

面外方向载荷を受けるひし形金網の力学的相似に関する実験的検討 (シンポジウム講演概要)

Experimental Study on Mechanical Similarity of Chain Link Wire Netting Subjected to Out-of-Plane Directional Loading (Proceedings of Symposium on Applied Mechanics)

手嶋 良祐 (防衛大学校・建設) 別府 万寿博 (防衛大学校・建設) 市野 宏嘉 (防衛大学校・建設)
Ryosuke TESHIMA, National Defense Academy
Masuhiro BEPPU, National Defense Academy
Hiroyoshi ICHINO, National Defense Academy
FAX:03-3556-0470 E-mail: ry-teshima@vertex-grp.co.jp

It is cost-effective to verify the response of a rockfall barrier with a chain link wire netting to the impact of falling rocks by model experiments. The authors have proposed a method for estimating the elasto-plastic displacement of full-scale structures by model experiments for elasto-plastic beams subjected to impact loads, but the proposed method was not applicable to chain link wire netting because its deformation trajectory is significantly different from that of typical elasto-plastic body. In this study, the mechanical similarity of the load-displacement relationship of chain link wire netting was investigated based on the results of out-of-plane loading tests, and it was confirmed that the replica law was highly applicable.

1. 緒言

豪雨や地震などで引き起こされる落石災害への対策工の一つとしてひし形金網を用いた落石防護柵が用いられる。落石防護柵は設計指針である「落石対策便覧」¹⁾において、その捕捉性能や安全性能を実規模実験で検証することが求められている。しかし、実規模実験は実験施設が限定されており経済的な負担が大きいとため、模型実験による性能検証ができれば有用である。著者らはこれまでに、模型実験において実規模実験と同じ材料を用い、同じ重力場で実験を実施できる弾性範囲内の相似則を提案した²⁾。また、この提案相似則とエネルギー一定則を組み合わせることで、模型実験結果から実規模構造の弾塑性変形を推定する手法を提案した³⁾。提案相似則および提案手法の適用性に関する検討では、弾塑性材料である鋼材の梁に対する実験および解析を行った。一方で、先述した落石防護柵は複数の材料、複数の部材からなる構造であり、その中でもひし形金網は通常の弾塑性部材とは異なった変形性能を持つ。本研究はひし形金網に着目して、実規模と模型の力学的相似性について実験的検討を行ったものである。

2. ひし形金網の特徴

実験に使用するひし形金網は JIS G 3552 に規定される亜鉛めっき鉄線製ひし形金網とした。列線の材質および寸法を表-1 に示す。また、ひし形金網の形状および各部名称を図-1 に示す。なお、実規模と模型実験で用いる材料の違いはめっき付着量であり、機械的性質はほぼ同じである。

ひし形金網は図-1 左において、丸で囲った左右の列線の交点となる部分が塑性加工されている。そのため、金網が上下方向もしくは左右方向に引張られる際には交点部が塑性変形する。一方で、交点間の直線部分は塑性化していないため軸方向に弾性挙動をすると考えられる。すなわち、ひし形金網に荷重が作用した際には塑性変形と弾性変形が混在することになり、提案相似則を適用できないと考えられる。

3. 実験概要

面外载荷実験概要を図-2 に示す。実験は 2 タイプ行っており、タイプ 1 は左右の上下 4 点を固定具によりピン支点

table 1 Material and shape of Chain link wire netting

Item	Material	Tensile strength	Young's modulus	Diameter	Opening
Unit	-	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm
Full scale	SWMGS-3	421.3	141,317	3.96	50
model	SWMGS-2	426.1	124,505	1.98	25

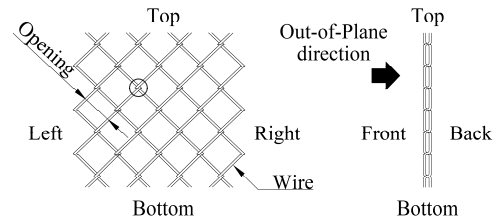
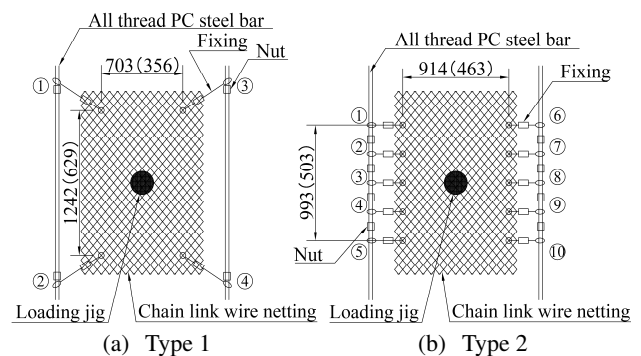
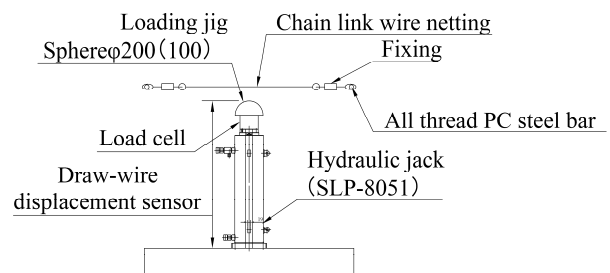


Fig. 1 Figure of Chain link wire netting



(1) Top View



(2) Side View

Fig. 2 Experimental device



Fig. 3 Model experiment of Type 2

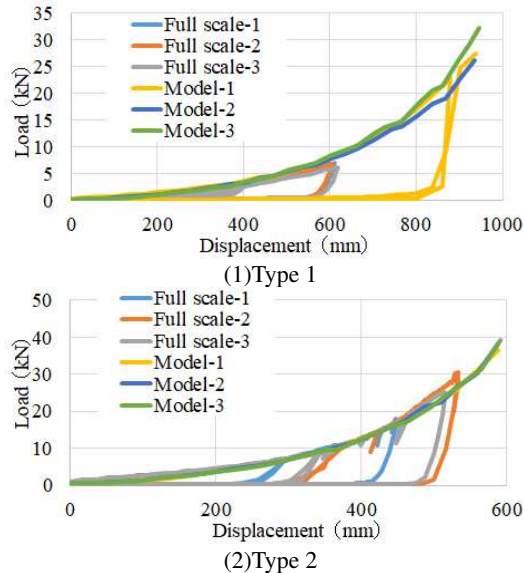


Fig. 4 Comparison of load-displacement relationship using replica law

とした。タイプ 2 は左右対称に 5 点ずつ計 10 点を固定具によりピン支点とした。丸囲い文字は固定具の番号を表す。模型は実規模に対して縮尺 1/2 とした。載荷部には、実規模および模型それぞれ、 $\phi 200\text{mm}$ の半球および $\phi 100$ の半球の球面を用いた。図-3 はタイプ 2 の載荷状況写真である。載荷には油圧ジャッキを用い、ジャッキと載荷治具間に設置したセンターホールロードセルで荷重を計測した。また、糸式変位計を用いて載荷部の変位を計測した。実験は各タイプの実規模、模型ともに各 3 回実施した。

4. 実験結果および考察

実験で得られた荷重－変位関係を図-4 に示す。模型の荷重－変位関係はレプリカ則で変位と荷重にはそれぞれ $1/S=2$, $1/S^2=4$ を乗じて実規模換算した。レプリカ則および著者らが提案する相似則の一部を表-2 に示す。レプリカ則は実規模と同じ材料を使用した模型実験に適用可能な相似則であり、加速度の相似比が $1/S$ となるため、重力加速度の影響の大きい実験では加速度の調整が必要となるが、静的載荷実験では弾塑性体であれば弾性域および塑性域ともに相似が成立する。タイプ 1 では、模型のひし形金網が換算値で 1000mm 程度変位した後、載荷治具接触部で破断した。実規模は 600mm 程度の変位で装置の限界に達したが、破断しなかった。実規模および実規模換算した模型の荷重－変位関係はほぼ一致しており、ともに降伏点は見られず、変位の増加に対して荷重が非線形的に増加しており、レプリカ則による相似が成立していると考えられる。降伏点が見られない原因は、主たる変形が塑性加工された列線の交点で発生したためと考えられる。実規模実験では

table 2 Similarity Laws

Physical Quantity	Symbol	Replica law	Proposed law
Length	l	S	S
Displacement	u	S	S^2
Time	t	$1/S$	$1/S$
Mass	m	S^3	S^3
Acceleration	a, g	$1/S$	1
Density	ρ	1	1
Force	F	S^2	S^3
Stress	σ	1	S
Young's Modulus	E_s, E_c	1	1

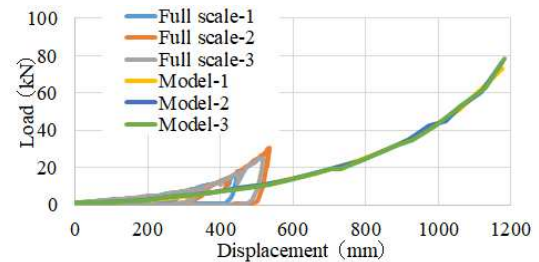


Fig. 5 Comparison of load-displacement relationship using proposed law

除荷中に変位の減少が発生した。これは、除荷したことで列線の直線部の弾性変形分が元に戻ったものと推測される。

タイプ 2 では模型のひし形金網は換算値で 600mm 程度変位した後、載荷治具接触部で破断した。実規模は 500mm 程度の変位で装置の限界に達したが、破断しなかった。また、実規模と実規模換算した模型の荷重－変位関係はほぼ一致しており、降伏点は見られず、変位の増加に対して荷重が非線形的に増加しており、レプリカ則による相似が成立していると考えられる。降伏点が見られない原因および、除荷中の変位の減少する理由はタイプ 1 と同じと考えられる。タイプ 1 と比較してタイプ 2 の模型の破断変位量が小さい理由は、支点数が 4 点に対して 10 点と多く、金網の固定度が大きかったため、塑性加工部の変形が起きにくく、直線部の弾性変形が荷重を負担したことが原因と考えられる。なお、提案相似則を用いて模型実験結果を実規模換算すると図-5 の通り実規模と模型の実験結果が一致しないため、提案相似則は適用できない。

5. 結論

本研究では、スケールの異なるひし形金網の面外方向載荷実験を行い、荷重－変位関係の相似性について検討した。得られた内容は下記のとおりである。

- ・面外方向載荷した縮尺が異なるひし形金網において、荷重－変位曲線はレプリカ則による相似がほぼ成り立つことが分かった。
- ・金網の主たる変形は塑性変形であり、弾性変形のみが発生するわけではないため提案相似則は適用できない。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，平成 29 年 12 月
- 2) 手嶋良祐，別府万寿博，市野宏嘉：重力場における縮小模型実験に対する相似則の提案と検証，構造工学論文集 67A 巻，pp.826-837，2021 年
- 3) 手嶋良祐，別府万寿博，市野宏嘉：重力場における縮小模型実験に対する相似則の理論的誘導と弾塑性問題への適用，土木学会論文集 Vol.79, No.15, 2023 年（掲載予定）