

ナイロンフェンスによる飛石防止の研究

吉富宏彦*・山本一元*・玉田 一*・木村 敬*

1. 緒 言

発破のさいに飛散する岩石を防止しようとする試みは、建造物の保護や人畜に対する安全の確保の立場から、従来より研究されているが、最近特に市街地近くの発破や、市街地での発破の要請が強くなるにおよんで簡便で確実な飛石の防止方法が要望されてきた。

ナイロンフェンスは、ナイロンの有する特質から、軽くて強靱であることから、次第にプラスチックフェンスとして利用されはじめているが、静的な条件で得られた特性値から、発破飛石の防止効果を論議することは危険であるばかりでなく、使用方法についても、何らかの具体的な方法を明示する必要がある。

本文では、数 m/sec のオーダーの飛石を想定して、落槌試験機によつて、ナイロンフェンスと他の市販帆布の耐力の比較を行なつた。

数十～数百 m/sec の飛石に対する耐力は、旧砲によつて岩石や鋼片を打ち出して求めた。

落槌試験では、平滑なストライカーで打撃するときには、ナイロンがビニロン、綿帆布よりも強い。尖鋭なエッジを有するストライカーについても、同様な結果が得られる。いずれにしても、帆布のたわみによる緩衝作用は無視することができず、フェンスの設置方法についても考慮する必要がある。

旧砲試験では、岩石、鋼片を打ち出してフェンスの耐力を求めた。重量が数十～数百g の飛散物では、フェンスの破断する速度は 100～500m/sec で、飛散物の重量が大きく、飛散速度が速いほど破損しやすいことを指摘した。

コンクリートブロックの破断試験では、破砕片の飛行速度は数十 m/sec のオーダーであるが、この速度では、ナイロンフェンスによつて飛石は完全に防止できる。高速度カメラによつて、旧砲、コンクリートブロック試験のさいの飛石とフェンスの挙動を観察し、種々な考察を加えた。この結果でも、フェンスのたわみや、伸びに起因する緩衝作用は無視できず、実際の発破では、なるべくたわみ量を大きくする配慮が必要である。

実際の発破では、破砕片の飛行速度は 数m～数百 m/sec であるから^{1)・2)}ほとんどの場合ナイロンフェンスによつて飛石を防止することができる。

市街地における発破では、危害予防上の見地から飛石防止法に対する統一された見解はないが、鋼板によつて被爆体全体を覆うなどの対策がとられている所もあるが、ナイロンフェンスと金網を併用するなどの方法によつて、鋼板と同様な効果は期待できる。いずれにせよ、発破方法について技術的な検討を要することはいうまでもない。

2. 実 験

2.1 供 試 材

(1) フェンス試料

ナイロンフェンスは、安永理研より発売されているナイロン・プラスチックフェンスを用いた。綿帆布は、大和紡KK製、6, 9, 10, 11号を用いた。またビニロン帆布は、倉敷レーヨン製、商品名クレモナ、3, 4, 5, 6号を用いた。各試料の物理的な特性値を、Table 1に示す。

また、布フェンスと比較するために、BWGNo. 18 金網 (線径1.29mmφ) を用いて旧砲試験を行なつた。

(2) 爆 薬

旧砲試験およびコンクリートブロック破断試験では、いずれもPETNを用い6号電気雷管で起爆した。

(3) 飛 散 物

軽量飛散物としては、約20～40gの岩石を用い、重量飛散物としては、SS41鋼棒、22mmφ×100g、32mmφ×300g、44mmφ×300g、44mmφ×500g、50mmφ×500g をそれぞれロッド状に切断し、エッジ効果をなくするために、Rをとつたピースを用いた。

(4) コンクリートブロック

破断用コンクリートブロックは、一辺約400mm強度230kg/cm²の供試体を用いた。

2.2 実験方法

(1) 落槌試験

火薬類の衝撃感度を測定する落槌試験機 (坂下製作所製) を用いた。Fig. 1 に示すように、試料をホルダーに固定し、1～7kgの落槌を落下させた。ストライカーは、20mmφの平滑なヘッドを持つものと、45°

昭和43年8月19日受理
* 旭化成・火薬工場研究課 延岡市水尻町

Table 1 Physical properties of various

canvas	Tensile Strength(kg)		Elongation (%)		Tear strength (kg)		Weight (g/m ²)	Thickness (mm)
	Longitudinal	Lateral	Longitudinal	Lateral	Longitudinal	Lateral		
Nylon fence	390	380	35	35	up to 100	up to 100	520	1.3
Cotton canvas No. 6	120	115	41	15	11	10	647	0.93
" No. 9	95	105	21	12	7	6	510	0.72
" No. 10	75	70	29	12	7	6	420	0.68
" No. 11	70	37	23	13	—	—	335	0.60
Vinyon canvas No. 3	159	138	33	25	12	10	613	0.73
" No. 4	123	122	28	26	—	—	541	0.61
" No. 5	104	94	25	27	—	—	—	—
" No. 6	155	135	31	28	—	—	—	—

角度を有する長さ 30mm の三角柱の尖鋭ヘッドをもつものを用いた。

所定落高で2回の試験を行ない、破断しない落高を求め、この高さより10%だけ高くして2回の試験を行ない1回でも破断した場合には、前者の落高を限界破断落高と定義した。

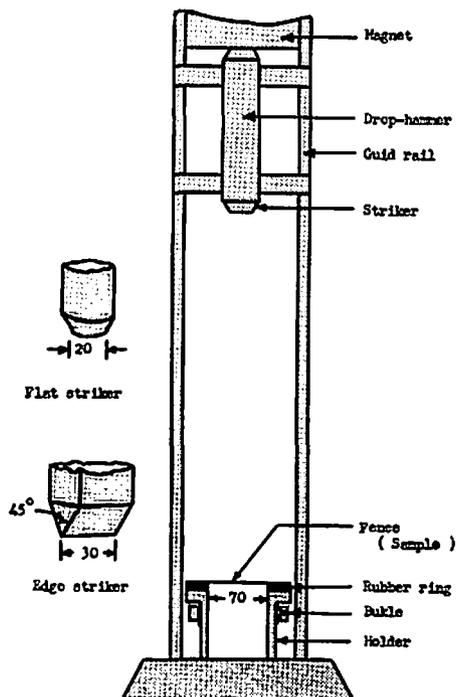


Fig. 1 Layout of break down test of various fences by using the drop hammer

(2) 旧砲試験

Fig. 2 に示すように、岩石または鋼片を旧砲に入れ

PETNを充填して、このPETNを起爆して、飛散物を発射し、フェンス、金網の耐力を求めた。スクリーン法によつて、飛散物の速度を求め、フェンス、金網は第2線的の後ろにおいた。線的には、0.35mmφのホルマル銅線を使用した。飛散速度の調整はPETNの薬量によつて行ない、200~600m/secの値が得られた。フェンスの大きさは570mm×700mmとし、四つ角をロープで枠に固定した。

飛散物がフェンスに衝突するときの挙動を、日立製作所製高速度カメラ(最大コマ数、10,000コマ)で観察した。

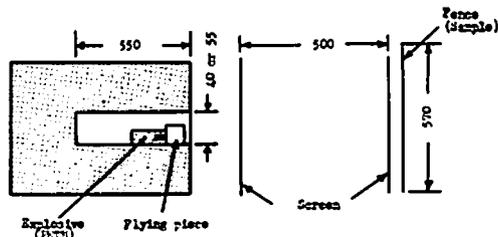


Fig. 2 Layout of breakdown test of the fences by the flying piece shot from mortar

(3) コンクリートブロックの破壊試験

Fig. 3 に示すように、一辺約400mmのコンクリートブロックの中央に、25mmφ×150mmの発破孔を穿ち、PETN、15gを充填して破砕石の飛散速度と、ナイロンフェンスの破損の有無を試験した。ブロックとナイロンフェンスの距離は0.1~1.5mで実験した。

高速度カメラによつても、飛散片のフェンスに衝突するときの挙動を観察した。

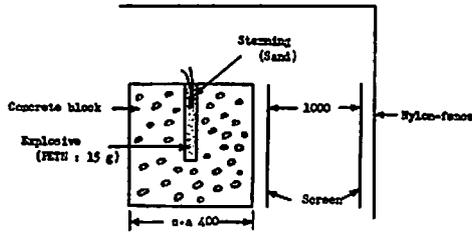


Fig. 3 Layout of the prevention test of flying pieces by using the nylon-fence in blasting of concrete block

3. 実験結果ならびに考察

3.1 落槌試験によるフェンス耐力の測定

ナイロン、綿帆布、ビニロン帆布の限界破断落高を求めた結果を、Fig. 4に示す。

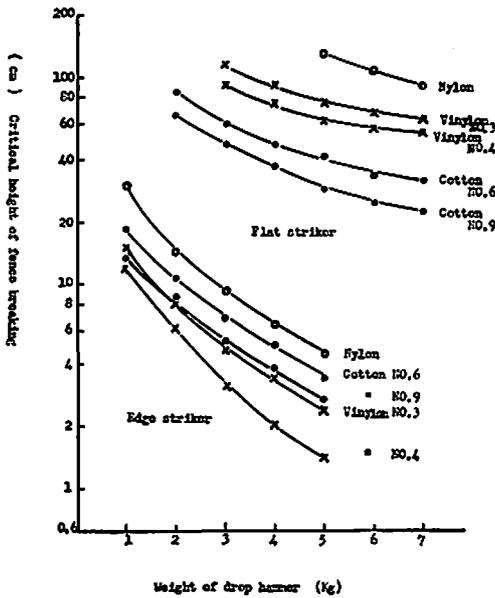


Fig. 4 Critical height of fence breaking obtained from the drop hammer test

結果から明らかなように、ナイロンフェンスは、綿帆布、ビニロン帆布に比較して著しく耐力は大きい。

また、平滑なストライカーよりも尖鋭なストライカーの方が、低い落高で破断する。

打撃速度は、落槌の自然落下速度とほぼ等しく、この実験では 0.5~5.0m/sec のオーダーであつた。

この値から、限界破断運動エネルギーを求めて、グラフにしたものが Fig. 5 である。

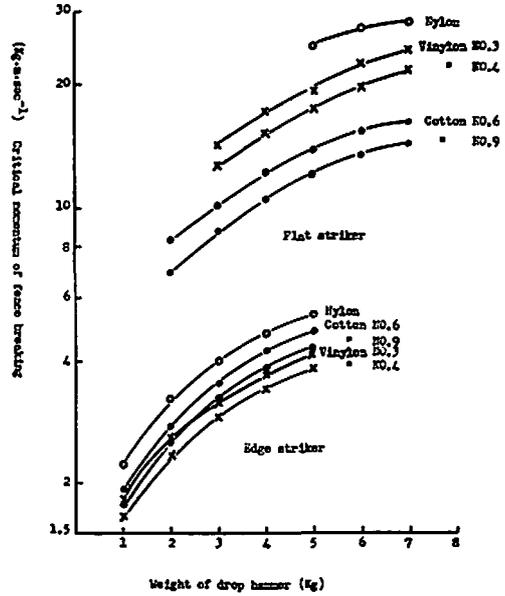


Fig. 5 Critical momentum of fence breaking obtained from drop hammer test

破断運動エネルギーは、ストライカーの形状に関係なく、落槌重量が増すにつれて大きくなる。この理由は、試料が破断するまでのたわみの量に起因するものと思われる。

Fig. 6 のモデルについて考えてみると、質量Mの落槌が Y_0 点において V_0 の速度で、布面に衝突したと仮定する。衝突後、落槌は布を矢印の方向に移動し、

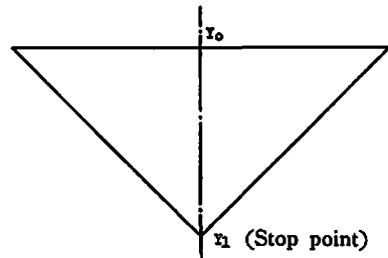


Fig. 6 Model of the fence bending at the time of drop hammer test

反撥はなく、 Y_1 点で静止したとする。

落錘が布に衝突してから、時間 t を経過したときの落錘の速度 V と移動距離 Y は次式で示される。

$$V = V_0 + at \quad (1)$$

$$y = y_0 + V_0 t + at^2/2 \quad (2)$$

ただし、 a は加速度

Y_1 点においては、 $V=0$ となるので(1)式より

$$a = -V_0/t \quad (3)$$

となり、(3)式を(2)式に代入して整理すると

$$y_1 - y_0 = V_0 t/2 \quad (4)$$

$$t = 2(y_1 - y_0)/V_0 \quad (5)$$

となり、たわみ量 $Y_1 - Y_0$ を実測することによつて、作用時間 t が求められる。限界破断落高におけるたわみ量を測定して作用時間 t を求め、次式に従つて平均の衝撃力、 F を求めて、これを限界破断力と定義してグラフにしたものが Fig. 7 である。

$$F = (MV_0 - MV_1)/t \quad (6)$$

$V_1 = 0$ であるから

$$F = MV_0/t \quad (7)$$

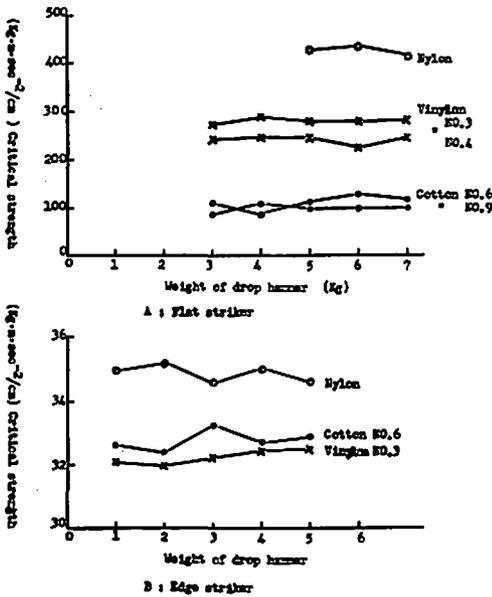


Fig. 7 Critical strength of fence breaking obtained from the drop hammer test

このように、衝撃力からみると、重量に関係なく布の物理的な特性によつてほぼ一定値を示す。

飛石防止についてこの結果から考察すると、フェンスには、ナイロンのように縦、横の強度のバランスがとれていて、しかも伸びの大きいものが望ましい。

しかし、たわみ量は、単なる試料の伸びだけではな

く、試料の固定方法によつても異なる要素があるので、実際の発破にあつては、設置および固定方法についても留意する必要がある。

3.2 旧砲試験によるフェンスの耐力の測定

岩石、銅片を旧砲から発射して、フェンスに衝突させ、飛散物の重量と速度と破断の有無を試験した。各重量においてそれぞれ10回の測定を行ない、破断に対する最少の速度を求めた。この結果を一括して Fig. 8 に示す。

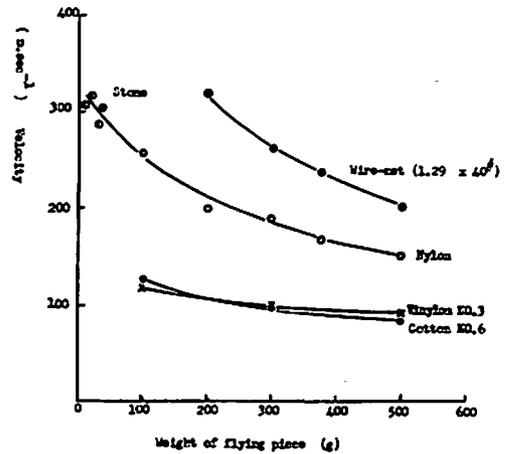
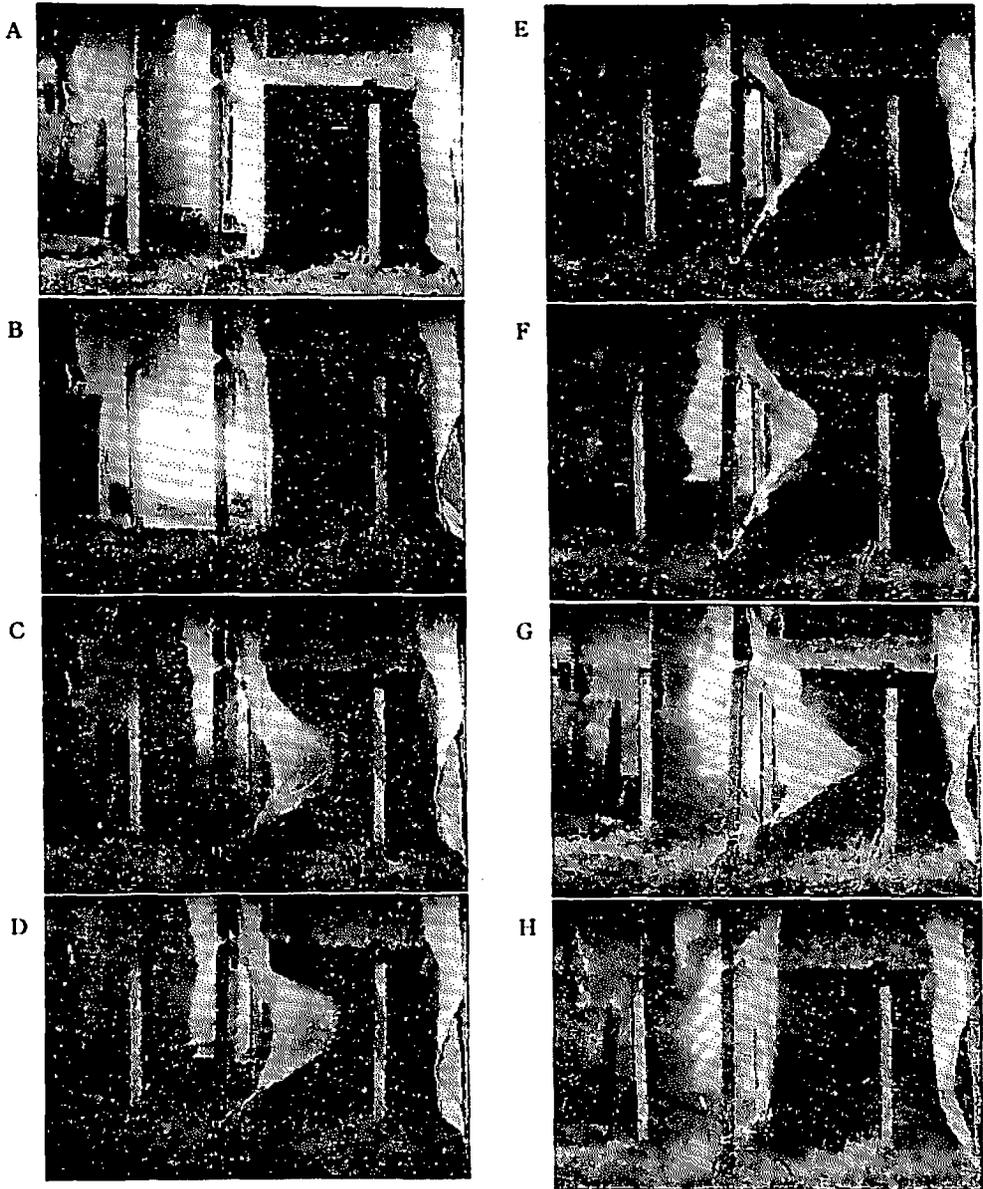


Fig. 8 Critical velocity of fence breaking obtained from flying piece test by using the mortar

このように、高速度の飛散物に対しては、No. 18 金網が最も強く、次でナイロンブラストフェンス、綿帆布6号とクレモナ(ビニロン帆布)3号とはナイロンよりもかなり劣る。いずれの場合にも、重量が増加するにつれて低い速度で破断する。

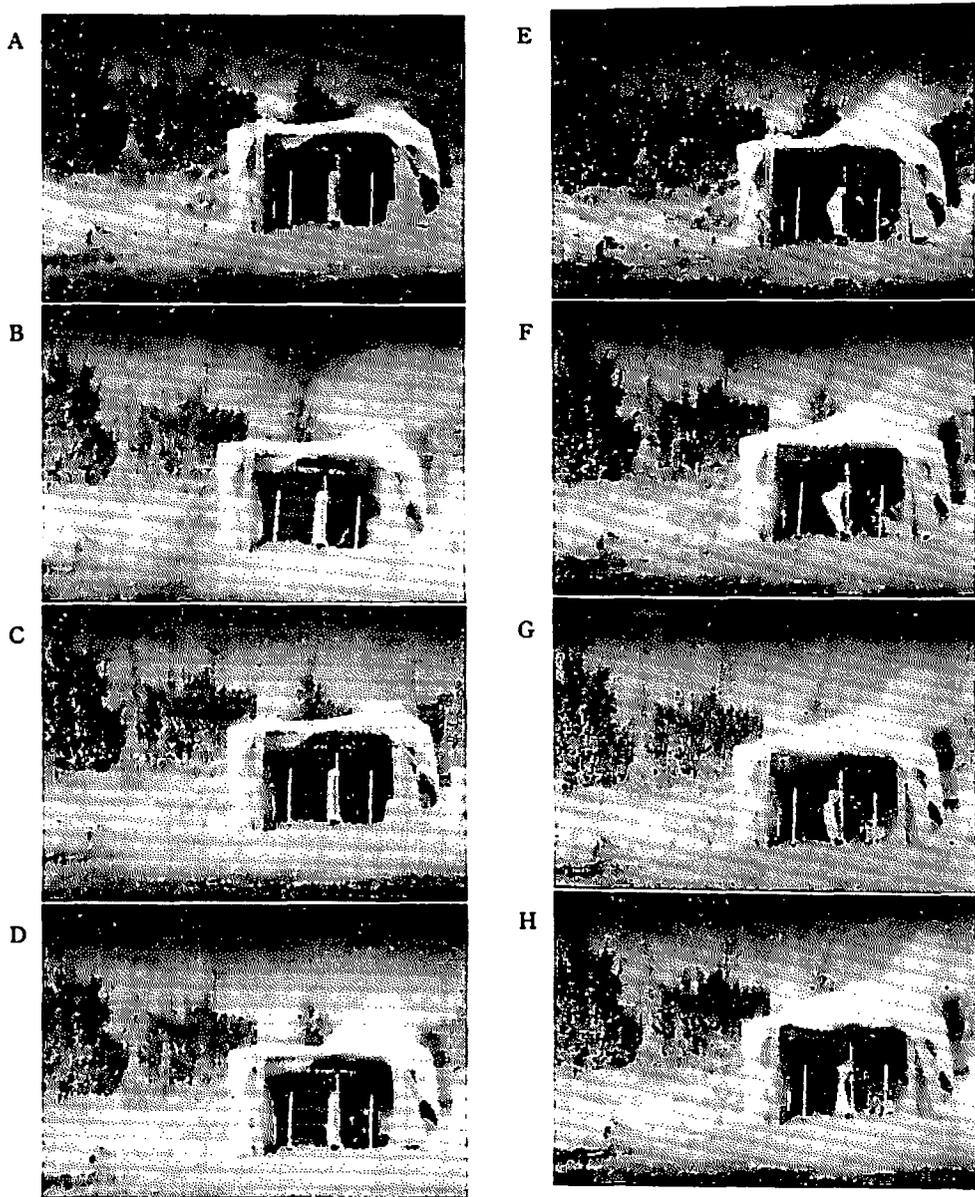
岩石、銅片の実験から、フェンスが破断する運動エネルギーを、ナイロンブラストフェンスについて求めてみると、20~40gの岩石では、100~200kg·m²のオーダーであるのに対して、数百gの銅片では、300~600kg·m²と重量が増加するにつれて大きい値となる。同様のことが運動量をとつてもいえ、軽い岩石では、数kg·m·sec⁻¹~十数kg·m·sec⁻¹であるのに対して、銅片では数十kg·m·sec⁻¹のオーダーとなる。

この理由は明らかではないが、銅片では平坦な面によつてフェンスに衝突するのに対し、岩石ではやや突つた部分の影響があることと、落錘試験からも示唆されるように、飛散物の重量が増加するにつれて、フェンス全体のたわみ量も増加することによる緩衝作用があり、見かけの耐力が重量と共に増加してくるものと



- A: Before shot
- B: Explosion gas reaching the nylon fence (0. m. s.)
- C: The nylon fence swelling with the explosion gas.
- D: Maximum swelling of the nylon fence (after 1.5m. s.)
- E: Flying pieces reaching the nylon fence (after 4.0m. s.)
- F: The nylon fence swelling by the flying pieces.
- G: Maximum swelling of the nylon fence by the flying piece (after 6.5m. s.)
- H: After 30 m. s.

Fig. 9 Frames of high speed-camera sequence of flying piece test by using the mortar.



- A: Before blasting
- B: Instant of blasting (0. m. s.)
- C: Fragmentes of concrete block in flight
- D: Fragments reaching the nylon fence (after 30m. s.)
- E: Swelling of the nylon fence by the fragments.
- F: Maximum swelling of the nylon fence (after 160m. s.)
- G: Fence restoring back to its initial state
- H: After 220m. s.

Fig. 10 Frames of high speed-camera sequence of concrete block blasting

推定される。

高速度カメラによつて、ナイロンフェンスに 220g の岩石を衝突させたときの、高速度カメラで観測した結果の 1 例を Fig. 9 に示す。

起爆後、旧砲口より爆発ガスが約 1,200m/sec の速度で突出し、このガスによつてフェンスは次第に膨らんでくる (B, C)。フェンスが爆発ガスによつてたわみはじめてから 1.5ms 後、たわみ量は最高に達し約 0.35m 膨らみ、岩石はまだフェンスの位置に達していない。(D)

このあと、フェンスは復元して約 0.25m 元に戻つた地点ではじめて岩石が衝突する。このときの時間は爆発ガスがフェンスに到達して 4.0ms 経過したときである (E)。フェンスは再び、岩石と共に移動を開始し (F)、これから更に 2.5ms 経過したときに最高のたわみを示し、この値は、約 0.37m である (G)。

30ms 経過すると、フェンスは完全にもとの状態にかえる (H)。

岩石がフェンスに衝突したときの速度は $200\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ で、運動量は $44\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であつた。

衝突後の加速度は $-8\times 10^8\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ であつた。平均の衝撃力は $1.76\times 10^5\text{dyne}$ となり、岩石の衝突断面をその形状から直径 22mm のロッドと考えると、単位面積当たりの衝撃力は、 $4.6\times 10^5\text{dyne}$ となり、この値が限界破断値に近いとすれば、落槌試験で求めた値とほぼ同一のオーダーとなる。

3.3 コンクリートブロックの破壊実験

Fig. 3・A に示す方法で実験した結果では、ナイロンフェンスとコンクリートブロックの距離を 0.1~1.5 m に変えた場合には、いずれも飛散片は完全に防止できる。破断片の移動速度は $15\sim 30\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であつた。

この供試ブロックに対する PETN の適正薬量は 4~6 g と推定されるので、15g 装填した実験は非常に過酷な試験といえる。

高速度カメラによつて、観察した 1 例を plate 2 に示す。試験状況は Fig. 3・A の方法である。

Fig. 10・A は爆発前の状況で、コンクリートブロックは右下にあり、側面の飛石をとらえるナイロンフェンスは中央にある。爆薬を起爆した直後の写真が B である。起爆後、30ms 後 (C) では、飛散片が横向きにとび出しており、上部のナイロンフェンスは、爆発ガスによつて持ち上げられている。飛石の一部が、中央のフェンスに衝突する時間は、起爆後 78ms 後の写真 D であり、フェンスは逐次たわんで (E)、起爆後 160ms で最大に達する (F)。このあと、フェンスは復元しはじめて (G)、220ms で元の状態になる (H)。フェンスに衝突した破断片は、フェンスの復元によつ

て、再び逆方向に移動する。

この実験では、PETN の量は 15g で、タンピングはほとんど行なつておらず、発破孔上部に砂をかけている程度である。破断片の飛行速度は、約 $37\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり衝突後、逆方向に移動する速度は、数 $\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であつた。この実験では、いずれの場合にも飛石の速度は、 $10\sim 40\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり、ナイロンフェンスによつて確実に防止できる。

Fig. 3・B の方法では、線的な流速によつて切れるが、この速度は、 $1,000\sim 1,300\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ である。

破断片の速度は、15g の過装薬の場合でも $20\sim 40\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり、同様にナイロンフェンスによつて防止できる。

このように、ナイロンフェンスは、コンクリートブロックのように破断片が鋭い角をもたないようなもの、飛石防止には極めて有効である。

4. 総 括

ナイロンフェンスによる飛石の防止効果について実験した結果を総括すると次のようになる。

速度の遅い飛石を想定して、落槌試験機によつて求めた耐力は、ナイロンフェンス、綿帆布 6~11号、クレモナ (ビニロン帆布) 3~6号では、ナイロンフェンスが最も強く、次でクレモナ、綿帆布の順となる。

ストライカーのヘッドを鋭くすると、上記材料はいずれも小さい力で破断されるが、特にクレモナは、鋭いものに対する耐力は小さくなる。

落槌重量が増加するにつれて、見かけの耐力は大きくなる。この理由は、重量が増加するにつれて、たわみ量が大きくなるため、衝撃力が緩和されるものと推論される。落槌の反撥を無視してたわみ量から作用時間を求めて衝撃力を算出した結果、耐力は、落槌重量に関係なく、試料の特性値によつて耐力はほぼ同一のオーダーになる。

旧砲から岩石や鋼片を発射して、フェンスの耐力を求めた結果では、飛散速度が $90\sim 500\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ のオーダーで実験したが、 $1.29\text{mm}\phi\times 40\text{mm}\#$ の金網が最も強く、次でナイロン、綿帆布とクレモナとほぼ同一の耐力を示す。

飛散物の重量が 20~500g では、ナイロンフェンスを破断する速度が $320\sim 170\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であるのに対して、綿帆布 6号、クレモナ 3号とは、同一重量の飛散物に対して $160\sim 90\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ で破断する。

実際の発破では、比較的小さい軽量の飛散物の予想される最大速度は $100\sim 120\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であるから、飛石を確実に防止するためには、ナイロンフェンスを使用するのが望ましい。

たわみ量が、フェンスの破断に影響を与えることは

落槌試験や、旧砲試験、コンクリートブロックの破壊試験における高速度カメラの観察結果からも明らかであるが、このことは、フェンスを設置するときの方法についても重要な示唆を与えている。

本文にはのべなかつたが、市街地の下水道工事における硬質岩の発破や、工場内の鉄筋コンクリートブロックの基礎の撤去に発破を応用するときにも、ナイロンフェンスを使用しているが、こうした小規模な発破の飛石防止には非常に有効である。

ナイロンフェンスは、ナイロンの持つ特性上、強度と伸びが大きいことに加えて、綿帆布、ビニロン帆布に比較して非常に軽く、かつ水濡れによる強度や取扱いの影響も少ない利点がある。

市街地の発破では、飛石の問題は特に留意する必要があることはいうまでもないが、確実に飛石を防止する方法としては、先にのべた BWG No. 18 鋼線を前面に張り、この背後にナイロンフェンスを設置するなどの方法が理想的であろう。設置の位置については、ズリ石などの下敷になることも想定されるので、小規模の発破では、0.5m 程度の距離が必要であろう。

文 献

- 1) 大川禎三, 工火誌, 14, 43 (昭28)
- 2) C. H. Noren, "Quarterly of the Colorado School of Mines," 51, 211 (1956)
- 3) E. M. Patterson, Colliery Engineering, 31, 112 (1957)

Study of the Prevention of Blasting Fragments by Nylon Fences

H. Yoshitomi, K. Yamamoto, H. Tamata, S. Kimura

A study of the prevention of blasting fragments by nylon, vinylon and cotton canvas fences was made.

The endurance of fence to low velocity fragment was measured by the drop hammer test method. The nylon fences showed the strongest endurance, and vinylon and cotton canvas showed almost the same endurance.

The apparent endurance increases as the weight of drop hammer is increased. The reason for this is that the swelling of fence increased and the impact strength weakened.

The endurance of fence to high velocity fragments was measured by rocks and steel fragments shot from a mortar.

The nylon fence was stronger than the other two and the critical velocity of fence breaking was 170~320 m/sec in the range of 20~500 g in the weight of fragments. Since the velocity of fragments in practical blasting is 120 m/sec at the highest, they may be prevented by the use of nylon fence.

(Explosives Plant, Asahi Chemical Industry Co. Ltd., Nobeoka, Japan)