

## キーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法 その6. 分散を用いた発破箇所選定

正会員 ○東 健太\*<sup>1</sup>  
同 磯部 大吾郎\*<sup>2</sup>

キーエレメント指標 分散 発破箇所  
発破解体解析 ASI-Gauss 法

### 1. 緒言

建物の発破解体は欧米では盛んだが、その解体計画はノウハウに大きく依存しているため定量的な判断基準がなく、設計強度の高い日本の建物へ適用することは容易ではない。そこで本稿では、建物全体に対する柱部材の寄与度を数値化したキーエレメント指標（以下 $KI$ ）の分散を利用した建物の発破箇所選定方法を検討する。先行研究[1]で有効性が示されている段発方式の発破解体における第1発破箇所の選定に重点を置き、 $KI$ の差が大きな柱を層内に混在させることで発破解体効率の向上を試みた。低層モデルに対して ASI-Gauss 解析コード[2]を用いた発破解体解析を実施し、解体効率を発破柱数と残存物高さの和の関係を用いて調査した結果を報告する。

### 2. $KI$ の分散を用いた発破箇所選定方法

健全な建物の全柱梁接合部に対し、鉛直方向に荷重増分を加え、建物のいずれかの柱部材に降伏現象が生じた瞬間の降伏限界荷重を ${}_0P_G$ とおく。同様に、任意の $i$ 層内の柱番号 $a$ を除去した状態の建物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生じた瞬間の降伏限界荷重を ${}_1P_G(i, a)$ とおく。これらの降伏限界荷重の比を用い、この柱番号 $a$ の $KI$ を以下のように定義する[2]。

$${}_1KI_{i,a} = {}_0P_G / {}_1P_G(i, a) \quad (1)$$

添え字の0は健全な建物の降伏限界荷重を用いていることを示し、添え字の1は柱1本を除去した第1次選定後の状態であることを示す。同様に、第 $(n-1)$ 次選定までに選定された柱を除去した後の建物の強度に対する $i$ 層柱番号 $b$ の寄与度は、第 $n$ 次選定では以下のように定義できる。

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

ここで、右辺分子 ${}_{n-1}P_G$ は、第 $(n-1)$ 次選定までに選定された柱を除去した状態の建物の降伏限界荷重であり、第 $(n-1)$ 次選定までの選定状況に応じて値が変化する。

先行研究[1]では、第1発破と第2発破ともに各層内の柱の $KI$ の大小に応じて発破箇所を選定する方法を用いた。本稿では、 $KI$ の大小に関係なく第1発破箇所を選定し、第1発破後の欠損した状態の建物に突出して大きな $KI$ を持つ柱を作り出すことを目指す。そこで、柱の $KI$ に対する分散により柱の寄与度のバラつきを評価する。 $KI$ の分散は、建物全体に残存する柱の $KI$ から算出する方法（以後、全層パターン）と各層ご

とに残存する柱の $KI$ から算出する方法（以後、単層パターン）の2種類の方法によって算出した。前者は以下の式(3)、後者は式(4)によって求められる。

$$\sigma^2 = \sum_i \sum_j \frac{(\overline{KI} - KI_{i,j})^2}{N_{total}} \quad (3)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_j \frac{(KI(i) - KI_{i,j})^2}{N_i} \quad (4)$$

ここで、 $\overline{KI}$ は全層に残存する全ての柱の $KI$ から算出する平均値、 $KI(i)$ は $i$ 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 $KI$ 、 $N_{total}$ は全層に残存する全柱数、 $N_i$ は $i$ 層に残存する全柱数、 $\sigma^2$ は全層での $KI$ の分散、 $\sigma_i^2$ は $i$ 層(単層)での $KI$ の分散を表す。

この方法で $KI$ の分散を算出・比較し、値が最大となる柱を第1発破箇所として選定する。その際、部分的な崩壊に留まる可能性が極めて高いため、最上層は発破の対象から除外した。次に、第1発破後に残存する柱の中から $KI$ が大きい順に順位を付け、任意の順位までの柱を第2発破箇所として選定する。これらの条件を基に実施した解析では、自重載荷の後、第1発破を1.0s、第2発破を4.0sに行った。

ここでは図-1に示すモデルを用い、第1発破箇所の選定例を示す。解析モデルは3層3x3スパンの鋼構造の建物で、全高12.0m、階高4.0m、幅・奥行きスパン長は7.0mである。ベースシア係数を $C_b = 0.25$ とし、積載荷重と固定荷重を合わせて単位床面積当り800 kgf/m<sup>2</sup>が作用するものとして設計している。また、建物の柱にはSM490の鋼材を用いた角型鋼管、梁にはSS400の鋼材を用いたH型鋼を使用した。床要素は弾性要素とし、面外変形を許容していない。

発破箇所を選定する際に、ここでは図-2に示すように対称性を考慮して柱を4種類（1層、2層で計8種類）に分類し、4本ずつの組で選定することとした。前述の全層パターン、3種類の単層パターン（1層～3層）の計4種類について、除去すると仮定した柱の本数を4本ずつ増やしていった際の分散を求め、その値が最大となる柱の組を段階的に除いていく。

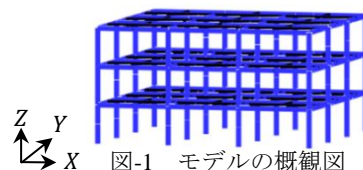


図-1 モデルの概観図

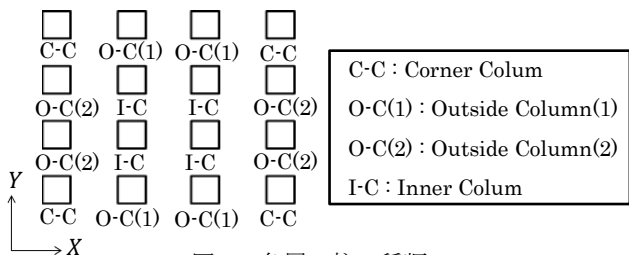


図-2 各層の柱の種類

表-1 単層パターン(1層)の場合の

KIの分散と選定される柱の組

選定段階	除去すると仮定した柱の本数 N	第n段階で除去すると仮定した柱の組							
		1F				2F			
		C-C	O-C(1)	O-C(2)	I-C	C-C	O-C(1)	O-C(2)	I-C
第1段階	4本	0.001	0.066	0.066	0.171	0.005	0.010	0.010	0.100
第2段階	8本	0.000	0.110	0.110	0.445	0.110	0.110	0.216	
第3段階	12本	0.000	1.040	1.040	0.500	0.500	0.721		
第4段階	16本	0.000	0.000	0.000	1.180	0.053	1.090		

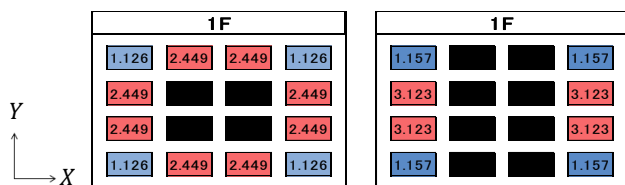


図-3 単層パターン(1層)の場合のKIの分布

すなわち、第 n 段階(n≥1)では、第 n-1 段階までに選定した柱を除去すると仮定した状態で分散を求める。単層パターン(1層)の場合のKIの分散と選定される柱の組を表-1に示す。20本の柱を除去してしまうと自重で崩壊してしまうケースが増えたため、今回は除去する柱の本数を16本までとした。表の中で、N本除去すると仮定した状態に対するKIの分散の最大値を■で表した。また、第3段階のように分散の最大値が同値となるような場合は、O-C(1)を優先することとした。第 n-1 段階までに第1発破箇所として選定されたものは☒で表した。図-3には、表-1の第2段階および第4段階を終えた状態で算出された1層~3層の柱のKIのうち1層についてのみ示す。層内で最小のKIを示す柱を青、最大値を示す柱を赤、第1発破箇所として既に選定されている柱を黒色で示す。図-3(a)よりも選定する柱の本数が増える図-3(b)の方が層内でのKIの分散、すなわちKIの差が大きくなっていることが分かる。

### 3. 発破解体解析結果

全層パターンおよび単層パターン(1層~3層)、さらに、KIが大きい順に柱を選定し1回で発破する単発方式による発破解体解析を実施し、それぞれの方式の解体効率を調べた。なお、単発方式ではKIの分散は考慮していない。解体効率は、発破柱数と残存物高さの和の関係より評価した。ここで、残存物高さの和とは、発破解体解析終了時の全ての柱梁接合部節点の高さ方向(Z)座標値を足し合わせた値であり、健全状態の高さの和で割ることで無次元化した。発破柱数は、健

全状態における全柱数で割り無次元化した。

全ての場合における発破柱数と残存物高さの和の関係を図-4に示す。KIの分散を考慮していない単発方式の場合は、発破柱数が少なければほとんど解体できず、発破柱数が多ければ概ね解体できるという傾向がある。この傾向を基準に見てみると、全層パターン(1層)の場合は発破柱数、残存物高さの和ともにほぼ中間辺りの領域に位置している。単層パターン(1層)の場合は、分散を求める対象の柱が低層にあるほど左下の領域に分布し、解体効率が良いことが確認できる。これは、第1発破終了時に低層部にKIの差が大きな柱ができるため、第2発破時の解体効率が良好となり、発破柱数が少なくても残存物高さの和を低めに抑えられていることを示している。

以上のことから、最下層の柱の寄与度に偏りが大きく生じるような柱を第1発破箇所として選定することで、より発破解体効率を向上させることが可能であることが示された。

### 4. 結言

本稿では、建物の発破解体効率の向上を目指し、KIの分散を用いた発破箇所選定方法の検討を行った。選定結果を用いて発破解体解析を行った結果、第1発破終了時に最下層のKIの分散が最大となるような柱を発破箇所として選定した場合、第2発破時の解体効率が全体的に良くなる傾向が現れた。単発方式でKIの大きな柱から発破した結果と比較しても、解体効率が全体的に上回っていた。これらの結果から、少ない発破柱数で残存物の高さを低く抑えるために最下層部のKIの分散を用いることは有効であると考えられる。

### 参考文献

[1] 日下, 磯部: キーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法 その5, 日本建築学会 2015年度大会(関東)学術講演梗概集, (2015), pp. 295-296.  
 [2] D.Isobe: An Analysis Code and a Planning Tool Based on a Key Element Index for Controlled Explosive Demolition, International Journal of High-Rise Buildings, Vol.3, No.4, pp. 243-254, 2014.

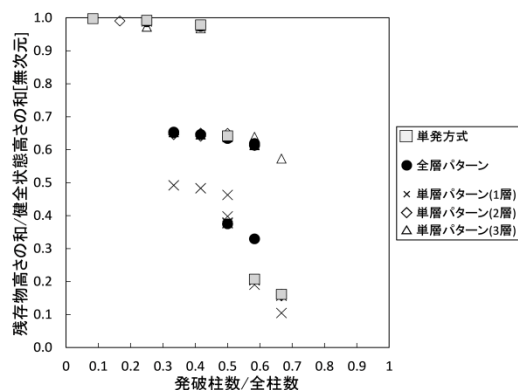


図-4 発破柱数と残存物高さの和の関係

\*1: 筑波大学大学院システム情報工学研究科 大学院生

\*2: 筑波大学教授 博(工)

\*1: Graduate Student, Univ. of Tsukuba

\*2: Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.