

静的荷重下における 落石防護ネットの変形特性

村石 尚¹・杉山友康²・佐溝昌彦¹・安藤和幸³

¹正会員 (財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

²正会員 博(工) (財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災研究室 (同上)

³正会員 東海旅客鉄道株式会社 中津川工務区 (〒508-0033 岐阜県中津川市太田町2-1-3)

落石対策は、鉄道の安全・安定輸送を確保する上で非常に重要である。対策工の一つである落石止柵として、広く一般的に用いられているワイヤロープ金網式は、金網と許容変位量内におけるワイヤロープ、H型鋼の吸収エネルギーの総和、すなわち落石止柵の吸収エネルギーが落石の運動エネルギーより大きくなるように設計されている。金網の吸収エネルギーは概ね25kJと言われているが、その値は直接的な実験において定量的に評価したものではない。本報告では、落石止柵に用いられているひし形金網と新しい構造としてひし形金網よりも大きな変形量が期待できる伸長ネットについて、その材質や寸法、形状をパラメータとした静的載荷実験を行い、それぞれの金網の静的荷重下における変形特性について述べる。

Key Words :rock-fall, deformation, energy, net, static load test

1. はじめに

落石対策は、鉄道の安全・安定輸送を確保する上で非常に重要である。落石対策工には発生源対策である落石予防工と、転落した落石が線路に支障しないように防護する落石防護工がある。その落石防護工については、想定される落石エネルギーに応じた工法を選定するとともに施工性や経済性などを考慮して最も効果的な対策を施すことが重要であり、施工条件が制約される山間隙区などに適応できる低廉な防護技術の開発を行うことが必要である。この基本として落石防護工を構成する部材の基本的な強度や変形特性を把握しておくことが重要となる。

本報告では、まず従来の落石防護工のひとつである落石止柵の基本部材であるひし形金網について、その材質や形状をパラメータとした静的載荷実験によって、静的荷重下における変形特性を把握し、金網の吸収エネルギーを定量的に評価する。さらに、ひし形金網と比較して、変形量が期待できる金網（以下、伸長ネットという）を開発し、静的荷重下における力学的特性について、落石用の防護工部材としての性能について確認する。

2. 従来までの研究経緯と本実験的目的

落石防護工の性能を評価する指標として、吸収エネルギーが用いられている。例えば、落石止柵として、一般的に用いられているワイヤロープ金網式は、H型鋼を支柱としてそれにワイヤロープと金網を取り付けたもので、金網、許容変位量内におけるワイヤロープとH型鋼の吸収エネルギーの総和、すなわち落石止柵の吸収エネルギーが想定する落石のエネルギーより大きくなるように設計^{1), 2)}される。ここで金網の吸収エネルギーは、文献によると齒原ダムの実験値より概ね25kJ³⁾と言われている。その値は多種多様の石を、高さ30～75mmの位置より落下させ、落石が柵に衝突した時の形態に評価値を与え、落石運動エネルギーとの相関図から金網が破れる運動エネルギーとして推定している。すなわち、金網の吸収エネルギーを金網そのものの実験において定量的に評価したものではない。

そこで、材質や寸法・形状等が異なる落石止柵に用いられているひし形金網とこれよりも変形量が期待される伸長ネットを試作し、静的載荷実験によって金網の静的吸収エネルギーを定量化するとともに、両者の静的変形挙動特性の優位性を比較することを目的とした。

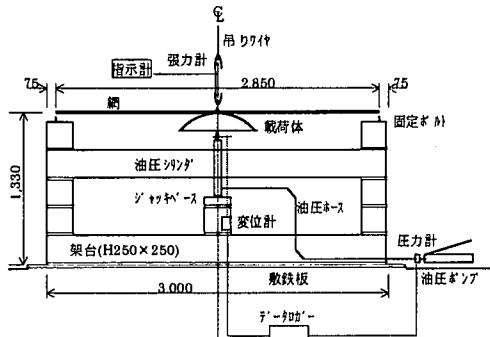


図-1 試験装置と計測装置の概要

3. 静的載荷実験の概要

(1) 実験方法

試験装置および計測装置等の構成を図-1に示す。H型鋼を井桁状に構成した実験架台(以下、架台と呼ぶ)の上面に実験用の金網を設置した。境界条件は両辺固定、他辺自由で面外(金網の面に垂直な方向の)変位を与える載荷方法とした。載荷は、金網の中心に載荷体と油圧シリンダを設置し、載荷体で金網を鉛直上向きに押し上げる方法を採用した。載荷による金網の変形量は、網の中心部での鉛直変位を架台に設置した巻込型変位計で計測した。また、油圧ポンプに取り付けた圧力計で載荷荷重を測定した。試験は変位制御とし一定時間変位を保持したのち次の変位段階に進む。実験は金網が破断もしくは網としての形状が保てなくなるまで行い、この時点を終了とした。

(2) 載荷体形状

載荷体の形状及び寸法は実際の落石を想定して決定した。昭和62年度以降にJR各社で発生した落石災害事例の分析⁴⁾によると、鉄道沿線で発生する落石エネルギーは100kJ以下の規模のものが8割であることか

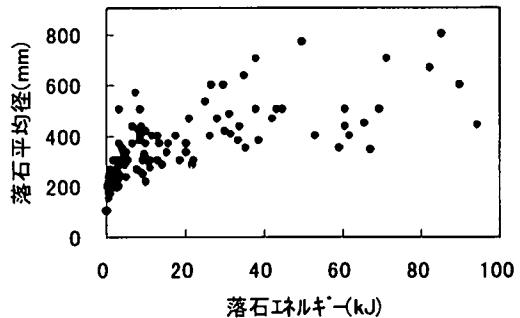


図-2 鉄道沿線で発生した落石エネルギーと平均径の関係

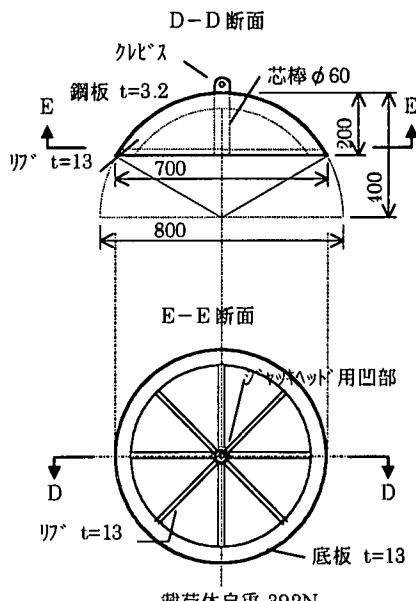


図-3 載荷体の構造

ら、実際に発生した落石の中から100kJ以下の事例を抽出し、その中から落石形状を球体と仮定した上で最大の直径寸法をとることとした。図-2に落石エネルギーと落石平均径の関係を示す。データ数は124件で、平均値は337mm、最大値は800mmであった。

以上の点から、本実験で使用する載荷体の大きさは、100kJまでの落石の最大寸法を採用することとした。図-3には試験で使用した載荷体を示すが、直径800mmの半球体をさらに下端部直径700mm、高さ200mmの形状としたもので、鋼製球面構造としている。

(3) 実験ケース

実験ケースの一覧を表-1に示す。実験に使用した網は、鉄道の沿線で一般的に用いられている落石防護

表-1 実験ケース

Case	No.	網形状	目あい (mm)	線径 (mm)	材質	網重量 (N)	目(格子)数		寸法(mm)		網寸法(m)	
							支間	奥行	目幅	目長	支間	奥行
1	1	ひし形金網	50	3.2	GS	149	41	24	70	80	2.87	1.92
	2					149	41	25			2.87	2.00
	3					155	41	25			2.87	2.00
	2		100	3.2	GS	73	18	13	160	140	2.88	1.82
	1					74	18	14			2.88	1.96
	3					73	18	14			2.88	1.96
	3		150	3.2	GS	53	12	10	240	205	2.88	2.05
	2					53	12	10			2.88	2.05
	1					51	12	10			2.88	2.05
4	1	伸長ネット	50	2.0	GS	55	41	24	70	80	2.87	1.92
	2					59	41	25			2.87	2.00
	3					56	41	25			2.87	2.00
	2		50	4.0	GS	227	39	27	74	74	2.89	2.00
	1					225	41	25			3.03	1.85
	3					227	39	27			2.89	2.00
	21		50	2.0	GH	59	41	25	70	80	2.87	2.00
	1					59	41	25			2.87	2.00
	3					59	41	25			2.87	2.00
41	1	伸長ネット	40	3.2	GS	204	41	29	71	67.5	2.91	1.96
	2					202	41	29			2.91	1.96
	3					204	41	29			2.91	1.96
	43		30	3.2	GS	235	61	29	47	67.5	2.87	1.96
	1					233	61	29			2.87	1.96
	2					233	61	29			2.87	1.96
	44		30	2.6	GS	154	58	30	50	67.5	2.90	2.03
	1					154	59	29			2.95	1.96
	2					154	59	29			2.95	1.96
45	1	伸長ネット	40	2.6	GS	137	42	30	70	67.5	2.94	2.03
	2					130	41	29			2.87	1.96
	3					129	41	29			2.87	1.96

※ 材質 GS: 亜鉛めっき鉄線(S) GH: 亜鉛めっき鉄線(H) (JIS G 3547による)

柵を想定し、支柱間隔3m、高さ2mになるように1スパン分を切り出し、端部はナックル処理（端部が外れないように鉄線を折り曲げること）を行った。網の形状は、一般的に落石止柵に使用されているひし形金網と、従来は落石止柵に使用されていないが、ひし形金網よりも変形量が期待できる伸長ネットの2種類とした。ひし形金網と伸長ネットの形状をそれぞれ図-4に示す。以下に実験に用いた網の概要を述べる。

a)ひし形金網

鉄道の落石止柵で一般的に用いられている目あい50mm、線径3.2mm、材質GS(亜鉛めっき鉄線(S): JIS G 3547)を基本として設定することにした。基本となる実験ケース（表-1中の Case1）に対して目あい、線径、材質をパラメータとして表-1の Case2 ~21を設定し、同一条件で3回実験を実施した。

実験ケース名は、基準となる金網を「Case1」とし、それに対して目あい寸法を変化させた金網を「Case2, Case3」、線径を変化させた金網を「Case4, Case5」とした。「Case1」の金網に対し材質を変えた金網について検討したが、実験可能な最大載荷荷重を上回ることが予想されたので線径の小さい「Case4」の比較対照として、素線の材質を変えた金網「Case21」を設定した。

b)伸長ネット

伸長ネットは、素線をコイル状に加工し、ひし形金網と同様にかみ合わせてネット状にしたもので、試験

では、落石止柵として一般的に用いられているひし形金網（目あい50mm、線径3.2mm）と同程度の単位面積当たりの重量のネット（目あい30mm、線径2.6mm）とそれより軽いネットと重いネットになるように、目あいと線径を変化させた。パラメータの選定は目あいと線径とし、目あいを40mmと30mm、線径を3.2mmと2.6mmの組み合わせで4ケース「Case41, 43, 44および45」とした。なお、材質は一定とし4種類について実験を行い、同一条件で3回実験を実施した。

c)線材の機械的性質

ひし形金網に用いられた鉄線はJIS G 3547にある亜鉛めっき鉄線(SWMGS-3,4, SWMGH-4)、伸長ネットに用いられた鉄線はJIS G 3547にある亜鉛めっき鉄線(SWMGS-3)で、それらの機械的性質を表-2に示す。鉄線の機械的性質は線材の引張試験結果を参考した。全ての試験サンプルにおいてJISの規格値を満足しており、実験で使用したそれぞれの金網は、同一線材にて加工した物であるので、網毎の線材の材料特性におけるバラツキは無視できると考えた。なお、表-2において、GH-4の引張強さがGS-3, GS-4のそれと比べて大きいのは、線材の加工段階での処理方法が異なることから生じている。すなわち、冷間加工後に焼きなまし処理を行うGSに対して、焼きなまし処理を行わないGHの方が引張強さが大きくなる。

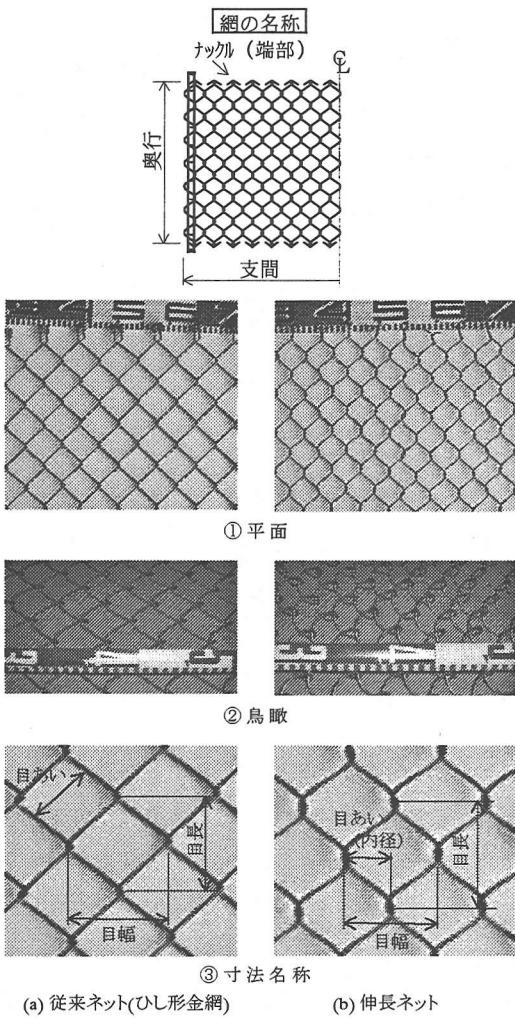


図-4 金網の構造

4. 実験結果

(1)荷重-変位挙動

載荷時に作用する鉛直荷重の最大値である破壊荷重(P_{max})とその時の変位量(δ_{max})、静的吸収エネルギー E_s の各値について表-3に示す。ここで、静的吸収エネルギーは、破壊までの鉛直荷重(以下、荷重と呼ぶ)と鉛直変位(以下、変位と呼ぶ)曲線で囲まれる面積とし、作用力が成した仕事量をこれと等価と考えた。すなわち、静的吸収エネルギー E_s は、次式で求められる。

$$E_s = \int_0^{\delta_f} f(\delta) d\delta \quad (1)$$

ここに、 E_s :静的吸収エネルギー
 $f(\delta)$:変位 δ 時の荷重

表-2 線材の機械的性質

	上段: 規格値 下段: 試験サンプル	線径 (mm)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	めつき付着量 (g/m ²)	適用 Case-○
GS-3 $\phi 3.2$ 2807098	規格値 3.2(± 0.07) 3.17	290~540 418	≥ 10.0 23.5	≥ 135 160	1,2,3,	
GS-4 $\phi 2.0$ 6901036	規格値 2.0(± 0.05) 2.04	290~540 428	≥ 10.0 17.0	≥ 185 411	4	
GS-3 $\phi 4.0$ 2812009	規格値 4.0(± 0.08) 3.97	290~540 410	≥ 10.0 27.5	≥ 155 173	5	
GH-4 $\phi 2.0$ 6812072	規格値 2.0(± 0.05) 1.97	590~880 786	— 6.0	≥ 155 270	21	
GS-3 $\phi 3.2$ 2812017	規格値 3.2(± 0.07) 3.19	290~540 412	≥ 10.0 24.0	≥ 135 163	41,43	
GS-3 $\phi 2.6$ 2812022	規格値 2.6(± 0.07) 2.57	290~540 430	≥ 10.0 27.5	≥ 120 133	44,45	

* GH-4 $\phi 2.0$ の鉄線の伸びは、JIS に規格されていない

δ :変位

δ_f :破壊時の変位

試験によって得られた荷重と変位の関係を図-5に示す。図-5(a)はひし形金網を、図-5(b)は伸長ネットに加え、比較のためにひし形金網(Case1)の荷重-変位曲線を示す。各ケースでは、3回の実験を実施したが、実験におけるバラツキが小さく、結果に有意な差が無かつたため、図には代表値として3回目の実験結果について示した。図から変位量の増加とともに荷重も増加し下に凸の荷重変位曲線となり、ピーク時に素線の破断等によって急激な荷重低下を示していることがわかる。いずれの曲線もゴム等の高分子材料の一軸引張試験に見られるネッキング現象に近い挙動が受けられる。本実験の載荷方法の特徴から、載荷途中から自由辺中央付近に載荷体中心部に寄る傾向が見られたことから、前述したネッキング現象に近い挙動を示したと考えられる。また、荷重と変位の関係は載荷初期は線形挙動、それ以後は非線形挙動に分けらる。ひし形金網および伸長ネットは、線材をそれぞれ鋸歯状、コイル状に加工した列線を組合せ、網状にしたものであるため、載荷初期の載荷体と金網との接点部には多少の変形に対する自由度を有している。その自由度は、面外変形が進み接点間の拘束力が作用し始めたとき減少し、荷重と変位との関係は非線形挙動を示すことが分かった。さらには、図-5に示される直線部の傾きの大きさは接点部の拘束力の大きさと対応している。線径が大きく、目あいが小さい程直線部の傾きが大きい、すなわち拘束力が大きく接点部の自由度が小さいものは、荷重が早く立ち上がる傾向を示した。なお、破壊時の変形状況の代表例としてCase1-1とCase44-1について図-6に示す。

(2)破壊形態

変位量の増加とともに荷重は急激に増加する。最終的に荷重がピークに達したときの網の破壊形態についてまとめたものを表-4に示す。破壊形態は、①網の

表-3 実験結果

Case	No.	目あい (mm)	線径 (mm)	材質	自重 (N)	P_{max} (kN)	δ_{max} (m)	E_s (kJ)
1	1	50	3.2	GS	149	64.29	1.37	18.25
	2				149	59.89	1.39	17.68
	3				155	57.48	1.40	16.15
2	1	100	3.2	GS	73	35.72	1.23	6.13
	2				74	41.25	1.16	7.66
	3				73	31.46	1.15	5.78
3	1	150	3.2	GS	53	26.29	1.05	3.96
	2				53	21.97	1.09	3.28
	3				51	21.83	1.12	3.68
4	1	50	2.0	GS	55	19.70	1.35	5.62
	2				59	24.31	1.33	6.25
	3				56	15.37	1.25	4.17
5	1	50	4.0	GS	227	82.44	1.10	23.93
	2				225	78.19	1.24	20.39
	3				227	80.45	1.12	20.74
21	1	50	2.0	GH	59	24.73	1.34	5.73
	2				59	24.16	1.20	5.59
	3				59	24.95	1.43	6.20
41	1	40	3.2	GS	204	73.86	1.94	29.57
	2				202	76.91	1.96	30.77
	3				204	77.83	1.97	30.68
43	1	30	3.2	GS	235	90.23	2.28	45.45
	2				233	94.00	2.24	45.33
	3				233	97.05	2.24	44.96
44	1	30	2.6	GS	154	54.93	2.21	23.61
	2				154	63.29	2.32	26.21
	3				154	63.95	2.31	26.56
45	1	40	2.6	GS	137	50.11	2.01	17.74
	2				130	50.11	1.92	17.86
	3				129	55.24	1.92	17.47

隅でナックルの外れおよび素線の破断、②支持辺中央付近で素線の破断、③載荷体周辺で素線の破断、の3つに分類することができる。また、①については破壊荷重よりさらに荷重を加えると支持辺中央に向かって素線の破断が進行した。

このように、各ケースによってネットの破壊箇所が異なる。特徴的なのは、ひし形金網では、ネットの隅または、支持辺での破壊が、伸長ネットでは載荷体付近での破壊が先に生じている点である。すなわち、伸長ネットは、ネット自身の破壊限界を示していると考えられるのに対し、ひし形金網は、全体というよりもネット端部の破壊であり、この部分を補強することによって全体の破壊荷重は大きくなる可能性を示唆している。ここで、破壊した時点を定義する必要があるが、本試験では実際のネットを使用していることもあり、破壊形態がケースによっては異なるものの、上述したような、荷重-変位曲線が最初に急激な低下を示した時点を破壊として整理した。

5. 金網の変形挙動特性

(1)ひし形金網の材質、寸法と変形挙動特性

a)目合い変化の影響

同一線径3.2mmで目あいの寸法を50mm, 100mm, 150mm

表-4 破壊形態

破壊形態	実験ケース
①網の隅でナックルの外れ、および素線の破断	Case1,4,5,21
②支持辺中央付近でナックルの外れ、および素線の破断	Case2,3,
③載荷体周辺で素線の破断	Case4,14,34,44,45

と変化させた場合（Case1, 2, 3）の、目あいと破壊荷重 P_{max} 、変位量 δ_{max} 、静的吸収エネルギー E_s との関係を図-7に示す。それぞれ横軸に目あいの変化、縦軸に破壊荷重、変位量および静的吸収エネルギーをプロットした。目あいが大きいほど、破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーは小さくなる傾向を示す。ここで、破壊荷重、変位量はほぼ直線的に変化し、静的吸収エネルギーは載荷荷重と変位量の積で求まることから曲線にて近似することができる。目あいが大きいほど静的吸収エネルギーは小さくなる。

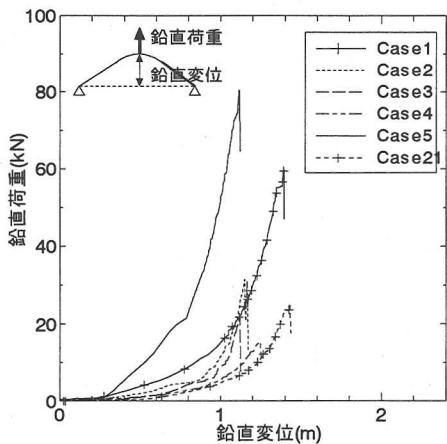
b)線径の違いによる影響

同一目あい50mmで線径を2.0mm, 3.2mm, 4.0mmと変化させた場合（Case4, 1, 5）の線形と破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーとの関係を図-8に示す。線径が太くなると破壊荷重と静的吸収エネルギーは大きくなるが、変位量は線径によらずほぼ同じである。線径が小さくなると破壊荷重ならびに静的吸収エネルギーは小さくなり原点を通る曲線に近似できるが、本実験で実施した線径の変化範囲内で考えると、静的吸収エネルギーは上述した目あい変化では曲線近似に近い傾向にあるのに対し、線径変化では直線近似に近い傾向にある。また、「Case4, 1, 5」は網の隅でナックルの外れ、および素線の破断が生じる破壊形態を示しており、変位量もほぼ同じであることから、線径が太いほど破壊荷重は大きくなるものの、金網のナックル構造の影響で変位量が決まってしまう傾向がある。

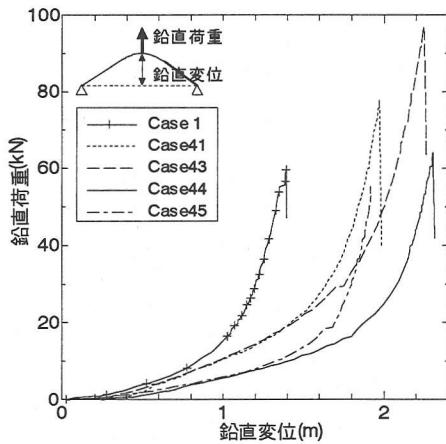
ここで、鉄道の落石防護柵として通常使われているひし形金網は、目あい 50mm、線形 3.2mm であり、表-3、図-7、図-8から、この金網の破壊荷重は約 60kN、静的吸収エネルギーは約 17kJ であるといえる。

c)材質の違いによる影響

同一目あい50mm、線径2.0mmで素線の材質を GS, GH

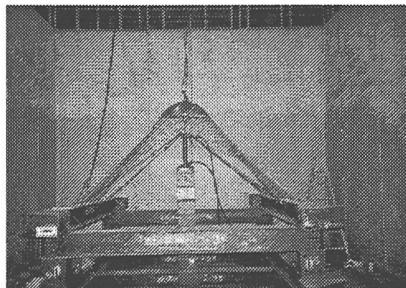


(a) ひし形金網

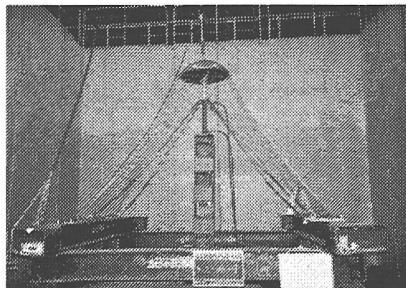


(b) 伸長ネット

図-5 荷重-変位曲線



(Case1-1)



(Case44-1)

図-6 破壊時の金網の変形状況

(亜鉛メッキ鉄線(H) : JIS G 3547)と変えた場合(Case4, 21)の破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーの関係を図-9に示す。横軸に素線の引張強さ、縦軸に破壊荷重、変位量および静的吸収エネルギーをプロットした。実験値にバラツキを生じているが、破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーについて材質による変化はほとんどない。しかし、「Case4, 21」の破壊形態は網

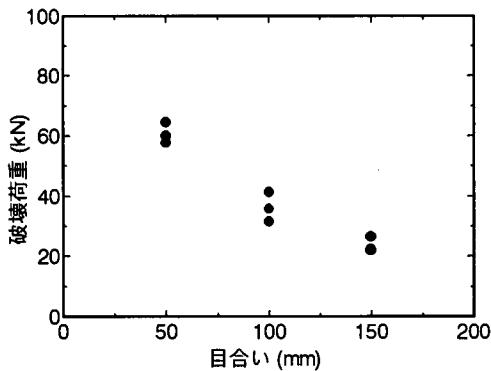
の隅でナックルの外れ、および素線の破断であるため、材質より網の端部構造の影響が顕著に現れたものと考えられる。また、素線の破断は一軸引張りでの破断ではなく、ひし形に線材を加工したその格子部分での破断であることから、一概に引張力だけでなくせん断力も作用していると思われる。ただ素線の応力状態を確認するに至っておらず、また径の小さい素線に対してせん断力の作用状況については今後検討する余地がある。

(2) 金網構造と変形挙動特性

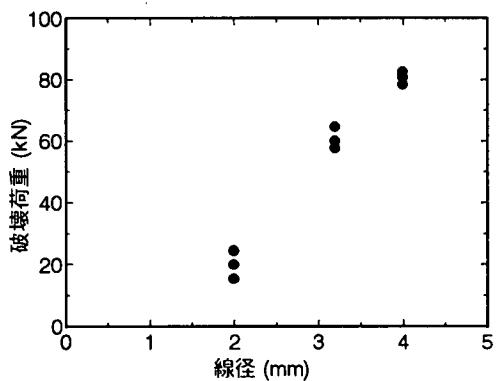
前節では、従来の落石防護柵に使用されているひし形金網の静的載荷時における変形挙動および静的吸収エネルギーに関して述べた。静的吸収エネルギーは、破壊荷重が同じ場合、破壊までの変位量をより大きくとれる金網であれば大きくなることが容易に理解できる。そこで、より載荷時の変形追随性のよい、伸長ネットを試作したことは、既に述べた。本節では、ひし形金網と伸長ネットの変形挙動特性を比較する。

ネットの重量は、線径と目あいの組合せによって決まるため、ネットの力学的性質を検討する際はネット重量もしくは単位面積あたり重量が一つの特性値と考えることができる。そこで線径、材質等が異なる各ネットの力学的性質を比較するために、横軸にネットの単位面積あたり重量を、縦軸に破壊荷重、変位量、吸収エネルギーをプロットしたものを図-10、図-11、図-12に示す。以下、ネットの単位面積あたり重量を単位重量と呼ぶ。

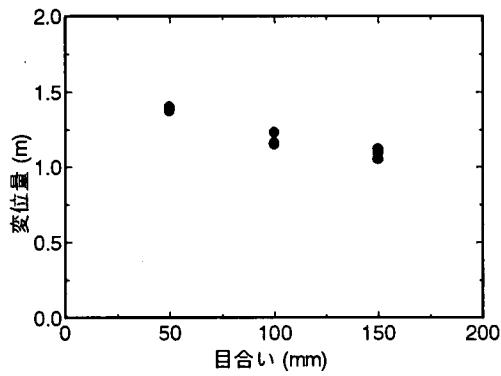
実験ケースによって多少のばらつきはあるものの、ひし形金網と伸長ネットについては破壊荷重、変形量、吸収エネ



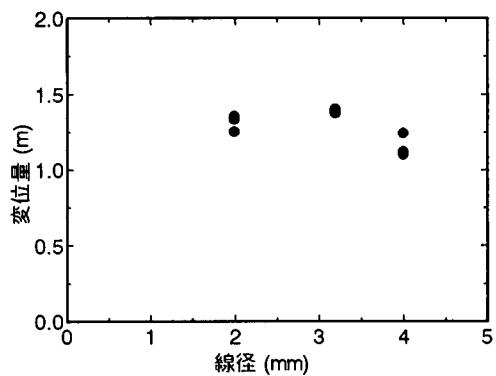
(a) 破壊荷重 (線径 3.2 mm)



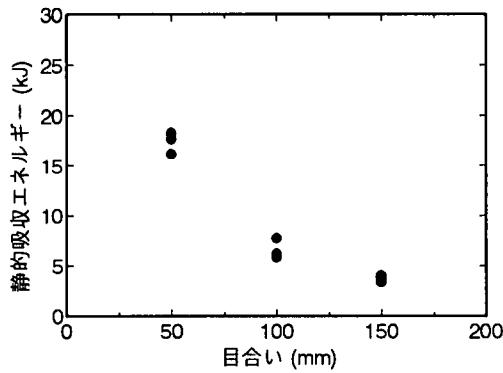
(a) 破壊荷重 (目合 50 mm)



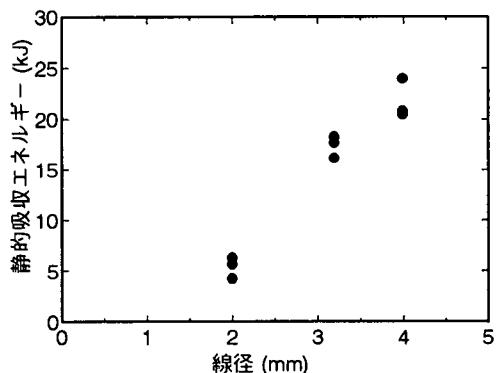
(b) 変位量 (線径 3.2 mm)



(b) 変位量 (目合 50 mm)



(c) 静的吸収エネルギー (線径 3.2 mm)



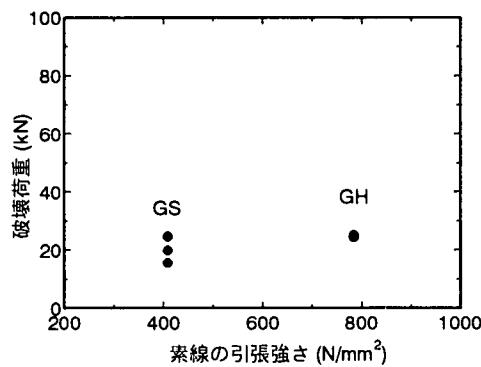
(c) 静的吸収エネルギー (目合 50 mm)

図-7 ひし形金網の目合と破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーの関係

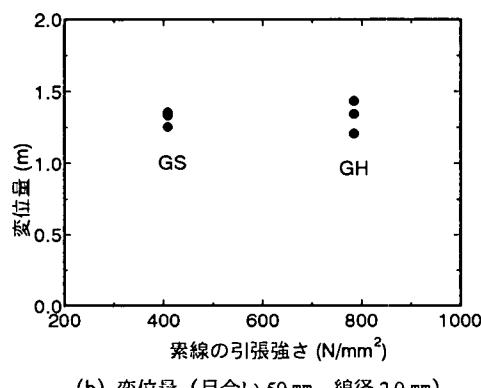
ルギーとも同じ様な傾向を示す。すなわち、破壊荷重と吸収エネルギーは単位重量が大きくなるほど増加し、変位量はほぼ一定である。図中の点線、破線は、破壊荷重、吸収エネルギーについては原点を通る近似直線、変位量についてはそれそれの上限と下限値が一定となる直線である。なお、静的

図-8 ひし形金網の線径と破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーの関係

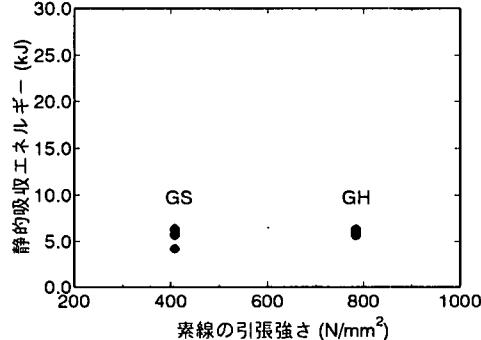
吸収エネルギーは単位面積あたり重量が同一の試験体の誤差は少ないが、グループ間の関係は図-12に見られるよう単純な線形関係にはない。しかし、重量が限りなく小さくなれば静的吸収エネルギーが存在しないと仮定し、ここでは便宜的に原点を通る直



(a) 破壊荷重（目合い 50 mm, 線径 2.0 mm）



(b) 変位量（目合い 50 mm, 線径 2.0 mm）



(c) 静的吸収エネルギー（目合い 50 mm, 線径 2.0 mm）

図-9 ひし形金網の素線の引張強さと破壊荷重、変位量、静的吸収エネルギーの関係

線で近似している。

図-11から、ひし形金網の面外変位量は、材質・寸法などに依存せず、ほぼ一定であり、その値は 1.2 m 程度であることがわかる。

破壊荷重とネットの単位重量の関係からみれば、ひし形金網と伸長ネットはほぼ同一直線で近似され、単

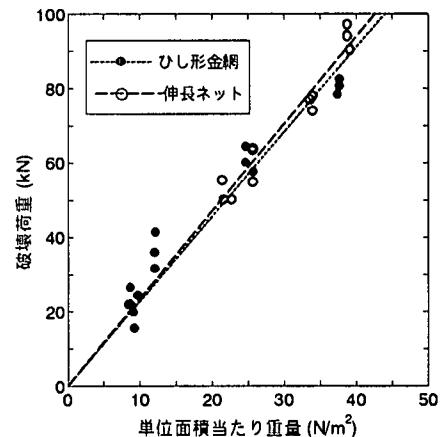


図-10 金網の単位面積あたり重量と破壊荷重の関係

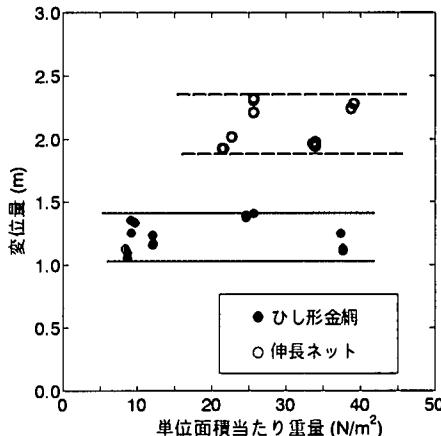


図-11 金網の単位面積あたり重量と変位量の関係

位重量が同じネットであれば同じ破壊荷重となり、ネットの構造による有意な差は見られない。しかし変位量は両者ともに単位重量が大きくなつてもある程度の幅で一定であり、伸長ネットの方がひし形金網より大きい。従つて、変位量がひし形金網に比して伸長ネットの方が大きいため、単位重量と吸収エネルギーの関係図で示される傾きは、伸長ネットの方がひし形金網より大きくなっている。これは、同じ単位重量のネットで比較すると、伸長ネットの方が静的吸収エネルギーは大きくなり、本実験の範囲内であれば、単位重量が大きくなるほどその傾向は顕著であることを示している。すなわち、単位重量が同じであれば、伸長ネットは従来型のひし形金網に比べて、静的吸収エネルギーは約 1.5 倍となり優れたエネルギー吸収特性を有しているといえる。

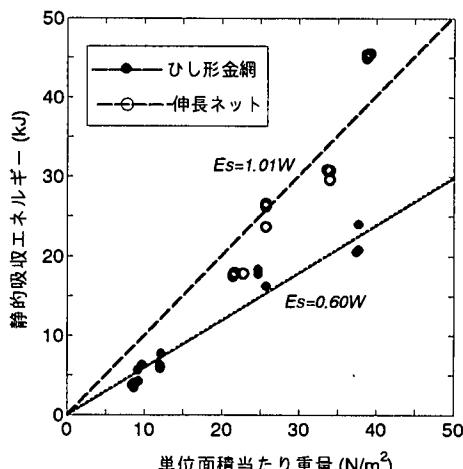


図-12 金網の単位面積あたり重量と静的吸収エネルギーの関係

6. まとめ

落石防護柵に使用されているひし形金網と変形性能が期待される伸長ネットに対し、静的載荷実験を行い変形挙動特性を明確にするとともに、静的吸収エネルギーを定量的に把握した。本実験で得られた知見は以下のとおりである。

(1)ひし形金網の破壊荷重は目合いが小さくなるほど、また線径が太くなるほど大きくなる傾向を示す。すなわち、破壊荷重は、単位面積当たりの重量にほぼ比例して大きくなり、鉄道の落石防護柵として通常使用されている目あい50mm、線径3.2mm、材質 GS では、約60kNで

ある。

(2)ひし形金網の面外変位量は、材質・寸法などに依存せず、ほぼ一定であり、その値は1.2m程度である。

(3)ひし形金網の静的載荷時の吸収エネルギーは、単位面積当たりの重量にほぼ比例する。鉄道の落石防護柵として通常使用されている目あい50mm、線径3.2mm、材質 GS での、静的吸収エネルギーは、約 17kJ である。

(4)新しく試作した伸長ネットは、単位面積当たりの重量が同じひし形金網と比較すると、破壊荷重は同じであるが、破壊時の変位量が大きくなり、結果として静的吸収エネルギーは約1.5倍となる。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省の補助金によって行われたものである。また、実験で使用した伸長ネットの試作にあたり、日亜鋼業（株）長谷川真道氏、前田孝志氏の多大な協力を得たことに対し謝意を表する。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，1999.
- 2) (社)日本道路協会：落石対策便覧，2000.6..
- 3) 落石実験調査報告書，日本道路公団東京支社・(株)建設企画コンサルタント，1973.
- 4) 奈良利孝，杉山友康，村石尚，野口達雄，佐溝昌彦：鉄道における落石災害事例の調査・分析，第34回地盤工学研究発表会講演集，No.1092, pp.2185-2186, 1999.

(2001. 2. 1 受付)

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ROCKFALL NETS BASED ON STATIC LOAD TEST

Hisashi MURAISHI, Tomoyasu SUGIYAMA, Masahiko SAMIZO
and Kazuyuki ANDO

Rockfall countermeasures are very important in order to keep the safety of railway transportation. The typical rockfall fence for this purpose is consisted of posts, wire ropes and steel nets, must be designed so that the total absorbing energy of components is larger than the planned rockfall kinetic energy. However, this conventional fence has not been tested precisely so far. Then, static loading experiments for steel nets are carried out to study the relationship between dimensioning and deformation characteristics. In addition, a new-model net fence, which is expected to have large deformation than that of conventional nets, is tested. As a result, it is proved that the absorbed energy of new fences is larger than that of conventional ones.