

# 建物の発破解体計画と残存物形態との関係

## Relationship between Blast Demolition Plans of Buildings and Overall Forms of Remains

○非 日下 善輝 (筑波大院)  
Yoshiki KUSAKA, Graduate School, Univ. of Tsukuba,  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

正 磯部 大吾郎 (筑波大)  
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba,  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Key Words: Key Element Index, Steel Framed Building, Blast Demolition Plan

### 1. 緒言

建物の発破解体は欧米では盛んに行われているが、発破解体計画に関する定量的な判断基準は確立されておらず、専門業者の独自の経験則に依存している。さらにその経験則は、欧米に比べ設計強度の高い日本の建物に適用することは困難である。そこで本研究では、定量的な判断基準をもって発破箇所の選定を行うことを目的とし、建物の構造上重要な柱部材を特定し得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<sup>1)2)</sup>。本稿では、設計強度の異なる5層7×3スパンの鋼構建造物を想定した場合の、キーエレメント指標(KI)積算値と発破解体後の残存物高さの和との関係、および発破部材数と残存物高さの和の関係を調査した結果について報告する。数値解析には崩壊解析において実績のあるASI-Gauss法<sup>3)</sup>を用いた。

### 2. キーエレメント指標を用いた発破解体計画

#### 2-1 キーエレメント指標KI

健全な建物の全柱梁接合部に対して鉛直方向に荷重増分を与え、建物最下層部のいずれかの柱部材に降伏現象が発生した瞬間の荷重を用い、降伏限界荷重 ${}_0P_G$ として求める。任意の*i*層内の柱番号*a*を除去した状態の建物にも同様に鉛直方向に荷重増分を与え、*i*層以下のいずれかの柱部材に降伏現象が発生した瞬間の荷重を用い、降伏限界荷重 ${}_1P_G(i, a)$ として求める。以上より、この柱番号*a*のKIを以下のように降伏限界荷重の比で定義する。

$${}_1^0KI_{i,a} = {}_0P_G / {}_1P_G(i, a) \quad (1)$$

添え字の0は、KIを算出する際に健全な状態の建物の降伏限界荷重を用いることを表し、添え字の1は第1次選定であることを表す。同様に、第(*n*-1)次選定までに選定した柱を既に除去した建物の強度に対する*i*層内の柱番号*b*のKIは、第*n*次選定では以下のように定義することができる。

$${}_{n-1}^{n-1}KI_{i,b} = {}_{n-1}P_G / {}_nP_G(i, b) \quad (2)$$

ここで、右辺分子 ${}_{n-1}P_G$ は、第(*n*-1)次選定までに選定した柱を除去した建物の降伏限界荷重であるが、第(*n*-1)次選定までの柱の選定状況に応じて値が変化する。

柱梁接合部に対して与える鉛直方向への荷重増分は、柱ごとに負担する床荷重に応じて与える。*i*層内の柱番号*a*に与え

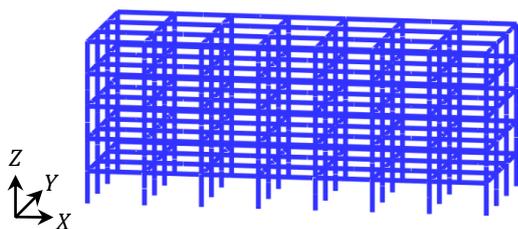


Fig.1 Numerical model

る鉛直方向の荷重増分 $\Delta F_{i,a}$ を以下のように表す。

$$\Delta F_{i,a} = \alpha_{i,a} \times \Delta F \quad (3)$$

ここで、 $\Delta F$ は任意の荷重増分である。 $\Delta F$ に乗じた $\alpha_{i,a}$ を重み値と呼び、以下の通り上層の建物総重量に対する柱部材1本の負担比率と定義する。

$$\alpha_{i,a} = N_{i,a} / \sum_{j=1}^M N_{i,j} \quad (4)$$

なお、*i*層内の柱番号*a*の軸力を $N_{i,a}$ とし、1層あたりの柱の本数を*M*とする。

#### 2-2 段発方式の発破解体計画

本稿では、先行研究<sup>2)</sup>から有効性が示されている段発方式の発破解体計画による発破解体解析を実施した。段発方式の

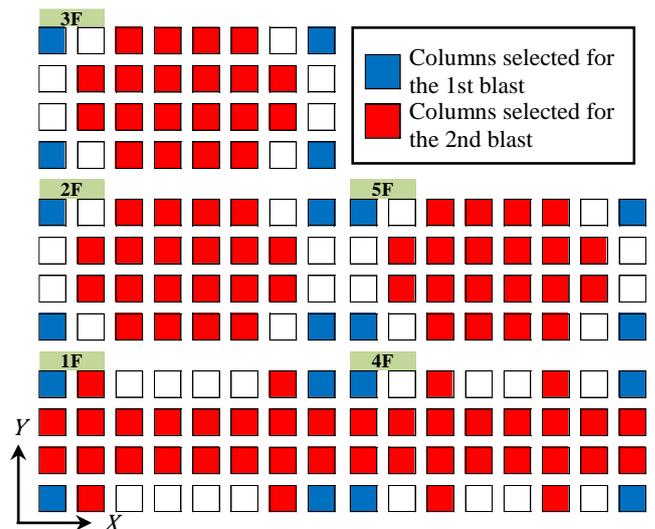


Fig.2 An example of blast demolition plan

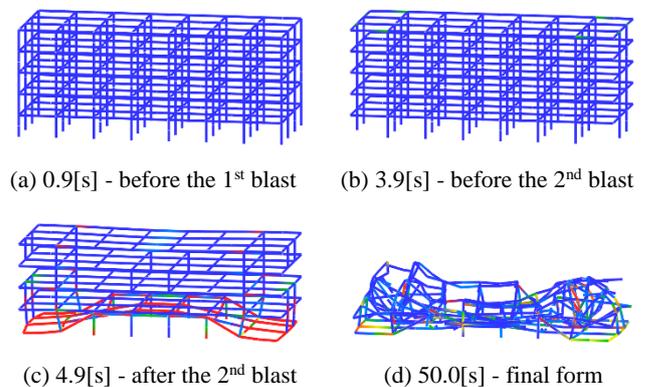


Fig.3 An example of blast demolition analysis

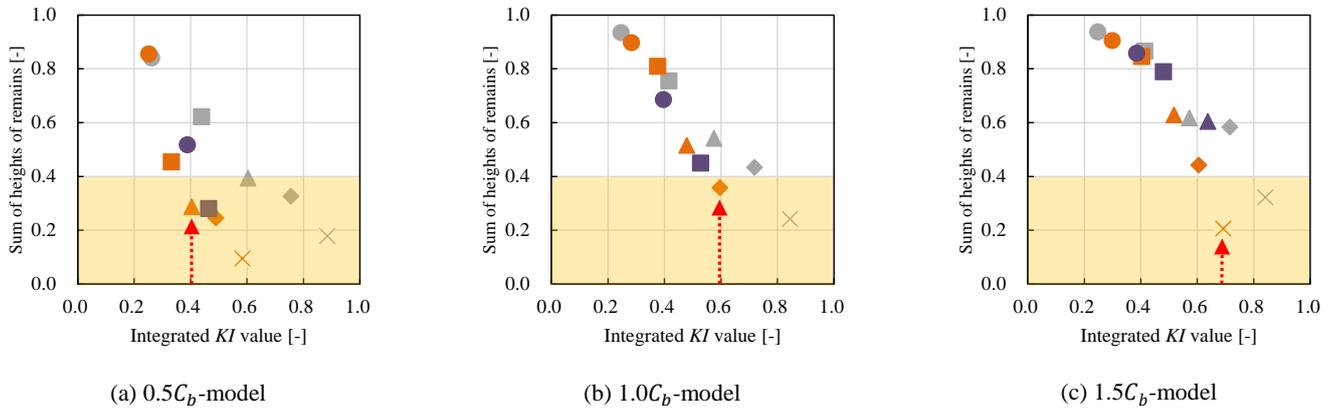


Fig.4 Relationship between integrated key element index value and the sum of heights of remains

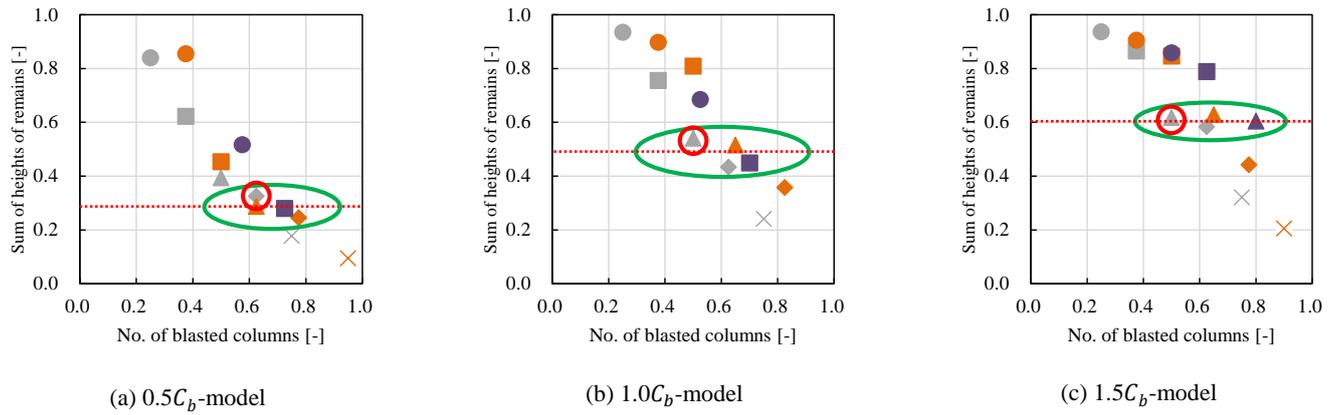


Fig.5 Relationship between the number of blasted columns and the sum of heights of remains

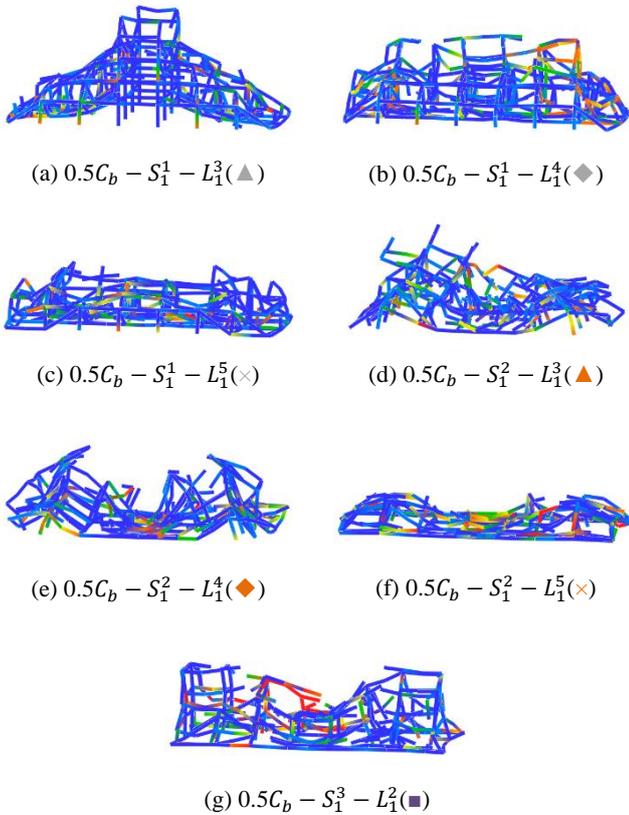


Fig.6 Final form of buildings obtained by the blast demolition analyses ( $0.5C_b$ -model)

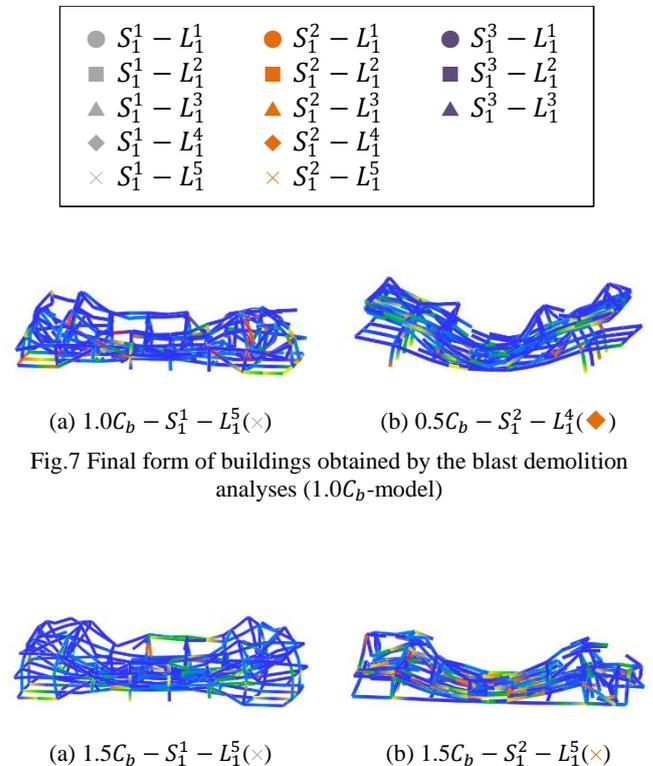


Fig.7 Final form of buildings obtained by the blast demolition analyses ( $1.0C_b$ -model)

Fig.8 Final form of buildings obtained by the blast demolition analyses ( $1.5C_b$ -model)

発破解体計画とは、第1発破においてKIの小さい柱を発破することにより、建物を崩壊させずに強度を低下させ、続く第2発破においてKIの大きい柱を発破することで建物を解体する計画である。発破箇所については、第1次選定において算出したKIに順位を付け、小さい順に任意の順位までの柱を選定し、第2次選定において算出したKIの大きい順に任意の順位までの柱を選定する。発破解体解析では、第1次選定において発破箇所とした柱を同時に発破し、3.0 [s]後第2次選定において発破箇所とした柱を同時に発破するものとする。

### 2-3 解析モデル

解析モデルとして、5層7×3スパンの鋼構造建物を想定し、全高は20[m]、階高は各層4[m]、幅および奥行きのスパン長は全て7[m]とした。建物には固定荷重と積載荷重を合わせて単位床面積あたり800[kgf/m<sup>2</sup>]が作用するものとして設計している。柱や梁の断面寸法は、ベースシア係数C<sub>b</sub>に基づき建物に必要とされる水平耐力を満たす断面を算出した結果を用いた<sup>4)</sup>。ここでベースシア係数C<sub>b</sub>は以下のように定義される。

$$C_b = Z \cdot D_s \cdot R_t \cdot C_0 \quad (5)$$

式中のZは地震地域係数、D<sub>s</sub>は構造特性係数、R<sub>t</sub>は振動特性係数、C<sub>0</sub>は標準せん断力係数である。これらの係数から、本稿で用いる建物のベースシア係数C<sub>b</sub>を計算するとC<sub>b</sub>=0.25となり、この値を標準のベースシア係数とした。さらに、本稿では建物の強度による解体の成否を比較するため、この標準のベースシア係数に倍率として0.5をかけたC<sub>b</sub>=0.125、および1.5をかけたC<sub>b</sub>=0.375に基づいて設計したモデルも作成した。以降、それぞれを1.0C<sub>b</sub>モデル、0.5C<sub>b</sub>モデル、1.5C<sub>b</sub>モデルと表記する。なお、このモデルは柱にはSM490の鋼材を用いた角形鋼管、梁にはSS400の鋼材を用いたH形鋼を使用している。本稿で用いるモデルの概観図をFig.1に示す。

### 2-4 発破解体計画と発破解体解析の一例

一例として示す計画は1.0C<sub>b</sub>モデルを対象としており、第1次選定ではKIの小さい順に1位のみ柱、第2次選定ではKIの大きい順に5位までの柱を発破箇所とする計画である。ここで、第1次選定の結果と、第1次選定によって発破箇所とした柱を除去した状態における第2次選定の結果から決定した発破解体計画をFig.2に示す。この発破解体計画に基づいて発破解体解析を実施した結果をFig.3に示す。Fig.3(b)より、第1発破後においても建物の崩壊が始まっていないため、建物を崩壊させずに強度を低下させるという第1発破の目的に沿った結果となっている。

## 3. KI積算値と残存物高さの和の関係

KI積算値は、発破箇所とした柱全てのKIを足し合わせたものとして定義する。第n次選定までのKI積算値を以下のように表す。

$$\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^R \sum_{j_k=1}^{l(k,i)} [{}^{k-1}KI_{i,m(i,j_k)}] \\ = {}^0KI_{1,m(1,1)} + {}^0KI_{1,m(1,2)} + \dots + {}^0KI_{1,m(1,l(1,1))} + \\ \dots + {}^0KI_{R,m(R,l(1,R))} + \dots + {}^{n-1}KI_{1,m(1,1)} + \\ {}^{n-1}KI_{1,m(1,2)} + \dots + {}^{n-1}KI_{1,m(1,l(n,1))} + \dots + \\ {}^{n-1}KI_{R,m(R,l(n,R))} \quad (6)$$

ここで、R、l(k,i)、m(i,j<sub>k</sub>)は建物の全層数、k次選定においてi層で発破箇所とした柱の本数、およびそのj<sub>k</sub>本目の柱番号を表す。

また、発破解体解析を実施したモデルの最終形態において、残存物を構成している節点のZ座標の和を残存物高さの和と定義する。この残存物高さの和を残存物の形態を表す指標として使用する。

本稿では、第1次選定においてKIの小さい順に1~3位ま

での柱、そのそれぞれに対して第2次選定においてKIの大きい順に1~5位までの柱を発破箇所とする発破解体計画に基づいて発破解体解析を実施した。解析結果として、KI積算値と残存物高さの和の関係をFig.4に、発破部材数と残存物高さの和の関係をFig.5に示す。なお、残存物高さの和は健全状態のモデルにおける全節点のZ座標の和(6,640[m])で除して無次元化した値を用いている。KI積算値については、発破箇所を選定するために第1次選定時に算出した全柱部材のKIを足し合わせたもの(∑<sub>1</sub>KI)で除して無次元化し、発破部材数については健全状態のモデルの全柱部材数(160[本])で除して無次元化している。また、Fig.6、Fig.7、Fig.8はそれぞれのモデルにおいて発破解体解析を実施した際の最終形態である。なお、図には残存物高さの和を無次元化した値が0.4以下となる結果のみ抜粋して記載している。

Fig.4、Fig.5のそれぞれの結果から、KI積算値が大きくなる計画、発破部材数が多くなる計画のとき、残存物高さの和は小さくなるのがわかる。またFig.4の結果から、第1発破で多くの部材を発破する計画(S<sub>1</sub><sup>2</sup>、S<sub>3</sub><sup>2</sup>)の場合、第2発破ではKI積算値が小さくなる計画であっても建物を大きく崩壊させる傾向にあり、強度の低い建物の場合にその傾向は顕著に表れている。さらに、残存物高さの和を無次元化した値が0.4以下となるような崩壊を目指して解体計画を立てると仮定すると、必要となるKI積算値は0.5C<sub>b</sub>モデルでは全体のおよそ4割、1.0C<sub>b</sub>モデルではおよそ6割、1.5C<sub>b</sub>モデルではおよそ7割となる。このように、一定以上の崩壊を目指して解体計画を立てる場合、強度の差異によって必要となるKI積算値が予測可能であることがわかる。また、Fig.5の全体的な傾向として、ほぼ同程度の残存物高さの和(赤色破線)まで崩壊している解体計画(緑色楕円内)の中で、最も発破部材数が少ないのはS<sub>1</sub><sup>1</sup>の条件(赤丸内)であることがわかる。

## 4. 結言

初期発破で多くの柱部材を発破し、建物の強度を十分に低下させた場合には、続く第2発破ではKI積算値が小さくなる計画であっても建物を大きく崩壊させることが可能であると考えられる。また、一定以上の崩壊を目指して解体計画を立てる場合、強度の差異によって必要となるKI積算値が予測可能であることがわかった。さらに、少ない発破本数で効率のよい発破解体を実現するためには、第1発破で発破本数を抑え、第2発破では大きなKI積算値となるよう、発破箇所を選定する必要があると考えられる。

### 参考文献

- 1) 荻野朋哉, 磯部大吾郎: 高層建築物の発破解体計画に関する一考察, 日本機械学会第25回計算力学講演会 CD-ROM 論文集, (2012), pp.79-80.
- 2) 磯部大吾郎: キーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法 その3. キーエレメント指標の積算値と崩壊下限値との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), (2013), pp.373-374.
- 3) 磯部大吾郎, チョウミョウリン: 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.
- 4) 鈴木 淳一, 阿部 修太郎, 鈴木 弘之, 大宮 喜文, 若松 孝旺: 火災時における鋼架構の崩壊温度とリダンダンシー 耐震設計が耐火性能に与える効果, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, (2006), pp.157-164.