

論文 耐震スリットを有する鉄筋コンクリート造建物の剛性と耐力に関する研究

大村哲矢*1・林静雄*2

要旨：無開口壁の3面に完全スリットを設けた場合、その梁の剛性は矩形梁よりも増加すると予測される。スリット付き壁が接合する梁の剛性評価を適切に行うべきであるが研究資料は少ない。本論では無開口壁の3面に完全スリットを有するフレームを想定した梁の2次元静的弾塑性有限要素法解析を行い、「スリット付き無開口壁が接合する梁」を「均一な矩形断面とした線材」でモデル化するために、その梁の剛性を矩形梁の剛性に対する比率で示した。

キーワード：耐震スリット、無開口壁が接合する梁、有限要素法解析、剛性倍率

1. はじめに

そで壁、垂れ壁、腰壁、方立て壁などの剛性と耐力を無視し明確な崩壊形を形成させるため、壁とフレームの際に耐震スリット（以下、スリット）を設ける設計はよくみられる。

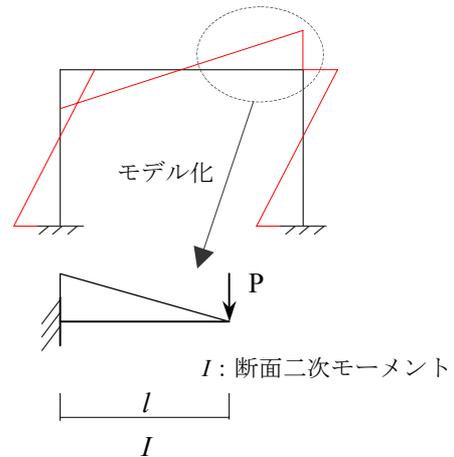
鉛直方向のスリットの幅は腰壁、袖壁等の高さ（水平方向のスリットの幅は腰壁、そで壁等の長さ）の1/100以上^[1]とし、地震時にフレームと緩衝しないように配慮する。

無開口壁の3面に完全スリットを設けた場合、剛性は矩形断面梁よりも増加すると予測される。梁の剛性の増加はスリット幅および接合する壁と梁の剛比などの影響を受けると考えられ、梁の剛性評価を適切に行うべきであるが研究資料は少ない。

本論では無開口壁の3面に完全スリットを有するフレームを想定した梁の2次元静的弾塑性有限要素法解析を行い、「スリット付き無開口壁が接合する梁」を「均一な矩形断面とした線材」でモデル化することを目標とし、その梁の剛性を矩形梁の剛性に対する比として示す。

2. 解析

地震時の梁の曲げモーメントは逆対称モーメントとなり、それをスパン中央で2分割した曲げモーメントは図—1と同等になる。



図—1 曲げモーメント図

図—1の曲げ剛性は次式で表せる。

$$K_1 = \frac{3EI}{l^3} \quad (1) \quad (E: \text{ヤング係数})$$

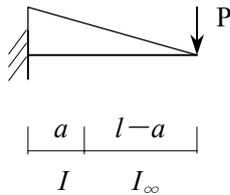
同様に無開口壁が接合する梁でスリット幅が a の場合は図—2のようになる。梁スパン $l-a$ の壁が接合する部分の断面二次モーメントを無限大と仮定すると図—2の曲げ剛性は次式で表せる。

*1 西松建設(株)

博士(工学) (正会員)

*2 東京工業大学建築物理研究センター・教授

工博 (正会員)



図—2 曲げモーメント図

$$K_2 = \frac{4EI}{(2l-a)^2 \cdot a} \dots\dots (2)$$

スリット幅 a を有する壁が梁に接合すると、その梁の曲げ剛性は次式の比率で増加することになる。

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{4}{3} \cdot \frac{l^3}{(2l-a)^2 \cdot a} \dots\dots (3)$$

梁の内法スパン 6,000mm、スリット幅 30mm を想定し $l=3,000\text{mm}$ 、 $a=30\text{mm}$ を代入すると **スリット付き無開口壁が接合する梁の矩形梁に対する剛性の倍率** (以下、剛性倍率) は約 34 倍となる。しかし、図—2 における梁スパン $l-a$ の壁が接合する部分の断面二次モーメントは無限大ではない。接合する壁が全断面有効として剛性増加に働かないため、剛性倍率は 34 倍より低下すると思われるが、接合する壁がどの範囲まで有効に働くか明確ではない。

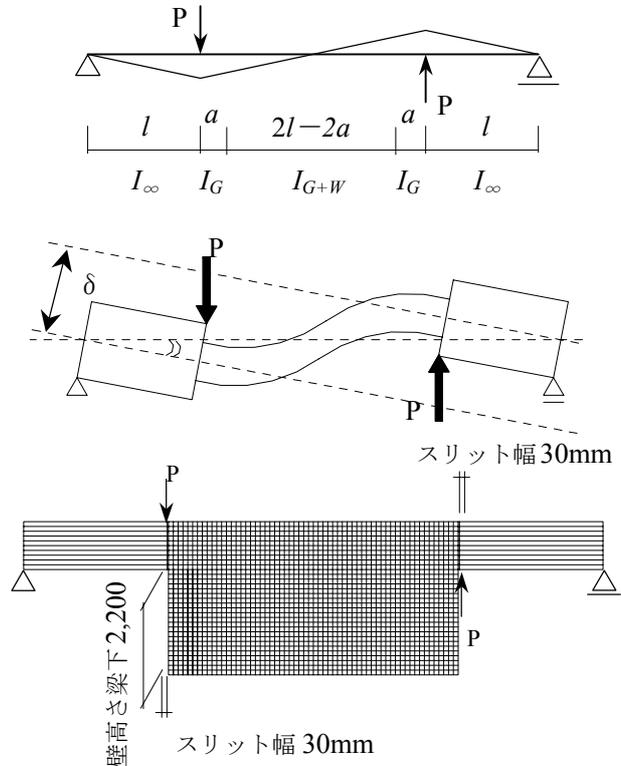
本論では梁の断面をパラメータとし図—3 に示す方法で 2 次元静的弾塑性有限要素法解析を行う。図—3 におけるスリット幅 a は 30mm、梁スパン $2l=6,000\text{mm}$ 、壁の高さは梁下端から 2,200mm とした。スリット付き壁は非耐力壁であり一般的に壁厚を厚くしないため、本論では壁厚 150mm としパラメーターとはしない。

2.1 解析モデル

解析モデル一覧を表—1~2 に示す。表—1 におけるモデル名は梁の断面を示し、モデル名の末尾に「w」が付くものはスリット付き無開口壁が接合する梁モデルを示す。表—2 のモデルは図—4~6 に示すフレームをもとにしたラーメンフレームの 3 モデルである。

コンクリートは弾塑性として、要素内の歪み

は一定とし、二軸応力下の構成法則は、Darwin, Pecknold による等価歪み^[2]に基づいている。引張応力度の場合は最大引張応力度に達するまで線形弾性とする。最大引張応力度に達した後、



図—3 载荷模式図

表—1 解析モデル(梁)

モデル名	梁幅	梁せい	梁断面形状
45 × 60	450	600	矩形
60 × 60	600	600	矩形
45 × 75	450	750	矩形
60 × 75	600	750	矩形
45 × 100	450	1,000	矩形
60 × 100	600	1,000	矩形
45 × 60 w	450	600	壁付き
60 × 60 w	600	600	壁付き
45 × 75 w	450	750	壁付き
60 × 75 w	600	750	壁付き
45 × 100 w	450	1,000	壁付き
60 × 100 w	600	1,000	壁付き

表—2 解析モデル(フレーム)

モデル名	壁の有無	梁断面
Frame-0	なし	図6の通り
Frame-W	あり	図6の通り
Frame-B=110	なし	図6の梁幅=1,100

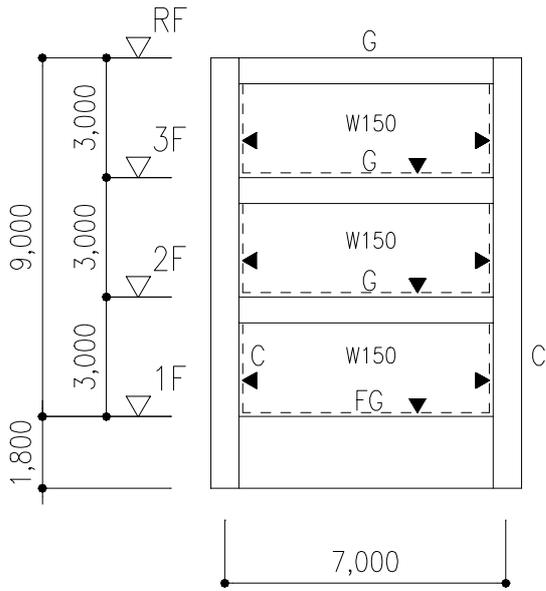


図-4 軸組図

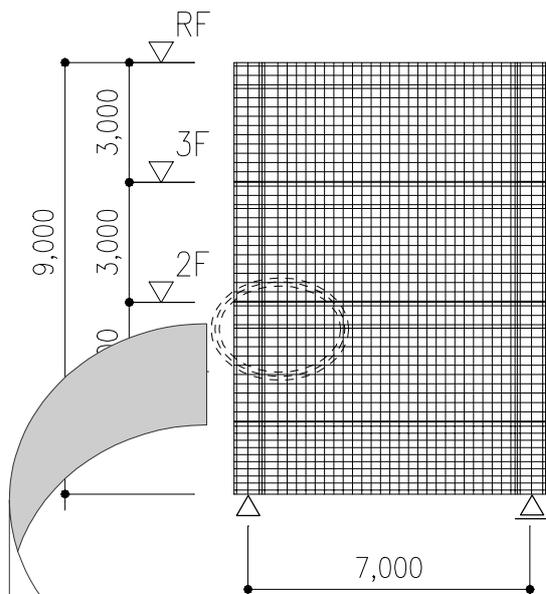


図-5 要素分割図

拡大

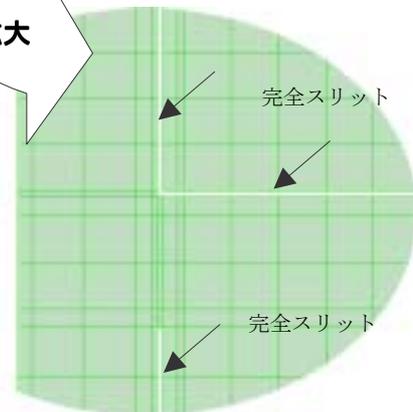


図-5a 図-5の拡大図

柱リスト

材質； D13- SD295A, D25 - SD345

全階		加力方向
主筋	12-D25	
帯筋	■-D13@100	

梁リスト

材質； D13 - SD295A, D25 - SD345, D29 - SD390

	端部	中央
R階		
上端筋	5-D25	3-D25
下端筋	5-D25	3-D25
スターラップ	□-D13@200	
3階		
上端筋	6-D25	4-D25
下端筋	6-D25	4-D25
スターラップ	□-D13@150	
2階		
上端筋	7-D25	5-D25
下端筋	7-D25	5-D25
スターラップ	□-D13@100	
基礎梁		
上端筋	6-D29	4-D29
下端筋	6-D29	4-D29
スターラップ	□-D13@200	

図-6 部材リスト

要素の剛性は負勾配とし歪度の増大とともに応力を低下させるモデルとした。

コンクリート圧縮強度は 30N/mm^2 とする。鉄筋は線材要素とし応力度—歪度関係は bi-linear 型とする。鉄筋はコンクリートに完全に定着するものとする。

表—1 の梁単体のモデルは図—3 に示すとおりに載荷した。図—5 のフレームモデルの支点は基礎梁下をピン支持として載荷した。柱軸力は各階毎に柱 1 本当り 200kN 、水平力は R 階から順に 3 : 2 : 1 の比率で載荷した。

表—1 の梁単体のモデルは梁主筋上下端とも 5—D25、スタラップは D13@150、壁筋は縦横とも D10@150 シングル配筋を想定した。

図—5 のフレームモデルの要素は図—6 に示す部材リストをもとにコンクリートおよび鉄筋を配置した。

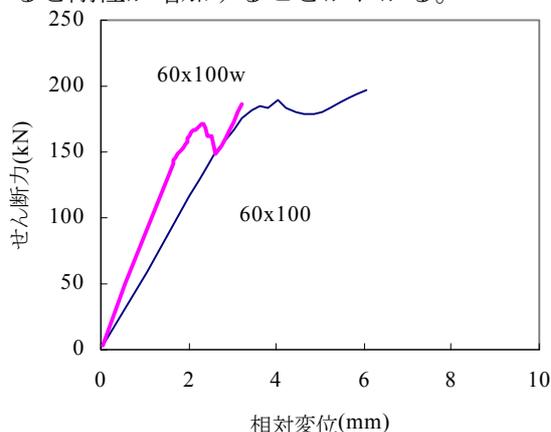
3. 解析結果および考察

3.1 せん断力—相対変位関係

図—7 に梁断面が $600 \times 1,000$ のモデルとそれにスリット付き無開口壁が接合するモデルのせん断力—相対変位関係を示す。

主筋の付着劣化を考慮していないため梁主筋が降伏し最大耐力に達した。梁主筋が降伏したのちは多くのコンクリート要素が歪軟下域に達し、不釣合い力が大きくなり収束できずに計算を終了した。

図—7 よりスリット付き無開口壁が梁に接合すると剛性が増加することがわかる。



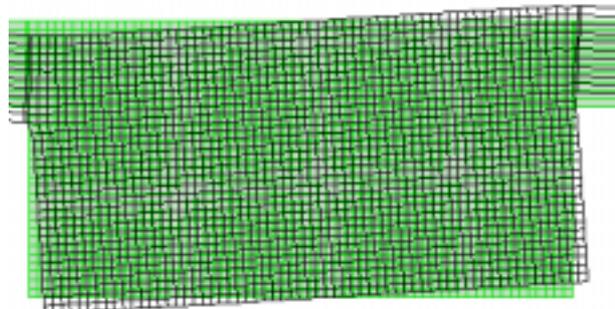
図—7 せん断力—相対変位関係

3.2 節点変位

図—8~9 に梁断面が $600 \times 1,000$ のモデルおよび $600 \times 1,000$ の梁にスリット付き無開口壁が接合するモデル (60×100 モデルおよび $60 \times 100w$ モデル) の節点変位図を示す。 60×100 モデルは逆対称モーメントが加わった梁の一般的な節点変位図を示すが、 $60 \times 100w$ モデルはスリット付き無開口壁が接合しているために梁端部が局所的に変形していることがわかる。



図—8 60×100 モデル変位図



図—9 $60 \times 100w$ モデル変位図

3.3 コンクリート要素の応力

図—10~11 に 450×600 の梁にスリット付き無開口壁が接合するモデルおよび $600 \times 1,000$ の梁にスリット付き無開口壁が接合するモデル ($45 \times 60w$ および $60 \times 100w$ モデル) のコンクリート要素の応力図を示す。梁の断面が大きい $60 \times 100w$ モデルの方がスリット付き無開口壁に発生する応力の範囲が広いことがわかる。

3.4 剛性倍率—梁せい関係

図—12 に剛性倍率—梁せい関係を示す。表—1 のモデルを解析し、その結果によるせん断力—相対変位関係から初期剛性を算出し、「スリット付き無開口壁が接合する梁」の「矩形梁」に対する剛性の比率をプロットした。表—1 を見てわかるように $b \times D$ が 6 種類あり、それぞれ壁の有無のモデルがあるために、6 点をプロットした。

図は矩形断面の梁にスリット付き無開口壁が接合した場合にどの程度の剛性増加がみられるかを把握するために、梁せいをパラメータにして最小二乗法により回帰線を求め、下式を得た。

$$\text{剛性倍率} = -0.0014D + 2.9 \dots\dots\dots (4)$$

D : 梁せい(mm)

梁せいが大きくなると剛性倍率は小さくなる傾向がみられた。

3.5 剛性倍率—断面二次モーメント関係

図—13 に剛性倍率—梁せい関係を示す。前節と同様に剛性倍率をプロットした。本節では矩形梁の断面二次モーメントをパラメータにして最小二乗法により回帰線を求め、下式を得た。

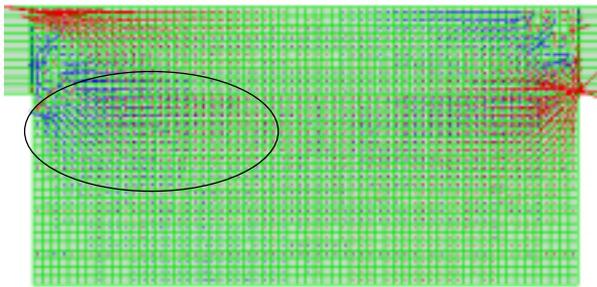
$$\text{剛性倍率} = 250 \times I^{-0.206} \dots\dots\dots (5)$$

I : 断面二次モーメント(mm⁴)

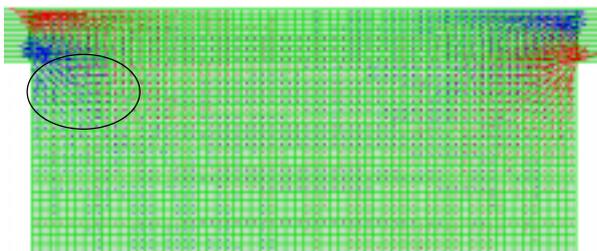
断面二次モーメントには梁主筋を考慮した。断面二次モーメントが大きくなると剛性倍率は小さくなる傾向がみられた。

3.6 梁幅倍率—断面二次モーメント関係

図—14 に断面二次モーメント—梁幅の倍率関係を示す。スリット付き無開口壁が接合した梁を矩形梁に置換るために、剛性が等しくなるまで矩形梁の幅を大きくする方法を用いどの程度まで矩形梁の幅を大きくすれば剛性が同等に



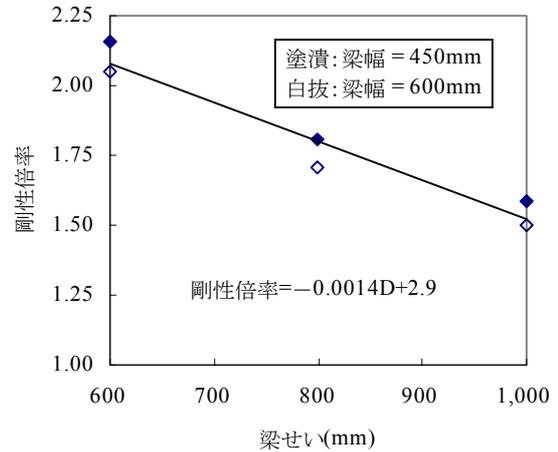
図—10 60×100w モデル応力図



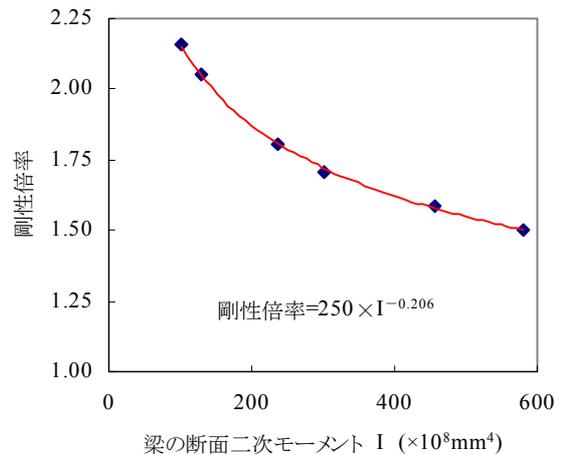
図—11 45×60w モデル応力図

なるかを示した。図の梁幅の倍率計算値は梁剛性の算出に梁主筋を考慮しているため、梁幅の倍率は図—13 の剛性倍率より少し大きめになった。

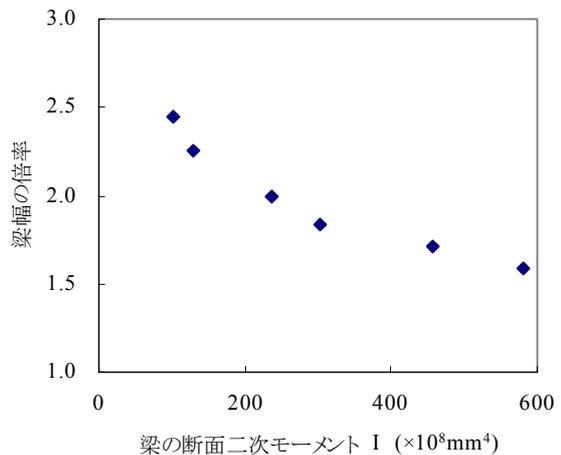
梁断面が 450×600 のものにスリット付き無開口壁が接合した場合、矩形梁に置換するため



図—12 剛性倍率—梁せい関係



図—13 断面二次モーメント—剛性倍率関係



図—14 断面二次モーメント—梁幅の倍率関係

には梁幅を約 2.5 倍にすると剛性が同等になることを図は示している。

3.7 フレームモデルの層せん断力—層間変位関係

図—15 に Frame-W と Frame-B=110 の層せん断力—層間変位関係を示す。梁端部の主筋が降伏し最大耐力に達した。梁主筋が降伏したのちは多くのコンクリート要素が歪軟下域に達し、不釣合い力が大きくなり収束できずに計算を終了した。本論のモデルではスリット付き無開口壁が梁に接合しても最大耐力はほぼ変らなかった。スリット付き無開口壁と接合する梁の危険断面位置における平面保持を仮定した曲げ強度が矩形断面の梁の曲げ強度に等しくなるためであると思われる。

スリット付き無開口壁が接合した梁を有するフレームと同等な剛性となるように(5)式を用いて梁幅を算出し、図—6 の梁幅を 1,100 としたモデルが Frame-B=110 である。

Frame-W と Frame-B=110 は剛性がほぼ同等であることがわかり、スリット付き無開口壁が接合した梁を有するフレームは(5)式を用いて梁幅を増加することにより矩形断面にモデル化できるとと思われる。

3.8 フレームモデルの節点変位

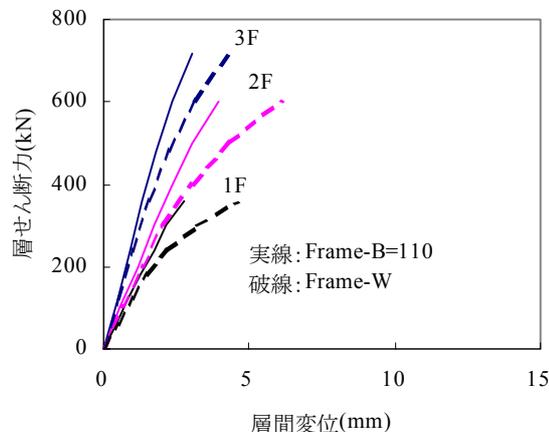
図—16～17 に Frame-0 と Frame-W の節点変位図を示す。図—16 のような純ラーメンフレームは梁が全体的に変形するのに対し、図—17 のようなスリット付き無開口壁が接合した梁を有するフレームは梁端部が局所的に変形する傾向が見られ、そのことがフレーム剛性の増加に影響していると思われる。

4. 結論

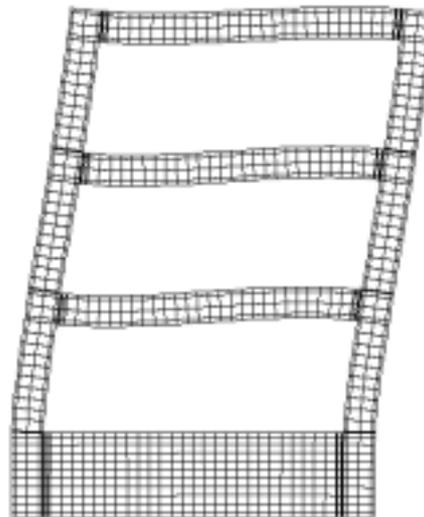
- 1) 本論ではスリット付き無開口壁が接合する梁を均一な矩形断面として線材でモデル化できるように、「スリット付き無開口壁が接合する梁」の「矩形梁」に対する剛性倍率を(5)式で示した。
- 2) 本論のモデルではスリット付き無開口壁が梁に接合しても最大耐力はほぼ変らなかった。

参考文献

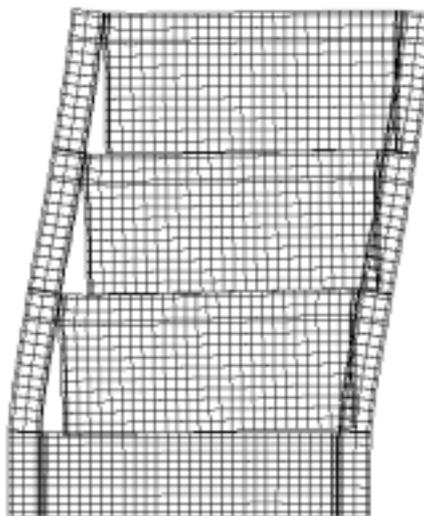
- [1] 日本建築センター：建築物の構造関係技術基準解説書, 2001 年 3 月
- [2] Darwin, D., Pechold, D.A. : Proc. of ASCE, Vol. 102, No. ST2, Feb., 1976, pp.355～369



図—15 層せん断力—層間変位関係



図—16 Frame-0 の節点変位図



図—17 Frame-W の節点変位図