

ASI-Gauss法を用いた地震崩壊解析システムの開発 —解析コードの検証—

Development of Seismic Collapse Analysis System using ASI-Gauss Technique —Verification of Analytical Code—

○ 非 片平 直樹(筑波大院), 正 磯部 大吾郎(筑波大), 非 井根 達比古(防災科学技術研究所), 非 梶原 浩一(同左)
 Naoki KATAHIRA (Graduate School, Univ. of Tsukuba), Daigoro ISOBE (Univ. of Tsukuba),
 Tatsuhiko INE (NIED), Koichi KAJIWARA (NIED)

緒言

日本では、常に地震の脅威にさらされており、今後発生する大地震による被害を最小限にするためにも、耐震性の高い建造物を設計・建造することは必要不可欠である。現在、数値震動台と呼ばれる、構造物から都市空間全体までの地震による被害をシミュレーションできるシステムの開発が進められており、このシステムの完成に向けて、実大モデルを用いた実験やマイクロ・マクロモデルによる高精度な解析システムが必要とされている。

マクロモデルを用いた場合においても、地震による構造物の崩壊現象を厳密に再現するためには、

- ・部材レベルの挙動を一から追うことで構造物全体の挙動をシミュレートできること
- ・3次元モデルで解析を行うこと
- ・動的な解析を行えること
- ・部材の破断や接触といった現象を表現できること

といった要件が必要である。本研究では、ASI-Gauss法[1]を支持点加振[2]に基づいた地震応答解析プログラムに導入し、はり要素を用いたマクロモデル解析においても、実際の構造物に起こりうる挙動を短時間でシミュレーションすることが可能で、上記の要件を満たすような地震崩壊解析システムの開発を目的としている。

ASI-Gauss法

弾性域の場合

- ・1部材を2要素に分割
 - ・ Gauss積分点にて応力評価
- ⇒ 2点積分法の精度を得ることが可能

塑性域の場合

- ・線形要素は物理的等価関係[3]を用いて、塑性ヒンジの位置に応じて数値積分点をシフト
- ⇒ 最適な位置で応力を評価可能

弾性域・塑性域どちらの場合でも、十分な荷重・変位解を得られる

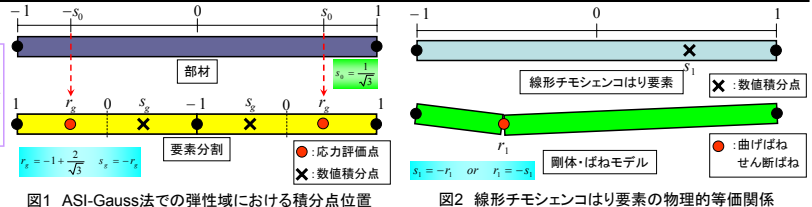


図1 ASI-Gauss法での弾性域における積分点位置

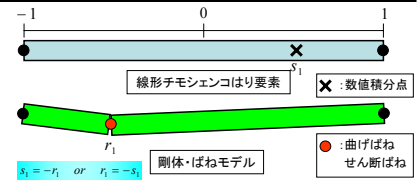


図2 線形要素は物理的等価関係

ASI-Gauss法の収束性の確認

解析対象
1層1スパン骨組モデル (図3・表1)

解析条件
時間積分法: Newmarkのβ法 (β=4/9)
時間増分: 5 [ms]
入力加速度: JMA-Kobe EW成分×1.5 (X軸方向)

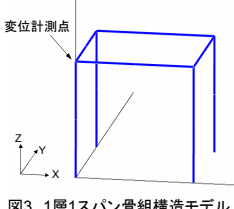


図3 1層1スパン骨組構造モデル

ヤング率	206.0 (GPa)
ポアソン比	0.3
密度	7.900×10^3 (kg/mm ³)
降伏応力	245.0 (MPa)
部材長	2000 (mm)
部材断面積	2500 (mm ²)
X軸まわり断面2次モーメント	5.208×10^6 (mm ⁴)
Y軸まわり断面2次モーメント	5.208×10^6 (mm ⁴)

計測点における変位の時刻歴 (図4)

- 高い収束性を有している
- 通常法64要素解析 : 約110分
- ASI-Gauss法2要素解析 : 約5秒

[CPU: Core2 DUO E6300(1.86GHz×2) メモリ: 3GB]

短時間で高精度な解を得ることが可能

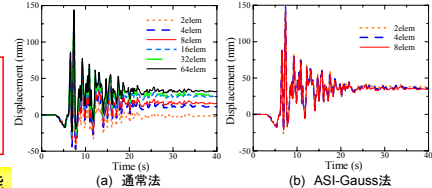


図4 1層1スパンモデル支持点加振解析結果

方杖ダンパーを用いた骨組構造の応答解析

方杖ダンパー[4]とは (図5)

地震エネルギーを吸収し、梁や柱を弾性域に留めることを目的とした部材

ASI-Gauss法を用いて、方杖ダンパーの効果を定性的に検証

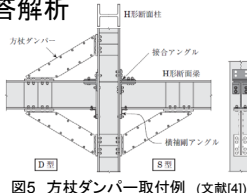


図5 方杖ダンパー取付例 (文献[4])

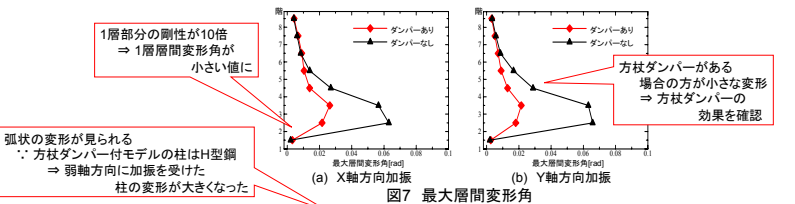


図7 最大層間変形角

解析対象

文献[5]内

- ・方杖ダンパーを用いた8層の事務所建築設計例(図6)
- ・方杖ダンパーを用いていない従来型骨組モデル

解析条件

入力加速度: El Centro NS波 (X軸方向のみ、Y軸方向のみ、1軸加振)
時間増分: 10[ms]

特記事項

1. 方杖ダンパーは座屈拘束要素: 断面力増分は軸力項のみを計算する
2. 1層の柱について: 断面積・断面2次モーメントを10倍 (基礎部の強固さの表現)
3. ピン支持となっている梁-柱接合部: 剛接と仮定

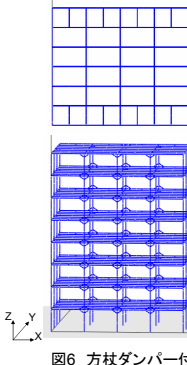


図6 方杖ダンパー付骨組モデル

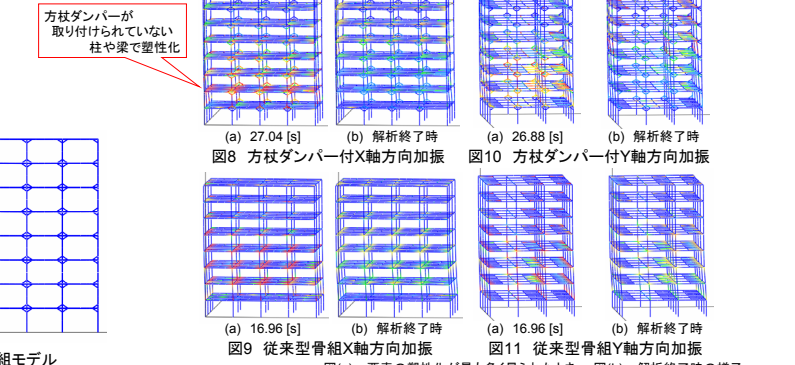


図8 方杖ダンパー付X軸方向加振 図9 従来型骨組X軸方向加振 図10 方杖ダンパー付Y軸方向加振 図11 従来型骨組Y軸方向加振

大規模骨組構造の地震崩壊解析

部材の破断や接触を表現するアルゴリズムを導入

破断アルゴリズム

曲げ変形によって部材の軸方向にひずみ ϵ_a が生じると仮定

$$\epsilon_{Bx} + \epsilon_{By} + \epsilon_z \geq \epsilon_{c0} \rightarrow \text{破断}$$

ϵ_z : 単軸引張による軸方向のひずみ
 ϵ_{c0} : 破断臨界値

$$\epsilon_z = \frac{L'}{L} = \frac{D_0}{2L} + \frac{\theta}{2 \sin(\theta/2)}$$

接触アルゴリズム

要素間の距離や位置関係を計算し、ある要素が別の要素に侵入したと判定された場合

- ・2つの要素をなす4つの節点間をギャップ要素を用いて拘束
- ・接触要素が持っている節点力を被接触要素に伝達

要素同士の接触を表現

解析対象

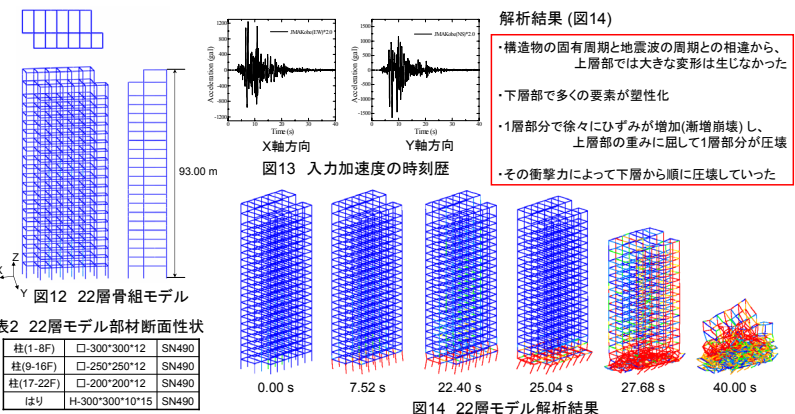
22層骨組構造モデル (図12・表2)
1層当たりの固定荷重: 400 [kgf/m²]
構造物固有周期 X方向: 約9秒
Y方向: 約11秒
破断臨界値 ϵ_{c0} : 0.22

解析条件

時間増分: 5 [ms]
解析ステップ数: 8000 [step]
入力加速度: JMA-Kobe (図13)
EW成分×2.0 (X軸方向)
NS成分×2.0 (Y軸方向)

計算時間

約45分
(CPU: Core2 Duo E6300 メモリ: 3GB)



結論

本稿では、ASI-Gauss法を用いた骨組構造の地震崩壊解析を行った。まず、1層1スパン構造物の支持点加振解析を行い、小コストで十分な収束解が得られることを確認した。次に、方杖ダンパーを用いた仮想骨組モデルに対し解析を行い、方杖ダンパーの効果を定性的に確認し、立体モデルを用いた解析の有効性を確認した。最後に、破断・接触を考慮した大規模骨組構造物の崩壊解析を行い、崩壊現象を短時間で解析できることを確認した。今後は、破断判定や接触の判定方法を見直すことで解析コードの改良を行う。また、様々な振動台実験の結果と定量的評価を行うことで、地震崩壊解析システムの開発を目指す。

参考文献

- [1] 磯部大吾郎, チョウミヨウリン: 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.
- [2] 磯部大吾郎, 津田真啓: 有限要素法によるRC骨組構造の地震崩壊解析コードの開発, 構造工学論文集, Vol.48B, (2002), pp.385-394.
- [3] Y. Toi : Shifted Integration Technique in One-Dimensional Plastic Collapse Analysis Using Linear and Cubic Finite Elements, Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 31, (1991), 1537-1552.
- [4] 多賀謙蔵, 他: 方杖ダンパー接合構造の設計例 その1 塑性設計法による初期断面算定手順, 日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ, (2006), pp.751-752.
- [5] 貝谷淳一, 他: 方杖ダンパー接合構造の設計例 その2 8階建て事務所建築の設計例, 日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ, (2006), pp.753-754.