

## 小規模金網を用いた吸収エネルギー向上策の提案

電力中央研究所 正会員 ○白井 孝治 電力中央研究所 正会員 南波 宏介  
電力中央研究所 非会員 坂本 裕子

### 1. 背景および目的

竜巻飛来物防護対策の一つとして、竜巻襲来時の風荷重や地震荷重の軽減の観点から、高強度金網を用いた防護ネットの設置が有望とされている。これまでも、実規模大高強度金網を対象に落錘衝突試験を実施し、限界吸収エネルギーの把握、算定手法の提案を行ってきた<sup>1)</sup>。本稿では、金網の設置面積が小さい場合の飛来物対策として、金網支持構造物を二段積みにした、吸収エネルギー密度の高い二段積防護ネットを考案し、落錘衝突試験を実施することで、衝撃特性や吸収エネルギー量の評価を実施した。

### 2. 角形鋼管付き重錘を用いた自由落下衝突試験

試験に使用した高強度金網は素線径φ4mm、素線強度1400N/mm<sup>2</sup>の亜鉛メッキ鋼線を目合寸法40mmで立体的に編み込んだひし形金網であり、主に荷重を展開方向で受け持つ異方性材料である。図1に試験に使用した試験体概要と重錘写真を示す。試験体は2.5m×2.15mの高強度金網二枚をワイヤーロープで支持構造物に取り付けた構造である。支持構造物の隅角部にはワイヤー張力低減のための緩衝構造を組み込んだ。試験体に衝突させる重錘は質量1133kgを有し、衝突部は250×250×t6mmの角形鋼管状である。なお、重錘の局所貫通を防止するために、試験体の1段目上面に、補助金網を設置した。表1に試験条件と試験結果の一覧を示す。衝突試験は、試験体を一段積みとした試験(ケース1-1~1-4)と二段積みとした試験(ケース2-1~2-4)の計8回実施した。重錘の落下高さは、鋼製材の鉛直方向からの衝突エネルギー(108kJ:質量135kg×衝突速度40m/s)相当の9.0m、および40mm目合金網1段分の限界吸収エネルギー143kJ相当の12.1mを参考に決定した。試験では、高速度カメラを用いて金網の変形状態を、ひずみゲージ付きターンバックルを用いてワイヤー張力を、試験体下面に設置したロードセルを用いて衝撃荷重を測定した。

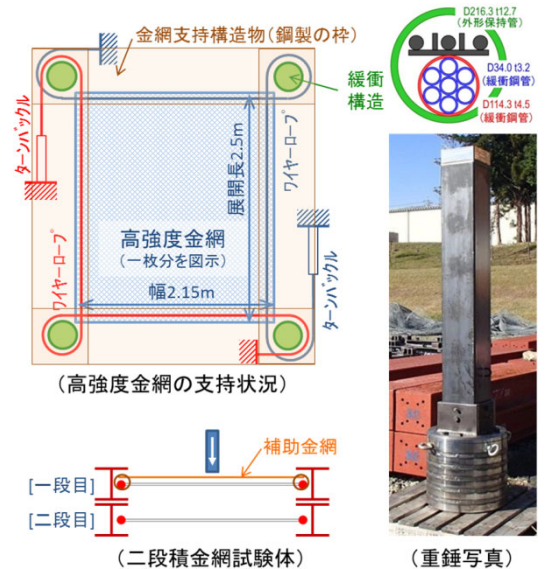


図1 試験体概要図と重錘写真

#### 2.1 変形状況

図2に、試験後の試験体状況と高速度カメラ画像より求めた最大たわみ量の一例を示す。試験ケース1-2では、金網に接触した状態で架台側面を直撃し、重錘が架台の枠外へ飛び出す結果となったが、いずれも重錘を捕捉する結果となった。

#### 2.2 衝撃荷重とワイヤー張力

図3に、ロードセルで測定された衝撃荷重とワイヤー張力の時刻歴を示す。ワイヤー張力は、緩衝構造の変形に伴い直線的に増加し、台形分布となっている。図4に、ロードセル合計荷重とワイヤー平

表1 試験条件および試験結果一覧

試験ケース	高強度金網の構成 (展:展開長)	衝突位置	落下高さ(m)	最大変形量(m)	総エネルギー(kJ)	試験結果 <sup>1)</sup>
1-1	展 2.5m×幅 2.15m×2枚 +補助金網	中央	9.0	1.04	112	◎
1-2		対角オフセット	9.0	0.58	106	○
1-3		対角オフセット	9.0	1.01	111	◎
1-4		中央	12.1	1.10	147	◎
2-1	[一段目]展 4m×幅 3m×2枚 +補助金網 <sup>2)</sup>	対角オフセット	18.7	1.18	221	◎
2-2		中央	24.9	1.46	293	◎
2-3	[二段目]展 4m×幅 3m×2枚	直角オフセット	18.7	0.70	216	◎
2-4		対角オフセット	21.1	0.92	243	◎

1)◎: 重錘捕捉、○: 重錘捕捉後架台に衝突、×: 地上に落下

2)展3×幅4m×40mm目合金網を上側ワイヤーにコイルで取付

キーワード 竜巻防護設備、竜巻飛来物、二段積防護ネット、動的応答倍率、吸収エネルギー量

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 04-7182-1181

均張力の最大値を示す。架台に衝突した試験を除き、落下高さが同一時の最大値は、衝突位置による顕著な差は見られていない。また、ワイヤー張力は、緩衝構造により 35~50kN の範囲に抑えられている。

既報<sup>1)</sup>の通り、重錘衝突により金網に作用する衝撃荷重  $F$  (以下、作用荷重) を時間とともに比例的 (比例係数:  $Q$ ) に増加する二等辺三角形荷重と仮定すると、変位と衝突速度から、重錘停止に必要な時間 (最大荷重までの到達時間) と作用荷重は以下の式で求められる。

$$F = Qt, \quad v = -\frac{1}{m} \int Qtdt = -\frac{Qt^2}{2m} + v_0, \quad d = -\frac{Qt^3}{6m} + v_0t = d_{max}$$

金網や架台を含む系の固有周期を  $T$  とする 1 質点系モデルに、二等辺三角荷重が作用する場合の動的応答倍率 (動的変位 / 静的変位) は、最大 1.52 となることが知られており、必要に応じて、設計では動的応答倍率を考慮する必要がある。

図 5 に、中央衝突した試験においてロードセルより測定された衝撃荷重と、重錘からの作用荷重  $F$  との関係を示す。試験値は、作用荷重に対し約 30% の上昇がみられており、架台の設計においては動的応答倍率を考慮した荷重の設定が必要となる。また、重錘からの作用荷重  $F$  より推定されるワイヤー平均張力  $T$  は、金網のたわみ角を  $\theta$  とすると一段積試験体で  $T = F/(8\sin\theta)$ 、二段積試験体で  $T = F/(16\sin\theta)$  より求められる。図 6 に、ワイヤー平均張力算定値  $T$  と実測したワイヤー平均張力との関係を示す。平均張力に対する算定張力の比は 1.0 を下回っており、緩衝構造によるワイヤー張力の動的応答を打ち消す効果が発揮されていることがわかる。

2.3 吸収エネルギー量

図 7 に、金網の吸収エネルギーの算定値と試験時の入力エネルギーの関係を示す。なお、図中の黒塗りの印は、別途実施した試験で確認した貫通結果を表している。補助金網による局所貫通防止策を施した、一段積および二段積の金網構造のいずれにおいても、金網吸収エネルギーの算定値以下で重錘の貫通は発生していない。以上の結果より、提案のエネルギー算定手法は、架台寸法の大きさに顕著に依存せず、二段積の構造形式についても、吸収エネルギーの重ね合わせが可能であることが示唆された。

3. まとめ

衝突試験より、緩衝構造によるワイヤー張力に関する動的応答の軽減、二段積防護ネットに関する吸収エネルギー算定手法の適用性が確認され、二段積み構造による吸収エネルギー密度向上策の有効性が示された。

参考文献 1) 南波, 白井, ” 竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案”, 電中研報告 N13014, 2014 年 3 月

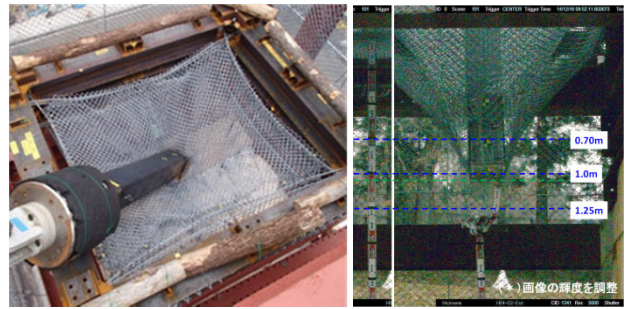


図 2 試験体状況と高速度カメラ画像 (ケース 1-1)

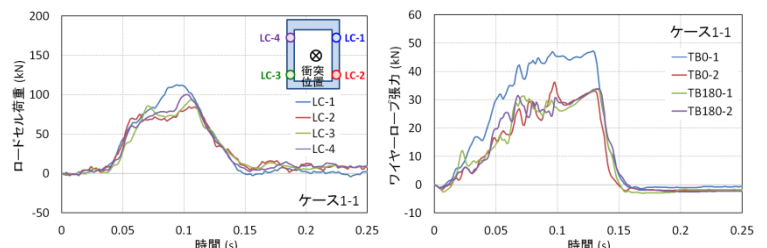


図 3 衝撃荷重とワイヤー張力時刻歴 (ケース 1-1)

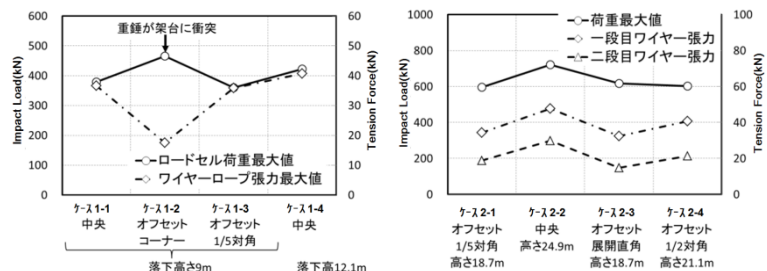


図 4 ロードセル合計荷重、ワイヤー平均張力の最大値

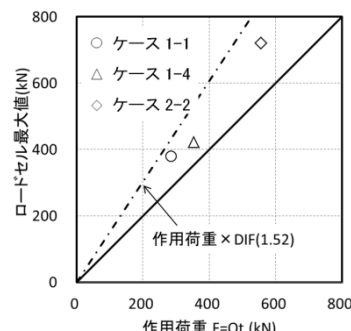


図 5 衝撃力算定値との比較

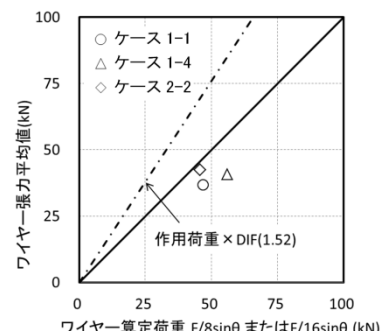


図 6 張力算定値との比較

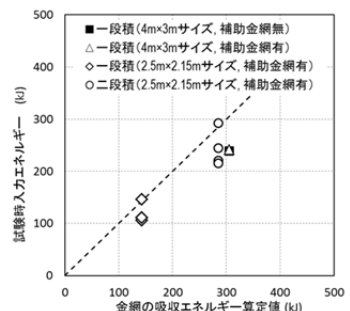


図 7 吸収 E 算定値との比較