

多段階発破解体工法の発破間隔に関する数値解析的検証

正会員 ○Jiang Ranmeng
同 磯部 大吾郎多段階発破解体 発破間隔 折り畳み倒壊
衝撃荷重 キーエレメント指標 ASI-Gauss 法

1 序論

高度経済成長期に建設された中高層ビルがその耐用年数に近づき、解体の需要が一層高まっている。発破解体工法は他の工法に比べ解体コストが安く、大規模な構造を持つビルも短工期で解体できるが、現状の発破解体工法は専門家の経験に大きく依存しており[1]、周辺に被害を及ぼす場合がある。先行研究[2]では、キーエレメント指標とその分散を用いて段階方式の発破解体計画を適用することで、解体効率と安全性を担保できることが示された。しかし、上記の研究は発破箇所の選定方法のみに注目して解体効率を向上させており、衝撃荷重に基づく検討は行われていない。そこで本研究では、折り畳み倒壊を目指した多段階発破解体の発破間隔について検討し、建物の上層部から下層部に衝撃荷重が作用した際の解体効率と解体時の安全性の向上効果を検証する。なお、数値解析手法には ASI-Gauss 法[2]を用いた。

2 キーエレメント指標

2-1 キーエレメント指標(KI)

キーエレメント指標(KI)とは、建物の強度に対する柱1本の寄与度を数値化したものである。発破による発破箇所の第(n-1)次選定までに選定された柱を除去した後の残存した建物の強度に対するi層柱番号jの寄与度は、第n次選定では以下のように定義できる[3]。

$${}^{n-1}KI_{i,j} = {}_{n-1}P_G / {}_n P_G(i,j) \quad (1)$$

ここで、 ${}_{n-1}P_G$ は、発破箇所の第(n-1)次選定までに選定した柱部材を除去した状態での建物の降伏限界荷重である。 ${}_n P_G(i,j)$ は、任意のi層内の柱番号jを除去した状態での建物の降伏限界荷重である。

2-2 KIの分散

先行研究[2]では、第1発破で建物を崩壊させずに突出して大きなKIを持つ柱を作り出し、第2発破でKIが大きい順に発破する手法が提案された。その際、最下層のKIの分散を大きくするように発破箇所として選定すると、解体効率と安全性が向上することが示されている。任意の第i層におけるKIの分散は以下の式によって求められる[2]。

$$\sigma_i^2 = \sum_j \frac{(\overline{KI}(i) - KI_{i,j})^2}{N_i} \quad (2)$$

ここで、 $\overline{KI}(i)$ は建物の任意の第i層に残存する全ての柱の

KIから算出する平均値、 $KI_{i,j}$ はi層の柱番号jにおけるKI、 N_i はi層に残存する柱数、 σ_i^2 は第i層でのKIの分散を示す。

3 折り畳み倒壊方式による発破解体計画

3-1 数値解析モデル

解析モデルとして、図-1に示す10層3×3スパンの鋼構造建物モデルを用い、全高は40m、階高は各層4m、幅および奥行きのスパン長は全て7mとした。柱部材と梁部材には中国基準の鋼材を使用した。柱部材には角形鋼管としてQ345GJを用い、梁部材にはH形鋼としてQ235Cを用いた。各鋼材の物性値を表-1に示す。

3-2 発破箇所の選定

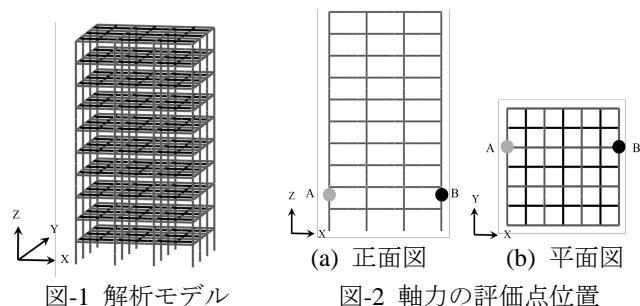
折り畳み倒壊方式による発破解体を実現するため、3段階の段階方式による発破解体を実施する。第1発破を先行発破、第2,3発破を本発破とする。先行発破では、先行研究[2]を踏まえ、解析モデルを下層部(1~5層)と上層部(6~10層)に分割し、それぞれの範囲での最下層におけるKIの分散(σ_1^2 と σ_6^2)を大きくするように発破箇所を選定する。本発破の発破箇所の選定では、建物を特定の方向に倒壊させるために、偏った範囲の中からKIの大きい順に発破箇所を選定する。第2発破では上層部の左側3/4部分の中から発破箇所を選定し、第3発破では下層部の右側3/4部分の中から発破箇所を選定する。

3-3 発破間隔に関する検討

解体効率を向上させるために、第2発破後に建物の上層部が下層部に与える衝撃荷重を評価し、本発破の時間間

表-1 鋼材の物性値

鋼材	ヤング率 [GPa]	降伏応力 [MPa]	ポアソン比	密度 [kg/mm ³]
Q235C	206	235	0.3	7.85×10^{-6}
Q345GJ	206	345	0.3	7.85×10^{-6}



隔について検討する。衝撃荷重は下層部の柱部材 (図-2) に作用する軸力として評価する。第 2 発破までの発破解体解析を行った際の軸力推移と建物の崩壊挙動を図-3 に示す。その中で先行発破を-2.0 s, 第 2 発破を 0.0 s (図内の (i)) に行っている。結果から, 第 2 発破後には, 上層部と下層部が接触する直前(ii), 上層部が傾くことによって軸力が変化する。接触した際(iii)には, 瞬間的に大きな圧縮軸力が作用し, その直後(iv)では大きく振動する。また, 上層部の崩壊挙動がほぼ落ち着くまでの過渡領域(v)では, 軸力の振動が比較的小さくなるが, 不安定に推移する。以降の定常領域(vi)では軸力が小さく振動する。本稿では, 以上で示した特徴的なタイミングを踏まえ, (i)第 2 発破と同時に, (ii)接触する直前, (iii)接触した瞬間, (iv)接触した直後, (v)定常状態に推移する過程と(vi)定常状態で第 3 発破を実施し, 崩壊挙動を比較した。

4 発破解体解析結果

第 2 発破後の経過時間と残存物高さの和の関係を図-4 に示す。ここで, 残存物高さの和は, 解体終了時の全節点の高さ方向の座標値を足し合わせた値を健全時の値で割って無次元化したものと定義する。解体終了時の残存物を構成する全節点の中で, 建物の外周部から最も離れた位置の節点までの水平距離を健全時の建物の高さで割って無次元化したものを部材飛散距離と定義する。図-4 より, (i), (iii), (iv)の場合は, 残存物高さの和が比較的小さいことが分かる。しかし, 図-5 に示す第 2 発破後の経過時間と飛散距離の関係を見ると, (i)の場合は飛散距離が大きくなり, 周囲への安全性が低いことが分かる。また, 図-6 に示す飛散距離と残存物高さの和の関係より, (iii)と(iv)の場合は, 残存物高さの和を相当程度小さく抑えられると同時に飛散距離を短く抑えられていることが確認できる。

5 結論

本研究では, 折り畳み倒壊を目指した多段階発破解体の発破間隔について検討し, 建物の上層部から下層部に衝撃荷重が作用した際の解体効率と解体時の安全性の向上効果を検証した。その結果, 上層部が倒壊した後に下層部に接触する瞬間・直後に下層部を発破することで, 発破解体効率と安全性が向上することが確認された。

参考文献

[1] Uenishi K, Takahashi H, Yamachi H, Sakurai S, PC-based simulations of blasting demolition of RC structures, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, pp. 2401-2410, 2010.
 [2] 東健太, 磯部大吾郎, キーエレメント指標に基づく建物の発破解体計画手法の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第 83 卷, 第 743 号, pp. 59-67, 2018.
 [3] 大井康平, 磯部大吾郎, キーエレメント指標を用いた火災時の建物の崩壊危険性予測, 日本建築学会構

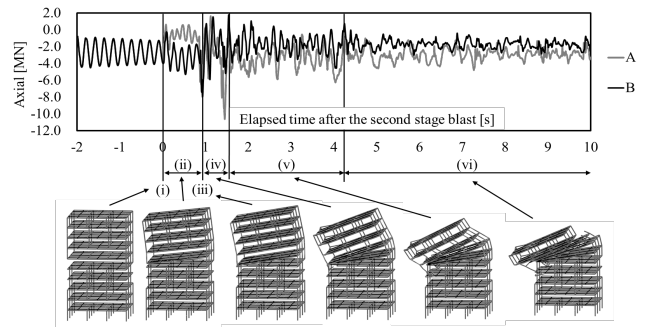


図-3 評価点位置における軸力推移とその際の建物の挙動

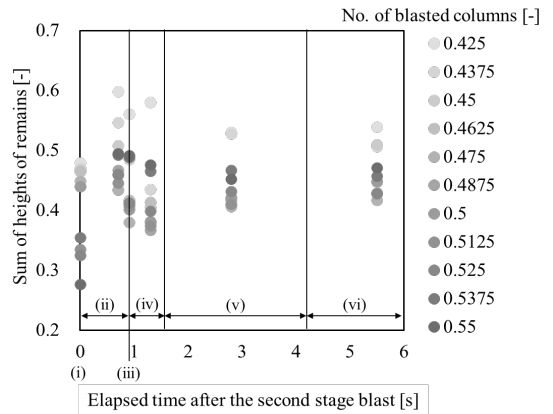


図-4 第 2 発破後の経過時間と残存物高さの和の関係

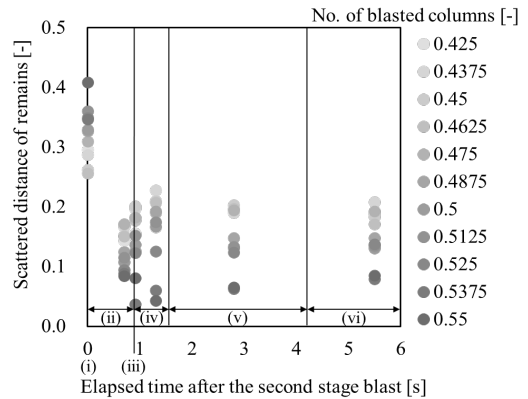


図-5 第 2 発破後の経過時間と飛散距離の関係

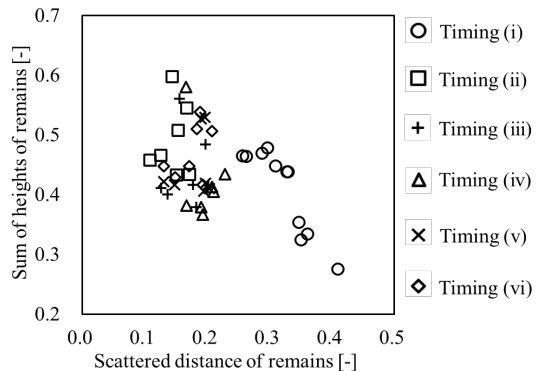


図-6 飛散距離と残存物高さの和の関係

*筑波大学大学院 システム情報工学研究群 大学院生
 **筑波大学 教授・博士 (工)

* Graduate Student, Univ. of Tsukuba
 ** Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.