最上層損傷集中型多層骨組の D_s 値

正 会 員 秋 山 宏*

§1. 序

地震により建築物に投入されるエネルギーを骨組の第1層ないし基部で吸収し、上部構造へのエネルギー入力を軽減させる構造の D_s 値はすでに明らかにされた¹⁾。構造物の損傷（累積塑性ひずみエネルギー）を一か所に集中させることにより、他の部分はエネルギー吸収能力を確保するための束縛から解放され設計の自由度が増す。

第1層に損傷を集中させることの利点は次のように要約できよう。

- 1) 第1層は地震時のせん断力が最大となる部分であり構造材が最も多く投入されているため、一般にエネルギー吸収能力が大きく、他の層に損傷を集中させた場合に比べて、一定のエネルギー吸収に要する所要累積塑性変形倍率が小さくて済む。
- 2) エネルギーを第1層で吸収するため上層部へはエネルギーが入りにくくなる。したがって、上層部の加速度応答を極めて小さくすることができる。

一方、第1層にエネルギー吸収機構を設けることは、上層部に損傷集中層を構成する場合に比べて、より大きな施工上の困難を伴う。

施工的な観点から見れば、建物の最上層に損傷集中層を設けることが最も有利と考えられる。反面、最上層に損傷集中層を設けることは次の点で不利である。

- 1) 最上層は地震時のせん断力が最小となる部分であり、骨組のエネルギー吸収能力は潜在的に小さく、他の層に損傷を集中させる場合に比べて、一定のエネルギー吸収に要する所要累積塑性変形倍率は大きくなる。
- 2) 最上層にエネルギーが到達するためには他層をエネルギーが通過せざるを得ない。したがって、全エネルギーを最上層で吸収させることはできず、下層部分の加速度応答を極端に小さくすることはできない。

しかし、最上層に大きな累積塑性変形倍率を発揮し得るエネルギー吸収機構を開発することが可能であれば、下層部分の設計に用いる D_s 値をかなり小さな値にすることができる。

最上層に損傷を集中させることができれば、既存のエネルギー吸収能力に乏しい建築物の最上層にエネルギー吸収能力に富む層を増築することによってその建物の耐震性を向上させることも可能となる。

§2. 最上層損傷集中型多層骨組の応答特性

2.1 解析モデル

せん断型多層骨組の最上部にエネルギー吸収層を設ける場合に対応させて Fig. 1 に示す基本モデルを設定する。以下に最上層以外の層を一般層と呼ぶ。Fig. 1(a) は各階の重量が等しい多層骨組に対応させた多質点振動系である。各質点の質量は等質量 m であり、質点数は N である。Fig. 1(b) は下部の $N-1$ 質点を1質点に集約し、それと最上部の1質点から成る2質点振動系である。Fig. 1(b) のモデルは Fig. 1(a) のモデルの簡略型であると同時に、最上部の質点が下層部分の各質点の質量と異なる場合を表現し得ると云う意味では、Fig. 1(a) のモデルよりもより一般化されたモデルであるともみなし得る。2質点系の下部質点の質量 M は多質点系の $(N-1)$ 質点の総質量 $(N-1)m$ に相当する。

各層には弾性バネ定数 k_i および復元力特性が賦与される。復元力特性は、弾性剛性 k_i 、降伏耐力 Q_{yi} を持つ完全弾塑性型であるとする。

Fig. 1(a) に示す多質点系モデルの降伏耐力は次式で与えられるものとする。

$$Q_{yi, i < N} = (N - i + 1)m\bar{a}_i\alpha_i g \cdots \cdots (1)$$

Fig. 1 Analytical Model

* 東京大学 助教授・工博
(昭和 60 年 6 月 10 日原稿受理)

$$Q_{n1} = \frac{m \bar{a}_n \alpha_1 g}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_i &= f\left(\frac{i-1}{N}\right) \\ f(x) &= 1 + 1.5927x - 11.852x^2 + 42.58x^3 \\ &\quad - 59.48x^4 + 30.2x^5 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\bar{a}_i$ ：最適降伏せん断力係数分布
 α_1 ：第1層の降伏せん断力係数
 g ：重力加速度

(3) 式の $\bar{a}_i$ は等質量分布を持つせん断型多層骨組の各層の累積塑性変形倍率をほぼ一定にする降伏せん断力係数分布 (α_i/α_1) である。

(1) 式は一般部の降伏せん断力分布が最適分布であることを示し、(2) 式は、最上層の降伏せん断力係数が最適値 $\bar{a}_N \alpha_1$ の 1/2 であることを示す。こうすることによって最上層に損傷が集中する様になる。

Fig. 1(b) の 2 質点系モデルの降伏せん断力は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} Q_{n1} &= (M + m) \alpha_1 g \\ Q_{n2} &= \frac{m \bar{a}_2 \alpha_1 g}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

この場合も第2層の降伏せん断力係数を (3) 式で与えられる値の 1/2 とすることにより第2層への損傷集中が実現される。

基本モデルにおける各層のパネ定数は降伏せん断力 Q_{ni} に比例するものとする。つまり、各層の弾性限界の層間変位 (Q_{ni}/k_i) は一定値とする。

基本モデルを中心とし、また、これに若干の変化を持たせた系についても応答解析を行い応答特性を求める。振動系は履歴減衰以外のエネルギー吸収要素を含まない無減衰系とする。用いた地震記録は十勝沖地震八戸記録 (1968年) の EW 成分の主要動部分の 16 秒間で、最大加速度は 183 gal である。

2.2 損傷集中特性

Fig. 1(a) の多質点系について、第1層の降伏せん断力係数を変化させて最上層の損傷集中率を求めた結果、 α_1 が增大するにつれて最上層への損傷集中度が増大することが明らかとなった。最上層の損傷集中率は全損傷 W_p (各層の損傷の総和) に対する最上層の損傷 W_{pN} の比率である。1次固有周期を 1.0 sec に固定させて、 $W_{pN}/W_p = 0.8$ となるような α_1 の値を $N=3, 5, 10$ の場合について、応答解析を繰り返して試行錯誤により求めた結果が Fig. 2 に示されている。 $W_{pN}/W_p = 0.8$ を満たす α_1 の値 α_{1c} は階数 N が増すにつれて増大している。Fig. 2 に示す関係は次式で近似できる。

$$\alpha_{1c} = 0.056 N \alpha_{E1} \dots\dots\dots (5)$$

α_{E1} は弾塑性振動系に投入された総エネルギー入力 E が弾

Fig. 2 α_1 Required for $W_{pN}/W_p = 0.8$

Fig. 3 $W_{pN}/W_p - \alpha_1/\alpha_{1c}$ Relationship

性系に作用した時の第1層のせん断力係数であり、 α_{E1} は次式により定められる²⁾。

$$E = \frac{Mg^2 T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{\alpha_{E1}^2}{2} \dots\dots\dots (6)$$

E は塑性化する系では、もっぱら総質量 M と 1 次固有周期 T に依存する安定した量であり、ここでは 1 次固有周期を 1.0 sec に固定しているので、 N にかかわらず α_{E1} はほぼ一定値となる。 α_{E1} の平均値 $\bar{\alpha}_{E1}$ は図中に示されている。この $\bar{\alpha}_{E1}$ を用いた (5) 式による予測値が実線で示されている。

Fig. 3 には、 α_1 を α_{1c} 以下にした場合の α_1/α_{1c} と最上層の損傷集中率 W_{pN}/W_p との関係を示す。1 次固有周期はいずれも 1.0 sec である。 α_1 の増大に伴って損傷比率が増大する傾向がうかがえる。図示の関係を最も単純に直線近似すれば、次式が得られる。

$$\frac{W_{pN}}{W_p} = 0.8 \frac{\alpha_1}{\alpha_{1c}} = \frac{14.3 \alpha_1}{N \alpha_{E1}} \dots\dots\dots (7)$$

基準モデルの最上層の降伏せん断力係数は最適値 ((3) 式に従う値) の 1/2 である。 α_N が $\bar{a}_N \alpha_1/2$ と異なる場合の最上層の損傷比率を求めた結果が Fig. 4 に示されている。1 次固有周期はいずれも 1.0 sec である。最上層の損傷集中率を最大にする α_N が存在するが、それは N, α_1 に依存する。 $N=3, 5$ の場合は $\alpha_N = \bar{a}_N \alpha_1/2$

Fig. 4 Dependence of W_{PN}/W_P on α_N Fig. 5 Dependence of W_{PN}/W_P on k_N

の場合がほぼ最大の損傷集中率を与える。 α_N の変化に対して W_{PN}/W_P の変化は緩慢である。 $N=10$ の場合には、 α_N が $\bar{\alpha}_N \alpha_1 / 2$ より小さくなるにつれて損傷集中率は増大し、 $\alpha_N = 0.3 \bar{\alpha}_N \alpha_1$ で極大値になっている。一般に、 $N > 5$ の場合には W_{PN}/W_P が極大となる α_N は $\bar{\alpha}_N \alpha_1 / 2$ より小さくなる。したがって、実際の設計に際して、 α_N が $\bar{\alpha}_N \alpha_1 / 2$ より大きくならないように注意すれば、 α_N を $\bar{\alpha}_N \alpha_1 / 2$ に固定する必要はないと云える。

次に最上層の剛性が損傷集中率に及ぼす影響を与えるかを調べる。 $N=5$ で $T=1.0$ sec の基本型を基準として、最上層のみバネ定数を変化させる。最上部の1質点系と下部4質点系とを切り離した場合の最上部の1質点系の固有周期を T_s とし、下部4質点系の1次固有周期を T_L とする。基本系においては $T_s/T_L = 0.725$ である。下部4層のバネ定数を固定し、最上部のバネ定数の

みを変化させて損傷集中率を求めた結果が Fig. 5 である。 W_{PN}/W_P の極大値は T_s/T_L が 0.8~0.9 の時に生ずることがわかる。 $T_s/T_L = 1.0$ の近傍における T_s/T_L の変化に対する損傷集中率の変化は緩慢である。したがって、最上層のバネ定数を基本系に比べて小さ目に設計すれば、基本系について得られた損傷集中率 ((7) 式) の適用は安全側であると云える。

基本系は最上層以外の層の降伏せん断力係数分布が最適分布をなすものであり、最上層以外は損傷が平均的に分散する場合である。最上層以外の層の損傷が特定層に集中する場合にも、最上層への損傷集中率が (7) 式で推定できるかを確かめて置く。

最上層と特定層の降伏せん断力係数を原系に留め、特定層 (k 層) を除く一般層の降伏せん断力係数を次式により増大させて、特定層に損傷を集中させる。

$$\alpha_{i+N} = \bar{\alpha}_i \alpha_1 \times 1.5 \dots \dots \dots (8)$$

Table 1 には最上層の損傷比率を原系の場合 (特定層が無い場合) と比較して示す。特定層の序数 k および α_1 も同表に示されている。原系に比べて、特定層に損傷が集中する場合には最上層の損傷集中率は大きくなる。したがって、原系の応答解析に基づく (7) 式の評価式は一般の場合の最上層の損傷集中率の下限値を与えると云える。

Fig. 6 は Fig. 1(a) に示す基本系について、 T , α_1 を変化させて (7) 式の適用性を確認したものである。図中の○印ないし●印が最上層の損傷比率の実応答値で一印が (7) 式による予測値を示す。予測値の算出には実応答値を求める際に得られた総エネルギー入力に基づく α_{E1} を用いている。

Table 1 Damage Ratios for General Cases

N	k	α_1	W_{PN}/W_P
5	1	0.2	0.81
5		0.2	0.83
5	3	0.2	0.81
10	1	0.3	0.47
10		0.3	0.75
10	5	0.3	0.55

Fig. 6 Comparison between Individual Responses and Predicted Values

Fig. 7 Comparison between Individual Responses and Predicted Values

Fig. 7 は Fig. 1(b) に示す基本系についての第 2 層の損傷集中率を (7) 式による予測値と比較したものである。実応答値が○印で示され、予測値が—印で示されている。(7) 式中の質点数 N は、下部質点の質量が Fig. 1(a) の多質点系モデルの $(N-1)$ 層分の質量に対応すると考えられることから、 $N=(M+m)/m$ で表せ、(7) 式は次式のように書き換えることができる。

$$\frac{W_{ps}}{W_p} = \frac{14.3 m \alpha_1}{(M+m) \alpha_{E1}} \quad (9)$$

Fig. 6, 7 より (7) 式 (ないし (9) 式) の予測は的確であることがわかる。

§3. 最上層損傷集中型多層骨組の D_s 値

剛接骨組の最上部に損傷集中層を増設する場合についての剛接骨組の D_s 値を求める^{3), 4)}。

D_s 値は文献 3), 4) と同様に次式で定義する。

$$D_s = \frac{\alpha_1}{\alpha_{E1}} \quad (10)$$

ここで、 α_1 ：弾塑性系における第 1 層の降伏せん断力係数

α_{E1} ：弾性系における第 1 層のせん断力係数

ただし、 α_1 , α_{E1} は同一のエネルギー入力に対して求められるものとする。

まず、剛接骨組が Fig. 1(b) に示す 2 質点系の場合を扱う。エネルギーのつり合い式は次式のように書ける。

$$W_e + W_p = E_D \quad (11)$$

ここで、 W_e ：系全体の弾性振動エネルギー

W_p ：総損傷(累積塑性ひずみエネルギーの総和)

E_D は損傷に寄与するエネルギー入力で、設計用速度応答スペクトル V_D が与えられれば近似的に次式で表現できる²⁾。

$$E_D = \frac{(M+m)}{2} \cdot V_D^2 \quad (12)$$

W_e は次式で与えられる²⁾。

$$W_e = \frac{(M+m)g^2 T^2}{4\pi^2} \times \frac{\alpha_1^2}{2} \quad (13)$$

第 1 層の損傷を W_{p1} とすれば、 $W_{p1}/W_p = 1 - W_{p2}/W_p$ であり、 W_{p2}/W_p が (9) 式で与えられることから、 W_p は次式のように書ける。

$$W_p = \frac{W_{p1}}{1 - \frac{14.3 m \alpha_1}{(M+m) \alpha_{E1}}} \quad (14)$$

W_{p1} は第 1 層の平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}_1$ を用いて次式のように書ける。

$$W_{p1} = \frac{(M+m)g^2 T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{2 \alpha_1^2 \bar{\eta}_1}{x_1} \quad (15)$$

ここで、 $x_1 = k_1/k_{eq}$, $k_{eq} = 4\pi^2(M+m)/T^2$

(12), (13), (14) 式を (11) 式に代入し、(15) 式の関係を用いれば次式が得られる。

$$D_s^2 \left[1 + \frac{4 \bar{\eta}_1}{\left(1 - \frac{14.3 m D_s}{M+m}\right) x_1} \right] = 0 \quad (16)$$

k_{eq} は系の 1 次固有円振動数を ω とすれば $(M+m)\omega^2$ で表せ、 ω は次式により求められる。

$$\omega^4 - \left(\frac{k_1+k_2}{M} + \frac{k_2}{m} \right) \omega^2 + \frac{k_1 k_2}{Mm} = 0 \quad (17)$$

同様に、Fig. 1(a) に対応するせん断型多層骨組の場合についても D_s 値を求めることができる。

N 層のせん断型多層骨組の上部に 1 層を増設するものとして D_s 値を求める。この場合には、(12), (13), (15) 式は $M=Nm$ を代入することによりそのまま適用できる。

増設部を除く N 層の損傷を W'_p とすれば、(14) 式と同様に W_p は次式のように書ける。

$$W_p = \frac{W'_p}{1 - \frac{14.3 \alpha_1}{(N+1) \alpha_{E1}}} \quad (18)$$

せん断型多層剛接骨組の第 1 層の損傷 W_{p1} と全損傷 W_p との関係は、増設部の有無により影響を受けないと仮定すれば、次式により対応づけられる²⁾。

$$\frac{W'_p}{W_{p1}} = \gamma_1 = \frac{\sum_{j=1}^N s_j p_j^{-12}}{s_1 p_1^{-12}} \quad (19)$$

ここで、 γ_1 ：第 1 層への損傷集中係数

$$s_j = \left[\sum_{k=j}^{N+1} m_k / (M+m) \right]^2 \bar{\alpha}_j^2 (k_1/k_j) \quad (20)$$

$$p_j = \alpha_j / \bar{\alpha}_j \alpha_1$$

ここで、 m_k : k 質点の質量 (この場合 $m_k=m$)
耐震設計用の p_j の設定値としては次の値が得られている^{2),3)}。

$$\left. \begin{aligned} p_{j+1} &= 1.0 \\ p_1 &= \frac{1}{1.185 - 0.0014 N} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

(15) 式中の κ_1 は、各層のバネ定数分布が降伏せん断力分布に一致する場合には次式で近似できる^{3),4)}。

$$\kappa_1 = 0.48 + 0.52(N+1) \dots\dots\dots (22)$$

(12), (13), (18) 式を (11) 式に代入し、(10), (15), (19) 式の関係を用いれば次式が得られる。

$$D_s^2 \left[1 + \frac{4 \gamma \bar{\eta}_1}{\left(1 - \frac{14.3}{N+1} \cdot D_s \right) \kappa_1} \right] = 0 \dots\dots\dots (23)$$

増設部の質量が m_s で一般階の質量 m と異なる場合には、(23) 式中の $14.3/(N+1)$ を、2 質点系モデルの場合と同様に $14.3 m_s/(N+1)m$ で置き換えれば良い。

最上層に損傷集中層を設けない場合の D_s 値は、 $m_s=0$ の場合であり、次の値となる。

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 + 4 \gamma \bar{\eta}_1 / \kappa_1}} \dots\dots\dots (24)$$

ただし、この場合は、 $m_s=0$ で質点数が N であるから、

Fig. 8 D_s -values for Two-mass Systems

Fig. 9 D_s -values for Multi-mass Systems

Table 2 Values of $\bar{\eta}_1$

	rank of deformability			
	I	II	III	IV
$\bar{\eta}_1$	6.0	3.0	2.0	1.0 0.5

γ_1, κ_1 は (23) 式中の値とは若干異なるものとなる。

(16), (23) 式による D_s 値の算定値は Fig. 8, 9 に示されている。 $\bar{\eta}_1$ としては、建築基準法に示される構造ランクに対応させて、Table 2 に示す値を用いている³⁾。2 質点系モデルの降伏せん断力係数分布は $\alpha_2/\alpha_1=0.5$ とした。バネ定数の比率は次式のように設定した。

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{0.1M + 0.4m}{M + m} \quad (25)$$

バネ定数が降伏せん断力に比例する場合には $k_2/k_1 = 0.5m/(M+m)$ となるが、このように設定すると、 $m \rightarrow 0$ の場合に 1 次固有周期が $T = 2\pi\sqrt{M/k_1}$ に収束しない不都合を解消するために (25) 式のような設定を行った。

多質点系モデルの場合の降伏せん断力係数分布は $i \leq N$ では最適分布 $\bar{\alpha}_i$ に従うものとし、増設部は次式により設定した。

$$\alpha_{N+1} = 0.5 \bar{\alpha}_N \alpha_1 \quad (26)$$

κ_1 の値は (22) 式を準用した。

Fig. 8 は 1 層骨組の上部に 1 層を増設した場合である。図中の実線が (16) 式による値で、破線が $m=0$ の場合の 1 層骨組の D_s 値 ($=D_{s0}$) である。

Fig. 9 は N 層骨組の上部に 1 層を増設した場合であ

る、実線は $m_s=0$ の場合で、通常のせん断型多層骨組の D_s 値 ($=D_{s0}$) を曲線で連ねたものである。●印が $m_s=m$ の場合の D_s 値を、また○印が $m_s=m/2$ の場合の D_s 値を示す。

2 質点系モデルにおける $m/M=1.0$ の場合と、多質点系モデルにおける $N=1$ で $m_s/m=1.0$ の場合の D_s 値は一致すべきものである。両者の若干の違いは κ_1 の評価の差に起因する。2 質点系では κ_1 を精算で求めているのに対し、多質点系では (22) 式の近似値を用いている。しかし、両者の D_s 値の差はわずかであり、(22) 式の精度は $N=1$ の場合に最も劣ることから、(22) 式の適用による誤差は無視できるといえる。

Fig. 8, 9 から充分な塑性変形能力を備えた 1 層を最上部に増設することにより、 D_s 値を大幅に低減させることができることがわかる。その低減効果は変形能力に乏しい ($\bar{\eta}_1$ が小さい) 骨組において著るしい。

ここで用いた 2 質点モデルと多質点モデルの等価性を確認するため、最上層に 1 層を増設した場合の D_s 値と、増設しない場合の D_s 値 (D_{s0}) との比率 D_s/D_{s0} を Fig. 10 に示す。図中の実線は 2 質点モデルの場合の D_s/D_{s0} で、○印は多質点モデルの場合の値を示す。多質点モデルの場合の横軸の値 (m/M) は $1/N$ に等しい。実線と○印はほぼ一致しており、多質点モデルと 2 質点モデルの等価性を読み取ることができる。この等価性は (7), (9) 式の等価性に由来している。

1 層を増設することにより既存構造物の耐震性を向上させ得ることを以下に示す。

既存骨組の第 1 層の所要降伏せん断耐力 Q_n は次の

Fig. 10 Correspondence between Two-mass Systems and Multi-Mass Systems

ように書ける。

$$\left. \begin{array}{l} \text{1層骨組の場合 } {}_0Q_{y1} = D_{s0} M g_0 \alpha_{E1} \\ \text{多層骨組の場合 } {}_0Q_{y1} = D_{s0} N m g_0 \alpha_{E1} \end{array} \right\} \dots (27)$$

ここで、 ${}_0\alpha_{E1}$ ：既存骨組における α_{E1}

一方、増設部を設けた場合の第1層の所要降伏せん断耐力 Q_{y1} は次式のように書ける。

$$\left. \begin{array}{l} \text{1層骨組の場合 } Q_{y1} = D_s (M + m) g \alpha_{E1} \\ \text{多層骨組の場合 } Q_{y1} = D_s (N + 1) m g \alpha_{E1} \end{array} \right\} \dots (28)$$

ここで、 α_{E1} ：増設層を持つ骨組の α_{E1}

ただし、多層骨組において、 $m_s = m$ であるとする。 $Q_{y1} < Q_{y0}$ であれば、増設部を設けることにより、かえって耐震性が増すと考えることができる。増設部を設けることにより1次固有周期はのびる。設計用の V_p - T 関係として bi-linear 型のものを設定すれば、 ${}_0\alpha_{E1} \geq \alpha_{E1}$ となる²⁾。したがって、次式の成立を以って耐震性は向上すると判断できる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{1層骨組の場合 } \frac{(M + m) D_s}{M} < D_{s0} \\ \text{多層骨組の場合 } \frac{(N + 1) D_s}{N} < D_{s0} \end{array} \right\} \dots (29)$$

Fig. 8, 9 にはそれぞれ $D_s(M + m)/M$, $D_s(N + 1)/N$ の値を曲線で結んだものが細破線で示されている。図示のように耐震性向上の効果は変形能力に乏しい骨組において顕著である。

§4. 最上層の所要累積塑性変形倍率

増設部には損傷が集中する。この損傷量を完全弾塑性型復元力特性における平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}_s$ として求める。多質点系モデルで $m_s = m$ の場合を扱う。

最上層の損傷 W_{ps} は平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}_s$ を用いて次式のように書ける。

$$W_{ps} = \frac{m_s^2 \bar{\alpha}_N^2 \alpha_1^2 \bar{\eta}_s^2 g^2}{2 k_s} \dots (30)$$

ここで、 k_s ：最上層（増設部）のバネ定数

W_{ps} は (9) 式により与えられることから、(30) 式と (9) 式を等置すれば、 $\bar{\eta}_s$ は次式のように書ける。

$$\bar{\eta}_s = \frac{14.3 W_p}{N + 1} \cdot \frac{2 k_s}{m_s^2 \bar{\alpha}_N^2 \alpha_1^2 g^2} \cdot D_s \dots (31)$$

一方、第1層の累積塑性変形倍率は次式のように書ける。

$$W_{p1} = \frac{2 (N + 1)^2 m^2 \alpha_1^2 \bar{\eta}_1 g^2}{k_1} \dots (32)$$

(15), (18), (32) 式より、第1層の累積塑性変形倍率は次式のように書ける。

$$\bar{\eta}_1 = \left(1 - \frac{14.3 D_s}{N + 1} \right) W_p \cdot \frac{2 k_1}{(N + 1)^2 m^2 \gamma \alpha_1^2 g^2} \cdot D_s \dots (33)$$

Fig. 11 Required Values of $\bar{\eta}_s$

(31), (33) 式より次式が得られる。

$$\frac{\bar{\eta}_s}{\bar{\eta}_1} = 4 (N + 1)^2 \left(\frac{14.3 D_s}{N + 1} \right) \left(\frac{k_s}{k_1} \right) \frac{\gamma_1}{\bar{\alpha}_N^2} \dots (34)$$

Fig. 11 には $\bar{\eta}_s$ の値を示す。諸量の設定値は Fig. 9 を求めた場合と同じである。 $\bar{\eta}_1$ が大きくなると $\bar{\eta}_s$ も増大する。 $\bar{\eta}_s$ は 100 以下であり、最上層を鉄骨構造で構成すればこの程度の塑性変形能力を確保することは可能である。

§5. 結 語

多層骨組の最上部に塑性変形に富む1層を増設し、この層に損傷を集中させれば、多層骨組の耐震性を向上させ得ることを明らかにした。その効果は変形能力に乏しい骨組において著しい。

増設層の所要塑性変形能力を平均累積塑性変形倍率で表現すれば、おおむね 50 以下で、この程度の塑性変形能力を増設部に賦与することは可能である。

最上層の降伏せん断力係数はその直下の層の降伏せん断力係数の 1/2 以下とすれば良い。

参考文献

- 1) 秋山 宏：エネルギー集中型多層骨組における D_s 値，日本建築学会論文報告集第 341 号，1984 年 7 月
- 2) 秋山 宏：建築物の耐震極限設計，東京大学出版会，1980 年
- 3) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能—鋼構造，1981 年
- 4) 秋山 宏：はり降伏型鋼構造多層剛接骨組の D_s 値，日本建築学会論文報告集第 332 号，1983 年 10 月

SYNOPSIS

UDC : 624.02 : 624.042.7 : 620.1

D_s -VALUES FOR MULTI-STORY FRAMES ON THE TOP STORY OF WHICH DAMAGE CONCENTRATES

by Dr. **HIROSHI AKIYAMA**, Assoc. Prof., Univ. of Tokyo,
Member of A. I. J.

Energy absorption capacity is an indispensable property for earthquake resistant structures. To equip the top story with abundant energy absorption capacity and to make damage due to earthquakes concentrate on the top story result in an promising design option which has not been hitherto investigated.

In this paper the mechanism through which the input energy moves to the top story is clarified and the design criteria for this type of structure are expressed in terms of D -values.