

徳島大学大学院 学生員○奥田 泰広
 徳島大学工業短期大学部 正会員 平尾 潔
 徳島大学工学部 正会員 児嶋 弘行
 森長組 川崎 恭次

1. まえがき 強震下における骨組構造物の非弾性応答を正確に算定するためには、構成要素である部材や接合部等のレベルで非線形な復元力特性を考慮して骨組全体系の解析を行うことが望ましい。しかし、このような解析は、高速且つ大型の計算機を必要とし、多くの演算時間(費用)を要するため、繰返し計算が必要となる予備設計の段階等では実用的とはいえない。そこで本研究では、骨組構造物の実用的な非弾性応答解析モデルを導くための基礎的研究として、鋼低層せん断型骨組を対象として前述の全体系モデルと等価なせん断多質点系モデルのモデル化手法について研究した。そして、J.R.Pique の提案した等価一自由度系モデル(以下ESDOFモデルという)についても研究し、2, 3の数値計算結果をもとに、ESDOFモデルの各最大応答値の精度、ならびに、演算時間について若干の比較検討を行った。

2. せん断多質点系モデル 図1に示すように、骨組の任意の1層に 弾性剛性 EIk 、非弾性剛性 $pEIk$ 、降伏モーメント Mky ($k=1 \sim n$) であるバイリニアな復元力特性をもつ n 本の柱が含まれているものとし記述を簡単にするため各柱の降伏せん断力 $Qky = 2Mky/h = 12EIk \delta ky/h^3$ の大小関係が、 $Q1y > Q2y > \dots > Qky > \dots > Qny$ となるものとすれば、この1層全体の層せん断力 $\bar{Q}$ と層間変位 $\bar{\delta} = \delta_1$ との関係は、柱材の降伏状態に応じて次式のように表わされる。

$$1) \text{ 弾性 } \bar{Q} = \sum_{k=1}^n Qk = \{K \sum_{k=1}^n (Ik)\} \bar{\delta} \quad (Qn < Qny) \quad (1)$$

$$2) \text{ 弾塑性 } \bar{Q} = [K \{ \sum_{k=1}^{k-1} (Ik) + p \sum_{k=k}^n (Ik) \}] \bar{\delta} + \sum_{k=k}^n Qkqy \quad (Qk-1 < Qk-y, Qk < Qky) \quad (2)$$

$$3) \text{ 塑性 } \bar{Q} = p \{K \sum_{k=1}^n (Ik)\} \bar{\delta} + \sum_{k=k}^n Qkqy \quad (Qn > Qny) \quad (3)$$

また、 n 部材が降伏するときの層せん断力 $\bar{Q}ny$ は、 $\bar{Q}ny = \{K \sum_{k=1}^n (Ik)\} \bar{\delta}ny$ と表わされ、任意部材 k が降伏するときの層間変位 $\bar{\delta}ky$ 、層せん断力 $\bar{Q}ky$ は次式のように表わされる。

$$\bar{Q}ky = [K \{ \sum_{k=1}^k (Ik) + p \sum_{k=k+1}^n (Ik) \}] \bar{\delta}ky + \sum_{k=k+1}^n (Qkqy) \quad (4)$$

ここに、 $K = 12E/h^3$ 、 $\bar{\delta}ky = h^3 \bar{Q}ky / 12EIk$ である。したがって、この場合の層せん断力と層間変位の関係は、層内の柱が降伏するたびに剛性が低下するマルチリニア型の復元力特性で表わされることになる。このような関係を各層に導入すれば、周知の方法で動的解析を行うことができ、全体系モデルに置換することができる。

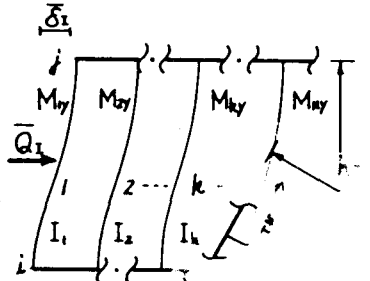


図1 第1層骨組

3. ESDOFモデル このモデルは、地震荷重を静的な荷重に置換し、構造物の静的解析を行い、その際得られる骨組の変形状と静的漸増荷重 F の基本単位荷重 F_0 に対する比をもとに骨組全体の剛性を求め、それらをもとに一自由度系にモデル化する方法である。²⁾ このモデル化には、次のような仮定が設けられている。1) 骨組は静的地震荷重をうけた場合の変形状で振動する。2) F は比例漸増荷重であり、 F_0 と比例定数 p の積で表わさ

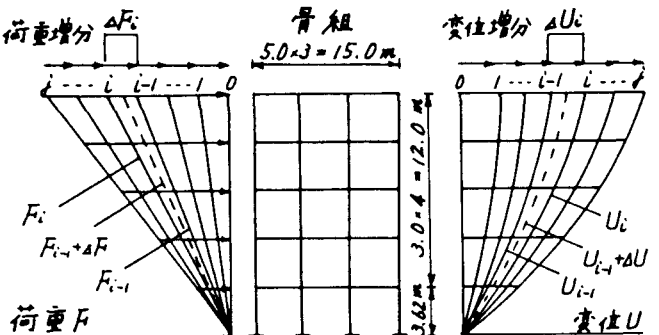


図2 ESDOFモデルの荷重、変位に関する仮定

れる。3) 図2のように荷重 F_{i-1} , 変位 U_{i-1} で骨組中の部材が塑性化し、荷重 F_i , 変位 U_i で新たな塑性化が生じた場合、この間での荷重増分 ΔF_i と変位増分 ΔU_i とは、式(5)のように比例関係にある。4) また、この間の各層における変位増分の比は、式(6)より一定に保たれる。

$$U(F_{i-1} + \Delta F) = U(F_{i-1}) + (\Delta F / \Delta F_i) \Delta U_i \quad (0 \leq \Delta F \leq \Delta F_i) \quad (5)$$

$$\Delta U = U(F_{i-1} + \Delta F) - U(F_{i-1}) = (\Delta p / \Delta p_i) \Delta U_i \quad (6)$$

4. 解析に用いた諸元

解析の対象とした1～5層骨組は、文献3)を参照し次の条件を設けて決定した。1) 各層の質量分布は、一定とする。(1層骨組: 500ton, 2～5層骨組: 229ton) 2) 各層の剛性分布は、図3に示すように直線的に変化するものとし、 $\kappa = 2.5$ を基準とする。3) 骨組は、図2に示すような3スパンラーメンとし、各骨組のタイプとしてタイプ1: 中間層に損傷が集中するもの、タイプ2: 損傷の集中が少ないものを考えた。このようにして決定した骨組 m_i の断面形状を表1、表2に示す。入力地震としては、EL-CEN

TRO 1940 NS 成分を用い、最大加速度を200, 300, 400 galと変化させて、継続時間10秒で解析した。また、ESDOF

モデルの解析に必要な静的解析を行う際には、逆三角形分布荷重および、せん断多質点系モデルの動的解析結果より得られる最大層せん断力分布と相似な分布荷重を漸増载荷させた。減衰項は、剛性比例型とし、運動方程式の解法は、増分法により、線形加速度法を用いて数値積分を行った。

5. 数値計算例 詳細については講演会当日発表するが、その一部として、せん断多質点系およびESDOFモデルの地震加速度400 galに対する最大応答水平変位および最大応答層間変位を図4、図5に示す。これらの図は、左側がタイプ1、右側がタイプ2を表わし、縦軸に層数、横軸に変位または層間変位をとっている。図中、せん断多質点系モデルの解析結果を二点鎖線で、逆三角形分布荷重を载荷した場合のESDOFモデルの結果を実線で、せん断多質点系モデルの最大層せん断力分布と相似な分布荷重を载荷した場合のESDOFモデルの結果を破線で示している。次に、本研究で解析した各層骨組の全体系、せん断多質点系およびESDOFモデルの解析に要する演算時間を表3に示す。なお、解析には、徳島大学中型計算機 FACOM-M360 を使用した。

6. まとめ

本研究では、次のようなことが明らかとなった。1) 柱材のバイリニアな復元力特性を仮定する場合には、せん断型骨組では、全体系モデルと理論的に全く等価な、せん断多質点系

モデルでモデル化できることが判明した。2) ESDOFモデルの精度は、モデル化の基本となる静的解析に用いる荷重の分布形に大きく影響し、また損傷の集中の程度による骨組のタイプにも左右される。3) ESDOFモデルは、全体系およびせん断多質点系モデルに比べて演算時間の面では、かなり有利である。

参考文献 1) 笹田修司・平尾 潔・成行義文: 鋼平面骨組の非弾性応答解析に関する2,3の考察, 土木学会第35回講演会概要集, I-15, pp.29~30, 1983.5 2) Javier R.Pique: On The Use Simple Model In Non-linear Dynamic Analysis, Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering Constructed Facilities Division Cambridge, September 1976, pp.20~32, pp.207~257 3) 鋼材倶楽部: 中低層鉄骨建物の耐震設計法, 技報堂出版, pp.332~334, 1978.4

表1 断面 (Type-1)

STORY	H * B * b * h
4	H-337*330*22*24
3	H-360*347*24*25
2	H-367*350*26*30
1	H-409*385*30*55

表2 断面 (Type-2)

STORY	H * B * b * h
4	H-294*213*20*35
3	H-294*375*18*35
2	H-294*450*40*37
1	H-428*407*20*35

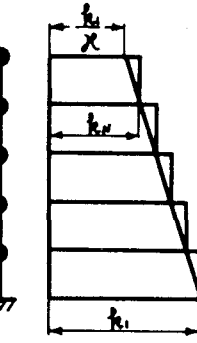


図3 剛性分布

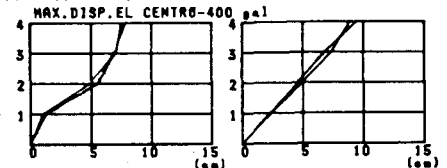


図4 最大応答水平変位

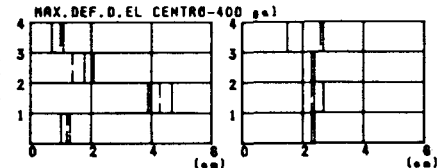


図5 最大応答層間変位

表3 解析に要する演算時間

	演算時間	比
全体系	52.74	12.93
せん断多質点系	11.84	2.90
ESDOF	4.08	1.00