

発破による鉄筋コンクリート建造物の解体に関する基礎的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON EXPLOSIVE DEMOLITION METHODS OF REINFORCED CONCRETE BUILDING

木下 雅 敬*・長谷川昭美**・松岡 栄***・中川 浩二****

By Masanori KINOSHITA, Akemi HASEGAWA, Sakae MATSUOKA and Koji NAKAGAWA

Demolition work of reinforced concrete buildings will increase markedly, thus entailing the need of a safer technique at lower cost. It is well known that explosive methods are the most effective to demolish concrete buildings with. But concrete buildings in Japan are supposed difficult to demolish, because they consist of powerfully reinforced beams and pillars and of many wall structures in order to endure seismic load. This study aimed to get basic data about the explosive demolition by various experiments in an existing concrete building. Experiments were made in two stages. Experiments in the first stage are to investigate the condition of blasting out members of the building. In the second stage, simple experiments concerning razing the building by blasting were made. From these experiments, the condition in which thin wall structures and beams are blasted out has been made clear, and the problem on razing the building with many wall structures by blasting has been made concrete.

Keywords: reinforced concrete building, blasting, explosive demolition

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下RCと略)建造物の解体工法として欧米にみられるような「発破を用いた急速倒壊法」がコスト・工程の面で有利な工法であることはかねてから知られてきたところである。しかし、わが国のコンクリート建造物は主として耐震性の面から、①柱・はりに鉄筋量が多い、②壁式建造物である、という特徴をもつため、その発破倒壊は必ずしも容易でないと考えられてきた。また一方ではわが国における発破あるいは爆発に対する市民感情としての警戒心も強く、市中での発破作業を行うことに対する問題もあったようである。

一方、近年の国際化や高度情報化による産業構造の変化は目覚ましく、企業の大都市集中の原因の1つとなっている。また、戦後建設された建築物の老朽化もあり、その機能低下を回復する施策が実施されるなど、内需拡大と相まって都市再開発が盛んに行われつつある。この

傾向は今後さらに強まるものと予測され、都市部での既存建造物の安全かつ低コストな解体・撤去技術の開発が急務とされるようになった。このような中で、昭和61年に筑波万博国連平和館の発破による解体が実施され¹⁾、また通産省の委託事業として全国火薬類保安協会を中心とした都市構築物解体用発破対策委員会が組織され、RC建造物の発破による解体が現実の問題として取り扱われる状況になってきたように思われる。

以上の状況から著者らはRC建造物の解体にあたってわが国独自の技術開発を行う必要があると考え、そのための一連の研究を行ってきた。本文は、このような発破によるRC建造物の解体を行うにあたっての基礎資料を得るべく、実際の小規模なRC建造物を用いていくつかの実験による取組みを行ったものの報告である。

2. 実験用建造物と実験の概要

本実験に用いた建造物は、以前冷却塔として用いられていた小規模なRC建造物であり、昭和41年に建設されている。その写真を写真-1に示す。構造形式はRC造の3層ラーメン構造であり、各冷却セルの間はRC造の薄い仕切り壁により仕切られている。この構造形式は、各層の床スラブがないことを除けば、一般の中低層の集合住宅にみられる形式であり、わが国の代表的な

* 正会員 工修 新日本製鐵(株)設備技術本部土木建築技術部(〒805 北九州市八幡東区枝光1-1-1)

** 新日本製鐵(株)設備技術本部土木建築技術部部長代理(同上)

*** 新日本製鐵(株)八幡製鐵所設備部部長代理(同上)

**** 正会員 工博 山口大学教授 工学部建設工学科(〒755 山口県宇部市常盤台2557)

の1つであるといえる。図-1にその構造断面概要図を示す。詳細なコンクリート打設のデータは残っていないが、コンクリートは粗骨材に高炉スラグ砕石を用い、セメントは高炉セメントB種を用いているものと思われる。鉄筋は普通丸鋼(SR24)を用いている。コンクリート強度は、 $\phi 10$ cmのボーリングコアを3か所で各1本採取し圧縮試験を実施した結果、平均値で364 kg/cm²を得た。

実験は2段階に分けて行った。すなわち、わが国の構

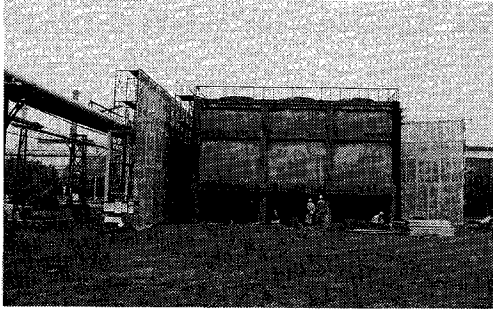
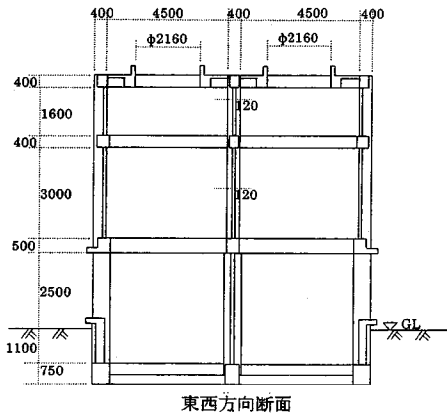
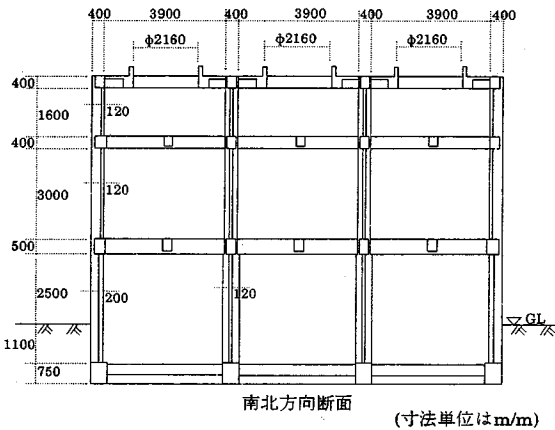


写真-1 実験用構造物（冷却塔）の写真



東西方向断面



南北方向断面

(寸法単位はm/m)

図-1 実験用構造物の構造断面概要

造物は前述のように主に耐震性の面から、①柱・はりに鉄筋量が多い、②耐震壁等の壁が多い、という特徴をもつ。そのため、「発破による鉄筋コンクリート構造物の解体技術」を確立するためには、まず各部材レベル(柱・はりおよび壁)の局所的な破碎について検討し、その結果を参考にして構造物の倒壊を検討する必要がある。そこで第1段階として柱・はり・壁といった部材レベルでの破碎方法の検討のためのいくつかの要素実験を行い、第2段階としてその結果を参考にした簡単な部分構造物の倒壊実験を行っている。

3. 要素実験

これまでのわが国におけるRC構造物の解体において静的破碎剤等を用いた一次破碎の目標は、主にコンクリートに大きなひびわれを入れ、後の重機等を用いた解体を容易にすることであった²⁾。しかしながら、本研究の目標は構造物全体を一気に倒壊させる技術の確立である。そのため目標とする部材レベルでの破碎程度は高く、発破部分の部材抵抗力がほぼ完全に消失するものとする必要がある。このことから、壁と柱・はりを構造要素として別個に考え、それぞれ目標どおりに破碎するための要素実験を行っている。

(1) 薄い壁の破碎実験

壁は一般には4辺をはりまたは柱と接合して、主として面内の変形に対して大きな抵抗力をもつ。解体に際して、壁全体を完全に破碎すれば抵抗力はゼロとなるが、たとえばはり・柱との接合部である4辺を線状に破碎すれば、壁の構造体としての抵抗力は消失するものと考えられる。実際に構造物の倒壊を計画するうえで壁の4辺すべてを破碎するかどうかは別として、壁の破碎について図-2のように壁を線状に破碎することをその基本であると考え、目標破碎と設定した。

このような破碎を行う発破方法としては、張り付け発破法と通常の内部装薬法が考えられるが、今回の実験では一般的な内部装薬法を用いることとした。

破碎対象とした部材は、厚さ12 cmの壁(ただし、壁の内外面には5~10 mmのモルタル塗りが施されており、実際の厚さは13 cm~14 cmである)であり、断面中央部に $\phi 9$ mm@200 mmの鉄筋が格子状に配されている。わが国の一般的な集合住宅の壁は10 cm~15 cm程度であるから、今回の実験対象とした壁はごく標準的な構造体である。

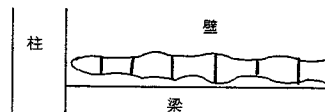


図-2 壁の目標破碎（線状破碎）

内部装薬法による壁の破碎は次の2つの過程により成り立つと推測されるため^{3),4)}、その実験も2ステップにわたって実施することとした。

1) 壁の一部を爆砕して自由面（開口部）を生成する過程（心抜き発破とよぶ）

2) 生成された開口部に向かってコンクリート塊を押し出すように破壊の進行する過程（線状破碎発破とよぶ）

a) 心抜き発破実験

壁の一部に開口部を作るための発破として図-3に示すような正三角形形状に配置された爆薬を同時起爆した。孔間隔と薬量および試験結果に関する一覧を表-1に示す。なお、用いた爆薬は3号桐ダイナマイトであり以下全実験を通じて同様である。実験は表に示す9ケースについて行ったが、孔間隔 S を 20 cm にした場合についてのみ、装薬量が 15 g/孔以上にした場合に心抜きを達成することができた。写真-2 に貫通開口破碎が得られた場合の例の、写真-3 に心抜きを達成できなかった場合の例の写真を示す。実験の結果、3孔の瞬発発破にて薄い壁（厚さ 12 cm 程度）の心抜きを行う場合、孔間隔を 20 cm 以下にし、装薬量は 15 g/孔以上にすればよいことを確認した。

b) 線状破碎実験

心抜き実験の結果、線状破碎のための心抜きは、孔間隔 20 cm、孔当たり薬量 20 g の正三角形の配置とし瞬発雷管にて起爆した。写真-2 のように心抜きが成功した後、心抜き自由面へ向かって図-4 のようにその両側に順に段発発破をかけることで線状の破碎を行っている。図-4 中の各発破孔に付した番号は MS 雷管の段数

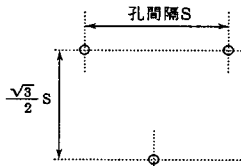


図-3 壁の心抜き発破実験の孔配置

表-1 壁の心抜き発破パラメーターと実験結果

試験ケース	孔間隔S (cm)	装薬量 (g/孔)	試験結果
NO.1	25	10	開口せず
NO.2	25	15	開口せず
NO.3	25	20	開口せず
NO.4	30	10	開口せず
NO.5	30	15	開口せず
NO.6	30	20	開口せず
NO.7	20	10	開口せず
NO.8	20	15	貫通開口
NO.9	20	20	貫通開口

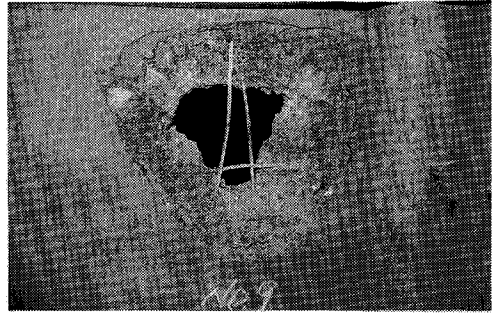


写真-2 壁の心抜き発破実験の破碎例（1）
～貫通開口（No.9）～

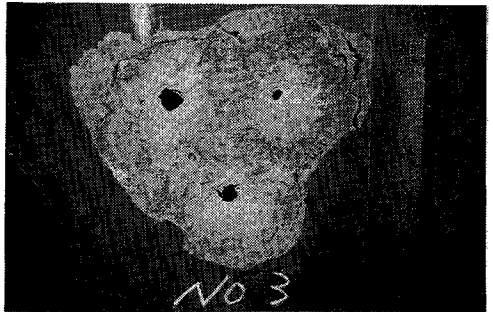


写真-3 壁の心抜き発破実験の破碎例（2）
～開口せず（No.3）～

である。各試験ケースでの発破パラメーターおよび破碎結果を表-2に示す。また写真-4に線状破碎の例を示す。表-2中の平均破碎幅とは写真-4にみられる線状破碎された破碎空間の幅の平均値である。

心抜き発破の実験において、発破孔の間隔をかなり狭くしないと目標破碎が得られなかったことから、まず広い孔間隔を 20 cm に保ったままの実験を No.1～No.3 に行っている。いずれのケースも目標破碎を達成している。これらの実験より、薬量を 10 g に減らしても十分な線状破碎が得られることがわかった。発破コスト・工程の観点からは発破孔の間隔が広いほど有利であるか

表-2 壁の線状破碎実験の実験パラメーターと実験結果

試験ケース	S (cm)	H (cm)	H ₀ (cm)	払い孔装薬量 (g/孔)	破碎結果	平均破碎幅
NO.1	20	17	17	10	目標破碎	24.0cm
NO.2	20	17	17	15	目標破碎	26.6cm
NO.3	20	17	17	20	目標破碎	28.3cm
NO.4	25	17	17	10	目標破碎	21.3cm
NO.5	25	17	17	15	目標破碎	25.5cm
NO.6	30	17	17	15	目標破碎	19.5cm
NO.7	25	10	17	15	目標破碎	20.7cm
NO.8	25	10	17	25	目標破碎	21.4cm
NO.9	25	10	17	10	ほぼ目標破碎（一部残る）	16.9cm

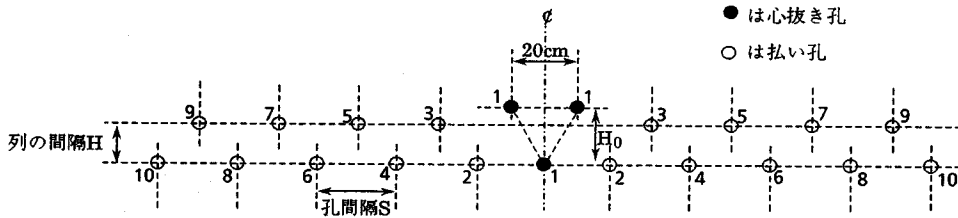


図-4 壁の線状破砕実験の発破孔配置

ら、発破孔の間隔を 25 cm に広げた実験を No. 4, 5 と No. 7~9 にて行った。No. 4, 5 では、2つの発破孔の列の間隔を心抜き発破の列の間隔と同じとしているのに対して、No. 7~9 では発破孔の列の間隔をそれより狭くした実験を行った。この場合も、すべてのケースで目標破砕を達成している。しかし、No. 9 では一部破砕が十分でない部分があり、発破孔の列の間隔を心抜き発破の列の間隔と同じとした場合 (No. 4) の方が破砕効率が良いと判断できる。No. 6 では、さらに発破孔の間隔を 30 cm に広げた場合の追加試験を行った。このとき、装薬量は 15 g/孔としている。結局、このケースにおいても目標破砕を達成できた。しかし、No. 1~No. 5 に比べて破砕幅が小さく、発破孔の列の間隔 18 cm (孔の外側の間隔) に近い破砕幅であることから、ほぼ限界に近いことが推測される。

(2) はりの破砕実験

RC 構造物の柱・はりにおける鉄筋は、主筋・フープ筋・腹筋・幅止め筋により組み立てられており、いわゆる鉄筋で造られた籠のような形を形成している。建物を倒壊するに足る破砕を形成するためには、この鉄筋の籠の中に破砕されたコンクリート塊がとどまっている規模の破砕では不十分である。発破により鉄筋が切断されるとは一般には考えられないため、発破の威力により鉄筋が外側に押し上げられ、フープ筋・幅止め筋が外された状態で、破砕されたコンクリート塊が鉄筋の籠の外に投げ出されてしまう状態が破砕の目標と考えられ、これを目標破砕とした。以上の立場からここでは地中ばりおよび

び一般部のはりを用いて破砕実験を行っている。

a) 単発発破による地中ばりの破砕実験

発破により自由面付近に存在する鉄筋がどのような影響を受けるか、また、鉄筋の存在により破砕がどのような影響を受けるかを知るために、まず、単発の発破実験を地中ばりを用いて行った。地中ばり上面の被りコンクリートを幅約 20 cm にわたりはつり、鉄筋の側面にひずみゲージを貼付して発破による鉄筋のひずみをデータレコーダーに記録した。さらに鉄筋上面にポンチマークを打ち発破前後にその伸びを計測している。このことにより、微細なひずみについてはひずみゲージにて、大きなひずみについてはポンチマークで計測することを試みた。

地中ばりの断面を図-5(a) に示す。また、表-3 に各試験の発破パラメーターと鉄筋のひずみの計測結果を示す。抵抗線長は基本的に 20 cm としたが、穿孔の誤差のため実測によると表のような結果を得た。

試験 No. 1~3 は、鉄砲現象に近い状態とみられ、破砕現象としては側面の自由面付近に衝撃波によるものと思われる薄層のスキッピング (剥がれ現象) が観察されるのみである。鉄筋に生じる残留ひずみも非常に小さく、コンクリート部分もほとんど破砕されていない。

装薬量の最も多いケース No. 6 では、主鉄筋は上方に押し曲げられており、装薬位置付近のコンクリートはかなり細かく爆砕されて、装薬位置から自由面に向かうクレーター部分は鉄筋の外側に吹き飛ばされている。鉄筋に発生する残留ひずみも 3~4% とかなり大きい。No. 4, 5 の破砕は No. 6 の破砕の規模の小さなものであ

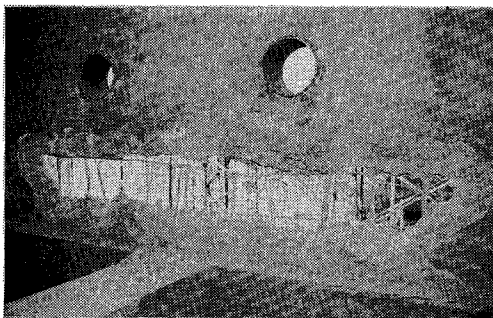
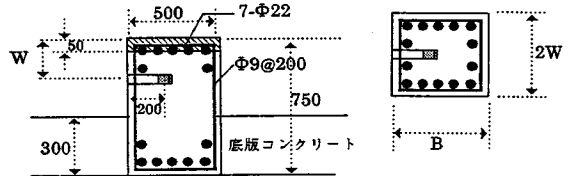


写真-4 壁の線状発破実験の破砕例~ (No. 6)~



は被りコンクリートを幅 200mm に渡り削った (寸法単位は m/m)

(a) 地中ばりの断面図

(b)

図-5

表一三 地中ばりの単発発破実験パラメーターと鉄筋の残留ひずみ

試験ケース	抵抗線長 W(cm)	装薬量 L(g)	穿孔径 (mm)	鉄筋の平均残留ひずみ(%)
NO.1	20	20	25	0.019
NO.2	20	35	25	0.022
NO.3	20	50	25	0.18
NO.4	21	75	25	1.6
NO.5	20	75	50	2.8
NO.6	22	100	50	3.6

ると認識される。この場合も装薬位置付近のコンクリートはかなり細かく爆砕されている。

表より破砕の限界は、No.3とNo.4の間にあると考えられる。すなわち、No.4, 5, 6の装薬量は地中ばりの装薬位置より上部を対称な半断面とするはり(図一5(b)のようなはり)を破砕するのに十分な装薬量であると判断された。ここで、はりの長手方向には装薬位置の両側にそれぞれ抵抗線長程度の長さ(計約40cm程度)が破砕されると考えると、No.4~6の発破係数 C (kg/m^3) (装薬原単位)は、

$$C = \frac{L}{S \times H \times B}$$

L : 装薬量 (kg)

$S=2W$, $H=2W$, W : 抵抗線長さ (m)

$B=0.5$ m

より

$$C = \frac{0.075}{0.0882} \sim \frac{0.100}{0.0968} = 0.85 \sim 1.03 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

となる。

ここで、破砕が不完全である例(No.2)と十分である例(No.6)の破砕後の写真を写真一5, 6に示す。

b) はりの完全破砕実験

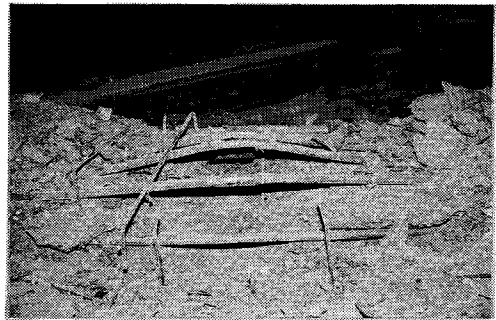
前述のように建物の倒壊を創出するためには、はりあるいは柱が耐荷力を完全になくすることが必要となる。そのためには、ある長さにわたってはりを完全に破砕してしまう(破砕されたコンクリート塊が鉄筋籠の中にほとんど残らず、鉄筋の骨のみが残る状態)ことが必要である。このような破砕を達成するための発破条件を求めるために、より実際的な実験を地上部のはりを用いて行っている。

発破パターンは図一6に示すような、はりの側面から発破孔を千鳥配置に穿孔した孔配置を用いている。起爆は瞬発雷管で斉発させている。試験パラメーターとしては、装薬量と発破孔の間隔を種々変化させている。

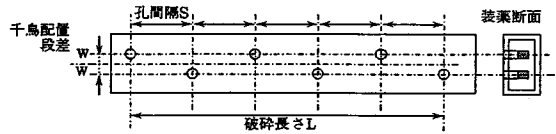
実験に用いたはりの断面と住宅公団の集合住宅の標準図から抜き出した代表的なはりの断面の比較によると、今回実験に用いたはりは寸法が小さいことは構造物の規模から当然として、その他に、はり高に対するはり幅が



写真一五 単発発破による地中ばりの破砕実験例(1) ~不完全な破砕(No.2)~



写真一六 単発発破による地中ばりの破砕実験例(2) ~十分な破砕(No.6)~



図一六 はりの完全破砕実験の発破孔配置図

一般的なはりに比して広く、また鉄筋比の面でやや鉄筋量が少ないといえる。

a) の単発発破の実験結果から、4面とも自由面であるはりの装薬原単位を $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ と考えた。そこで、地上部のはりは地中ばりと比べて鉄筋量が少ないことを考慮し、装薬原単位の上限を $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ として計画した。

各試験ケースの発破パラメーターおよび試験結果のまとめを表一4に示す。

対象部材の主鉄筋はすべて $\phi 16$ を用いており、基本的に圧縮鉄筋に2本、引張鉄筋に3本が配されているが、No.6およびNo.7のはりのみは圧縮・引張鉄筋とも2本であった。またフープ筋はすべて $\phi 9 \text{ mm} @ 200 \text{ mm}$ となっている。

目標破砕が達成されたケースでは、砕かれたコンクリート塊はほとんど鉄筋の籠の中に残らず、一方鉄筋は上下に押し上げられ幅止めのフープ鉄筋は外れてしまっている。

表—4 はりの爆砕実験の実験パラメーターと実験結果

試験ケース	対象部材寸法(cm)	破砕長さ(チャージ個数)	装薬量L(g/孔)	段差W(cm)	孔間隔S(cm)	計画装薬原単位G(kg/m ³)	穿孔長(cm)	実験結果	上下鉄筋の最大拡がり(本来の鉄筋幅*)
(NO.1)	40×40	1.6m(5個)	24g	7.5	40	0.375	17.0	×	—
NO.2	40×50	1.6m(5個)	40g	10.0	40	0.5	23.0	×	45cm(40cm)
(NO.3)	40×40	1.6m(9個)	18g	7.5	20	0.56	16.5	×	—
NO.4	30×40	2.0m(6個)	36g	7.5	40	0.75	18.0	○	46cm(30cm)
NO.5	30×40	1.5m(6個)	27g	7.5	30	0.75	17.0	○	33cm(30cm)
(NO.6)	25×30	2.0m(11個)	12g	7.5	20	0.8	16.0	○	34cm(20cm)
(NO.7)	25×30	2.1m(8個)	18g	7.5	30	0.8	16.5	○	34cm(20cm)
NO.8	40×50	1.6m(9個)	40g	10.0	20	1.0	23.0	○	55cm(40cm)
NO.9	40×50	1.5m(6個)	60g	10.0	30	1.0	25.0	○	59cm(40cm)
NO.10	30×40	2.0m(6個)	70g	7.5	40	1.5	21.0	○	42cm(30cm)

注記 1) ()にて囲んだ試験ケースは装薬位置が正確に梁断面の中心位置にないケースである。(計画時点で梁の断面サイズの設定を間違ったため)

2) 計画装薬原単位Gは、 $G(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{装薬量}L(\text{kg}/\text{孔}) / (\text{梁断面横}A(\text{m}^2) \times \text{孔間隔}S(\text{m}))$ にて計算した。

3) 実験結果の○は目標破砕が得られたことを示す。

4) *本来の鉄筋幅はコンクリートの被りを5cmと仮定して推定した値である。

以上の実験結果から、装薬原単位のめどとして0.75 kg/m³以上の装薬量であれば、確実に目標破砕を達成することができるものと思われた。発破孔の間隔による破砕状況の差異については有意な差は認められなかった。実験結果の観察から次の点がはりの完全破砕発破の特徴として明らかとなった。

1) ある長さにわたって発破をかける場合は、単発の場合よりも鉄筋による拘束度は低い。

2) 上下の鉄筋を押し上げフープ鉄筋が外れた状態になれば、はりの場合はその中のコンクリートは大割れの状態でも、はりの側面から鉄筋箆の外に排出される。

4. 倒壊実験

RC 仕切り壁を伴うラーメン構造の倒壊形式についての検討を行うための基礎資料を得ることを目的として、実験対象としている冷却塔の一部を用いて、ある程度失敗を予定のうえで単純な倒壊試験を行った。実験は図—7に示す順序で次の2ステップにわたって行った。

(STEP 1) 柱面の倒壊試験……図—7①の右側手前の柱面の倒壊を実施する。

(STEP 2) 仕切り壁を伴うラーメン構造の倒壊試験……STEP 1で残った図—7②の右側部分の部分構造物について倒壊を試みる。この際、壁部分については事前に目標とする最小限の破砕を実施しておく。

(1) 柱面の倒壊実験

柱面の装薬計画を図—8に示す。図に示すように、柱脚部分と柱の高さの半分のところに装薬し、なるべくコンパクトな倒壊を行うべく2つ折りに倒すように意図した。2つ折りにするために、壁部分についても線状に破

砕することとしている。

破砕順序は以下のように計画した。

1) まず、点火と同時に壁部分(図中W部)をMS雷管を用いた段発発破により破砕する(壁の線状発破実験に準ずる)。

2) 続いて、柱のA部分を破砕する(MS5段雷管使用)。

3) その後、柱脚のB部分を破砕する(MS9段雷管使用)。

ここで何らかの不都合な状況が発生した場合にワイヤーで引張られるように事前に柱面頂部にワイヤー掛けを施しておいた。

3.に示した要素実験結果に基づき、装薬量を決定した。柱部分の装薬量は、計画装薬原単位を1.0 kg/m³と設定し、30 cmピッチで千鳥配置に装薬した。

倒壊試験時の写真を写真—7に示す。写真に示すように、2つ折れに倒壊することができた。後のビデオ記録の観察によれば、まず真下に落下しその後2つ折れに折り畳まれたような倒壊過程となっている。各部位の破砕は、ほぼ意図どおりであり、壁・柱ともにコンクリートが完全に吹き飛ばされ鉄筋のみが残る状態に破砕されている。柱脚部の鉄筋は、提灯が押しつぶされたように座屈している。しかし、発破をかけた部位以外は、落下衝撃等による破砕はあまりなく大きなひびわれがいくつか観察されるのみであった。

(2) 仕切り壁を伴うラーメン構造の倒壊実験

図—7②の右側部分に残された仕切り壁を伴うラーメン構造の倒壊を試みた。

倒壊の計画を行う際に最も重要な問題は、事前に仕切

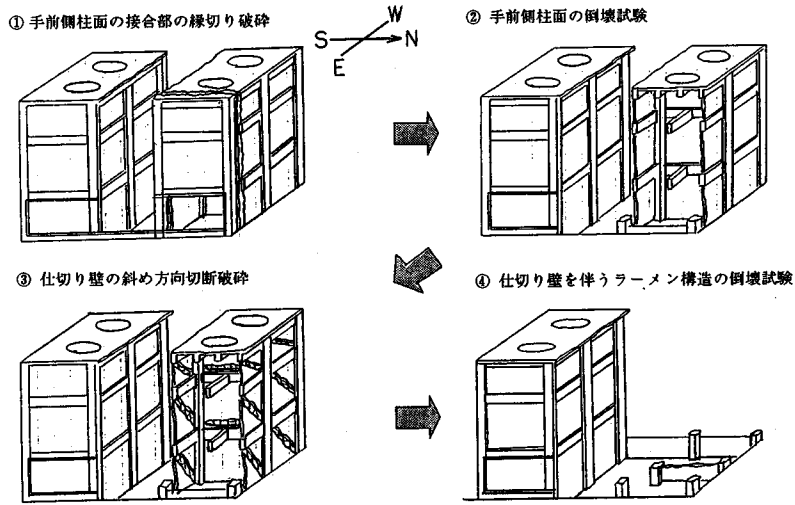


図-7 倒壊実験における工事手順の模式図

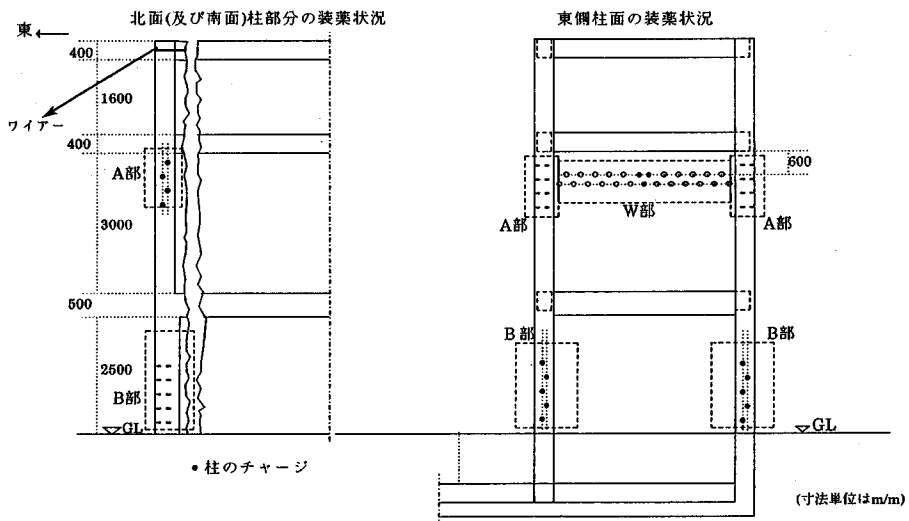
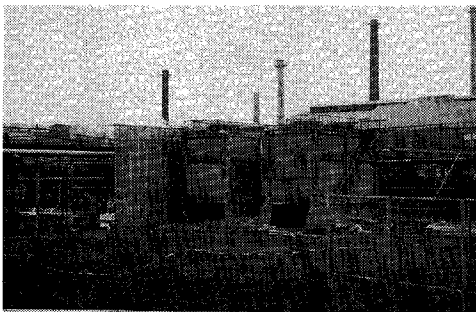
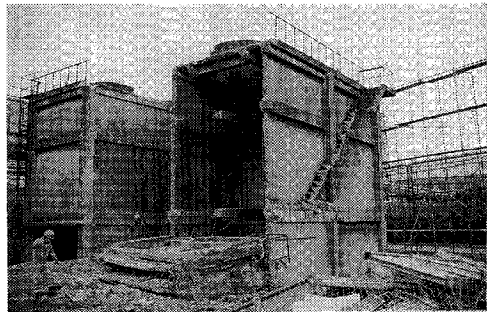


図-8 柱面の倒壊実験における破碎計画



発破前の状況



倒壊後の状況

写真-7 柱面の倒壊実験写真

り壁をどの程度処理しておくかということであった。もちろん、すべての仕切り壁を取り払い、柱とはりのみにしておけば容易に倒すことはできるであろう。しかし、壁の処理はコスト・工程の面で最も厄介な作業である。そのため、壁の事前処理をどこまで簡単にして最小限に抑えることができるかが、わが国における構造物の倒壊を行ううえでの課題であると思われる。

このことから、壁の事前処理はなるべく少なくし、また今後の倒壊方法を一般化するための資料とするため、なるべく規則性をもった処理を行うこととした。したがって、仕切り壁の事前処理は図—9に示すように斜めの線状破碎を施すにとどめた。図中、中央柱面の壁の破碎は、つなぎばりの破碎を容易にするためのものである。また鉄筋の事前切断は一切行わなかった。

図—9は、倒壊試験の破碎計画図である。まず、中央柱面の最下部の壁の上下を横方向に線状に破碎し、壁の鉛直抵抗力を消失させ、その後DS雷管にて時間差をつけながら下方から順に上方に柱・はりを破碎して、東側に転倒させるように意図して計画した。この際も事前処理と同様に、なるべく規則性をもった破碎を行うように留意した。

装薬計画はこれまでの実験結果に基づき、はりには計画装薬原単位を 0.8 kg/m^3 とし、柱については計画装薬原単位を 1.0 kg/m^3 とした。

写真—8に倒壊試験後の写真を示すが、結局構造物は東側に倒れず、逆に西側に傾いたのみで、倒壊という意味では失敗に終わった。このとき不発は全くなかった。

図—9の発破の順序に従い、各部分の破碎状況を観察し

てみると、

1) ①の壁部分の破碎については、ほぼ意図した長さにわたって完全に破碎されている。

2) ②の中央柱の柱脚部のコンクリートはほぼ完全に破碎されているが、壁との接合部は若干コンクリート塊が残った状態である。しかし、鉄筋は提灯状に座屈している。このことは、中央の柱面がいくらかは落下していることを示している。

3) ③の西側の柱脚部については、コンクリートはほぼ完全に破碎され、鉄筋は提灯状に座屈している。破碎の長さは発破をかけた長さよりも長く、発破破碎長 1.0 m に加えて、約 $0.5\sim 1\text{ m}$ 程度が落下による衝撃等により破碎されたものと思われる。

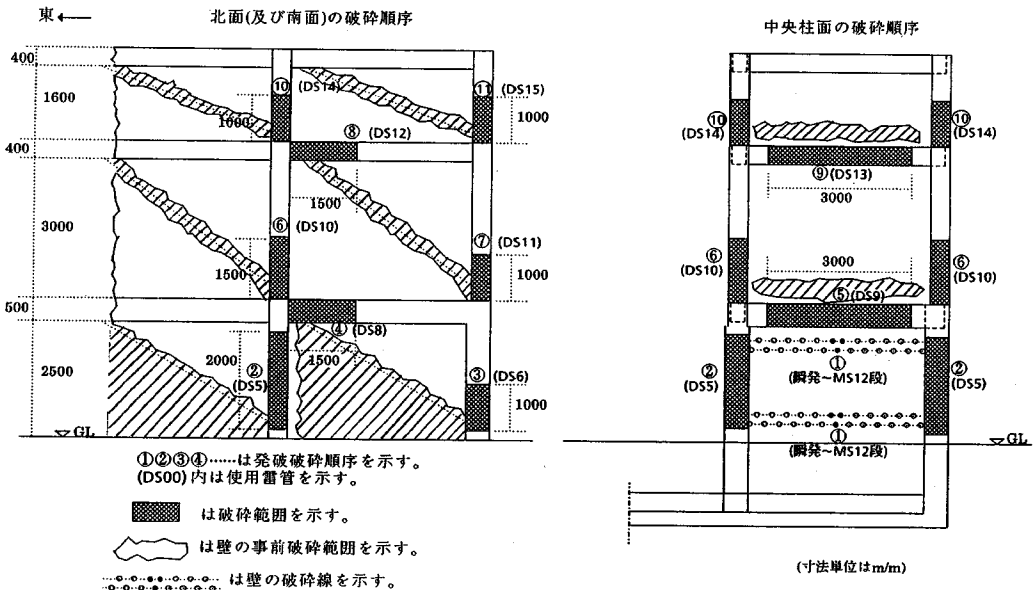
4) ④のはり部分については、ほぼ完全に意図した長さにわたって破碎され、鉄筋のみ残った状態となっている。

5) ⑤⑨の中央柱面のつなぎばりも、ほぼ完全に意図した長さにわたって破碎され、鉄筋のみ残った状態となっている。

6) ⑥⑩の中央柱の中間部は、事前に壁を斜めに破碎しておいた部分との接合部は鉄筋籠の外にコンクリート塊が飛び出した状態であるが、3面が壁に拘束されている部分は鉄筋が若干露出したのみで、その中のコンクリートは大きく割れてはいるが鉄筋籠の中にとどまったままである。フープ鉄筋も外されていない。

7) ⑧のはりも⑥の柱部分と同じで上下が壁に拘束されている部分ではほとんど破碎されていない。

8) ⑦⑪の西側柱中間部は、ほぼ意図した長さにな



図—9 仕切り壁を伴うラーメン構造の倒壊実験における破碎計画

たつて破砕されているが、壁との接合部はコンクリート塊が残った状態である。

以上のように、上部において各発破部分の破砕が完全でない部分があるものの、下部ではほぼ意図した破砕が達成されている。にもかかわらず東側への倒壊が達成されなかった大きな原因は、中央の柱面の鉛直抵抗力が失われていないことによる。特に、最下部の仕切り壁が、上下端を線上に破砕されているにもかかわらず、結局はその壁の隅角部が柱および柱・はりの接合部とかみ合ってしまった、中央の柱面の落下に対して抵抗していることが東側への倒壊が達成されなかった最大の原因であると考えられる。

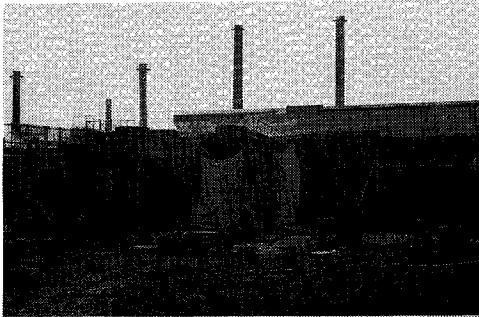
そこで、上記のかみ合い部分の南側の柱・はり接合部を、南側から大型油圧ブレーカーにて数回打撃して二次倒壊を試みた。その結果、南側のかみ合い部分が簡単に外れて、構造物は南東方向に倒れた。その倒壊後の様子を写真—9に示す。

以上の事実から以下の問題点が明確となった。

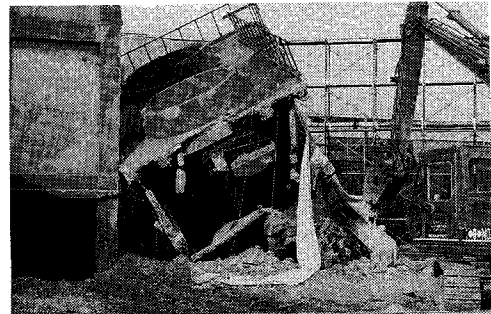
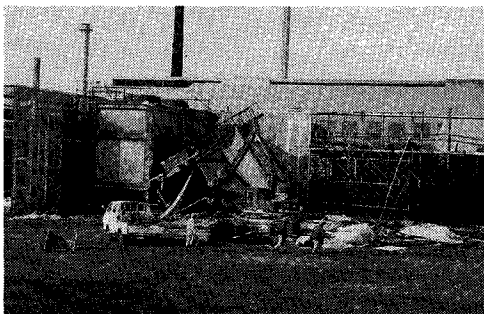
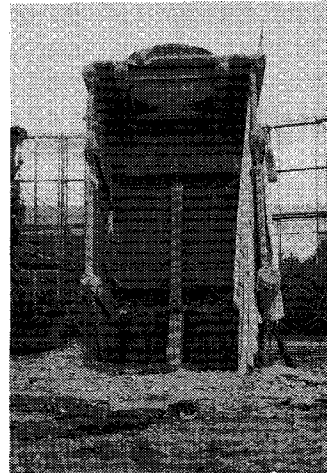
1) 前述の各部の破砕状況の観察によってみられたように、柱・はりの破砕は、たとえ 120 mm 程度の薄い壁

であっても、それに接合する壁の拘束度によって影響を受ける。観察結果によれば、壁の拘束を事前に取り除き 3 面以上の自由面を確保した③④の部分については破砕はほぼ完全であるのに対し、2 面もしくは 1 面しか自由面のない他の部分については、特に壁との接合部の破砕は不完全な状態に残っている。したがって、柱・はりを、今回計画した装薬量の範囲内で意図した長さにとつて完全に破砕するためには、少なくとも 3 面以上の完全な自由面を確保できるよう、事前に壁の拘束を外しておく必要がある。この問題に対処する方法としては、装薬を増やす方法もあるが、壁の接続状況により装薬・装薬位置をおのおの検討する必要があり、破砕設計が煩雑となると考えられるため、事前に壁の拘束を外しておく方法が望ましいと考える。

2) 倒壊方向側の柱面は、倒壊時には落下に対する抵抗力が完全に消失するように十分な検討を行う必要がある。その際、単に部材間の構造的な縁切りのみでなく、落下時の各部材の接触・かみ合いについて十分に考慮する必要がある。特に、意図した落下高さを確実に確保するためには、柱面の仕切り壁は落下量に相当する高さま



写真—8 ラーメン倒壊試験（一次倒壊）後の状況



写真—9 ラーメン倒壊試験の二次倒壊後の状況

で事前に取り除いておくか、もしくは完全に破砕してしまうことが必要である。

3) (1)の柱面の倒壊試験においてもみられたように、多少の落下ではRC壁が落下衝撃により大きく破砕されることは期待しにくい。そのため、壁の事前処理を極力少なくするためには、倒壊時に壁を面外に意図的に変形させる方法を模索する必要がある。その意味で、二次倒壊後の写真(写真-9)をみれば壁の一部が面外に変形している。したがって、今回の事前処理計画のように、壁を斜め状に破砕しておくことは、倒壊時に壁を面外に意図的に変形させることのヒントになり得ると考えられる。

5. おわりに

今回の実構造物を用いた発破実験では、RC構造物の倒壊を創出することを前提として、まず鉄筋コンクリートの壁およびはりの部材レベルでの破壊について、装薬量・装薬間隔と破砕状況の関係について検討を行った。また、簡単な倒壊試験を行うことでRC構造物の倒壊を行ううえでの問題点について検討した。今回の実験によりわが国で一般的にみられるRC構造物の発破倒壊における問題点をかなり具体的なイメージとして明らかにすることができたと考える。これらの意味で、今回の実験はごく簡単なものであり、実験上の失敗もあるが、参考に供せる部分が多くあると考え報告する次第である。

また、本実験は工場敷地内という特殊な環境下で行われたために、飛石・騒音といった問題に特別な配慮は必要としなかった。飛石については主として畳、ネット等により大きなものはほぼ防ぐことができたと考えている。また、騒音については、発破位置より50mの地点にて騒音レベル(Impulse, A特性)で130dB近い値が得られたが、発破音にある程度慣れている著者らの耳には全実験を通じて特に大きいとの感は受けなかった。この結果については紙面の都合上割合した。

本実験を行うに際して、新日本製鐵(株)八幡製鐵所の関係各位、および岡崎工業(株)八幡支店、日新興業(株)八幡支店の関係各位の援助を受けた。記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 富田幸助・加藤僚一：筑波万国博覧会「国連平和館」の制御破砕解体工事について、工業火薬，48巻，6号，pp.385～394，1987.
- 2) たとえば，中川浩二・大高 聡・工藤洋三・橋本堅一：静的破砕剤を用いた鉄筋コンクリート構造物解体のための実験的検討，セメント技術年報，第37巻，pp.97～100，1983.
- 3) Molin, C. : Localized cutting in concrete with careful blasting, CBI fosking reserch fo 2-83, 1983.
- 4) Molin, C. : A methods developing study of localized cutting in concrete with careful blasting, CBI fosking reserch fo 1-84, 1984.

(1988.5.13・受付)