

拡張個別要素法を用いた骨組構造物の 動的解析を可能とする基礎的な手法の確立

徳島大学 学生会員 ○木之下弦 徳島大学 正会員 中田成智

1. はじめに

近年、我が国では大規模な地震が頻繁に発生している。地震による被害は火災の発生や土砂崩れ、液状化現象など様々であるが、その内の1つに建物倒壊が挙げられる。建物倒壊による死傷者数を大幅に軽減するには、建物の耐震化だけでなく、地震発生後に地域の建物の被害状況を迅速かつ詳細に把握することも重要である。しかし、現在それを行うことは困難であり、実現する方法の1つとしては、高精度な動的解析をリアルタイムで行うことが挙げられる。そこで、本研究では2次元骨組構造物の基礎的な動的解析手法を確立することにした。

2. 拡張個別要素法 (EDEM) の概要

伯野 (1997) ¹⁾は、建物の倒壊解析を行うべく、拡張個別要素法 (EDEM) を提唱した。EDEM は、構造物を要素の集合体としてモデル化し、「要素同士の衝突により生じる力」と「要素間にある物質の効果」をバネとして考慮することで、構造物の連続体から非連続体に至る一連の挙動を解析可能とした手法である ²⁾。本研究では、EDEM を用いた動的解析手法 (以下、本研究手法) を確立する。

3. EDEM を用いた動的解析手法について

本研究手法では、構造物をノード (節点) とそれをつなぐバネ (部材) によりモデル化し、各バネの剛性行列 $[K]$ や減衰行列 $[C]$ を作成する。そして、それらを式(1)に当てはめ、バネに生じる内力ベクトル $\{f_s\}$ を求める。その後、バネの両端にあるノードの内力や変位を求めることで、時間の経過に伴い変化する構造物の挙動を解析する。なお、本研究ではノード同士の衝突とバネの塑性化は考慮しない。

$$\{f_s\} = [K]\{H\} + [C]\{V\} \quad (1)$$

$\{f_s\}$: バネの内力ベクトル, $[K]$: バネの剛性行列, $\{H\}$: バネの変位ベクトル, $[C]$: バネの減衰行列, $\{V\}$: バネの速度ベクトル

4. EDEM を用いた動的解析の結果と考察

4.1 章では、本研究手法により骨組構造物のインパルス応答を求め、4.2 章では、同じ構造物のステップ応答をバネの破断を考慮して求める。

4.1 : 骨組構造物のインパルス応答 (バネの破断なし)

4.1.1 構造モデル

高さ 15m, 幅 12m の 5 階建て骨組み構造物をモデル化し、時刻 0 に水平方向の外力 P (20000 (kN)) が各層 (ノード 1~5) に作用したときの構造物の応答を求める (図 1)。各ノード・バネの物性値を表 1 に示す。バネは破断しない H 形鋼 (断面寸法: H488×300×18×11(mm)) とする。なお、各ノードには重力 (mg) が発生しており、ノード 0, 6 は地面に設置された固定支点とする。

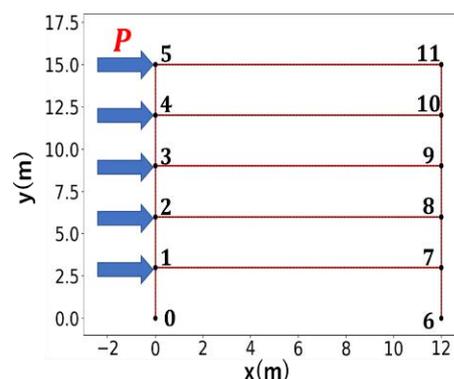


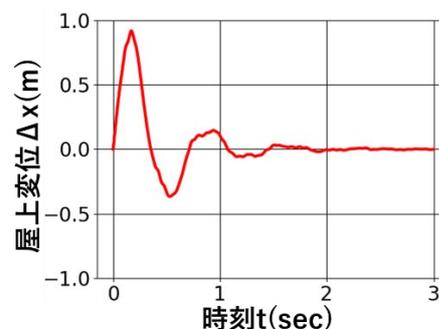
図 1 5 階建て骨組み構造物

表 1 各ノード・バネの物性値

構造物の質量 $Mass(\text{ton})$	ノードの質量 $m(\text{ton})$	ノードの慣性モーメント $J(\text{ton} \cdot \text{m}^2)$
11.1	1.11	10
バネの軸剛性 $EA(\text{kN})^3$	バネの曲げ剛性 $EI(\text{kN} \cdot \text{m}^2)^3$	バネの密度 $\rho(\text{ton}/\text{m}^3)^4$
3.23×10^6	1.66×10^4	7.850

4.1.2 解析結果と考察

図2は、屋上変位（最上階に位置するノード5の水平変位） Δx と時刻 t の関係を表しており、構造物は外力 P の入力により減衰自由振動を起こしていることが分かる。今後は、実際の地震による構造物の応答を計算する。また、実構造物の部材は弾塑性体であるため、本研究手法をバネの塑性化を考慮した手法へ発展させる。

図2 屋上変位 Δx -時刻 Δt

4.2：骨組構造物のステップ応答（バネの破断あり）

4.2.1 構造モデル

対象構造物の規模や各ノード・バネの物性値は4.1章と同様とし（図1，表1），解析開始から終了まで常に水平地震力 P （21.9(kN)）が各層に作用し続けた場合における構造物の応答を求める。 P の大きさは均等震度分布の数式によって求めた。バネの曲げモーメントが許容値（ $\pm 190(\text{kN})$ ）を超えると、そのバネは破断することとする。なお、各ノードには重力（ mg ）が発生している。

4.2.2 解析結果と考察

解析結果を図3に示す。1階の2本の柱（バネ）は即座に破断し、構造物は1階を押し潰す形で倒壊した。今後は、実際の地震による構造物の応答をバネの塑性化を考慮して計算する。また、実構造物の部材に曲げモーメントが生じ断面が全塑性状態になると、

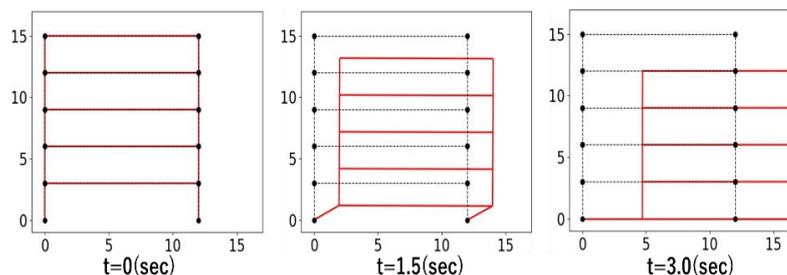


図3 骨組構造物の倒壊

部材には塑性ヒンジが発生するため、本研究手法をバネの塑性ヒンジの発生を考慮した手法へと発展させる。

5. 結論

本研究では、EDEMを用いた骨組構造物の基礎的な動的解析手法を確立した。そして、本研究手法により構造物のインパルス応答とバネの破断を考慮したステップ応答を求めることができた。今後は、本研究手法をバネの塑性化や塑性ヒンジの発生を考慮した手法へと発展させ、実際の地震による構造物の応答を計算する。

参考文献

- 1) 伯野元彦：破壊のシミュレーション-拡張個別要素法で破壊を追う-，森北出版株式会社，230.p，1997.
- 2) 村上友基・沼田宗純・目黒公郎：2次元拡張個別要素法による石垣構造物の地震応答解析，https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejsee/70/4/70_I_506/_pdf/-char/ja（令和2年2月10日閲覧）
- 3) 株式会社ストラクチャー：鋼材の材料定数と基準強度，<https://www.structure.jp/databook/data123.htm>（令和2年2月10日閲覧）
- 4) MONOWEB：材料の密度一覧-機械設計エンジニアの基礎知識，<https://d-engineer.com/metal/density.html>（令和2年2月10日閲覧）