

キーエレメント指標に基づく発破解体解析

Blast Demolition Analysis Based upon Key Element Index

○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ますます高まることが予想される。欧米において、しばしばこのよう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、解体時に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り、周辺に被害を出す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しておく必要がある。欧米に複数存在する解体施工業者においてはそのような検証は独自のノウハウにより行われており、また定量的な判断基準は広く周知されておらず、効率的な発破箇所の特定についても同様に未だ経験則の範疇を出ていないのが現状である。

そこで本稿では、効率的な発破解体計画法の構築を目的とし、構造物の荷重支持能力に対して感度の高いキーエレメント¹⁾に着目し、構造物の全体崩壊を目的とした新たなキーエレメント指標を提案する。さらに、提案した指標を用いて効率的に発破解体計画を立てる方法について検討し、それに基づいた発破解体解析を試みる。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、発破解体計画法の妥当性および実用性について検証する。

2. 部材破断と発破

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. キーエレメント指標の算出

部材毎のキーエレメント指標を算出するために、部材が消失した際の荷重支持能力により部材感度を評価する必要がある。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。解析ステップが進み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なり得る、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、これをキーエレメント指標の基準値として用いる。

次に、任意の部材を消失させた際の最下層崩壊荷重 P_G' をプッシュダウン解析により求める。強制破断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が降伏した瞬間の荷重を P_G' とする。部材欠損により構造の荷重支持能力が低下するために、 P_G' は P_G と比べ小さな値となる。ここで、 P_G を P_G' で除した値 P_G/P_G' をキーエレメント指標として定義する。

上記の指標算出手法は、骨組構造の全接合部に対し一様に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解析ステップ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、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ってキーエレメント指標は低くなり、指標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こととなる。

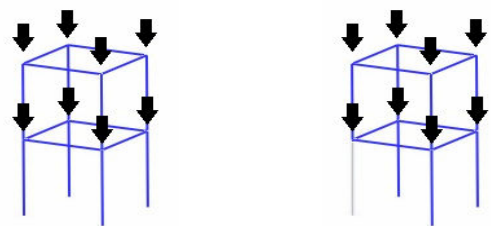


Fig.1 Pushdown against regular structure Fig.2 Pushdown against structure with member loss

4. 15層3スパンモデルによる解析

前節に示した手法に基づき、実際に3次元骨組構造におけるキーエレメント指標を算出する。本稿では、解析対象として図3に示す15層3スパン高層モデルを使用した。なお、モデルの幅・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。

このモデルの全接合部に対し、鉛直下方へ荷重を加える。荷重は1節点につき計2500Nをステップ毎に増加させるものとし、全240節点に一樣に载荷した。また、高層部の柱は荷重支持能力に影響が少ないことが想定されるため、本解析では5層目までの柱について指標を算出した。なお、モデルの対称性から図4に示すように柱を3種類に分類し、①をCorner Column (C-C)、②をOutside Column (O-C)、③をInner Column (I-C)と呼ぶことにする。

本モデルの P_G は 1.722×10^5 kNであった。これを基準として結果を整理したものを表1に示す。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見て取れ、この骨組構造のキーエレメントは1 Floor, C-Cであると判断できる。

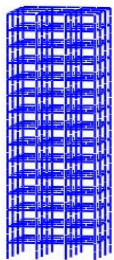


Fig.3 15-story 3-span model

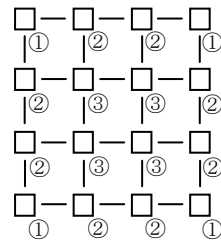


Fig.4 Classification of columns (upper view)

5. キーエレメント指標に基づく発破解体解析

前節において3次元骨組構造のキーエレメント指標を算出したが、これは柱1本を除去した際の一次的な結果であり、さらなる二次的、三次的な解析により複数の発破箇所を特定することが可能であれば、複数の柱を発破する必要がある発破解体への有用性がより高まるはずである。また、前節では健全な構造に対する解析を行ったが、仮に予め任意の柱を取り除いた不健全な状態での構造に対して前節と同様の解析を行えば、その欠陥により偏りを持った構造に対するキーエレメント指標を算出することが可能である。この操作を連続的に行えば、複数の発破箇所を順次特定していくことも可能となると考えた。

本節では、意図する発破解体形態に応じた何らかの条件に従って除去する柱を特定し、発破箇所を順次決定しながら解析を繰り返すことで、最終的に複数本の発破箇所を特定することを試みる。そして、得られた結果を実際に適用した発破解体解析を実施する。

Table 1 Key element index of 15-story 3-span model

	Floor	P_G' [kN]	Key element index
C-C	1	1.272×10^5	1.353
	2	1.326×10^5	1.298
	3	1.362×10^5	1.264
	4	1.380×10^5	1.247
	5	1.398×10^5	1.231
O-C	1	1.368×10^5	1.258
	2	1.398×10^5	1.231
	3	1.440×10^5	1.195
	4	1.458×10^5	1.181
	5	1.494×10^5	1.152
I-C	1	1.392×10^5	1.237
	2	1.428×10^5	1.205
	3	1.494×10^5	1.152
	4	1.542×10^5	1.116
	5	1.584×10^5	1.087

5-1. 発破箇所特定条件

除去する柱を特定する条件としては、

- (i) キーエレメント指標の最も高い箇所の柱
- (ii) キーエレメント指標の最も低い箇所の柱

の2つの条件を採用し、それぞれの条件において一次解析から七次解析まで繰り返し解析を行った。なお、本節における一次解析とは前節の解析と同義であり、キーエレメント指標もそのまま採用している。また、ここでは簡単のために最下層部の柱のみに着目している。プッシュダウン解析の結果として複数の柱で指標が同値を取ることがあるが、その際は、特定の志向に基づいてその中の柱1本のみを選択することとする。柱の選択によって構造が倒壊する方向をある程度制御することが可能となるが、例えば条件(i)については選択した柱の方向に倒壊するように、条件(ii)については選択した柱の方向を避けて倒壊するように発破箇所が特定される傾向にある。本稿においては、図4の左下方向に近い柱から優先的に選択していった場合の結果を示している。

図5に条件(i)についての解析結果を、図6に条件(ii)についての解析結果をそれぞれまとめた。図中の□は最下層部16本の柱をそれぞれ示し、その下には解析によって得られたキーエレメント指標を表示している。なお、薄く着色された柱はそれぞれ(i), (ii)の条件に適合する箇所の柱、濃く着色された柱は既に取り除かれ発破された箇所の柱を示し、その下には何次解析によって選択されたかを示した。

5-2. 発破解体解析

前節の結果に基づいた発破解体解析を行い、それぞれの発破形態において骨組構造がどのような崩壊挙動を示すのか

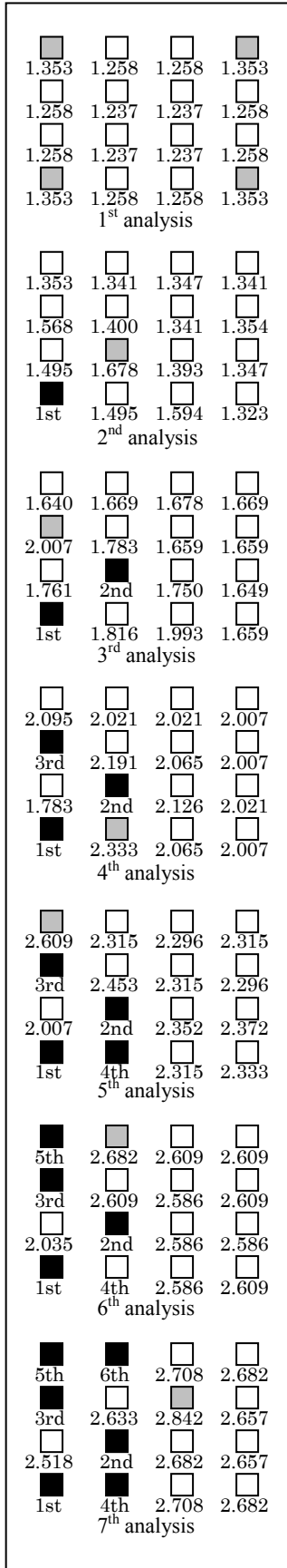


Fig.5 Selection of columns to blast (condition(i))

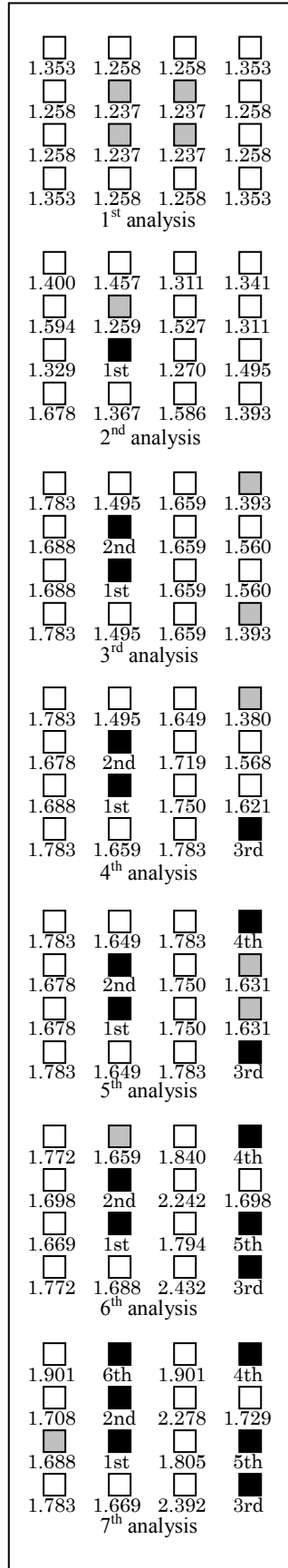


Fig.6 Selection of columns to blast (condition(ii))

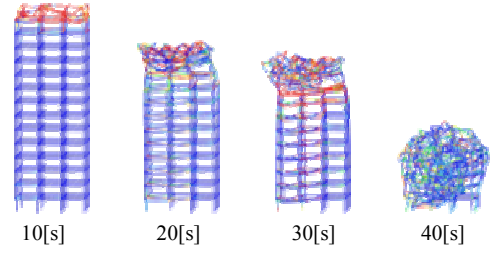


Fig.7 Blast demolition analysis (condition(i))

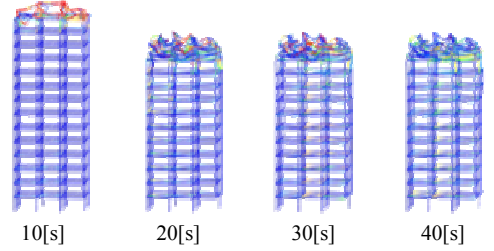


Fig.8 Blast demolition analysis (condition(ii))

検証した。解析においては、前節にて特定された発破箇所それぞれ6箇所を、0.0 s から 5.0 s 毎に順次発破していくという方法を取った。また、自重のみで崩壊するようにモデルには予め 500 kg/m²の床荷重を与えた。

図7に条件(i)によって特定された発破箇所を適用した解析結果を、図8に条件(ii)によって特定された発破箇所を適用した解析結果をそれぞれ示す。条件(i)では、構造のその時々におけるキーエレメントを順次指定していくために、進行的に崩壊が生じていることが分かる。対して条件(ii)では、キーエレメントを避けて発破箇所を指定するために、欠損が生じても構造がある程度の平衡性を保ち、崩壊には至っていない。

条件(ii)において最終的に残存した不安定な構造は現実的には危険な状態であるが、逆に崩壊寸前まで平衡性を保ったまま構造の強度を低下させた状態であるとも言える。極限まで弱体化した構造は、その平衡を崩すことで容易に任意の崩壊挙動を実現させることが可能であり、効率的かつ安全な発破解体を目指す上では有用であるものと考えられる。

6. 結言

本稿では、健全および部材欠損構造の最下層崩壊荷重を算出することによりキーエレメント指標を求め、発破解体の際に有用なキーエレメントの所在を探索する手法を示した。さらに、連続的に複数の発破箇所を特定する手法を提案し、それを用いて発破解体解析を行った。今後は、より複雑なモデルでの検討を経て、効率的な発破解体計画法の実用化を目指したい。

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, 江口, 今西, 佐々木: 骨組構造の爆破解体解析・実験システムの開発, 建論, 第 612 号, 2007, pp.73-78.
- 3) 平島, 他: 高温時における高力ボルトの剪断変形状に関する実験的研究, 建論, 第 621 号, 2007, pp.175-180.