

発破解体計画のためのキーエレメント特定

正会員
同○勝 拓也*¹
磯部 大吾郎*²

発破解体 キーエレメント ASI-Gauss 法

1. 緒言

高度成長期に多数建設された高層ビル群は、その竣工当時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、その解体需要が今後高まることが予想される。欧米において、しばしばこの様なビルの解体に用いられる手段が発破解体工法である。これは爆薬を用いて部材の接合部等を爆破し、重力を利用して建築物全体を一度に取り壊す工法であり、比較的短期間かつ低コストで行うことが可能である。危険な作業も不要である等の利点を持つ反面、部材の飛散や建築物が予測しなかった崩壊挙動を示すことによるリスクも懸念される。よって発破解体を行う際には、事前にその崩壊過程を入念に検証し、解体の安全性と確実性を確認する必要がある。欧米に複数存在する解体施工業者においてもその様な検証は独自のノウハウにより行われており、定量的な判断基準は現在まで周知されていない。また効率的な発破箇所の特長についても同様で、未だ経験則の範疇を出るものではない。

本稿では、大井ら¹⁾によって言及された部材消失に伴う構造物の荷重支持能力に対する感度について着目し、効率的な発破解体を行う際に鍵となる要素（キーエレメント）を定量的に特定する手法について検討する。本手法においては、発破解体への適用性を向上させるため、部分崩壊ではなく全体崩壊に至る過程を重要視した。数値解析には崩壊解析において実績のある ASI-Gauss 法²⁾を用い、得られた結果から 3 次元骨組構造のキーエレメントに関する新たな指標を提案する。

2. 部材破断と発破アルゴリズム

本稿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する。

$$\left| \frac{\kappa_x}{\kappa_{x0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\kappa_y}{\kappa_{y0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left(\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_{z0}} \right) = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{xz}}{\gamma_{xz0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{yz}}{\gamma_{yz0}} \right| = 1 \quad (1)$$

ここで κ_x 、 κ_y は x, y 軸回りの曲率、 ε_z は引張り軸ひずみ、 γ_{xz} 、 γ_{yz} は x, y 軸方向のせん断ひずみである。添え字“0”が付いた値は破断臨界値であり、継手の静的加力試験結果³⁾を用いる。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、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する。

3. 3 次元骨組構造における部材感度の算出

キーエレメントを探索するために、3 次元骨組構造の支持荷重能力に対する部材ごとの感度（以下、部材感度）を算出

する必要がある。その際、本稿では以下の手法を用いた。

図-1 に示すように、健全な骨組構造の全接合部に対し、均等に鉛直下方への荷重を増分的に与える。解析ステップが進行し、荷重が増加するといずれ崩壊に至るが、構造によっては一部において部分崩壊が生じることがある。しかし本稿では、そのような部分崩壊は構造全体の崩壊に繋がるものではないと見なし、全体崩壊への直接的な要因として構造最下層部の柱に降伏現象が起きる瞬間に着目した。最下層部の柱の内、いずれか 1 本に降伏が生じた瞬間に構造に与えられている荷重を最下層崩壊荷重 P_G と定義し、この時の P_G を部材感度の基準として用いる。

次に、任意の部材を消失させた際の最下層崩壊荷重 P_G' を数値解析により求める。前節で述べた発破アルゴリズムにより任意の部材を欠損させた骨組構造に対し、鉛直下方への荷重を与える（図-2）。特に上層部の柱を欠損させた場合、構造の偏りから部分崩壊が生じる可能性が高いが、前述の通りこれには着目せず、最下層部の柱の内いずれか 1 本が降伏した瞬間の荷重を P_G' とする。ここで算出された P_G' は部材の欠損による構造の荷重支持能力低下のために P_G と比べ小さい値となることが考えられる。ここで、 P_G を P_G' で除した値 P_G/P_G' を部材感度指数として定義する。

提案する手法は、骨組構造の全接合部に対し載荷する点が特徴的であり、これは構造に対する床荷重が時間と共に全体的に増加していく状況を想定すると捉えやすい。この手法を用いると、部材感度指数が低い部材、例えば構造最上層部の部材を消失させたことにより比較的低い荷重で構造の一部に部分崩壊が生じたとしても、健全な低層部に対してはそのまま載荷され続ける。よってこの時に算出される P_G' は P_G に限りなく近い値を取ることになり、部材感度指数の高い部材を消失させた場合との差異がより明確に現れる。

4. 3 層 3 スパンモデルによる解析

図-3 に示す 3 層 3 スパンの小規模なモデルに対する試解析を行った。幅・奥行き・高さはそれぞれ 3 m となっており、部材には JIS G 3136 の SN490B 鋼材を用いた。寸法形状は

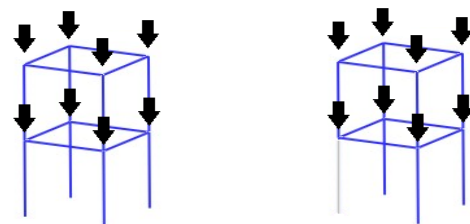


図-1 健全な構造に対する載荷
図-2 部材欠損構造に対する載荷

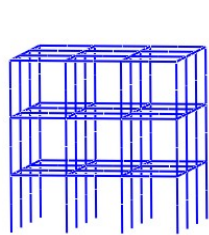


図-3
3層3スパンモデル

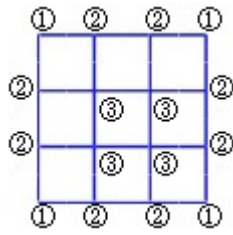


図-4
柱の分類 (平面図)

表1 3層3スパンモデルでの解析結果

	Floor	P_G [kN]	健全モデル比	部材感度指数
C-C	1	1.037×10^4	58.1%	1.722
	2	1.307×10^4	73.2%	1.366
	3	1.585×10^4	88.8%	1.126
O-C	1	1.252×10^4	70.1%	1.427
	2	1.468×10^4	82.2%	1.217
	3	1.634×10^4	91.5%	1.093
I-C	1	1.444×10^4	80.8%	1.237
	2	1.615×10^4	90.5%	1.105
	3	1.723×10^4	96.5%	1.036

柱・梁共にBOX 鋼 \square -200*200*6*6としている。このモデルの全接合部に対し鉛直下方に荷重を加える。1つの接合部につき250Nの荷重増分を与えるものとし、全48接合部に一様に載荷した。なお、本稿では解析を行うに当たり柱を図-4に示すように3種類に分類した。これ以降、①をCorner Column (C-C)、②をOutside Column (O-C)、③をInner Column (I-C)と呼ぶ。

解析の結果、このモデルに対する P_G は 1.786×10^4 kNであった。これを基準とし、1~3層の柱1本ずつを欠損させたモデルで解析を行い、 P_G を算出して整理したものを表1に示す。部材感度指数に関しては、低層部柱の方が高層部柱よりも数値が大きいことが分かる。またこれらの結果より、このモデルにおけるキーエレメントは1Floor, C-Cであると判断でき、これは大井ら¹⁾の結果と同様であることが確認された。

5. 15層3スパンモデルによる解析

次に、図-5に示す15層3スパン高層モデルを用いてキーエレメントの特定を行った。幅・奥行きは1スパン当たり6m、高さは各層3.6mである。部材にはJIS G 3136のSN490B鋼材を用い、寸法形状は1層部分の柱をBOX 鋼 \square -430*430*13*13、梁をH331*825.7*18.4*13.2とし、それらの太さを上層方向へ進むにつれ細くなるように設定した。

前節と同様、全接合部に対し鉛直下方へ各2500Nの荷重増分を加えた。高層部の柱は支持荷重能力には影響が少ないことが予想されるため、本解析では5層目までの柱に着目した。本高層モデルにおける P_G は 1.722×10^5 kNであった。これを

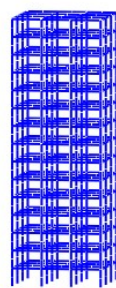


図-5
15層3スパンモデル

基準とし、結果を整理したものを表2に示す。やはり荷重支持において低層部柱の方がより重要であることが確認できる。また前節のモデルと同様に、キーエレメントは1Floor, C-Cであると判断できる。さらに、例えば1FのI-Cよりは4FのC-Cの部材感度指数が高いことなどが分かるため、建物の全体崩壊を重要視する発破解体

計画を立てる上で、本手法は発破箇所を選定する判断材料を提供できるものと考えられる。

6. 結言

本稿では、構造最下層の柱が降伏する際の最下層崩壊荷重を算出し部材感度指数を求めることにより、発破箇所を選定に必要な情報を数値として表す手法を示した。今後はさらに複雑なモデルを用いての手法の検証、そして本来の目的である発破解体工法における効率の良い発破箇所選定への応用に向け、複合的な評価指標の構築が課題となる。

参考文献

- 1) 大井, 伊藤, 李: 部材消失に対する骨組構造の荷重支持能力感度, 理論応用力学講演会講演論文集, Vol. 54, 2005, pp.249-250
- 2) 磯部, 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.
- 3) 平島 他: 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, 建論, 第621号, 2007, pp.175-180.

表2 15層3スパンモデルでの解析結果

	Floor	P_G [kN]	健全モデル比	部材感度指数
C-C	1	1.272×10^5	73.9%	1.353
	2	1.326×10^5	77.0%	1.298
	3	1.362×10^5	79.1%	1.264
	4	1.380×10^5	80.1%	1.247
	5	1.398×10^5	81.2%	1.231
O-C	1	1.368×10^5	79.4%	1.258
	2	1.398×10^5	81.2%	1.231
	3	1.440×10^5	83.6%	1.195
	4	1.458×10^5	84.7%	1.181
	5	1.494×10^5	86.8%	1.152
I-C	1	1.392×10^5	80.8%	1.237
	2	1.428×10^5	82.9%	1.205
	3	1.494×10^5	86.8%	1.152
	4	1.542×10^5	89.5%	1.116
	5	1.584×10^5	92.0%	1.087

*1: 筑波大学大学院生

*2: 筑波大学大学院准教授 博 (工)

*1: Graduate student, University of Tsukuba

*2: Dept. of Eng. Mech. and Energy, University of Tsukuba, Dr. Eng.