

中詰め材と金網の種類の違いが蛇籠の圧縮特性に与える影響†

中澤 博志* 末次 大輔** 原 忠***
栗原 裕之**** 西 剛整*****

Effect to the Compression Characteristics of Gabions due to Different Types of Filling Material and Steel Wire Mesh

by

Hiroshi NAKAZAWA*, Daisuke SUETSUGU**, Tadashi HARA***,
Hiroyuki KURIHARA**** and Tsuyoshi NISHI*****

The advantage of gabion structures is that they are simple, cost-effective, and quick to construct, and they are used in a wide variety of applications in Japan and abroad. However, despite the fact that wire mesh comprising the gabion has been used for a long time, there are few studies on its basic mechanical properties. Therefore, the design and construction of gabion structures are mostly based on experience due to the lack of established design methods. In this study, large triaxial compression tests on the stones for filling into gabion boxes and a series of compression tests on miniature gabions were carried out in order to understand the basic mechanical properties of the structures. From the tests, the compressive properties of the miniature gabions were found to be varied depending on the difference of geometry of the stone and the combination of the shape and direction of the wire mesh. These results suggest that an understanding on deformation mechanism of gabion structures is necessary for their reasonable design and construction.

Key words:

Gabion, Steel wire mesh, Stone material, Retaining wall, Earthquake damage, Shear behavior, Compression strength

1 緒 言

蛇籠の起源は紀元前 361 年～251 年頃、中国四川省の都江堰の築堤にあたり、竹を材料に亀甲型網目の円筒形の籠を編み、内部に玉石、割石などを充填して河川工事に使用したことから始まる。世界各国に伝わった今日では金網が使用されており、生産性を含め優位性の高い鉄の利用へと転換がなされていった。¹⁾ 明治 41 年には亜鉛メッキ鉄線を使用した蛇籠が作製され、昭和 26、27 年度に当時の建設省より施行された「蛇籠の亜鉛メッキ鉄線および構造上の基準」²⁾ をもとに、昭和 29 年 8 月には亜鉛メッキ鉄線蛇籠の日本工業規格 (JISA 5513) が制定された。一方、コンクリート構造物等のように詳細な設計基準はなく、蛇籠の高い屈撓性、透水性などの特性を考慮した耐震性を定量的に評価した研究はほとんど見られない。したがって、国内の土木工事や農業土木分野において、砂防施設や河川護岸等の防災用の仮設工か、あるいは環境・景観に配慮した、伝統工法の延長としての利活用に留まっているのが現状である。

過去の地盤災害において、蛇籠のような柔構造は、剛な構造に比べ、変形は許容しているものの崩壊に至らないケースが多々確認されている。³⁾ 蛇籠構造物は、簡易な構造かつ工費・工期ともに優れ、過去の地震被害調査から、変形は許容しても中詰め材に対する金網の拘束効果によって、容易に崩壊しないことが利点である。一方、基本的な力学特性に関する研究事例が少なく設計手法が未整備であるため、蛇籠構造物の設計・施工は経験に基づいたものとなっている。そこで、本研究では、蛇籠構造物の設計・施工を考える上で、力学的なメカニズムの把握が重要と考え、形状の異なる 2 種類の中詰め石のせん断挙動、および網目形状が亀甲型と菱形の 2 種類の異なる金網を用いたミニチュア蛇籠の圧縮試験を実施し報告する。

2 研究の経緯と課題

既往の地震被害調査から室内における試験研究までの一連の研究から見た課題について述べる。

蛇籠に関する最近の地震被害事例では、2004 年新潟県中越地震や 2008 年岩手・宮城内陸地震の際、コンクリー

† 原稿受理 令和5年6月7日 Received June 7, 2023 ©2024 The Society of Materials Science, Japan

* 静岡理科大学工学部土木工学科 〒437-8555 袋井市豊沢
Department of Civil Engineering, Shizuoka Institute of Science and Technology, Toyosawa, Fukuroi 437-8555.
** 宮崎大学 〒889-2192 宮崎市学園木花台西
University of Miyazaki, Gakuen Kibanadai-nishi, Miyazaki 889-2192.
*** 高知大学 〒780-8520 高知市曙町
Kochi University, Akebono-cho, Kochi 780-8520.
**** 栗原建材産業 〒427-0111 島田市阪本
Kurihara Kenzai Sangyou Co., Ltd., Sakamoto, Shimada 427-0111.
***** CPC 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場
Construction Project Consultants, Inc., Shinjuku-ku Tokyo 169-0075.



Fig. 1 Classification of damage types of retaining wall along Asian highway 42⁶⁾.

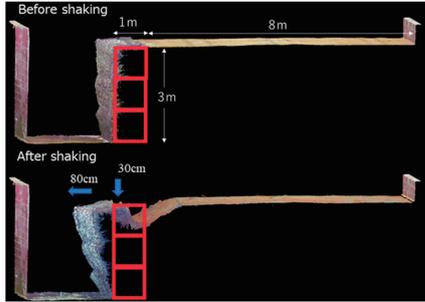


Fig. 2 Result of shake table test on full-scale model of gabion retaining wall⁷⁾.

ト擁壁等が被災しているにも拘わらず、蛇籠擁壁はその屈撓性から地震による地盤変形に追従し崩壊を防いだ事例が報告されている。⁴⁾ また、2015年4月25日に起きたネパール・ゴルカ地震では、中山間地域において、道路擁壁を始めとする屈撓性に富む蛇籠構造物が高い粘り強さを発揮し、その機能を維持した事例が確認された。^{4),5)} このような蛇籠構造物被害の様態について、Fig. 1に示す様に、原他⁶⁾によってアラニコハイウェイ沿いの蛇籠道路擁壁56箇所を (a)健全, (b)孕み出し相当, (c)崩壊に分類し、47箇所で崩壊に至っていないことが明らかにされている。

上述の蛇籠の利活用の実態を踏まえ、ネパール現地に多く存在した蛇籠道路擁壁を対象に、実大模型振動台実験を計3回実施し耐震性を評価した。⁷⁾ Fig. 2に示す様に、壁高3mの蛇籠擁壁と背後にまさ土を造成した地盤モデルを用い、蛇籠擁壁は変形しやすいが、倒壊までには至らない粘り強さと耐震性の高さが確認された。次に、現地調査における蛇籠擁壁の被害要因と実大実験における蛇籠擁壁の変形モードを分析するため、本研究で用いたミニチュア蛇籠と同じ一辺20cmのミニチュア蛇籠を用い、3段積み擁壁モデルの水平載荷試験が末次他⁸⁾によって実施された。本模型実験を通じ、隣り合う蛇籠同士の緊結の有無が現地での被害の大小を決定する大きな要因となっていることが分かった。

その後、Fig. 3に示す実大実験を対象とする再現数値解析を実施した。図中に示す各図は、実大実験における正弦波加振(加速度振幅132Gal)⁹⁾の実験結果を対象としたものである。(a) 蛇籠下端部(1層目)に生じた孕み出しと、(b) 加振中の変形図を比較すると、蛇籠擁壁のつま先に応力が集中し、変形が著しくなっている様子がわかる。また、(c) 変位の時刻歴を見ると、蛇籠の天端の残留変形に関する実験と解析結果に大きな差異が見られた。この要因として、蛇籠擁壁の動的挙動が不明確であり、蛇籠に対し地盤材料の構成則を援用していることが一因として挙げら

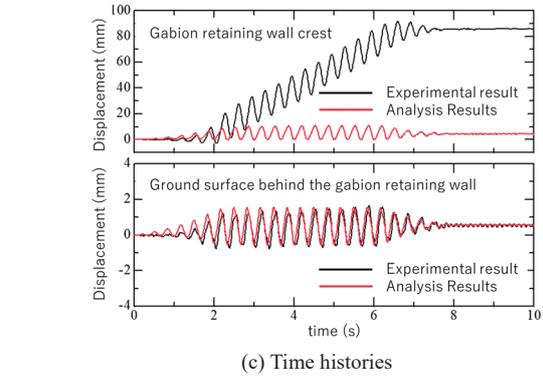
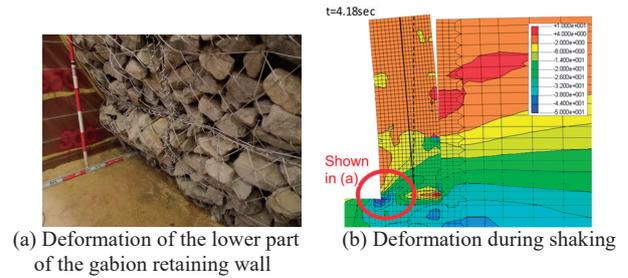


Fig. 3 Result of numerical analysis on full-scale shake table test using gabion retaining wall⁹⁾.

れる。蛇籠は、中詰め石とそれを拘束する金網が一体化して変形挙動するものである。いわゆる礫材や金網(鉄線)の力学特性についての検討事例はあるものの、一体化した構造体としての研究事例は殆ど見当たらないのが現状である。このような背景から、蛇籠は単純構造で扱いやすい一方、経験則に基づくものとなっており、既存の設計指針の援用レベルに留まっている。近年、主流となっている残留変形に着目した性能設計への対応のためには、先ず、蛇籠そのものの変形特性・メカニズムを明らかにすることが必要である。

3 本研究の目的と試験の概要

蛇籠の変形は、中詰め材のせん断特性と金網の拘束効果に依存すると考えられるが、既往の研究¹⁰⁾では、金網の引張試験によって、金網の基本的な変形性能について調べられている。本研究では中詰め石の大型三軸圧縮試験(CD試験)およびミニチュア蛇籠の圧縮試験を実施し、中詰め石の形状と金網の網目形状の違いが蛇籠全体の変形・強度特性に及ぼす影響を確認した。

本研究で用いられた材料は、ミニチュア蛇籠およびその金網の網目サイズに対応する中詰め石である。中詰め石の大型三軸圧縮試験では、現場で用いられる玉石と岩塊の縮尺を考慮し、Fig. 4に示す宮崎県西都市で採取された市販の材料を用いた。なお、岩塊はC-40相当に調整した碎石である(以下、碎石と称す)。粒径の範囲はそれぞれ、玉石で30~50mm、碎石で20~40mm程度の幅があり、Table 1に示す材料物性から、最大・最小密度はそれぞれ、玉石で $\rho_{dmax}=1.654 \text{ g/cm}^3$ および $\rho_{dmin}=1.394 \text{ g/cm}^3$ 、碎石で $\rho_{dmax}=1.383 \text{ g/cm}^3$ および $\rho_{dmin}=1.178 \text{ g/cm}^3$ であった。

ミニチュア蛇籠の圧縮試験では、Fig. 5に示す日本で用いられる菱形と海外で使用実績がある亀甲型の2種類の

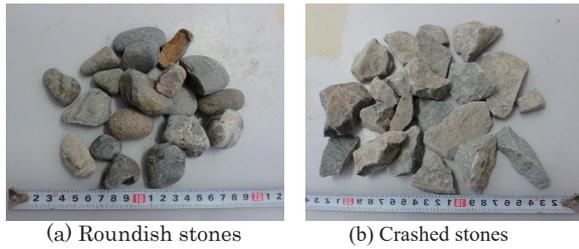


Fig. 4 Comparison between roundish and crashed stones.

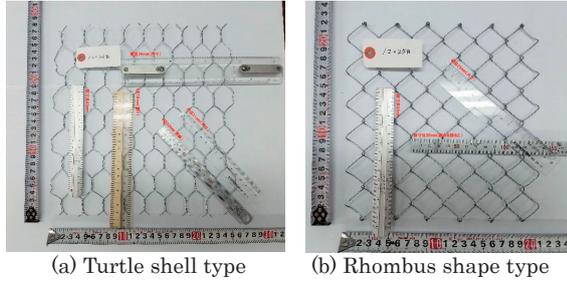


Fig. 5 Comparison of steel wire mesh types.

Table 1 Test condition and schematic results of stones.

Stone material	Roundish	Crushed
Maximum dry density ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.654	1.383
Minimum dry density ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.394	1.178
Dry density of specimen ρ_d (g/cm ³)	1.628	1.363
Relative density D_r (%)	90.0	90.2
Effective confining pressure σ_c' (kPa)	50	50
Compressive strength $(\sigma_a, \sigma_p)_{max}$ (kPa)	313.5	216.8
Axial strain ϵ_a (%)	4.8	12.9
Horizontal strain ϵ_v (%)	-1.68	1.04
Angle of shear resistance ϕ_d (°)	49.3	43.2

Table 2 Features of steel wire mesh.

Specification	Wire diameter (mm)	Tensile strength (N/mm ²)	mesh size (mm)
Frame border	1.40	365~378(372.5)	—
Rhombus wire mesh	Galvanized iron wire 1.19	361~374 (370.3)	25.1
Turtle shell wire mesh	1.2 ± 0.04	314~343(331.5)	32

網目形状の金網を使用した。ミニチュア蛇籠を構成する金網の線材は、既往で実施された引張試験¹⁰⁾に用いられたものと同様であり、Table 2に示す様に、線径 $\phi 1.2$ mmの亜鉛メッキ鉄線であり、線材の引張り強さは350~380 N/mm²であった。この線材を用い、現場の蛇籠一辺が1 mのものを想定し、1/5の縮尺相当として、ミニチュア蛇籠を準備した。網目のサイズは、現場の実寸で100 mm程度であったが、本試験では20~30 mmの縮小サイズとし、Table 2に示す材質の線材を用いた。菱形金網は山と谷に折り曲げた1本の線材同士を組み合わせたもので、亀甲金網は2本の線材を三回ねじり、六角形の一辺を形成して編んでおり、いずれの金網も200 mm×200 mmのパネルを製作し、籠として組み立てられている。4章以降に、既往の研究で実施した金網の引張試験¹⁰⁾、本研究で実施した中詰め石の大型三軸圧縮試験(CD試験)とミニチュア蛇籠の圧縮試験の試験方法と試験結果についてそれぞれ述べる。

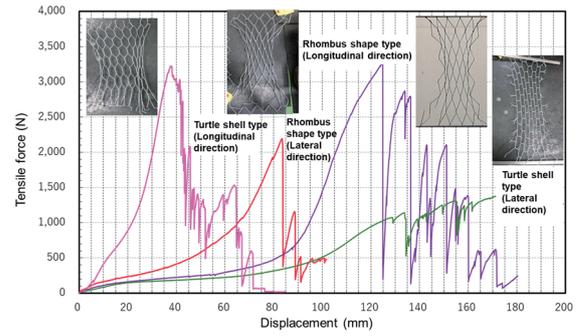


Fig. 6 Results of tensile tests of steel wire mesh¹⁰⁾.

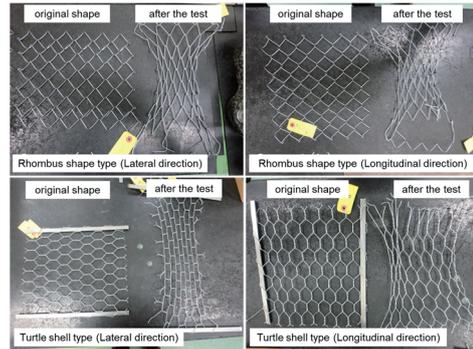


Fig. 7 Tensile deformations of steel wire mesh in all cases.

4 金網の引張試験

既往の研究で実施した金網の引張試験¹⁰⁾は、Fig. 5に示す一辺20 cmの金網端部の網目にボルトを通し、引張速度40 mm/minによって変位制御にて行われた。なお、金網形状によって、端部一辺あたりの網目の数が異なっているが、引張試験時に、金網のすべての接点に引張力が作用するよう考慮したためである。Fig. 5に示す金網上下方向への引張りを縦方向、水平に引っ張った場合を横方向とすると、Fig. 5(a)における亀甲型は、縦方向で8箇所、横方向で4箇所、一方、Fig. 5(b)の菱形は、縦横両方向で5箇所の固定数となる。

Fig. 6およびFig. 7に引張変位量と引張力の関係、試験前後の金網形状の状況をそれぞれ示す。なお、Fig. 6およびFig. 7において、菱形横方向、菱形縦方向、亀甲型横方向、亀甲型縦方向の4ケースの試験結果が比較されている。金網を形成する際、線材を一定のピッチで並べ、亀甲型であれば隣り合う線材を三回ねじり、あるいは菱形であれば、山形に折り曲げ加工された一本の線をお互いに引っ掛けていくが、この一本の線材の方向を列線あるいは列線方向という。本試験では、列線方向への引張りが縦方向、直交方向への引張りが横方向であることを意味している。

Fig. 6に示す金網形状が菱形における変位-荷重関係の傾向を見ると、金網の方向に拘わらず、いずれもピーク後に引張力を著しく減じ、その後、引張力の消失と負担を繰り返しながら、引張力が漸減している様子がわかる。また、Fig. 7に示す試験後の変形状に両者ともに大きな差はないように見受けられるが、金網の網目の方向に着目する

と、菱形金網については、横方向の列線構造の方が縦方向に比べ引張力の発現が早い、引張力のピーク値に関しては、縦方向の列線構造の方が大きくなっていることがわかる。いずれも、端部を治具で固定して引張り試験を実施したことで、ほとんどのケースで端部から破断が生じていた。仮に金網が半無限の面であれば、引張抵抗はまだ得られる可能性もあるが、実際の蛇籠も金網端部はコイルや番線などで固定され、類似の条件であると考えられる。本試験では、端部の破断が順次進行し、引張力がほぼ得られなくなった時点を終局状態として試験を終了した。

一方、亀甲金網に着目すると、引張方向の違いにより、変位-荷重関係の傾向は全く異なっていることがわかる。ねじり部が引張方向に平行である縦方向列線構造については、引張荷重の発現が最も小さい変位レベルで生じている。このケースでは、菱形金網のような節点で引張力を受け持つ機構ではなく、ねじり部の摩擦による影響が支配的であるものと推察される。横方向列線構造については、ねじり部が引張方向に対し直行し、Fig. 7 を見てもわかるように、試験後には網目形状がねじり部を短辺とする長方形に変形している。Fig. 6 に示す変位-荷重関係では、破断の影響が見られるが他のケースで試験が終了している変位レベルにおいても、引張力にピークは発現せず、変位に伴い漸増している様子が見られる。

5 中詰め石の大型三軸圧縮試験

本試験に供した 2 種類の中詰め石は、既往の実大規模模型実験⁷⁾ で用いられた中詰め材の平均粒径 D_{50} が 214 mm に対し、1/8~1/4 の範囲に分布するが、Table 1 に示す様に物理的特性がそれぞれ異なる。

せん断特性を比較するにあたり同一の指標が必要になるが、最小・最大密度が得られていること、また、粒状体であることを考慮し、相対密度を評価指標として試験条件を設定した。直径 $\phi=30$ cm、高さ $h=60$ cm の供試体は、大型三軸試験装置にセットされたモールド内で、突固めによる締固めによって相対密度 90% 相当の密詰めで作製された。試験時には、有効拘束圧 α' は 50 kPa の条件下で 0.1%/min の速度で圧縮荷荷が行われた。

Fig. 8 に軸差応力 q および体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_a の関係を示す。玉石と碎石のせん断特性を比較すると、両試料ともに、荷重直後から q が増加しせん断抵抗を発揮するが、碎石に比べ玉石の立ち上がりが顕著である様子が見られる。図中の矢印で示す箇所が q のピークを表しているが、玉石は $\varepsilon_a=4.8\%$ でピークに到達し、一方、碎石については明確ではないものの、13% でピークを示している。なお、一供試体だけの試験ではあるが、原点からの破壊包絡線を引くと、内部摩擦角 ϕ は、玉石が 49° 、碎石が 43° で玉石が大きいことが確認された。これらの結果は、実大模型振動台実験⁷⁾ で使用した中詰め材のおよそ 1/50 粒径の材料を用いた原他¹¹⁾ の報告と同様な傾向であった。

次に体積ひずみに着目すると、碎石の ε_v は荷重初期から減少し負のダイレイタンシー特性を示しているが、玉石は荷重初期に収縮傾向を示すものの、 $\varepsilon_a=2\%$ 到達時から

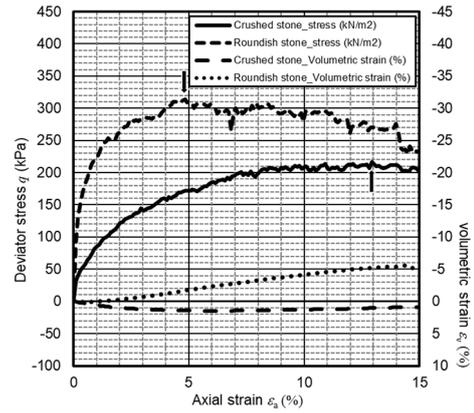


Fig. 8 Results of triaxial compression tests (CD) on roundish and crushed stones.

膨張的挙動に転じている様子が見られる。本試験は、2 種類の粒子形状を有する材料の相対密度や粒度組成がほぼ等しい条件で実施されているが、一般に粒状体のダイレイタンシー特性は、間隙比や最小・最大間隙比幅、あるいは体積収縮の程度を示す余裕間隙比が小さいほど、また、土粒子形状に着目した場合、粒径が丸い粒状体である方が、せん断特性が安定的であることが報告されている。¹²⁾ 粒子形状による初期骨格構造の違いに着目すると、せん断前に行った等方圧密で得られた軸ひずみ ε_a は、碎石で 0.62%、玉石で 0.40% であった。次に排水量から算定した ε_v はそれぞれ 1.88%、1.20% であり、これらのデータから水平ひずみ ε_h を算定すると、碎石で 0.63%、玉石で 0.40% となる。有意な差異であるか議論の余地はあるが、玉石の初期構造は等方的で圧縮性が低く、一方、碎石はその形状から骨格構造が変化しやすい性質を持つと考えられる。したがって、せん断されることによって、碎石で収縮的挙動、一方、玉石では膨張的挙動を示したものと推察される。

6 ミニチュア蛇籠の圧縮試験

ミニチュア蛇籠の圧縮特性を把握するため、Table 3 に示す 8 ケースの試験を実施した。亀甲・菱形の 2 種類の網目形状毎に、玉石と碎石 2 種類の中詰め石が用いられた。表中に示す試験ケースは、網目形状で亀甲が 1、菱形が 2、中詰め材で碎石が 1、玉石が 2、側面の列線方向が横向きで a、縦向きで b を表している。先の説明の通り、蛇籠の中詰め石の密度は、大型三軸圧縮試験と同様に相対密度 90% 相当の密詰めでした。なお、本試験は現地に施工された、幅 1 m、奥行き 1 m、高さ 1 m を標準とする蛇籠に対し、寸法効果による相似則や選択する線材についても検討の余地があるが、圧縮試験装置の空間的な制約から 1/5 サイズで実施し得る試験体を準備した。本検討では、中詰め材の変形に対する金網の拘束効果の把握を主目的としており、寸法効果は検討していない。

一連の試験はコンクリートの圧縮試験装置を用い、1.0 mm/min の変位制御によって試験を行い、圧縮量に加え側方の変形量も測定した。Fig. 9 に試験前後のミニチュア蛇籠試験体の様子を示す。いずれのケースも、試験後には、鉛直方向の圧縮によって水平方向への変形が生じているが、

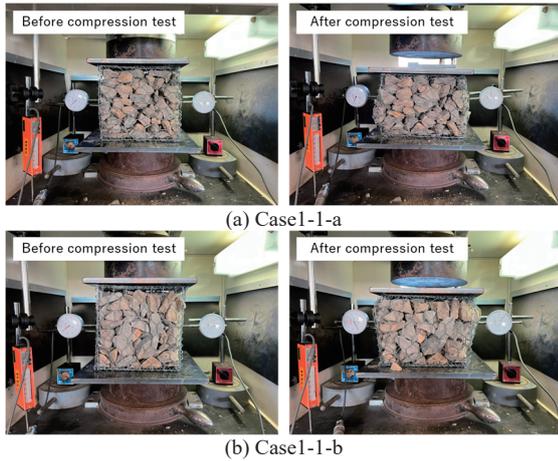


Fig. 9 Comparison of deformations of gabion models before and after compression tests.

Table 3 Compression test Cases on gabion types.

Case	Mesh type	Filling material	Side mesh direction	Mesh type and direction of compression
Case1-1-a	Turtle shell	Crushed stone	Longitudinal	
Case1-1-b	Turtle shell	Crushed stone	Lateral	
Case1-2-a	Turtle shell	Roundish stone	Longitudinal	
Case1-2-b	Turtle shell	Roundish stone	Lateral	
Case2-1-a	Rhombus shape	Crushed stone	Longitudinal	
Case2-1-b	Rhombus shape	Crushed stone	Lateral	
Case2-2-a	Rhombus shape	Roundish stone	Longitudinal	
Case2-2-b	Rhombus shape	Roundish stone	Lateral	

見た目では、局所的な変形を含め、孕み出しが顕著である様子がわかる。Fig. 10 および Fig. 11 に水平ひずみ-軸（圧縮）ひずみ関係、応力-ひずみ関係をそれぞれ示す。

Fig. 10 を見ると、(a), (b)に示す亀甲のうち、Case1-1-b や Case2-2-a において、圧縮に伴い生じる水平ひずみが大きく、一方、菱形については、いずれのケースも水平ひずみに対し圧縮ひずみが大きくなっている。次に、Fig. 11 を見ると、いずれのケースも圧縮荷重時の中詰め石の再配列と金網の変形拘束の繰返しにより、圧縮荷重の変動が大きくなっている様子がわかる。中詰め材の大型三軸圧縮試験では拘束圧を作用させるが、そもそも中詰め材は自立しないため、側面の金網の拘束によって試験が成立する。そのため、荷重初期の段階から側面の孕み出しを抑制する効果が無いと、中詰め材の変形が著しくなり、荷重開始から圧縮応力が発現しないものと推察される。この孕み出し抑制効果については、Fig. 11 より、列線方向が横向きの方が優れていると言える。

理想的な条件を考えると、側面の金網の引張り抵抗が有意に発現されるまでは、中詰め材のせん断特性が顕著であると考えられる。せん断強度が大きい玉石と、金網の引張り抵抗に強い異方性を持つ亀甲金網の組み合わせである Fig. 11 (b) に着目すると、側面の拘束効果が最も低い配置である縦列線では、殆ど圧縮応力が発揮されていない状態である。三軸試験における有効拘束圧と金網による拘束効果を同時に比較することは難しいが、中詰め材のせん断特性を活かすためにも、列線の方を考慮した配置が必要であろう。

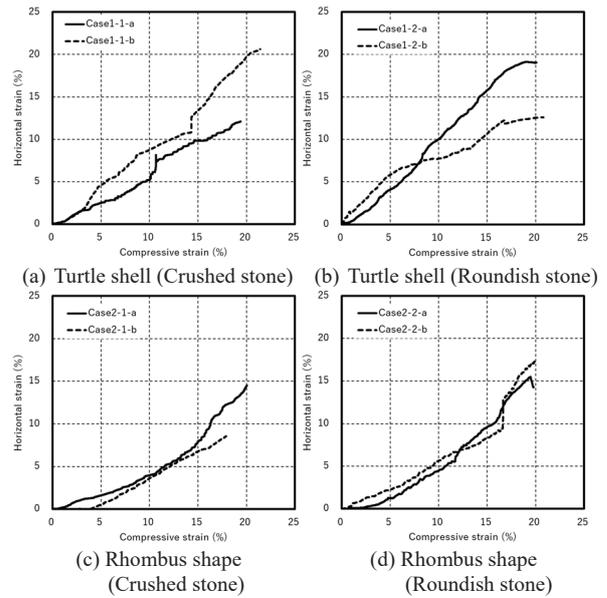


Fig. 10 Relationship between compressive and horizontal strain in Case1 and Case2.

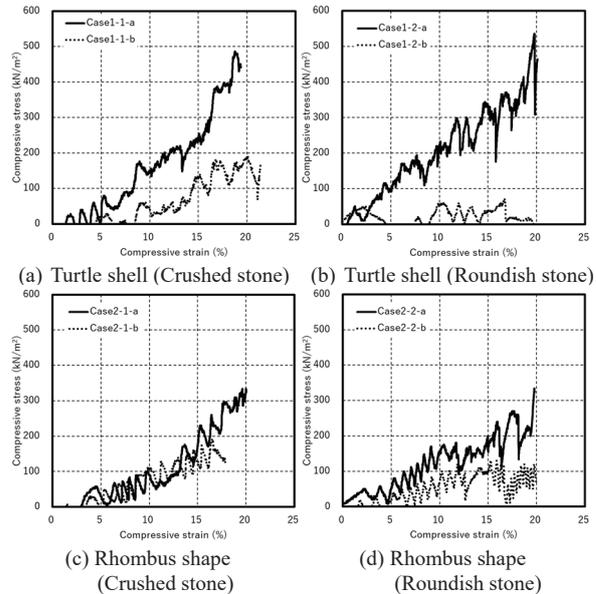


Fig. 11 Relationship between compressive strain and compressive stress in Case1 and Case2.

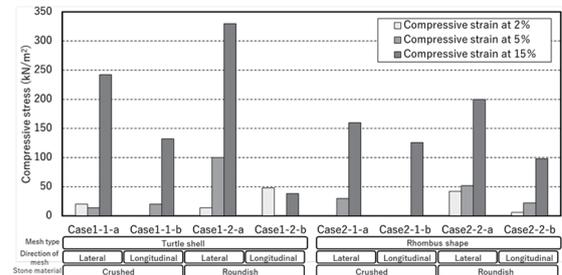


Fig. 12 Comparison between compression stress on all cases.

7 蛇籠の圧縮特性に関する考察

Fig. 12 にミニチュア蛇籠の圧縮試験における全ケースの圧縮強度の比較を示す。全般的には、各ケースの圧縮ひずみと圧縮応力の関係に明確なピークが得られなかったため、Fig. 11 に示した各ケースにおける $\epsilon_a=2\%$, 5% , 15%

時の圧縮応力を整理した。いずれのケースにおいても、 $\epsilon_a=2\%$ 、 5% 時の圧縮応力に大きな差異は認められないが、 $\epsilon_a=15\%$ では圧縮応力に明確な差が確認できる。

金網の引張抵抗が発揮される蛇籠側面の網目を横向きにしたすべてのケース、かつ、中詰め石のせん断抵抗が大きかった玉石の試験ケースにおける圧縮強度が相対的に高いことがわかる。最も圧縮強度が高かったケースは Case1-2-a、一方、最も圧縮強度が得られなかったのは Case1-2-b であったが、両ケースはいずれも亀甲網目による蛇籠で玉石を使用している。玉石のせん断抵抗は碎石に比べ高いが、列線を縦にした Case1-2-b では、圧縮ひずみが大きくなると、中詰め石である玉石のせん断抵抗が減少することに加え、列線方向が縦であるための引張抵抗不足が要因として考えられる。逆に、Case1-2-a は、列線が横配置である金網の引張抵抗が有効に得られた結果であり、Fig.6 に示す引張特性とも整合している。

8 結 言

金網による中詰め石の変形拘束効果は、中詰め石の変形に応じて発現されるものである。本来、金網の有無によって直接比較できれば、金網の拘束効果の評価が容易であるが、中詰め石は拘束圧条件下で自立するため、大型三軸圧縮試験とミニチュア蛇籠との比較は難しい。大型三軸圧縮試験における中詰め石のピーク強度の軸ひずみは碎石で $\epsilon_a=13.0\%$ 、玉石で $\epsilon_a=4.8\%$ であり、一方、ミニチュア蛇籠の圧縮応力は、網目の種類や方向によって異なるものの、 $\epsilon_a=2\sim 5\%$ を超えた範囲で発揮されることから、中詰め石がピーク強度を示した後、金網の粘り強さを発揮したものと考えることができる。

圧縮試験結果から、中詰め石の形状や変形を拘束する金網の網目形状とその方向の組み合わせにより、圧縮特性が異なることがわかった。圧縮荷重による側方への孕み出しに対し、列線方向が水平に配置されると変形を抑制し、圧縮応力も大きい結果を得た。現場で多段積みを行う際、下層部に配置する蛇籠にとって重要なメカニズムと考えるが、水平方向にも配置された隣り合う蛇籠同士の変形拘束も考慮する必要があると考える。

また、蛇籠の圧縮強度に及ぼす蛇籠金網の網目形状の違いについては、今回実施した 8 ケースにおける圧縮強度の最大・最小ケースは、いずれも玉石を中詰めした亀甲網目によるものであった。すべてのケースにおいて、圧縮に伴う側方への孕み出しが生じると、列線を縦配置にした場合よりも、横配置の方が金網の引張抵抗を有効に発揮し、高い拘束力が得られていた。特に、金網の引張試験結果から、亀甲金網は強度異方性が強いいため、極端な結果が出やすいと考えられる。上記は、蛇籠構造物の設計上で重要なメカニズムであり、変形を考慮した上で、金網の列線方向を決める必要があることを示唆するものである。

最後に、本研究は、(公財)戸田育英財団 2021 年度研究助成を受け実施した。圧縮試験の実施は、宮崎大学大学院(当時)の那須龍斗氏のご助力を得た。その他、ご助力を賜った関係各位に記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) E.g., "Knowledge of gabions", Ed. Japan River Association (1963) Public Interest Incorporated Association of Nationwide Disaster Prevention.
- 2) Japan Jakago Association, "Construction method guidance and explanations" (2023).
- 3) T. Kokusho, T. Ishizawa and T. Hara, "Slope failures during the 2004 Niigataken Chuetsu earthquake in Japan", Earthquake Geotechnical Case Histories for Performance-Based Design, pp.47-70 (2009).
- 4) H. Nakazawa, S. Manandhar, T. Hara, D. Suetsugu, K. Kuribayashi, T. Nishi, T. Sakuraba, T. Kariya, Y. Kochi and Hazarika, "Report on damages caused by the 2015 Nepal Gorkha earthquake", JAEE International Symposium on Earthquake Engineering, P-2-36, 9p (2015).
- 5) T. Hara, D. Suetsugu, S. Manandhar, H. Nakazawa, K. Kuribayashi, T. Nishi, T. Sakuraba, T. Kariya, Y. Kochi and H. Hazarika, "Damage survey on gabion structures in the 2015 Nepal Gorkha Earthquake -Outline of survey-", 51st Japan National Conference on Geotechnical Engineering, pp.1657-1658 (2016).
- 6) T. Hara, H. Nakazawa, D. Suetsugu, K. Kuribayashi, Y. Tadokoro, K. Miyoshi and H. Zhang, "Field survey on damages of gabion structures caused by the 2015 Nepal Gorkha earthquake and examination of specific measures for earthquake resistance improvement", Journal of JSCE (A1), Vol.74, No.4, pp.I-586-597 (2018).
- 7) H. Nakazawa, T. Hara, D. Suetsugu, T. Nishi, K. Kuribayashi, K. Miyoshi and S. Shimomura, "Experimental evaluation on earthquake-resistance of road retaining wall using gabion", Journal of Disaster Research, Vol.13, No.5, pp.897-916 (2018).
- 8) D. Suetsugu, T. Hara, H. Nakazawa and Y. Tadokoro, "Evaluation of earthquake resistance of retaining wall using gabions by laboratory tests -Part.2 Lateral loading test for model gabion retaining wall", 53st Japan National Conference on Geotechnical Engineering, pp.1797-1798 (2018).
- 9) T. Nishi, T. Hara, H. Nakazawa D. Suetsugu and R. Shibahara, "Evaluation on numerical analysis for earthquake resistance of a retaining wall using gabions" The 15th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp.397-406 (2018).
- 10) H. Nakazawa, T. Nishi, H. Kurihara, D. Suetsugu and T. Hara, "Basic study on deformation evaluation of steel wire mesh for rational gabion structure design", EPI International Journal of Engineering, Vol.2, No.2, pp.109-115 (2019).
- 11) T. Hara, Y. Tadokoro, D. Suetsugu, H. Nakazawa, T. Nishi, K. Kuribayashi, H. Matsuo and K. Miyoshi, "Study of earthquake resistance rating method for gabion retaining walls (Part 1) -Elemental tests of filling materials", Japan Society of Civil Engineers 2017 Annual Meeting, pp.481-482 (2017).
- 12) Y. Yoshimura and S. Ogawa, "The influence of the primary properties on the void ratio and shear characteristics of granular materials", Journal of JSCE, No.487, III-26, pp.99-108 (1994).