

# 梁継手塑性ヒンジ導入による 全梁同時降伏を実現した架構の損傷集中緩和について

## その2 時刻歴応答解析結果

中村 亮太\*・山西 央朗\*\*・小松 真吾\*\*\*・松田 頼征\*\*\*\*

(令和7年10月31日受付)

### MITIGATION OF DAMAGE CONCENTRATION IN A FRAME REALIZING SIMULTANEOUS PLASTIC BEHAVIOR OF ALL BEAMS BY INTRODUCING BEAM-JOINT-PLASTIC-HINGE

#### Part 2: Results of Time History Response Analysis

Ryota NAKAMURA, Teruaki YAMANISHI, Shingo KOMATSU and Yoriyuki MATSUDA

(Received October 31, 2025)

#### Abstract

It is necessary to mitigate damage concentration in specific stories against a large earthquake, and it is desirable to realize a global collapse mechanism. The author pursues a simple method to realize a global collapse mechanism. Specifically, a study is conducted on achieving a frame in which a global collapse mechanism is formed simultaneously with the elastic limit by introducing Beam-Joint-Plastic-Hinges. By realizing simultaneous yielding of all beams in a 2D frame, it is examined through time history response analysis whether uniform distribution of member damage can be expected.

**Key Words:** Beam-Joint-Plastic-Hinge, Beam yield mechanism, Damage distribution, 2D frame

#### 1. はじめに

本報その2では、その1で示した全梁同時降伏を実現する架構の設計法に基づいて設計した骨組(全梁同時降伏骨組)と一般的な骨組(基本骨組)に対して実施した、平面骨組の時刻歴応答解析結果を報告する。両骨組の時刻歴応答解析結果を比較し、全梁同時降伏が構造物に与える影響を追跡する。

#### 2. 解析対象構造物と時刻歴応答解析条件

図1に解析対象構造物を、表1に部材リストを示す。尚、図1には表1と対応した部材記号及び、各節点付近に重量(ton)を併記している。解析対象構造物は6層4スパンの平面骨組であり、柱梁耐力比が1.5近傍、第1層柱下端を固定端とした場合に標準層せん断力係数 $C_0=0.2$ 時の層間変形角が概ね $1/200$  rad以下となる様に設計した平面骨組モデルである。

第1層柱下端の境界条件(固定端=Fixed end, 半剛接のために回転ばねを設置したモデル=Semi-rigidと記す)、および柱の降伏応力度を調整することで柱梁耐力比を変数とする。

各層剛性率 $R_{SI}$ と1次固有周期を表2に示す。なお、 $R_{SI}$ 算定に用いた層剛性は式(4)より得られた $K_{i-Layer}$ を用いている。Semi-rigidは、第1層の剛性率 $R_{SI}=0.6$ となり、ルート2<sup>[1]</sup>を満足するように側柱及び中柱それぞれ、 $iR_{I-B}=8.20 \times 10^{10}$  kNm/rad、 $jR_{I-B}=1.64 \times 10^5$  kNm/radとした。尚、 $R_{SI}=0.6$ であっても第1層柱下端の曲げ強度は第1層柱の全塑性耐力と等しいものとする。また、回転ばねに対応した具体的なディテールは考慮していない。

以後、柱梁耐力比を各節点における柱と梁個材の全塑性耐力の比 $jM_{i-PC}/jM_{i-R-P}$ 、 $jM_{(i+1)-PC}/jM_{i-R-P}$ と定義する。また、最上層の柱梁耐力比 $jM_{6-PC}/jM_{6-R-P}$ を除く柱梁耐力比の平均値を平均柱梁耐力比 $\alpha_{ave}$ とする。簡便に柱梁耐力比を調整するため、梁降伏応力度 $\sigma_{Y-B}$ を $\sigma_{Y-B}=235$  N/mm<sup>2</sup>で固

\* 広島工業大学大学院 知的機能科学専攻、  
日本学術振興会特別研究員 DC1  
\*\* 広島工業大学 建築工学科 准教授

\*\*\* 島根大学 建築デザイン学科 助教  
\*\*\*\* 工学院大学 建築学科 准教授

定し、柱降伏応力度  $\sigma_{Y-C}$  を一律で定数倍しており、 $\alpha_{Ave}=1.1 \sim 2.0$  を解析対象としている。ただし、Semi-rigid においては  $\alpha_{Ave}=1.1$  では第1層柱上端が先行降伏するため、以降 Semi-rigid の  $\alpha_{Ave}=1.1$  の結果は除外する。

図2に梁全塑性耐力に対する全梁同時降伏梁強度比の層分布を示す。Semi-rigid は  $\alpha_{Ave}=1.2 \sim 2.0$ 、Fixed end は  $\alpha_{Ave}=1.6 \sim 2.0$  で第1層上梁が先行降伏するため式(8)から全梁同時降伏梁強度  ${}_jM_{I-R-SGP}$  を算出した。一方、Fixed end の  $\alpha_{Ave}=1.1 \sim 1.5$  は第1層柱下端が先行降伏するため式(14)から  ${}_jM_{I-R-SGP}$  を算出した。尚、Fixed end の  $\alpha_{Ave}=1.1 \sim 1.5$  は、第1層柱下端降伏後の第1層層剛性低下によって第1層上梁の存在応力が上層梁の存在応力より相対的に大きくなるため、 $\alpha_{Ave}$  が小さい程、2層以上の  ${}_jM_{I-R-SGP}$  は小さくなっている。

全梁同時降伏骨組では基本骨組と剛性分布は等しく、梁の強度のみを全梁同時降伏梁強度  ${}_jM_{I-R-SGP}$  に設定する。図3に示すように、側柱に取付く梁端部に曲げ強度が  ${}_jM_{I-R-SGP}$  である剛塑性回転ばねを設置し、中柱に取付く梁は  ${}_jM_{I-R-SGP}$  を梁降伏応力度  $\sigma_{Y-B}$  で除した等価塑性断面係数  ${}_jZ_{I-R-SGP}$  を梁の断面係数として設定した。尚、剛塑性回転ばねには、剛の状態を表現するために梁の曲げ剛性の1286倍の回転剛性を与え、回転ばねを設置しない場合の変形剛性に対する比が0.99となる値を採用している。

解析には「CLAP.f」を用い、時間刻み0.005秒、1次振動及び2次振動に対する減衰定数はレーリー型で  $h=0.02$  とする。入力地震波は、標準的な3波としてEl Centro NS波、Hachinohe EW波、Taft EW波とし、地動加速度はその最大速度が0.50m/s、0.75m/sとなる様に基準化した。また、一般的な構造設計を意識して各部材の応力度-ひずみ度関係は完全弾塑性とした。

また、解析変数の表記を「骨組記号(S:全梁同時降伏骨組、B:基本骨組)第1層柱下端境界条件(F:Fixed end, S:Semi-rigid)平均柱梁耐力比  $\alpha_{Ave}$  - 入力地震波(E:El Centro, H:Hachinohe, T:Taft) 最大地動速度(50:50 kine, 75:75 kine)」としている。

### 3. 解析結果と考察

基本骨組の解析結果と比較しながら、全梁同時降伏骨組

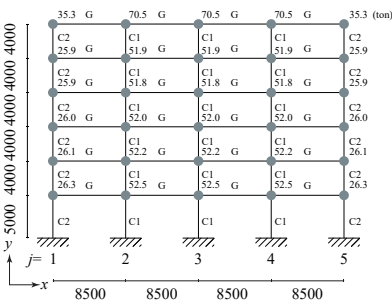


図1 解析対象構造物

表2 剛性率及び1次固有周期

第1層柱下端境界条件	i	剛性率 $R_{st}$	1次固有周期
		[-]	[s]
半剛接	6	1.03	1.370
	5	1.11	
	4	1.03	
	3	1.09	
	2	1.13	
	1	0.61	
固定端	6	0.93	1.209
	5	0.99	
	4	0.92	
	3	0.97	
	2	1.00	
	1	1.19	

の構造的特徴を検討する。

### 3.1 全梁同時降伏によるエネルギー及び最大層間変形角分布の性状

解析結果として、図4に基本骨組と全梁同時降伏骨組の層吸収エネルギーを、図5に両骨組の正側及び負側の最大層間変形角分布を、図6に最大層間変形角分布の代表値を、図7に部材端吸収エネルギー分布代表値を、図8に最大層間変形角変動係数  $CV_r$  - 平均柱梁耐力比関係を、図9に部材端吸収エネルギー変動係数  $CV_{eM}$  - 平均柱梁耐力比関係を示す。尚、図7に各部材端吸収エネルギーの値及び各部材が取付く節点部材中の当該部材端吸収エネルギーの値の割合を併記する。

ここでは、図4の層吸収エネルギーは各層の層せん断力-層間変位関係から算出し、各平均柱梁耐力比に対して左側に全梁同時降伏骨組、右側に基本骨組の各層層吸収エネルギーを積み上げ縦棒グラフとして示している。また、全層吸収エネルギー  $e$  に対する各層吸収エネルギー  $e_{i-Layer}$  の比である  $e_{i-Layer}/e$  を棒グラフ中に記している(10%未満は非表記)。図7の部材端吸収エネルギーは各部材端の曲げ応力-曲率関係から算出している。図8の  $CV_r$  は正側及び負側それぞれの各層最大層間変形角の値から算出し、負側最大層間変形角は負の値を用いて算出したため  $CV_r < 0$  となっている。図9には、全層崩

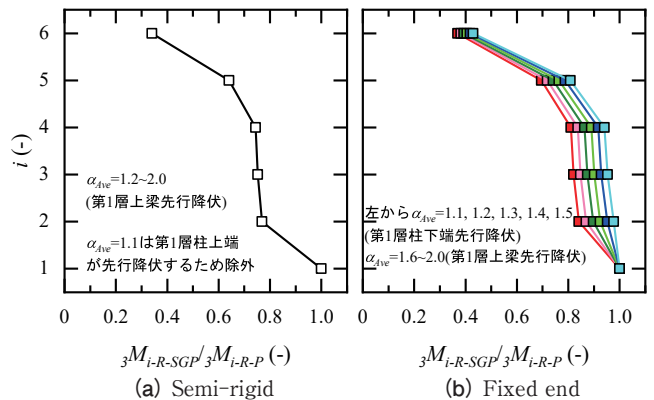


図2 梁全塑性耐力に対する全梁同時降伏梁強度比の層分布

表1 部材リスト

部材記号	層番号 $i$	断面形状	断面二次モーメント	塑性断面係数
		[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]
C1	6	□-550×550×16	$1.63 \times 10^9$	$6.85 \times 10^6$
	5	□-550×550×22	$2.16 \times 10^9$	$9.21 \times 10^6$
	4	□-600×600×16	$2.13 \times 10^9$	$8.19 \times 10^6$
	3	□-600×600×19	$2.49 \times 10^9$	$9.62 \times 10^6$
	2	□-600×600×22	$2.84 \times 10^9$	$1.10 \times 10^7$
	1	□-600×600×22	$2.84 \times 10^9$	$1.10 \times 10^7$
C2	6	□-400×400×12	$4.68 \times 10^8$	$2.71 \times 10^6$
	5	□-450×450×16	$8.73 \times 10^8$	$4.52 \times 10^6$
	4	□-450×450×16	$8.73 \times 10^8$	$4.52 \times 10^6$
	3	□-450×450×19	$1.02 \times 10^9$	$5.30 \times 10^6$
	2	□-450×450×22	$1.15 \times 10^9$	$6.05 \times 10^6$
	1	□-450×450×22	$1.15 \times 10^9$	$6.05 \times 10^6$
G	6	H-488×300×11×18	$6.81 \times 10^8$	$3.10 \times 10^6$
	5	H-594×302×14×23	$1.32 \times 10^9$	$5.02 \times 10^6$
	4	H-692×300×13×20	$1.66 \times 10^9$	$5.41 \times 10^6$
	3	H-700×300×13×24	$1.95 \times 10^9$	$6.25 \times 10^6$
	2	H-792×300×14×22	$2.45 \times 10^9$	$7.04 \times 10^6$
	1	H-792×300×14×22	$2.45 \times 10^9$	$7.04 \times 10^6$

ヤング係数  $E=205000 \text{ N/mm}^2$

壊機構の塑性ヒンジ形成位置を塑性化許容点と定義し、塑性化許容点の部材端吸収エネルギー  $e_M$  に対して原則変動係数  $CV_{eM}$  を計算し、塑性化許容点以外の部材端では  $e_M \neq 0$  の場合のみ  $CV_{eM}$  計算対象に含める。但し、基本骨組では、図 9 (b), (c) に示すように、最上層上節点の柱の全塑性耐力と梁全塑性

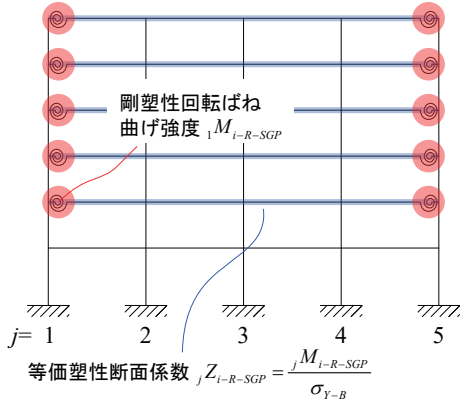


図 3 全梁同時降伏梁強度  $1M_{I-R-SGP}$  入力方法 (梁の中で第 1 層上梁が最初に降伏する場合)

耐力の和の大小に応じて塑性化許容点を決定している。

また、図 5 は、例えば (a) であれば Semi-rigid, El Centro, 50 kine の条件下で、赤色棒で全梁同時降伏骨組、青色棒で基本骨組の最大層間変形角を示しており、各層 (縦軸) には降順で  $\alpha_{Ave}=1.2$  から  $\alpha_{Ave}=2.0$  を併記している。また、図 6 のグラフ上部に黒色で基本骨組、赤色で全梁同時降伏骨組の  $CV_r$  を併記しており、図 7 の右側に  $CV_{eM}$  を併記している。

### 3.1.1 吸収エネルギー分布性状

図 4 より、構造物全体で吸収した総エネルギーは全梁同時降伏骨組が若干大きくなる傾向にあるが、基本骨組と同等の値になると判断している。図 4 (a), (c), (d) にて差異が大きいの、基本骨組においてほぼ弾性に留まる層が存在しているのに対して、全梁同時降伏骨組は全層で同時に塑性化・エネルギー吸収するためである。

全梁同時降伏骨組の傾向は、基本骨組に比較して第 1 層の吸収エネルギーは下回り、第 6 層の吸収エネルギーは上回る。これは、全梁同時降伏骨組は骨組全体でエネルギー吸収する

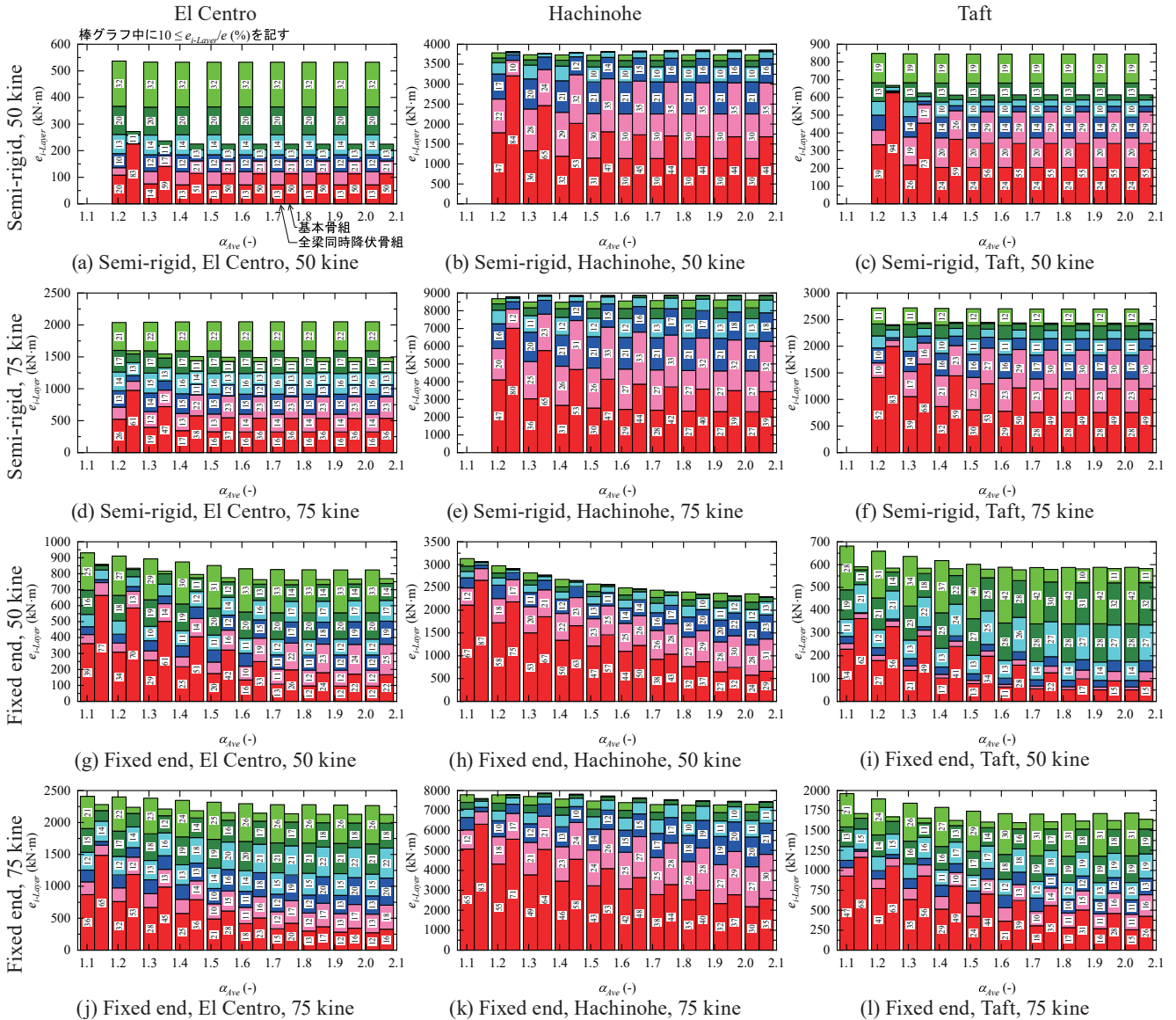


図 4 層吸収エネルギー

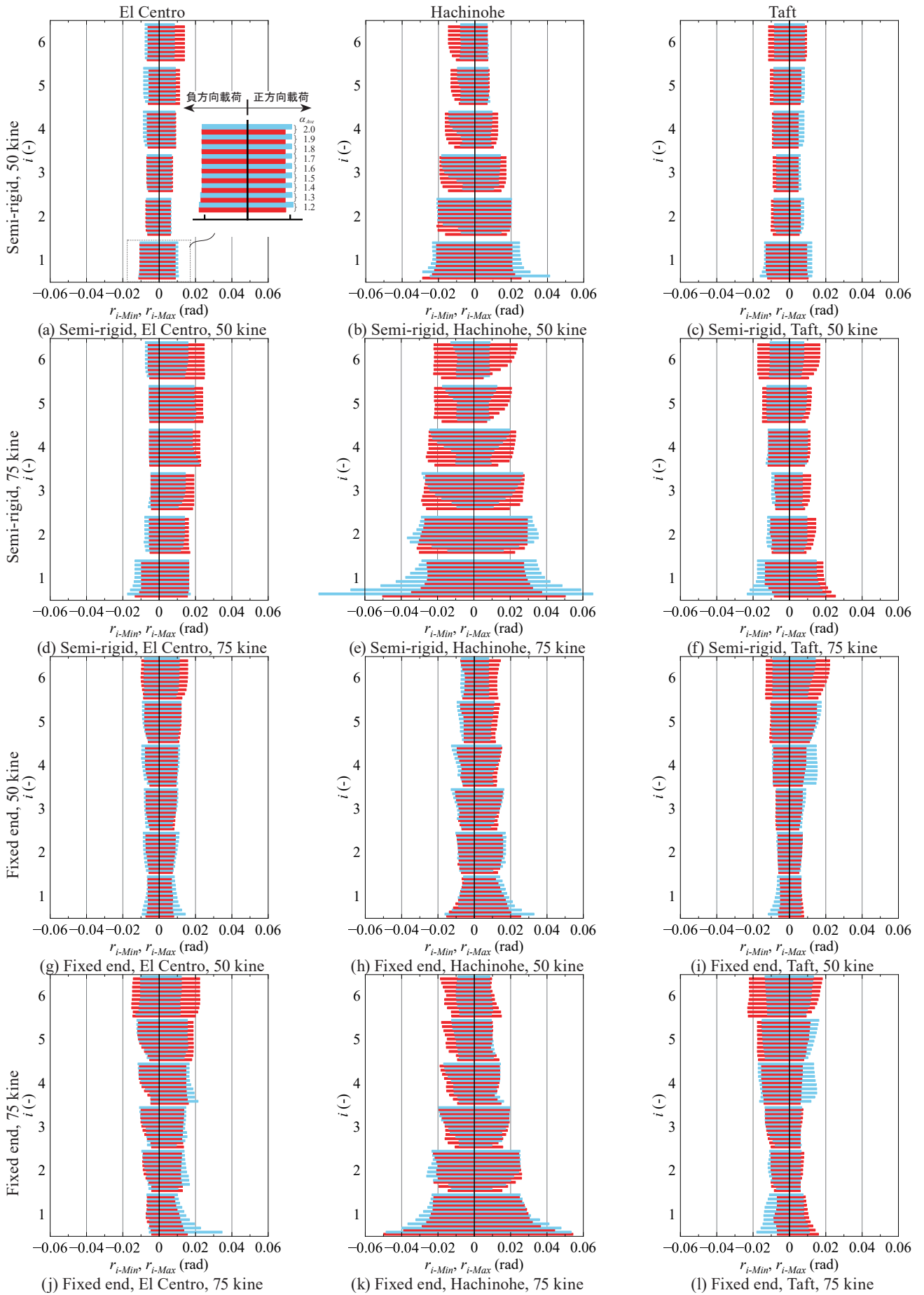


図5 最大層間変形角分布

ので、基本骨組と比較して第1層の負担エネルギーは小さくなり、第6層の負担エネルギーは大きくなることに起因している。

この傾向は、図7に示す部材端吸収エネルギーにも現われている。図7より、基本骨組はエネルギー吸収量が下層(特に第1層上梁)に集中すると共に上層(特に第6層上梁)は0に近いが、全梁同時降伏骨組では特定層のエネルギー吸収量の集中が緩和されている。

これを定量的に検討するために、図10の部材端吸収エネルギーの変動係数  $CV_{EM}$  に着目する。全梁同時降伏骨組は全ての条件で基本骨組を下回っており、エネルギー吸収の分布に偏りが小さいことが読み取れる。即ち、特定部材のエネルギー吸収量の集中が緩和できている。また、骨組の条件を問わず、 $\alpha_{Are}$  が一定値以上となると  $CV_{EM}$  の変化が緩慢になる。これは、第1層柱下端を除く柱の吸収エ

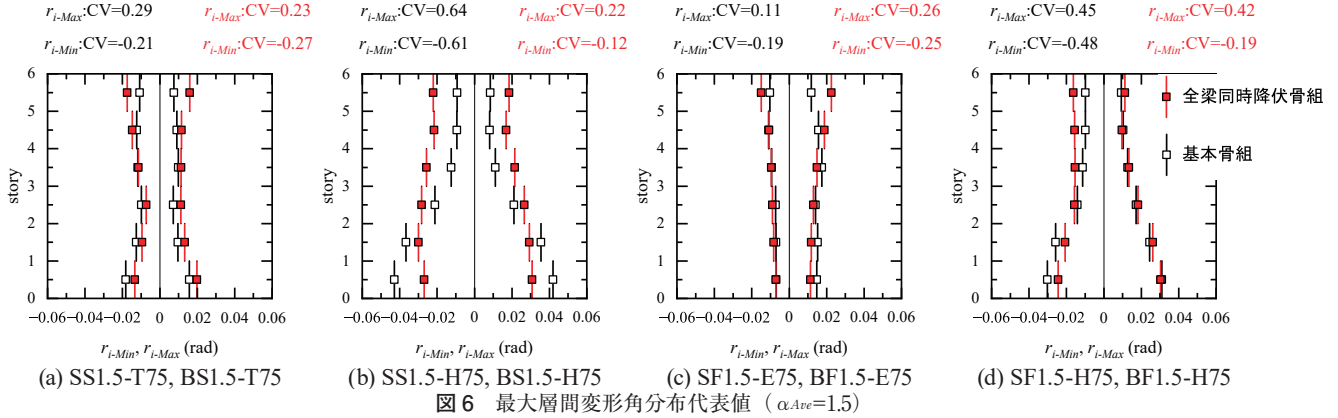


図6 最大層間変形角分布代表値 ( $\alpha_{Are}=1.5$ )

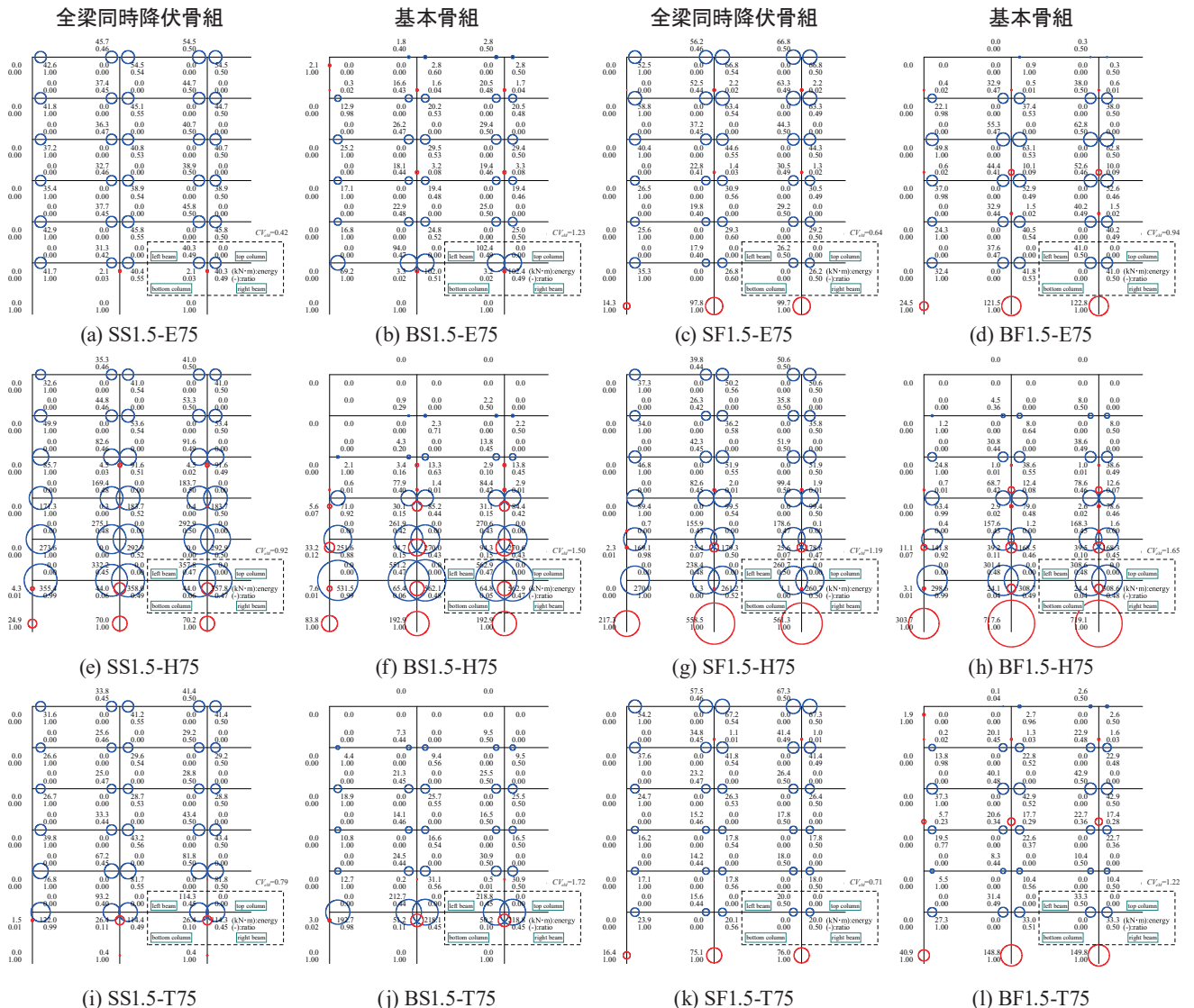


図7 部材端吸収エネルギー分布代表値 ( $\alpha_{Are}=1.5$ )

ルギー量が極小さくなり、塑性ヒンジ発生位置がほぼ固定される（図中には”塑性化許容点以外弾性”として記している）ためである。このことは、基本骨組においても柱弾性・梁降伏型が保証されていることを意味している。したがって、崩壊機構が基本骨組と同じであっても全梁同時降伏骨組は損傷集中を緩和させることが期待できる。

### 3.1.2 最大層間変形角分布性状

図5より全体の傾向として、全梁同時降伏骨組の最大層間変形角は基本骨組と比較して、第1層は小さく、第6層は大きい。また、図6の代表的な層方向の分布傾向より、第2層～第5層は第1層と第6層の傾向に沿って漸次的に変化している。これ等は、4.1.1項で記したエネルギー吸収分布の性状と対応している。

尚、図5(k)の第1層 $\alpha_{Ave}=1.1$ では、正負共に全梁同時降伏骨組が大きい値を示しているが、これは $\alpha_{Ave}$ が小さいために全梁同時降伏骨組においても第1層柱上下端に塑性ヒンジが形成されたためである。全梁同時降伏骨組として設計しても、柱梁耐力比が十分に確保されておらず部分層崩壊機構が顕在化することを意味している。但し、このような場合においても図4(k), 図10(d)より、損傷集中を緩和させることは期待できる。

第1層に着目すると、図5において正負いずれかの値が全梁同時降伏骨組が大きい場合もあるが、これは残留変形により層せん断力0時の層間変形角が原点から移動した影響である。また、 $\alpha_{Ave}$ が1.5以上の場合、全梁同時降伏骨組と基本骨組の差異がほぼなくなる場合もある。これは、基本骨組で柱弾性・梁降伏型が保証されて第1層への変形集中が緩和されるためと考えている。

続いて、第6層に着目すると、図5においていずれの条

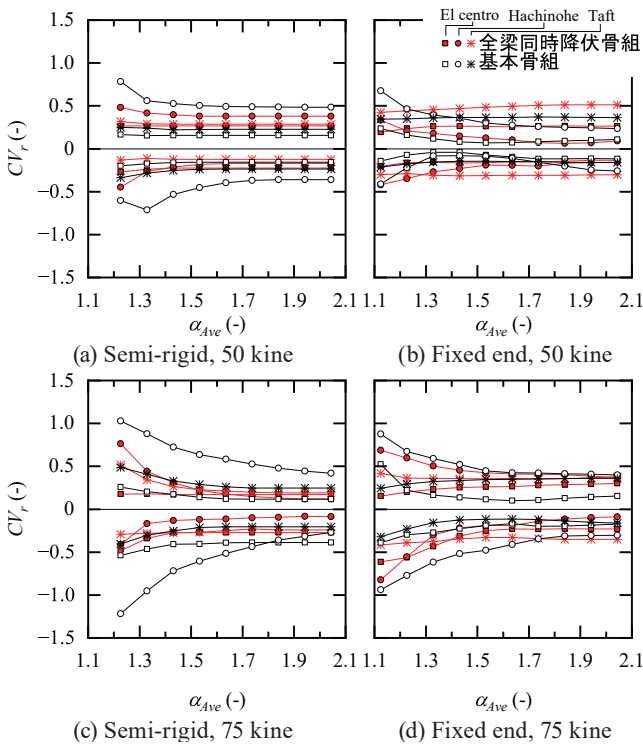


図8 最大層間変形角変動係数 - 平均柱梁耐力比関係

件でも全梁同時降伏骨組が基本骨組よりも大きい値を示し、かつ $\alpha_{Ave}$ が大きくなるほど差異が広がる場合も散見される。この論理的背景については、今後検討する。

以上を、全体の挙動として定量的に検討するために図8の最大層間変形角の変動係数 $CV_r$ に着目する。基本的には、 $CV_r$ は基本骨組を下回るか同等の値を示している。全梁同時降伏骨組と基本骨組の違いは未崩壊域に集約されるので、崩壊機構としての振舞いが大部分を占めると全梁同時降伏骨組の特徴が顕在化し難いかと予想していた。しかし、図5(e), (k)の様第1層の最大層間変形角が0.03(rad)を超えるような極めて大きな変形下でも図8(c), (d)より、 $CV_r$ は基本骨組より小さく、最大層間変形角の均一化が期待できる結果が得られた。一方、図8(b), (d)のEl Centro, Taftで $CV_r$ が基本骨組を上回っている。これは、図6(c)に示すように、全梁同時降伏骨組は第6層の最大層間変形角が下層部に比較して大きくなるのが影響していると考えられる。このように、全梁同時降伏骨組は最大層間変形角の均一化が期待できない場合もみられる。

### 3.2 全梁同時降伏骨組の塑性領域の変形挙動

全梁同時降伏骨組では、4.1節で記したように第1層の

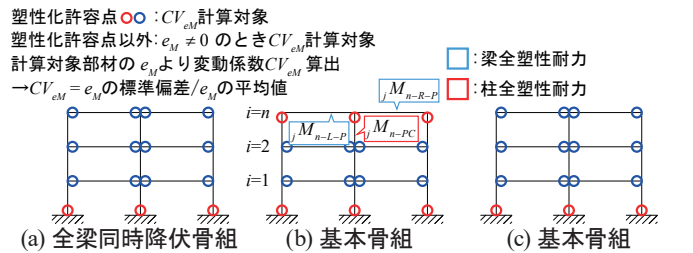


図9 部材端吸収エネルギー変動係数計算方法

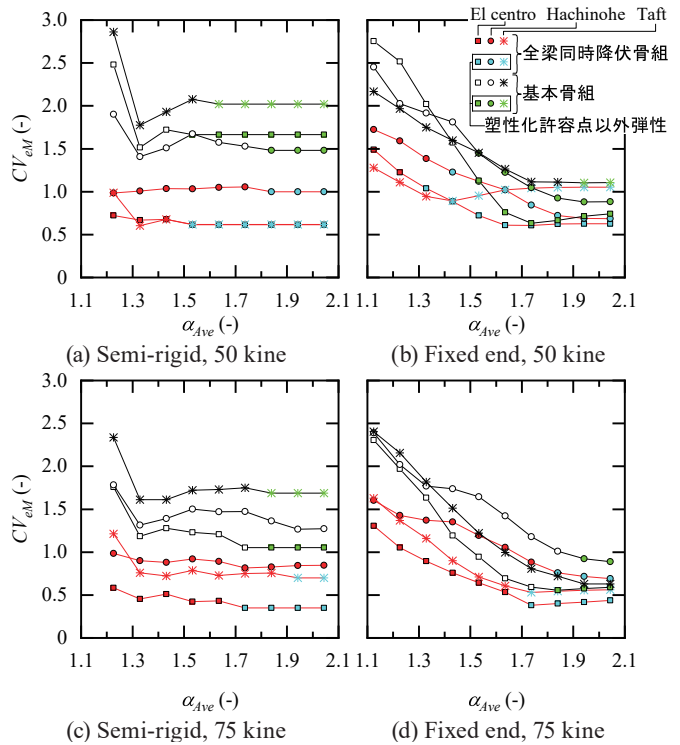
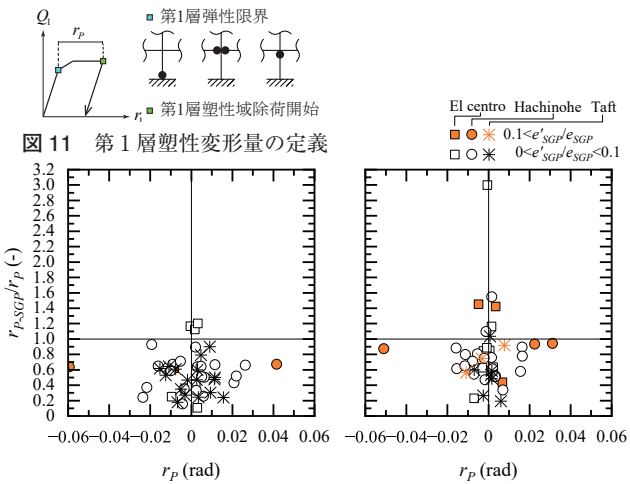


図10 部材端吸収エネルギー変動係数 - 平均柱梁耐力比関係

吸収エネルギーが小さくなるので、第1層の最大層間変形角も基本骨組を下回る傾向を示した。しかし、図5(f), (1)のように全梁同時降伏骨組の第1層最大層間変形角が基本骨組を上回る場合もある。そこで、具体的な変形挙動を追跡するため、第1層の塑性変形量に基づき議論する。

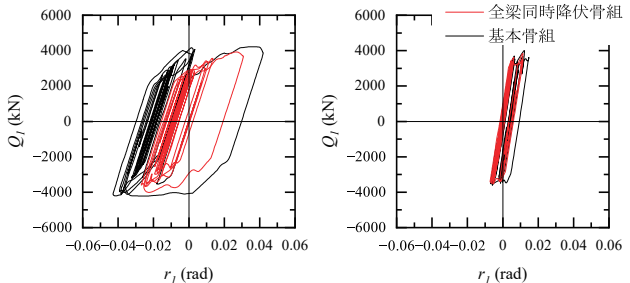
第1層の塑性変形量を図11に示すように1/2サイクル毎に算出する。塑性変形の開始を第1層周辺部材(第1層上梁、第1層柱上端及び第1層柱下端)に塑性ヒンジが形成された時、終了を第1層層間変形角の変化量の符号が逆転する時とする。

図12に基本骨組に対する全梁同時降伏骨組の第1層塑性変形量比  $r_{P-SGP}/r_P$  - 基本骨組塑性変形量  $r_P$  関係を、図13



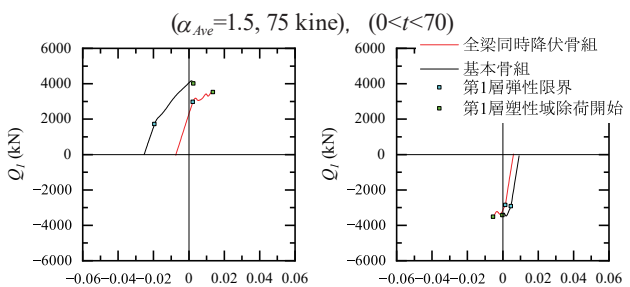
(a) Semi-rigid,  $\alpha_{Ave}=1.5$ , 75 kine (b) Fixed end,  $\alpha_{Ave}=1.5$ , 75 kine

図12 基本骨組に対する第1層塑性変形量比 - 基本骨組塑性変形量



(a)  $r_{P-SGP}/r_P < 1.0$  (Semi-rigid, Hachinohe) (b)  $1.0 < r_{P-SGP}/r_P$  (Fixed end, El Centro)

図13 第1層層せん断力 - 層間変形角関係代表値



(a)  $r_{P-SGP}/r_P < 1.0$  (Semi-rigid, Hachinohe) (b)  $1.0 < r_{P-SGP}/r_P$  (Fixed end, El Centro)

図14 第1層塑性変形量代表値 ( $\alpha_{Ave}=1.5$ , 75kine)

に解析開始から終了時における第1層層せん断力 - 層間変形角関係代表値を、図14に第1層塑性変形量代表値を示す。図12には、塑性変形量が大きくなり、かつ一般的な条件を想定して75 kine,  $\alpha_{Ave}=1.5$ の結果を示す。尚、解析終了までの骨組全体の吸収エネルギー量(全梁同時降伏骨組:  $e_{SGP}$ , 基本骨組:  $e$ )に対する、第1層弾性限界から第1層除荷開始までに成された骨組全体の吸収エネルギー(全梁同時降伏骨組:  $e'_{SGP}$ , 基本骨組:  $e'$ )の比に着目し、図12にて  $e'_{SGP}/e_{SGP}$  が0.1を下回る場合を白抜きで、0.1を上回る場合を橙色抜きで示している。また、図13, 図14の代表値はそれぞれ、(a)は全梁同時降伏骨組の塑性変形量が小さくなるもの、(b)は全梁同時降伏骨組の塑性変形量が大きくなるものである。尚、図14は  $e'_{SGP}$  と  $e'$  が近い値となる1/2サイクルを選定している。

更に、図14に着目し、図15に部材端吸収エネルギー変化量分布を、図16に層せん断力時刻歴を、図17に層間変形角時刻歴を、図18に中柱に取り付く梁端の存在曲げ応力比の絶対値  $|m_{i-R}|$  を示す。  $m_{i-R}$  は、梁の存在応力を、基本骨組では梁全塑性耐力で除し、全梁同時降伏骨組では全梁同時降伏梁強度(第1層は梁全塑性耐力)で除して算出している。また、図15に  $e'_{SGP}$  及び  $e'$  の値を併記している。図16, 図17, 図18において第1層弾性限界及び第1層除荷開始時刻を黒破線で示しており、これら時刻の間における水平外力分布を図19に、層間変形角分布を図20に示す。尚、図19, 図20において、弾性限界から除荷までの経過を確認するために(a), (b)では0.150 s毎に、(c), (d)では0.070 s毎の分布を示している。

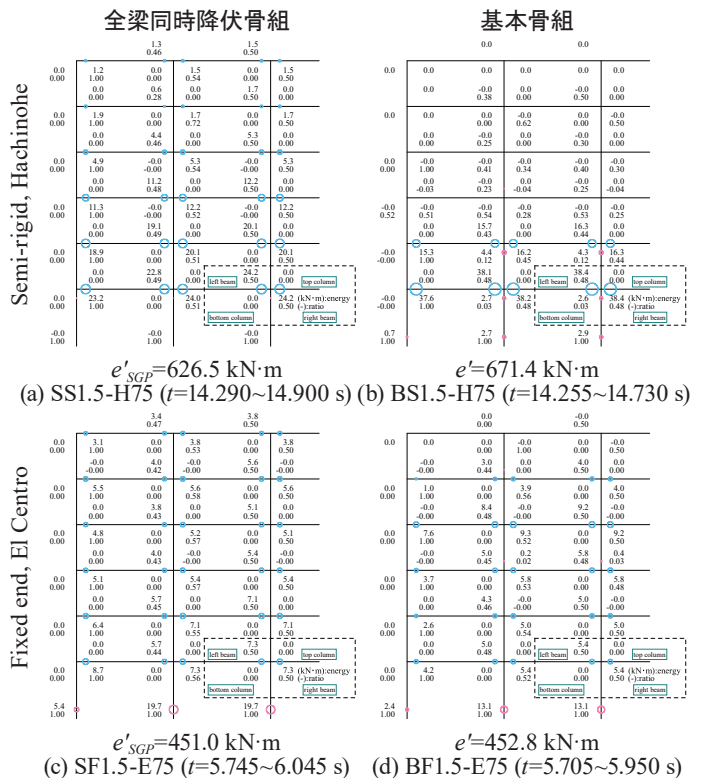


図15 第1層弾性限界から第1層除荷開始までの部材端吸収エネルギー変化量分布

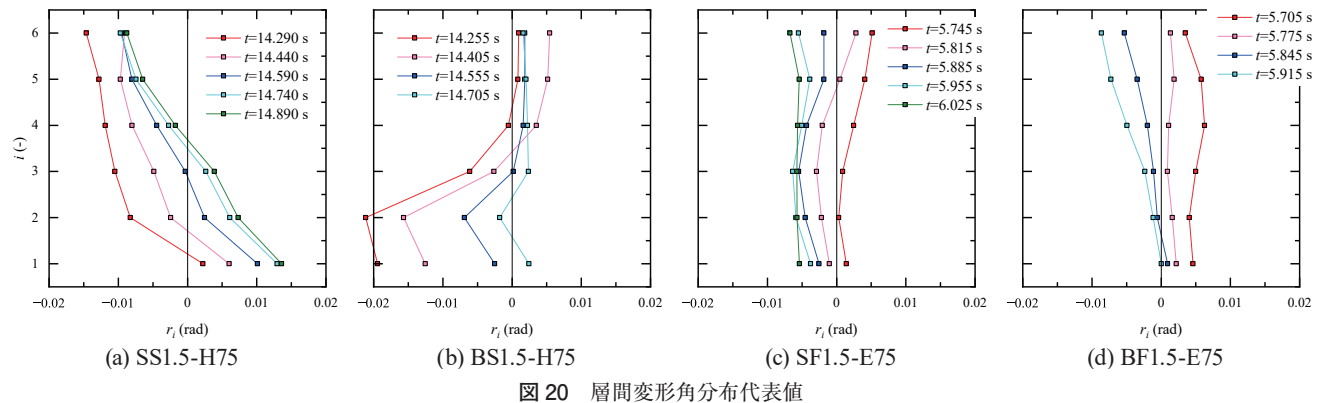
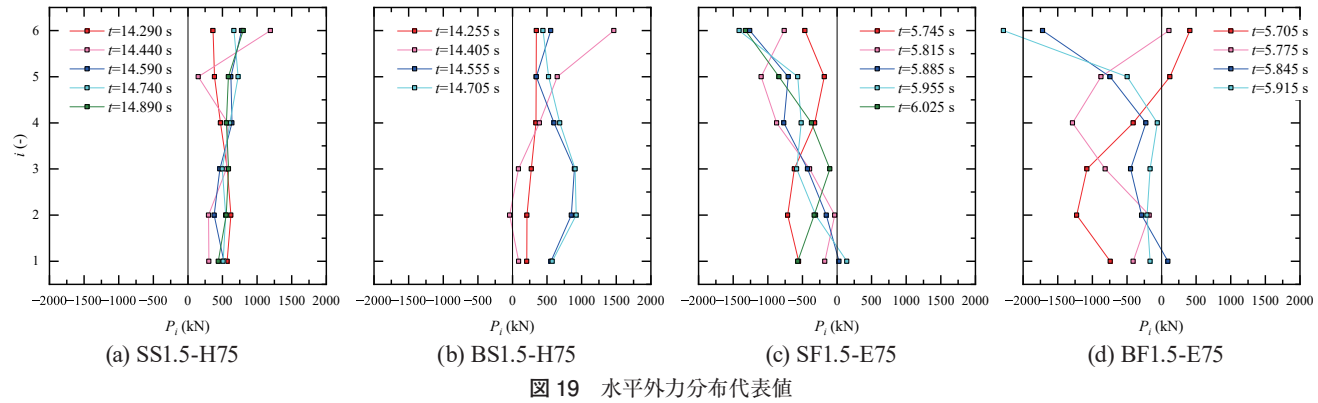
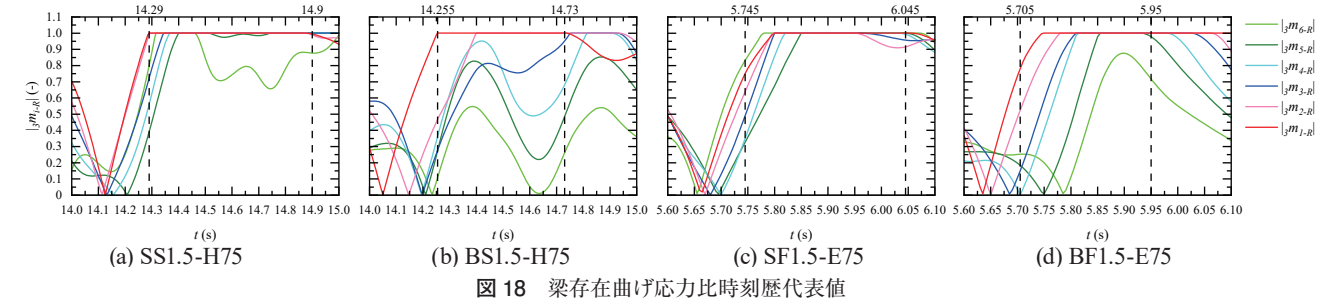
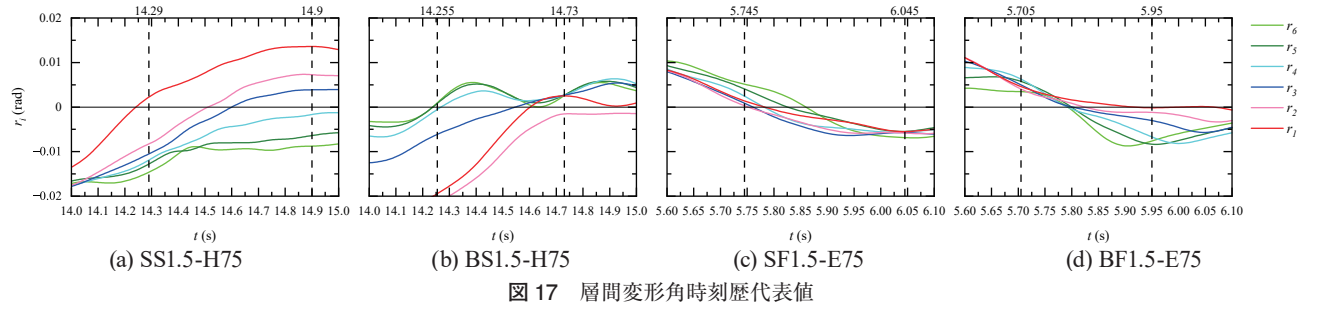
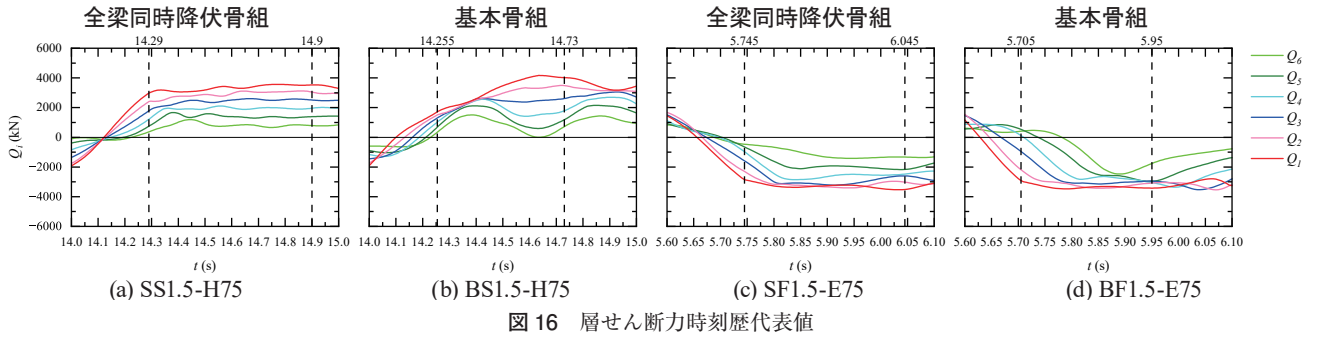


図 12 より、多くのサイクルで  $r_{P-SGP}/r_P < 1.0$  となり全梁同時降伏骨組の塑性変形量は基本骨組より小さいが、 $1.0 < r_{P-SGP}/r_P$  を示す場合もある。

図 13 (a)、図 14 (a) より、全時刻の層せん断力 - 層間変形角関係、1/2 サイクルにおける塑性変形量ともに、基本骨組に比較して小さい。全梁同時降伏骨組は、第 1 層にだけ着目すると最大層せん断力が小さく構造的に不利に見えるものの、骨組全体でエネルギー吸収することにより、第 1 層の負担するエネルギー量が低減することに基因している。これは、3.1.1 での議論と対応する。

一方、図 13 (b)、図 14 (b) より、全梁同時降伏骨組は基本骨組に比較して全時刻の層せん断力 - 層間変形角関係は変形が抑えられているものの、1/2 サイクルにおける塑性変形量は基本骨組の 1.45 倍を示す場合もある。図 14 (b) は  $e'_{SGP}/e_{SGP}$  が 0.1 を上回り、応答としても十分大きいものである。これらの結果について議論するため、以下に図 13、図 14 に対応した結果を比較しながら検討を行う。

図 15 ~ 20 における全梁同時降伏骨組 (a)、(c) では、入力波によらず図 15 に示すように損傷集中が緩和されている。また、図 16、図 19 における (a)、(c) からは弾性限界から除荷までの層せん断力の推移、水平外力の分布は概ね一定であること、図 17、図 20 における (a)、(c) からは塑性変形の進展も時刻と共に漸次的に増分していることが読み取れる。

基本骨組の Hachinohe を入力した場合に着目する。図 15 (b) 及び図 20 (b) から第 1 層、第 2 層のみに塑性ヒンジが形成されており、塑性変形が下層に偏っている。図 16、図 19 の (b) から、第 6 層の水平荷重、上層の層せん断力は弾性限界直後は大きいものの時間と共に減少していき、図 17、図 20 の (b) から、上層の層間変形角は途中で減少し、下層のみが塑性変形している、すなわち変形集中している様子が読み取れる。

続いて、基本骨組の El Centro を入力した場合に着目する。図 15 (d) より、第 1 ~ 5 層の梁でエネルギーを吸収しており、骨組全体でエネルギーが吸収されている。しかし、図 19 (d) から時間の経過と共に水平荷重の大きい範囲が下層から上層に向かって推移していくのが読み取れ、図 17、図 20 の (d) から弾性限界直後は下層の変形が進展するが、その後は下層の変形が停滞して上層の変形が進展している。このように、全梁同時降伏骨組の様に全層崩壊機構が形成されているわけではないものの、図 15 (d) にあるように部材端吸収エネルギーの集中が緩和され、結果として第 1 層の塑性変形量が小さくなっている。

以上、基本骨組においては入力波に依存して、下層に変形集中する、または下層の変形が小さくなるなどの変形分布が変化するが、全梁同時降伏骨組は変形集中を緩和する傾向にある。このため、図 12 において  $1.0 < r_{P-SGP}/r_P$  を示す結果は、基本骨組に比較して全梁同時降伏骨組の第 1 層は変形集中しているかのように見えるが、その内容は、入力波に依存して基本骨組の下層の塑性変形量が小さくなったことに基因したも

のである。全梁同時降伏骨組は構造物の条件、入力波によらず常に損傷・変形を全層に渡って分散する特徴を有している。

### 3.3 全梁同時降伏骨組の弾性限界と崩壊機構

本論文では全梁同時降伏骨組を  $A_i$  分布による層せん断力分布、単一柱モデルによる水平剛性・曲げ応力分布の略算解に従い設計している。非常に簡単に設計できる反面、各種観測波による応答で全梁同時降伏という特徴を実現できているかを検討する。

図 18 (a)、(c) より、入力波によらず全梁が同時に  $3m_{i-R}=1.0$  に到達し、かつこれを概ね維持し続けている。即ち、全梁同時降伏が確保されており、全層崩壊機構が安定して維持されていることが読み取れる。これは、図 20 (a)、(c) において、各層の層間変形角変化量が概ね均一であることにも対応している。

## 4. まとめ

大地震時に対して、特定層の損傷集中を緩和するために、全梁同時降伏を実現する骨組（以下、全梁同時降伏骨組と記す。）の設計法を提案し、全梁同時降伏骨組と、現行の耐震設計を元に設計した基本骨組に対して時刻歴応答解析を実施した。それぞれの解析結果を比較して、以下の知見を得た。

- 1) 全梁同時降伏骨組の任意サイクルの塑性変形挙動は、入力波によらず常に損傷・変形の集中を緩和する特徴を有している。基本骨組では、入力波によって吸収エネルギー分布・変形集中する層が変化するが、これを緩和する効果が期待できる。
- 2) 地震動全時刻の累積吸収エネルギーは、基本骨組においては第 1 層に集中する傾向にある。全梁同時降伏骨組では、これを緩和して第 1 層の吸収エネルギーが低減し、第 2 層以上の吸収エネルギーが増大した。これにより、部材端吸収エネルギー量の偏りが小さくなり、部材端吸収エネルギー分布の変動係数は基本骨組に比較して小さくなる。
- 3) 最大層間変形角は、基本骨組においては第 1 層に集中する傾向にある。全梁同時降伏骨組では、これを緩和して第 1 層の変形が低減し、第 6 層の変形が増大した。但し、上層の変形が増幅される傾向にある。このため、最大層間変形角の変動係数が基本骨組に比較して大きくなる条件も散見され、最大層間変形角の分布については均一化を期待できない場合もある。
- 4) 入力レベルが小さく、基本骨組で上層部が弾性に留まった場合、全梁同時降伏骨組は上層部も塑性化することで、基本骨組よりも上層部の変形がより大きくなり、吸収エネルギー量が基本骨組より大きくなる。

## 文献

- [1] 一般社団法人 建築行政情報センター：2020 年版 建築物の構造関係技術基準解説書，2020.10