

# 高層建築物の発破解体計画システムの開発

## Development of Blast Demolition Planning System for High-Rise Buildings

○非 勝 拓也 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Takuya KATSU, Graduate School, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

### 1. 緒言

高度成長期に多数建設された高層ビル群は、その建設から長い年月が経過しており、老朽化や都市の再開発などにより、その解体需要は今後高まることが予想される。

欧米ではこのようなビルの解体に、発破解体工法がよく用いられる。これは爆薬を用いて部材の接合部等を爆破し、重力を利用して建物全体を一度に崩壊させる工法であり、一般的な重機を用いる解体工法に比べ短期間かつ低コストで行うことが可能である。また危険な作業も不要なことから、優れた解体工法であると言える。しかし解体時に部材が遠方に飛散し周囲の建物に被害を与える可能性や、完全に崩壊せず、瓦礫が不安定な状態で残存する危険性がある。よって発破解体を行う際には、事前に対象建築物の崩壊過程を検証し、解体の安全性と確実性を確認する必要がある。

欧米では多数の成功例が存在する発破解体であるが、日本においては建物の密集している都市部において発破解体を行った事例はない。また、建築基準の相違により欧米と同様のノウハウが単純には適用できないことも考えられる。よって、日本において発破解体工法を普及させるためには、建築物の強度を踏まえてその崩壊過程を検証することのできる、発破解体計画システムを開発する必要がある。

本研究では上記の発破解体計画システムを構築することを目的とする。崩壊解析において実績がある ASI-Gauss 法 [1] を数値解析コードとして用い、数例の数値実験を行った結果、構造物の発破解体を模擬可能であることが確認された。

### 2. 破断及び接触アルゴリズム

本研究では部材を完全弾塑性体と仮定し、その破断は部材を構成する 2 つの要素において次式のいずれかの条件を満たした場合に判定される。

$$\left| \frac{\kappa_x}{\kappa_{fx}} \right| - 1 \geq 0 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\kappa_y}{\kappa_{fy}} \right| - 1 \geq 0 \quad \text{or} \quad \left( \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_{fz}} \right) - 1 \geq 0$$

$$\text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{xz}}{\gamma_{fzx}} \right| - 1 \geq 0 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{yz}}{\gamma_{fyz}} \right| - 1 \geq 0 \quad (1)$$

ここで  $\kappa_x, \kappa_y$  は  $x, y$  軸回りの曲率、 $\varepsilon_z$  は引張り軸ひずみ、 $\gamma_{xz}, \gamma_{yz}$  は  $x, y$  軸方向のせん断ひずみ、 $\kappa_{fx}, \kappa_{fy}, \varepsilon_{fz}, \gamma_{fzx}, \gamma_{fyz}$  はそれぞれの破断臨界値である。破断臨界値には、継手の静的加力試験データ [2] [3] を用いた。破断が判定されると、断面に作用していた断面力が数値解析上の次ステップにおいて瞬時に解放される。一方で発破現象については、(1) 式を用いることなく指定した要素の端を強制的に破断することによって表現している。

本研究では、高層建築物という大規模なモデルを扱うため、

それによる計算コストの増加を無視できない。そのため今回は以下のような新しい判定式を用いた内分ベクトル型接触アルゴリズムを採用し、計算コストの削減を図った。

この接触アルゴリズムでは、まず図 1 における 2 つの要素を 2 つの線分と考え、それぞれの要素の中間点距離  $l$  および 2 つの要素長の和の半分  $l'$  を計算し、 $l < l'$  となったとき、衝突要素近傍に被衝突要素が存在し得るとみなされ、図 2 のように要素に垂直な平面に他方の要素が投影される。そして、線分  $A_1, A_2$  上で線分  $B_1, B_2$  との最短距離をとる内分点  $M$  を次式により導出する。

$$(x_M, y_M, z_M) = \frac{n(x_1, y_1, z_1) + m(x_2, y_2, z_2)}{m + n} \quad (2)$$

ここで、 $(x_M, y_M, z_M)$  は内分点  $M$  の座標、 $(x_1, y_1, z_1)$  および  $(x_2, y_2, z_2)$  は端点  $A_1, A_2$  の座標である。次に、図 3 の三角形を考える。このとき線分  $B_1, B_2$  を底辺とし  $\angle MB_1 B_2$  と  $\angle MB_2 B_1$  が鈍角なのか鋭角なのかを次式に従って調べる。

$$\overline{B_1 M}^2 \leq \overline{B_2 M}^2 + \overline{B_1 B_2}^2 \quad (3)$$

$$\overline{B_2 M}^2 \leq \overline{B_1 M}^2 + \overline{B_1 B_2}^2 \quad (4)$$

上式が両方満たされるとき鋭角となるため、接触が判定される。それ以外の場合は鈍角となり、非接触と判定される。この方法はパラメータの仮定を含まず信頼性が高く、計算コストも小さいという特徴を持つ。

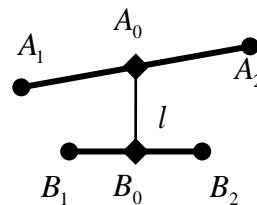


図 1 要素間の中間点距離

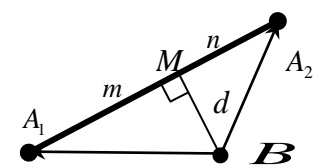


図 2 投影された要素

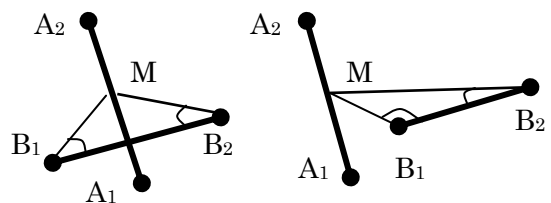


図 3 角度による交差判定

### 3. 高層モデルを用いた発破解体解析

本研究での解析に用いた骨組モデルを図 4 に示す。モデル全体の形状は、ある実在する高層ホテルを模擬しており、部材の断面形状や材料定数に関しては文献[4]を参考にして設定した。また、床荷重として  $500 \text{ [kg/m}^2\text{]}$  を想定し、負担面積に応じて梁の密度に加えている。時間積分法には Newmark の  $\beta$  法を用い、解析の安定性を増すために数値減衰を導入し、 $\beta = 4/9$ 、 $\delta = 5/6$  とした。時間増分は  $1 \text{ [ms]}$  とし、 $20000 \text{ [step]}$  に渡り解析を行った。

図 5 に二つの解析例における発破箇所を橙色で示す。図 5(a) の発破箇所は、モデルを横倒しにすることを狙った配置になっており、 $0 \text{ [s]}$  において全箇所が同時に発破されるよう設定されている。一方図 5(b) は、上層部からタイミングをずらして順次発破することによりモデルを垂直落下的に崩壊させることを狙った配置であり、発破タイミングは上層部から  $0 \text{ [s]}$ 、 $2.5 \text{ [s]}$ 、 $3.5 \text{ [s]}$ 、 $4.5 \text{ [s]}$  と設定した。

図 6(a)、6(b) に各々の結果を示す。赤色は塑性化している要素を示す。図 6(a) の場合においては、発破後間もなく沈み込んだ上層部が下層部と接触、衝撃により下層部が崩壊した後  $5 \text{ [s]}$  付近から上層部が横倒しになり始め、接地した後  $12 \text{ [s]}$  には完全崩壊に至っている。図 6(b) の場合にはモデル各部が発破された後、そのまま下層部から上層部まで(a)と同様に  $12 \text{ [s]}$  程でほぼ垂直に崩壊した。周囲に被害を及ぼさないことを想定した発破解体としては、理想的な結果と言える。

### 4. 結言

本研究では、従来のアルゴリズムに新たな接触アルゴリズムを加えることで、崩壊解析の計算コストを下げる効果を得た。またその作成したプログラムを用いて発破解体解析を行ったところ、任意の発破計画において完全崩壊に至るまでの崩壊挙動を良好に観察できることを示した。今後は解析の更なる精度の向上と、発破解体計画システムとしての利便性と容易性を追及していく予定である。

### 参考文献

- [1] 磯部大吾郎, チョウ ミヨウ リン: 飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 579 号, (2004), pp.39-46.
- [2] 藤本健太郎, 濱田直之, 瀬川紘史, 平島岳夫, 上杉英樹, 安部武雄: 高力ボルト継手の耐火性に関する実験的研究 (その 1~その 3), 日本建築学会大会講演梗概集, A-2, pp.105-110, 2006.
- [3] 平島岳夫, 濱田直之, 尾崎文宣, 安部武雄, 上杉英樹: 高温時における高力ボルトの剪断変形性状に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, pp.175-180, 2007.
- [4] M. Ohsaki, T. Miyamura, M. Kohiyama, M. Hori, H. Noguchi, H. Akiba, K. Kajiwara, T. Ine: High-Precision finite element analysis of elastoplastic dynamic responses of super-high-rise steel frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 38, pp.635-654, 2009.2.

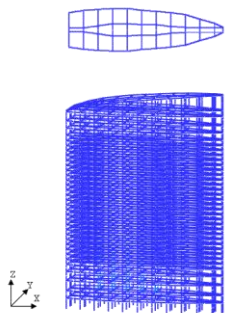


図 4 本研究で用いたモデル

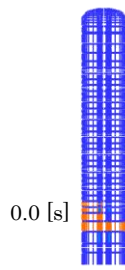


図 5(a) 発破箇所(横倒し)

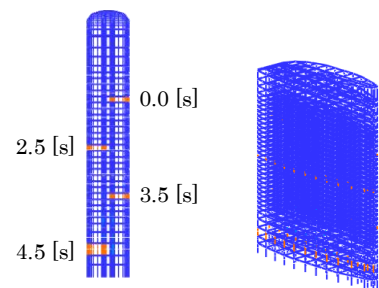


図 5(b) 発破箇所(垂直落下)

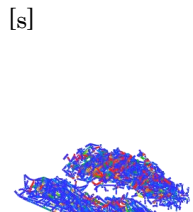
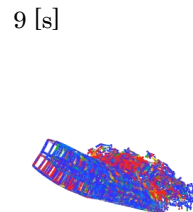
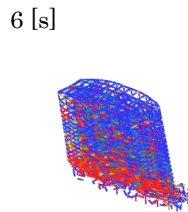
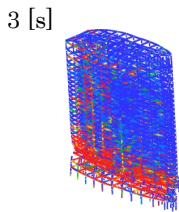


図 6(a) 解析結果(横倒し)

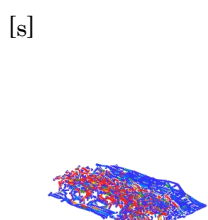
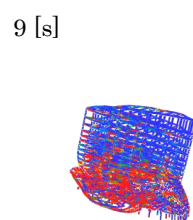
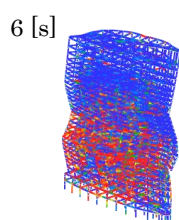
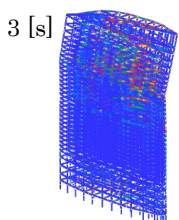


図 6(b) 解析結果(垂直落下)