

個別要素法を用いたひし形金網の衝突シミュレーション

防衛大学校 ○ 正会員 堀口俊行

東京製綱（株） インターナショナル 非会員 有田毅 杉本雅一 岡山隆宏

1. 緒言

斜面崩壊における落石対策の一つに落石防護網が建設されている。最近では、異常気象の影響で大規模化している自然災害に対して、大きな作用荷重に対応できる落石防護網の開発が検討されている。筆者ら¹⁾は、1000 kJ 対応型の落石防護網に対して、個別要素法を用いて2000 kJまでの落石エネルギーに耐えられることを解析的に検証してきた。しかし、さらに大きな落石衝突エネルギーである落石エネルギーが3000-5000 kJまで耐えられるような落石防護網の開発までは至っていない。そのため、構成部材であるひし形金網の改良や落石の衝撃を緩衝できる治具等の検討やそのような鋼製部材をモデル化した解析が必要である。まずは、落石便覧²⁾で示されているひし形金網の損失エネルギーについて実験や解析を用いて正確に評価されているのかを検証し、耐荷性能評価を進めていく必要がある。さらに、筆者ら¹⁾が用いている破断モデルを用いた個別要素法解析を用いてひし形金網の再現解析については未検討なままである。

そこで本研究は、連結ばねに破断モデルを適用した個別要素法を用いて、ひし形金網の衝撃実験の再現シミュレーションを試みるものである。

表一1 実験ケース

No	径(mm)	$W_d(N)$	$h_i(m)$	$E_{inp}(J)$	結果
1	4	1960	1.5	2940	○
2		2940	2.0	5880	○
3		2940	2.5	7350	○
4		2940	2.7	7938	×
5		3430	2.0	6860	○
6		3430	2.2	7546	○
7		3920	1.9	7448	×
8		3920	1.8	7056	×
9	5	1960	1.5	2940	○
10		2940	2.0	5880	○
11		2940	2.5	7350	○
12		2940	2.7	7938	○
13		3430	2.5	8575	○
14		3430	2.6	8918	○
15		3920	2.5	9800	○
16		3920	3.0	11760	×

2. 実験の概要

2.1 実験要領

図-1に、重錘落下装置および重錘の先端形状を示す。重錘落下装置から重錘先端半径は0.15 mの重錘を落下させて、1.7 m×1.7 mの枠間に設置したひし形金網に衝突させることでロープにかかる荷重を計測した。重錘の総重量は $W = 200-400$ kgとした。ひし形金網の供試体は、引張実験で使用したひし形金網と同様の規格である1.0 m×1.0 mであり、2種類(4.0 mm, 5.0 mm)の素線径とした。ひし形金網は、ワイヤロープ($\phi 16$ mm)4本によって囲まれた範囲に固定し、重錘を自由落下させた。その際、張力、加速度、変位を計測した。

2.2 実験ケース

表-1に、衝撃実験ケースと実験結果の概要を示す。使用した素線径は2種類で、素線径 $\phi 4.0$ mm、素線径 $\phi 5.0$ mmのケースを各々8回行った。実験は、1回の衝突で破断するエネルギーを整理する。なお、重錘質量 W_d 、落下高さ h_i 、入力エネルギー E_{inp} および捕捉結果として捕捉：○、通過もしくは素線破断：×で示している。

2.3 実験結果

素線径 $\phi 4$ mmと素線径 $\phi 5$ mmではそれぞれ1ケースは重錘が貫通した。また、素線径 $\phi 4$ mmのケースでは、クロスクリップと素線の部分もしくは交差部分が破断したケースが2回、No.4のみ捕捉できずに貫通した。それ以外のケースは、全て素線が破断せずに捕捉できた。また、重錘の入力エネルギー(重錘が与えるエネルギー)が増大するとたわみが大きくなることがわかる。さらに、入力エネルギーが同等でも重錘重量が大き



図-1 重錘落下装置と重錘

キーワード 落石防護網, ひし形金網, 衝突荷重, 個別要素法

連絡先〒239-0811 神奈川県横須賀市走 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 e-mail:htoshi@nda.ac.jp

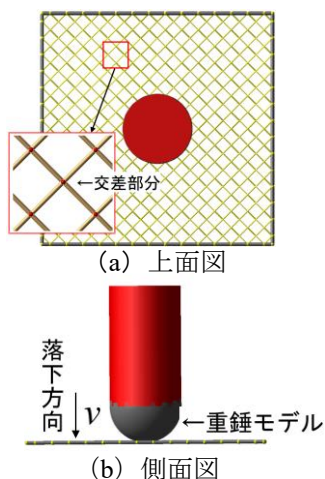
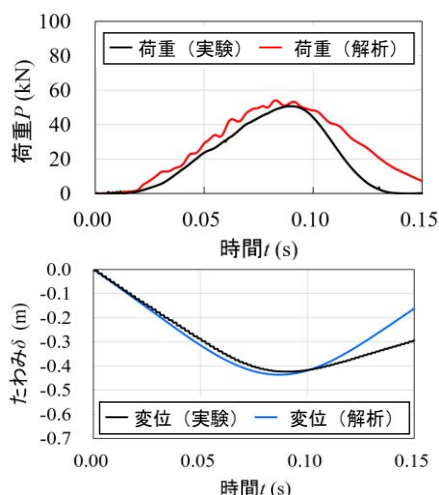
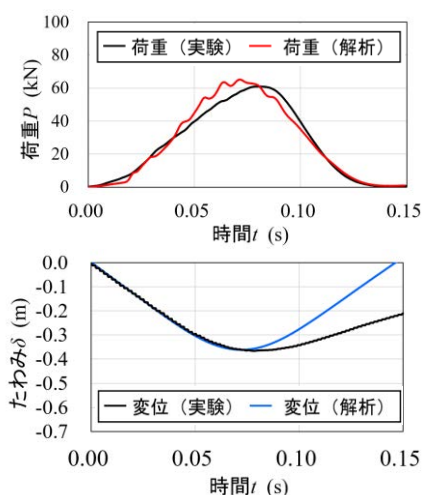


図-2 解析モデル

図-3 実験と解析の比較 ($\phi 4.0$)図-4 実験と解析の比較 ($\phi 5.0$)

いほど大きく撓むことがわかった。よって、重錘の荷重を大きくすると、ひし形金網は貫通もしくは交差部分が破断する。表-1 に示している入力エネルギーを見ると、素線径 $\phi 4.0$ mm の金網が破断するときのエネルギー $E_{rup} = 7056-7938$ J に存在することがわかった。素線径 $\phi 5.0$ mm では $E_{rup} = 9800-11760$ J である。素線径 $\phi 4.0$ mm に比べ、素線径 $\phi 5.0$ mm は、約 1.3 倍のエネルギーに耐えることができる。

3. 衝突シミュレーション

3.1 解析モデル

図-2 に、動的衝撃実験時の解析モデルを示す。ワイヤロープは、4 辺に円柱形要素と球形要素を組み合わせる。でモデル化している。金網モデルには、球形要素 424 個、円柱形要素 844 個を用いて、金網の素線が交差する部分にあたる円柱形要素の各交点には球形要素を配置した。重錘部分のモデルは、実験の径と同じ大きさとし、重量を同じくするために球形要素と円柱形要素でモデル化している。

3.2 解析結果

図-3, 4 に、それぞれの素線径における実験と解析の荷重-時間および撓み-時間関係を示す。図-3 は、素線径 $\phi 4.0$ mm の No.2 を示している。全実験ケースの中では、入力エネルギーが小さいケースの結果であるが、概ね実験の荷重とたわみを再現できている。除荷してからの撓みの戻りについて近い結果となっている。

図-4 は、素線径 $\phi 5.0$ mm の No.10 を示している。No.10 の結果についても実験の荷重とたわみを再現できている。除荷してからのたわみの戻りについて近い結果となっている。

図-5 に、解析結果の最大荷重、最大たわみと実験結

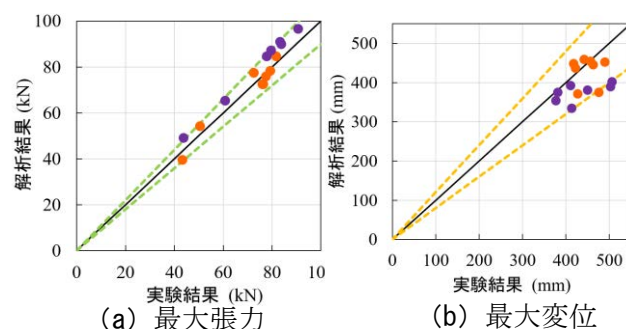


図-5 実験と解析の最大応答値比較

果の最大荷重、最大たわみを整理している。図-5(a) に示す最大荷重において実験結果と解析結果の誤差は、黄緑色の破線で引いた直線範囲内である。これは、黒色直線から 10% 以内の範囲を示している。図-5(b) に示す最大たわみは、橙色の破線で引いた直線範囲内は、黒色直線から誤差が 20% 以内の範囲を示している。

4. 結論

本研究は、連結ばねに破断モデルを適用した個別要素法を用いて、ひし形金網の衝撃実験の再現シミュレーションを試みるものである。

(1) 衝撃実験では、重錘の入力エネルギーが増大すると変位が大きくなり、さらに重錘重量が大きいほどその傾向が強いことを示した。

(2) 再現解析でじゃ、最大荷重と最大たわみを 20% 以内の誤差を許容して予測できることから、本モデルと提案する剛性値決定方法を用いて荷重と変位予測は可能である。

参考文献

- 堀口俊行, 高橋利延, 高森潔, 香月智: 3次元個別要素法を用いた落石防護網の限界状態推定に関する研究, 構造工学論文集, Vol.63A, pp.1061-1073, 2017
- 公益社団法人 日本道路協会: 落石対策便覧, 2018.