

## 個別要素法を用いたひし形金網の再現シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○小泉香那子, 正会員 堀口俊行  
東京製綱インターナショナル(株) 非会員 杉本雅一, 有田 毅

## 1. 緒言

近年の局地的な豪雨の影響で大規模化された土石流対策として、新たな対策構造物が求められている。特に、緊急対策用の構造物は、従来建設されているコンクリート製の堰堤ではなく、施工の容易性や地積を大きくとらない柔性構造物が着目されている。中でも、落石防護網や落石防護柵が、土石流対策として利用されつつある。そのため、筆者らは、金網における限界状態を整理するために、実験室規模における重錘落下装置を用いて実験を行ってきた。しかし、先端形状や重錘の総重量における影響が大きく、本来金網の持っている性能評価に資するデータとして十分でなかった。そのため、先端形状の異なる実験や重錘の重さを変えた実験を行い、簡易的な性能評価方法について検討する必要がある。

一方、南波ら<sup>2)</sup>は、金網形状と目合い寸法の異なる金網に対して、自由落下衝撃実験を実施し、限界吸収エネルギーについて実験結果からの推定と提案型簡易算定手法とで比較し、簡易型における性能評価で十分推定できることを示した。小室ら<sup>3)</sup>は、ひし形金網の耐衝撃挙動を推定するための解析手法の検討により、金網の変形応答、挙動について再現している。しかし、金網の種類、使用部材、編み方、網間隔によってパラメータ設定が複雑化するため、再現解析におけるパラメータから簡易的に決定することは困難であるということが示唆されている。そのため、実スケールにおける再現性は繰り返し同じ条件下での実験が難しいことを理由に、前段階として実験室規模で行える重錘落下実験から再現解析における耐衝撃性評価を行い、解析パラメータ設定の方法を検討することが求められている。

そこで本研究は、実験室規模での重錘落下装置を用いた衝突実験でひし形金網に対する張力時間関係を計測し、個別要素法解析を用いて張力とひし形金網のたわみ量を再現シミュレーションするものである。

## 2. 重錘落下衝突実験

## 2.1 実験概要

写真-1 に、重錘落下装置を示す。これは、最大 4.0m から落下させることができる重錘落下装置である。写真-2 に、実験で用いた重錘先端部を示す。先端部は、半球 ( $R=0.15$  m) 形状である。重錘重量は、赤い円盤で調整し、本実験では、総重量 199 kg とした。また、加速度計を重錘上部平端部に取り付けて計測した。併せて、重錘の変位についてレーザー変位計を取り付けることで計測している。写真-3 に示すように、本実験の供試体は  $3 \times 7$ , 12  $\phi$  のワイヤロープで囲まれた 1.0 m の範囲に設置したひし形金網であり、素線径  $\phi=4, 5$  (mm) の 2 種類について実験を行った。表-1 に、供試体諸元を示す。落下高さ  $h$  は、重錘底面と金網表面が接触した位置を基準とし、落下高さ  $h=1.5$  (m)



写真-1 重錘落下装置

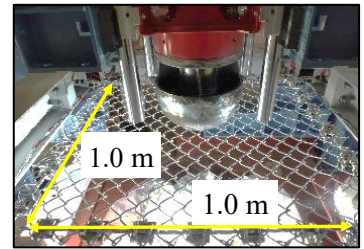


写真-3 供試体設置状況

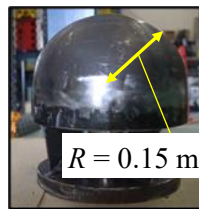


写真-2 重錘先端部

表-1 供試体の諸元

素線径	目合い	重量
4.0 mm	50 mm	5.5 kg
5.0 mm	50 mm	9.0 kg

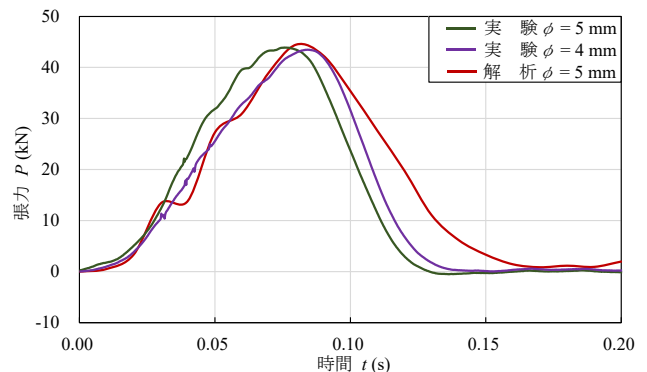
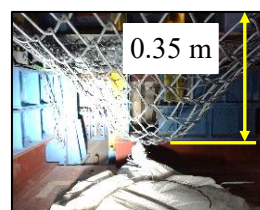


図-1 張力-時間関係



(a) 側方 (b) 上面  
写真-4 重錘衝突後の供試体の状況

表-2 解析初期値

項目		値
供試体モデル	球形要素	424 個
	円柱形要素	844 個
重錘モデル	球形要素	1 個
接触ばね	ばね定数	法線方向 $K_n$ (N/m) $1.0 \times 10^7$
		接線方向 $K_s$ (N/m) $3.0 \times 10^6$
時間条件	時間刻み $\Delta t$ (s)	$1.0 \times 10^{-8}$

から重錘を落下させ、1 回目の衝突で捕捉できたならば、2 回目も同じ高さから落下させた。この際、落下速度を 5.0

キーワード 重錘落下装置, ひし形金網, 耐衝撃, 張力

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 e-mail:em60025@nda.ac.jp

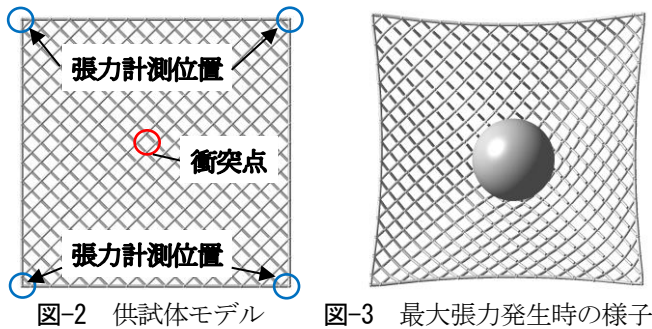


図-2 供試体モデル

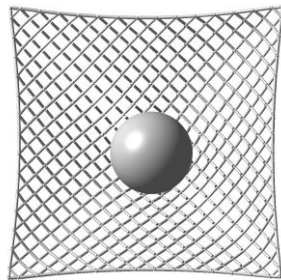


図-3 最大張力発生時の様子

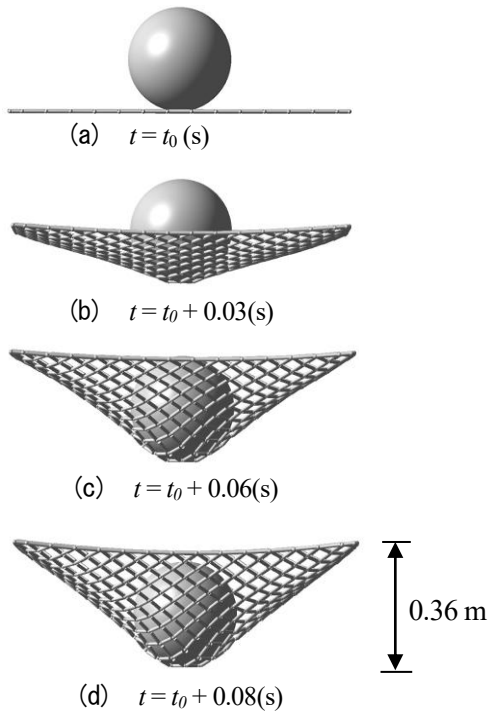


図-4 解析の時刻歴応答

m/s 以上を目標に設定した。なお、実験では、供試体への衝突直前の衝突速度は 5.4 m/s と求められる。計測項目は、加速度、各ロープ張力、金網の変位量である。張力はロープ端部側面に貼布したひずみゲージで計測した。

## 2.2 実験結果

図-1 に、張力-時間関係を示す。初期時間  $t = t_0$  (s) は、張力の立ち上がりを重錘が供試体に触れた時点とした。図-1 から、素線径の違いによる張力の差はほぼないと言える。これにより、主線ロープにかかる張力は、重錘の作用力が支配的であることが分かる。次に、素線径  $\phi = 5$  (mm) の供試体における最大変位  $u_{\max} = 0.35$  (m) であった。写真-4 に、1 回目の重錘衝突後の供試体の変形状況を示す。写真-4 (a) は、側方から見た状況である。大きく重錘の形状のまま変形している。写真-4 (b) は、上面から見た状況である。大きくくぼんでいることが分かる。また、実験後では重錘衝突後のワイヤロープが留め具によりくの字に曲がる様子が確認された。

## 3. 解析

### 3.1 解析概要

表-2 に解析初期値を示す。実験で使用した初期値をもとに決定している。図-2 に数値解析で使用する供試体モデルを示す。解析は素線径 5 mm の場合で実施し、球形要素 424 個、円柱形要素 844 個を配置した。重錘モデルは、

実験の重錘と同じくした球形要素を用いて、計算時間削減のため、供試体モデルと接着した状態に初速度を与えることで、運動量を合わせた。張力は、図-2 に示すように 4 点で算出された平均値を、変位は重錘が金網に設置した場所からの変位を採用した。

### 3.2 実験と解析の比較

図-1 に、実験と解析の張力-時間関係について示す。解析では、最大張力  $P_{\max} = 44.5$  (kN) であり、実験値  $P_{\max} = 44.4$  (kN) とほぼ同様の値となった。また、波形を見ると、最大張力までの波形と、最大張力発生後の波形については実験と同様の波形が見られた。ここから、解析において、概ね張力を再現できた。最大変位を比較すると、解析の最大変位  $u_{\max} = 0.36$  (m)、実験の最大変位  $u_{\max} = 0.35$  (m) であるので、解析値は実験値に近い値であり、概ね再現できた。図-3 に、最大張力発生時の供試体状況を示す。図-3 では、実験で表れたような、ひし形形状が衝突点に行くにつれて、伸ばされる様子を再現できていないため、金網が変形してからの残留ひずみの部分について構成則を見直す必要があるが、最大荷重や最大変位について再現できている。

図-4 に、解析の時刻歴応答を示す。図-4 では、重錘が金網に触れた状態を  $t = t_0$  (s) とした。写真-4 (a) は、重錘と金網が衝突する直前である。写真-4 (b) は、重錘衝突点付近に吸い込まれるようにひし形金網が変形している様子が確認でき、先端部については大きく金網のひし形部分が変形していない。さらに、写真-4 (c) では、おおむね重錘が金網モデルに覆われており、金網が大きく変形している。写真-4 (d) は、最大荷重が生じているときの景況であり、供試体の最終たわみ量は 0.36 m であった。よって、ひし形金網は、部材の伸びとひし形形状の変形を伴って衝撃力を受け止めているということが示唆される。

最後に、最大変位は実験と概ね合っているが、解析ではワイヤロープと金網の留め具は考慮していないため、各々のワイヤロープのたわみについてその景況の再現に精緻なデータ計測や実験との比較が必要である。

## 4. 結言

本研究では、金網実験供試体を高さ  $h = 1.5$  (m) から落させ、重錘衝突による金網の張力、変位について検証したものである。解析では、金網の最大張力、最大変位は再現できており、ひし形金網の解析手法として本解析手法を取り入れることが可能であると考えられる。今後は、異なる実験ケースでの再現を行い、解析のパラメータ設定について検討を進めていく。

## 参考文献

- 1) 小泉香那子, 堀口俊行, 杉本雅一, 有田毅: 重錘落下装置を用いたひし形金網の耐衝撃性能評価の基礎実験, 第 49 回関東支部技術研究発表会, I-25, 2022.
- 2) 南波宏介, 白井孝治, 坂本裕子: 竜巻防護施設に用いる金網形状の異なる高強度金網に関する吸収エネルギー算定手法の適用性, 構造工学論文集, Vol.61A, pp958-969, 2015.
- 3) 小室雅人, 西弘明, 今野久志, 荒木垣也, 田中優貴: ひし形金網の耐衝撃挙動に関する数値シミュレーション, 構造工学論文集, Vol.63A, pp1084-1095, 2017.