

履歴型ダンパー付ラーメン架構の魚骨形モデル

正会員 船木 伸彦^{*1}
 加村 久哉^{*2}
 桑原 進^{*1}
 井上 一朗^{*1}

応答解析 履歴型ダンパー， 復元力特性，
 魚骨形モデル 曲げ変形

1. 序 本論では履歴型ダンパー付長方形ラーメン構造を対象とする．柱・梁で構成されるラーメン部分をフレーム，履歴型ダンパーを構成する部分をダンパー系と称する．本論の目的は，ラーメン架構の魚骨形モデル¹⁾を用いて，履歴型ダンパー付架構を魚骨形モデルに変換する方法を提示し，地震応答解析によりそのモデルを検討することにある．

2. 履歴型ダンパー付架構の魚骨形モデル 図1に履歴型ダンパー付架構の解析モデルを示す．フレームは魚骨梁と魚骨柱で構成される魚骨形モデル¹⁾に変換する．ただし，履歴型ダンパー付架構ではダンパーが塑性化する前後でフレームのモーメント分布が異なるので，魚骨梁の初期降伏モーメント¹⁾を算定する際には，ダンパー付架構とフレームだけの2つの弾性解析結果を用いる．ダンパー系は各層の層間変形だけに依存するせん断バネにモデル化する．複数のスパンにダンパーが設置されている場合には，ダンパー系をスパンごとにモデル化し，複数のせん断バネを並列に設置する．このダンパー系の復元力特性は図2に示すような完全弾塑性型とし，せん断耐力・弾性剛性を与えて特定する．

i 層のダンパー系のせん断耐力 ${}_D Q_{yi}$ は履歴型ダンパー降伏時にダンパー系が分担する水平耐力とする．

ダンパーからの付加軸力によって架構に曲げ変形が発生することを考慮すると， i 層のダンパー系の降伏層間変形角 ${}_D R_{yi}$ は図3のせん断変形による降伏層間変形角 ${}_{DS} R_{yi}$ と図4のダンパー降伏時の曲げ変形による層間変形角 ${}_{DM} R_{yi}$ の和として次式で表される．

$${}_D R_{yi} = {}_{DS} R_{yi} + {}_{DM} R_{yi} \quad (1)$$

${}_{DS} R_{yi}$ は，例えば図3のK形ブレースを想定する場合，次式で表される．

$${}_{DS} R_{yi} = \frac{(2 H_i / L_D)^2 + 1}{2 H_i / L_D} \frac{\sigma_{Dy}}{E} \quad (2)$$

ただし， L_D はダンパーが設置されているスパンのスパン長， E はヤング係数， σ_{Dy} はブレースの降伏応力度， H_i は階高である． ${}_{DM} R_{yi}$ は，各層のダンパーがすべて降伏した状態を仮定して算定する．図4のように付加軸力によって柱が μ_i 伸縮し， i 層床梁と $i+1$ 層床梁には相対回転角 ρ_i が生じる．したがって， ${}_{DM} R_{yi}$ は次式で表される．

$${}_{DM} R_{yi} = \sum_{k=1}^{i-1} \rho_k = \sum_{k=1}^{i-1} \frac{2 \mu_i}{L_D} = \frac{2}{E L_D} \sum_{k=1}^{i-1} \frac{N_{Dk} H_k}{A_{Ck}} \quad (3)$$

$$N_{Di} = \sum_{k=i+1}^N {}_D Q_{yi} H_i / L_D \quad (4)$$

ただし， A_{Ci} は i 層のダンパー支持柱の断面積， E はヤング係数である．(1)～(4)式より，曲げ変形を考慮した場合の K_{Di} は次式で得られる．

$$K_{Di} = {}_D Q_{yi} / \{ ({}_{DS} R_{yi} + {}_{DM} R_{yi}) H_i \} \quad (5)$$

曲げ変形を無視した場合の K_{Di} は次式で得られる．

$$K_{Di} = {}_D Q_{yi} / ({}_{DS} R_{yi} H_i) \quad (6)$$

3. 解析骨組 解析骨組は，履歴型ダンパーとしてK形の座屈拘束ブレース（ブレースの降伏応力度が 2.4 t/cm^2 ）を想定した骨組である．図5に6層骨組の形状を例として示す．骨組の層数は $3 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 12$ の4種類とする．ダンパー系の耐力分担率 β は， $0.0 \cdot 0.1 \cdot 0.2 \cdot 0.4 \cdot 0.6$ の5通りとする．設計条件は文献2)と同じである．

4. 解析結果及び考察 部材レベルでモデル化された骨組モデル³⁾の解析結果を正解値として，魚骨形モデルの解析結果と比較する．

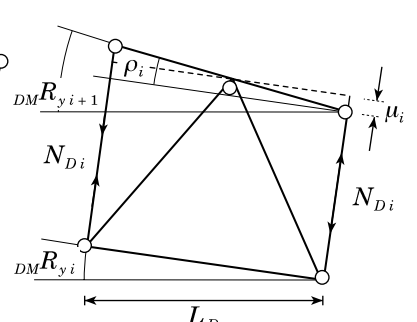
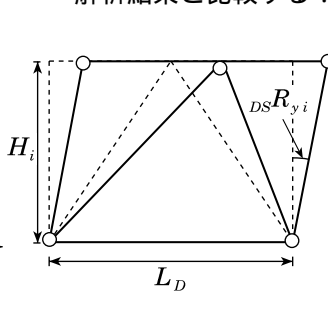
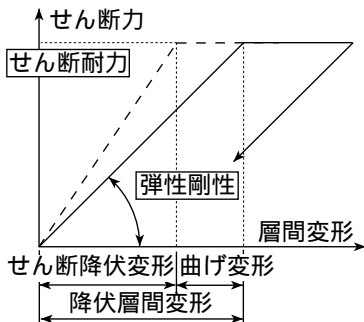
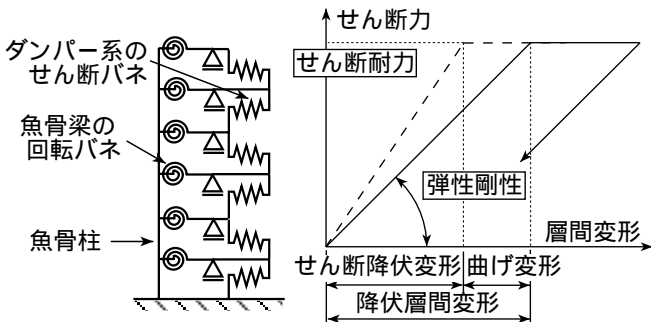


図1 魚骨形モデル

図2 ダンパー系の復元力特性

図3 せん断変形

図4 曲げ変形

静的増分解析結果を図6に示す。縦軸は層せん断力 Q_i , 横軸は層間変形角 R_i である。図中の点線はダンパー系の曲げ変形を考慮した魚骨形モデルの結果, 実線は骨組モデルの結果である。12層骨組で β が0.2の場合だけを示すが, 他の骨組についてもほぼ同様の結果が得られている。曲げ変形を考慮した魚骨形モデルの弾性剛性は, 骨組モデルの弾性剛性に比べて若干大きい。これは, 魚骨形モデルでは, 同一床レベルの節点回転角はすべて等しいという拘束条件を与えているためである。一方, 魚骨形モデルと骨組モデルの保有水平耐力は良く一致している。

次に地震応答解析結果を比較する。解析に用いた入力地震動は表2に示す2種類である。減衰は減衰定数が0.02の初期剛性比例型とする。なお, 魚骨形モデルの損傷に寄与する地震入力エネルギー E_{dm} を骨組モデルのそれと等しくする。 E_{dm} は, 歪エネルギー E_e ・運動エネルギー E_i ・重力仕事 E_g を用いて次式で定義される。

$$E_{dm} = (E_e + E_i - E_g)_{\max} \quad (9)$$

図7に正側と負側の最大層間変形角 R_{\max} の高さ方向分布を, 図8にダンパー系の塑性履歴吸収エネルギー E_{pi}^D の高さ方向分布を示す。図7・8において, 実線は骨組モデルの結果であり, 点線は魚骨形モデルの結果である。

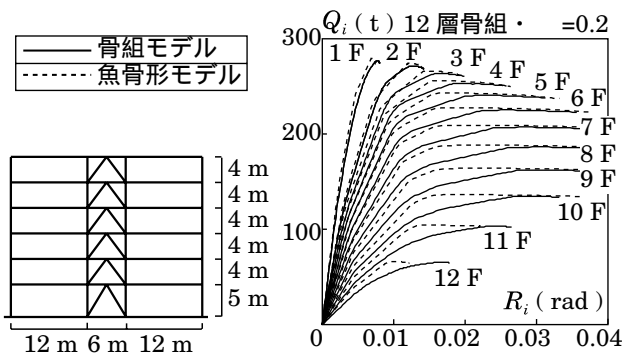


図5 解析骨組形状

図6 静的増分解析結果

表2 入力地震動

入力地震動	最大加速度	最大速度	継続時間
Yokohama ⁴⁾	312cm/s ²	52cm/s	40sec
NTTB3NS ⁵⁾	331cm/s ²	87cm/s	20sec

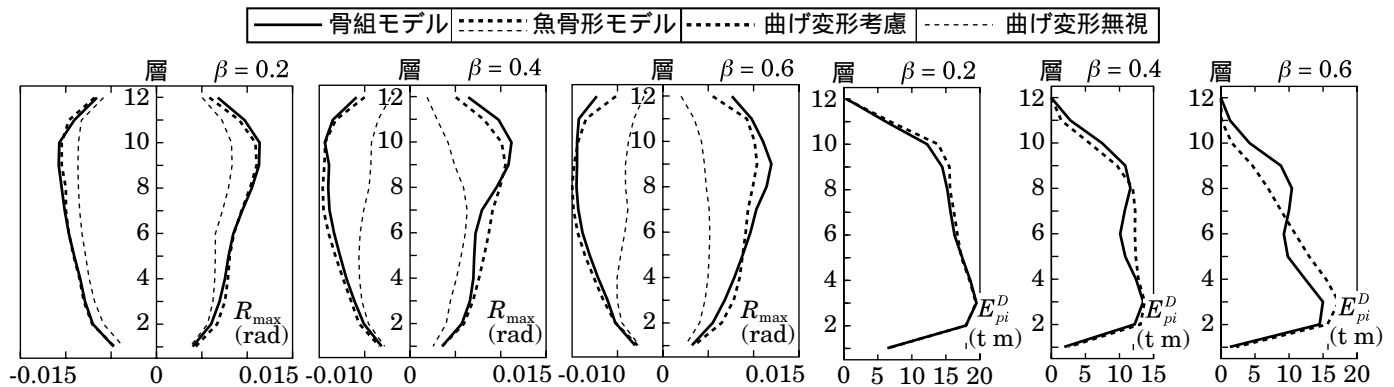


図7 最大層間変形角

図8 ダンパー系の塑性履歴吸収エネルギー

図7において点線は2種類あるが, 太い点線は曲げ変形を考慮した魚骨形モデルの結果, 細い点線は曲げ変形を無視した魚骨形モデルの結果である。なおここでは, 12層骨組で β が 0.2・0.4・0.6 の骨組, 入力地震動が Yokohama の場合について示すが, 他の骨組・入力地震動についてもほぼ同様の結果が得られている。図7の曲げ変形を考慮した魚骨形モデルの結果と骨組モデルの R_{\max} は良く一致している。しかし, 曲げ変形を無視した魚骨形モデルの R_{\max} は, 他の2つのモデルより小さい値をとっており, その傾向は β が大きい骨組において顕著である。したがって, ダンパー系をモデル化するには, 曲げ変形を考慮する必要がある。図8の E_{pi}^D についても, 曲げ変形を考慮した魚骨形モデルと骨組モデルの結果は, よく一致している。

5. 結 本論では, 履歴型ダンパ - 付架構を魚骨形モデルに変換する方法を提示し, 解析結果によりそのモデルを検討した。その結果以下のことが得られた。

- 1) ダンパー系をモデル化するには, ダンパーからの付加軸力によって生じる曲げ変形を考慮する必要がある。
- 2) 骨組モデルと魚骨形モデルの最大層間変形角・ダンパー系の塑性吸収エネルギー - 応答は良く一致する。

【参考文献】

- 1) 加村久哉, 小川厚治, 井上一朗: 鋼構造ラーメン骨組の魚骨形応答解析モデルへのモデル化について, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1998.7
- 2) 加村久哉, 小川厚治, 長谷川隆, 鈴木孝彦, 福田浩司, 染矢友英, 三村裕一: エネルギー - 吸収デバイス付きラーメン構造の地震応答 (その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.785~790, 1996.9
- 3) 小川厚治, 多田元英: 柱・梁接合部パネルの変形を考慮した静的・動的応答解析プログラムの開発, 第17回情報・システム・利用技術シンポジウム, 1994
- 4) 横浜市構造建築物耐震指導基準策定委員会: 振動応答解析マニュアル, 付-2 横浜標準波の作成
- 5) 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会, 特定研究課題1-SW G1, 日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会: 1995年兵庫県南部地震強震記録資料集, pp.244, 1996.1

【謝辞】

本研究は(社)日本鋼構造協会/鋼構造新設計法研究小委員会(委員長:高梨千葉大学教授)/「耐震要素の効果と耐震設計法WG」(主査:井上一朗阪大助教授)の一部として行われた。関係各位に謝意を表す。

*1 大阪大学工学部建築工学科

Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Osaka Univ.

*2 NKK基盤技術研究所都市工学研究部 Civil and Building Material Research Dept., Applied Technology Center, NKK Corp.