

## 放水流による壁体の破壊実験結果

Results of Destructive Experiment of  
Wall by Impact of Applying Water

島 光 男\*  
正 村 厚\*  
池 辺 昇 一\*  
宮 沢 和 良\*\*

The experiments was undertaken to break through the wall of a simplified fire resistive warehouse by the impact of applying water from type-5000 deluge set. The wall was 30mm in width and was made of an asbestos cement slate and a cemented excelsior board.

The fire engine we employed was 20m distance from the wall. we used 50mm in diameter nozzle. we obtained a results that we could break through the wall at about 10m high in round 4100 l /min flow rate and at about 6m high in round 2820 l /min flow rate.

## 1. はじめに

倉庫や工場等の大規模な簡易耐火造建物で火災が発生した場合、開口部の面積が小さく、また、進入口が限定されるため、建物内部の燃焼実体への注水を有効に行うことができず鎮火までに長時間を要することがあり、東京消防庁管内でも昭和58年度に鎮火までに45時間以上を要した倉庫火災の例がある。

これらの建物の火災防ぎよを行う際に、壁面を破壊し、排煙口や注水口を設けるのは有効な手段であり、現在、これらの作業を行う装備として配置されているものに先端破壊装置付の屈折放水塔車、ボーリング放水塔車等がある。しかし、これらの車両を使用する場合には、いずれも壁面に直接接して作業を行う必要があり、建物に接近できない現場では使用できない。そこで、壁面から離れた場所から大型化学車の放水砲を使用し放水流によりこれらの壁体を破壊できるかどうか、取壊し予定の簡易耐火造倉庫を利用し放水流による破壊実験を行ったので、その概要を報告する。

## 2. 実験日時、場所、建物等

- (1) 日時 昭和59年1月13日(金)  
(2) 場所 江戸川区東葛西9-3-2

東京倉庫実業葛西営業所

- (3) 使用建物 昭和46年3月建築 簡易耐火造  
倉庫 延面積6750m<sup>2</sup>

## 3. 実験内容

## (1) 壁体の破壊実験

建物の南壁面に大型化学車の5000型放水砲からの放水流を衝突させ、その衝撃力で壁体が破壊されるまでの時間をストップウォッチで計測するとともに、破壊の状況を観察、記録した。

## ア 供試壁体

実験に使用した壁体は、厚さ27mmの木毛セメント板を裏面材とし、その片側に厚さ3mmの石綿スレート板(フレキシブル板)をポリマーセメントペーストを用いて接着したパネ



①②③……標的1.2.3.④放水衝撃力測定装置

写真1 供試壁体全景

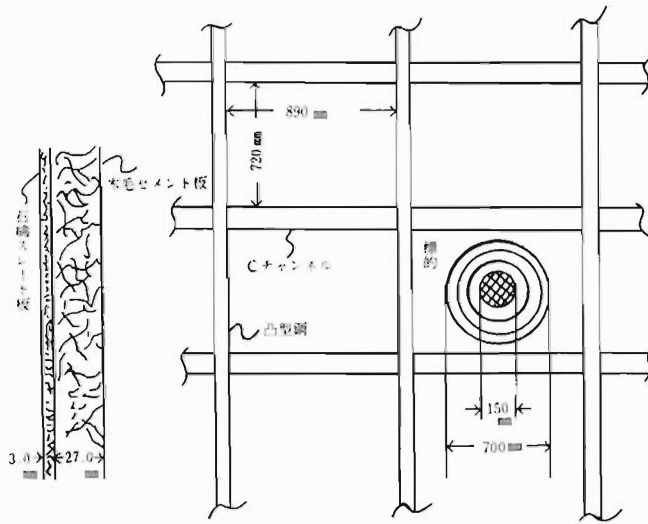


図1 壁体断面及び取付スパン

ル製品で、石綿スレート・木毛セメント合成板と呼ばれている。壁体の断面及び取付スパンは、図1のとおりで、パネルの大きさは壁体上部では900×1550mm、壁体下部では900×2175mmである。壁体の表面の地上高約10m、約6m、約3mの位置には、放水流を衝撃させる目標として、図1の要領で最大直径70cmの標的を描いた。

イ 実験の設定条件

壁面と放水砲との距離、放水目標の高さ、放水量は、表1のとおりである。

放水隊形は、図2のとおりで、5000型放水砲を装備した大型化学車1台と送水ポンプ車4台を使用した。送水ポンプ車の水利には、敷地南側の水路を使用し、吸水落差は、約1.5mであった。

放水量は、各送水ポンプ車の電磁流量計並びに大型化学車のノズル口径及びポンプ圧力計により確認した。放水砲には口径50mmのスムーズノズルを使用し、地上からノズル中心までの高さは3200mmとした。

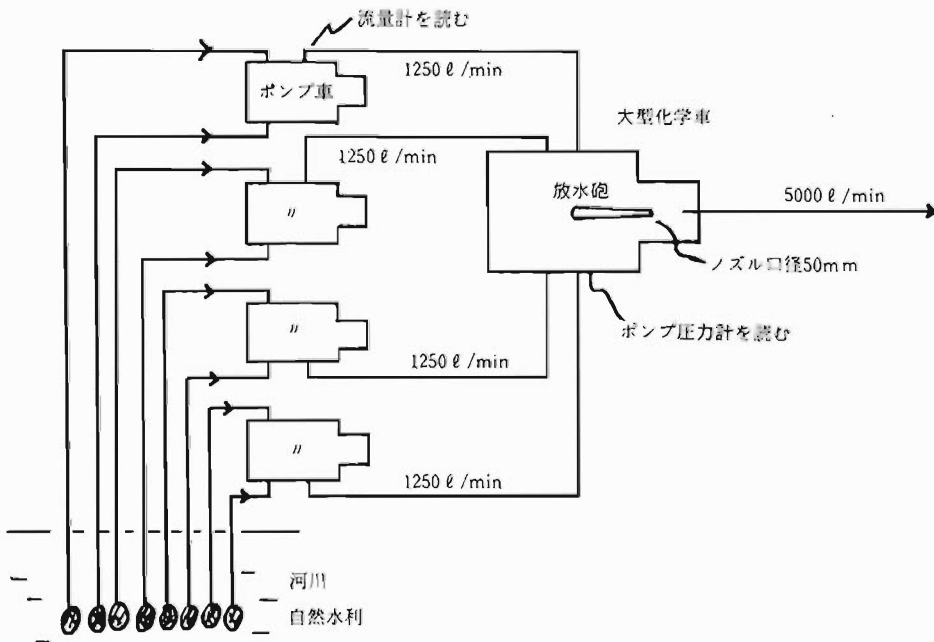


図2 放水隊形

表1 放水流による破壊実験条件

( ) 内は予定放水量

実験番号	壁面と放水砲との距離	放水標的の番号	放水標的の高さ	放水量
1	20m	①	10m	4100 (5000) ℓ/min
2		②	6m	2820 (3000) ℓ/min
3		③	3m	2950 (3000) ℓ/min

ウ 放水要領

放水目標へ正確に放水流を衝突させるため、あらかじめ標的の右側の壁を狙って放水を開始し、各送水ポンプ車の流量を徐々に増加させて規定の放水量に達したことを確認した後、放水砲を旋回させて標的への放水を行った。

壁面に放水を継続する時間は10秒間とし、これ以上時間を要した場合は、破壊不能とした。

(2) 放水衝撃力の測定

地上3m、標的③の左側の位置に直径381mmの衝撃板と3台の荷重変換器から構成される衝撃力測定装置を設け、破壊実験時と同様に放水流を衝突させ、この時の衝撃力をペンレコーダーで記録した。

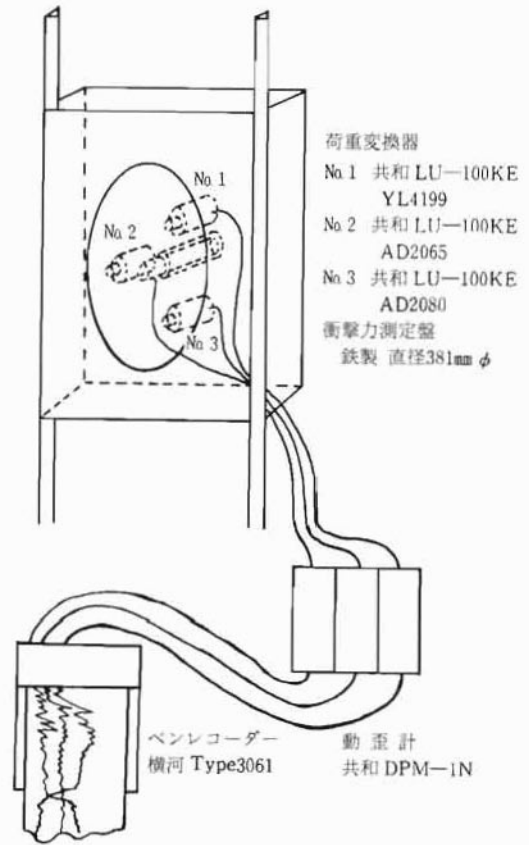


図3 放水流の衝撃力測定装置

表2 放水流の衝撃力測定条件

( ) 内は予定放水量

実験番号	衝撃力測定装置と放水砲の距離	衝撃力測定装置の高さ	放水量
4	20m	3m	3000 ℓ/min
5	20m	3m	5050 (5000) ℓ/min

測定条件は、表2のとおり、また、測定に使用した計測器等は、次のとおりである。

荷重変換器 共和 LU-100KE (3台)

動歪計 共和 DPM-1N

ペンレコーダー 横河マルチペンレコーダータイプ3061

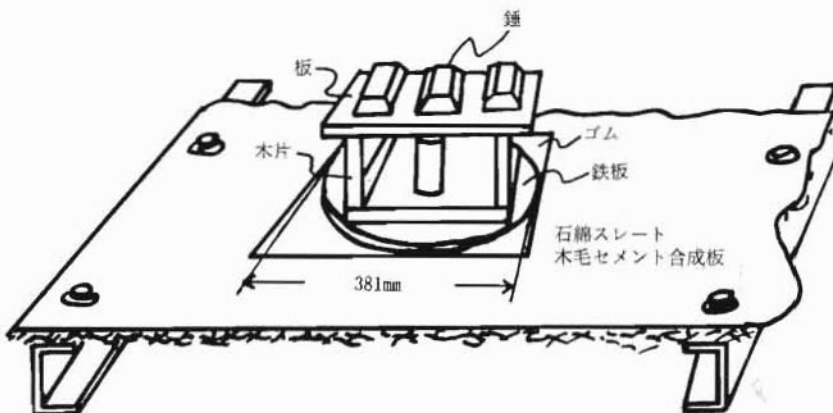


図4 壁体試料の曲げ強度試験

### (3) 壁体材の曲げ強度試験

破壊実験を行った倉庫に使用されていた石綿スレート・木毛セメント合成板の一部を持ちかえり、この試料の両端を水平に支持して中央部に静荷重を加え、どの程度の荷重で破壊するかを実験した。

試料の大きさは、700×600mmで長手方向の両端をCチャンネルにボルトで各々2箇所固定し、中央に直径381mmの円板を敷いて39.2kgから228.4kgの荷重を順次加えて実験を行った。

## 4. 実験結果

### (1) 壁体の破壊実験

壁体の破壊実験結果は、表3のとおりである。実験計画では、放水量5000ℓ/min、壁体との距離20mで、まず地上高約10mの標的①を狙い、順次地上高約6mの標的②、地上高約3mの標的③を実施する予定であったが、第1回目の実験では、4100ℓ/minで破壊することができたため、標的②、③については放水量を3000ℓ/min

表3 壁体の破壊状況

ノズル先端から壁面までの距離	放水標的番号	放水標的高さ	放水量	ノズル圧力	放水砲の仰角	破壊までの所要時間
20 m	①	10 m	4100 ℓ/min	6.3kg/cm <sup>2</sup>	20 度	1 秒
	②	6 m	2820 ℓ/min	3.0kg/cm <sup>2</sup>	19 度	5 秒
	③	3 m	2950 ℓ/min	3.3kg/cm <sup>2</sup>	11 度	4 秒



写真2 壁体の破壊状況  
(4100 ℓ/min 地上高約10m)



写真3 壁体の破壊状況  
(2820 ℓ/min 地上高約6m)

程度にしぼり、それぞれ2820ℓ/min、2950ℓ/minで実験を行った。各実験時の壁体の破壊状況は、写真2～4のとおり、また、この時の各隊のポンプ運用状況は、表4の実験1～3のとおりである。なお、観察の結果、放水流はいずれの場合もほぼ標的の内側から2番目の円(直径30cm)の内側に当たっていることが確認された。



写真4 壁体の破壊状況  
(2950 ℓ/min 地上高約3m)

表4 5000型放水砲を使用した壁体の破壊実験ポンプ運用記録

実験 番号	測定 項目	送水 1	送水 2	送水 3	送水 4	大型化学	備 考
1	エンジン回転 (rpm)	1,900	2,450	2,500	—	1,400	○風向風速 北西～西 1.5m～2m ○放水砲角度20度 ○送水4は、ポン プ圧力が上らず 送水できなかつ た。
	ポンプ圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	16.0	17.0	15.0	—	10	
	連成計指度 (mmHg(kg/cm <sup>2</sup> ))	50	20	32	—	{12.0}	
	送水量(放水量) (ℓ/min)	1,600	1,250	1,250	—	(4,100)	
2	エンジン回転 (rpm)	1,600	2,000	2,000	2,100	600	○風向風速 北1m ○放水砲角度19度
	ポンプ圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	10.5	11.5	12.5	11.0	4.8	
	連成計指度 (mmHg(kg/cm <sup>2</sup> ))	20	20	22	30	{9.8}	
	送水量(放水量) (ℓ/min)	570	750	750	750	(2820)	
3	エンジン回転 (rpm)	1,750	2,100	2,200	2,200	600	○風向風速 南西～北西 1.4m～1m ○放水砲角度11度
	ポンプ圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	13.0	13.5	12.5	13.0	5.0	
	連成計指度 (mmHg(kg/cm <sup>2</sup> ))	25	18	22	30	{11.5}	
	送水量(放水量) (ℓ/min)	700	750	750	750	(2,950)	
4	エンジン回転 (rpm)	1,750	2,100	2,200	2,300	600	○風向風速 北西 0.4～1m ○放水砲角度11度
	ポンプ圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	13.5	13.5	12.5	14.0	5.0	
	連成計指度 (mmHg(kg/cm <sup>2</sup> ))	25	18	22	30	{12.0}	
	送水量(放水量) (ℓ/min)	750	750	750	750	(3,000)	
5	エンジン回転 (rpm)	2,200	2,850	2,950	3,020	1,000	○風向風速 北～東 0.2～0.6m ○放水砲角度4度
	ポンプ圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	20.0	24.0	22.5	23.0	10.0	
	連成計指度 (mmHg(kg/cm <sup>2</sup> ))	15	20	30	50	{19.5}	
	送水量(放水量) (ℓ/min)	1,300	1,250	1,250	1,250	(5,050)	

(2) 放水流の衝撃力測定

放水流の衝撃力測定結果は、表5のとおりである。衝撃力測定装置には、同一平面の円周上を3等分した位置に3個の荷重変換器を取付けてあるが、いずれの場合も右上の荷重変換器①の計測値が、他の2つの変換器に比べ小さくな

る傾向が表われた。図5、図6は、3000ℓ/min及び5050ℓ/min放水時の各荷重変換器による計測値を動歪計及びペンレコーダーで記録したものである。この時の各隊のポンプ運用状況は、表4の実験番号4,5のとおりである。

表5 放水衝撃力測定結果

ノズル先端から壁面までの距離	放水量	荷重変換器 No 1 の読み	荷重変換器 No 2 の読み	荷重変換器 No 3 の読み	衝撃力 No 1 + No 2 + No 3	放水砲の仰角
20 m	3000 ℓ / min	21.0kg	28.5kg	51.0kg	100.5kg	11 度
	5050 ℓ / min	37.0kg	94.5kg	109.5kg	241.0kg	4 度

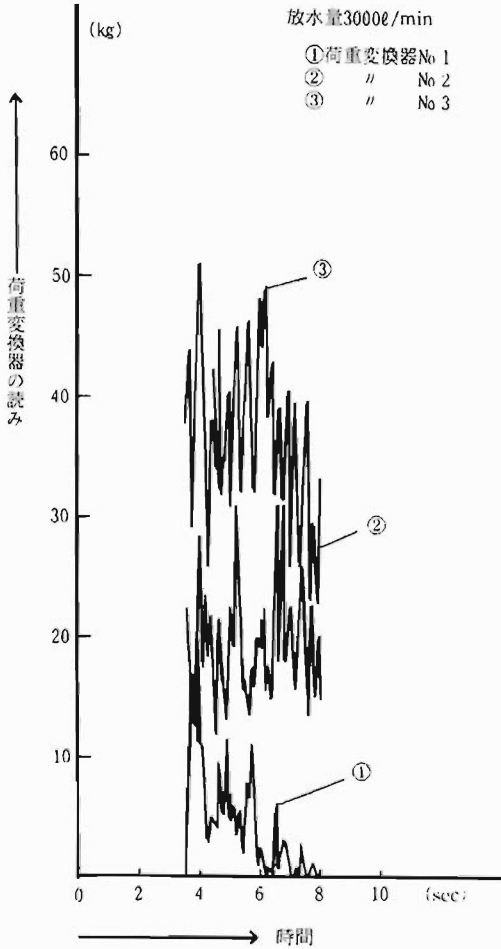


図5 放水衝撃力測定時の各荷重変換器の値 (3000 ℓ / min)

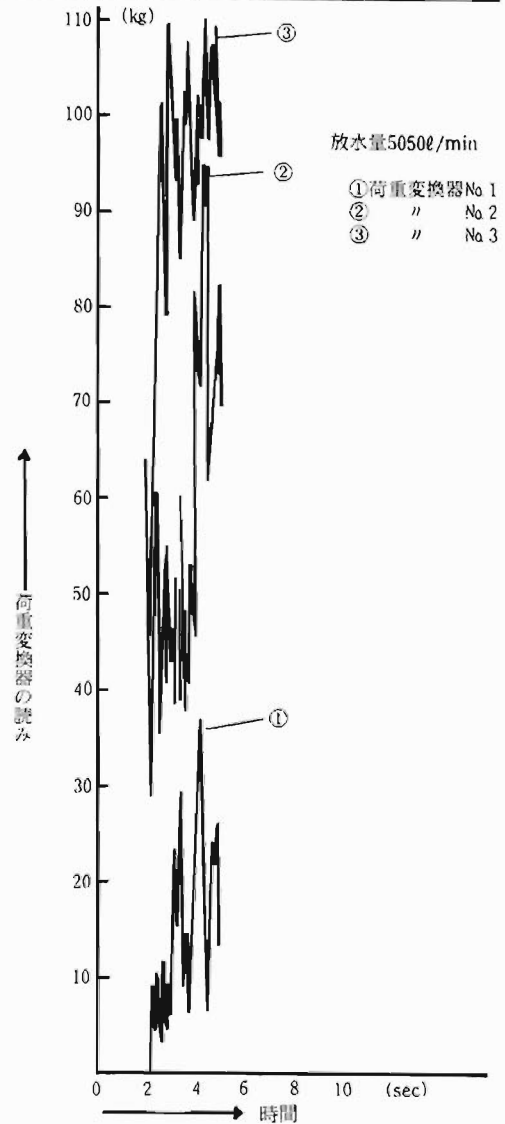


図6 放水衝撃力測定時の各荷重変換器の値 (5050 ℓ / min)

(3) 壁体材の曲げ強度試験

図4及び写真5に示すとおり、試料に39.2kgから228.4kgまで18段階に分けて静荷重を加えていったが、いずれの荷重でも荷重を加えた直後には破壊しなかった。

しかし、174kgあたりからパチパチという木毛の繊維が切れるような音がし始め、荷重の増加に伴い音の間隔が短くなり、228.4kgの荷重を加えた後、そのまま放置したところ、6分43秒後に中心から右約10cmの位置が破壊した。

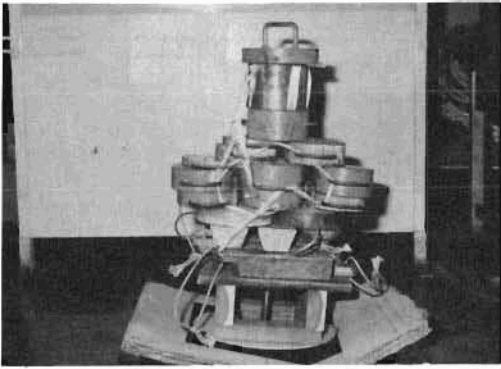


写真5 壁体材に静荷重をかけて破壊した状況

## 5. 考 察

4100 l/minの放水量で地上高約10mの標的①の破壊実験を行った時、放水砲の仰角は、20°であった。いま、仰角20°、壁体までの距離20mで口径50mmのノズルを使用し、4100 l/minの放水を行った時の壁体の受ける力を計算してみると、次のとおりである。ただし、空気の抵抗、水流の拡散を無視し、水流内の速度分布は一様なものと仮定して計算を行った。

流量とノズル口径との関係から、ノズル出口での水流の初速  $V_0$  は、 $V_0 = 3.48 \times 10^3 \text{ cm/sec}$  となる。ノズル先端から壁面までの距離を20m、仰角20°で放水した場合、放水流が壁面に到達するまでに重力加速度を受け、垂直方向の速度が減少するため、壁面到達時の水流の速度  $V$  は、 $V = 3.32 \times 10^3 \text{ cm/sec}$  となり、この時の水平成分速度  $V_x$  及び垂直成分速度  $V_y$  は、それぞれ  $V_x = 3.27 \times 10^3 \text{ cm/sec}$ 、 $V_y = 0.627 \times 10^3 \text{ cm/sec}$  となる。また、この時の衝突角  $\theta$  は、 $\theta = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x} = 8.52^\circ$  となる。 $\gamma$  を水流の単位体積あたりの重量、 $a$  を水流の衝突面の面積とすると、壁体の受ける力  $F$  は、 $F = \frac{\gamma}{g} a v^2 \cos \theta$  で表わされ、この場合  $F = 218 \text{ kg}$  である。同様に各実験条件で計算を行うと、表6のとおりとなる。

計算時の衝突角  $\theta$  は、垂直な壁面に対する入射角をとっているが、実際の放水流の衝突角度は計算より小さく、4100 l/minで地上高約10mの標的①に放水した場合が0°に近く、2820 l/minで地上高約6 mの標的②に放水した場合は、俯角になっていた。これは、実際には空気の抵抗等により放水流の速度が、壁面到達時には計算値より小さくなっていることを示している。

これは、放水流の衝撃力測定結果からも明らか

で、いずれの場合も計測値は計算値より20~30%小さくなっているが、いま逆に5000 l/minの時の衝撃力の計測値241kgから衝突時の速度を逆算すると、34.6m/secと初速に比べ約20%小さく、また、3000 l/minの時は約11%小さくなっていることがわかる。ただし、この場合も水の拡散については考慮しておらず、これを考慮すれば速度の減少率は、もっと小さくなると考えられる。なお、衝撃力測定実験における各荷重変換器の計測値をみると右上の荷重変換器①に比べ他の2つの変換器に大きな値が出る傾向が見られるが、これは荷重変換器の取付位置関係から考えると、化学車の設定位置が衝撃力測定装置の取付位置の正面より若干ずれており、衝撃板の中心から板に対し直角に引いた延長線から約1500mm右に位置していたこと、また、壁体に平行に取付けた計測用衝撃板に対し、放水流の衝突角度が俯角になっていたことなどが原因してアンバランスになったものと考えられる。

壁体材の曲げ強度試験では、放水流の衝撃力測定に使用した直径381mmφの円板を試料の上に置き、その円板の範囲に順次荷重を加えていった。228.4kgの荷重を加えて6分43秒後に破壊したが、この時の単位面積あたりの力を計算すると0.2kg/cm<sup>2</sup>となる。いま、壁体材の長手方向に円板の直径に相当する幅板を考え中心から左右19cmの区間に0.2kg/cmの等分布荷重  $P$  が加わった場合の梁としての曲げモーメントを考えてみる。両端はCチャンネルに固定されていることから両端固定梁とし、固定端間の距離を  $2l$ 、固定端から荷重位置までの距離を  $a$ 、単位長さ当りの荷重を  $P$  とすると、この梁の弾性方程式

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -Mx$$

及び各境界条件から、

$0 \leq x \leq a$  では、

$$Mx = -P(l-a)x + \frac{P}{6} (l-a) \{3l^2 - (l-a)^2\}$$

$a \leq x \leq 2l - a$  では、

$$Mx = -P(l-a)x + \frac{P}{6} (l-a) \{3l^2 - (l-a)^2\} + \frac{P}{2} (l-x)^2$$

$2l - a \leq x \leq 2l$  では、

$$Mx = P(l-a)x - \frac{P}{6} (l-a) \{9l^2 + (l-a)^2\}$$

$E$  : 縦弾性係数

$I$  : 梁の断面二次モーメント

$y$  : 梁の任意の位置におけるたわみ量

$x$  : 梁の左端からの任意の長さ

$Mx$  : 梁の任意の位置の曲げモーメント

となる。この式にそれぞれの実験時の値、 $\ell =$

35,  $a = 16$ ,  $p = 0.2$ をあてはめると、

$$0 \leq x \leq 16 \text{ のとき } M = -3.8x + 60$$

$$16 \leq x \leq 54 \text{ のとき } M = 0.1x^2 - 7.0x + 85.6$$

$$54 \leq x \leq 70 \text{ のとき } M = 3.8x - 206$$

となり、図7のような曲げモーメント線図が得られる。この図からも明らかなように、完全な固定梁と考えるなら、曲げモーメントの最大値は固定端に現われ、破壊もこの位置から始まるはずである。しかし、静荷重破壊実験で、荷重点の中心から約10cm右側のところから破壊が始まっているのは、完全な固定梁とはならず、壁体材の両端を固定しているCチャンネル自体が動く状態になっているためと思われる。また、放水流による破壊実験において、必ずしも固定端から破壊が始まらな

いのも、壁体の固定端がある程度動いていたためと推定される。

放水流の衝撃力測定実験では、3000  $\ell$  / min で 100.5kgの衝撃力が計測されているが、この時放水流がすべて30cmの円の内側に衝突していたとしても、この時の単位面積あたりの力は、0.14kg/cm<sup>2</sup>である。これを壁体材の曲げ強度試験における荷重量に換算すると、約160kgに相当し、前述の実験結果からみても、この程度の静荷重では破壊できないことになる。しかし、JISに定められている厚さ30mmの石綿スレート・木毛セメント合成板の曲げ破壊荷重の下限が100kg/mであること、また、図5、図6に示した放水流の衝撃力測定結果のように、放水流が壁面に衝突している時には、1秒間に数回の細かい振動が見られ、くり返し荷重が加わっていること等を考慮すると、放水流による場合は、静荷重で破壊するより小さい力で破壊で

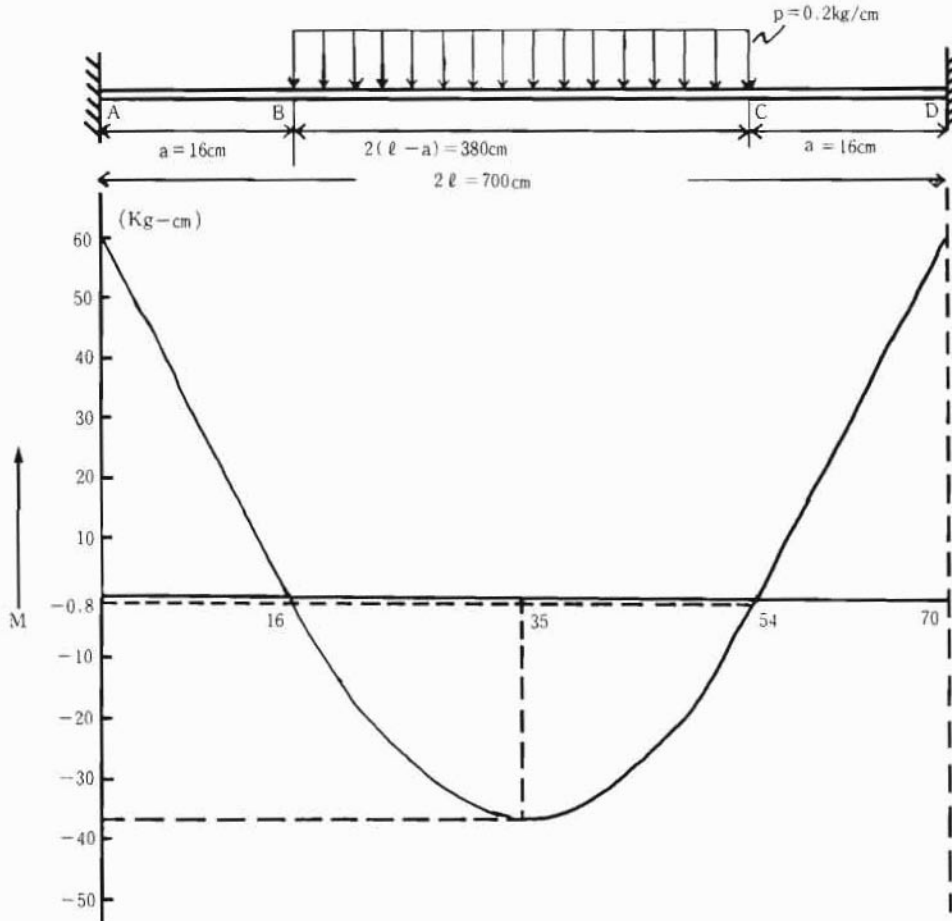


図7 壁体の曲げ強度試験時の曲げモーメント線図



表6 各実験時の各種計算値

( ) 内は予定放水量

放水量	目標の高さ	放水砲の迎角	水流の初速度	衝突時の速度	衝突角	計算上の衝撃力	計測された衝撃力
4,100ℓ/min (5,000)	10 m	20 度	34.8m/sec (42.5)	33.1m/sec (41.0)	8.52度 (13.2)	218kg (327)	/
2,820ℓ/min (3,000)	6 m	19 度	23.9m/sec (25.4)	22.7m/sec (24.0)	-0.23度 (0.24)	101kg (115)	
2,950ℓ/min (3,000)	3 m	11 度	25.4m/sec	25.1m/sec	-6.57度	126kg	
3000ℓ/min	〃	〃	〃	〃	〃	〃	100.5kg
5,050ℓ/min (5,000)	〃	4 度	42.5m/sec	42.4m/sec	-2.24度	358kg	241.0kg

きるものと考えられる。

## 6. ま と め

今回の実験で、このような壁体であれば、5000型放水砲を使用し4100ℓ/minの放水で20mの距離から高さ約10mの位置を、また、2820ℓ/minでも高さ約6mの位置を破壊できることが確認できた。今後、各種の壁体材の破壊強度について実験データを蓄積していく必要がある。なお、本実験建物は建築後13年を経過しており、かつ実験直前に内部の一部が火災に遭っていると同様の壁

体を使用した他の建物にそのままあてはめることはできないが、放水による壁体破壊についての参考となれば幸いである。

終りに、本実験が実験建物の管理者、本庁各関係部課、第7消防方面本部、江戸川消防署等多くの関係者の協力があったことに対し心からお礼申し上げます。

## 7. 参 考 文 献

- (1) 通商産業省窯業建材課 建材事典
- (2) 東京消防機器研究会 消防機器便覧