

High speed camera

Unit: mm

Fig. 1 Concrete block model for blasting

Experimental conditions:

d : Diameter of borehole, 8 mm

h : Length of borehole, 65 mm

w : Line of the least resistance, 37 mm

行う。この方法に個々の要素に対して変位、変形、歪が許され、要素システムにおいて、要素間相互の滑り・分離・接触が可能である。更に、離れた要素においてニュートンの運動方程式を適用しており、任意の加

重条件、境界条件のもとで起こる個々の移動や変形と共に要素システム全体の力学的挙動を解析可能であることは有限要素法とよく似ている。

発破の際には対象物の破壊過程が弾性体の不連続的な変形で表現されるものとして、DDAの発破解析シミュレーションへの適用性を検討するために、小規模コンクリートブロックを用いた発破実験を行い、き裂成長、自由面移動について解析することにより、実験とシミュレーションとの比較検討を行った。

コンクリートブロックを用いた実験モデルをFig. 1に示す。ブロックの寸法は $400 \times 400 \times 300$  mmである。穿孔条件は最小抵抗線を37 mm、穿孔長を65 mm、穿孔直径を8 mmとした。装薬後、エポキシ樹脂を用いて装薬用のタンピングを行った。起爆には日本化薬(株)製の精密雷管<sup>10), 11)</sup>を用い、CORDIN社製のフレーミング高速度カメラModell 124によって、100,000fpsの撮影速度で起爆後250  $\mu$ sまで25枚の写真を撮影した。

得られた一例の高速度写真をFig. 2に示す。図(a)は起爆後100  $\mu$ s、(b)は160  $\mu$ s、(c)は180  $\mu$ s、(d)は250  $\mu$ sの写真である。これら一連の写真より明らかとなった発破時のき裂の成長及び自由面の移動過程を以下に記す。

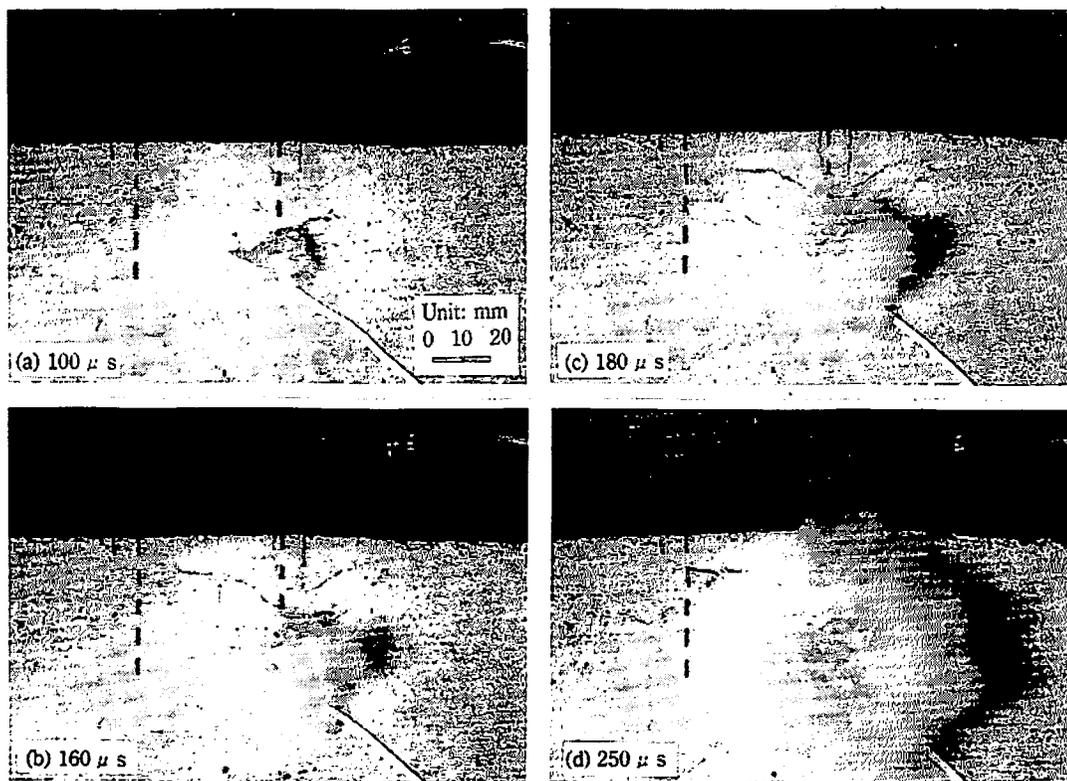


Fig. 2 High speed photographs of concrete block on blasting

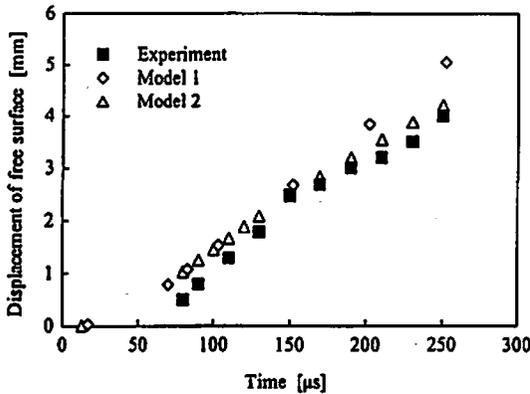


Fig. 3 Displacement of the free surface of concrete block and the simulated results by DDA

(1) き裂の成長

起爆後40 $\mu$ sまではき裂の発生は明確には確認されなかったが50 $\mu$ s後の写真で装薬孔の周り及び最小抵抗線付近で自由面からのき裂が確認できた。き裂進展方向については、装薬孔周辺のき裂は放射状の方向で、最小抵抗線付近のき裂は自由面からブロック内部に進展していた。起爆後110 $\mu$ sに自由面からのき裂と装薬孔からのき裂がつながり、180 $\mu$ sには装薬孔からのき裂が自由面まで進展した。Fig. 2 (a)に示したように、起爆後100 $\mu$ sではき裂がまだ少ないのに対して、起爆後160 $\mu$ sでは多数生成している。図中に矢印(↑)で示したき裂は、起爆後100 $\mu$ sから160 $\mu$ sまでの間に、長さが15mmから50mmまで進展した。

(2) 自由面移動

写真より観測された自由面の移動結果をFig. 3に示す。図中に、比較のためにシミュレーション結果を示している。起爆後80 $\mu$ sで破壊を伴った自由面の移動が始まり、起爆後250 $\mu$ sまでに自由面が約4mm移動した。この実験条件では自由面の移動は、装薬孔からのき裂が自由面まで進展する以前に始まることが分った。

2.2 DDAによるシミュレーション

DDAによる解析シミュレーションは、要素の分割方法によるき裂成長及び自由面の移動の相違を検討するため、放射状モデルと正方形モデルの2つのモデルで行った。モデルの寸法は、最小抵抗線はいずれのモデルとも実験と同じ37mm、他の方向は放射状モデルが368 $\times$ 237mm、正方形モデルは400 $\times$ 177mmとした。材料の物性値は一般的なコンクリートを用いたので文献<sup>12)</sup>より、ヤング率を20GPa、ポアソン比を0.2とした。

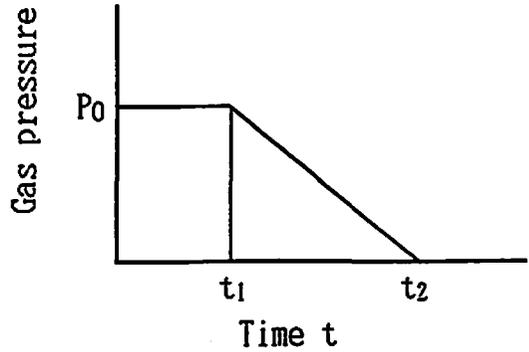


Fig. 4 Function model of gas pressure in blasting

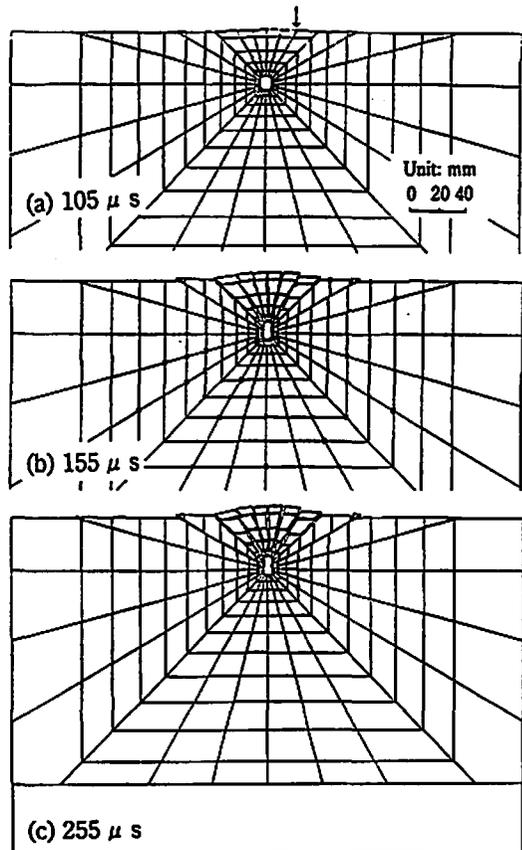


Fig. 5 Simulated results of blasting by DDA (Model 1)

装薬孔内壁に作用する圧力波形はFig. 4に示すものとした。すなわち、起爆後に生じたガスの圧力は時間 $t_1$ までは一定値 $P_0$ で、その後直線的に減少して、 $t_2$ で大気圧に戻る。

ガス圧力が作用する方向は装薬孔内壁の要素毎に放射状方向に加える。

以下にガス圧力 $P_0=0.01$ GPa、 $t_1=80\mu$ s、 $t_2=300\mu$ s

の時、DDAによる解析結果を示す。

(1) 放射状モデル

放射状モデル解析結果をFig. 5に示す。要素は装薬孔から放射状と装薬孔を中心とした矩形との2組の線で構成する。これはき裂の生成する方向に合せるように要素を分割したモデルである。また、応力勾配を考慮して、要素の大きさは装薬孔から離れるに従ってすこしずつ大きくなるようにした。Fig. 5 (a)は起爆後105  $\mu$ s、(b)は155  $\mu$ s、(c)は255  $\mu$ sの解析結果である。(a)を見てみると、最小抵抗線付近の放射状の線は他のより太くなり、また、矢印(↓)で示した線は自由面付近でブロック内部より太くなっている。これらのことは、要素同士が離れかかって線が太くなっていることを示しており、装薬孔から最小抵抗線付近及び矢印(↓)で示した線は自由面付近ではき裂が発生したと認められる。さらに、この解析結果はFig. 2 (a)と一致すると思われる。Fig. 5 (b)をFig. 5 (a)と比べて、(b)の中にはき裂が成長して、線はもっと太く多くなった。これはFig. 5 (b)がFig. 2 (b)と一致すると思われる。

(2) 正方形モデル

正方形モデルをFig. 6に示す。正方形が十分に小さければ、放射状モデルと同じ結果を得るものと思われるが、どの程度異なるかを知るためにこのモデルを用いて計算を行った。

Fig. 6 (a)は起爆後102  $\mu$ s、(b)は162  $\mu$ s、(c)は252  $\mu$ sの解析結果である。Fig. 6 (a)より、矢印(↓)で示したように要素が互いにずれている。これに対して、最小抵抗線付近のブロック内部の要素の境界線が変っていない。これは、矢印(↓)で示した要素周辺でき裂が発生したものと思われる。これはFig. 2 (a)と一致すると思われる。Fig. 6 (b)はより広い範囲で要素の境界線が太くなり、要素が互いにずれたことを示している。これはFig. 2 (b)と一致すると思われる。

2つのモデルを比べると、上記に述べたように指摘した部分ではいずれのモデルとも起爆後約100  $\mu$ s及び160  $\mu$ sのき裂の解析結果は実験の写真と一致することがわかった。また、Fig. 5 (c)とFig. 6 (c)は起爆後約250  $\mu$ sの解析結果であるが、両者ともクレータ生成範囲の要素が大きく変位が生じている。Fig. 2 (d)に示した実験の写真では噴出したガスのため、き裂を確認できなかったが、自由面移動で検討してみる。

Fig. 3は自由面の移動の計算結果と実験結果であ

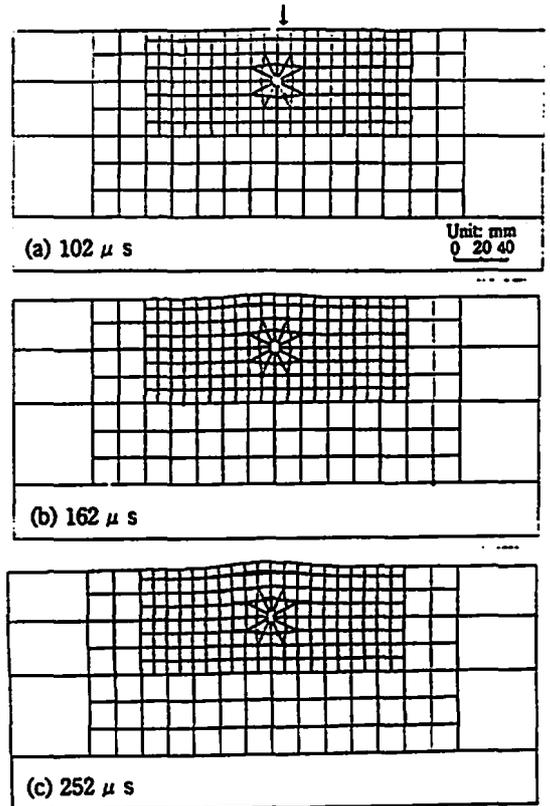


Fig. 6 Simulated results of blasting by DDA (Model 2)

るが、解析の自由面の移動は最小抵抗線と自由面の交点のところの要素の最小抵抗線に沿った方向の変位である。図で示したように、いずれのモデルとも解析結果は実験結果と良好に一致した。起爆後約150  $\mu$ sでは両者はほぼ同じで、250  $\mu$ s後に放射状モデルでは5.046mm、正方形モデルでは4.209mmであった。これは実験の4mmとよく一致していると考えられる。また、起爆後50  $\mu$ s以内では、あまり一致していないが、解析結果は、波動の伝播による変位も正確に反映しているのに対し、高速度写真では波動による変位を撮影できなかったためと思われる。

2.3 DYNA-3Dによる応力解析

DYNA-3D<sup>(13),(14)</sup>は陽解法により3次元の非弾性、大変形を伴う構造物の動的応答を解析する有限要素コードである。コンタクト・インパクトアルゴリズムを採用することにより、摩擦を伴った面接触や、き裂の取り扱いを可能にしている。

DYNA-3Dは、1976年以来開発・改良され、物体力と9種類の物性が追加され、爆発を伴った構造や土質構造など、より広範囲な問題のモデル化が可能になった。1982年版では、物性種類がDYNA-2Dと同じ

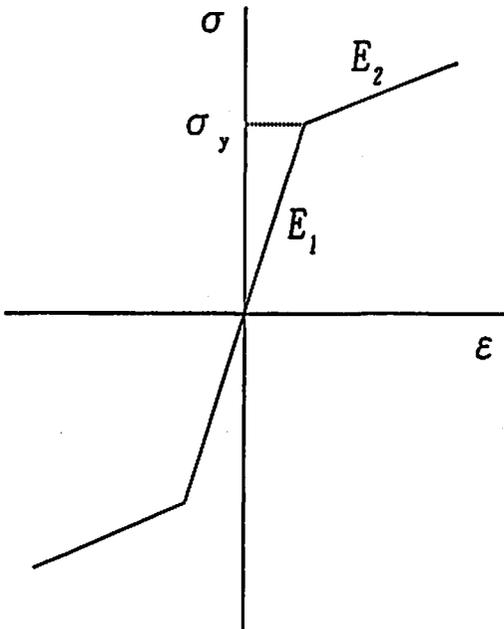
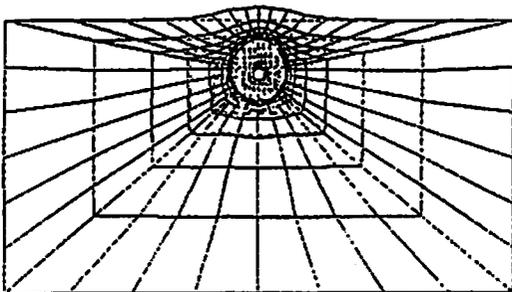


Fig. 7 Isotropic-elastic-plastic model of destruction in blasting



Time: 250  $\mu$  s

Fig. 8 Simulated results of blasting by DYNA-3D

構成に変更された。これにより、状態方程式と物性種類を組み合わせて利用することができるようになった。

ここでは、DYNA-3Dを用いて、DDAの解析結果と実験結果を比較検討するために、上記の発破実験のシミュレーションを行った。解析モデルはDDAの放射状モデルと同じように構成する。载荷はDDAにより求めた圧力値を用いて、装薬孔内壁の要素に加える。物性モデルは爆源近傍の破砕帯の弾塑性を考慮して、Fig. 7に示したような等方弾塑性モデルを用いた。ヤング率 $E_1=20\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ 、降伏応力 $\sigma_y=10\text{MPa}$ 、降伏後接線係数 $E_2=E_1/10$ の場合の解析結果をFig. 8に示す。自由面の形状はDDAの場合と良好に一致することが分かる。

### 3. A倉庫の発破解体の解析シミュレーション

#### 3.1 概要

A倉庫の一部を発破工法によって解体した際に発生する振動、騒音を測定し、その伝播特性及び計画時での予測値との適正を確認した。発破の実際の寸法に合わせて解析モデルを立て、DDAを用いて、柱6本の2次元方向の崩壊過程について解析を行った。また、落槌振動実験により振動と落下重さの関係を求め、発破解体の振動低減をDDAの解析により検討した。

#### 3.2 A倉庫の発破解体

##### 3.2.1 発破方法

発破解体範囲内の1階の柱6本、2階の柱6本に装薬し、これらが発破することにより、発破解体範囲のスラブを下方に落下崩壊させた。建物の外壁はそのまま残して防護壁とした。Fig. 9は発破解体範囲内の平面図(概念図)である。Fig. 10はFig. 9のA-Aをモデル化した断面図である。Fig. 9に示したように、1階、2階共に12本の柱を4段階に分割して発破した。Table 1にA倉庫発破解体の発破順序を示す。穿孔設計では、1階と2階はそれぞれ8層と7層であった。

##### 3.2.2 振動、騒音の計測

倉庫内各階と地盤(アスファルト)上の各測定点に鉛直及び水平方向に加速度計を設置し、発破及び倒壊時の地盤振動を測定した。その後、積分回路を有する

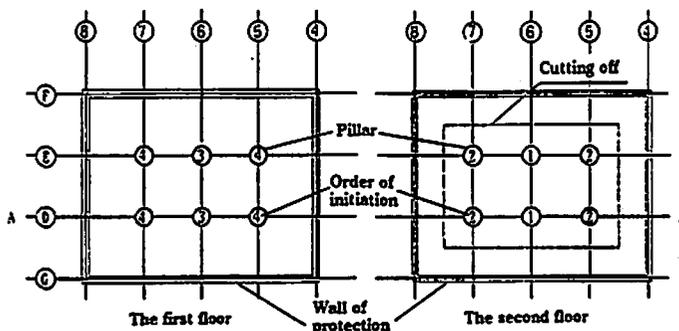


Fig. 9 Plan of blasting points of A storehouse

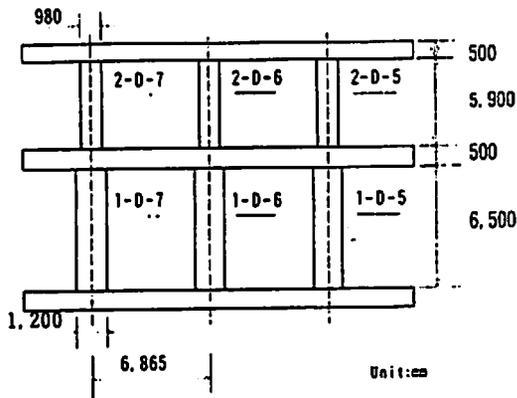


Fig. 10 Cross section of analytical model of A storehouse

Table 1 The order of initiation in blasting of A storehouse

Pillar	Order of initiation	Delay time(s)
2-D-5	2	+0.4
2-D-6	1	0.0
2-D-7	2	+0.4
2-E-5	2	+0.4
2-E-6	1	0.0
2-D-7	2	+0.4
1-D-5	4	+1.2
1-D-6	3	+0.8
1-D-7	4	+1.2
1-E-5	4	+1.2
1-E-6	3	+0.8
1-E-7	4	+1.2

チャージアンプを介して変位速度を得、また、公常用振動レベル計を介して振動感覚補正を行い、振動レベルを得た。計測位置は、発破解体範囲の中心を基点(0 m)とし、35, 70, 105, 140 m離れた地点を測定点P-1, 2, 3, 4とした。また、倉庫外壁と仮囲いの中間をP-0とした。水平方向の振動については振動伝播方向に加速度をセットした。振動計測結果をTable 2に示す。

騒音は、振動と同様に各測定点に精密騒音計を設置し、発破及び倒壊時の音をF特性(音圧レベル)、動特性FASTで測定し、再び精密騒音計(A特性)を介して聴感補正を行ない、騒音レベルを得た。騒音計測結果をTable 3に示す。

Table 2 The measuring results of vibration in blasting of A storehouse

Vertical vibration			
Measuring point	Distance (m)	Velocity in blasting (kine)	Velocity in collapsing (kine)
P-1	35	0.372	1.365
P-2	70	0.077	0.251
P-3	105	0.073	0.361
P-4	140	0.044	0.182

Horizontal vibration

Measuring point	Distance (m)	Velocity in blasting (kine)	Velocity in collapsing (kine)
P-1	35	0.082	0.186
P-2	70	0.030	0.092
P-3	105	0.018	0.091
P-4	140	0.012	0.085

Table 3 The measuring results of the noise in blasting of A storehouse

Measuring point	Distance (m)	Sound pressure level(dB)	Noise level (dB[A])
P-0	27	126	115
P-1	35	121	107
P-2	70	114	100
P-3	105	107	91
P-4	140	104	90

Table 2より、鉛直方向の振動と水平方向の振動を比較した場合、変位速度値において、鉛直方向が水平方向の2倍から7倍大きな数値であり、倒壊時の変位速度は発破時の振動の約3倍であった。

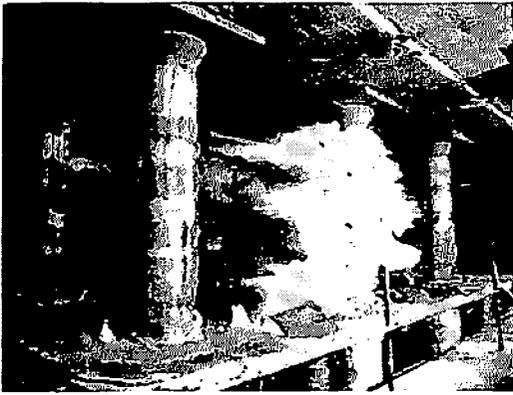
発破時と倒壊時との鉛直方向の振動について、それぞれ“Langeforsによる変位速度と構造物の影響”と“気象庁震度階級”を用いて評価した。発破時は“敏感な人が振動を感じる”程度で、倒壊時は震度Ⅱ(軽震)で、“大勢の人に感じられ、戸障子がわずかに動くのが分かる”程度であった。

また、本工事の計測時に予測した発破時及び倒壊時の振動値と比べて、発破時の計測結果はいずれも当初予測範囲を下回っており、倒壊時は当初予測値を上回っていた。

騒音の計測結果は、発破時と倒壊時の波形の分別が困難であった。Table 3より、発破解体範囲から約140 m離れた測定点P-4における騒音は90dB[A]であ

Table 4 Collapsing process by video recording in blasting of A storehouse

Item	Frame	Time(s)
Initiation of the order of 1	0	0
The slab of the second floor is starting to fall	15	0.5
Initiation of the order of 3	23	0.77
Initiation of the order of 4	38	1.27
The slab of the second floor has fallen down	64	2.13



(a) Time:0.067 s



(b) Time:1.167 s

Fig. 11 Printing from video recording on blasting of A storehouse

り、「コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針」によると、発破解体工事において人体及び構造物に与える影響がない範囲として騒音レベル120dB[A]を許容最大値としており、本工事の発破騒音はこの許容値を下回ることができた。

### 3.2.3 ビデオ観測

発破時に撮ったビデオにより、起爆時間及び崩壊過

程を確認した。Fig. 11はビデオ解析の写真であるFig. 11(a)は起爆後0.067 sであり、この時2階の真ん中の柱の装薬が起爆された。(b)は起爆後1.167 sであり、この時1階の両側の柱の装薬が起爆されたが、発破順序の設定時間より1コマ分(0.033 s)早かった。Table 4はビデオ解析により得た柱の起爆時間及びスラブの落下時間である。このビデオ解析により、2階の屋上(スラブ)が落下し始め、起爆後2.13 sで2階の屋上(スラブ)が落下して、破碎した柱にぶつかって折れたことが確認された。これより、2階の屋上落下時間には1.63 s 要したことが分かる。また、発破の前後の2階屋上の落下距離は約10 mで、落下し始めてから自由落下として落下時間を計算すると1.429 sであった。実際の落下時間はこれより0.2 s長くなった。これは崩壊する時の柱の塑性破壊に要する時間だと考えられる。

また、発破の崩壊時間は2階の屋上の落下時間であると考えられ、発破の全体の崩壊時間は2.13 sであった。

### 3.3 DDAによる解体シミュレーション

Fig. 9はA倉庫発破解体の寸法に合わせて、モデル化した解析モデルである。1階、2階の柱の直径はそれぞれ0.98 m、1.2 mであり、柱の高さはそれぞれ5.88 m、6.48 mであり、スラブの厚さは0.5 mであった。残っている構造物の外壁の作用を考慮して、解析モデルの両側と地盤の一体の厚さ1.2 mの要素を設置した(Fig. 12(a))。柱の解析要素は、1階、2階はそれぞれ10層、9層の並列の2つの長方形要素で構成する。スラブの要素は1階、2階のスラブともに1つの要素で構成するものとした。

圧力の入力は、並列の2要素の中心に外向けの集中力を加える。柱に載荷し始める時間は起爆順序に合わせて、柱毎に圧力作用時間はいずれも0.1 sとした。

Fig. 12に解析結果を示す。Fig. 12(a)は解析時間0.05 sにおける解析結果であり、柱2-D-6が変動を始めた。(b)は解析時間0.50 sで、柱2-D-7と2-D-5に圧力終了後の解析結果であり、この時柱2-D-6が破壊されている。(c)は解析時間0.88 sで、柱1-D-6に圧力作用が0.08 sの時の解析結果である。この時には2階の柱はすべて破壊され、2階のスラブが落下を始めている。(d)は解析時間1.33 sで、2階及び1階の真ん中の柱が破壊された時の解析結果である。(e)は解析時間1.80 sで、2階のスラブが破壊され、柱とぶつかったところの解析結果である。(f)は解析時間2.58 sで、解析終了時の解析結果である。この時には破壊が終了しスラブは落下した。

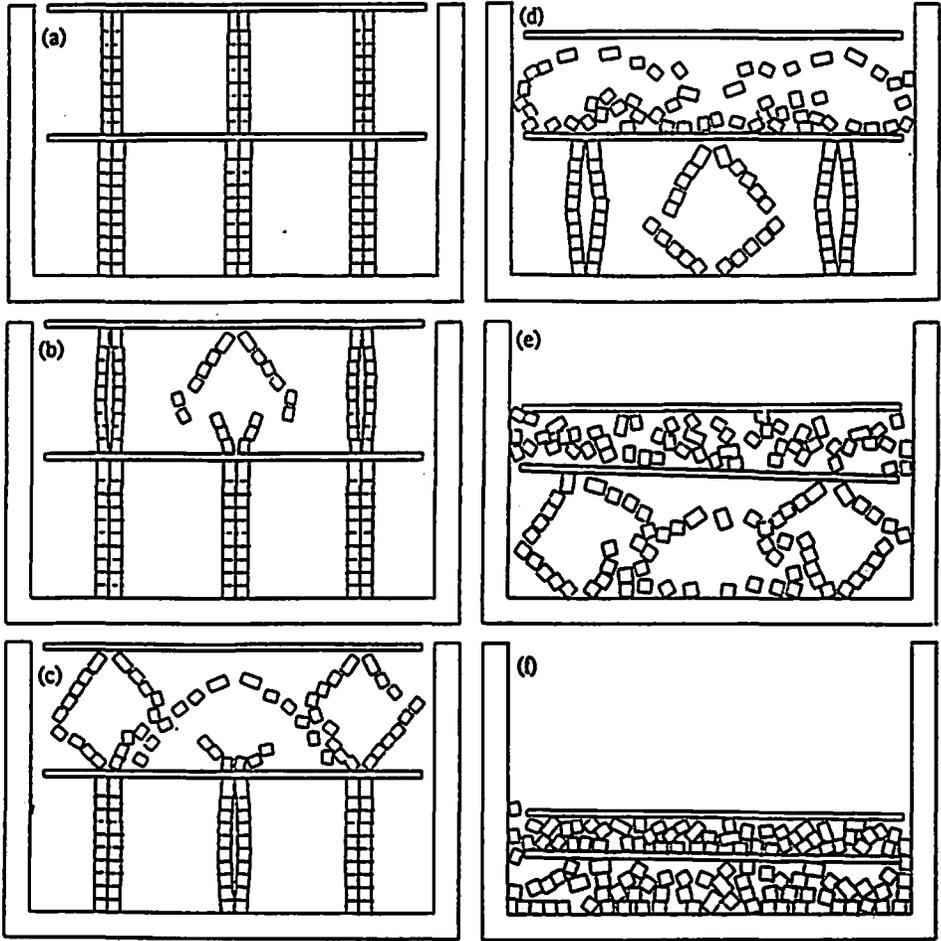


Fig. 12 Simulated results of blasting demolition of A storehouse by DDA

(a) 0.05 s (b) 0.50 s (c) 0.88 s  
(d) 1.33 s (e) 1.80 s (f) 2.58 s

また、計算結果により要素の鉛直変位で2階のスラブの落下開始の時間を確認した。2階スラブの落下開始時間は0.65 sである。さらに、2階真ん中及び両側の柱の2回の起爆により、2階のスラブは2回振動し、その後落下が始まる。2階の真ん中の柱は起爆後約1.63 sに、2階のスラブは破壊された柱にぶつかり (Fig. 12 (e)), 落下速度に影響が現れ、約2.00 s後に1階のスラブと一緒に落下することになる。約2.39 sで破壊した1階の柱にぶつかり、落下速度に2回目の影響が見られた。

上記の解析結果により、スラブの落下速度は柱が破壊するとき及び破壊した柱にぶつかる時に影響され、崩壊の最後に地盤への衝撃力を減らすことに役立つことが分かる。

また、スラブの落下開始時間及び落下の最後の時間

とビデオでの解析結果とを比べると、良好に一致することが分かる。

### 3.4 DDA解析による振動低減案

#### 3.4.1 落礎振動実験

倒壊時の振動は、崩壊した構造物の地面への衝撃であると考え、落下物の重量が振動の重要な要因の一つであることになる。振動と重量の関係を調べるために、落礎試験機を用いて、落礎が落下する際に、地面に生じる振動を測定した。

落礎試験機から2.5, 6, 10 mの距離で振動を測定した。そのうち2.5 mの測定点は近すぎるために、加速度値が大きくなり、精度の良い結果を得られなかった。また10 mの測定点は遠いため、計測結果は小さくなった。6 mの測定点における計測結果をFig. 13に示す。これより振動加速度は落礎の重量に正比例する

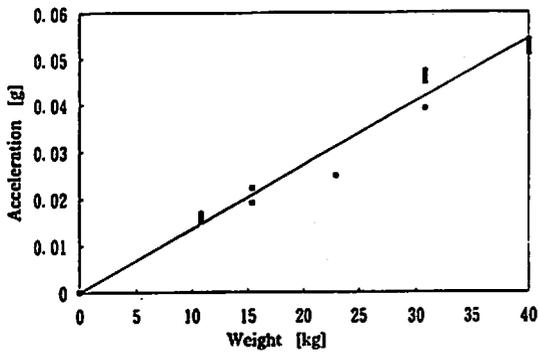


Fig. 13 Acceleration of vibration at 6 m from impact point in drop hammer test

ことが分った。さらに、振動加速度も落錘の重量に正比例すると考えられた。

### 3.4.2 DDA解析による振動低減の検討

倒壊時には破壊した構造物の重量を減らせば、地盤の振動が減少することが落錘実験で明らかになったので、1階と2階のスラブをそれぞれ3つの同じ長さの要素に分け、重量を減らせば、振動は減少させられるものと思われる。Fig. 14に示したように、スラブを3つの要素に分けて解析シミュレーションを行った。

(a), (b), (c)はそれぞれ起爆後1.204 s, 1.834 s, 2.398 sの解析結果である。起爆順序が違うために、同じスラブの3つの要素の落下時間も異なっている。3.3の解析と同様にスラブの1つの要素は落下する際に、破壊した柱と別々に2回衝突した。したがって、スラブは落下する途中で、破壊した柱と12回衝突することになる。さらに、6本の柱の起爆時間が異なるため、6つの要素及び破壊した柱は3組に分けて、地盤に落下する。落錘振動試験により、3組の破壊された構造物の地盤への振動はスラブを分けない場合の振動の1/3に減少すると考えられる。

また、上記の3組の破壊された構造物の地盤に落下する時間は、柱の起爆時間により決められ、振動の相互干渉を考えれば、発破の起爆順序の改善により、振動をもっと減少することが可能である。

## 4. 考察

- (1) 発破の基礎として、コンクリートブロックと精密雷管を用い、一自由面発破実験を行った。実験とDDAによる解析結果は比較的良く一致し、き裂の生成順序、成長過程もある程度シミュレーションできるものと思われる。
- (2) DYNA-3Dを用い、一自由面発破の動的弾塑性解析を行い、自由面の変化やクレーターの形もある程度シミュレーションできるものと思われる。

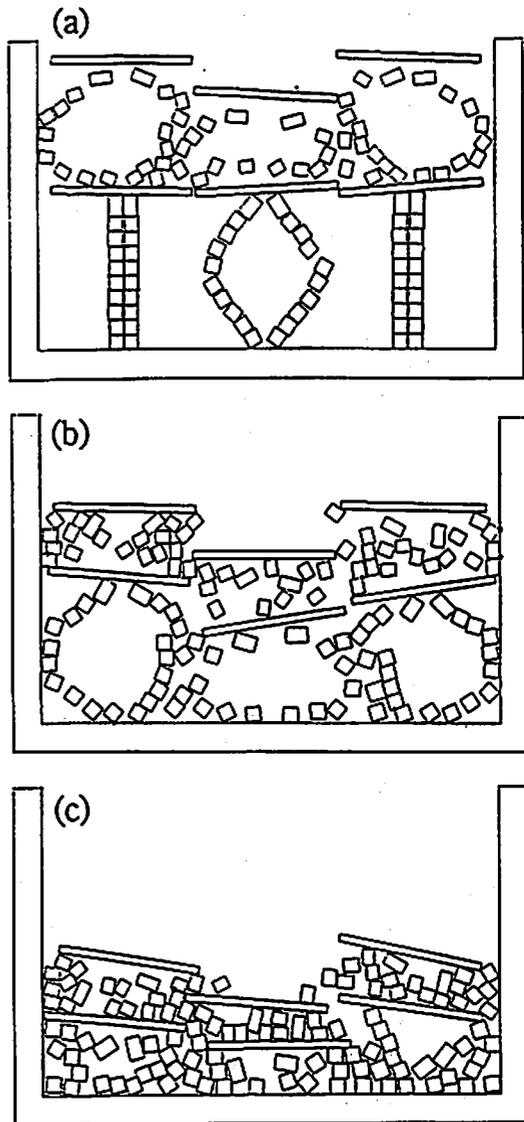


Fig. 14 Simulated results to reduce vibration in blasting of A storhouse by DDA  
(a)1.204 s (b)1.384 s (c)2.398 s

- (3) 爆源近傍の破砕域の現象は非常に難しい現象であるが、弾塑性解析を用いれば、ある程度解析できるとの見込みを得た。
- (4) 発破解体においては、規模と周辺条件によって、発破設計に様々な要求がある。これらの要求に対して発破設計と段発順序によって対応することができる。発破解体する建物に対しては、一度モデルを作ることによって、発破パラメータと段発順序を容易に変更してシミュレーションを実行することで崩壊過程を解析することができる。また、解体条件を満

足するパラメータと段発順序の決定を解析シミュレーションにより行うことができる。

- (5) 発破時の振動を減少させることは最も重要な問題の一つである。A倉庫の発破解体時の振動計測結果により、倒壊時の振動は発破時の約3倍であることが判明した。この原因は破壊された構造物が落下する際に、衝撃力を与えるためと考えられる。発破時の段発順序を変更して、崩壊過程を解析することで最適な段発順序と遅延時間を選択し、この衝撃力を減少することが可能である。
- (6) 3.3の解析により、DDAの解析シミュレーションを行い、発破の際の構造物の崩壊の全過程を解析することができた。ある発破パターン及び起爆順序の下に、発破の崩壊過程を予測することができた。
- (7) 発破の際、対象物の抗力係数、爆薬の威力係数、装薬孔の添装状況及び装薬係数などは発破効果に影響を及ぼしている。発破設計には一般的にこれらの因子を薬量で反映するが、DDAによる解析では圧力で反映すると考えている。DDAの入力値としての圧力と発破の薬量、あるいは圧力とこれら影響因子との関係についての研究は今後の課題である。

#### 謝 辞

本研究の一部は(財)火薬工業技術奨励会の研究助成金により実施いたしました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 梶原稔尚, 化学工学, 58, 2 (1994)
- 2) G. H. Shi, R. E. Goodman, "Discontinuous Deformation Analysis", Proc. 25th U. S. Symposium on Rock Mechanics, pp. 269~277 (1984)
- 3) G. H. Shi, R. E. Goodman, "Dimensional Discontinuous Deformation Analysis", Int. J.

Anal. Methods Geomech., Vol. 9, pp541~556 (1985)

- 4) 大西有三, 佐々木猛, 不連続変形法とその岩盤工学への適用について, 第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 (1992)
- 5) 世一英俊, 構造物解体時のシミュレーション技術, 資源環境技術総合研究所第2回研究講演会資料 (1992)
- 6) 馬 貴臣, 三宅淳巳, 小川輝繁, 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, 不連続変形法を用いたき裂進展とビルの発破解体シミュレーション, 火薬学会年会講演要旨集, pp67-68 (1994)
- 7) 勝山邦久, 緒方雄二, 和田有司, 不連続変形法による一自由面発破シミュレーションの試み, 資源・素材学会 (春季大会) (1994)
- 8) 馬 貴臣, 三宅淳巳, 小川輝繁, 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, DDAとDYNA-3Dによる一自由面発破のシミュレーション, 火薬学会秋季大会講演要旨集, pp51-52 (1994)
- 9) DDA実用化研究会, DDAコードVersion 1.1 ユーザーズマニュアル, システム総合研究所 (1993)
- 10) 緒方雄二, 松本 栄, 勝山邦久, 橋爪 清, 工業火薬, 53, 4 (1992)
- 11) 緒方雄二, 松本 栄, 勝山邦久, 橋爪 清, 資源と環境, 1, 3 (1992)
- 12) 鈴木 光, 「岩盤力学と計測」, 内田老鶴園新社, p. 18 (1979)
- 13) 石川信隆, 「構造物の衝撃挙動と設計法」, 土木学会, p. 96~120 (1993)
- 14) J. O. Hallquist, D. J. Benson, DYNA-3D user's manual (Nonlinear Dynamic Analysis of Structures in Three Dimensions), Methods Development Group Mechanical Engineering Department (1986)

## Study on the numerical simulations of the blasting and the reduction of vibrations in blasting demolition

by Guichen MA\*, Atsumi MIYAKE\*, Terushige OGAWA\*  
Yuji WADA\*\*, Yuji OGAWA and Kunihisa KATSUYAMA\*\*

The one surface blasting was simulated by Discontinuous Deformation Analysis (DDA) and by DYNA-3D. Comparing the simulated results with the concrete block blasting experiment, the crack growing and the free surface displacement which were simulated by DDA, were consistent with the experiment, and the free surface deformation and the crater form was simulated some degree by DYNA-3D.

Further, by using DDA, the simulation of blasting demolition of A storehouse was performed. The result was in good agreement with the observation of the blasting demolition by a video recording.

In addition, with the DDA analysis, the reduction of the vibration which was generated in blasting demolition of A storehouse was examined.

(\*Department of Safety Engineering, Yokohama National University,  
156 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan

\*\*Department of Safety Engineering, National Institute for Resources and Environment (NIRE), 16-3 Onogawa, Tsukuba, Ibaragi 305, Japan)

---