

キーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法

正会員 ○磯部 大吾郎*¹
同 勝 拓也*²

キーエレメント指標 発破解体計画 ASI-Gauss 法

1. 緒言

欧米では盛んに行われている老朽化した建物の発破解体であるが、日本では火薬使用量や頑強な耐震構造という制約により実施が困難なのが現状である。発破解体工法は、比較的短期間かつ低コストで行うことが可能であり、危険な作業も不要である等の利点を持つ反面、多くの場合は経験やノウハウに依存しており、部材の飛散や建物が予測しなかった崩壊挙動を示すことによる周辺建物への被害も懸念される。そこで、意図した方向へ計画通りに建物全体を崩壊させるための発破計画を入念に立てることが重要となる。本研究では、この計画を数理的に行う手段の一つとして、部材の鉛直荷重支持能力を陽に表現するキーエレメント指標に基づいた発破解体計画手法を提案する。

部材消失後の骨組構造に対する鉛直荷重支持能力の評価指標として、Frangopol¹⁾の冗長性に関わる指標、およびその逆数を取った伊藤ら²⁾による部材感度 (Sensitivity Index) などが知られている。これらの指標は、鉛直荷重に対して感度の高いキーエレメントを特定する際に有効であるが、消失させた際に部分崩壊に留まってしまう柱に対しても感度が高くなる傾向があるため、全体崩壊を目標とする発破解体には適さない。そこで本稿では、部材消失前後における建物の最下層柱部材の降伏限界荷重から鉛直荷重支持能力の評価指標 (キーエレメント指標) を算定し、その積算値を発破計画に適用する方法について検討した。

2. キーエレメント指標

キーエレメント指標は、以下のように算出する。建物の全接合部に対し均等に鉛直荷重増分を加え、プッシュダウン解析を行う。総荷重が増加するといずれかの柱が降伏する降伏限界状態に達するが、構造によっては例えば上層部で降伏を起し、部分崩壊に繋がることもある。しかしこのような部分崩壊は、建物全体の解体を目指す上では重要度が低いものと見なし、あくまでも全体崩壊へ直接的に繋げるために最下層柱部材に降伏が生じる状態に着目した。最下層柱部材の内、いずれか1本に降伏が生じた際の降伏限界荷重 P_G を求め、健全な構造に対しては ${}_0P_G$ と表し、任意の最下層柱部材1本を除去した場合の降伏限界荷重を ${}_iP_G$ と表すこととする。この柱 (柱番号: 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。

$${}_iKI_m = {}_0P_G / {}_iP_G \quad (1)$$

また、一般的に n 本の柱を除去した場合についても同様に指標を定義することが可能で、その際には m 番柱の KI を

$${}_nKI_m = {}_0P_G / {}_nP_G \quad (2)$$

と表現できる。上式は健全な構造に対して複数の柱を同時に発破する際の評価指標として用い、時間差を付けて順次発破する際には部材の消失箇所に応じて感度が時々刻々変化することが考えられるため、以下の更新型の指標を用いる。

$${}_n^{n-1}KI_m = {}_{n-1}P_G / {}_nP_G \quad (3)$$

すなわち、初期の健全な構造に対してではなく、前ステップの構造に対する降伏限界荷重比を評価指標とする。

全体崩壊を招く発破解体計画を練る際に、上記のキーエレメント指標が高い柱から順に1本ずつ選択する方法と、低い柱から順に1本ずつ選択する方法を考える。すなわち、建物の全体強度に対する寄与度の高い柱から発破する考え方と、低い柱から発破する考え方を採用する。さらに、両者の場合に対して(2)式と(3)式を使い分け、同時・順次発破の場合について検証する。選択した柱のキーエレメント指標の積算値を求め、全体崩壊を招くために必要な積算値の傾向を調べる。

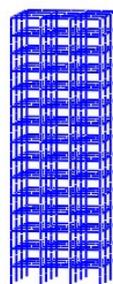


図-1

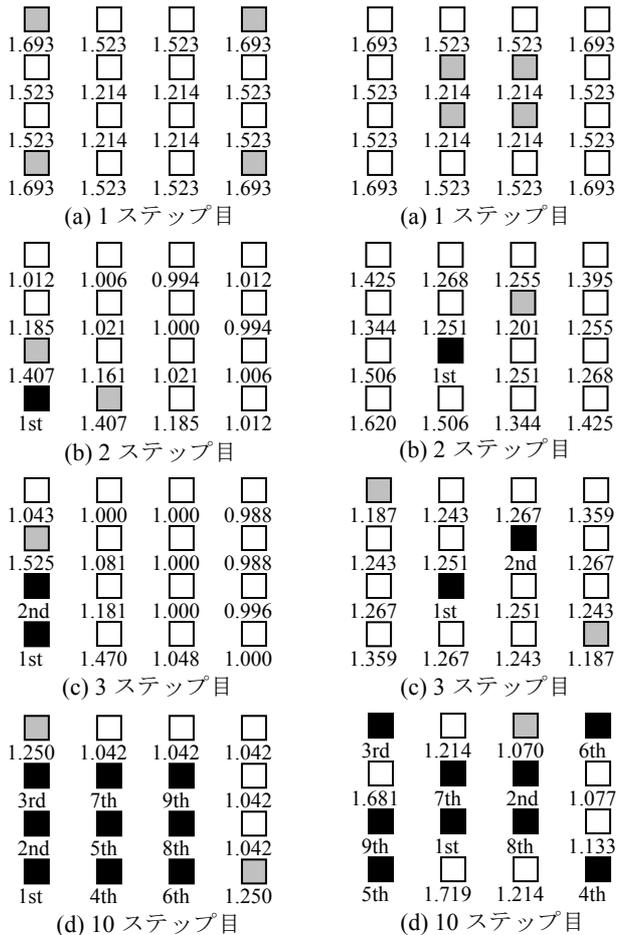
15層3スパンモデル

図-1に示すようなモデルに対して実施した計算例を示す。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-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。(3)式の更新型指標値の高い方から柱を発破した際の最下層部における指標値の分布を図-2に、低い方から発破した際の分布を図-3に示す。例えば図-2(a)の右上隅の柱 (柱番号: 16) について KI を求めると、

$${}_1KI_{16} = {}_0P_G / {}_1P_G = 1.693 \quad (4)$$

となり、図-2(b)の同じ柱の KI は

$${}_2KI_{16} = {}_1P_G / {}_2P_G = 1.012 \quad (5)$$



■ 指標値の最も高/低い柱 ■ 前stepまでに選択済の柱
 図-2 更新型指標値の高い柱から選択した場合の指標値分布 図-3 更新型指標値の低い柱から選択した場合の指標値分布

と求められる。なお、ここでは建物を左下の方向へ倒壊させることを意図し、柱の指標値が同値の場合には左方・下方の順に優先的に柱1本を選択することとした。指標値の高い順に選択・発破を行うと、意図した倒壊方向に発破箇所が集中する傾向が現れ(図-2)、指標値の低い順に同様の操作を行うと、建物全体が倒壊しないように発破箇所が分散する傾向が見られた(図-3)。

3. キーエレメント指標の積算値を用いた発破解体計画

次に、図-2 および図-3 で選択された柱を同時または順次強制破断(発破)させる崩壊解析を行った。その際、建物の床荷重を変動させた各モデルに対し、指標値の高い(または低い)柱から選択した場合に崩壊を起こした時の指標積算値をプロットした。キーエレメント指標として、同時発破の場合には(2)式を、順次発破の場合には(3)式を用いている。順次発破は1s間隔で行った。崩壊解析にはASI-Gauss法³⁾に基づくFEMコードを使用した。結果を図-4 および図-5 に示す。網掛けの領域では全体崩壊(TC)を起こし、それ以外の黒点よ

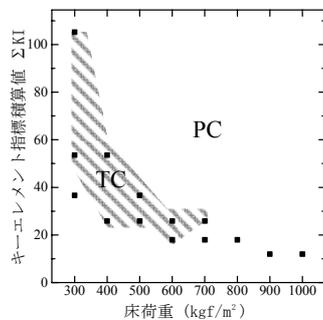
り上の領域では部分崩壊(PC)を起こしている。図より、同時発破・順次発破の双方ともに、指標値の高い柱から選択する方が全体崩壊を起こす領域が広いことが分かる。しかし、実用的な面から考えると、指標値の高い柱から順次発破すると徐々に倒壊が進行してしまうため、断線による爆薬の不発が生じたり倒壊方向の制御が困難となったりする危険性がある。そこで、順次発破の際には指標値の低い柱から発破し、指標積算値が図-5(b)の境界線に近接したらそれを一気に飛び越えるように指標値の高い柱を発破する、という方法も一考の余地がある。

4. 結言

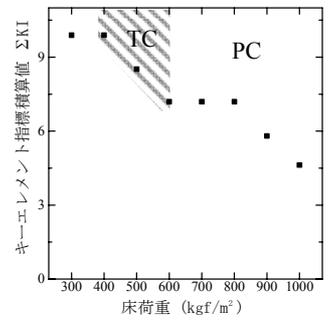
本稿では、建物の最下層柱の降伏限界荷重に着目したキーエレメント指標を提案し、その積算値を建物の全体崩壊を目指す発破解体計画に適用した。その結果、同時発破の場合には指標値の高い柱から選択すること、順次発破の場合には実用的には指標値の低い柱から選択し、最後に指標値の高い柱を発破する方法が効果的である可能性が示唆された。

参考文献

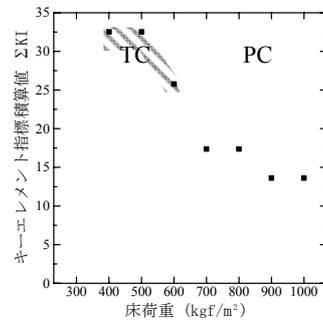
- 1) D.M. Frangopol and J.P. Curley: Effects of Damage and Redundancy on Structural Reliability, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.113, No.7, 1987, pp. 1533-1549.
- 2) 伊藤, 大井, 李: 鉛直荷重を受ける骨組構造物の冗長性に関する感度解析, 建論, 第593号, 2005, pp. 145-151.
- 3) 磯部, リン: 飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 建論, 第579号, 2004, pp. 39-46.



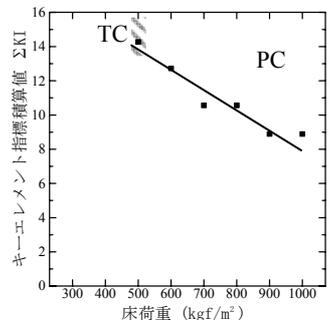
(a) 指標値の高い柱から選択



(a) 指標値の高い柱から選択



(b) 指標値の低い柱から選択



(b) 指標値の低い柱から選択

図-4 発破解体解析結果 (同時発破)

図-5 発破解体解析結果 (順次発破)

*1: 筑波大学大学院准教授 博(工)

*2: (株)クボタ

*1: Dept. of Eng. Mech. and Energy, University of Tsukuba, Dr. Eng.

*2: Kubota, Co.