

順応型 Shifted Integration 法による骨組構造の 爆破解体挙動の有限要素解析

—その2 数値例—

Finite Element Analysis of Explosive Demolition of Framed Structures by using the ASI Technique

— Part 2 Numerical Examples —

磯部 大吾郎*・都井 裕**

Daigoro ISOBE and Yutaka TOI

1. 序

本速報では、微小変形・大変形、静的・動的、単調負荷・繰り返し負荷の如何に関わらず、骨組構造の有限要素解析において有効であることが立証されている順応型 Shifted Integration 法 (ASI 法) を骨組構造の爆破解体に応用する。

速報 (その1) で述べた U.L.F. に基づく中心差分法を用いた陽的非線形解析アルゴリズムを用い、2層平面骨組構造の爆破解体解析および5層空間骨組構造の爆破解体解析を実施し、本手法の実用性を説き、時間積分の陽解法と陰解法の両者について計算効率の比較・検討を行う。

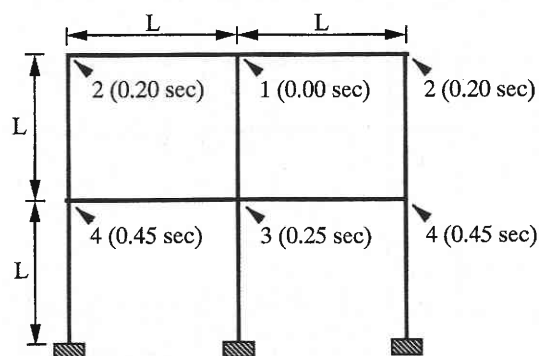
2. 骨組構造の爆破解体解析

本節では、U.L.F. に基づく陽的非線形解析アルゴリズムを有限要素法プログラムに導入し、ASI 法による骨組構造の爆破解体解析を実施した。ここでは、陽解法と陰解法による時間増分の設定範囲の違いについても考察している。

2.1 2層平面骨組構造の爆破解体解析

U.L.F. に基づく陽的非線形解析アルゴリズムを構築し、ASI 法により Fig. 1 に示すような2層構造の平面骨組の爆破解体解析を行った。水平梁には自重および床などの重量、柱には自重を静的に加えてから動的な解析を行い、図に示すような順序と時間に、次々に部材断面を爆破した。図には、材料定数を同時に示す。ここでは、破断を考慮 (曲率臨界値 $\kappa_{cr} = 1.0 \times 10^{-4} [1/mm]$) した材料による解析を行っている。

1部材当たり2要素、4要素、および8要素を用いて実施した解析結果を、Fig. 2 に示す。いずれの場合も、約



$E=2.1 \times 10^4$ [kgf/mm ²]	Column
$\nu=0.3$	$A=1.390 \times 10^5$ [mm ²]
$\sigma_y=33.0$ [kgf/mm ²]	$M_{x0}=M_{y0}=1.086 \times 10^9$ [kgf · mm]
$\rho=7.8 \times 10^{-6}$ [kgf/mm ³]	$M_{z0}=9.855 \times 10^8$ [kgf · mm]
$\kappa_{cr}=1.0 \times 10^{-4}$ [1/mm]	
$L=1.0 \times 10^4$ [mm]	Beam
	$A=5.979 \times 10^3$ [mm ²]
	$M_{x0}=M_{y0}=1.406 \times 10^7$ [kgf · mm]
	$M_{z0}=1.124 \times 10^7$ [kgf · mm]

Fig. 1 Explosive demolition analysis of a portal frame using ASI technique

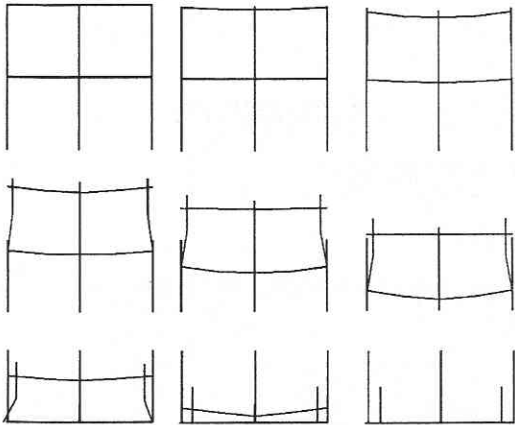
2.8[sec] で最終段階に到達している。各図において骨組の変形の様子を観察すると、1部材当たりの要素数の少ない方が部材の落下速度が若干遅いという傾向があるものの、それぞれの変形モードの違いはほとんど認められず、全般に安定した良好な解析結果が得られたと考えられる。図に示すように、破断を考慮した材料による本解析では、爆破が進行するにつれて部材が落下し、地面に落下した部材に破断が生じる様子などが観察される。特に、上層部の梁や柱が落下した際にその衝撃で破断する様子が確認できる。

陰解法による解析結果と本解析結果を比較してみると両者の結果はほとんど一致したが、その一方、文献1) で述

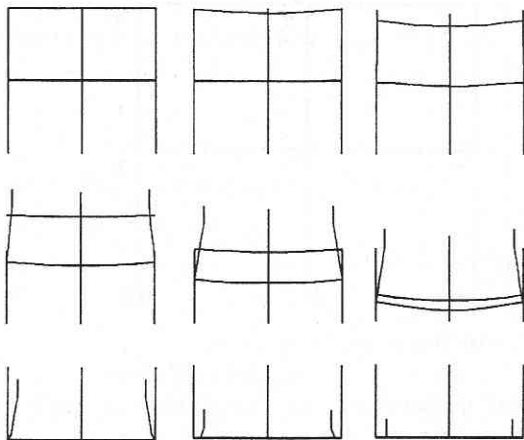
*筑波大学構造工学系

**東京大学生産技術研究所 第2部

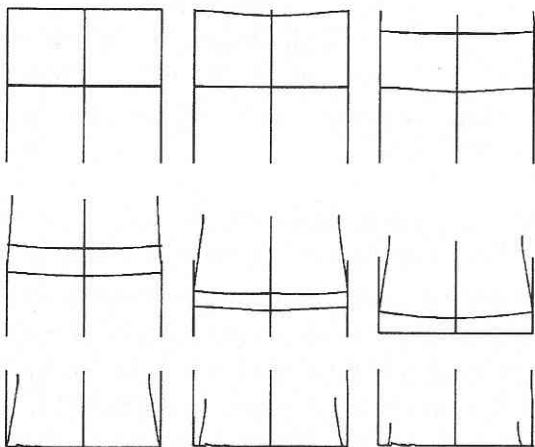
研究速報



(a) 2 elements/member



(b) 4 elements/member



(c) 8 elements/member

Fig. 2 Deformed configurations of a portal frame

Table 1 Maximum time increments used in the analyses

($\Delta t_{cr}=0.97 \times 10^{-3}$ [sec])

Number of elements	Maximum time increments	Computational time (SUN Sparc station 5)
explicit scheme		
2 elements/memb.	0.95×10^{-3} [sec] (3160 step)	2 min. 25 sec.
4 elements/memb.	0.47×10^{-3} [sec] (6380 step)	9 min. 30 sec.
8 elements/memb.	0.21×10^{-3} [sec] (14280 step)	41 min. 56 sec.
implicit scheme		
2 elements/memb.	0.15×10^{-2} [sec] (2000 step)	4 min. 00 sec.

べた時間増分の設定範囲の違いによる計算時間への影響が認められた。Table 1に、本解析における設定可能な時間増分範囲および最大時間増分値を採用した場合の計算時間を示す。1部材に2要素を用いる場合のクーランの条件の臨界時間増分値は $\Delta t_{cr} = 0.97 \times 10^{-3}$ [sec] と計算されるが、この表からわかるように、陽解法の場合にはクーランの条件の臨界時間増分値ぎりぎりまで設定可能である。また、陰解法の1部材に2要素を用いた場合についての臨界時間増分値を併せて示すが、クーランの条件の臨界時間増分値の1.5倍程度まで設定可能であることが判明した。要素数が少ない場合には陽解法、陰解法の両者とも短い時間で解析が可能であるが、連立方程式を解く必要のある陰解法では、要素数が増えるにつれて必要なメモリの量が増し、計算時間も著しく増加する。このことから、骨組構造の爆破解体解析をする際には、メモリ消費量が比較的少なく、計算時間の短い陽解法を用いる方が有効であるという結論に達した。

2.2 5層空間骨組構造の爆破解体解析

次に、Fig. 3に示すような5層5スパン空間骨組構造の爆破解体解析を行った。本解析についても水平梁には自重および床などの重量、柱には自重を静的に加えてから動的な解析を行っている。また、材料定数は前節の解析と同じ値を使用した。

爆破による解体を成功させるためには、構造物の内側から外側へ向かって順に爆破を行い、各層に破壊的なせん断力を発生させ、床や壁を粉々に破壊する必要がある。そのため本解析では、構造物中央の縦断面をまず爆破、その後順に外側へ向かって柱および水平梁を爆破するという手順を採った。Fig. 4に解体の様子を示すが、約3.2[sec]で最終段階に到達している。これは、文献2)の結果よりも若干長いですが、部材間の接触を考慮していないためと思われる。

1部材に2要素を用いて解析を行ったが、この際のクー

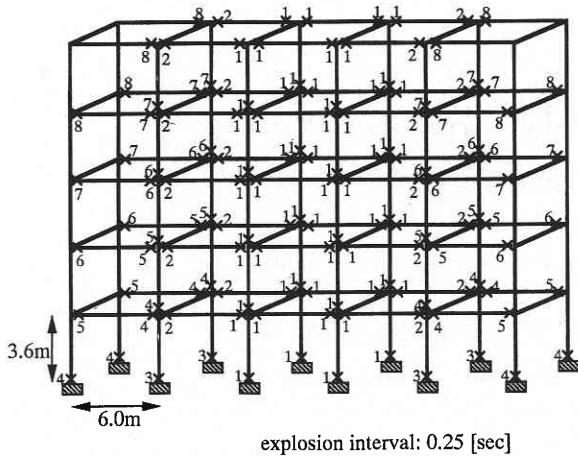


Fig. 3 Explosive demolition analysis of a space frame using ASI technique

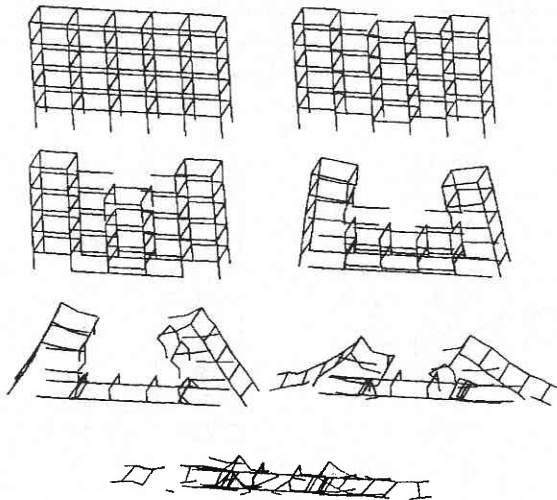


Fig. 4 Deformed configurations of a space frame

ランの条件の臨界時間増分値は $\Delta t_{cr} = 0.35 \times 10^{-3} [sec]$ である。本解析でもクーランの条件の臨界時間増分値にかなり近い時間増分値 ($\Delta t = 0.30 \times 10^{-3} [sec]$) を設定することができた。計算時間は、SUN の Sparc Station 5 で 2 時間 38 分であった。

このような空間骨組の爆破解体解析においても、陽的非線形解析アルゴリズムによる解析はメモリ消費量が少なくかつ計算時間が短く、実用的であることが確認された。

3. 結 果

本速報では、速報 (その 1) で構築した U.L.F. に基づく陽的非線形解析アルゴリズムを用い、ASI 法による 2 層平面骨組構造の爆破解体解析および 5 層空間骨組構造の爆破解体解析を実施した。その結果、陽解法と陰解法の時間増分の設定に対する知見が得られ、また、解体の様子をリアルに表現することができた。

従来の有限要素法では、節点を新しく設けるなど解析プロセスが複雑だったこの種の問題も、ASI 法を用いることにより、簡単に解析することが可能となった。また、本解析手法を用いることにより、解体の際に部材が外へ倒れないように爆破のタイミングを探ったりするなど、実務上重要な情報を得ることが可能となる。

(1996年 2月 5日 受理)

参 考 文 献

- 1) 磯部大吾郎, 都井 裕: 順応型 Shifted Integration 法による骨組構造の爆破解体挙動の有限要素解析 (その 1 理論), 生産研究, 48-5, 283~286, (1996).
- 2) 近藤一平, 歌川紀之, 伊東 守, 吉田 望: 発破解体工法における立体骨組構造の倒壊シミュレーション手法について, 第13回情報システム利用技術シンポジウム論文集, (1990), 49-54.