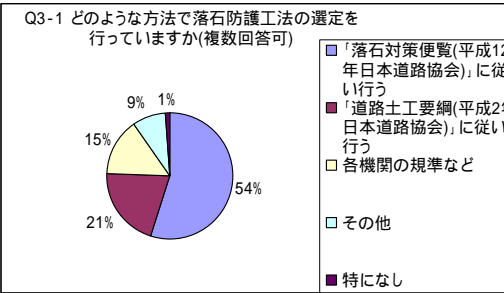
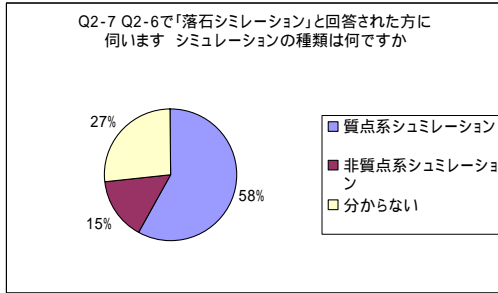
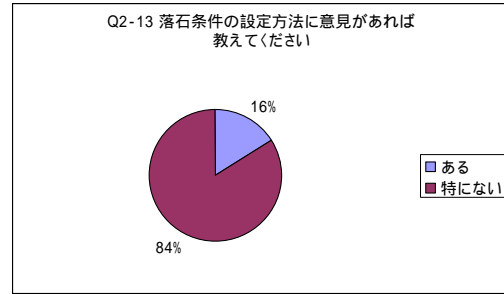
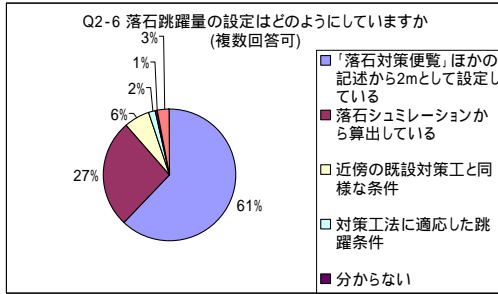
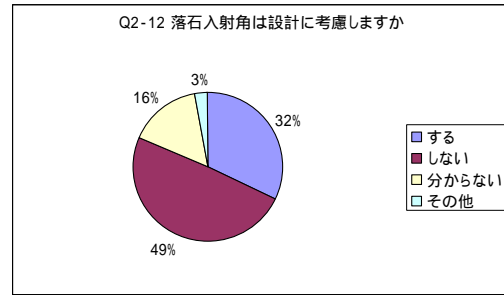
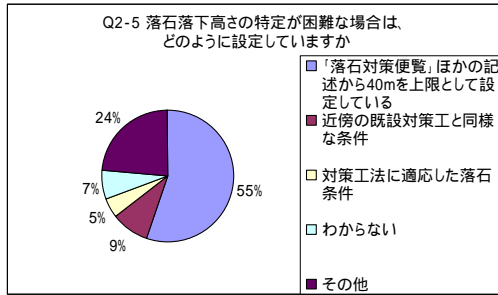
新工法の採用については、を採用しない理由としては、性能が信用できない30%、選定時に情報が無い29%、検査で指摘されるので敬遠21%となっている。逆に新工法を採用できる理由には、経済性で有利な場合37%、施工性が良好な場合28%、性能で有利な場合29%でこの3点が主な理由である。落石防護工法も社会的傾向である経済性、コスト削減が最重要課題であることは今回の調査でも十分伺える。ただし、防災工法という観点からみると経済性の追求がその目的とすべて合致するものか否かは難しいところであるように思われる。また、不採用理由として、新工法は高価であることや特許の問題、工法指定になり地元業者で施工できないというような意見もあった。

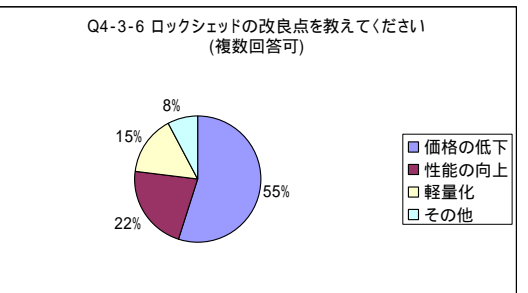
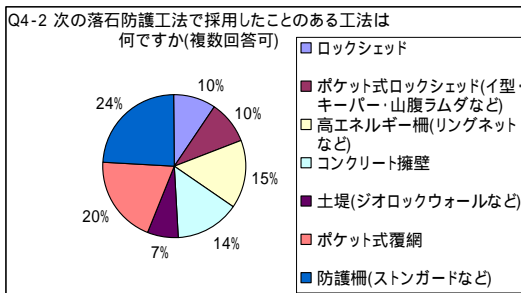
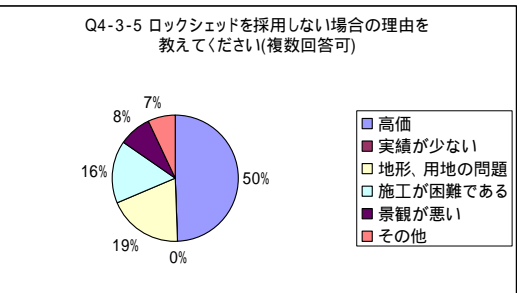
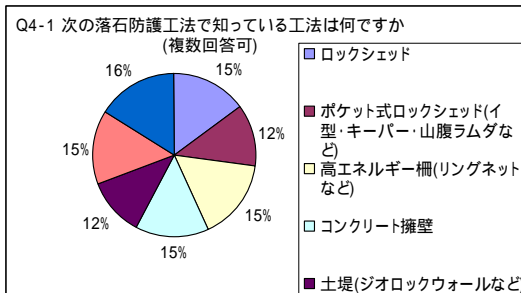
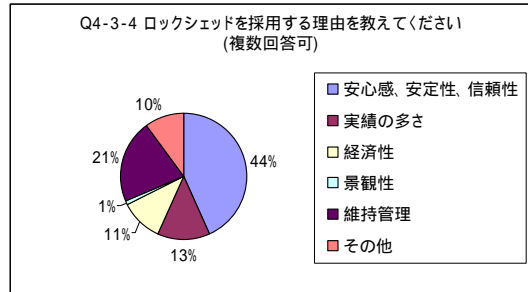
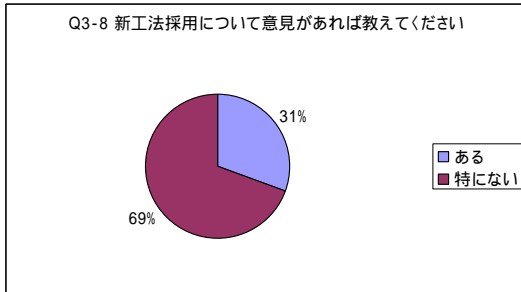
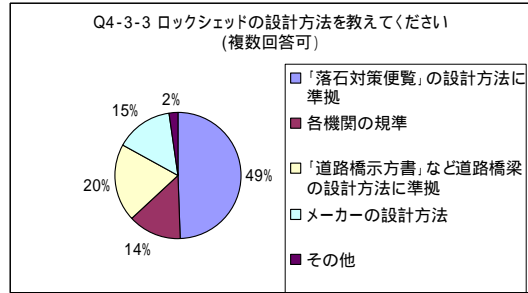
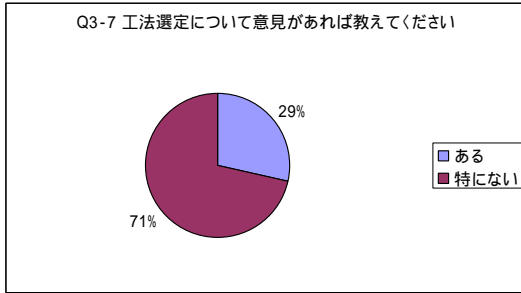
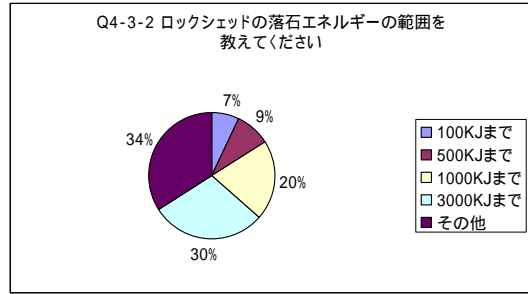
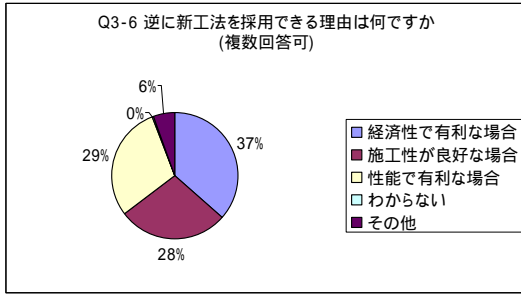
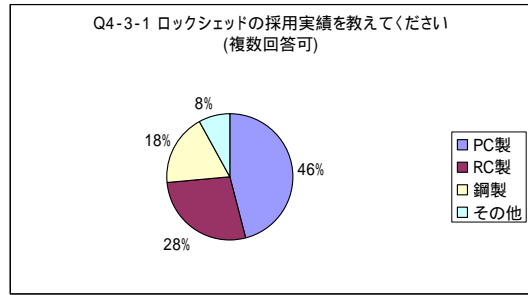
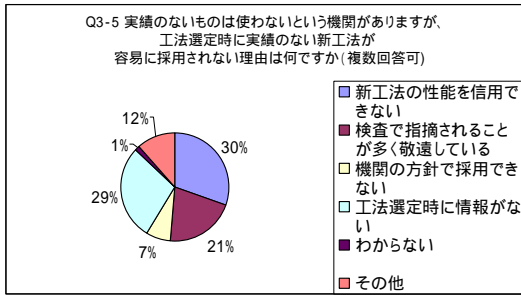
(4) 落石防護工法の採用実績調査

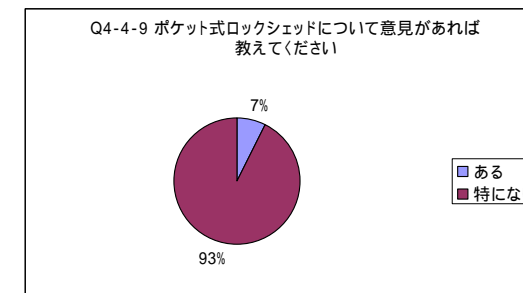
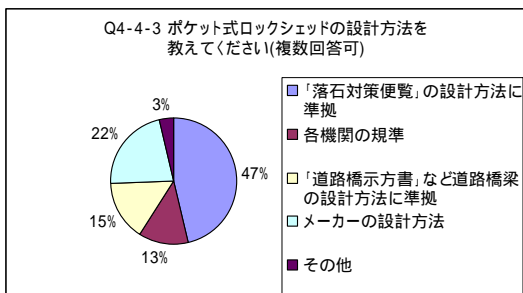
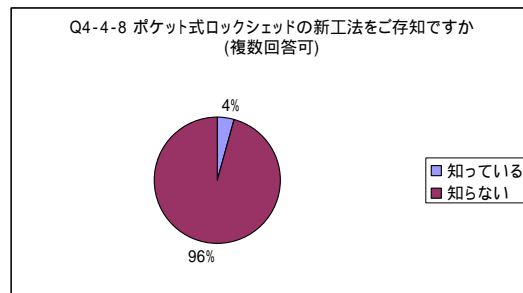
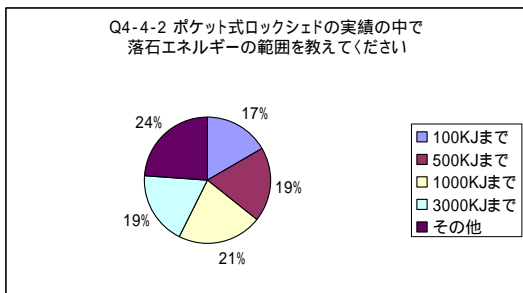
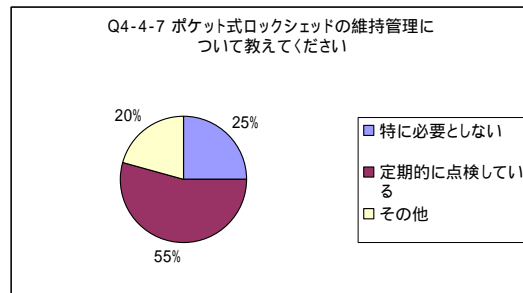
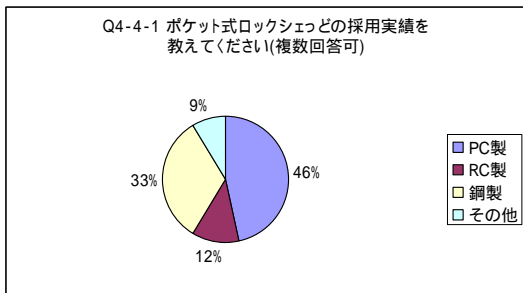
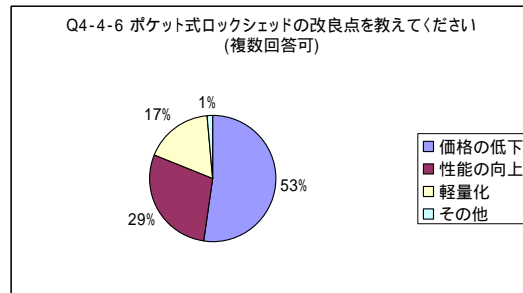
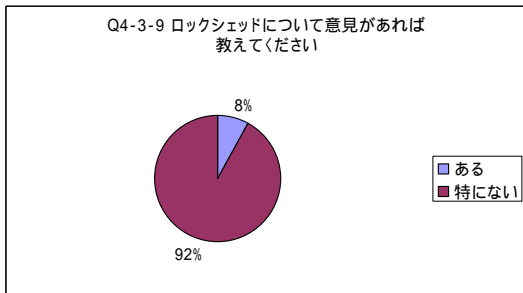
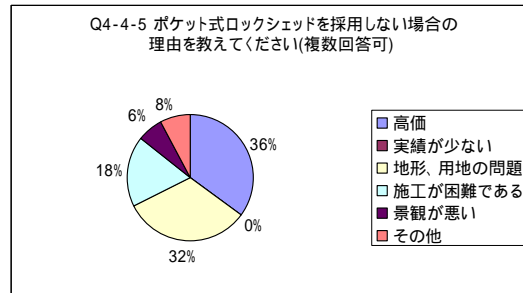
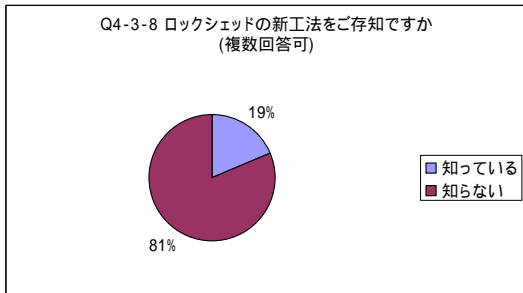
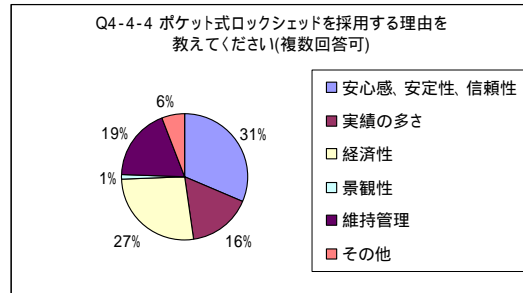
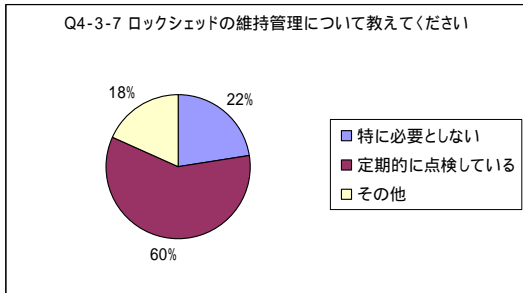
ここでは省略する。(詳細データを参照)

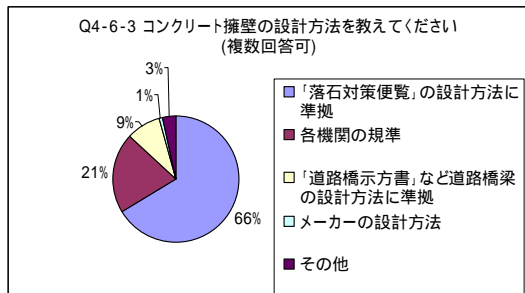
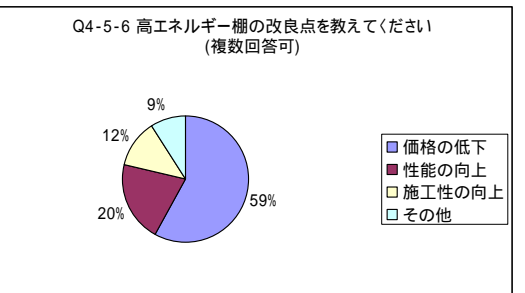
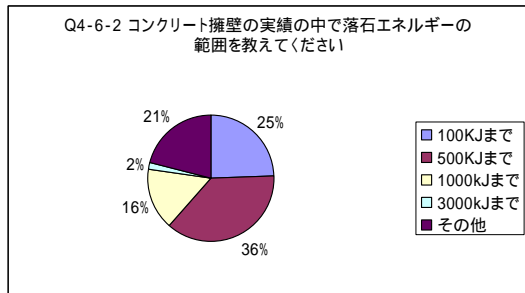
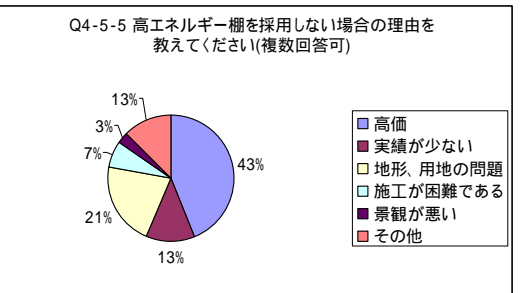
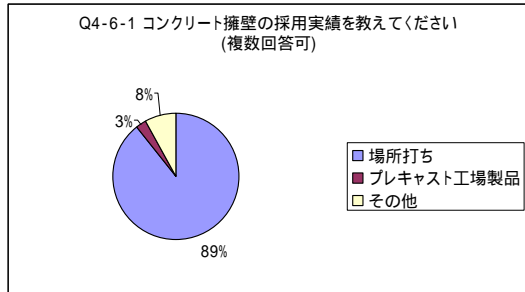
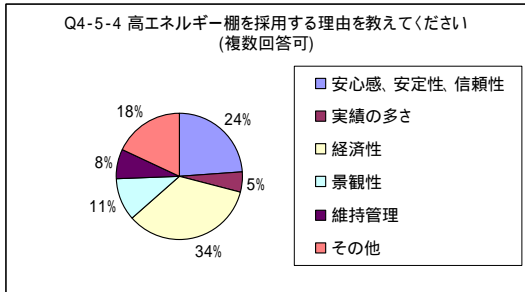
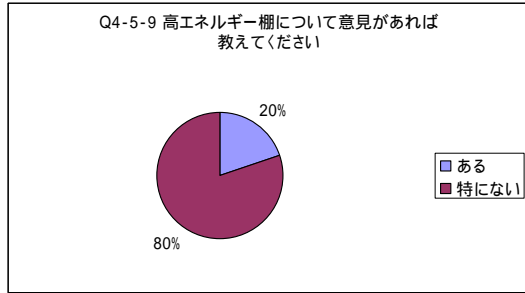
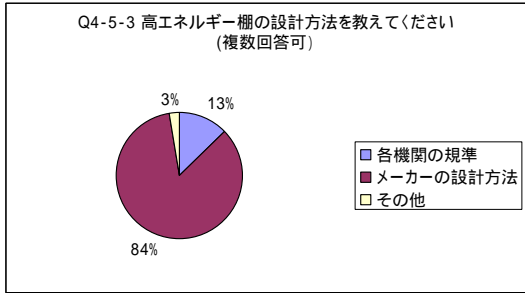
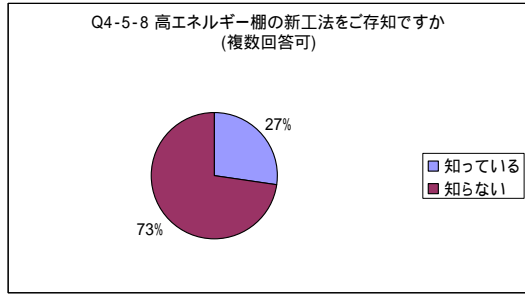
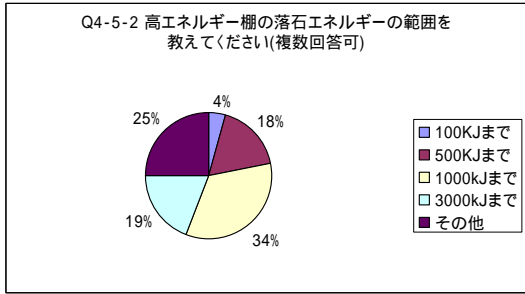
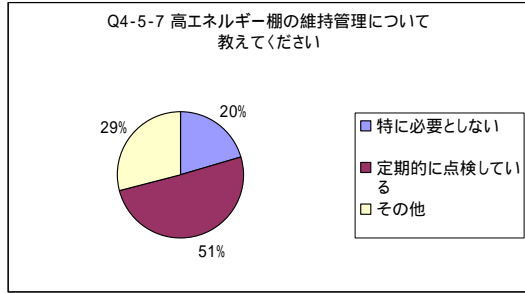
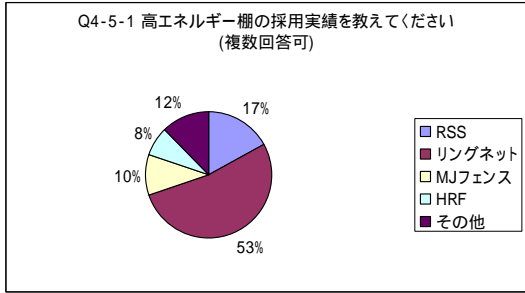
4. アンケート内容と集計

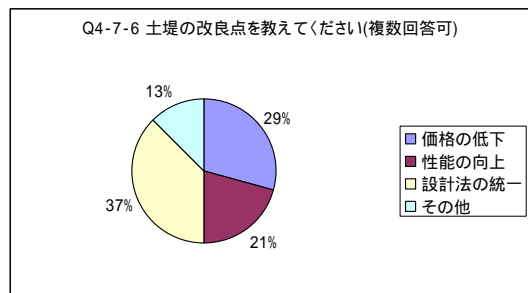
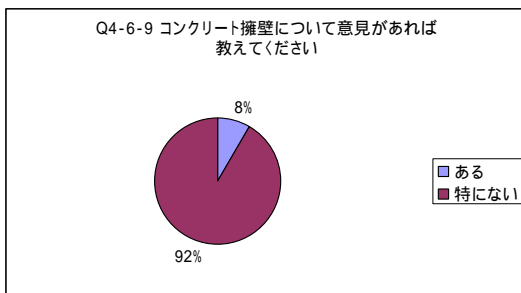
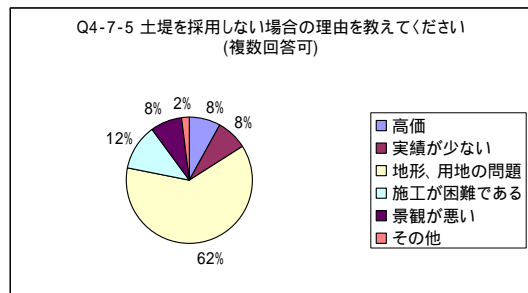
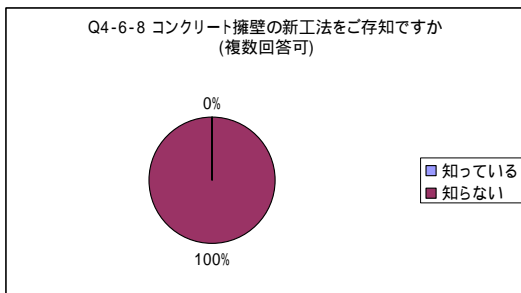
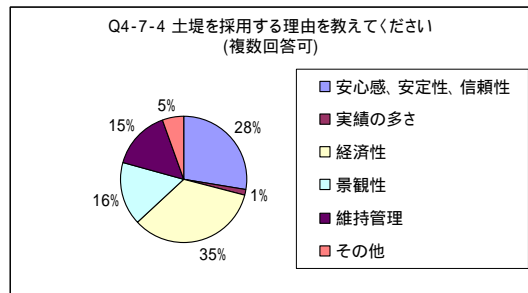
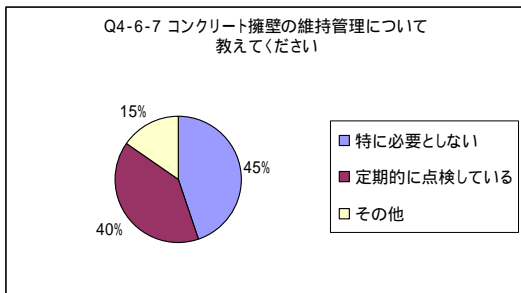
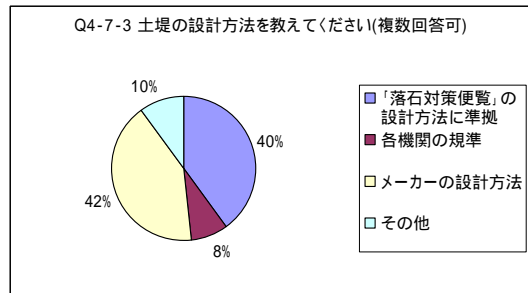
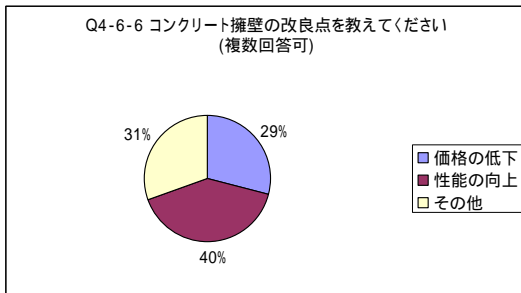
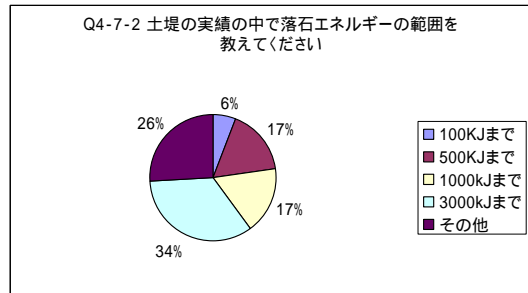
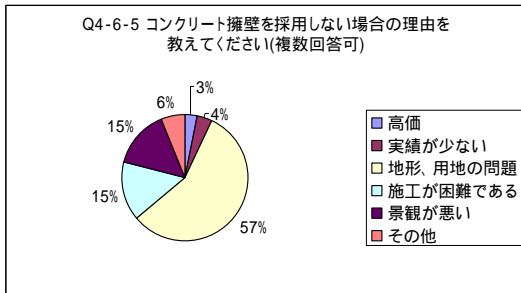
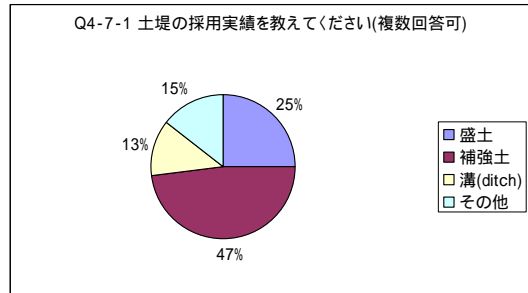
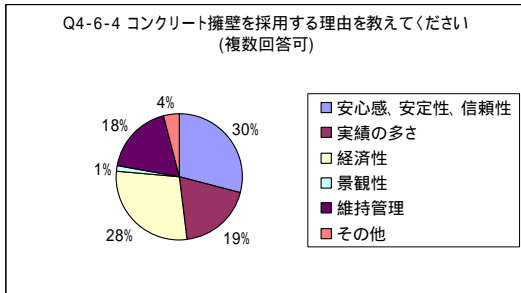


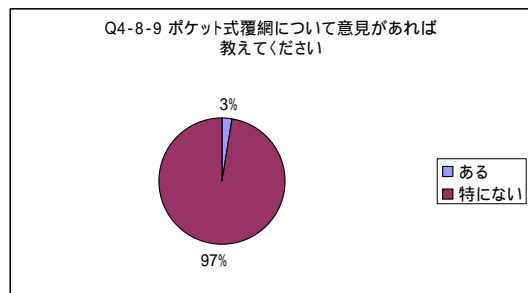
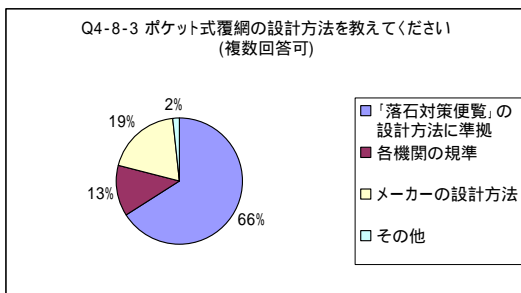
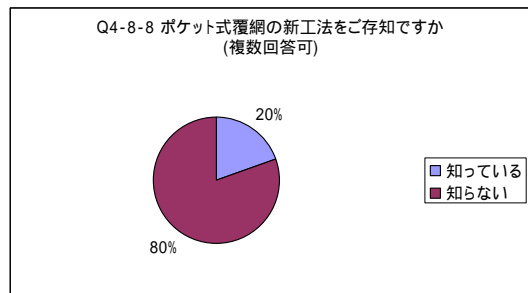
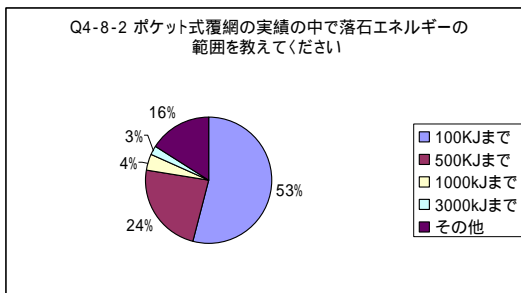
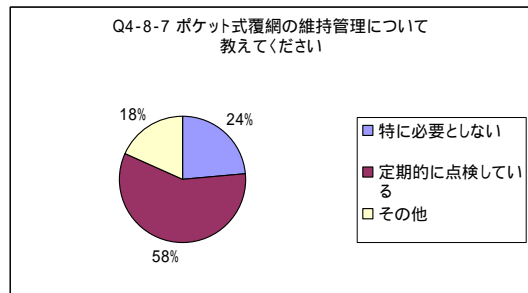
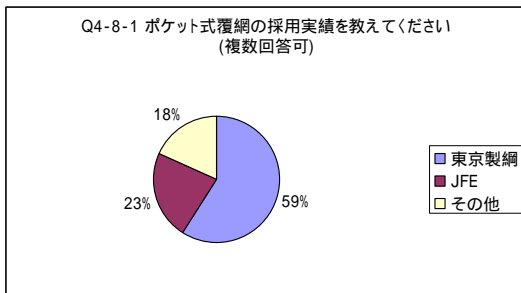
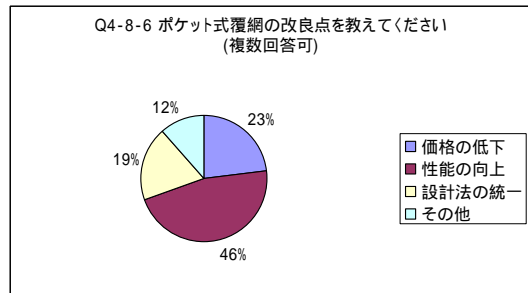
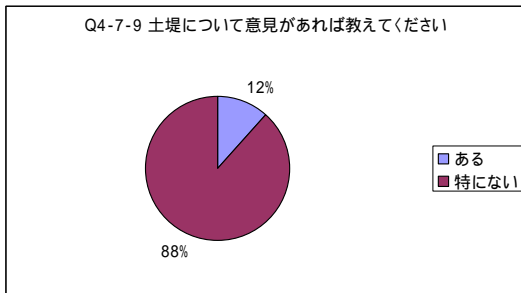
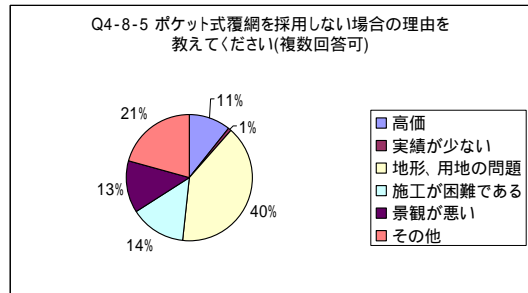
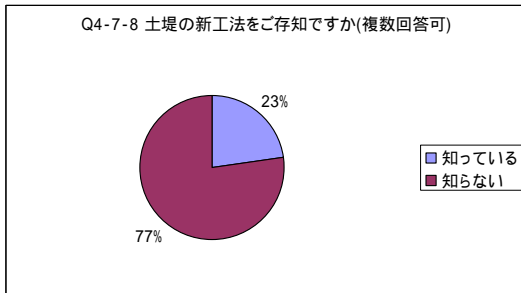
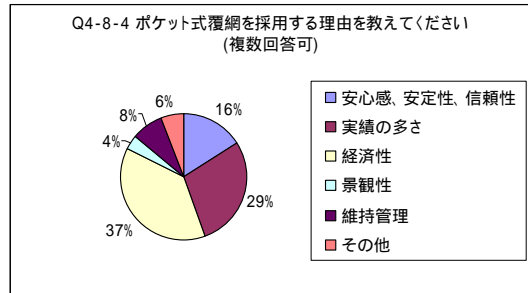
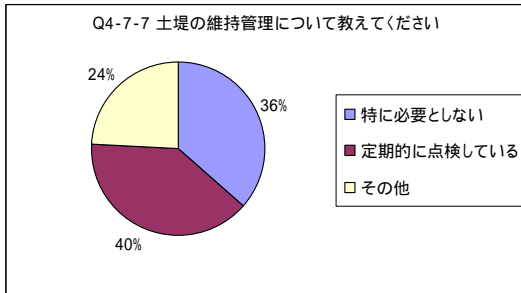


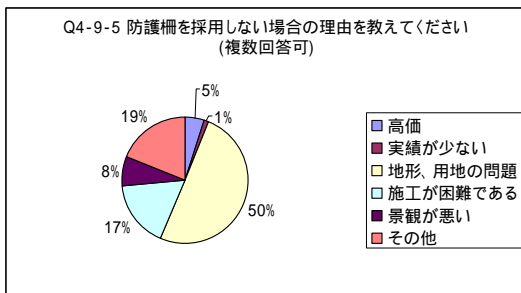
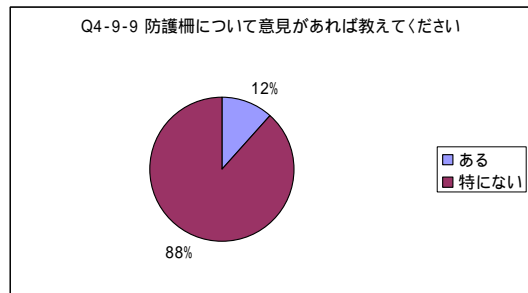
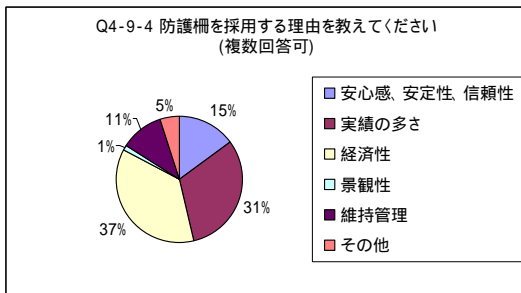
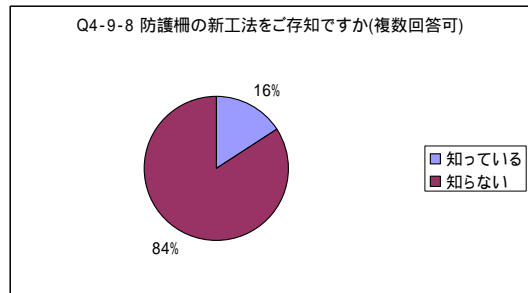
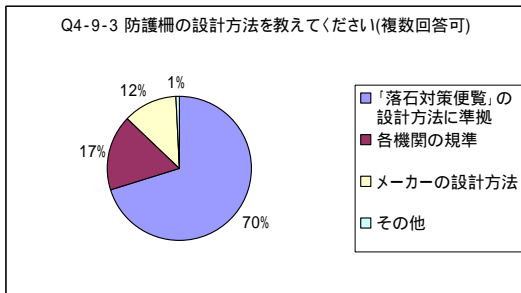
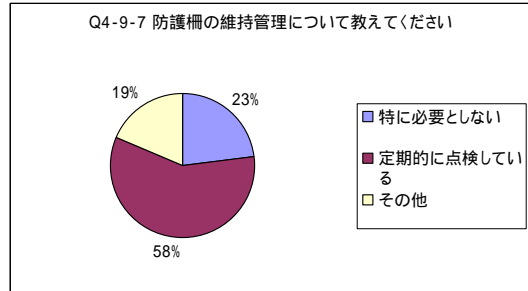
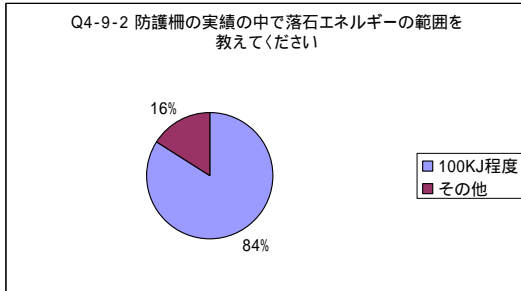
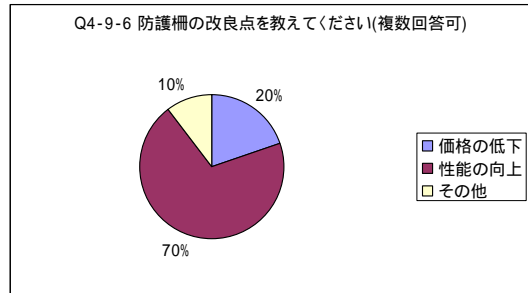
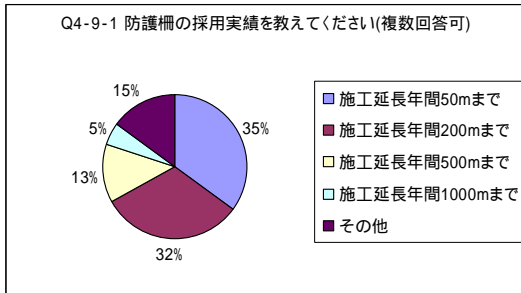












6. 謝辞

先述したように資料の作成に際しては、200以上の機関にアンケート用紙を送付し半数以上の回答を得ることが出来ました。その内容は熱意あるものが多く、その意見はきわめて貴重なものであります。ここに御協力いただいた皆様方に感謝申し上げます。

データ作成およびまとめ：井上昭一、五島麻紀

地盤材料の特性を活かした落石・土砂防護壁に関する実大規模実験

岐阜大学 正会員 森口 周二, 八嶋 厚, 沢田 和秀
前田工織株式会社 正会員 吉田 眞輝, 竜田 尚希
(株)プロテックエンジニアリング 正会員 井上 昭一, 西田 陽一
(株)テクノソール 正会員 辰井 俊美, 中川 幸洋
(株)岡本 正会員 武藤 隆則
JFE 建材(株) 正会員 妹尾 善和, 美濃輪 俊彦

1. はじめに

我が国は、地質・気象条件および土地利用形態より、斜面災害の危険性が非常に高いことがわかる。1996年に全国で実施された道路防災点検の結果から、我が国は膨大な数の危険斜面を抱えていることが明らかとなった。さらに、近年連続して発生している大規模地震や異常気象、土地開発に伴う危険斜面の増加により、斜面災害に対する危険性は年々増加している。岐阜県には多くの危険斜面が存在しており、斜面からの落石や土砂崩落の危険から、人命と財産を守ることは不可欠な課題である。危険斜面の絶対数が多く、既存の落石等への対策工や防護工が老朽化しているにもかかわらず、昨今の公共工事に対する予算縮減、環境への配慮の必要性など、防災対策を取り巻く環境は非常に厳しい。このように、危険斜面の対策工には、多面的な性能が求められる。

筆者らは、斜面の安定度評価¹⁾、崩壊土砂の流動形態など²⁾について成果を公表してきた。本報告は、落石・土砂崩壊といった斜面災害を防御するといったハード面での研究成果である。岐阜県内の採石場において、落石・土砂防護壁の性能を把握するために、構造や材料の異なる防護壁を数種構築し、実大規模の落石・土砂流動実験を行った。対象とするエネルギー別に設計・構築された防護壁は、地盤材料を主材料とするものであり、その大部分が現地発生土等を用いて構築された。実験で計測された衝撃力や防護壁の変形・破壊形態などから、それぞれの防護壁の有効性や衝撃吸収性能について調べた。

2. 落石エネルギーと防護工

落石に対する防護工は、落石のエネルギー規模に対して適正に設計されるべきである。危険と認められ、何らかの対策が必要とされている斜面は、現地調査などによりすでに特定の危険箇所が確認されており、落石の規模等も予測されていることが多い。危険度が高い斜面や発生源対策が可能な斜面については、順次対策が行われていくが、発生源対策が困難な斜面については、いつ落下してくるか知れない落石を待ち受工を構築して準備するのが望ましい。先に述べたとおり、落石の規模(大きさ)は現地調査等によりおおよそ予測されているため、落石の落下高さでエネルギーを算定することができる。図-1のように、落石エネルギーの違いにより落石防護工の種類を選定できる目安が落石便覧¹⁾に示されている。エネルギーにより対策工が決定されるのは物理的に非常に重要であるが、そのほかにも地理的条件、施工条件、費用など、様々な要求に対応できる工法が望まれる。本報告では、種々のエネルギーを想定した落石および模擬岩石を、実物大の防護工に衝突させた実験を紹介する。実験に用いた4種類の防護工は、すべて現地発生土等を衝撃緩衝体として利用しており、経済的に優れている。また、地盤材料の特性を有効利用することで、植生などの繁茂が容易であり、環境を考慮した設計・施工が可能である。

Real scale field tests of protective barrier for rock fall and soil flow utilizing features of geo-materials, S. Moriguchi, A. Yashima and K. Sawada (Gifu University), M. Yoshida and N. Tatta(Maedakosen Co., Ltd.), S. Inoue and Y. Nishida (Protec Engineering Co., Ltd.), T. Tatsui and Y. Nakagawa(Technosol Co. Ltd.), T. Mutou(Okamoto Co. Ltd.), Y. Seno and T. Minowa(JFE Metal Products & Engineering Inc.)

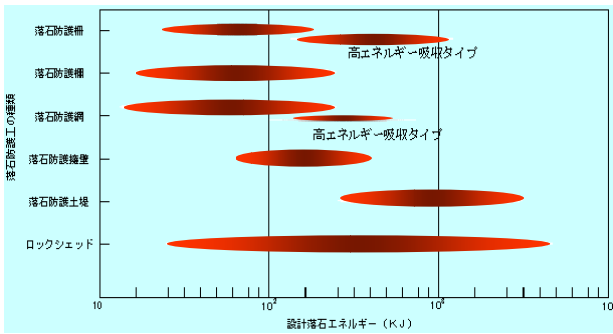


図 - 1 落石防護工のエネルギー適用範囲の目安³⁾

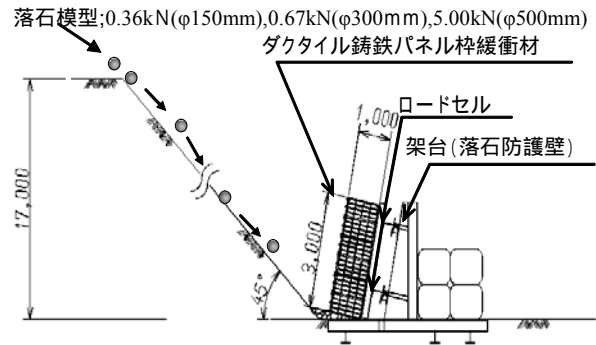


図 - 2 落石実験の概略図

3. 実大落石・土砂流動実験

3.1 ダクタイル鋳鉄パネルを利用した落石防護壁

ダクタイル鋳鉄パネルは、縦 50cm × 横 100cm の鋳鉄製のメッシュパネルで、これまで、次に示すような特長を活かし、河床工やのり面工などに使用されてきた。1) 現地発生土や自然石を中詰材として使用できるため、多孔質な構造が形成でき、内部に水圧が蓄積しない。2) 鋳鉄は、塩分・酸性に強く、水質汚染および環境汚染がほとんど無い。パネルはリサイクル可能である。3) 規格化されたパネルの組み合わせで構成するため、施工時間を短くできる。4) パネルは金具で連結するため、比較的柔な構造体を成す。そのため、地形に追従した設計が可能であり、また、衝撃荷重を分散しやすい。実験は、従来の構造を用いて、落石等による衝突エネルギーの吸収性能など、緩衝システムの開発・設計を目指したデータを収集することを目的とした。実験は、図-2のように3種類の模擬岩石を高さ約17m、45°傾斜の斜面上から落下させ、パネル枠緩衝材を配置した落石防護壁に衝突させた。模擬岩石は 150, 300, 600 mmの鋳鉄製球体であり、それぞれ 0.36, 1.67, 5.0kN 相当の重量である。それぞれ模擬岩石について、パネル枠緩衝材のある場合とない場合で数回ずつ衝突実験を行った。実験では、H 型鋼等で作成した荷重受け台および落石防護壁を組立てたのち、パネル枠緩衝材を配置した。パネル枠は 1.0m × 2.0m × 0.5mを1ユニットとして組立てられ、延長6.0m × 幅1.0m × 高さ3.0m(6段)の大きさに加重受け台前面に設置された。パネル枠内の中詰め材料にはぐり石を充填した。データの計測は、衝突荷重を確認するための動的計測と変形等を確認するための目視観測を行った。動的には、加重受け台に8台の荷重計を固定し、デジタル動ひずみ測定器を用いて応答荷重を測定した。サンプリング間隔は 0.2ms (5000Hz)とし、計測時間を3秒程度とした。計測は1条件に対し複数回のサンプリングを行った。目視観測は、模擬岩石のパネル枠緩衝材への衝突箇所の特定と、落石防護壁の水平移動の確認、パネル枠緩衝材の損傷状況の確認とし、メジャー等により測定した。また、高速度カメラにより落石の軌跡も記録した。実験後は鋳鉄パネル枠を撤去し、パネル枠緩衝材を配置しない落石防護壁(H 型鋼架台)に直接模擬岩石を衝突させ、同様に動的計測と目視観測を行った。図-3, 4はパネル枠緩衝材を配置した場合と、緩衝材を配置しない場合の衝突荷重の応答波形を整理した結果である。図-5には、パネル枠緩衝材を配置した落石防護壁の外観写真を示す。

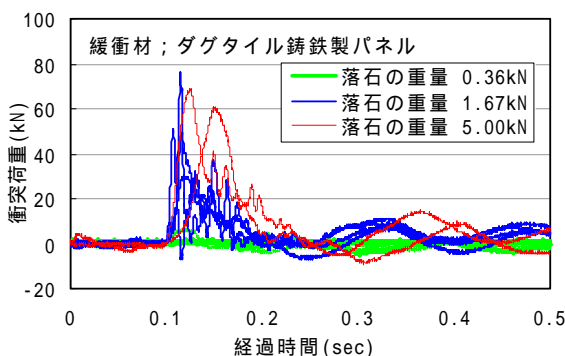


図-3 緩衝材を配置した場合の衝突荷重の応答波形

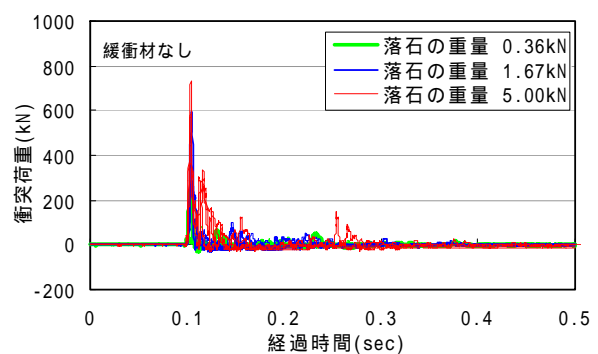


図-4 緩衝材がない場合の衝突荷重の応答波形

最大衝突荷重は、架台背面に設置したロードセル8点から得られた同時刻の荷重合計である。パネル枠緩衝材がない場合(図-4)は、パネル枠緩衝材がある場合(図-3)に比べてほぼ10倍の衝撃力を示している。



図-5 落石防護壁とダクティルパネル枠

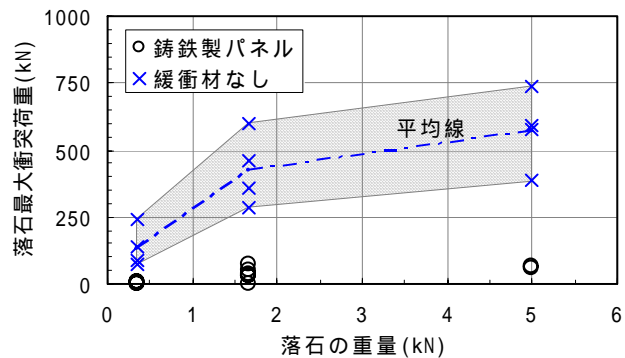


図-6 落石重量と最大荷重の関係

パネル枠緩衝材がない場合の衝突荷重の波形は、衝突時に大きな荷重を示し、短時間で衝撃力が消散しており、極めてシャープな形状を示している。また、衝撃力が消散するまでの時間は、パネル枠緩衝材を用いた場合の方が長い。図-6は落石重量と最大衝突荷重の関係を整理した結果である。パネル枠緩衝材を配置した場合には、パネル枠緩衝材がない場合の衝撃力に比べて極めて小さいことが分かる。

各模擬岩石衝突後のパネルの損傷状況について、0.36kN 模擬岩石の衝突では、パネルフレームに衝突痕が見られるものの、パネルに破断や著しい損傷は見られなかった。1.67kN 模擬岩石の衝突では、1回目の衝突でパネルフレームが破断した。2度目の衝突でもほぼ同一箇所に衝突し、破損範囲が拡大したが、中詰め材はこぼれ出さず安定した状態を保っていた。5.0kN 模擬岩石の衝突では、パネルに破断は見られなかったが、衝突部が約25mm程度の深さに湾曲した。1.67kN の模擬岩石に比べ損傷度合いが小さくなったが、これは、模擬岩石が斜面を滑落するときに、バウンドやスライドすることで運動エネルギーが斜面に吸収されたためと推測できる。

このように、鋳鉄製パネルを用いた落石防護壁は、落石によりパネルの破損はあるものの、構造体としての機能が損なわれることはなかった。補修法や中詰め材の選定法を確立すれば、十分実用化できると考えられる。

3.2 土のうを緩衝材とした高機能落石防護壁

これまでに落石防護壁の巨礫衝突時の設計に対応するための緩衝材料の選定を行い、衝撃吸収、分散等に関する基礎的な模型実験⁴⁾を実施し、緩衝材料として「袋詰め緩衝材」が衝撃荷重に対して有効に寄与することを確認している。今回は、実大落石衝突実験により、実構造物(落石防護壁)に衝突した場合の衝撃力の大きさや緩衝材としての効果を確認した。

3.1で述べた実験と同一の落石防護壁を用い、同様の実験を行った。ただし、本実験では3.1での鋳鉄製パネル枠緩衝体を袋詰め緩衝体(土のう)に置き換え、その緩衝効果を把握するために、各種計測を行った。土のうの中詰め材には、EPS(発泡スチロール)減容リサイクル資材を用いた。また比較のために、EPS ブロックにも模擬岩石を衝突させた。

各緩衝材に対する落石衝突時の衝突荷重の応答波形を図-7に示す。緩衝材のない場合の衝突荷重の応答波形は衝突時に大きな衝撃荷重を示し、瞬時に消散するなど極めてシャープな形状を示している。また、既存の緩衝材として用いられている EPS ブロックは、緩衝材のない場合に比べて衝撃荷重は極めて小さく、衝撃力の消散、逸散までに時間を要する様相を示している。一方、袋詰め緩衝材の場合には、EPS ブロックに比べて最大衝突荷重は大きいものの衝撃力が消散、逸散するまでの時間は短く、緩衝効果に効果的な素材であることがわかる。

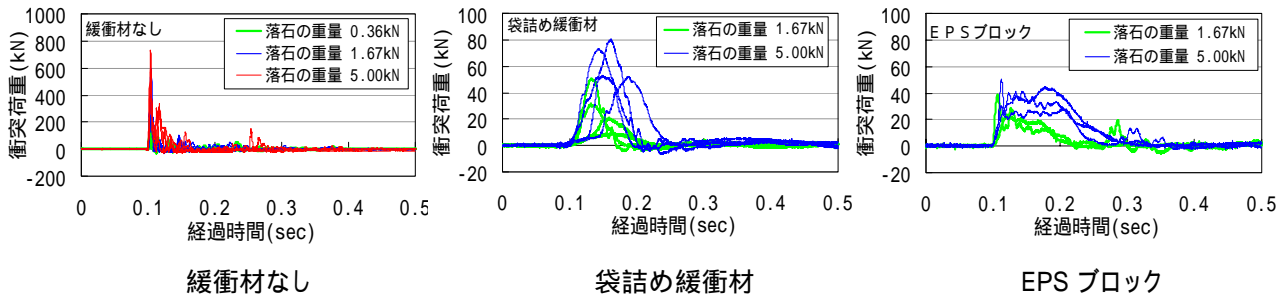


図 - 7 各緩衝材に対する落石衝突時の衝突荷重の応答波形

図 - 8 は、落石重量と最大衝突荷重の関係を整理した結果である。最大衝突荷重は、防護壁本体に取付けた荷重計 8 点から得られた同時刻の衝突荷重合計である。緩衝材のない場合の最大衝突荷重(衝撃力)は、防護壁への衝突部位によってばらつきが見られるが、铸铁製の落石重量の大きさに対して非線形的に増加する傾向が見られる。また、緩衝材を配置した場合には、緩衝材のない場合の衝撃力に比べて極めて小さい。

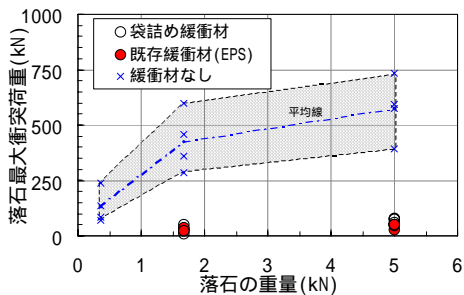


図 - 8 落石重量と最大荷重の関係



図 - 9 落石衝突後の緩衝材の変形状態

落石衝突後の変状を図 - 9 に示す。EPS ブロックは落石によってパンチング的な破壊形状を示しており、衝突荷重を緩衝材内部に分散させることによって緩衝効果を発揮しているかのような様相を示している。また、図 - 9 のようにブロックが破損した場合には、新しいブロックに交換しなければならない場合もある。一方、袋詰め緩衝材は、衝突部に模擬岩石の直径程度の凹部が見られ、高減衰材料である EPS 減容材を中詰め材とするために内部減衰(エネルギー吸収)的な支配が大きいと推察される。また、構造体への損傷度は比較的小さく、二、三次的な被害への緩衝効果も期待できる。なお図 - 10 には、落石実験の様子を示した。バックホウを用いて模擬岩石を落下させている。



図 - 10 落石実験時の様子

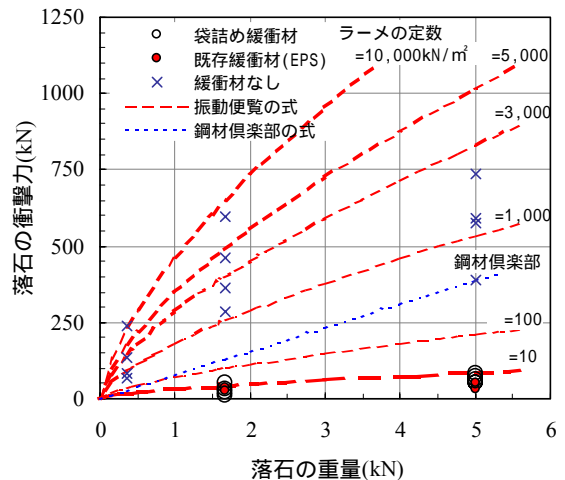


図 - 11 落石による衝撃力の大きさ

図 - 11 は、鋼材倶楽部⁵⁾および振動便覧⁶⁾の式から算出した衝撃力の大きさと、今回得られた実験結果を比較した結果である。鋼材倶楽部の推定式から算出した衝撃力は、今回計測された緩衝材のない場合の衝撃力に比べて小さめの値を示している。緩衝材のない場合、いずれの重量の落石についても衝撃力にばらつきがあったため、振動便覧の式を用いて表現することはできなかった。一方、緩衝材を設置した場合の衝撃力は、鋼材倶楽部の推定式から得られる衝撃力よりも小さく、また、振動便覧の推定式からはラーメの定数 $\lambda = 10 \text{ kN/m}^2$ 程度で表現できることがわかった。(1)式は振動便覧に記載されている衝撃力の評価式である。振動便覧では、ラーメの定数 λ の値を、(i) 非常に軟らかいもの 1000 kN/m^2 、(ii) 軟らかいもの $3000 \sim 5000 \text{ kN/m}^2$ 、(iii) 固いもの 10000 kN/m^2 として例示されている。本実験での袋詰め緩衝体は、振動便覧に示されている「非常に軟らかいもの」よりも、さらに小さいラーメの定数が適用されることになり、設計上非常に有用な条件として利用できる。

$$p_{\max} = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} H^{3/5} = 2.108 \cdot W^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (1)$$

ここで、 p_{\max} : 振動便覧による落石の衝撃力 (kN)、 m : 落石の質量 (t)、 H : 落石の重量 (kN)、 W : 落石が垂直に自由落下する場合の高さ (m)、 λ : 被衝突体のラーメの定数 (kN/m^2) である。

3.3 ジオテキスタイルを使用した補強土防護壁

この工法は土の柔軟性による衝撃緩和効果と補強土の耐力(強さ)を併せ持ち、広範囲の落石エネルギー(100 ~ 5000kJ以上)に対応できると考えられる。また、現地発生土や流用土を使用することで大幅なコスト削減も図れる工法である。過去、落石に対する実用性の試験を数回実施⁷⁾⁸⁾しているが、今回の実験では急傾斜地における土砂崩壊を想定して、実物大モデルに石及び土砂を衝突させて補強土防護擁壁の耐久性を確認した。ジオテキスタイルを使用した補強土防護壁の実験では2つのタイプによる防護壁を構築した。

実験では、図 - 12, 13 に示す側面で衝撃を受け止める(a)ダイク型と天端で衝撃を受け止める(b)QK型の2タイプを構築した。両タイプとも盛土材に層状敷設したジオグリッドの拘束効果により、強く柔軟性を持った構造物となっているが、衝撃力の受け方の違いによりその構造が異なる。2つのタイプの形状は、設置条件のために選択したもので、それぞれ以下のような特徴を有する。

- (a) ダイク型 : 台形状に構築した衝撃力を側面で受ける堤防タイプであり、構築時に広めのスペースを必要とする。しかし、地ならし程度の直接基礎で設置が可能であり、本土工以外の工事がほとんどない。そのため施工が容易で経済的である。構造的には、落石や土砂を直接受け止めて衝撃力を分散する受撃体と、分散された力を受け止める抵抗体で構成される。受撃体は、高伸度繊維で製作した大型土のうの中に単粒度碎石を充填してサンドバッグ状にしたものである。締め固まりにくい単粒度碎石を中詰め材とすれば、衝撃吸収層は柔軟性を保つことができる。抵抗体は、500mm 毎に衝撃対応ジオグリッドを水平層状に敷設した補強土であり、ジオグリッドにより拘束された盛土材が、柔軟な受撃体により分散された力に対して抵抗する。
- (b) QK型 : 切り立った斜面や設置スペースが少ない場所に補強土を急勾配で立ち上げて、確保した天端で衝撃力を受け止めるタイプである。切土による構築場所の確保を行う場合が多いが、切土による発生土を転用することにより材料費や運搬費を削減することができる。構造的には、衝撃対応ジオグリッドを500mm毎に水平に層状敷設し、背面側を巻き上げて盛土材を包み込む。盛土材を巻き込んだジオグリッドが一種の袋体となり、衝撃力作用時に発生する土粒子の側方流動を拘束・抑制する⁹⁾。この効果により盛土の耐力を増強するとともに、少ない設置幅での構築が可能となる。巻き込み構造の詳細を図 - 14 に示す。天端部には土砂や石のこぼれ出し防止に防護柵を設置する。基礎は土中埋め込みとなるが、石などが衝突したときの倒れ防止用として地山に定着したアンカ - と支柱を連結する。図 - 15 には、各構造体に設置した計測器の位置を示した。

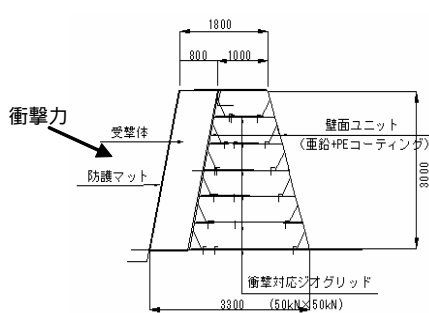


図 12 ダイク型補強土防護壁断面

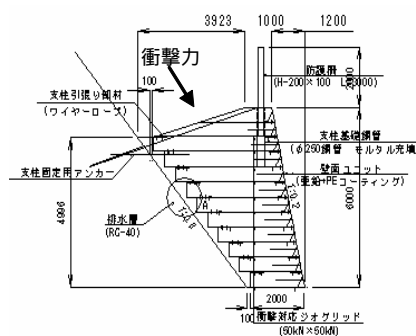


図 - 13 QK型補強土防護壁断面



図 - 14 巻き込み構造の断面

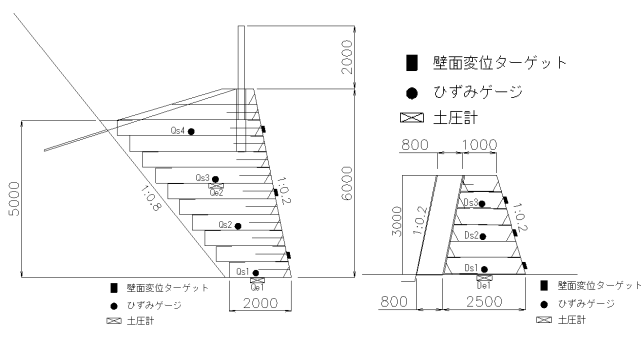


図 - 15 各計測器配置図

表 - 1に両タイプの構造についての施工手順を示した。どちらについても、大型機材を必要とせず施工でき、設置場所の地形に合わせて施工することが可能である。実験実施場所では、防護擁壁前面に十分な作業場所があり、比較的施工の行いやすい場所であったため、順調な工事進捗であった。しかし実際には狭い場所での作業が多く、前面からの作業が不可能な場所も多い。そのため構造物の設置スペースを作業場所として施工するケースが多くなると考えられる。実務では、土砂・資材の搬入方法を含む、作業状況に応じた施工方法の確立を考える必要がある。

表 - 1 ジオテキスタイル補強土の施工手順

ダイク型	QK型
<p>基礎地盤を計画高さに整形して不陸をとる。 壁面材を並べ外枠を作る。壁面材には施工場所の現状に合わせ植生シートもしくはのり面保護シートを設置する。 ジオグリッドを構造物の延長方向に敷設する。 盛土材を敷き均し転圧する。のり先部分の土が入りにくいところは手作業で入れ込み、空隙ができないよう考慮する。 ～ までを計画高さまで繰り返す。 受撃体の設置を行う。受撃体は設置位置で中詰材の充填を行なう。袋にたるみがでないように充填する。 受撃体前面に受撃体保護用のシートを設置する。熱風溶着器によりシートを繋げながら設置する。</p>	<p>基礎地盤の整形及び背面切土を行う。 壁面材を並べ外枠を作る。壁面材には施工場所の現状に合わせ植生シートもしくはのり面保護シートを設置する。 地山側に背面型枠を設置する。 ジオグリッドを敷設長+巻き込み長 1.0mでカットして地山と鉛直方向に敷設する。ジオグリッドの巻き込み部は撒き出し時には背面側に折り返しておく。 盛土材を敷き均し転圧する。のり先部分の土が入りにくいところは手作業で入れ込み空隙ができないよう考慮する。 ～ までを計画高さまで繰り返す。 防護柵の設置を行う。根入れ部分は先導管を盛土構築時に埋設しておき、その中に支柱を建てこむ。</p>

実験では、衝撃対応ジオグリッドにひずみゲージを貼り付け、土砂と落石の衝突時の挙動を確認した。構造物の底盤部には土圧計を設置し地盤反力の変化を計測した。壁面にはターゲットを貼付け、光波測距儀により壁面変位を計測した。また、落石や土砂の落下挙動を高速度ビデオカメラにより撮影した。ダイク型防護壁およびQK型防護壁それぞれに、大きさの異なる3種類の落石を順次落下させた。次にそれぞれの構造物に、土砂を落下させた。斜面は直高約15～20mあり、勾配は約8分(約51°)である。各実験ケースの条件を表 - 2に示す。

表 - 2 実験ケースと条件

回数	1投目	2投目	3投目	4投目
種類	落石	落石	落石	土砂
ダイク型	約 2.5kN	約 10.0kN	約 26.0kN	約 12.0m ³
QK型	約 2.0kN	約 10.0kN	約 20.0kN	約 12.0m ³

結果の一例として、最も大きな落石の結果と土砂落下の結果を示す。ダイク型に配置したひずみゲージによる計測結果を図 - 16に、土圧計による計測結果を図 - 17に示す。それぞれの図で、上段が落石衝突時、下段が土砂衝突時を示す。土砂落下時には、ひずみゲージには変化は見られないが、土圧計には土砂が堆積した重量分の変化が見られる。ひずみゲージに変化が見られなかったことは、今回の土砂荷重に対して、補強土堤体が全く影響を受けずに擁壁として安定を十分に維持していると考えられる。落石時には、ひずみゲージ・土圧計ともに変化が見られる。落石が衝突した瞬間、落石エネルギーによる堤体の変形に抵抗する形で引張(+)側にひずみが発生している。その後、変形の大きな箇所(落石の衝突箇所)ほど、大きな残留ひずみが生じている。また、今回の落石は入射角が比較的急角度であったため、土圧計に大きな変化が見られる。衝突の瞬間に 100kPa 程度の土圧が発生し、その後落石の重量分の残留が見られる。しかし、ひずみの絶対量は小さく、衝撃荷重が背面の受撃体と堤体内で十分に吸収されていることがわかる。

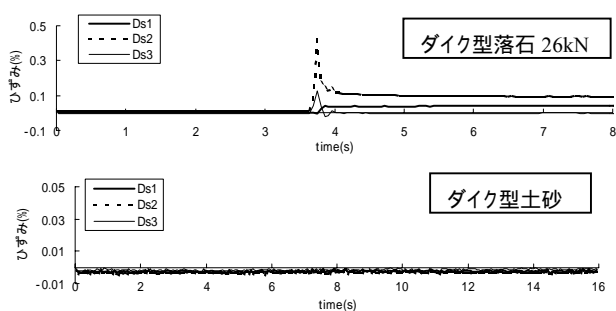


図 - 16 ひずみ計測結果(ダイク型)

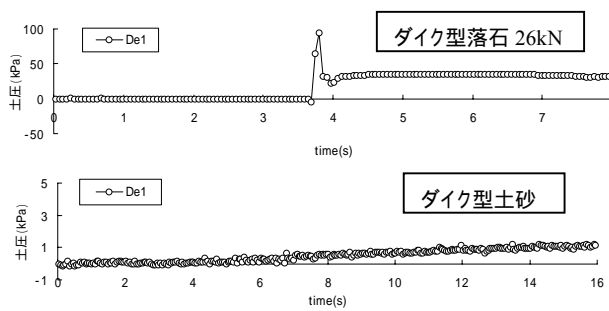


図 - 17 土圧計測結果(ダイク型)

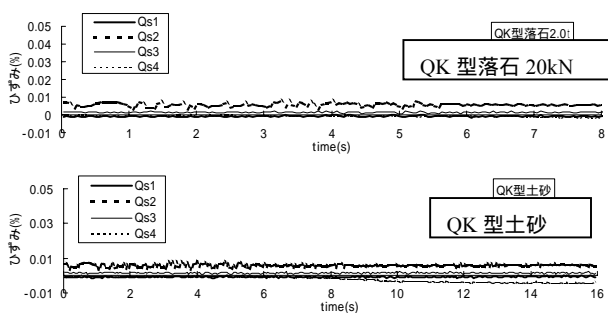


図 - 18 ひずみ計測結果(QK型)

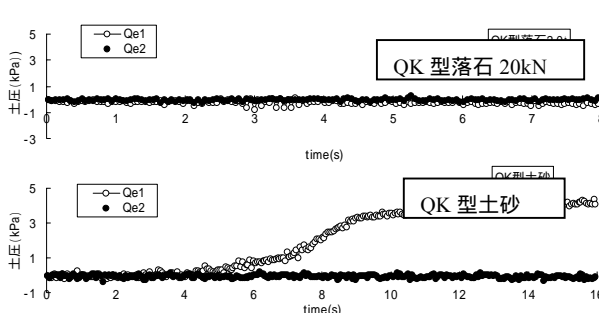


図 - 19 土圧計測結果(QK型)

QK型に配置したひずみゲージでの計測結果を図 - 18に、土圧計の計測結果を図 - 19に示す。それぞれの図で、上段が落石衝突時、下段が土砂衝突時の結果を示す。落石・土砂いずれの衝突に対しても、ひずみの増加はほとんど見られない。土圧計の値は、土砂が堆積するにつれて増加しているが、落石に対しては、土圧に変化は見られない。今回の実験では、最大の落石規模は 300kJのエネルギーが想定される。実験で使用したQK型防護工の規模に対しては、変化が見られるほどの落石サイズではなかったと考えられる。過去の同程度規模の実験結果では、盛土に変化が見られる落石エネルギーは 1000kJ以上であった⁷⁾。また、土砂落下についても、落下前と落下後の壁面変位はほとんどなかった。つまり、この規模の落石と土砂落下に対して、QK型補強土防護工およびダイク型補強土防護工は、十分に安定している。本実験により、「補強土防護擁壁工」の急傾斜地に対する新たな適用フィールドにおい

て、十分な安定性を確認することができた。QK型については、構造物全体としての安定性が確認できたことで、より実務的な設計法を確立できる。

4.まとめ

本報告は、平成16年11月に岐阜県揖斐川町の採石場を利用して、落石・土砂防護壁の実物大落石衝撃試験を公開で行った結果である。それぞれの落石防護工には、構成材料の特長が活かされており、実際の適用例は少ないものの、衝撃緩衝効果としてすばらしい性能が期待できる。今後ますます少なくなっていくであろう公共工事費のなかでも、交通網の発達・整備は不可欠である。そのために、斜面災害防止や減少のための、安価で安全でしかもライフサイクルコストの小さいハードの開発が重要である。以下に実験で得られた各防護工に共通した特徴を示す。

- (1) 現地発生土あるいは他工事の残土を有効利用できる。リサイクルも可能である。
- (2) 地盤材料の持つ、緩衝と分散の性能を発揮できる。
- (3) 構造がフレキシブルであり、地形にあわせた設計・施工が可能である。
- (4) 材料のほとんどが地盤材料であるため、植生・植栽が可能であり、景観に配慮できる。

地盤材料を用いた堤体などには、透水性の問題が残されている。ダクタイル鑄鉄パネルを用いたタイプは、非常によい透水性を有し、今後その発展が期待できる。機能的にみれば、ダクタイルパネルで囲われたかご部分を一つのユニットと考え、透水部分として他の工法とのハイブリッド設計も不可能ではない。すべての工法に対して、今後の方向性を期待したい。これらの工法の設計・施工が使用されるのを現実にするには、数値解析などを用いたパラメトリックスタディ等も必要であり、やはりソフト的なアプローチも必要である。2車線道路を片側交互通行にして危険斜面のメンテナンスを行う場合に、通行するすべての方が「何のために工事をしているか？」を理解しているようなソフト的な防災も、ハード的防災以上に力を注ぎ込まなければならないことが今後の課題である。

最後に、一連の実験を行うにあたり、実験施設の選定から使用までに多大なご尽力をいただいた(財)岐阜県建設研究センターおよび、試験場使用に協力いただけた旦鳥鉱山株式会社に謝意を表します。なお、実験には、科学技術振興調整費「産学官共同研究の効果的な推進」(平成14年度～16年度)、科学研究費(若手(A)16686030,平成16年度～)および岐阜大学革新的なプロジェクト研究助成(平成16年度)の補助を受けたことをここに記し、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) Sumi, T. & Yashima, A. 2000. An evaluation method of stability in rock slope considering wedge effect and location of the discontinuous plane, *Journal of Japan Society of Civil Engineering*, No.659/III-52: 265-276.
- 2) K. Sawada, S. Moriguchi, A. Yashima, F. Zhang and R. Uzuoka, Large deformation analysis in Geomechanics using CIP method, *JSME International Journal, Fluids and Thermal Engineering, Special Issue on CIP, Series B*, Vol.47, No. 4, pp.735-743, November 2004.
- 3) 日本道路協会:落石対策便覧, 1983.
- 4) 佐藤雅宏,美野輪俊彦,妹尾善和,山口聖勝,辰井俊美:落石防護壁の巨礫用緩衝材の開発に係る実験的研究, 土木学会第59回年次学術講演会, pp. 223-224, 2004.
- 5) 鋼材倶楽部:新しい落石覆の開発に関する研究, 1973.
- 6) 土木学会:土木技術者のための振動便覧, 1966.
- 7) 淵上正浩,小畑康隆,荒井克彦,小嶋啓介,井上昭一,久保哲也:ジオシンセティックスを用いた落石防護擁壁の実験的研究,ジオシンセティックス論文集第15巻, pp.350-pp.359, 2000.
- 8) 永吉哲哉,山崎敦,横田善弘,井上昭一:落石防護補強土擁壁のモデル衝撃実験結果の分析(その1),第37回地盤工学研究会発表論文, pp.2267-2268, 2002.
- 9) 松岡元,陳越,児玉仁,山路耕寛,田中隆一:「土のう」の力学特性および耐圧試験,第35回地盤工学研究会発表論文, pp.1075-1076, 2000.

2005年11月

岐阜大学工学部社会基盤工学科八嶋・沢田研究室

落石防護工実大規模衝撃実験結果速報

このたび国土交通省建設技術研究開発助成により、「環境共生型土砂災害防御システムの開発」を目的として、公開実験を実施しました。以下、その速報結果を示します。

主催：岐阜大学工学部社会基盤工学科八嶋・沢田研究室

実験協力組織：社団法人下呂建設業協会 / 株式会社岡本 / 株式会社プロテックエンジニアリング / 前田工織株式会社

実験実施日：平成17年11月4日 午後12:30～15:00（晴天）

実験実施場所：岐阜東部改良土センター 各務原市那加桐野町5丁目6番地

見学者数（実験実施者含む）：120名（岐阜県関係23名、国土交通省関係19名、建設会社・コンサルタントなど63名、大学関係15名、その他20名）

1. 実験目的

本実験では、落石などの衝突による落石防護壁（堤防型補強土防護壁、ダクタイル鋳鉄製パネル枠（鋳田籠） 間伐材製枠（沐沐ブロック））の変形特性・衝撃吸収特性・耐久性について観察および計測を行う。得られた実験データの分析および数値解析を経て、各構造体の設計法および破損箇所の修復方法の確立を目的とする。

2. 対象とする落石防護壁の形態

：堤防型補強土防護壁

<http://www.proteng.co.jp/dike/index.html>

：ダクタイル鋳鉄製パネル枠（鋳田籠）と地盤材料（砕石）による防護壁

<http://www.nbk-okamoto.co.jp/seihin/chutaro/chuta010.htm>

：間伐材製枠（沐沐ブロック）と地盤材料（砕石）による防護壁

<http://www.crcr.pref.gifu.jp/kibanken/kenkyu/H15seika/04kanbatubrok-2.pdf>

：コンクリート擁壁

実験結果

本実験では、以下の3タイプの防護壁について衝突実験を行った。

堤防型補強土防護壁

ダクティル鉄製パネル枠（鋳田籠）

間伐材製枠（沐沐ブロック）

実験は、図1のような状態で行い、各実験は、100kJの落石エネルギーを想定した。重錘には、3次元化速度計をセットし、衝突時の加速度の減衰と重錘の変位（めりこみ具合）から衝撃力と、エネルギーを算出した。

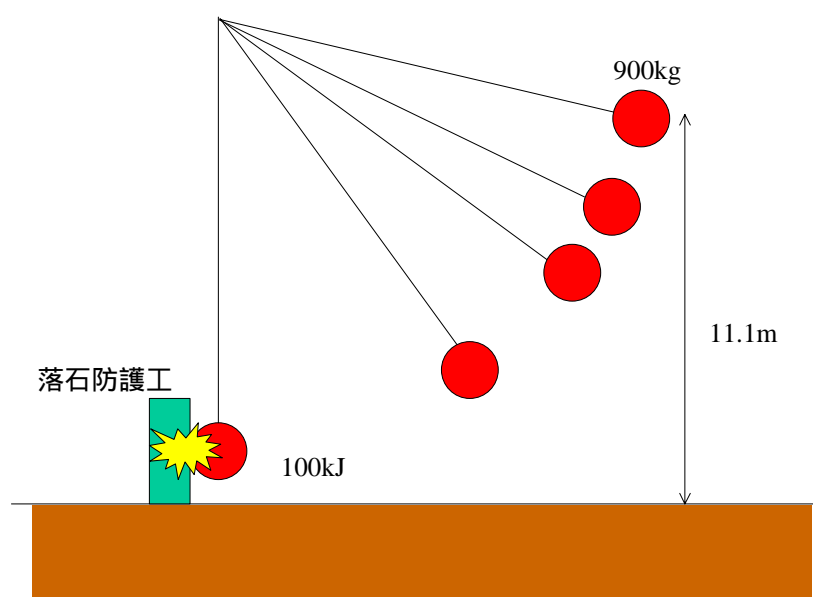


図1 実験のイメージ

本実験では、重錘の加速度を計測した。計測された加速度の時系列データ（サンプリング周波数 5000Hz）を用いて各物理量を算出し、結果を比較する。まず、初めに、各物理量の算出方法について示す。計測された重錘加速度 a の時系列データより、重錘速度 v ・重錘変位 u ・重錘衝撃力 f ・防護壁吸収エネルギー E_a を算出した。重錘速度 v は重錘加速度 a を時間積分して次式で得られる。

$$v = \int a dt$$

重錘変位 u は重錘速度 v を時間積分して次式で得られる。

$$u = \int v dt$$

重錘加速度・重錘速度・重錘変位については、重錘衝突方向を正として算出している。重錘衝撃力 f は、重錘加速度 a と重錘重量 m の積として次式で得られる。

$$f = ma$$

防護壁吸収エネルギー E_a は重錘衝撃力 f と重錘変位増分 Δu の積を時間積分して次式で得

られる。

$$E_a = \int f \Delta u dt$$

ただし、防護壁吸収エネルギー E_a については、重錐変位増分 Δu を用いているため、重錐速度 v の値が負に転じた時点でそれ以降は増加しないとして一定値と考える。

以下では、算出された各種物理量の経時変化を示す。以下に示す結果は、全て重錐衝突時から 0.1 秒間の結果であり、時間 0 を重錐衝突時としている。なお、以下に示す結果は、重錐重量 900kg、落下高さ 11.1m の実験条件で行われた実験の結果である。図 2 は、加速度と速度の経時変化のグラフである。図 3 は重錐衝撃力と防護壁吸収エネルギーの経時変化のグラフである。図 4 は重錐変位の経時変化のグラフである。各図中の(a)、(b)、(c)はそれぞれ、(a)堤防型補強土防護壁のケース、(b)ダクティル鋳鉄製パネル枠のケース、(c)間伐材製枠（沐沐ブロック）のケースの結果である。

図 2(a)、(b)、(c)より、重錐衝突後に重錐加速度は負の値を示し、それに伴い重錐速度が減少している。また、図 3(a)、(b)、(c)より、重錐衝突後に衝撃力が増加・消散し、その間に防護壁の吸収エネルギーが増加している。これら傾向は、本実験で対象とした防護壁 3 タイプ全ての結果で一致している。しかしながら、堤防型補強土防護壁のケースでは、重錐加速度と衝撃力のピーク値が他の 2 タイプと比べて高い値を示しており、また、重錐加速度と衝撃力の消散時間が短くなっている。それに伴い、重錐速度は早い段階で負に転じており、吸収エネルギーの増加の割合も大きい。これは、堤防型補強土防護壁が他の 2 タイプと比べてこの段階におけるエネルギーレベル比較的剛性を保っていることを示唆している。もしエネルギーが大きくなれば補強土壁でも堤体の変形量が大きくなり衝撃力が小さくなることが考えられる。

図 4 は、重錐変位の経時変化を示している。そのピーク値は、重錐の最大貫入量を示すが、堤防型補強土防護壁のケースでは他の 2 タイプと比べてピーク値が小さくなっている。この結果からも、堤防型補強土防護壁は他の 2 タイプと比べて剛性を保持していることがわかる。そのため、他の 2 タイプに比べて大きな衝撃エネルギーに対応できると考えられる。

一方、ダクティル鋳鉄製パネルと枠間伐材製枠については、堤防型補強土防護壁に比べて衝撃力が小さく変形量が大きいことから、今回のエネルギーレベルにおいては堤体全体が変形し衝撃を吸収したものと考えられる。このため入力エネルギーが小さい場合は、補強土防護壁と同様に変形が小さく衝撃力が大きくなるものと考えられる。

巻末には、各実験時の様子写真および衝突時高速度カメラ映像の切り取り写真（NHK 放送技術研究所提供）を示した。紙面を借りて、ご協力に謝辞を申し上げます。

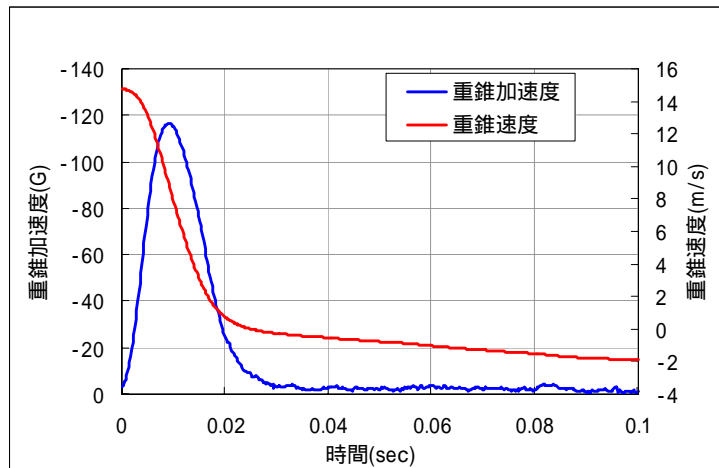


図 2(a) 加速度と速度の経時変化（堤防型補強土防護壁）

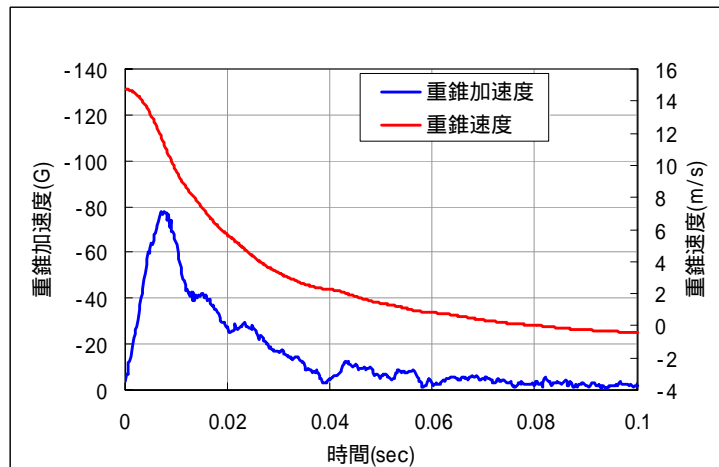


図 2(b) 加速度と速度の経時変化（ダクタイル鋳鉄製パネル樁）

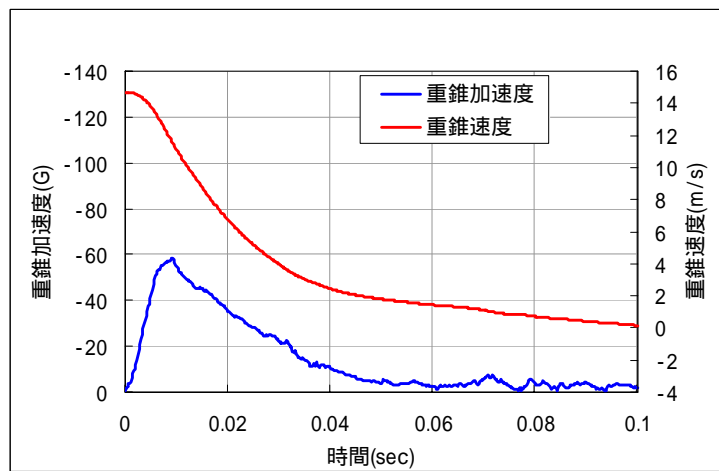


図 2(c) 加速度と速度の経時変化（間伐材製樁）

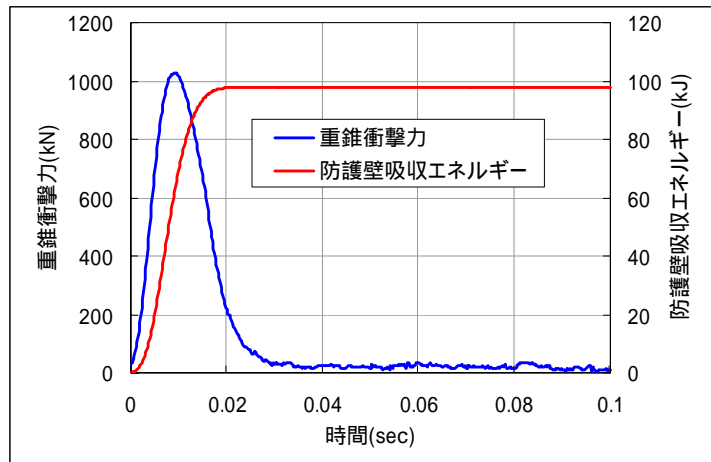


図 3(a) 重錐衝撃力と防護壁吸収エネルギーの経時変化（堤防型補強土防護壁）

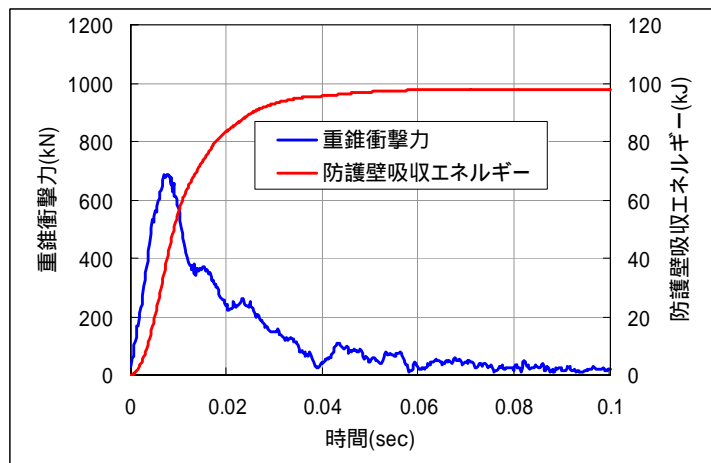


図 3(b) 重錐衝撃力と防護壁吸収エネルギーの経時変化（ダクタイル鋳鉄製パネル枠）

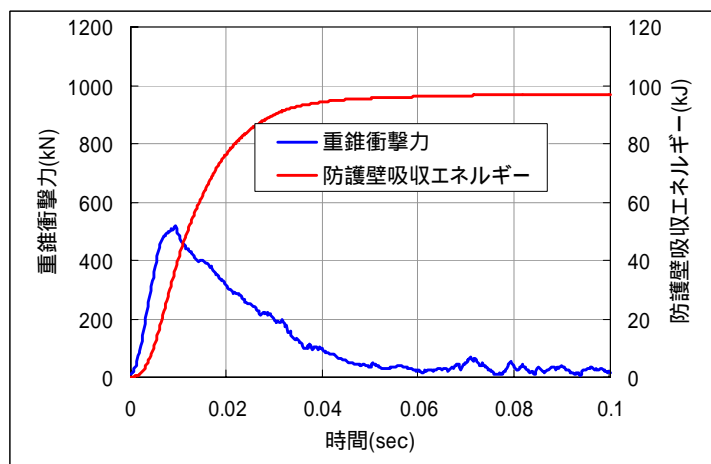


図 3(c) 重錐衝撃力と防護壁吸収エネルギーの経時変化の経時変化（間伐材製枠）

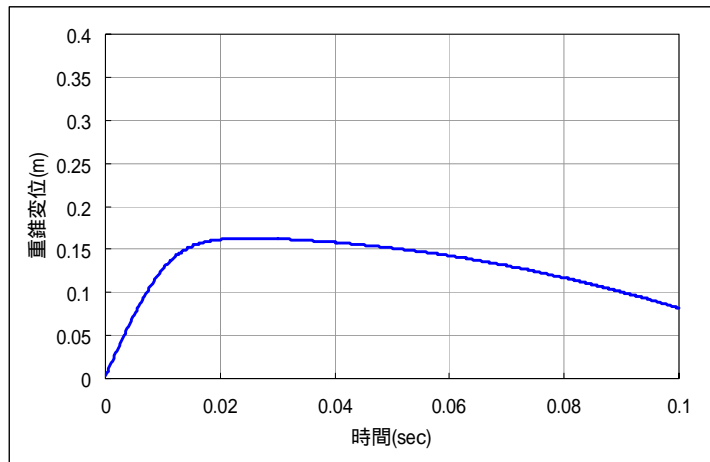


図 4(a) 重錐変位の経時変化 (堤防型補強土防護壁)

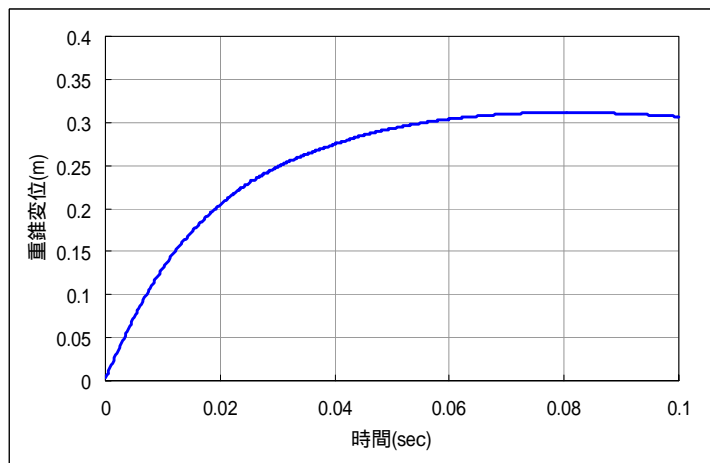


図 4(b) 重錐変位の経時変化 (ダクタイル鋳鉄製パネル枠)

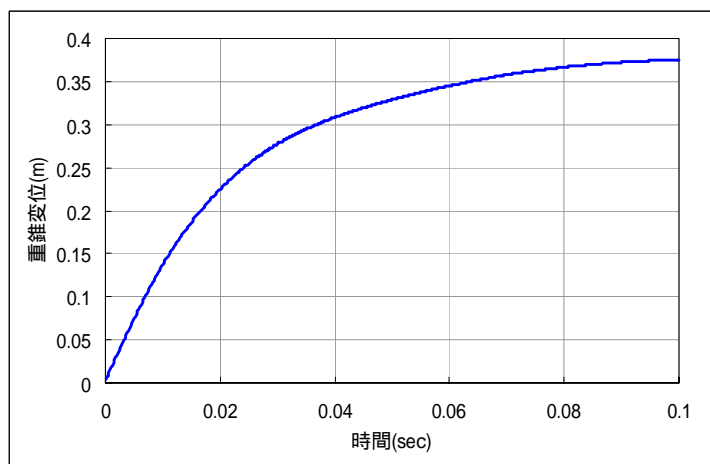


図 4(b) 重錐変位の経時変化 (間伐材製枠)

実験時写真



堤防型補強土防護壁外観



鑄田籠外観



沫沫ブロック外観



コンクリート擁壁外観



衝突実験の様子



参加者による観察



堤防型補強土防護壁の変形



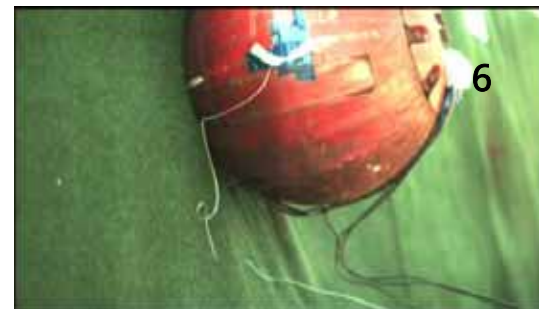
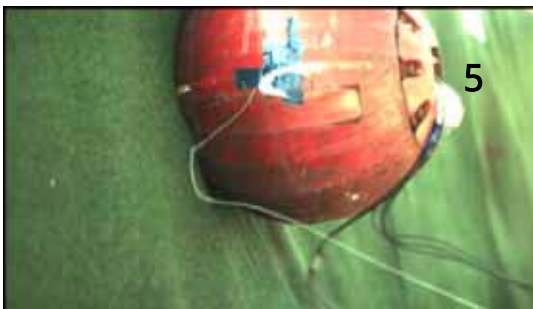
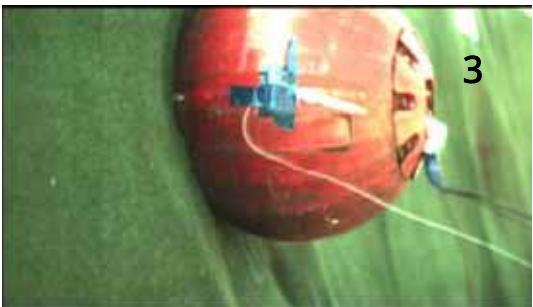
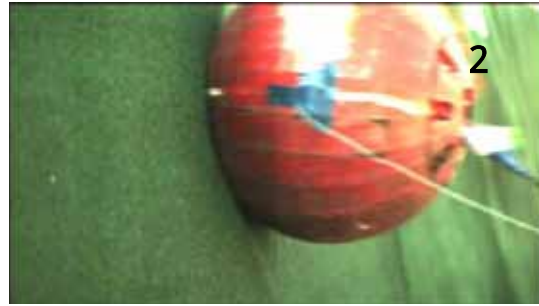
沫沫ブロックの変形



鑄田籠の変形



コンクリートブロック衝突直後



堤防型補強土防護壁



沫沫ブロック



鑄田籠



コンクリート擁壁



岐阜大学工学部地盤工学八嶋沢田研究室
国土交通省建設技術研究開発費補助金 助成