

大同工業大学 正会員 ○酒造敏廣
大同工業大学大学院 学生会員 長田好夫

【1】まえがき

変断面構造の鋼製ラーメンは部材格点間で材料強度と断面寸法が異なった断面から構成されているため、激震時に予想される構成断面ごとの累積塑性ひずみの集中・分散挙動の特性を把握しておく必要がある。筆者らは、これまでに、変断面片持ち柱を対象にして、断面変化位置や軸力比を変化させて地震応答解析を行ってきた^{1), 2)}。そして、①柱上部で塑性化が起るような断面構成は塑性ひずみ集中の点から好ましくないこと、②また構成断面ごとに塑性ひずみを分散できたとしても、構成断面間に塑性断面性能差があるために効率のよい履歴エネルギー吸収分担をあまり期待できないこと、③耐震面からみると塑性断面性能の大きい箇所での塑性変形が進行するような崩壊モード（塑性変形パターン）が重要であることを示した。

本研究は、せん断変形が卓越して塑性化が進んでも耐力低下が小さいせん断卓越型の隅角部腹板 (Shear panel) に着目して³⁾、水平地動を受ける変断面ラーメンの動的弾塑性解析を行い、柱の塑性ひずみの分散挙動について考察したものである。

【2】隅角部腹板のせん断変形を考慮したラーメン柱の

動的弾塑性解析の方法

本研究では箱形断面のはり・柱からなる平面骨組の動的弾塑性解析^{1), 2)}に隅角部腹板のせん断変形挙動を考慮した。まず、隅角部腹板内は一定せん断ひずみで、フランジ・ダイヤフラムの枠組の影響はないものと仮定した。つぎに、文献4)~5)を参照して、Fig.1に示すように、腹板中央点を剛体回転角 Θ とせん断変形角 γ を含む4自由度節点として取り扱った。ある時刻 t_i から t_{i+1} ($=t_i+\Delta t$)の増分解析では、腹板の各辺上のはり・柱要素の増分節点力 ΔF_i と変位 ΔU_i を腹板中心 O の節点力 ΔF と変位 ΔU に変換するようにした。すなわち、

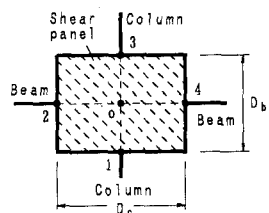
$$\Delta U_i = \lambda_i \Delta U_i, \quad \Delta F_i = \lambda_i^T \Delta F_i \quad (i=1 \sim 4) \quad \dots (1)_{a,b}$$

ここに、 $\mathbf{A}_i$: 節点 i から腹板中心 O への座標変換マトリックスであり、幾何学的な関係から、腹板の寸法 D_b と D_o 、および、時刻 t_i における剛体回転角 Θ_i とせん断変形角 γ_i によって表される。このとき、隅角部腹板のせん断変形に寄与する増分モーメントを ΔM_γ とすると、 ΔM_γ と増分せん断変形角 $\Delta \gamma$ との関係は次式で与えられる。

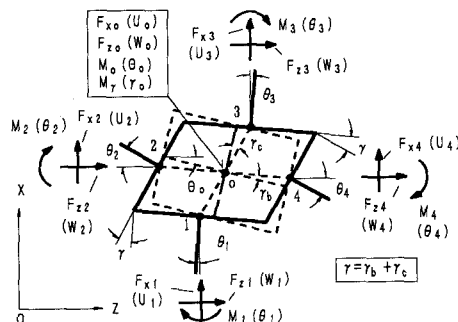
$$\Delta M_{\gamma} = 2G_t^* t_{w0} D_b D_c \cdot \Delta \gamma \quad \cdots (2)$$

ここに、 t_{w0} : 腹板厚、 D_b と D_o : Fig.1 参照、 G_t^* : 接線せん断係数。

動的解析では減衰の影響を無視し、運動方程式の数値積分にはNewmark β 法を用いた($\beta=1/4$)。復元力の計算には材料学的・幾何学的非線形性を考慮し、材料の応力 σ -ひずみ ε 関係にはBi-linear型を用い、部材一般部の降伏を垂直応力・ひずみにより評価した。ここで、 σ - ε 曲線の弾性・塑性域の勾配には、それぞれ $E=2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ お

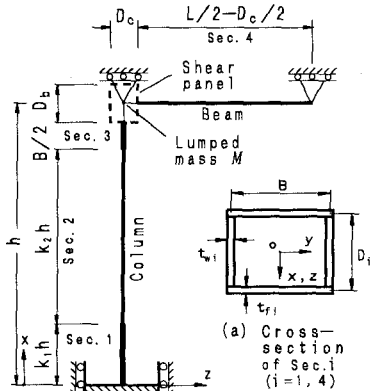


(a) Beam-to-column connection of frame



(b) Shear panel after deformation and definition of angles γ , θ and θ

Fig. 1 Shear deformation of beam-to-column connection



(b) Boundary condition

Fig. 2 Analytical model of portal frame

よび $E/100$ を仮定した。また、隅角部パネルについては、降伏せん断応力を $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ とし、せん断弾性係数 $G = 7.92 \times 10^4 \text{ MPa}$ 、塑性せん断係数 $G_s = G/100$ とした。

【3】数値解析結果と考察

柱頭部に定鉛直荷重 P を受ける門形ラーメンを Fig.2 に示すような境界条件の L 形ラーメンに置換して地震応答解析を行った。はり・柱は Sec.1~4 の 4 断面からなる (Table 1 参照)。ラーメンの弾性一次固有周期 $T=1\text{s}$ となるように集中質量 M_s (柱頭部) と M_x ($=M_s$ 、柱基部) を仮定し、隅角部腹板にはせん断変形に対する質量を別途求めて仮定した。水平地動加速度 $\ddot{u}_0$ には、El Centro 波の NS 成分記録の最初の 8 秒間を 2 ($=\alpha_s$) 倍に増幅して用いた。

Case 1: 隅角部腹板がせん断降伏しない場合 ($\tau_y = 314 \text{ MPa}$) と Case 2: せん断降伏する場合 ($\tau_y = 181 \text{ MPa}$) の解析結果から、柱頭部の水平復元力 H —水平変位 δ 関係、腹板の τ — γ 曲線、柱の部材軸方向の曲率 ϕ と軸ひずみ ϵ の分布、および、構成断面の履歴吸収エネルギーの時刻歴応答を Fig.3~Fig.6 に示す。

これらの図から、Case 2 では、隅角部域の下側断面 (Sec.2) の累積ひずみ量が Case 1 よりもかなり小さくなっており、隅角部腹板の塑性せん断変形が有利に作用していることがわかる。また、隅角部の履歴エネルギー吸収量は、塑性断面性能の大きな柱基部の Sec.1 断面とほぼ同程度になっている。

したがって、隅角部腹板への累積塑性ひずみの分散とそれに対応したエネルギー吸収分担の効率という点から、隅角部を激震時のエネルギー吸収部材として十分に利用できるものと考ええる。

あとがき: 隅角部腹板の降伏せん断耐力

や柱の部材軸方向の塑性断面性能をどのように設定すればよいかについて、今後検討する必要がある。

参考文献 1) 酒造敏廣、井上英俊：地震動を受ける鋼変断面片持ち柱の動的弾塑性応答に関する研究、第22回地震工学研究発表会・講演概要、No.151、土木学会、pp.535~538、1993年7月。2) 酒造敏廣：累積塑性ひずみと履歴エネルギー吸収に着目した鋼変断面柱の地震応答解析、第9回地震工学シンポジウム、土木学会（投稿中）。3) 酒造敏廣、事口寿男：鋼製ラーメン隅角部の崩壊性状と変形性能に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.37A、土木学会、pp.121~134、1991年3月。4) 谷 資信：骨組構造の解析、建築物の構造解析シリーズII、技報堂、pp.27~41、1976年12月。5) 日本建築学会：建築構造力学の最近の発展—応力解析の考え方、1987年11月。

Table 1 Dimension and yield point of frame

Items Sec.i	D_i (cm)	t_{xi} (cm)	t_{wi} (cm)	σ_y (MPa)
1	96	3.2	2.56	353
2	96	2.6	2.08	314
3	96	3.6	2.88	314
4	120	3.6	2.88	314

Notes: $h=15\text{m}$, $L=12\text{m}$, $B=120\text{cm}$,
 $D_s \times D_b \times t_{wo} = 96\text{cm} \times 120\text{cm} \times$
 2.88cm , $k_1=0.23$, $k_2=0.69$
 and $P_o=6,423\text{kN}$.

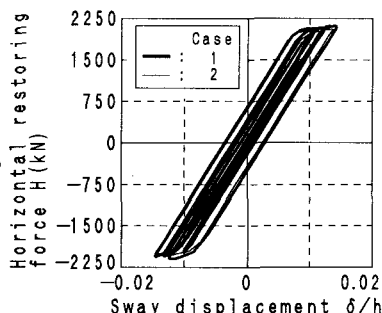


Fig. 3 H— δ curves

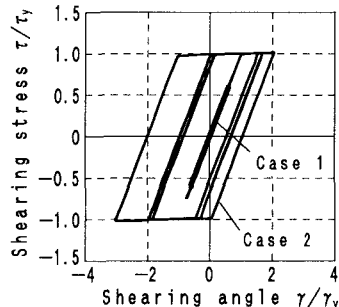


Fig. 4 τ — γ curves of shear panels

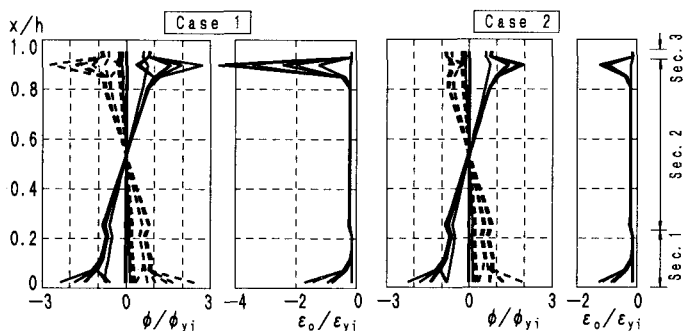


Fig. 5 Distribution of curvature, ϕ , and uniaxial strain, ϵ_o , of columns

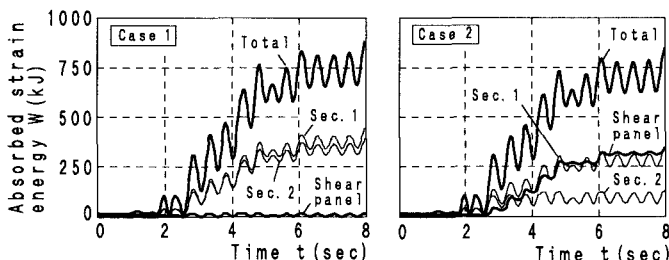


Fig. 6 Time history of absorbed strain energy