

蛇籠を用いた構造物の合理的な設計手法のための変形メカニズムに関する実験研究

中澤博志*・栗原裕之**・末次大輔***・原忠****

Experimental studies on deformation evaluation of steel wire mesh for rational design of gabion structure

Hiroshi NAKAZAWA*, Hiroyuki KURIHARA**, Daisuke SUETSYGU*** and Tadashi HARA****

*研究代表者 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 nakazawa@bosai.go.jp

** 日本じゃかご協会 h-kurihara@kurihara-kenzai.co.jp

*** 宮崎大学 suetsugu@cc.miyazaki-u.ac.jp

**** 高知大学 haratd@kochi-u.ac.jp

Abstract

蛇籠を用いた構造物の利点は、簡易な構造かつ工費・工期ともに優れている点であり、国内外で多種多様に用いられている。過去の地震被害調査においても、変形は許容しているものの、崩壊に至らないケースが多く確認され、中詰め材である石に対する金網の拘束効果が高いことが実証されている。しかし、蛇籠の設計・施工は経験に基づいたものであり、設計手法が未整備であることから、日本国内においては、積極的な利活用や恒久的な構造物としての建設に至っていないのが現状である。そこで、蛇籠を用いた構造物の設計手法構築にあたり、まずは基礎に立ち返り、金網そのものの変形メカニズムを詳細に把握する必要があると考えた。本研究では、形状の異なる金網の引張試験を実施し、その強度および変形特性の把握と数値解析を試みた。引張試験から、金網形状と引張方向により変形特性が異なり、金網の節点と引張が作用する方向が重要であること、および梁要素を用いた FEM 数値解析により試験結果の再現が可能であることを示した。

Key words: 蛇籠, 金網, 変形特性, 引張試験, 数値解析

1. 研究の経緯と全体概要

本研究の始まりは、科研費（基盤）を獲得し平成 27 年度～29 年度に渡り実施した蛇籠を用いた耐震性道路擁壁の開発に関する実験研究¹⁾において課題として挙げた蛇籠金網の力学特性を解明するためであった。先行研究では、主に、2015 年ネパール・ゴルカ地震の被災調査²⁾および実大蛇籠擁壁の震動台実験³⁾を主に実施しデータの分析を行ってきたが、そこで得られた主な知見は次の通りである。

- 1) 被災現場調査から、蛇籠擁壁の変状は、孕み出しや軽微な変形・損傷が主で、蛇籠の粘り強さから崩壊まで至るケースは比較的少なかった。
- 2) 蛇籠擁壁のみの実大震動台実験から、蛇籠間の緊結の有無により安定性に差異が見られ、緊結の重要性を確認した。これは、小型模型実験における水平載荷試験からも同様な結果が得られた。
- 3) 蛇籠自体の変形性能は、所謂、岩屑等の角礫よりも、河川性の玉石の方が安定し、中詰め材による

ところが大きく、詰め方によっても違いが生じることがわかった。

- 4) $H=3\text{m}$ の直立実大蛇籠擁壁を用いた振動台実験において、背後地盤との相互作用により大きく前傾したが、崩壊には至らなかった。一方、階段積みや数量を増やした空力式擁壁の変形は軽微であり、特に、階段積み擁壁は、被災現場への有効な提案手法となった。
- 5) 蛇籠擁壁の設計手法については未確立である。試行くさび法の主働崩壊線の計算基点を調整することで、蛇籠の変形性能を活かした安定計算手法の構築になり得ることを見出した。

上述の研究の中で、蛇籠金網の形状等についての検討は不十分であることから、本体の蛇籠の変形性能・メカニズムを評価した合理的な設計手法を構築する上で、金網の変形特性に立ち返り、試験研究を実施することとした。金網の変形特性・性能を把握することで、蛇籠を用いた構造物の設計の高度化にも繋がり、現状では、防災性は高いものの、仮設工事の材料扱いであった蛇籠が扱いやすくなるため、国内における需要拡大にも繋がる可能性があると考えた。

研究の実施にあたり、公益社団法人大畑財団の研究助成を得て、蛇籠金網の網目形状が変形特性に及ぼす影響、数値解析によるその評価、および網目方向の違いが蛇籠積層体の水平抵抗に及ぼす影響を中心に検討した。

1.1 研究の背景と意義

蛇籠とは、その起源は古く紀元前 361 年～251 年頃、中国四川省の都江堰の築堤にあたり、写真-1 に示す様に、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(写真 1)⁴⁾。

現代では、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、翌年には石川県の犀川の護岸工事や富山県の片貝川の水力発電工事に導入された。その後明治 44 年には蛇籠製造機が開発され、機械製の鉄線蛇籠が広く普及した。昭和 26, 27 年度に、建設省は蛇籠の構造上の基準についての研究を委託し、昭和 28 年 4 月に「蛇籠の亜鉛メッキ鉄線および構造上の基準」が制定された⁵⁾。さらに昭和 29 年 8 月にはこの基準を参考として、亜鉛メッキ鉄線蛇籠の日本工業規格 (JIS A 5513) が制定され、品質の向上と確保が図られている⁶⁾。一方、現在では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、追随性、透水性などの特性を考慮して耐震性を定量的に評価した研究はほとんど見られないことから、国内の土木工事や農業土木分野において、伝統工法として砂防施設や河川護岸等の構造物を始め、法覆工、水制工、床止め工および侵食防止などの地震や風水害に対する防災用の仮設工か、あるいは景観に配慮した施設として使用されることが殆どである(図 1)。したがって、耐震性を定量的に評価した研究や実務設計事例が殆ど見られず、擁壁などでは道路土工におけるコンクリート擁壁の設計基準の援用に留まっている⁷⁾。したがって、国内の土木工事や農業土木分野においては伝統工法としての位置づけに留まっており、その利点を活かした準恒久的な構造物としての実績は殆どないといっても過言ではない。

蛇籠に関する最近の地震被害事例について確認すると、2004 年の新潟県中越地震や 2008 年の岩手・宮城内陸地震の際、コンクリー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随し崩壊を防いだ事例が報告されている⁸⁾。上述のように、蛇籠は仮設工としての意味合いは強いことは確かであるものの、変形はするが鉄線の拘束効果により、崩壊には至らないと



(a) 竹籠を編む様子

(b) 従来の蛇籠

(c) 蛇籠による堤防

(d) 現代の蛇籠 (布団籠)

写真 1 蛇籠 ((a)～(c)は中国四川省都江堰において撮影)

いった粘り強い屈撓性に富む構造物を実現できることが過去の地震被害からも実証されているため、技術整備次第によって、その需要は今後、期待できるポテンシャルを秘めている。

1.2 研究の目的

近年、土木施設・構造物の耐震設計は、残留変形に着目した性能設計が主流になってきている。鉄筋金網のボックスに石を詰めただけの構造である蛇籠を用いた構造物に関し、蛇籠そのものの変形特性・メカニズムが不明であることから、既存の設計指針の援用による照査レベルに留まることや経験的な施

工方法に頼っているのが現状である。図 2 に蛇籠の利点と課題を示す。蛇籠を用いた構造物の特徴・利点は、中詰土と鉄線で構成される簡易な構造、高い屈撓性、籠材の運搬や石等の材料の収集が比較的容易で、工費・工期ともに優れていることであり、そして自然材料を使用した場合の環境面への配慮が挙げられる。しかし、一番の強みは、鉄線の拘束効果が高いことが、変形は許容するものの崩壊に至らない防災性の高さに繋がっていることとして、過去の震災から実証済みであることと考える。残念ながら、それらの利点は感覚的に理解され、メーカーレベル

蛇籠の利用方法



図 1 国内外における蛇籠の利用事例

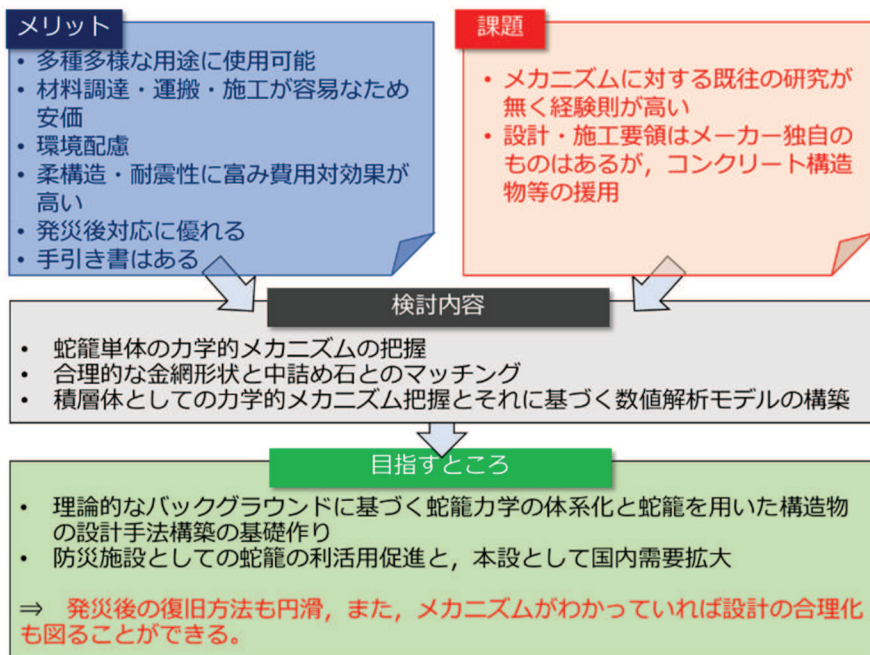


図 2 蛇籠構造物の利用と建設する上でのメリットと課題

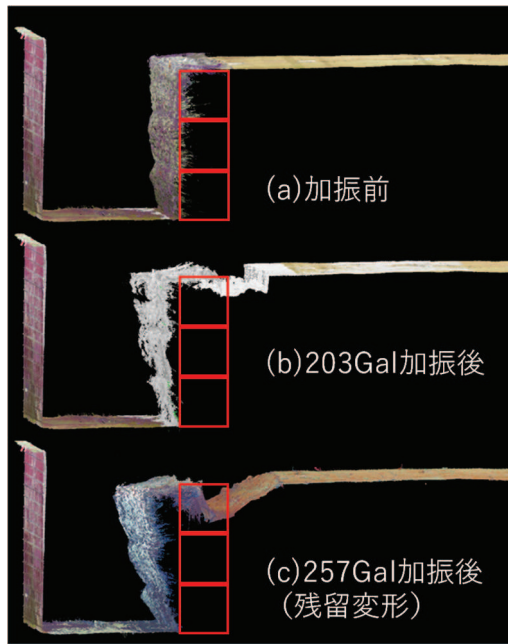


図 3 3D レーザー計測結果（参考文献 9）を修正

での独自の技術書はあっても、オーソライズされた設計手法が無いと、国内における積極的な利活用や応用した、あるいは本設としての構造物の建設に至っていないのが現状である。蛇籠を用いた構造物の設計手法構築にあたり、理論的なバックグラウンドが必要であるため、蛇籠そのものの基本的なメカニズムを詳細に把握する必要がある。そこで、本研究は、鉄筋網の強度特性および室内試験による変形特性を把握し、学術的な体系化を図り、数値解析モデルの構築を行い、設計手法の確立までつなげることを目的としている。

2. 既往の研究と課題

2.1 既往の実大震動台実験

実大模型実験は、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に、Nakazawa et al.⁹⁾によって詳細に報告されている。この実験では、蛇籠単体サイズは、幅、高さおよび奥行きが概ね 100cm のものを用いた 3m の壁高の擁壁モデルによる実験が実施された。蛇籠金網については、日本工業規格 (JISA 5513) の鉄筋径 $\phi 3.2\text{mm}$ 、網目が 13cm の菱形状の亜鉛メッキ製品を用いた。加振は、3Hz 正弦波の加速度振幅を 65, 132, 203 および 257gal の 4 段階に調整し、全ての加振が終了した後に擁壁の著しい前傾と背後地盤の大きな崩壊が見られた。図 3 に示す

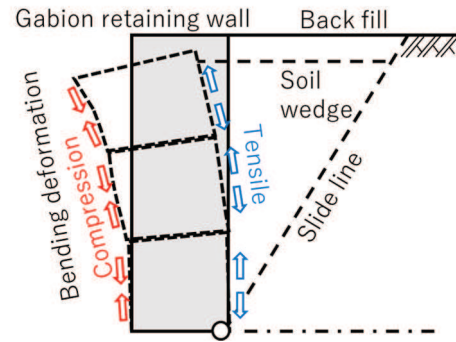


図 4 蛇籠擁壁の変形模式図

3D レーザー計測結果から、特に 2 段目の蛇籠の変形が著しく、天端で約 80cm の水平変位が生じたが、18 度程度前傾したまま擁壁の倒壊は見られなかった。このような擁壁の変状があっても、倒壊に至らないのは、所謂粘り強さであるものと考えられる。

2.2 研究課題

上述した一連の調査・実験では、蛇籠の中詰め材や積み方に焦点が当てられている。蛇籠擁壁の変形は、中詰め材の変形特性とそれを拘束する金網の拘束効果に依存するものと考えられる。図 4 に示すが、例えば、擁壁前面側と背面側における金網の拘束効果が異なることが推察される。すなわち、柔構造である蛇籠擁壁に曲げ変形が生じた場合、背面側金網の引張抵抗により前面への変形が拘束されるものと考えられるが、金網形状やその変形・強度特性はまだ検討されていない。亀甲型の金網を用いた試験施工事例¹⁰⁾では、写真 3 に示す通り、想定する擁壁の変形方向に対する金網の網目の方向も考慮されてはならず、支配的要因となり得るかも不明である。

そこで、日本国内で主流の菱形金網と海外で良く用いられている亀甲金網について、金網節点の折り返し形状や摩擦特性を考慮し、写真 4 に示す菱形および亀甲の 2 種類の網目形状の金網 (200 mm × 200 mm) を用いた引張試験、および 200 mm × 200 mm × 200 mm のミニチュアボックスを作製し、三段の積層体による水平載荷試験を実施し、基本的な力学特性と変形特性について把握を試みた。本報告書では、金網の引張試験を中心に述べることにする。また、試験結果のシミュレーションが可能かを把握するため、FEM による再現解析を行い、蛇籠擁壁の設計への展開を試みる足掛かりとした。



(a) 網目の列線が鉛直方向

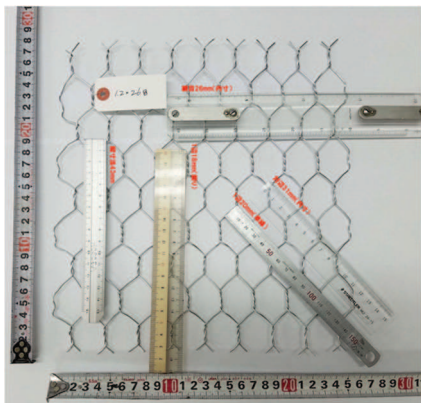


(b) 網目の列線が水平方向.

写真 3 蛇籠擁壁の試験施工の事例



(a) 菱形金網



(b) 亀甲金網.

写真 4 一連の引張試験に供した金網

3. 金網モデルの引張試験

本試験は蛇籠金網そのものの力学特性を把握するため、金網網目形状が菱形および亀甲タイプについて、また、溶接金網を対象とした引張特性の把握を行った。この結果については、3.2 に記載した。また、この結果に基づき、次章において、菱形および亀甲タイプを対象に、FEM による再現解析を行っている。

蛇籠は金網のボックスの中に中詰石を詰めた単純構造であるが、中詰め石の粒子配列によっては、蛇籠単体の変形性能が異なってくると考えられる。蛇籠擁壁は蛇籠単体の集積体であるが、蛇籠単体の変形性能を上げることで、構造体全体としての変形抵抗性能を増加させることができる。蛇籠単体が変形する際、どのような金網網目形状が効果的に拘束効果を発揮するか、また、中詰め石と金網網目の方向とのマッチングを検討する必要がある。このような検討が済んだ先には、最終的に効果的な網目タイプの生産性といった課題があろう。引張特性把握は、蛇籠構造全体としての変形抵抗性能を向上の第一歩として、網目形状の違いによる蛇籠金網の基本的な力学特性を把握することが目的である。全試験ケースを表 1 に示す。基本的には、網目形状と引張方向の比較を目的としたが、載荷速度の違いについても調べた。その理由として、引張時に一部破断しても、載荷速度によっては再配列・強度発現等が起こり得ると考え速度の影響も確認した。

3.1 引張試験用金網の基本仕様

引張試験に用いた試験体の線材は、線径 $\phi 1.2\text{ mm}$ の垂鉛メッキ鉄線とし、網目サイズで $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ のパネルを製作した。なお、線材の引張り強さは、 $350 \sim 380\text{ N/mm}^2$ であった。引張り試験は、写真 5 に示す試験装置を用い、金網端部の網目にボルトを通し固定した後実施した。

ここでは、代表データとして、Case1 および Case2 の(a), (b)を抽出し、実験結果について詳細に述べることとし、表 2 に試験ケースの詳細を改めて示す。

なお、菱形と亀甲による網目形状の違いにより、端部のボルト固定数は網目形状によって統一できないため、本報では、試験結果をまとめる際、引張り力 T (kN) と引張量の関係で引張挙動の比較を行った。引張速度は、いずれのケースも変位制御による 40 mm/min を基本としたが、Case1 については 10

表 1 引張り試験全ケース

ケース	金網	列線の向き	線径 mm	金網寸法 横×縦mm	ボルト幅 横×縦mm	ピーク引張 り力 N	ピーク時ス トローク mm	備考
	mm							
Case1(a)_Rhombus shape_Lateral direction_No.1	菱形	横	1.2	222×217	146×179	2128	89	
Case1(a)_Rhombus shape_Lateral direction_No.2	菱形	横	1.2	222×217	146×179	2234	100	
Case1(a)_Rhombus shape_Lateral direction_No.3	菱形	横	1.2	223×217	146×179	2265	103	
Case1(a)_Rhombus shape_Lateral direction_No.4	菱形	横	1.2	222×217	146×179	2231	84	
Case1(b)_Rhombus shape_Longitudinal direction_No.1	菱形	縦	1.2	222×218	143×179	3338	137	
Case1(b)_Rhombus shape_Longitudinal direction_No.2	菱形	縦	1.2	223×218	143×179	3347	138	
Case1(b)_Rhombus shape_Longitudinal direction_No.3	菱形	縦	1.2	223×217	143×180	3288	138	
Case1(c)_Rhombus shape_Diagonal direction	菱形	斜め	1.2	-	105×131	405	127	設置が困難
Case2(a)_Turtle shell_Lateral direction_No.1	亀甲	横	1.2	277×257	183×226	1218	182	ストロークの測定限界
Case2(a)_Turtle shell_Lateral direction_No.2	亀甲	横	1.2	277×258	183×226	1228	183	ストロークの測定限界
Case2(a)_Turtle shell_Lateral direction_No.3	亀甲	横	1.2	274×257	183×226	1410	183	ストロークの測定限界
Case2(b)_Turtle shell_Longitudinal direction_No.1	亀甲	縦	1.2	276×259	225×225	3080	35	
Case2(b)_Turtle shell_Longitudinal direction_No.2	亀甲	縦	1.2	274×259	226×226	2954	36	
Case2(b)_Turtle shell_Longitudinal direction_No.3	亀甲	縦	1.2	275×257	226×224	2875	35	
Case3(a)_Rhombus shape_Welding type_Lateral direction	溶接	横	0.54	-	102×174	412	70	
Case3(b)_Rhombus shape_Welding type_Longitudinal direction	溶接	縦	0.54	-	139×179	297	77	

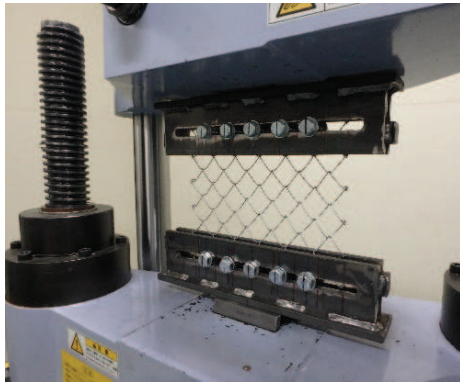


写真 5 引張試験装置

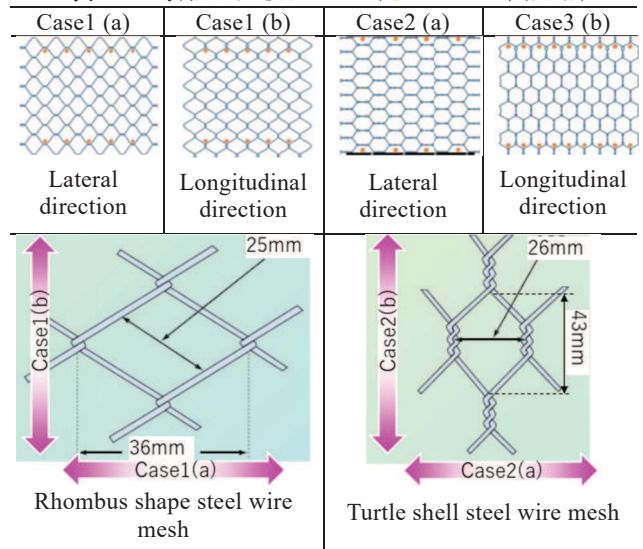
mm/min でも試験を実施し、载荷速度の依存性を調べた。

3.2 引張特性の把握

図 5 に各ケースの試験結果、および写真 6 に試験後の金網の変形の様子をそれぞれ示す。Case1(a)および(b)で実施した引張速度の影響については、10 mm/min と 40 mm/min で違いは見られなかったため、40 mm/min の引張速度のみ議論の対象とした。

金網形状が菱形である Case1 を見ると、金網の方向に拘わらず、変位-荷重関係の傾向は変わらないが、金網節点における引張り力の負担が大きい(a)の方が(b)に比べ、引張荷重の発現が早く、端部の著しい破断が生じることから、ピークの値が小さくなっている。この両者は、ピーク後に引張力を著しく減じるが、その後、破断以外における節点が引張力の負担と破断を繰り返し、終局状態に至ることがわかる。写真 6 に示す試験後の変形形状は、全体的には両者ともに大きな差はないように見受けられる。

表 2 引張り試験ケース (●はボルト固定点)



一方、亀甲金網である Case2 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(b)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とが分かる。このケースでは、Case1 のような節点で引張力を受け持つ機構ではないこと、およびねじり部が解けるような変形が見られないことから、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。(a)については、ねじり部が引張方向に対し直行しているが、写真 6 を確認すると、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様子が見られる。図 5 に示す変位-荷重関係からは、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

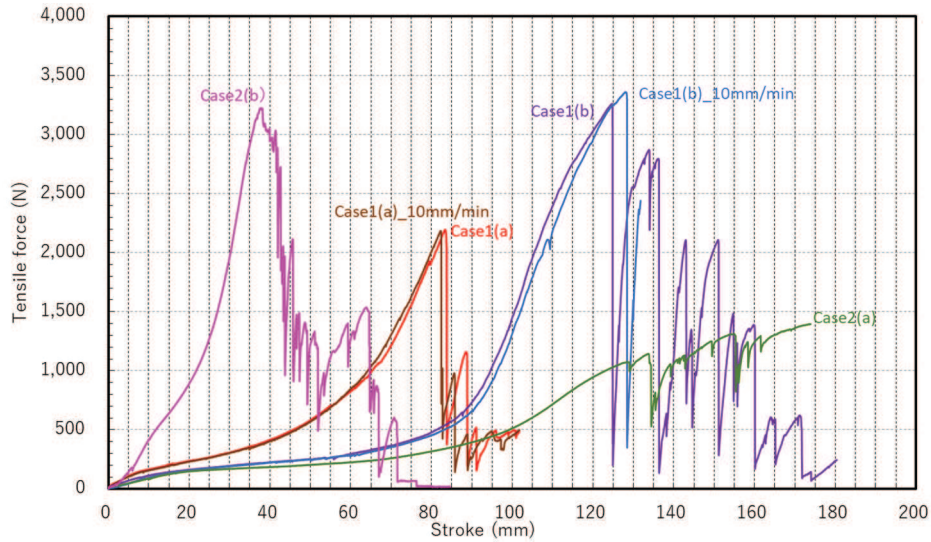


図 5 金網の引張試験結果

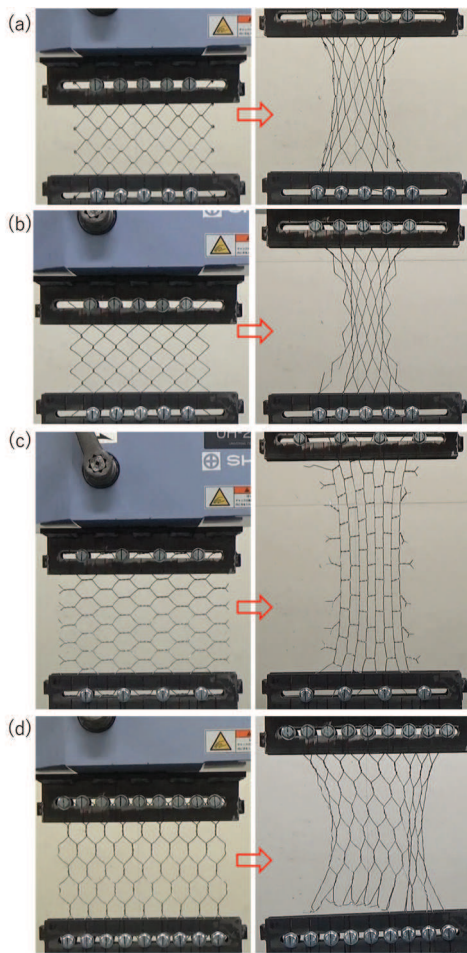


写真 6 引張試験前後の金網形状

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わかる。

表 3 金網模型の物理特性

Diameter (mm)	1.2
Cross section (m ²)	1.131E-06
Moment of inertia (m ⁴)	1.018E-13
Torsional moment (m ⁴)	2.036E-13
Young's modulus (kN/m ²)	2.000E+08
Poisson's ratio	0.30
Unit weight (kN/m ³)	77.0

4. 金網引張試験の再現解析

蛇籠擁壁の安定性評価を行う上で、金網による中詰め材の拘束効果を確認することが重要である。本 FEM 解析は、蛇籠金網の力学特性を把握するための引張試験結果を対象とした再現解析を行い、変形形状について試験結果との比較を通じ、FEM モデルの妥当性確認と改善点の整理を行った。

4.1 金網のモデル化および解析ケース

表 3 に金網の材料物性を示す。表 2 に示した試験ケースと同様に、菱形および亀甲金網のメッシュ図を図 6 に示す。部材は線形弾性体とし、下端を固定条件で上端の節点部に荷重を作用させた。

モデル化で重要なポイントは節点の扱いであるが、菱形は全体を一様の寸法条件とし、亀甲形については、ねじり部は 2 本で編んでいるため、単純に断面積および断面二次モーメントを 2 倍とした。

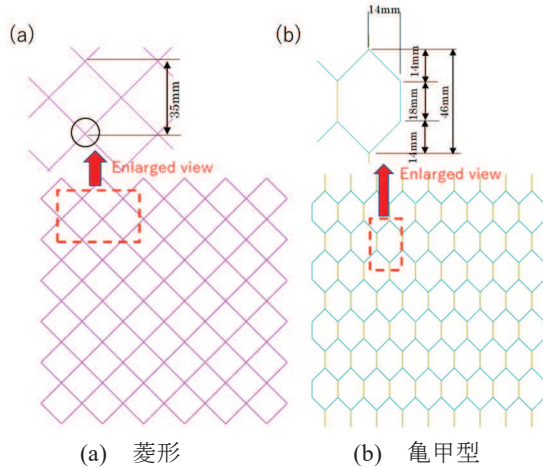


図 6 解析モデル

菱形金網の再現解析では、図 6 に示される○箇所の交点は接合ばねを設置した。ばねの特性は、Y 方向に対して $1.0 \times 10^7 \text{kN/m}$ 、X 軸方向に対して $1.0 \times 10^3 \text{kN/m}$ とした。すなわち、Y 方向載荷時には接合部は固定され、X 方向載荷時には滑りが発生すると考えた。一方、亀甲型は、列線方向に載荷する際には、下端を固定条件で上端 9 カ所に 1 kN ずつの荷重を 100 ステップに分けて作用させ、列線方向とその直行方向に載荷する場合には、載荷点は六角形の頂点 8 カ所とし、それぞれ 1kN を 100 ステップで作用させることで引張試験を模擬した。

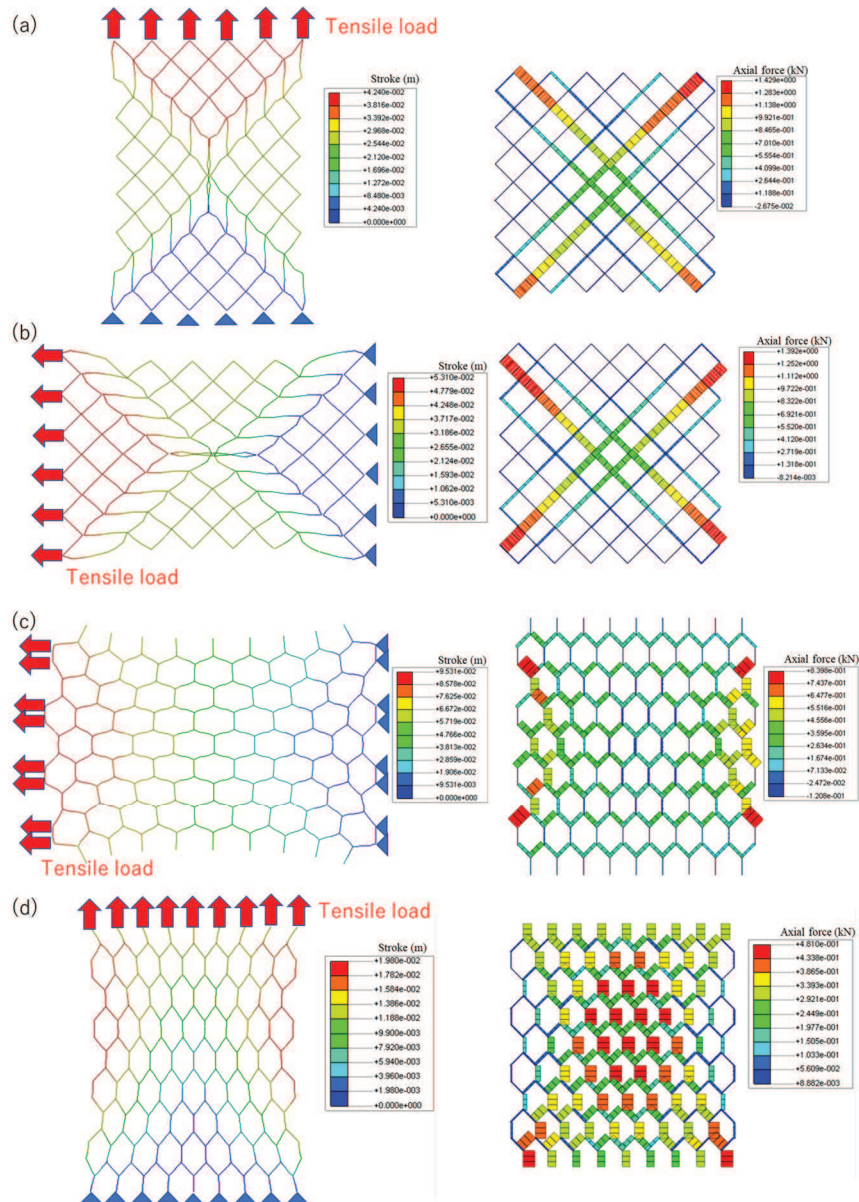


図 7 解析結果 ((a)~(d)は表 2 と対応)

4.2 解析結果

各ケースの解析による変形図および軸力図を図 7 に示す。菱形を対象とした Case1(a)および(b)における 50 ステップ目 3.0kN での結果を見ると、若干 X 方向载荷の方が変形は大きい、作用軸力は X 方向が大きいことが分かる。一方、亀甲型である Case2 における 37 ステップ 2.96kN 作用時の結果を見ると、(a)および(b)における荷重値はほぼ同じであるが、(b)における変形量は(a)よりかなり大きく、軸力も 2 倍に近い値となっている。

以上より、特に、亀甲金網については、作用する引張り力の方向によって、変形特性が異なる、所謂異方性が強い特性が数値解析でも表現できることがわかる。

4.3 引張試験と解析結果の比較

引張り試験結果をまとめた図 5 と同様に、数値解析結果もまとめ図 8 に示す。(a)に示す引張量が 2mm までの変位と引張り力の関係を見ると、各ケースの引張り抵抗の発現傾向や変形性能は解析と実験結果で同様であり、両者ともに Case1 では(b)より(a)、Case2 でも(b)より(a)の変形が大きくとなっている。一方、载荷後の立ち上がりについては、実験結果に比較して、全体的に解析結果の方が大きいことがわかる。これは、解析が弾性解析であること、実験では金網の交差部に遊びがあり、载荷の初期段階では、この遊びの部分が閉じて、引張抵抗を発揮するまで大きな作用力が生じないためと考えられる。

次に(b)を見ると、引張試験結果における引張抵抗の発現から損傷や部分的な破断が始まる間 (↔で表

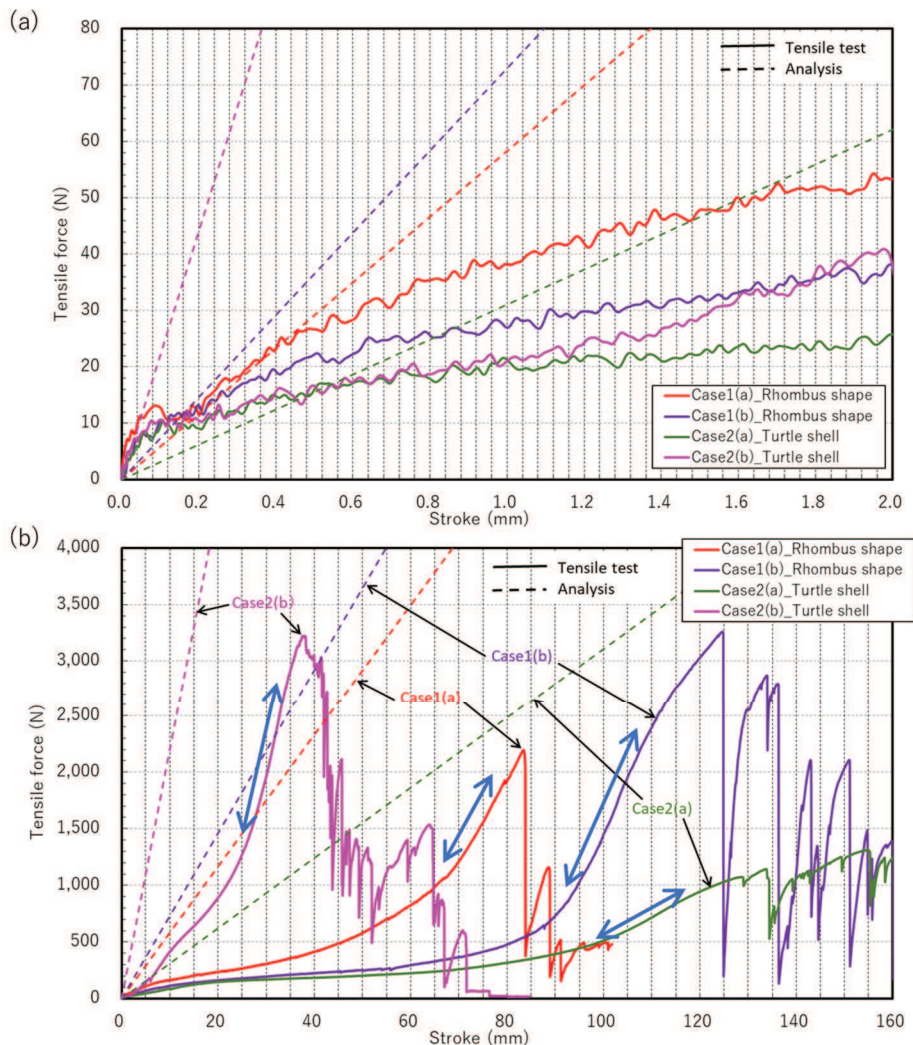


図 8 FEM 解析と引張試験結果の比較

されている部分) の変形性能は、解析結果と大差ないものと判断される。実際の蛇籠は、中詰め材が粒状体であり自立しない材料であることから、蛇籠側面の金網は常に引張力が生じていることを考えると、引張試験における剛性が回復した↔部分について、解析結果と変形性能の整合が取れることは、非常に重要な知見であり、線形弾性解析とはいえ、金網の変形性能を考慮した蛇籠構造体の変形予測を可能とする足掛かりになり得る。考え方としては、金網の剛性が回復するまでは、中詰め材の応力-変形特性に依存し、回復後は金網の変形特性が支配的であると考える。また、試験後に引張り力を解除すると、節点が緩むことが確認されたことから、圧縮力を持たないことが推察され、この点は課題である。

5. まとめ

蛇籠は、高い屈撓性、追従性、透水性などの利点を有し、変形はしても倒壊しないといった防災性の高い構造物を建設することができる。しかし、そのメカニズムが不明であるが故に、設計体系が整っていないのが現状である。本研究では、基本的な事項として、金網の引張試験および金網の再現解析を行い、設計手法の確立への基礎検討を行った。

一連の試験結果から、金網形状の違いに拘わらず、引張方向によって強度異方性をもち、いずれも列線方向に強い挙動を示す引張特性を有することが分かった。また、亀甲金網については、3回巻いて構成されるねじり部の摩擦が引張に対し支配的要因となり、折れ点で引っ掛けるだけの菱形金網に比べ、異方性が強いことが確認できた。

一方、上記の引張試験結果を対象とした再現数値解析では、試験結果がいずれも引張抵抗を発揮するまでである程度の変位をと要するため、初期の段階から剛性を有する線形解析との直接の比較は解釈が難しいが、変位量と引張り力の関係において、試験で金網の緩みがなくなり剛性が回復した弾性変形範囲については、試験と解析結果の整合が各ケースで確認された。これは、金網が損傷や破断に至るまで、モデル化やシミュレーションが可能であることを示唆するものと考えられる。

以上より、金網の基本的な挙動の一端を把握することができた。金網の厚み、節点数、鉄線量等引張

強さの評価方法および外力の作用方向と中詰め材の変形特性を考慮した金網の網目方向の決定方法の構築が課題である。

謝辞

本研究は、公益社団法人 大畑財団の 2018 年度研究助成を得て実施された。このような機会を与えてくださった貴財団並びに金網の引張試験およびミニチュア蛇籠積層体の水平載荷試験の実施にあたり、多くの方々の多大なご協力をいただいた。関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 中澤博志, 原忠, 末次大輔, 西剛整, 栗林健太郎, 張浩, ハザリカ・ヘマンタ, 三好克明, 下村昭司, 木村瞬, 白倉和也, 柴原隆, 田端憲太郎: 蛇籠を用いた耐震性道路擁壁の実大振動台実験および評価手法の開発ー被災調査から現地への適用に至るまでー, 防災科学技術研究所研究資料第 426 号, 全 114p, 2019.
- 2) 原忠, 中澤博志, 末次大輔, 栗林健太郎, 西剛整, 田所佑理佳, 三好克明, 張浩: 2015 年ネパール・ゴルカ地震における蛇籠被害の実態調査と耐震性向上に向けた具体策の検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.4, pp. I_586-597, 2018.
- 3) 中澤博志, 原忠, 末次大輔, 栗林健太郎, 西剛整, 三好克明, 田所佑理佳, 白倉和也: 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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.4, pp. I_441-451, 2018.
- 4) 石崎正和: 蛇籠に関する歴史的考察, 日本土木史研究発表会論文集, Vol.7, pp.253-258, 1987.
- 5) 全国防災協会: 蛇籠の知識, 日本河川協会, 1963.
- 6) 日本じゃかご協会: じゃかご工法の手引きと解説, 2001.
- 7) 社団法人日本道路協会: 道路土工 擁壁工指針 (平成 24 年度版), 2012.
- 8) Kokusho, T., Ishizawa, T. and Hara, T.: Slope failures during the 2004 Niigataken Chuetsu earthquake in Japan, Earthquake geotechnical case histories for performance-based design, pp.47-70, 2009.
- 9) Hiroshi Nakazawa, Tadashi Hara, Daisuke Suetsugu, Tsuyoshi Nishi, Kentaro Kuribayashi, Katsuaki Miyoshi and Shoji Shimomura: Experimental Evaluation on Earthquake-Resistance of Road Retaining Wall Using Gabion, Journal of Disaster Research, Vol.13, No.5, pp.897-916, 2018.
- 10) Shun Kimura, Tadashi Hara, Daisuke Suetsugu, Hiroshi Nakazawa, Tsuyoshi Nishi, Shoji Shimomura, Ryu Shibahara and Kentaro Kuribayashi: An issue of seismic structure and construction regarding gabion wall in rural area of Nepal, 7th Asia Conference on Earthquake Engineering, No.0151, pp.1-10, Bangkok, 2018.