



都市構築物発破解体における飛散防護方法の実験 (第1報)

末吉康一*, 笠井芳夫**, 斉藤照光***, 富田幸助*
小林茂雄****

通商産業省は都市構築物の解体に効果的な発破解体工法の需要増大をみこして、火薬類使用の保安基準作成が必要と判断し、1988年に財団法人全国火薬類保安協会に業務委託した。

協会に都市構築物解体用発破対策委員会が設立され、1987年度において、鉄筋コンクリート構造物の試験発破が実施され、発破による飛散物に対する防護材の効果確認を行った。実験の結果、金網は強度及び伸びの点で発破による躯体の膨らみ、割れそして破砕コンクリートの飛び出しに対して追従してそれを抑えることの出来る材料であり、また噴出ガスに対する抵抗も無く、金網による四面防護が飛散物防止に極めて有効であることが分かった。

SBシート(ポリステレン高強度繊維)や畳などをこれに重ねて用いる場合は飛散物完全防止のための防護効果を十分に果たせるものと考えられることが分かった。

1. 緒言

通商産業省は都市構築物の解体に効果的な発破解体工法の需要増大をみこして、火薬類使用の保安基準作成が必要と判断し、1987年に財団法人全国火薬類保安協会に業務委託した。

協会に都市構築物発破対策委員会が設立され、1987年度において、鉄筋コンクリート構造物の試験発破が実施され、偏心装薬と中心装薬の発破における飛散物に対する防護材の効果確認を行ったので以下にその結果を記述する。

2. 実験方法

2.1 概要

1993年9月28日受理

*顧問組 建築統括本部 技術部
〒107 東京都港区北青山2-5-8
TEL 03-3405-1157 内線2804
FAX 03-3475-6387

**日本大学 生産工学部 建築工学科
〒275 千葉県習志野市泉町1-2-1
TEL 0474-74-2510
FAX 0474-74-2499

***財団法人全国火薬類保安協会
〒102 東京都千代田区九段北1-12-4
TEL 03-3264-8751
FAX 03-3264-8753

****新日本製鐵技術開発本部
〒299-12 千葉県富津市新宮20-1
TEL 0439-80-2971
FAX 0439-80-2760

実験は以下に示す2パートに別れており、本報告は(1)の箇条を記述する。

(1) 偏心装薬と中心装薬のそれぞれ毎に、発破時における飛散物に対する防護材の効果比較確認を行った。

(2) 偏心装薬と中心装薬のそれぞれの火薬量毎に、発破時における飛散物の重量、距離および速度を測定した。

実験の条件をTable 1およびFig. 1に示す。

発破係数 L は以下のように定めた。

$$L = C \times A$$

ここで、 L は火薬量(kg)で、 C は発破係数、 A は試験体の断面積である。

もし、偏心装薬の場合、 A は最小抵抗線の2倍の長さを一辺とする正方形を仮定して算定する。

2.2 使用火薬

火薬類は合計4.6kgの3号割ダイナマイトと20個の6号雷管を使用した。

2.3 供試体

ビル等建築物の主要部材である鉄筋コンクリート柱を模して断面80×80cm、高さ240cmの鉄筋コンクリート柱を14本構築した。

Fig. 1に構造、寸法を示す。鉄筋はSR-24を用い、主筋はφ25mmを12本配筋し、鉄筋比は $P_g = 0.92\%$ であった。

帯筋及びダイアゴナルフープはφ9mmとし、帯筋比

Table 1 Description of experiments

Exp. No.	Cover Materials	No. of Hole ($\phi = 37\text{mm}$)	Measured Value of Drilling Point (mm)			Amount of explosives (g)	Coefficient of Blasting	Fig. No.
			Symetry	Min. resisting Length	Depth of Hole			
5	W + SB	1	biased	320	504	250	0.6	3
6	W + R	1	biased	320	500	250	0.6	4
7	W + T	1	biased	320	504	250	0.6	5
8	SB	1	biased	325	506	250	0.6	6
9	R + B	1	biased	320	507	250	0.6	7
10	T+SB+R+W	2	centered	395	508	250×2	0.4	8
11	W + SB	2	centered	405	508	200×2	0.3	9
12	W + T	2	centered	395	505	200×2	0.3	10
13	SB	2	centered	390	503	200×2	0.3	11
14	W + W' + B	2	centered	400	500	200×2	0.3	12

Attention: Exp. No.1~ 4 are described in the next paper (Part 2).

W :Crimped wire net ($\phi = 3.2\text{ mm}$, cell size 30 mm)

SB: "Super Blasting Sheet"

W': Hexagonal wire net ($\phi = 0.7\text{ mm}$, cell size 10 mm)

R :Rubber mat (10 mm thick,

B :Blasting mat (1.09 mm thick, 4.0×6.0 m)

1.0×2.0 m or 0.5×2.0 m)

T :Tatami mat

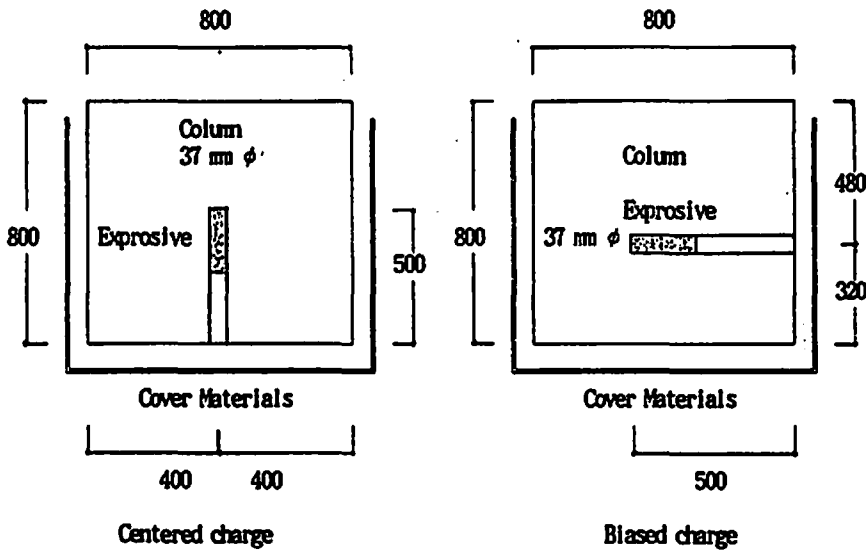


Fig. 1 Model Columns and Blasting condition

は $P_w = 0.08\%$ であった。

コンクリート強度は、設計値 $F_c = 210\text{ kg/cm}^2$ に対しテストピースの28日強度は平均 351 kg/cm^2 であった。

装薬用さく孔は $\phi 37\text{ mm}$ で行った。

2.4 飛石等の防護方法

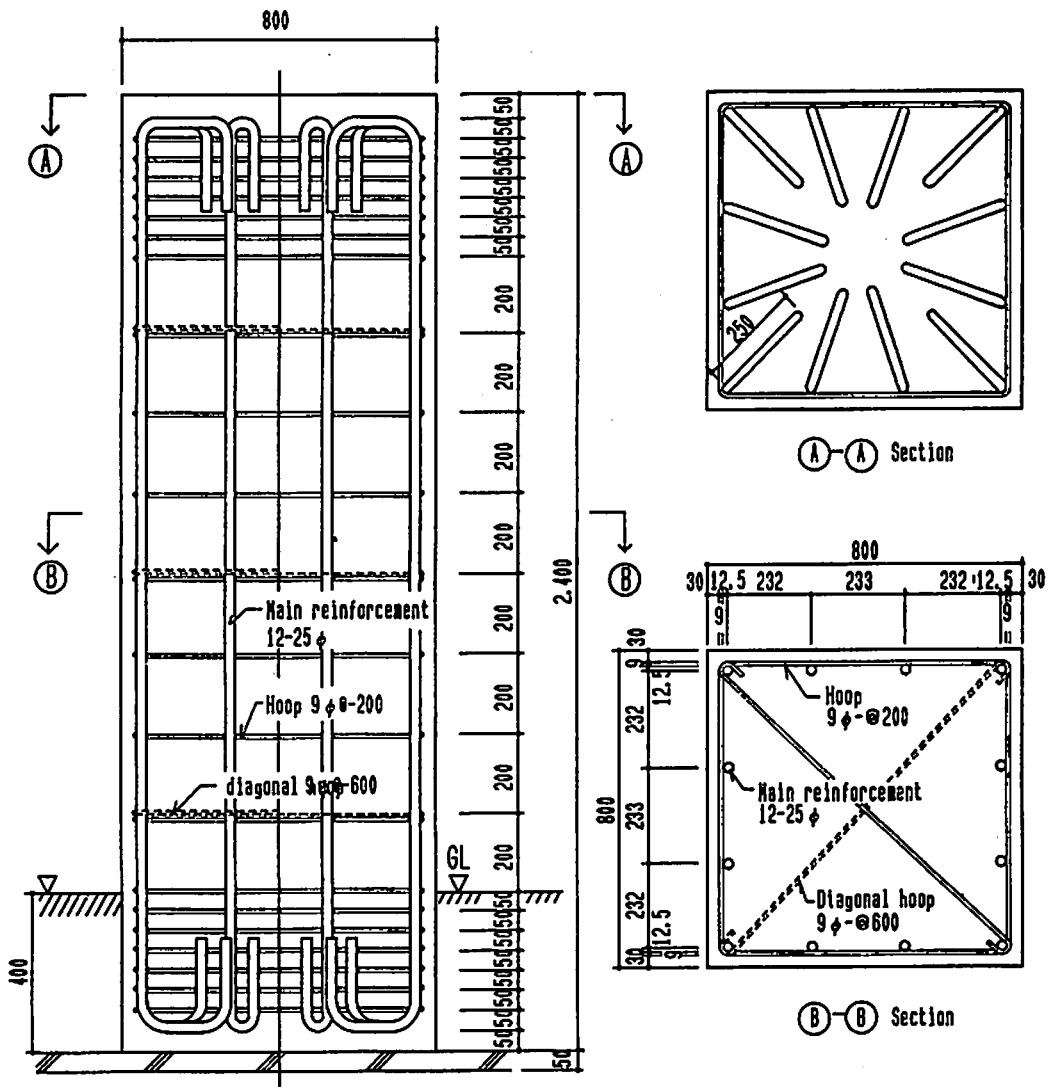
実験番号5~14はTable 1に示すように防護効果の比較調査を行うため、実験パターンに示す防護材料を用い各実験ごとに示されている防護施工図のとおり

防護した。

防護材料としては、通常の発破工事などにおいて用いられている金網ラバーシート及び防爆シート並びに長崎発破倒壊実験に使用して効果を評価されたSBシートを実験に供した。

また、集合住宅などの解体の場合は、畳が大量に出ることから、畳も防護材料に加えた。

2.5 計測



Axial sectional view

Sectional area of concrete	$80 \times 80 = 6400 \text{ cm}^2$	Strength of concrete	$F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Sectional area of main reinforcement	$4.91 \times 12 = 58.92 \text{ cm}^2$	Species of reinforcement	SR 235
Reinforcement ration	$P_g = 0.92 \%$	Depth of cover concrete	Main reinforcement 40mm Hoop 30mm
Hoop ration	$P_w = 0.08 \%$	Another	Based on JASS 5
volume of concrete	$0.8 \times 0.8 \times 2.4 = 1.536 \text{ m}^3$		

Fig. 2 Structure, Size and Materials

防護材料及び防護方法を変えた場合における飛石等飛散物に対する防護の効果並びに発破後の防護材料の破損状況、防護のやり方との関連並びに飛び出した飛散物の方向、距離を調査した。

また高速度ビデオ (400fps) 1台及び家庭用の常速

度ビデオ (30fps) 数台で、発破時における防護材料の運動を解析し、防護効果を比較した。

3. 実験結果と考察

実験番号5～14において実施した各種防護材の防護効果についてTable 2, Table 3 およびFig. 3～Fig.

Table 2 Experimental Results

	EXP. No.	Blasting condition	Cover Material	Distance of protection	Damage of Cover Materials	Effects of Cover Materials
Results in the biased charge	5	250 g × 1 charged at a biased position	W + SB	10 cm	W:sound, SB:3 small tears at back surface. (Fig.3)	No extrusion but medium amount from opening of SB.
	6		W + R	10 cm	W:sound, R:Turned up but no damage. (Fig.4)	Considerable extrusion and medium amount from gap of R.
	7		W + T	10 cm	W:sound, T:sound. (Fig.5)	No extrusion but Considerable amount from skirt of W.
	8		SB	10 cm	SB:slightly teared. Fastening belt put out. (Fig.6)	No extrusion but a little from holes and an opening of SB.
	9		R + B	10 cm	R:Turned up no damage. B:entirely teared. (Fig.7)	Medium amount of extrusion.
Results in the centered charge	10	200 g × 2 centered position	T+SB+R+W	10~30cm	W:6 large tears. T,SB,R:sound. (Fig.8)	Medium amount of extrusion from an opening of SB.
	11	250 g × 2 charged at a centered position	W + SB	10 cm	W,SB:sound. (Fig.9)	No extrusion.
	12		W + T	10 cm	W:slightly teared. T:sound. (Fig.10)	Nearly no extrusion.
	13		SB	10~30cm	SB:11 small holes. Fastening belt put out. (Fig.11)	Considerable extrusion from an opening of SB.
	14		W+ W'+ B	10~30cm	W:slightly teared. W',B:damaged. (Fig.12)	Nearly no extrusion.

12にその結果をまとめて示した。

3.1 防護材単独使用の防護効果

a. SBシート

5回の実験にSBシートを使用した。こにうちSBシート単独使用の場合には実験番号8の250gr×1孔による発破の場合のようにSBシート本体に大きな貫通孔が発生した。これは、発破片の飛び出し時の複雑な運動での切り裂き衝突に対しては、唯単に強大な抗張力のみでは対抗しきれないことを示しているものとみられ、SBシートの使用方法を考えておく必要がある。また、実験番号11以外ではSB

シート接合部の外周補強材ベルトが引きちぎられて外れる破損が発生した。これは改良縫製においても傾向について変わりは無かった。

従って、SBシートの接合方法には発破後の膨らみを計算に入れた余裕のある防護設定等改善の余地があることが判った。

SBシートの吊手は専用吊手とボルトで固定されたが破損箇所はほとんど見られず問題無いと考えられた。

b. 畳

畳は3回の実験に使用し、いずれも内側に金網の

Table 3 Effects of Cover Materials

Blasting condition	250 g × 1 charged at a biased position	200 g × 2 charged at a centered position	250 g × 2 charged at a centered position
W + SB	No extrusion but a little from opening of SB. W and SB not broken out. Opened at the joint of SB. Exp. No.5 (Fig.3)		No extrusion. W and SB not broken. Exp. No. 11 (Fig.9)
W + R	Considerable extrusion and a little from the gap of R. W and R not broken. Exp. No.6 (Fig.4)		
W + T	No extrusion except for the edge of W. W and T not broken. Exp. No.7 (Fig.5)		No extrusion. W and T not broken. Exp. No.12 (Fig.10)
SB	No extrusion but a little from the opening of SB. A large tear in SB and opened at the joint. Exp. No:8 (Fig.6)		Considerable extrusion from an opening of SB. 11 small tears and a large opening at the joint of SB. Exp. No.13 (Fig.11)
R + B	Medium amount of extrusion. R not broken but pulled up. An entire tear in B. Exp. No.9 (Fig.7)		
T+SB+R+W		A medium extrusion at the opening of SB and a large opening at the joint. T, SB and R not broken. Six tears in W. Exp. No. 10 (Fig.8)	
W+ W'+ B			No extrusion. One tear in W and damages in W'. Two tears in B. Exp. No. 14 (Fig.12)

有る状態で使用した。250gr × 1孔, 200gr × 2孔, 250gr × 2孔の発破全ての内側に金網を使用した状態では、疊に破損は見られず飛石防護に対して十分な強度を有することが判明した。

但し、疊の撥ね上がり防止や端部の固定方法が不十分の場合は飛石が発生することとなるのでシートベルト等でしっかりと固定することが重要であることが判明した。

疊は、番線で5ヶ所程度で吊り下げたが脱落は見られなかった。

c. ラバーシート

ラバーシートは3回の実験に使用した。このうち実験番号9, 250gr × 2孔の場合はほぼ単独使用に近い実験であったが、ラバーシートの抜け上がりによって破砕片を放出する結果となった。

また実験番号6の場合は、金網との併用であったが、やはりラバーシートが撥ね上げられ破砕片を放出する結果となった。

いずれの場合もラバーシートの破損は見られなかったが、ラバーシートの撥ね上がりにより衝突負担

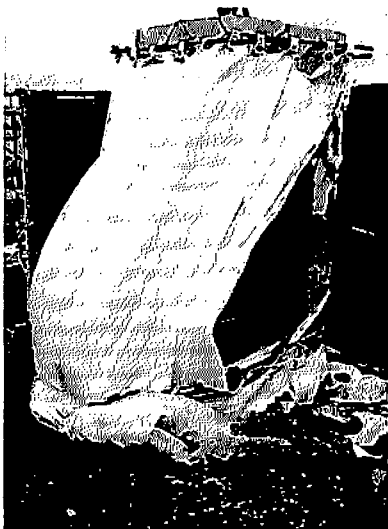


Fig. 3 W+SB(No. 5)
Crimped wire net + SB sheet
Biased charge
Coefficient of Blasting 0.6 crimped wire net was combined with tie steel wire and they were broken.



Fig. 4 W+R(No. 6)
Crimped wire net + Rubber sheet
Biased charge
Coefficient of Blasting 0.6

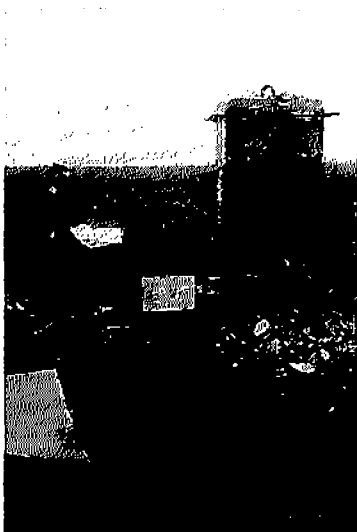


Fig. 5 W+T(No. 7)
Crimped wire net + Tatami mat
Biased charge
Coefficient of Blasting 0.6



Fig. 6 SB(No. 8)
SB sheet
Biased charge
Coefficient of Blasting 0.6

が滅殺されたことが考えられ、ラバーシートの強度を評価することは出来なかった。

また、ラバーシートを使用する場合には、下部の撥ね上がり防止にシートベルト等で確実な固定が必要であることが判明した。

ラバーシートの吊手は、専用金具とボルトにすれば確実であることが判明した。

d. 防爆シート

防爆シートは、ラバーシートと併用の場合においてラバーシートの運動により引き裂かれており、強



Fig. 7 R+B(No. 9)
 Rubber sheet + Blast sheet
 Biased charge
 Coefficient of Blasting 0.6



Fig. 8 T+SB+R+W(No. 10)
 Tatami mat + SB sheet
 Rubber sheet + Crimped wire net
 Centered charge
 Coefficient of Blasting 0.4.

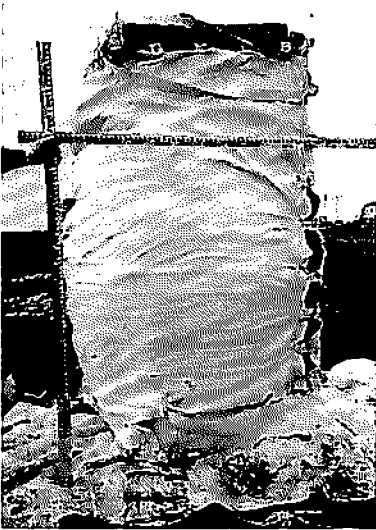


Fig. 9 W+SB(No. 11)
 Crimped wire net + SB sheet
 Centered charge
 Coefficient of Blasting 0.3

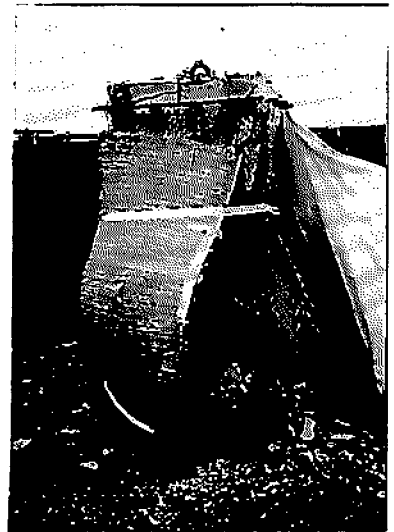


Fig. 10 W+T(No. 12)
 Crimped wire net + Tatami mat
 Centered charge
 Coefficient of Blasting 0.3

度的には余り期待できないものと考えられるが、金網と亀甲金網を通過したような微小な破砕片の阻止には役立つものと考えられた。

e. 亀甲金網

亀甲金網は、発破により飛び出す破砕片による金網の膨らみ変形や、金網を通過した破砕片の衝突に

より不規則に破損しており、200gr×2孔の発破での微小破砕片の飛散防止効果以上の防護能力はほとんど無いことが判明した。

f. 金網

7回の実験に金網を使用した。このうち実験番号

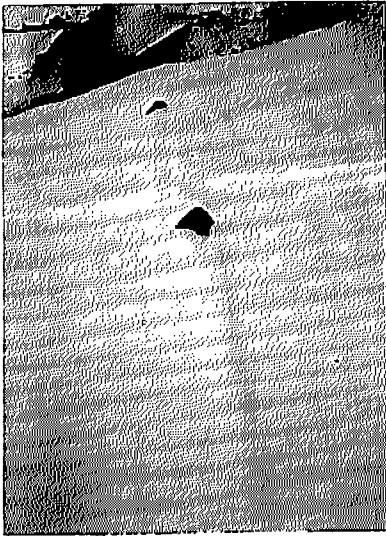


Fig. 11 SB(No. 13)
SB sheet
Centered charge
Coefficient of Blasting 0.3

14はほぼ単独による防護に近いものであり、残り6回は他の防護材との複合使用であった。

今回の実験では、250gr×1孔、200gr×2孔共に金網の破損はほとんど見られず、金網の信頼性は、非常に高いことが判った。

但し、250gr×2孔の場合に広範囲の破損が見られたことは、その間の発破諸元に金網強度の限界があるのかも知れない。

また、金網は編み繋ぎによりほぼ一体化出来ることが判り、畳、ラバーシート、SBシート等に比較して接合部の弱点を少なく出来ることが判明した。

但し、金網の半周使用においては、金網の撥ね上がり防止や端部の固定の不良部分からの飛石放出が見られたので、金網を局部的に使用する場合の端末処理に改善の必要が認められた。

なお、金網の固定の方法は主に番線によったが、番線の縛り方や番線を通す位置までの編み数に留意すれば十分確実に固定出来ることが判った。

3.2 防護材複合使用の防護効果

a. 金網+SBシート

2回の実験効果の結果は、いずれの場合も放爆面方向への飛石放出は無かった。金網、SBシート共に破れはなく250gr×1孔、200gr×2孔の発破に伴う飛石を保護することが出来た。但し、実験番号5においてSBシートの接合部は大きく開口して放爆面方向以外の方向に中量の破砕片を放出しており、SBシート外周補強ベルトの縫製方法を改善する必

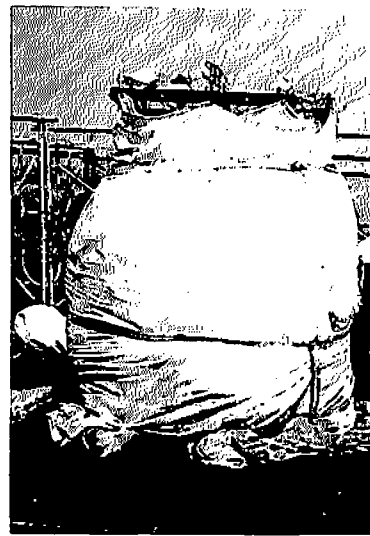


Fig. 12 W+W'+B(No. 14)
Crimped wire net + Hexagonal
wire net + Blast sheet
Centered charge
Coefficient of Blasting 0.3

要があると認められた。

b. 金網+ラバーシート

実験番号6の金網による半周防護に加えてラバーシートを防護材として使用した実験においては、金網、ラバーシート共に下部に撥ね上げられ大量の破砕片が放爆方向に放出され、また中量の破砕片がラバーシートの隙間より放出された。

金網、ラバーシート共に下部の撥ね上がり防止の処置が必要であると認められた。

隣接するラバーシートどうしの接合も必要と思われる。

c. 金網+畳

2回の実験の結果は、いずれも放爆面方向への飛石の放出は無かった。金網、畳共に破損は無く、250gr×1孔、200gr×2孔の発破に伴う飛石を防護することが出来た。但し、実験番号7において金網、畳の端部より放爆面方向以外に大量の破砕片を放出しており、端部の固定方法を改善する必要が認められた。

d. ラバーシート+防護シート

ラバーシートの撥ね上がりにより放爆面方向へ中量の破砕片放出があった。防護シートはラバーシートの運動により全長に亘り破れた。ラバーシートの下部固定方法に改善の必要が認められた。

e. 金網+亀甲金網+防護シート

飛石の放出は全く無く、金網の破れは軽微で、200

gr×2孔の飛石を防護することが出来た。亀甲金網は不規則に破損しており、飛石防護には主として金網の防護効果が働いたものと考えられるが、細かな破砕片は亀甲金網で捕捉されたように観測された。防護シートには微小破砕片を阻止する強度はあるものと考えられた。

f. 金網+畳+ラバーシート+SBシート

四重の複合防護により、250gr×2孔の発破による飛石を防護することが出来た。但しSBシート接合部の大開口に伴い局部的に中量の破砕片放出がありSBシート、ラバーシート、畳共に接合部の開き止め等の防護材固定方法に改善の必要が認められた。

3.3 柱破砕と飛石防護

実験番号11～14の発破諸元による発破では、柱の背面コンクリートが崩壊までに至らなかったが4実験中3回であったが、鉄筋及びフープ筋の爆発力を受けて張り出しとそれによって生ずる引張力が、コンクリートを縦横に破断、ひび割れをおこさせ、柱としての抗たん力を失わせているものと考えるが、この方向からの飛石の放出は無かった。

解体工事現場における柱発破の場合、通常は建物内部からのさく孔、発破が考えられるので、今回の実験における背面方向が保安対象物件の方向に相当することになる。従って、今回実験結果の如き柱発破状況となり、また防護材による効果的な飛散防護が行われれば、飛石放出を完全に防止出来るのではないかと考える。

但し、発破諸元は実験発破によって慎重に決めるべきであろうし、防護についてもその効果を確認して決めなければならないと考える。

4. 結 論

実験の結果、金網は強度及び伸びの点で発破による躯体の膨らみ、割れそして破砕コンクリートの飛び出しに対して追隨してそれを抑えることの出来る材料であり、また噴出ガスに対する抵抗も無く、金網による四面防護が飛散物防止に極めて有効であることが分かった。

SBシート（ポリスチレン高強度繊維）や畳などをこれに重ねて用いる場合は飛散物完全防止のための防護効果を十分に果たせるものと考えられる。

この場合金網の接合面は同一材料の網線で網み繋ぎにして全体として一体化し、破砕による膨らみに金網が追隨できるようにすることや、SBシートも同じ理由で緩やかに余裕を持たせて取り付けることが必要であろう。

さらに、SBシートの接合部分の外周補強材ベルトの縫製は十分な強度を持たせる縫製方法によることが必要であることが分かった。

文 献

- 1) 財団法人全国火薬類保安協会、都市構築物発破解体における飛散物防護方法の実験報告書（1989）
- 2) T. SAITO, BLASTING DEMOLITION OF MODEL REINFORCED CONCRETE PILLARS, RILEM SYMPOSIUM (1988)

Protection methods from fragmentation in the blasting demolition (I)
(Evaluation of cover materials and protection methods)

by Koichi SUEYOSHI*, Yoshio KASAI**, Terumitsu SAITOU***
Kosuke TOMITA* and Sigeo KOBAYASHI****

The Ministry of International Trade and Industry of Japan has foreseen the increasing demand of blasting method capable of demolishing urban concrete structures efficiently, and necessary tasks to set the security criteria in the use of explosives were then entrusted to All Japan Association for Security of Explosives in 1987.

A technical committee was organized in the Association and there results of the effect of cover materials upon fragmentation charge were obtained followed by the blasting experiment of reinforced concrete structure in FY 1988.

As a result, it was proved that hexagonal wire-netting combination with crimped wire-netting, 3.2mm dia. covering was quite useful to prevent fragmentation from flying out thanks to the gas-releasing capability.

The perfect protection would probably be possible if SB sheets (of polyethylene high strength fabric) or TATAMI-mats are applied in combination with the crimped wire-netting.

(*Building Construction Div., Hazama Corporation 2—5—8 Kita-aoyama,
Minato-ku, Tokyo 107

**College of Industrial Technology, Nihon University 1—2—1 Izumi-chou,
Narasino-city, Chiba 275

***All Japan Association for Security of Explosives 1—12—4 Kudan-kita,
Tiyoda-ku, Tokyo 102

****Technical Development Bureau, Nippon Steel Corporation 20—1 Sintomi,
Futtu-city, Chiba 299—12)