

蛇籠を用いた道路擁壁の耐震性評価に関する 実大規模振動台実験

中澤 博志¹・原 忠²・末次 大輔³・栗林 健太郎⁴・西 剛整⁵・
三好 克明⁶・田所 佑理佳⁷・臼倉 和也⁸

¹ 正会員 防災科学技術研究所 地震減災実験研究部門 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1)
E-mail:nakazawa@bosai.go.jp

² 正会員 高知大学教授 防災推進センター (〒783-8520 高知県高知市曙町 2-5-1)
E-mail:haratd@kochi-u.ac.jp

³ 正会員 佐賀大学准教授 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1 番地)
E-mail:suetsud@cc.saga-u.ac.jp

⁴ 正会員 株式会社エイト日本技術開発 防災保全事業部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目
1-21)
E-mail:kuribayashi-ke@ej-hds.co.jp

⁵ 正会員 株式会社 CPC 全社耐震設計統括 (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 4-40-11)
E-mail:t_nishi@cpcinc.co.jp

⁶ 正会員 松井金網工業株式会社 本店土木諸工業営業部 (〒663-8154 兵庫県西宮市浜甲子園 3-5-3)
E-mail:miyoshi@matsuikk.co.jp

⁷ 学生会員 高知大学 総合人間自然科学研究科 (〒783-8502 高知県南国市物部乙 200)
E-mail:b12a3108z1110@gmail.com

⁸ 正会員 株式会社エイト日本技術開発 防災保全事業部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目
1-21)
E-mail:usukura-ka@ej-hds.co.jp

2015 年 4 月 25 日に発生したネパール地震において、道路閉塞が多発したアラニコ・ハイウェイを対象とした現地被災調査を実施した。中でも、多数の蛇籠構造物の利用と被害を確認したため、その構造形式や被害形態等をまとめた。この結果から、特に、直立 3 段積みの蛇籠擁壁の被災が顕著で、孕み出しや傾斜等の変形が多く確認された。本研究では、蛇籠擁壁の耐震性能評価及び地震時被災形態の要因を解明するため、現地と同様な構造形式の蛇籠擁壁を大型土槽内に再現し、実大規模振動台実験を実施した。その結果、加振後、蛇籠擁壁全面に大きな傾斜が生じ背後地盤に崩壊が確認されたものの、自立していることが確認された。このことから、蛇籠擁壁は柔構造ではあるが背後地盤の変形に追従し、転倒・破壊には至らないことが確認された。

Key Words: earthquake, damage survey, gabion, retaining wall, full-scale shake table test

1. はじめに

ネパール国は面積約 14.7 万 km² の発展途上国で、その地形・地質は変化に富む。国土全体で地震や風水害のリスクが高く、斜面災害や軟弱層に起因した市街地の地盤沈下、液状化など様々な地盤工学的課題を抱えている。近年では、2015 年 4 月 25 日に発生したネパール地震 (Mw7.3) により土木・建築構造物の多くが被災した。

筆者らは、地震発生後の 2015 年 7 月、11 月および 2016 年 11 月の三回にわたり、地震や地震後の豪雨で道路閉塞が多発したアラニコ・ハイウェイを対象に、被害実態や土木構造物の損傷程度などを現地調査し¹⁾、土木構造物に多用されている蛇籠構造物の利用形態や構造的な特徴を詳細に分析した²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。ネパール国では蛇籠構造物の主材料である河床礫が豊富であるため、安価で簡易な施工で対応できる利点を活かし、道路擁壁やガードレール

ル、水制工等として広く利用されていることがわかった。

本研究では、ネパールにおいて蛇籠擁壁の大きな孕み出しや崩壊が顕著であった直立3段積みの蛇籠擁壁を対象に、蛇籠擁壁の耐震性能評価及び地震時における被災メカニズムを解明するため、実大規模の蛇籠擁壁を用いた振動台実験を実施した。本論文では、実大規模実験で得た蛇籠擁壁の加振時応答データおよび残留変形について述べるものとする。

2. ネパールにおける地震被害調査

被害調査は2015年7月、11月および2016年11月の3回に渡り実施した。2015年7月の調査では、カトマンズ市内を中心とした被害全般を把握するためのものであったが、この際に蛇籠の多岐にわたる利用実態を確認できた。帰国後、アラニコ・ハイウェイに絞り、綿密な調査計画を立て、再度、沿線調査を実施した。本研究で実施した実大規模模型に関連する項目について簡単に紹介する。詳細は、参考文献^{2),3),4),5)}に述べられている。

(1) 蛇籠の利用状況と被害傾向

3回の調査を通じ、計115か所の蛇籠を利用した構造物を調査した。調査項目は用途、構造、周辺状況、蛇籠寸法・損傷状況、格子・針金寸法、中詰材材質および寸法であり、利用形態の内訳は、擁壁56か所(49%)、ガードレール22か所(19%)、護岸・水路等17か所(15%)、砂防・砂防堰堤6か所(6%)および山留等による崩壊防止13か所(11%)であった。なお、蛇籠単体は、現場の状況に合わせたサイズに調整したものが多々見受けられたが、幅、高さ、奥行きが概ね100cmのものが多く、蛇籠の積み方については、3段積みが最も多く確認できた。

調査時には被害形態をA～Cランクの三段階に分けて整理した。これらの定義は、被害形態Aは無被害、Bは孕み出し、およびCは崩壊である。写真-1に蛇籠擁壁の被害形態Bの事例を示すが、このように、孕み出し、あるいは蛇籠間の変形量の違いやずれが顕著な箇所が多数確認された。

(2) 中詰材の特徴

中詰材の形状は、主に岩塊、玉石および両者のミックスで構成されていた。現場でハンマーによる簡易検査を実施したところ、角礫の66%が岩級区分のCH(比較的岩質堅硬)、一方、玉石と玉石・岩塊ミックスの場合、B(岩質堅硬)が最も多く59%であった。なお、擁壁にはCHの岩塊が多用されているが、中詰材自体や蛇籠の変形・圧縮は見られなかった。



写真-1 アラニコ・ハイウェイ沿線被害調査における蛇籠擁壁の被害例



写真-2 振動台全景(実験土槽あり)

3. 実験概要

本研究で実施した実大規模模型実験は、蛇籠擁壁の耐震性能および地震時動的挙動を検証するため実施された。蛇籠擁壁の仕様に関しては、前章で述べた現地被害調査から、比較的多かった3段積みの直立構造の蛇籠擁壁とした。

加振時には、加速度と変位の計測による動的挙動を把握するとともに、加振前と各加振終了後、3Dレーザ測量を実施し、蛇籠擁壁の残留変形を調べた。また、サウンディング試験を実施し、蛇籠背後地盤の破壊形態について調査した。以下に、実験の概要について述べる。

(1) 実験装置

写真-2および図-1に、使用した振動台の状況写真と模型実験の断面図をそれぞれ示す。振動台は、14.5m×15.0m(搭載可能エリアは12.0m×12.0m)のテーブルサイズを有し、搭載重量は最大で500tf、また、加振能力として、500tf搭載時に約0.5G、250tf搭載時に0.8Gの加速度、またストロークは±22cmの仕様である。

振動台上にセットする実験用の土槽は、内寸法で高さ4.0m、幅3.1m、奥行き11.5mのサイズである。

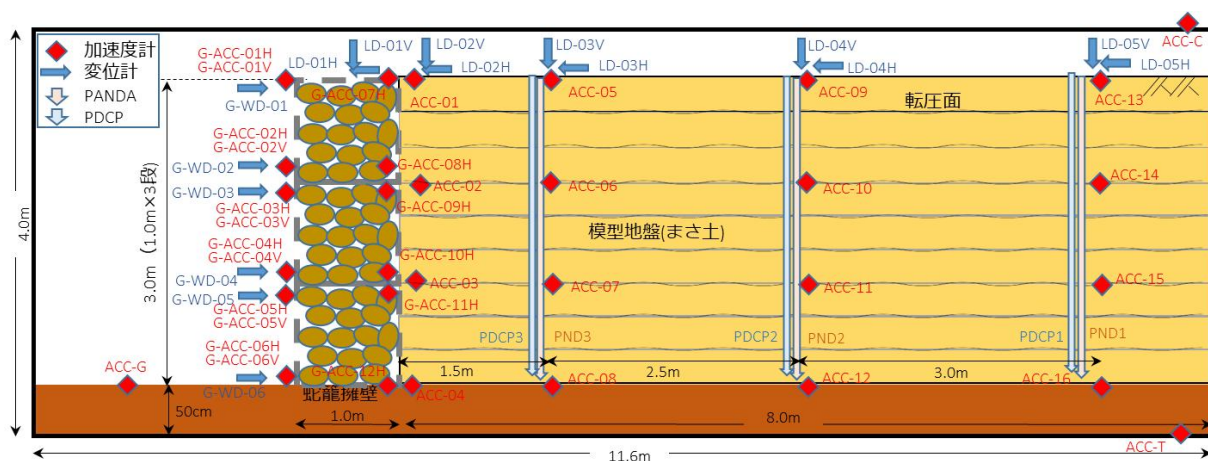


図-1 実験断面図

(2) 蛇籠材料および地盤材料

本実験に用いた各種材料は、擁壁用に蛇籠金網とその中詰め材である割栗石、また、背後地盤にはまさ土を用いた。各材料の特徴について、以下に示す。

a) 蛇籠の材料

蛇籠金網については、ネパール現地で用いられている製品の入手が困難であったため、日本で JIS(日本工業規格(JIS A 5513))化され調達可能な鉄筋径 $\phi 2\text{mm}$ 、網目が 13cm の菱形状の亜鉛メッキ製品を用いる事とした⁹⁾。ネパールでは、鉄筋径が $\phi 3\sim 5\text{mm}$ 、網目形状は亀甲状、四角およびの菱形状と様々なものが確認されたが、蛇籠擁壁の網目サイズは、最小で 9cm 、最大で 18cm であり、防錆処理が施されていないものも散見された。なお、写真-3 に示すように、蛇籠単体のサイズについてはネパール国内で広く用いられている $1\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m}$ のもの²⁾を使用した。

b) 中詰め材の性質

中詰め材に使用した割栗石の粒径は、「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」(JGS0132-2009)に準拠して計測を行い既往調査結果と比較した⁴⁾。本実験で使用した割栗石とアラニコ・ハイウェイ沿線の蛇籠擁壁における中詰め材の粒径のヒストグラムを図-2 に示す。両者を比較すると、実験に用いた材料は、 $15\sim 19\text{cm}$ 代の粒径のものが最も多く、平均では概ね 18cm であった。一方、蛇籠擁壁に供した材料は、 $20\sim 24\text{cm}$ 台が最も多くなっており、全体傾向としても、実験よりは大きめの粒径の材料が用いられているようである。ネパールでは自然材料をそのまま用いているケースが多く、かなり大きな礫材も混ざっていたものと推察される。なお、現地の被災形態では、B と判定された箇所が最も多いが、A～C の構成については粒径の大きさとはあまり相関が見られないようである。

次に、中詰め材の物理的性質および一軸圧縮試験の結果を表-1 に示す。模型実験に供した材料とネパールのものを比較すると、ポアソン比 ν に差異が見られるが、



写真-3 蛇籠組立状況

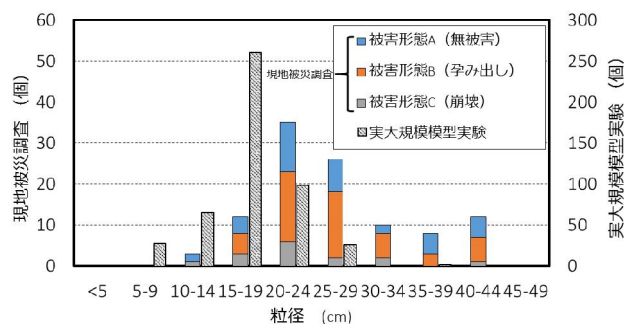


図-2 中詰め材のヒストグラム

表-1 中詰め材の物理・力学特性

材料種別		模型実験		ネパール現地被災調査
		割栗石1	割栗石2	
湿潤密度	ρ_t (g/cm^3)	2.653	2.736	2.702
乾燥密度	ρ_d (g/cm^3)	2.631	2.726	2.689
吸水率	w_a (%)	0.8	0.3	0.5
有効間隙率	n_e (%)	2.2	0.9	1.4
一軸圧縮強さ	q_u (MN/m^2)	109.1	199.0	124.3
変形係数	E_{t50} (MN/m^2)	42.3	54.2	48.2
ポアソン比	ν	0.310	0.273	0.233

その他の物理的性質や一軸圧縮強さ q_u 等は概ね同等と判断できることから、両者はほぼ等しい材料であるものと考えられる。

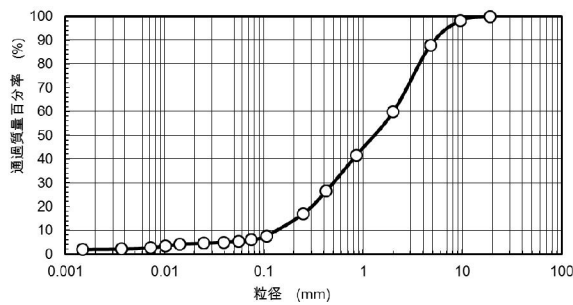


図-3 まさ土の粒径加積曲線

c) 模型地盤材料

模型地盤には、まさ土を用いた。図-3 および表-2 に、粒径加積曲線と物理・力学特性をそれぞれ示す。粒度の殆どが礫分と砂分で構成され、模型地盤造成時の施工管理に用いる最大乾燥密度 ρ_{dmax} は 1.884g/cm^3 であった。

(3) 実大模型の施工および模型地盤の調査

蛇籠擁壁は、蛇籠金網を組立て、土槽内の所定の位置に土槽幅 3.1m に相当する横 3 列に設置後、中詰め材である割栗石を丁寧に一つずつ手積みした。写真-4 に示すように、隣り合う蛇籠同士、および上下の蛇籠同士は針金で結合するとともに、たわみ防止のため、蛇籠内部に張線を使用し固定した。また、2 段目と 3 段目と順じ、擁壁を構築していったが、その過程で蛇籠前面に孕み出しが生じないように当て板で補強し、中詰め材を充填後、板を引き抜いた。最終的に、施工時の記録から中詰め材の密度は、 15.8t/m^3 であることを確認した。また、施工後に、現地被災調査と同様に、ハンマーによる簡易検査を実施し、岩級区分は CH と B が混じっていたが、約 6 割は CH と判断された。

模型地盤については、図-1 に示したとおり、土槽内に層厚 50cm の基礎地盤を造成し、その上にまさ土を撒き出し転圧した。1 層あたりの撒き出し厚を 30cm とし、10 層(3.0m 相当)造成した。転圧回数は予備実験の結果、施工性を考慮し、締固め度 D_c が 90%以上となる最低限の回数として 5 回と定めた。模型地盤造成時の平均含水比 w_c は 5.2%であり、最適含水率 w_{opt} より低かったものの、概ね D_c が 90%程度の背後地盤を造成することができた。なお、加振前に微小加振により計測したせん断波速度 V_s は、模型地盤中央部に設置された ACC09~12 の列の平均値で 140m/s 程度であった。

(4) 測定計画および加振条件

加振時の動的挙動を観測するため、図-1 に示す箇所において、加速度計を蛇籠擁壁と背後地盤に設置した。蛇籠擁壁には前面と背面に 6 基ずつ設置し、背後地盤内には、基礎地盤面からの高さが 0.9m、1.8m および 3.0m

表-2 まさ土の物理・力学特性

土粒子の密度 ρ_d		g/cm^3	2.634
粒度組成	礫分	%	40.2
	砂分	%	53.8
	シルト分	%	3.8
	粘土分	mm	2.2
最大粒径 D_{max}		mm	19.0
均等係数 U_c			14.726
50%粒径 D_{50}		mm	1.299
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/cm^3		1.884
最適含水比 w_{opt}	%		11.60
塑性指数 I_p			NP~4.5
三軸CD試験	c	kN/m^2	20.5
	ϕ	°	38.0



(a) 蛇籠同士の結合



(b) 蛇籠内に設置した張り線

写真-4 蛇籠擁壁施工状況 7

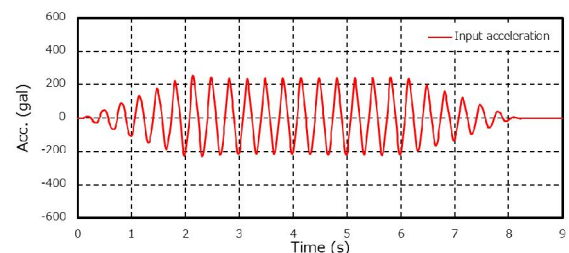


図-4 入力波形 (200Gal 入力時)

で、かつ蛇籠背後から、0m、1.5m、4.0m および 7.0m 離れた地点に 1 基ずつ設置した。また、巻取り式の変位計を蛇籠前面に 6 基設置し、レーザー変位計を蛇籠天端と背後地盤の地表面 4 箇所で水平、鉛直方向に設置した。

本実験の加振で用いた入力波は、蛇籠擁壁の共振周波数に近い 3Hz の正弦波とし、図-4 に示すとおり、漸増部、定常部および漸減部で構成される波を用いた。加振



写真-5 PANDAの実施状況

時には、加速度振幅を4段階に分けて加振を行い、目標入力加速度を50, 100, 150 および 200Gal とし、実際の振動台の応答加速度は、それぞれ 65, 132, 203 および 257Gal となった。以降、応答加速度を説明に用いるものとする。

(5) 3D レーザー測量および背後地盤調査

蛇籠擁壁と背後地盤の残留変形量を把握するため、加振前後において 3D レーザー計測を実施した。なお、計測時期は、加振前、203Gal および 257Gal である。なお、計測器の主な性能は、測定範囲が 0.6~330m で測定誤差が±2mm である。本計測は、照射したレーザーパルスが対象物から反射して戻ってくるまでの時間で距離を算出し計測するもので、回転しながら自動的に連続してレーザーの照射を行うため、一度に大量の点データを取得できる利点を有する。

背後地盤については、簡易動的コーン貫入試験 (PDCP) および軽量簡易動的貫入試験 (PANDA) を実施した。本論文では、PANDA のデータを用いて議論をするが、PANDA はフランスで開発され、盛土や埋土などの締固め地盤の評価に多く利用されている調査手法である⁹⁾。写真-5 に示すように、本手法は、狭隘地での実施が可能で、ハンマーによる任意の打撃力でロッドとその先端に接続した先端コーンを地盤に打ち込み、その時の1打撃毎の貫入抵抗値 q_d を求めることが出来るため、空間分解能が高いデータ取得が可能な特徴を有する。

4. 実験結果

正弦波による加振は、振動台応答値で 65, 132, 203 および 257Gal の4回実施した。水平変位については、203Gal の加振以降、蛇籠擁壁の変形が著しかったことから、特に擁壁上部や背後地盤地表面で計測が出来なかったチャンネルもあったため、3D レーザー測量を実施し、

各加振で生じた変形量を把握した。

加振結果の概要としては、1 段階目の 65Gal の加振では、蛇籠擁壁天端の水平変位は最大で 4mm 程度であり、蛇籠近傍における背後地盤については殆ど変位は生じなかった。2 段階目の 132Gal の加振では、蛇籠擁壁天端に大きな変位が生じ、これに伴い背後地盤でクラックの発生を伴ったすべり破壊が観察された。以降の加振で蛇籠擁壁の水平変位が増大するとともに、背後地盤のクラックの範囲が拡大した。まず、以下に代表的な加速度および変位の時刻歴データを示し、これに基づき、蛇籠擁壁の変形特性について、述べるものとする。

(1) 時刻歴データによる蛇籠擁壁の動的挙動

図-5 に蛇籠擁壁前面において、4 回の加振で計測された水平・鉛直加速度の時刻歴データを示す。加速度センサーは、蛇籠単体の上部・下部にそれぞれ設置されている。各加振を通じ、天端付近では、入力加速度に対し2倍程度の加速度が生じていることが確認できる。また、加振レベルの増加に伴う蛇籠擁壁の変形により、擁壁上部では鉛直加速度が生じるとともに、水平加速度がシフトしている様子がわかる。

図-6 に蛇籠擁壁前面における水平変位の時刻歴を示す。各ケースともに、加振に伴う水平変位の様子が確認できるが、(c)および(d)については、蛇籠擁壁の変形が増大したため、すべてのデータを取得できなかった。そこで、後に示す 3D レーザー測量結果からセンサ箇所の残留変位を確認しプロットし、加振中の水平変位を矢印により推定した。勾配に若干の差はあるが、加振に伴い、変形が累積したことが伺える。

132Gal 加振後における最上段の蛇籠擁壁天端 (G-WD-01, LD-01H) および背後地盤地表面 (LD-02H-05H) における水平変位の時刻歴を図-7 に示す。また、この加振段階において、擁壁から 1.1m の背後地盤に大きなクラックが生じ崩壊が見られたが、その状況を写真-6 に示す。この加振段階で生じた背後地盤におけるクラックの発生を伴うすべり破壊の原因は、図-7 に示すように、蛇籠擁壁天端(G-WD-01, LD-01H)と蛇籠擁壁直近の背後地盤 (LD-02H) において前方へ変位が徐々に累積しており、一方、その他の蛇籠擁壁より離れた地点の地表面変位との間に生じた位相差が要因として挙げられる。

(2) 蛇籠擁壁の変形特性

蛇籠擁壁前面の水平変位 (G-WD-01~G-WD-06) , 水平加速度 (G-ACC-01H~G-ACC-06H) および蛇籠擁壁背面 (G-ACC-07H~G-ACC-12H) に生じた水平加速度の深度分布を図-8 に示す。

(a)は、最初の 65Gal 加振において、入力波と蛇籠擁壁下段と天端付近の加速度の差が大きく表れた時刻付近を

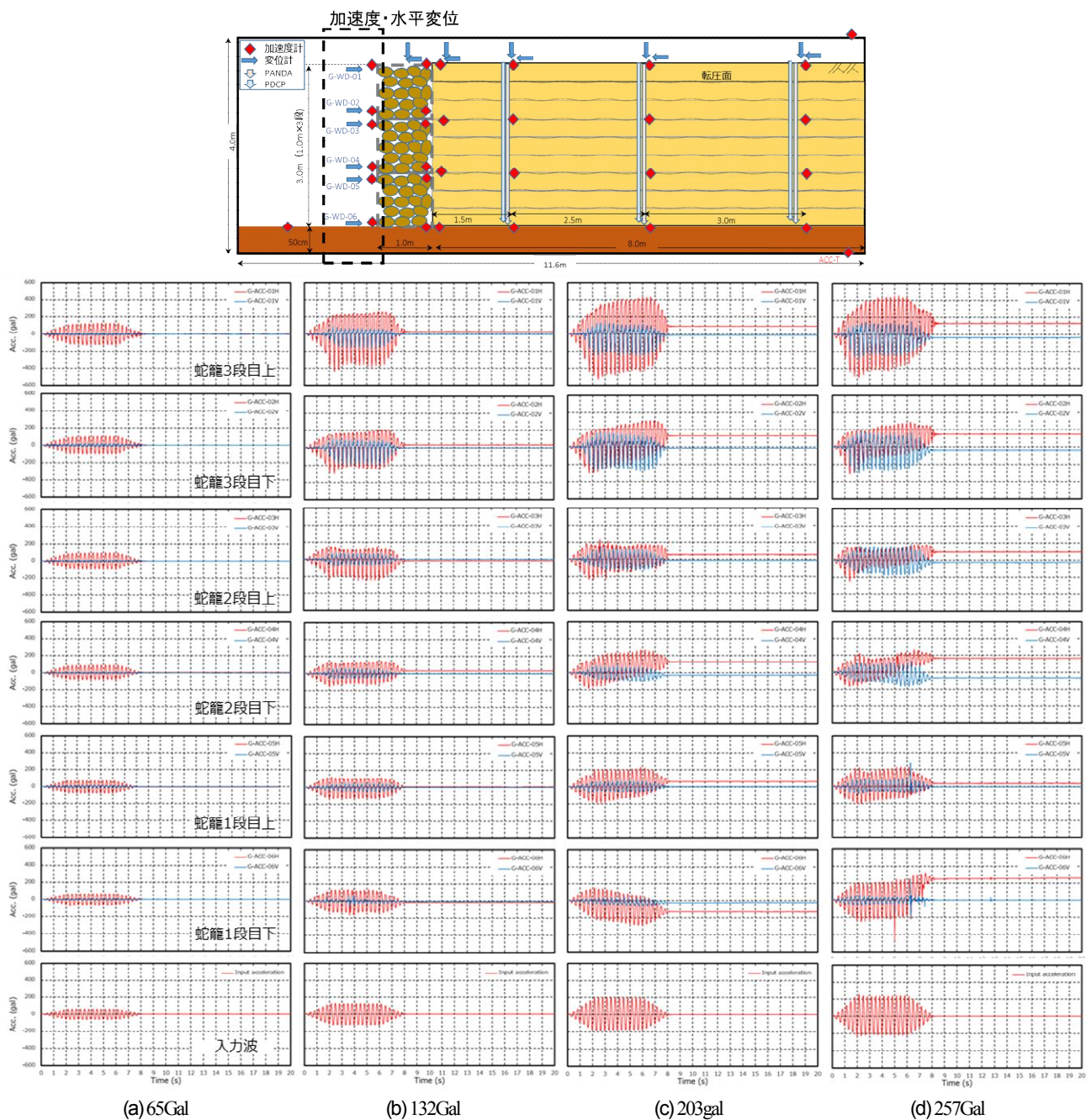


図-5 蛇籠擁壁全面における加速度応答

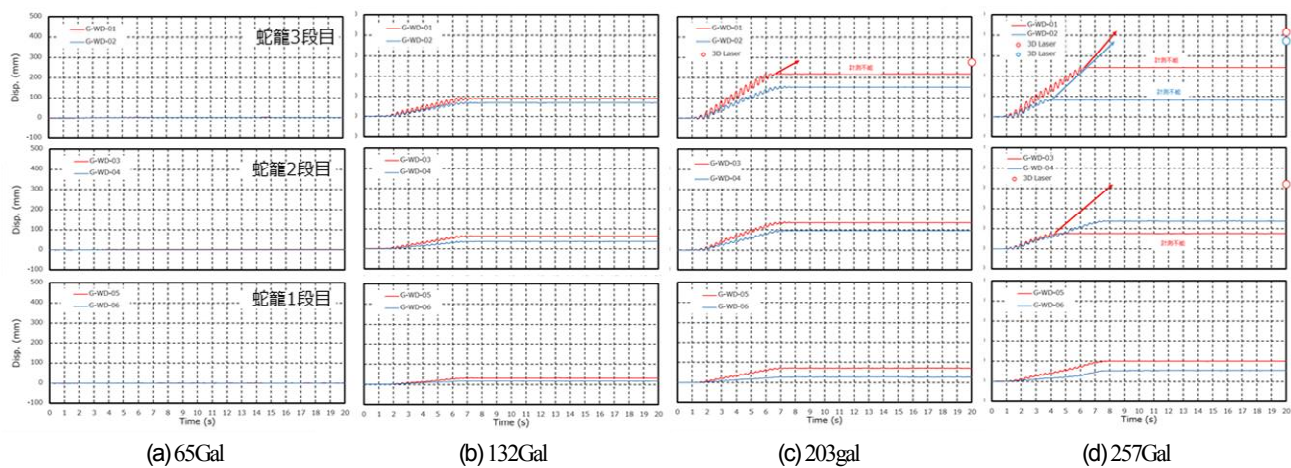


図-6 蛇籠擁壁全面における水平変位

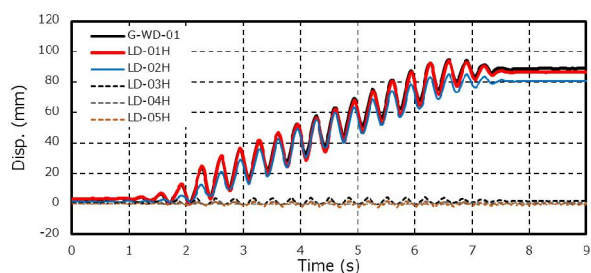


図-7 蛇籠擁壁天端および背後地盤地表面の水平変位時刻歴

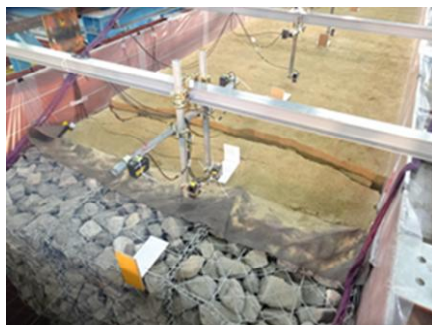


写真-6 132Gal 加振後のクラックの状況⁹⁾

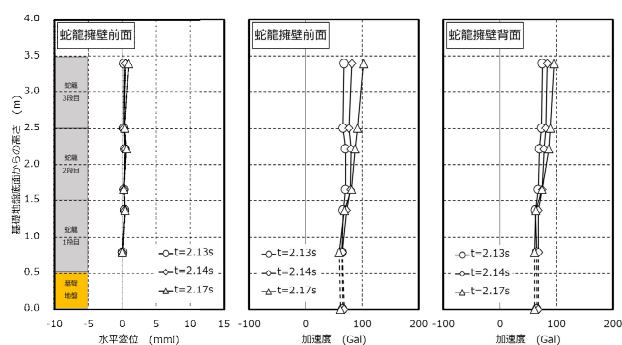
示したものである。蛇籠擁壁全体にわたり入力波に追従し、加速度および水平変位ともに、上部に向かって、増幅していることがわかる。

続いて(b)は、132Gal 加振において、背後地盤の累積水平変位が生じる時刻付近での蛇籠擁壁前面の水平変位 (G-WD-01~G-WD-06)、水平加速度 (G-ACC-01H~G-ACC-06H) および蛇籠擁壁背面の水平加速度 (G-ACC-07H~G-ACC-12H) の深度分布を示している。水平変位については、65Gal 加振時に比べ増加していることがわかる。一方、加速度については、蛇籠擁壁上部であるほど、短時間に土が入れ替わり、入力波との大きな位相差が生じる複雑な挙動を示していることがわかる。また、この段階で、蛇籠擁壁の前傾変形が顕著になり、背後地盤上部の一部が破壊・沈下し、蛇籠擁壁上部の背面に隙間が生じることにより、蛇籠擁壁の水平加速度ならびに水平変位を大きくさせる一因であったものと考えられる。

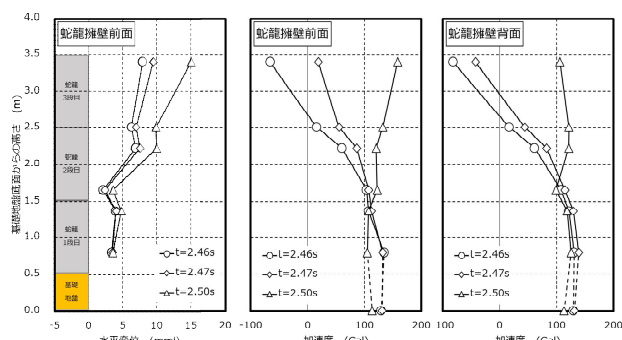
(3) 加振後の目視観察および地盤調査による評価

写真-7 に 257Gal 加振後の背後地盤の様子を示す。最終的には、背後地盤地表面には多数のひび割れが発生しており、特に加振前の蛇籠擁壁背面より 1.6m、2.1m および 2.8m 地点に比較的深い大きなクラックが確認された。

加振前後の背後地盤の変化を把握するために実施した PANDA による試験結果を図-9 に示す。試験実施箇所は、図-1 に示されているが、蛇籠擁壁に最も近い箇所から PND3、離れるに従い PND2、PND1 となる。加振前のいずれの結果も、約 0.3m の間隔で転圧面がピークとして周期的に現れている様子がわかる。加振後には、最も蛇



(a) 65Gal 加振時



(b) 132Gal 加振時

図-8 蛇籠擁壁の加速度および水平変位分布

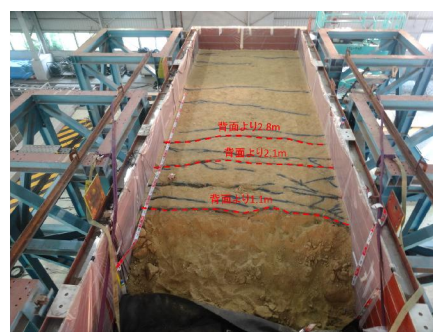
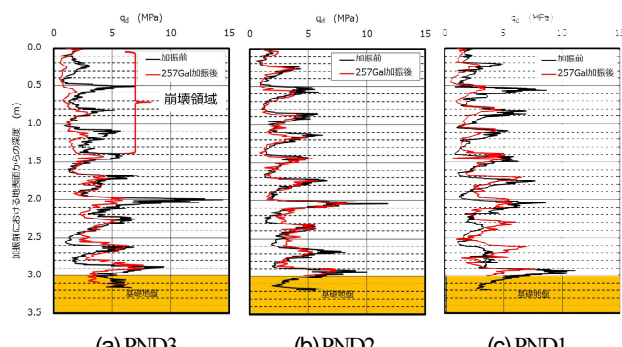


写真-7 257Gal 加振後のクラックの状況



(a) PND3 (b) PND2 (c) PND1

図-9 加振前後で実施した地盤調査結果

籠擁壁に近い PND3 において、地表面から GL-1.5m の範囲で q_d のピークの鈍化と著しい低下が見られ、すべり破壊した領域と推察される。

5. 残留変形の評価

蛇籠擁壁および背後地盤の残留変形状況について、3D レーザー測量により把握した。なお、3D レーザー測量は、加振前、203Gal および 257Gal 加振後に実施された。以下に、3D レーザー測量結果による蛇籠の残留変形傾向と加振時データや各種調査結果に基づく背後地盤の破壊について考察する。

(1) 3D レーザー測量結果

図-10 に 3D レーザー測量結果を示す。加振前に対し 203Gal 加振後には、蛇籠擁壁が前傾し、すべり破壊による背後地盤の落ち込みが確認できる。257Gal 加振後には、更に蛇籠擁壁の傾斜が進行し、背後地盤の崩壊が顕著になっている。ここで、3D レーザー測量結果と加振時の計測結果に基づき、蛇籠擁壁前面の変位計箇所における残留変形量を深度分布にまとめ図-11 に示す。加振レベルが上がる毎に蛇籠擁壁の前面への移動と傾斜が進行し、最終的には、天端部で 80cm 程度、平均的な傾斜は、 18° 程度生じたことが確認できる。また、この変形傾向は、写真-1 に示すネパール現地における蛇籠擁壁の変形傾向と類似する。

(2) 背後地盤の破壊

図-12 に背後地盤内で計測された加速度応答の時刻歴を示す。同図は、蛇籠擁壁背面近傍から 4m の範囲にある加速度から得られたデータを示しており、最下段には、入力波形も併記した。蛇籠擁壁背面近傍の ACC-01 は、既に地盤が崩壊しており応答加速度が小さいが、更に背後かつ地盤変状が少なかった ACC-09 を見ると、2.5 倍程度の増幅が見られる。各時刻歴において、加振後、値に大小はあるが、加速度が残留したままのセンサーが数箇所確認できる。これらは、ACC-01、ACC-02、ACC-03、ACC-05 および ACC-06 であったが、いずれも、蛇籠背面近傍かつ地表面に近い箇所に位置する。加速度が残留する理由としては、使用した加速度計がひずみゲージであることから、加振後に加速度計が傾斜することによって生じたものと考えられる。この加速度計の傾斜自体は、地盤の崩壊や破壊によって変形したことに起因するものと考え、概略ではあるがすべり破壊の範囲が推測できると思われる。そこで、図-10 に示す 3 種類の 3D レーザー測量結果から中心線の形状を抜き出し実線で示し、また、写真-7 で確認した地表面クラック箇所、および図-12 で確認した地盤は変形・破壊したと思われるセンサー箇所(■)を併記したグラフを図-13 に示す。132Gal 加震時から、最終的な 257Gal 加振によって、蛇籠擁壁背面の地盤の崩壊領域が拡大しているが、図示しているように、地表面のクラック箇所や加速度センサー



(a) 加振前



(b) 203Gal



(c) 257Gal

図-10 3D レーザー測量結果

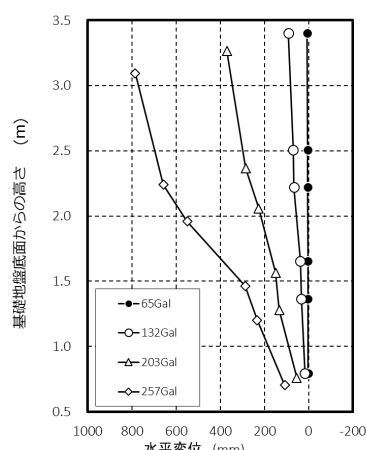


図-11 蛇籠擁壁前面における水平変位

で確認した地盤変状の領域を加味すると、蛇籠擁壁背後の底面から Acc-05 の背後を結ぶ付近に滑り線が存在していたのではないかと推察される。また、この推定滑り線は、加振後に実施した PANDA の試験結果のうち、PND3 で確認された緩み領域の下端付近とも概ね整合する結果を示している。

蛇籠擁壁上部近傍の段差および崩壊については、擁壁が前面に移動することで生じた隙間に背後地盤が流入したことによるものであり、また、土砂が流入することにより、更に蛇籠擁壁が大きく前傾する事となった。しかし、自立していることが確認されたことから、蛇籠擁壁は変形しやすい柔構造ではあるが、背後地盤の変形に追従し、その機能を完全に消失するような転倒・破壊には至らなかった。

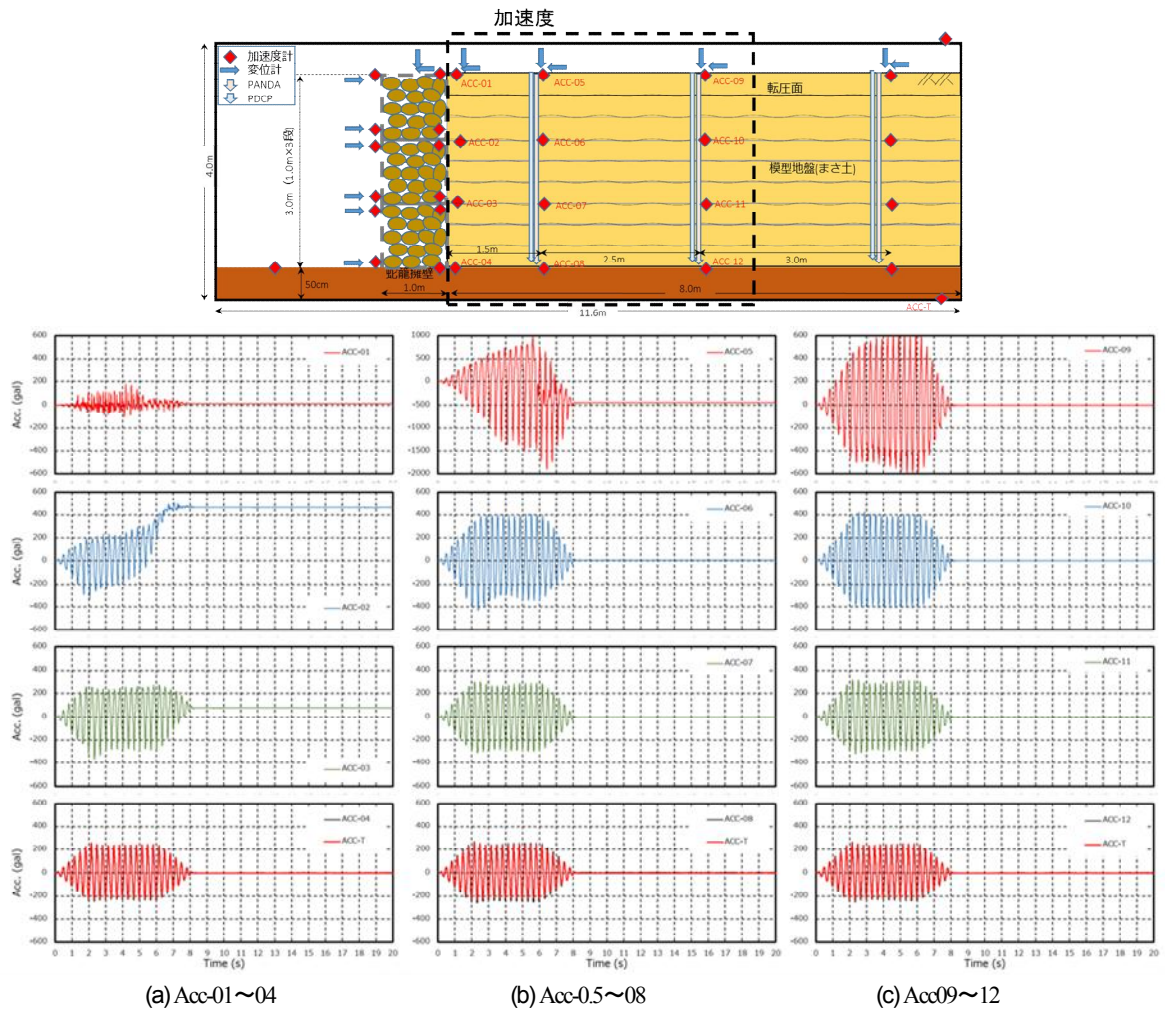


図-12 背後地盤内の加速度応答(257Gal)

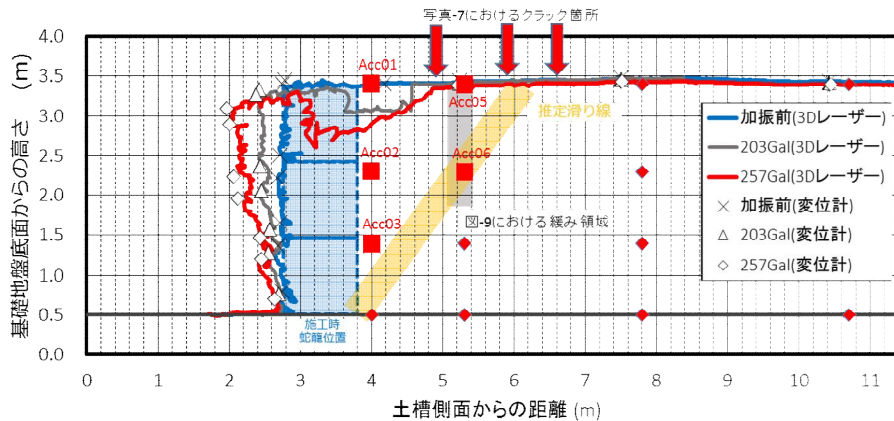


図-13 蛇籠擁壁の残留変形および背後地盤の変状

6. まとめ

本研究では、2015年ネパール地震の現地被害調査に基づき、蛇籠擁壁の実大規模模型による振動台実験を実施した。

実験では、現地で典型的な構造として、直立3段積み蛇籠擁壁構造を再現し加振を行ったが、蛇籠擁壁は加

振によって徐々に前傾して背後地盤が崩壊すること、また、背後地盤の崩壊は、蛇籠擁壁と背後地盤との加振時の位相差等の要因が一因であることがわかった。加振後には、蛇籠擁壁全面に大きな傾斜が生じ背後地盤に崩壊が確認されたが、基礎を施工しない状態で地盤上に施工したにも拘わらず、自立していることが確認された。このことから、蛇籠擁壁は柔構造あるいは可撓性に富み、

背後地盤の変形に追従することが出来ることから、転倒・破壊には至らないことが確認された。

謝辞：本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤 B（一般）16H04413 および（海外学術調査）16H05746）によるものである。また、調査および実験結果のとりまとめにあたり、佐賀大学卒業生松尾光流氏（現八千代エンジニアリング）の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Nakazawa, H., Manandhar, S., Hara, T., Suetsugu, D., Kuribayashi, K., Nishi, T., Sakuraba, T., Kariya, T., Kochi, Y. and Hazarika, H.: Report on damages caused by the 2015 Nepal Gorkha Earthquake, JAEE International Symposium on Earthquake Engineering, P2-36, 2015.
- 2) 原忠, 栗林健太郎, 西剛整, 末次大輔, Suman Manandhar, 中澤博志, 櫻庭拓也, 假屋隆文, 河内佑己, ハザリカ・ヘマンタ: 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（その 1 調査概要）: 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1661-1662, 2016.
- 3) 中澤博志, 原忠, 末次大輔, 栗林健太郎, 西剛整, 張浩, Pawan Kumar Bhattarai: 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（その 2 蛇籠実態調査）, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1659-1660, 2016.
- 4) 末次大輔, 原忠, 中澤博志, 栗林健太郎, 品川大地, 西剛整, 張浩: 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（その 3 蛇籠中詰め材の物理的性質）, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1661-1662, 2016.
- 5) 栗林健太郎, 西剛整, 張浩, Pawan Kumar Bhattarai, 原忠, 末次大輔, 中澤博志: 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（その 4 蛇籠中詰め材の施工方法）, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1663-1664, 2016.
- 6) 日本じゃかご協会: じゃかご工法の手引きと解説, 全 122p, 2008.
- 7) 原忠, 田所佑理佳, 張浩, 中澤博志, 田端憲太郎, 末次大輔, 松尾光流, 栗林健太郎, 西剛整, 三好克明, ハザリカ・ヘマンタ: 蛇籠を用いた道路擁壁の耐震性評価に関する実大規模振動台実験（その 1）—実験概要—, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.1555-1556, 2017.
- 8) Langton, D.D.: The Panda lightweight penetrometer for soil investigation and monitoring material compaction, Ground Engineering, September, pp.33-36, 1999.
- 9) 末次大輔, 松尾光流, 中澤博志, 原忠, 田所佑理佳, 栗林健太郎, 西剛整: 蛇籠を用いた道路擁壁の耐震性評価に関する実大規模振動台実験（その 2）—加振実験—, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.1557-1558, 2017.

FULL-SCALE SHAKE TABLE TEST ON ESTIMATION OF EARTHQUAKE RESISTANCE OF A RETAINING WALL FOR ROAD USING GABIONS

Hiroshi NAKAZAWA, Tadashi HARA, Daisuke SUETSUGU,
Kentaro KURIBAYASHI, Tsuyoshi NISHI, Katsuaki MIYOSHI,
Yurika TADOKORO and Kazuya USUKURA

In Nepal, gabions are used widely as not only river structures typified by river levee but also retaining walls for roads because of its simple construction technique and lower costs. However, many gabion retaining walls were damaged after 2015 Nepal Gorkha earthquake. In this study, a full-scale model experiment was conducted to estimate an earthquake behavior and a residual deformation of an erect triple layer placing gabion retaining wall which is 3m high as typical gabion structures seen there. A full-scale model was constructed by packing round stone materials into gabions and filling Masado soil behind the retaining wall in a large soil container. After construction, 4 times shaking tests were conducted and, an expansion of collapsed back fill due to dynamic behavior of the retaining wall was confirmed. According to the measurements of residual deformations, a large inclination of the retaining wall and horizontal displacement of about 80cm at the crest are confirmed. As a result, it was found that the gabion retaining wall is relatively flexible, but it doesn't lead to catastrophic destruction.