

第30回 理工学部門研究談話会

日時 : 令和 2年 1月29日(水) 13:30~14:30

場所 : 理工学部 2号館 6階 第1会議室

話題及び提供者

『フラクタル格子上の長距離浸透モデル
に関する話題』

三角 淳

『地盤工学と国際貢献』

原 忠

教職員, 大学院生, 学生, 一般の方々のご来場をお待ちしております
(お問い合わせ: ryooka@kochi-u.ac.jp)

フラクタル格子上の長距離浸透モデルに関する話題

数学物理学科 数学コース 三角 淳

時間発展を伴う偶然現象を数学的に定義したものを確率過程と呼び、離散時間の基本的な確率過程の一つにランダムウォークがあります。ランダムウォークには非常に様々な種類のものがあり、そのどのような性質に着目するかについても様々な問題が考えられます。例えば古典的な事実 (Polya の定理、1921 年) として、「 \mathbb{Z}^d 上のシンプルランダムウォークは、 $d = 1, 2$ のとき再帰的、 $d \geq 3$ のとき非再帰的」であることが知られています。これはごく大まかに表現すれば、推移確率がどの方向も同じであるとき、直線上や平面上をでたらめに歩いた場合には確実に元の場所に戻ることができ、一方で立体的な空間上をでたらめに漂った場合には長時間経過すると元の場所に戻って来なくなることを意味しています。

\mathbb{Z}^d (d 次元正方格子) 上でのシンプルランダムウォークは問題として扱いやすい反面、多様な現象について理解する上で、より複雑な空間上でのランダムウォークを考えることなども重要となります。空間を複雑化する方法の一例として、 \mathbb{Z}^d やその他の空間上で、浸透モデルによるランダムグラフを考え、その上でのランダムウォークを考えるという問題があります。(二段階のランダムな構造が入ることになります。) 浸透モデルはもともとランダムウォークと関係なく相転移の確率モデルとして研究の対象とされてきたものであり、最も典型的な浸透モデルは隣接点同士がランダムにつながるボンドパーコレーションと呼ばれるものです。

本講演では、上記のような背景について説明した後、Sierpinski gasket 格子などのようなフラクタル格子における、長距離浸透モデルによるランダムグラフや、その上でのランダムウォークの性質に関する研究内容について簡単に紹介します。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

地盤工学と国際貢献

“古く”で“新しい”蛇籠擁壁の耐震性評価と 低コスト高品質蛇籠の開発途上国への普及

第30回 理工学部門 研究談話会
2020年1月29日

高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門 教授
防災推進センター 副センター長
原 忠

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

講演内容

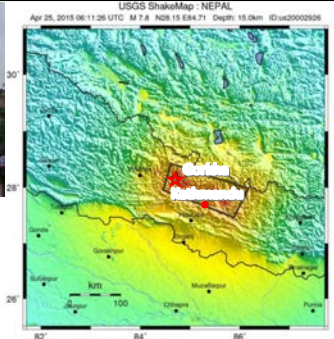
- 蛇籠との出会い 2015年ネパール・ゴルカ地震**
 - ネパール地震で粘り強く持ちこたえた蛇籠擁壁
 - 「多用途」で「安価」、「エコ」な蛇籠構造物
- 蛇籠構造物の歴史と産学官協働研究**
 - 蛇籠の起源と技術的変遷
 - 産官学を連携した国際的な研究体制の構築
- ネパール地震による蛇籠構造物の被害調査と実大実験による蛇籠擁壁の耐震性能評価**
 - 蛇籠構造物の用途と被害の程度
 - 開発途上国における蛇籠構造物の施工
 - 実大蛇籠擁壁の振動台実験と再現解析
- 低価格高品質防災蛇籠擁壁の普及を目指した取り組み**
 - JICA「草の根技術協力事業」の支援による実施工と現地技術者らと協働した設計・施工マニュアルの作成
 - 現場から芽生えた交流

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

1. 蛇籠研究のきっかけ

2015年ネパール地震 (現地時間: 2015/4/25 11:56発生)

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学



USGS ShakeMap - NEPAL
Apr 25, 2015 06:11:26 UTC M 7.9 N28.15 E84.71 Depth: 15.5km ©20200206

- 震源: 首都カトマンズ北西77km, ガンダキ県ゴルカ郡サウラビ
- 地震規模: Mw7.8 深さ: 15km (USGSによる推定)
- 死者: 8,400人以上, 負傷者: 14,000人以上
- カトマンズ盆地では**歴史的建造物**に大きな被害
- 経済損失: **50億ドル** (約6,000億円, ネパールのGDPの1/4に相当)

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

ネパール地震で “粘り強く”持ちこたえた 蛇籠擁壁



**コンクリートなどの剛性には
高い柔軟性、延性**

原ら: 2015年ネパール・ゴルカ地震における蛇籠構造物に関する被害調査(他3編), 第51回地盤工学研究発表会(2016) 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

「多用途」で「安価」、「エコ」な蛇籠構造物

● 山間部

- 道路擁壁
- 落石・土石流対策
- 地滑り対策
- ガードレール
- 砂防堰堤

● 河川流域・港湾施設低地部・都市部

- 河川堤防
- 河川護岸
- 港湾施設
- 水制工
- 沈下橋

● 都市部

- 親費用(建築物付帯)
- 仮設・応急復旧
- 構造物の補強




第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

2. 蛇籠構造物の歴史と研究の特徴

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

蛇籠の起源と技術的変遷



中国四川省都江堰の築造（紀元前360～250年）が起源。竹を材料とした円筒形の網の中に玉石、割石を中詰めし、**河川工事**に使用。

- 我が国では古事記（712年）に利活用の記載があり、1908年（明治41年）からは垂鉛メッキ鉄線が採用され、利用の幅が**斜面崩壊対策、砂防、路肩の崩壊防止等**に広がる。
- 日本工業規格では、1954年に蛇籠商品に対して、**垂鉛メッキ鉄線製蛇籠に関する事項 (JIS A 5513)**が規格化。
- ネパール国では、1988年（ビクラム歴2045年）に**蛇籠の金網や鉄線に関する事項 (NS 163, NS 169)**が規格化。

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

高知大学・佐賀大学・(国研)防災科学技術研究所・民間企業3社との連携協定・共同研究締結(2016年)

連携に至る経緯

- 各機関は2015年ネパール・ゴルカ地震被害調査や学会等の活動、各種審議会を通じ、**研究連携・共同研究の可能性**を探ってきた。
- 被災地支援・復旧、国際研究、技術者トレーニング、防災技術の現地移転を目標に、連携の活動の重要性を共有し、連携協定と協働研究の締結を行うことになった。

連携協定の目的

相互の包括的かつ持続的な連携と研究協力により、以下の成果が期待される。

- 各機関の強み、施設を生かした地震や津波、集中豪雨などの災害に対する防災・減災研究と防災支援の推進。
- 地域密着型の防災・減災連携拠点を形成し、地域の安全と安心に貢献し、地域社会（国内・国外）の形成、発展に寄与。
- 連携の強みを生かした科研費等の共同提案。
- 地方創生・地域防災力強化および連携。
- 技術・学術面での国内外の地震被害支援。
- ジャパンブランド防災技術の開発と普及、防災技術ガイドライン作成、現地デモ、技術者トレーニング。

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

蛇籠研究の研究組織と主な実施内容

① 現地調査 (主担当: 高知大学)

- ✓ 蛇籠構造物の利用実態・地震による被害形態の把握
- ✓ 設計・施工から維持管理に至るまでの課題と改善策の検討

② 室内要素試験 (主担当: 高知大学)

- ✓ 中詰材の粒子形状の違いが当時、地震時の力学特性に及ぼす影響の評価

③ 水平荷重試験 (主担当: 佐賀大学)

- ✓ 蛇籠の緊結、中詰材の形状や充填密度の違いが変形抵抗に与える影響の評価

④ 実大模型振動台実験 (主担当: 防災科学技術研究所)

- ✓ 実大蛇籠を対象とした振動台実験による耐震性能評価
- ✓ 緊結の有無が動的特性・変形特性に与える影響の評価

⑤ 数値解析 (主担当: 民間企業3社)

- ✓ 実大模型振動台実験の再現解析
- ✓ 動的解析による実物蛇籠擁壁の耐震性能評価


ネパール国を対象とした耐震性蛇籠道路擁壁の設計・施工マニュアルの提案

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

3. ネパール地震による蛇籠構造物の被害調査と実験による耐震性能評価

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

現地調査実施箇所



調査地点: アラニコ・ハイウェイ AH42号線

調査箇所: 計115地点

調査期間: 2015年7月22日
2015年11月23～24日
2016年11月16～17日

Start: Dhulikhel, End: Kodari

予備調査で地震による斜面崩壊が確認された箇所

http://www.gso.gov.np/wpp/wpp/salalille=1&z=27.730015,85.7396581=hybrid&lang=en (2016.02.29参照)

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

現地調査の項目

【利用・構造実態調査】

① 蛇籠

- ✓ 利用形態
- ✓ 構造
- ✓ 周辺状況
- ✓ 被害状況

② 中詰材

- ✓ 形状
- ✓ 材質・岩質
- ✓ 寸法

③ 籠枠

- ✓ 金網の寸法
- ✓ 鉄線の寸法
- ✓ 網目の形状

【設計・施工実態調査】



~被害状況の区分~



(A) 健全



(B) 孕み出し相当



(C) 崩壊

調査結果 蛇籠金網の材料特性と形状 (蛇籠製作会社へのヒアリングを含む)

【日本】溶接金網(機械網がほとんど)



【ネパール国】亀甲型金網(手編みが主)



- 1911年に開発された蛇籠製造機の実用化により、機械網がほとんどで網目は**菱形目**に**ほぼ統一**
- 用途に応じて籠枠に違いがあり、鉄線の線径に合わせて網目サイズが異なる
- 蛇籠上下左右は**堅結**
- 蛇籠内部の**連結材を配置**
- 溶接金網は設置後の変形が生じにくい
- **手編製法が主流**であり、網目は**魚目目**、1m×1m×1m籠枠が主流
- 枠線の線形は**運搬性・施工過程の屈曲性**
- **製造過程の作業性を重視し**、4mmが標準
- 蛇籠の上下左右の**堅結**や**蛇籠内部の連結材を省略するもの**が多い
- 垂れめっきの付着が少なく、**推定耐用年数が日本の約半分**(20年以下)

調査結果 設計・施工実態の把握



内側に玉石・端材

外側は岩塊をレンガ上に積層



背面の埋戻しなし

蛇籠の安定に必要な**基礎部の平滑化**や**緩勾配の設置**、**コンクリートや捨石による基礎処理**に明確な基準がなく、地震時の安定性に関する技術指針類がない。

用いた大型振動台(大型耐震実験施設・つくば)

Loading capacity	500 ton
Table size (area)	14.5m x 15m (217.5m ²)
Power supply	Hydraulic pump system
Shaking direction	Horizontal, 1-dimensional
Excitation force	3,600kN (four 900kN actuators)
Maximum acceleration	940cm/s ² for 200 ton 500cm/s ² for 500 ton
Maximum velocity	100cm/s
Maximum displacement	+/- 22cm



実験ケースと土質条件 (Case1)

実験ケース	入力加速度 (Gal)	蛇籠擁壁のモデルと形状	蛇籠の密度 ρ (t/m ³)	背後地盤の湿潤密度 ρ _w (kN/m ³)	背後地盤の締固め度 D _r (%)
Case1	65, 132, 203, 257	ネパール式擁壁モデル (直立式1列, 3段積)	15.80	17.09	86.4
Case2	85, 162, 244, 313	日本式擁壁モデル (階段状, 3段積)	15.41	18.19	89.9
Case3	83, 151, 249, 302	ネパール式補強擁壁モデル (直立3段積2列, 3段積)	15.08	18.23	90.5



実験ケースと土質条件 (Case2)

実験ケース	入力加速度 (Gal)	蛇籠擁壁のモデルと形状	蛇籠の密度 ρ (t/m ³)	背後地盤の湿潤密度 ρ _w (kN/m ³)	背後地盤の締固め度 D _r (%)
Case1	65, 132, 203, 257	ネパール式擁壁モデル (直立式1列, 3段積)	15.80	17.09	86.4
Case2	85, 162, 244, 313	日本式擁壁モデル (階段状, 3段積)	15.41	18.19	89.9
Case3	83, 151, 249, 302	ネパール式補強擁壁モデル (直立3段積2列, 3段積)	15.08	18.23	90.5

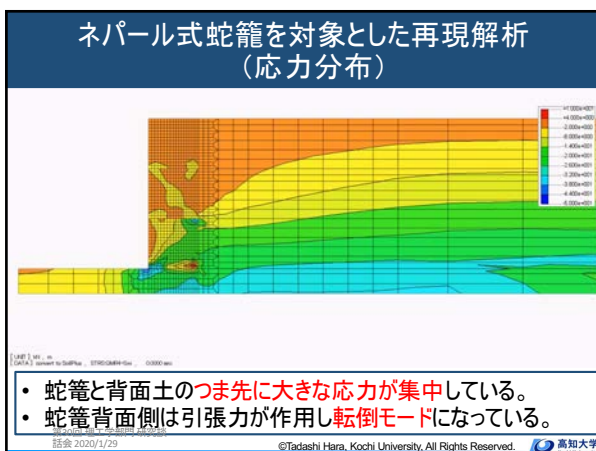
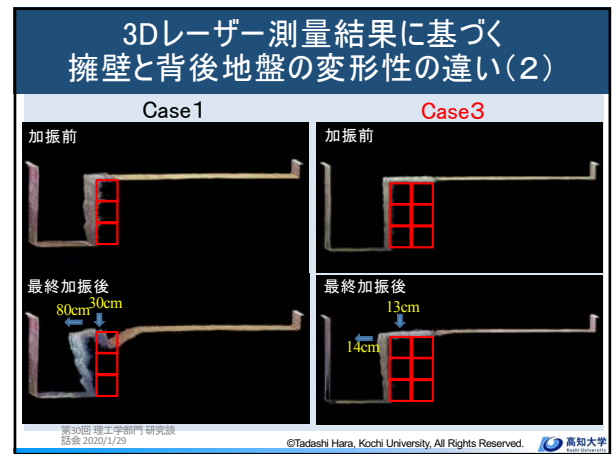
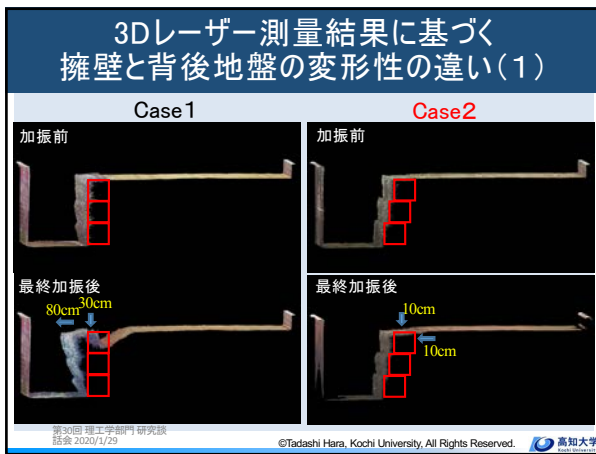
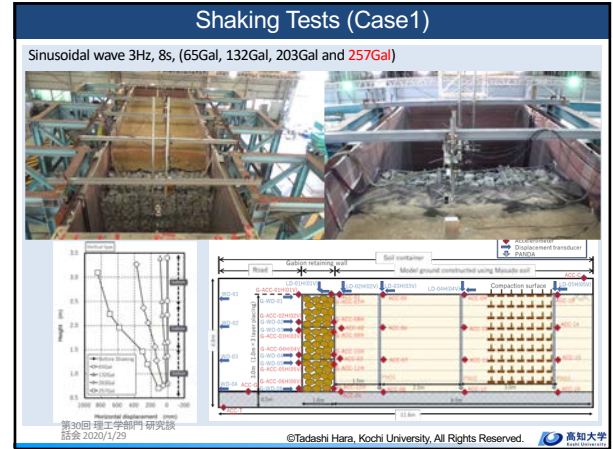


3

実験ケースと土質条件 (Case3)

実験ケース	入力加速度 (Gal)	蛇籠擁壁のモデルと形状	蛇籠の密度 ρ_s (t/m ³)	背後地盤の湿潤密度 ρ_t (kN/m ³)	背後地盤の締固め度 D_r (%)
Case1	65, 132, 203, 257	ネパール式擁壁モデル (直立式1列, 3段積)	15.80	17.09	86.4
Case2	85, 162, 244, 313	日本式擁壁モデル (階段状, 3段積)	15.41	18.19	89.9
Case3	83, 151, 249, 302	ネパール式補強擁壁モデル (直立3段積2列, 3段積)	15.08	18.23	90.5

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学



開発途上国における蛇籠構造物の施工 (メリットと課題)

籠の作成

ハンドメイドが中心
⇒生産性が低い
⇒品質にばらつきが大きい

中籠材の調達

材料の質を現地判断で加工
⇒量に依存する専門知識欠如
⇒不適切な加工による耐久性の低下

中籠作業(手作業)

加工された中籠材を籠中に詰め組立
⇒設計不備による耐震性低下
⇒技能不足による耐震性低下
⇒作業員の安全確保が不十分

擁壁の構築

積み上げて壁を構築
⇒不適切な施工でも多い
⇒専門知識欠如により、品質の改善につながらない

メリット

- 各種の自然災害対策として、多種多様な用途に使用可能
- 技術が簡単で、材料調達・運搬・施工が容易、開発途上国に受け入れられやすい
- 簡単な構造のため、地元技術者が技能を習得しやすく、新たな知識を即応用可能
- 自然材料を使用する地産地消型工法のため、経済性に富み自然環境にやさしい
- 柔構造・耐震性に富み、費用対効果が大

課題

- **力学的視点に基づいた施工実績**がほとんどない
- **経験学的知見のみに基づき施工**するため、**品質に大きなばらつき**
- **専門的な知識の欠如** (用途検討, 設計, 材料の作成, 施工と安全性, メンテナンス, モニタリング, 改善検討等)
- 人的資源に頼るため、**生産性が低い** (機械化施工の推進, 原材料のストック)
- 設計・施工要領などの**ノウハウ蓄積に乏しい**

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

4. 低価格高品質 防災蛇籠擁壁のネパール国への 普及を目指した取り組み

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

高知県梶原町 × 高知大学
JICA草の根技術協力事業(地域活性化特別枠)

ネパールにおける防災と環境を両立 させる現地適応型蛇籠技術普及事業



第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved.

梶原町 - 高知大学の連携のきっかけ

- ✓ 平成26年度より、梶原町の「中山間地域の地域防災力向上」のため講演を快諾。それから町の防災・減災対策のアドバイスをする関係に発展。
- ✓ キーワードは日ごろの「**人とのつながり**」と「**信頼関係**」



第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

JICA(国際協力機構)競争的資金への応募と採択

<https://www.jica.go.jp/partner/kusanone/index.html>



- JICA課題別研修(防災)の**海外研修生の受け入れ経験**にヒント。
- **科 研 費 で 得 ら れ た エ ビ デ ンス**の海外展開のチャンス。
- JICA四国職員との**密 な 交 流**と、国際連携推進センターのサポート。

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

受託事業の概要 (実施期間 2017年3月～2020年2月)

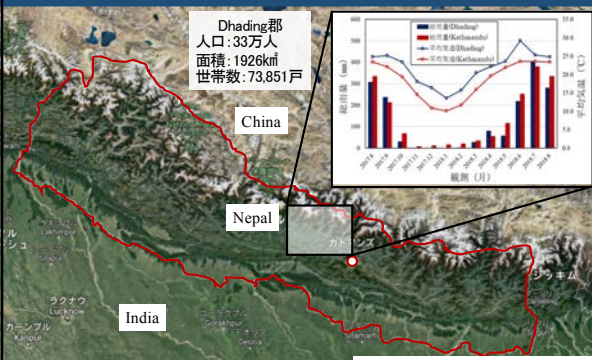
中山間地域における**環境にやさしい斜面防災技術の普及**による**生活環境の改善と貧困削減**を目標に、高知県梶原町の伝統的知見を活かした**現地適応型防災蛇籠技術の普及**と**ネパール国ダディン郡における道路安全性の向上**を図る。

【事業概要(主要な4項目)】

1. 蛇籠に対する現地技術者の能力開発と地域住民の理解促進
2. ネパールにおける現地適応型防災蛇籠の設置と改良
3. ネパールにおける現地適応型防災蛇籠の設計・施工マニュアルの作成
4. 山間地域「ゆすはら」の国内外への情報発信

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

パイロットサイト(ネパール国ダディン郡)



Dhading郡
人口: 33万人
面積: 1926km²
世帯数: 73,851戸

<https://www.google.co.jp/maps 2018/10/11>

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29
©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

本プロジェクトの組織体 (構原町ー高知県内技術者・石工ー高知大学との連携)

官

Yasuhara Town Above Cloud
雲の上の町 やすはら
職員派遣: 1~2人/回

産

大旺新洋株式会社
四万川総合建設
県内技術者派遣:
2人/回

学

高知大学
Kochi University
専門家派遣: 2人/回

【バックアップ体制】
・(国研)防災科学技術研究所
・佐賀大学
・民間企業、等

【派遣実績(2017~2018年度)】
・合計15回(通算97日間)
(科研費による派遣3回を含む)

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

地元住民を対象とした 中詰材の設置に関する実技講習会

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

蛇籠に対する現地技術者の能力開発と 地域住民の理解促進

若手現地技術者育成

蛇籠構造物に関する
住民意識調査

ネパール政府関係者・
現地技術者を交えたWS

蛇籠メンテナン
に関する住民講習会

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

ネパール・ゴルカ地震で被災した蛇籠擁壁の現地研修 (蛇籠の強靱性と現地工法の脆弱性の理解促進)

設置個所の選定, 籠枠の構造,
中詰材の良否, メンテナンスの継
続が設置後の長期耐久性に大
きく影響する

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

モニタリングによる日本型蛇籠の技術の適正化

Site1: Nepalese style

Site2: Nepalese and Japanese style mix

Site3: Japanese style

	Nepal (Site1)	Nepal + Japan (Site2)	Japan (Site3)
籠枠	φ3.9mm	φ3.9mm	φ3.9mm
金網	φ3.0mm	φ3.0mm	φ3mm
施工完了時期	2017.11	2018.2	2018.5
段数	5段	4~5段	4段
セツトバック	200mm	500mm	400mm

- ① 斜面土の物理特性
- ② サウンディング試験による背後地盤の把握と計時変化
- ③ 蛇籠擁壁の孕み出し量の定点観測と日本型蛇籠の性能評価

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

モニタリングの例 (Site1 ネパール式) 蛇籠擁壁の孕み出し量

蛇籠擁壁正面
計測対象外

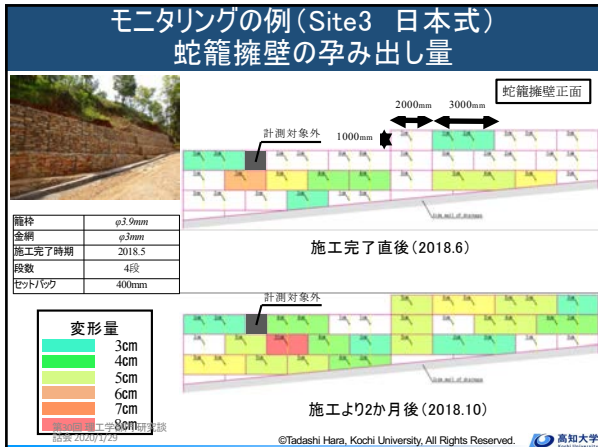
施工より7か月後(2018.6)

計測対象外

施工より11か月後(2018.10)

変形量	色
3cm	緑
4cm	黄緑
5cm	黄
6cm	オレンジ
7cm	赤
9cm	黒

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学



ネパール国Nilkantha市との連携に関する協議を開始



- a. Infrastructure (Technical Support)
- b. Education
- c. Agriculture
- d. Culture
- e. Social development

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

現地に派遣した大学院生に対する教育効果



途上国の実態に触れ、現地の技術者と共に考え行動することで**異文化を理解し、国際的な課題への関心を高めた**

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

交流から芽生える
防災



第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学

ご清聴ありがとうございました
ございました

ご意見・ご質問等は、
haratd@kochi-u.ac.jp
まで

高知大学地盤防災学研究室
Kochi University Geotechnical Engineering Lab.
<http://www.cc.kochi-u.ac.jp/~haratd/>

第30回 理工学部門 研究談話会 2020/1/29 ©Tadashi Hara, Kochi University, All Rights Reserved. 高知大学