

1. 序

本論では、図1に示すような間柱で支持されたシヤパネル型履歴ダンパー付ラーメン架構を対象とする。ここで、シヤパネルはパネルの繰返しせん断降伏によりエネルギーを吸収する履歴型ダンパーである。本論では、間柱支持シヤパネル型履歴ダンパー付ラーメン架構を骨組の崩壊型などの特性を再現できる魚骨形モデル¹⁾へ変換する方法を示し、その妥当性を応答解析により検討する。

2. 間柱支持シヤパネル付架構の魚骨形モデル

図1に示す架構の柱・梁・パネルで構成されるフレーム部分を魚骨柱・魚骨梁からなる魚骨形モデル¹⁾に変換する。魚骨柱は弾性剛性・耐力から定まる完全弾塑性型の曲げ材、魚骨梁は弾性剛性・2次剛性・初期降伏モーメント・耐力から定まる Tri-linear 型の回転バネとして扱われる。魚骨柱については文献1)と同様にモデル化する。また、履歴型ダンパーは弾性剛性・せん断耐力から

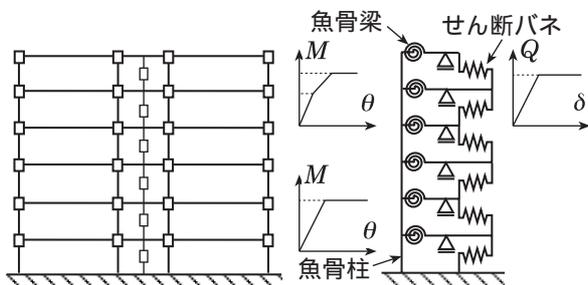


図1 間柱支持シヤパネル型履歴ダンパー付架構と魚骨形モデル

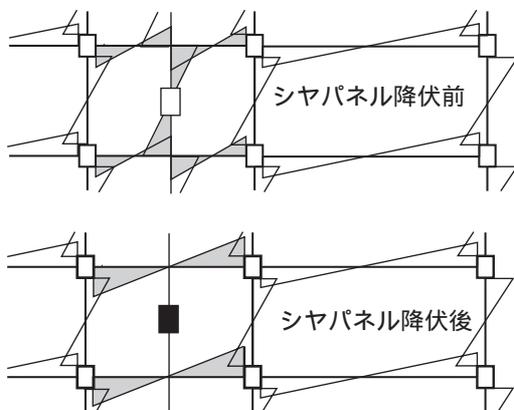


図2 ダンパー降伏前後のモーメント増分

定まる完全弾塑性型のせん断バネに置換し、魚骨形モデルに図1のように組み込む²⁾。本論では、せん断バネの弾性剛性は「履歴型ダンパー付架構骨組モデルの弾性解析結果」から算定しており、せん断バネの耐力はシヤパネルのせん断耐力とし、シヤパネルのウェブ断面積にせん断降伏応力度を乗じて算定する。

座屈拘束ブレース型履歴ダンパー付ラーメン架構の魚骨形モデルへの変換方法は文献2)ですでに提案されており、その妥当性についても確認されている。本論では座屈拘束ブレースと間柱支持シヤパネルの相違点を示し、魚骨形モデルに変換する。間柱支持シヤパネルが座屈拘束ブレースと異なるのは、図2に示すように、間柱と梁の接合部に曲げモーメントが作用するため、シヤパネルの降伏前後でモーメント増分が変化することである。その結果、魚骨梁の弾性剛性・耐力・初期降伏モーメントを算定する際に間柱から付加される曲げモーメントを考慮しなければならない。

2.1 魚骨梁の弾性剛性

魚骨梁の弾性剛性は対応する層に属するすべての梁端の剛性合計として与えられる¹⁾。図3に層せん断力-層間変位関係の一例を示す。間柱支持シヤパネルの降伏前後でフレームの剛性が変化する。本論ではこの2種類の剛性のうち、どちらかを代表させて魚骨梁の弾性剛性とする。

剛性 A: 間柱が接合する梁を一本の梁と考えて、魚骨梁の剛性を算定する方法。(図2のシヤパネル降伏後の増分に対応し、考慮する梁端の数はスパン数の2倍となる。)

剛性 B: 間柱と梁の接合部も一つの節点、すなわち、梁が2本あると考えて、魚骨梁の剛性を算定する方法。

(図2のシヤパネル降伏前の増分に対応し、剛性 A の場合よりも梁端が間柱1本につき2箇所増え、スパン長も短くなる。)

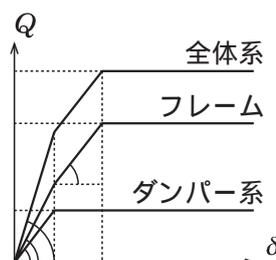


図3 層せん断力-層間変形の一例

この剛性算定法の相違による影響は4.1項で検討する。

2.2 魚骨梁の耐力

魚骨梁の耐力は元の骨組のフロアモーメントとして与えられる¹⁾。フロアモーメントは、対応する床レベルに属する各節点(ただし、梁と間柱の接合部節点は除く)での柱・梁・パネルの節点塑性モーメント³⁾のうち、最小の値の総和である。節点塑性モーメントの算定には、各部材に作用するせん断力を考慮する必要がある。

崩壊機構形成時のモーメント分布の一例を図4に示す。間柱支持シヤパネル付架構では、間柱と梁の接合部にはシヤパネル降伏後もそのせん断耐力に対応した曲げモーメントが作用する。間柱が接合される梁の梁端での節点塑性モーメントを求めるとき、間柱からの付加曲げを考慮したせん断力を用いて算定する。本論では、間柱の半曲点は間柱中央にあると仮定して算定する。

2.3 魚骨梁の初期降伏モーメント

魚骨梁の初期降伏モーメント \overline{M}_y は対応する床レベルに属する梁端・パネル・柱端の中で最初に降伏したときの各梁の節点位置でのモーメント M_{yi}^* の和である¹⁾。

この M_{yi}^* および魚骨梁の初期降伏モーメントは設計用地震荷重を水平載荷したときの弾性解析結果と各部材の全塑性モーメントから算定する。これまで、「履歴型ダンパー付架構骨組モデルの弾性解析結果」(以下、弾性解析(D)、結果から得られる各部材の材端モーメントを M_{FDk} とする)および「履歴型ダンパーを取り除いたフレームのみの弾性解析結果」(以下、弾性解析(F)、結果から得られる各部材の材端モーメントを M_{Fk} とする)の両方から魚骨梁の初期降伏モーメント \overline{M}_y を算定していた²⁾が、本論ではこれらのどちらか片方のみを用いて算定する方法についても検討する。従来の算定方法を算定法(F+D)とし、弾性解析(D)および弾性解析(F)の片方ずつから求める方法をそれぞれ算定法(D)、算定法(F)とする。

算定法(F+D)において初期降伏状態での各部材の材端でのモーメント分布 M_k は次式で算定する。

$$M_k = \lambda_{Di} M_{FDk} + \lambda_{mini} M_{Fk} \quad (1)$$

ただし、 λ_{Di} は*i*層ダンパーが降伏する荷重係数で弾性解析(D)およびダンパーの耐力から算定する。 λ_{mini} は*i*床を構成する各部材の全塑性モーメント M_{pk} と(1)式を等値して得られる λ の最小値である。これより節点モー

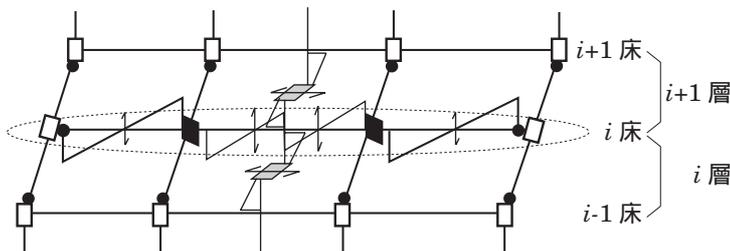


図4 崩壊機構形成時のモーメント分布の一例

メントを求め、魚骨梁の初期降伏モーメントを算定する。

算定法(D)・算定法(F)による魚骨梁の初期降伏モーメントは次式で算定される。

$$\overline{M}_y = \min \left(\frac{M_{pk}^*}{M_k^*} \right) \sum M_k^* \quad (2)$$

ただし、 M_{pk}^* は各部材の節点塑性モーメント、 M_k^* は弾性解析(D)または弾性解析(F)の節点位置でのモーメント分布とする。

3. 解析骨組

解析骨組は文献4)で用いられた骨組と同じものとし、座屈拘束ブレースの代わりに間柱支持シヤパネルを組み込む。図5に解析骨組の形状を6層を例として示す。層数は3・6・9・12の4種類。ダンパー系の水平耐力分担率は0.1とする。シヤパネルのせいは1m、降伏応力度は1.0 t/cm²とし、間柱はダンパー降伏時に作用する曲げモーメントの1.2倍に対する必要最小断面とする。

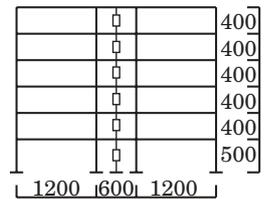


図5 解析骨組の例

4. 解析結果および考察

部材レベルでモデル化された詳細骨組モデル(以下、骨組モデル)の解析結果を正解値として魚骨形モデルと比較する。骨組モデルの解析には clap.f⁵⁾、魚骨形モデルの解析には熊本大学小川厚治教授作成の fish.f を用いた。

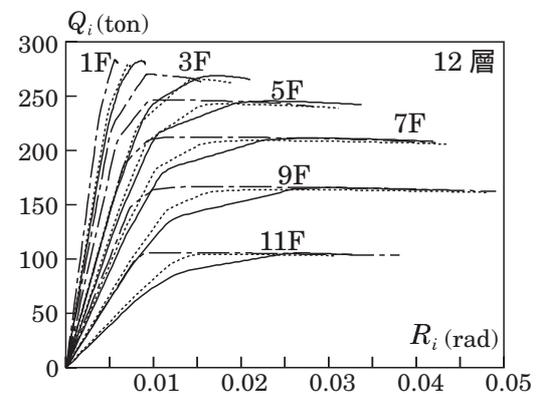
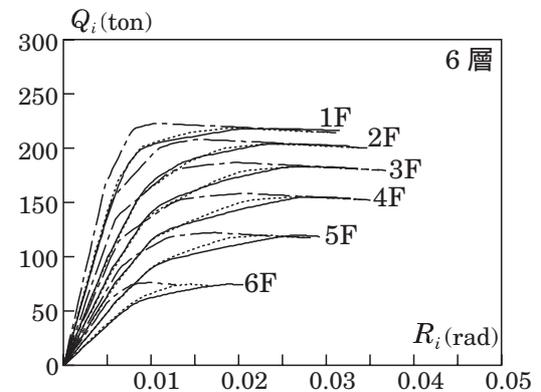


図6 剛性算定法の相違による影響

4.1 静的増分解析結果

はじめに、剛性算定法の異なる魚骨形モデルの静的増分解析結果を図6に示す。縦軸が層せん断力 Q 、横軸が層間変形角 R である。実線が骨組モデル・破線が剛性 A で算定した魚骨形モデル・一点鎖線が剛性 B で算定した魚骨形モデルである。他の層数においても同様な結果が得られたので、ここでは6層と12層(奇数層)を代表して示す。剛性 B、すなわちシヤパネルの降伏前のモーメント増分に対応させて魚骨梁の剛性を算定した魚骨形モデルは骨組モデルとは大きく外れている。これは、間柱と梁の節点も他の節点と同じだけ回転すると仮定して剛性を算定したためである。剛性 A で算定した場合には弾性剛性はよく一致している。通常、魚骨形モデルの弾性剛性は骨組モデルに対してやや高めとなる¹⁾が、剛性の低い方で代表しているため、結果として一致する。また、保有水平耐力はよく一致している。

つぎに、骨組モデルと初期降伏モーメント算定法の異なる魚骨形モデルの静的増分解析結果を図7に示す。実線が骨組モデル・点線が算定法(F+D)・一点鎖線が算定法(D)・破線が算定法(F)による魚骨形モデルである。今回の解析では魚骨梁の初期降伏モーメント算定法の相違による影響はほとんど見られなかった。これは間柱支持シヤパネルの剛性比・水平耐力分担率がともに低いため、弾性解析(D)および弾性解析(F)のモーメント分布に大きな違いが見られなかったためである。

4.2 地震応答解析結果

次に、魚骨形モデルと骨組モデルの地震応答解析の結果を比較する。地震応答解析に用いた地震波は表1に示

す2種類(Yokohama⁶⁾, NTTB3NS⁷⁾)である。粘性減衰は減衰定数0.02の剛性比例型とする。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を骨組モデルのそれと等しくする。損傷に寄与する地震入力エネルギー E_{dm} は次式で表される。

$$E_{dm} = (E_e - E_g)_{\max} \quad (3)$$

ただし、 E_e は全歪エネルギー・ E_g は重力仕事である。

図8に正側・負側の最大層間変形角 R_{\max} の高さ方向分布を示す。図9にはダンパー系の塑性吸収エネルギー E_{Dp} の高さ方向分布を示す。ダンパー系の塑性吸収エネルギーはシヤパネルおよび間柱の塑性吸収エネルギーの和としている。凡例は静的増分解析結果の際と同様である。代表して6層・12層の結果を示しているが、他のパラメータについても同様の結果を得ている。これらについては骨組モデルと魚骨形モデルはよく一致しており、魚骨梁の初期降伏モーメント算定法の相違による影響もほとんど見られない。

図10に梁の塑性吸収エネルギー E_{Bp} の高さ方向分布・図11に梁の累積塑性回転角 $\Sigma \theta_{Bp}$ の高さ方向分布を示している。図11の骨組モデルの応答は各梁端ごとに印で表示しており、応答値は梁端の累積塑性回転角とパネルの累積塑性回転角の和で示している。この図における魚

表1 入力地震波

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

—— 骨組モデル	—— 魚骨形モデル(D)
..... 魚骨形モデル(F+D)	---- 魚骨形モデル(F)

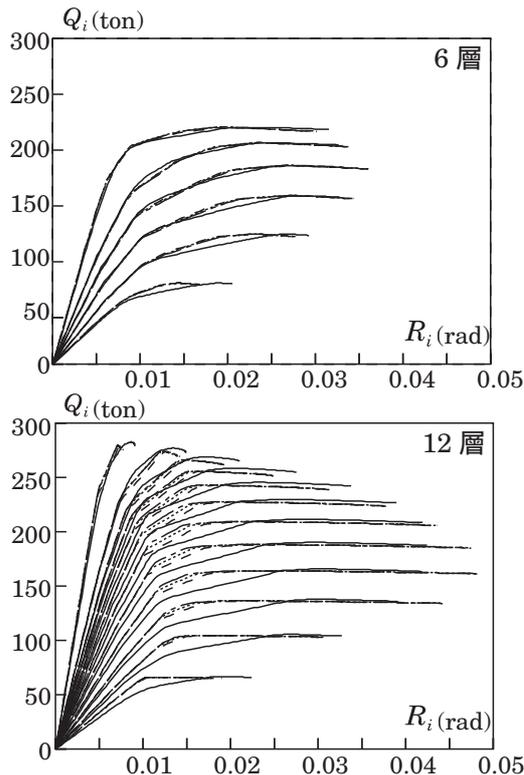


図7 初期降伏モーメント算定法の相違による影響

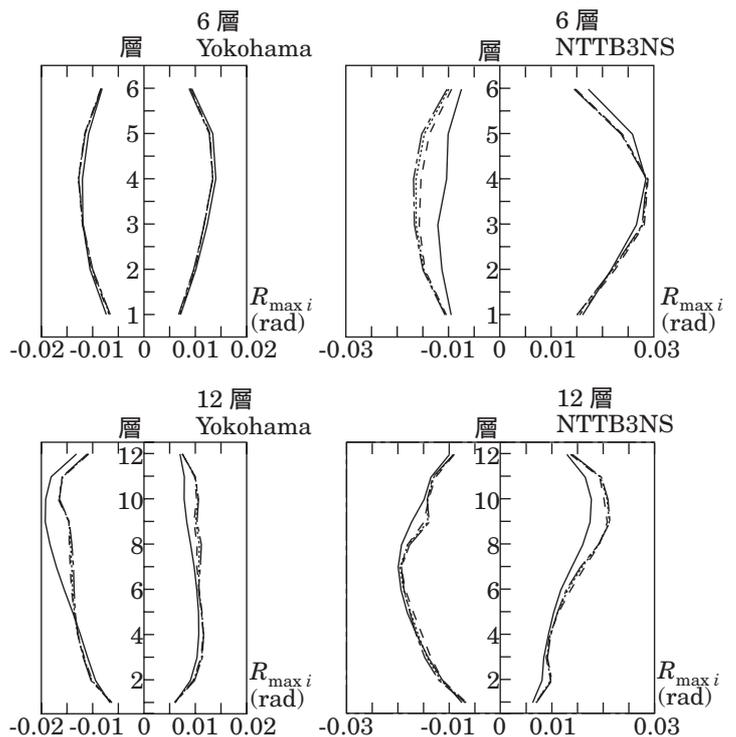


図8 最大層間変形角

骨形モデルの応答値は梁最大累積塑性回転角の予測値¹⁾である。梁の塑性吸収エネルギー・累積塑性回転角とも良好な近似を得ているが、初期降伏モーメント算定法の相違による影響が比較的表れている。

5. 結論

本論では間柱支持シヤパネル型履歴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、骨組モデルと魚骨形モデルの解析結果により、モデルの妥当性について検討した。その結果以下のことが得られた。

- 1) 魚骨梁の弾性剛性はダンパー降伏後のモーメント増分に対応する剛性 A を用いて算定する。
- 2) 魚骨梁の耐力は間柱からの付加曲げを考慮した梁のせん断力を用いて算定する。
- 3) 魚骨梁の初期降伏モーメント算定法の相違による影響はあまり見られない。
- 4) 以上の魚骨形モデルの応答解析結果は骨組モデルのそれに対して良い対応を示す。

【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, pp.369-372, 1998.7
- 2) 船木伸彦, 加村久哉, 桑原進, 井上一朗: 履歴型ダンパー付ラーメン架構の魚骨形モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.915-916, 1998.9.
- 3) 桑原進, 小川厚治, 井上一朗: 柱梁接合部を考慮した部材間耐力比と保有水平耐力略算法, 鋼構造年次論文報告集, 第6巻, pp.357-362, 1998.11.
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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】

本研究をまとめるにあたり、熊本大学教授小川厚治教授、京都大学教授井上一朗教授には貴重な助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。

—○— 骨組モデル	— — — 魚骨形モデル(D)
..... 魚骨形モデル(F+D)	---- 魚骨形モデル(F)

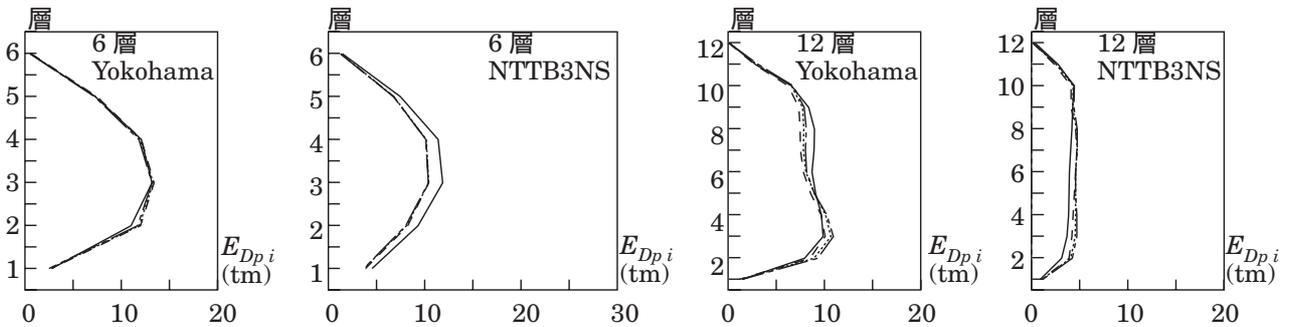


図9 ダンパー系の塑性吸収エネルギー

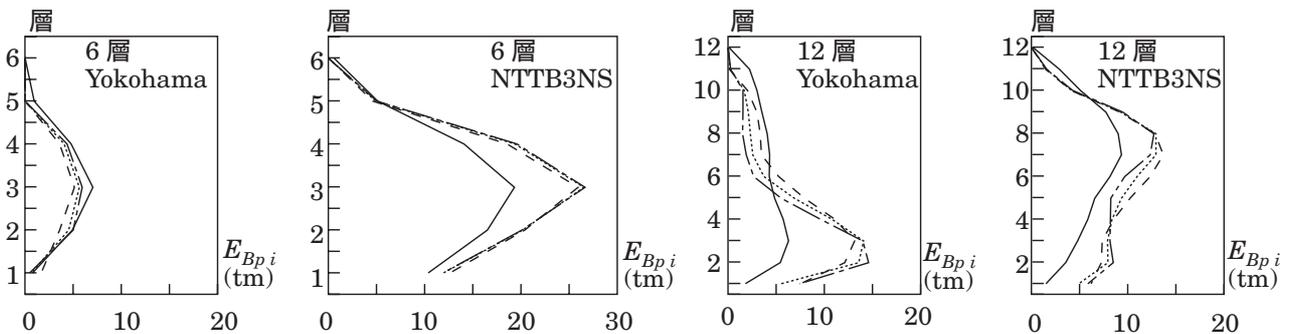


図10 梁の塑性吸収エネルギー

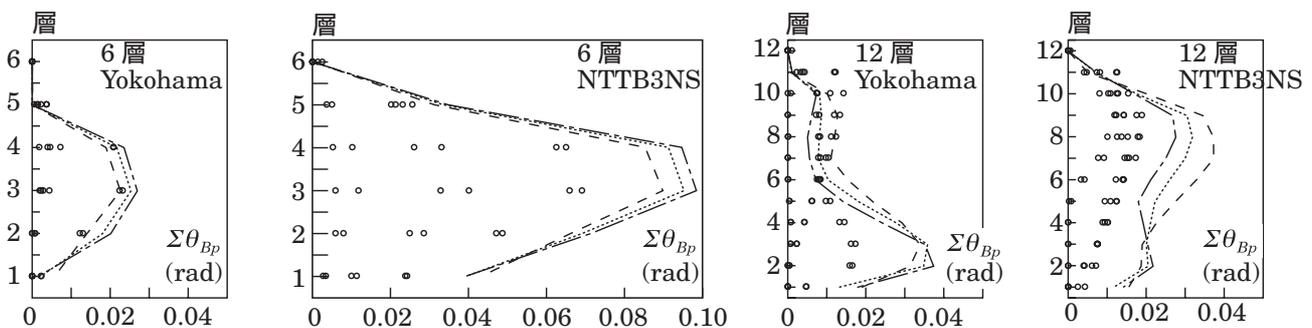


図11 梁の累積塑性回転角

*1 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻・大学院生

*2 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻・助手

Dept. of Architectural Eng., Osaka University. / Graduate Student

Dept. of Architectural Eng., Osaka University. / Research Associate