

高層建築物の発破解体計画に関する一考察

A Study on Blast Demolition Planning of High-Rise Buildings

○非 萩野 朋哉 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Tomoya OGINO, 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

発破解体工法は、定量的な判断基準がないために経験やノウハウに大きく依存し、欧米に比べ設計強度の高い日本の建物に単純には適用できない。そこで本研究では、発破解体の定量的な判断基準を設けることを目的とし、建物の構造上重要な柱部材を探査できるキーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法を開発している。本稿では、崩壊解析において実績のある ASI-Gauss 法[1]を用いて建物の発破解体解析を行い、設計軸力比と崩壊形態との関係を導き出した。そして、その結果を利用して高層建築物に対して発破解体計画を実施した例を紹介する。

2. キーエレメント指標を用いた発破解体計画

健全な構造物の全接合部に対し、鉛直方向へ均等に荷重増分を加え、構造物最下層部いずれかの柱部材に降伏現象が起きた瞬間の荷重を降伏限界荷重 P_G として求め、健全な構造物に対しては ${}_0P_G$ と表し、任意の最下層柱部材 m を除去した場合の降伏限界荷重を ${}_1P_G$ と表す。この時の任意の柱 m のキーエレメント指標 KI を以下のように降伏限界荷重の比で定義する[2]。

$${}_1KI_m = {}_0P_G / {}_1P_G \quad (m: \text{柱番号}) \quad (1)$$

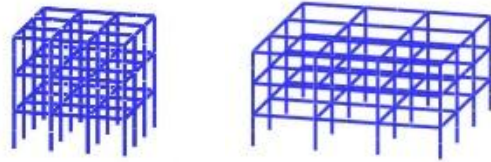
また、連続的にキーエレメント指標を求める場合にも同様に定義することが可能で、第 n 次判定のキーエレメント指標は以下のように定義できる。

$${}_nKI_m = {}_0P_G / {}_nP_G \quad (m: \text{柱番号}) \quad (2)$$

キーエレメント指標を用いて発破箇所を特定する方法はいくつか考えられるが、本稿では、構造物の全体強度に寄与度の高い柱部材であるキーエレメント指標が最大となる柱部材を 1 本ずつ選択(ただし複数本が同値の場合は左下の柱を選択)し、選ばれた柱部材を同時に発破する方法を用いて発破解体計画を行う。

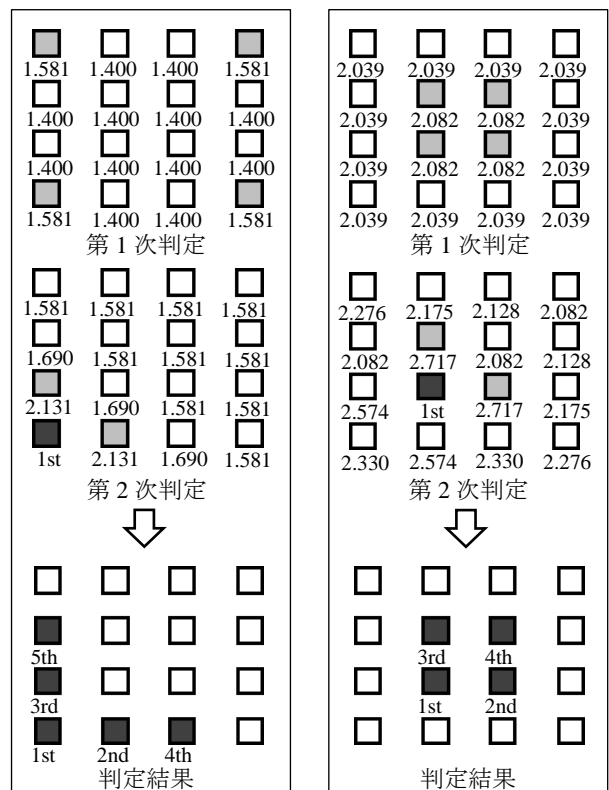
例として 3 層 3 スパンモデルに対し、(2)式を用いて発破解体計画を行った。このモデルの柱には SM490 の鋼材を用いた BOX 鋼、梁には SS400 の鋼材を用いた H 鋼を使用し、想定床荷重 400 kgf/m^2 の基で最下層柱の軸力比が 0.3 以下になるように設計している。モデルの階高 h は各層 4 m として固定し、幅・奥行きのスパン長 s を変化させることで、階高-スパン比 s/h の異なるモデルを作成している。図 1(a)に示すモデルを $s/h=1.0$ 構造モデル、(b)に示すモデルを $s/h=2.0$ 構造モデルとする。

図 2(a)に $s/h=1.0$ 構造モデルの判定結果を、図 2(b)に $s/h=2.0$ 構造モデルの判定結果を示す。図中の四角形は最下層の柱を表しており、それぞれの柱の KI 値を四角形の下に示している。図 2(a)の $s/h=1.0$ 構造モデルでは外側の柱が集中的に選択され、図 2(b)の $s/h=2.0$ 構造モデルでは内側の柱が集中的に選択される傾向が見られた。



(a) $s/h=1.0$ 構造モデル (b) $s/h=2.0$ 構造モデル

図 1 3層3スパンモデル



■ 指標値の最も高い柱 ■ 前判定で選ばれた柱
(a) $s/h=1.0$ 構造モデル (設計軸力比 0.3 以下) (b) $s/h=2.0$ 構造モデル (設計軸力比 0.3 以下)

図 2 発破解体計画例

3. 設計軸力比と崩壊形態の関係

続いて、発破解体計画により選択された柱全ての KI を足し合わせたものを KI の積算値と定義する。第 n 次判定までの積算値は、以下のようになる。

$$\sum KI = ({}_1KI_{m_1} + {}_2KI_{m_2} + \dots + {}_nKI_{m_n}) \quad (3)$$

(第 n 次判定で選ばれた柱番号: m_n)

上記の KI の積算値を用いて、設計軸力比と発破解体形態との関係を表したものを図 3 に示す。横軸に設計軸力比、縦軸に KI の積算値とし、崩壊形態の範囲をプロットしている。図中、構造物の上層部が地上まで完全に崩落したものを全体崩壊 (TC: Total Collapse)、構造物の一部が沈下し接地するが完全な崩壊に至らないものを部分崩壊 (PC: Partial

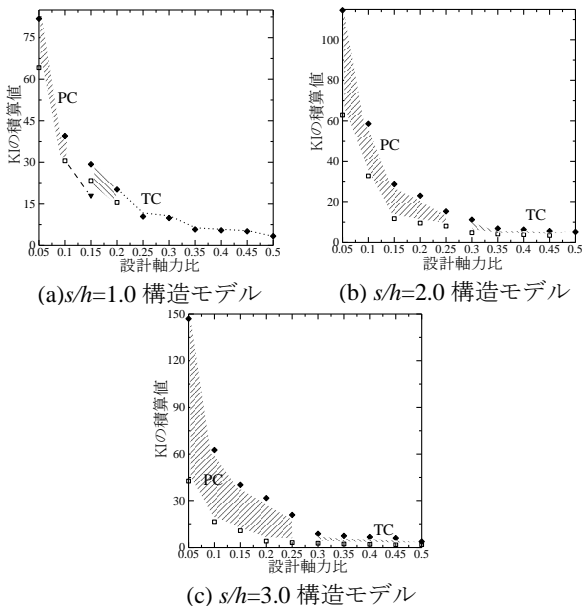


図3 KI の積算値と崩壊形態の関係

Collapse), それ以外を崩壊なし (NC : Non Collapse) と定義した。

図3から分かるように、設計軸力比が小さい(すなわち設計強度が高い)と発破解体では好ましくないPCが起こる傾向があり、さらに、崩壊を引き起こすためには大きな KI の積算値が必要である。また、設計軸力比が大きい(すなわち設計強度が低い)とTCが起こる領域が存在し、崩壊を引き起こすためには小さな KI の積算値で十分であることが分かる。

4. 高層建築物の発破解体計画

高層建築物を発破解体する場合、上記のように最下層の柱部材を対象に発破計画を立てるだけでは広域の倒壊を引き起こす可能性があり、実際に適用する際には問題となる。そこで、高層モデルを任意の層グループ、ここでは3層ごとに分け、その層グループごとに発破計画を行うことで倒壊方向を制御し、倒壊範囲がなるべく広がらないような解体を目指すこととした。高層モデルとして、ここでは15層3スパンモデルを用意した。柱、梁ともに3層モデルと同じ鋼材を使用し、階高-スパン比 $s/h=1.0, 2.0, 3.0$ で最下層部の設計軸力比が0.3以下、0.5以下となるように設計している。

発破解体計画は、3層ごとに分けたモデルの最下層の軸力比をそれぞれ求め、前節の図3を用いて崩壊形態を調べ、それを基に柱の選定を行った。15層モデルを倒壊させるために可能な限りTCとなる計画を選定し、TCに領域がある場合には、より全体崩壊に近づけるために KI の積算値が最大となる点での計画を選んでいる。図3から読み取った3層ごとの計画選定結果を表1に示す。この結果を基に、上層から順に発破解体解析を行った。

発破解体解析結果を図4に示す。設計軸力比0.3以下のモデルの $s/h=1.0$ のモデルでは、最上層3層がPCであったが、下層部の崩壊によって倒壊に至った。 $s/h=2.0, 3.0$ のモデルでは最下層3層がTCであったが、それ以外の層がPCであったため倒壊には至らなかった。設計軸力比0.5以下のモデルの $s/h=1.0$ のモデルでは、最上層3層がPCであったがその他の層がTCであったために倒壊に至った。 $s/h=2.0, 3.0$

のモデルでは上層6層がPCであったが下層が崩壊したために倒壊に至った。しかし、 $s/h=3.0$ のモデルでは、上層のPCの影響が大きく、横方向に倒壊した。

5. 結言

本稿では、キーエレメント指標を基に発破解体計画手法を開発し、 KI の積算値を用いて、建築物の設計軸力比と崩壊形態の関係性を調べた。また、高層建築物を倒壊させるために、15層モデルに対して3層ごとに計画選定を行い、上層から順に崩壊させることで、倒壊範囲を広げないような解体を目指した。その結果、上層から徐々に崩壊させることで、倒壊範囲の狭い狙い通りの発破解体を起こすことができた。しかし、上層の軸力比が低い層では部分崩壊が起き、特に階高-スパン比の高い $s/h=2.0, 3.0$ のモデルではその影響が大きくなってしまい、期待した倒壊につながらないことがあった。

参考文献

- [1] 磯部, 江口, 今西, 佐々木 : 骨組構造の発破解体解析・実験システムの開発, 建論, 第612号, 2007, pp.73-78.
- [2] D. Isobe and T. Katsu : Blast Demolition Planning Tool using Key Element Index, Proceedings of the 9th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures (SILOS11), 2011, pp.395-401, Fukuoka, Japan.

表1 3層ごとの軸力比を用いた発破解体計画の選定

設計軸力比0.3以下	$s/h=1.0$		$s/h=2.0$		$s/h=3.0$	
	軸力比	崩壊形態	軸力比	崩壊形態	軸力比	崩壊形態
下層から						
1~3層	0.2985	TC	0.2825	TC	0.2919	TC
4~6層	0.2413	TC	0.2297	PC	0.2324	PC
7~9層	0.1887	TC	0.1744	PC	0.1743	PC
10~12層	0.1305	TC	0.1172	PC	0.1166	PC
13~15層	0.0667	PC	0.0587	PC	0.05857	PC

設計軸力比0.5以下	$s/h=1.0$		$s/h=2.0$		$s/h=3.0$	
	軸力比	崩壊形態	軸力比	崩壊形態	軸力比	崩壊形態
下層から						
1~3層	0.4893	TC	0.4792	TC	0.493	TC
4~6層	0.3868	TC	0.3802	TC	0.3922	TC
7~9層	0.2958	TC	0.2871	TC	0.2947	TC
10~12層	0.2054	TC	0.1949	PC	0.1981	PC
13~15層	0.1088	PC	0.0999	PC	0.1002	PC

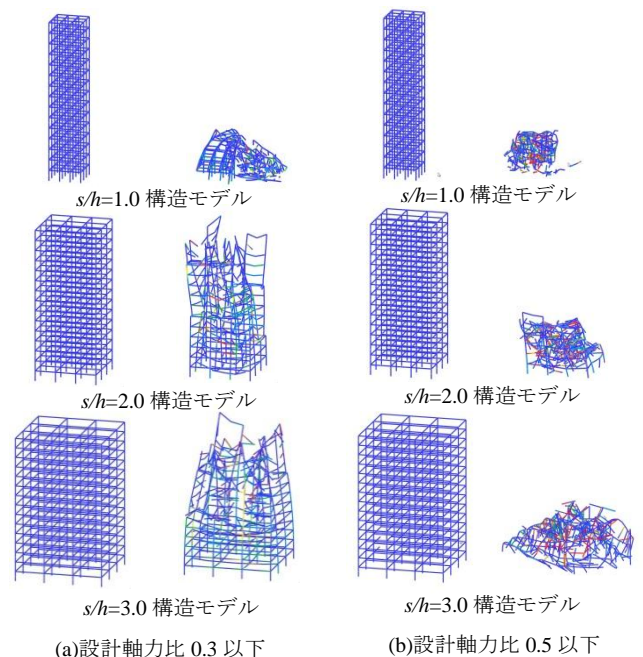


図4 15層モデルの発破解体解析結果