

コンクリートフレーム構造物の弾塑性ハイブリッド地震応答実験

京都大学工学部 正員 山田善一  
 京都大学工学部 正員 家村浩和  
 京都大学大学院 学生 William Tanzo  
 京都大学大学院 学生 ○米山治男

1. まえがき

構造物の耐震設計にあたっては、耐用年間に何回か来襲すると予想される中小地震に対しては被害なく抵抗し、大地震に対しては構造物の損傷がある程度生じはしても、終局的な破壊には至らないようにするのが合理的である。そのため、耐用年間に1, 2回程度発生すると予期される強大地震時の構造物の地震応答挙動を解析するためには、履歴エネルギー吸収まで考慮した弾塑性地震応答解析を実施するのが適切であるといえる。本研究は、京都大学工学部土木工学教室耐震工学研究室において、William Tanzo らの実施した3層および5層のR/Cフレーム構造物モデルに対するサブストラクチャー・ハイブリッド実験と、同フレームモデルを対象にした弾塑性地震応答解析との比較検討を行い、解析による地震応答性が実験による応答挙動をどのくらい良く表現しているかを調べようとしたものである。

2. 弾塑性地震応答解析

解析においては、まず微小時間における曲げ部材要素の等価剛性マトリックスを作製し、線形加速度法を用いて運動方程式の数値積分をする方法を用いた。

2.1 弾塑性曲げ部材のモデル化

本研究では、曲げ挙動の卓越したモデルである武田モデルを履歴曲線に採用した。その履歴曲線に従って塑性変形が起こると仮定し、塑性挙動を簡易化することで部材のモデル化を行なった。ただし、部材は曲げ荷重にのみ抵抗するものとし、軸力・せん断力による部材の挙動や、引張鉄筋のスリップ現象に伴う部材端の回転は考えない。部材モデルはFIG. 1に示されている。

2.2 曲げ部材の剛性マトリックス

曲げ破壊に伴うフレキシビリティを  $f$  とすると、はりおよび柱の曲げ破壊に関する剛性マトリックスは次のようになる。

<はり> (FIG. 2)

$$\begin{bmatrix} \Delta M_X \\ \Delta M_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \beta_A & \beta_A \\ \beta_B & 1 + \beta_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L/3EI + f_A & -L/6EI \\ -L/6EI & L/3EI + f_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 + \beta_A & \beta_B \\ \beta_A & 1 + \beta_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_X \\ \Delta \theta_Y \end{bmatrix} \quad (1)$$

( $\beta_A, \beta_B$  = 剛体部分の長さを示すパラメータ)

<柱>

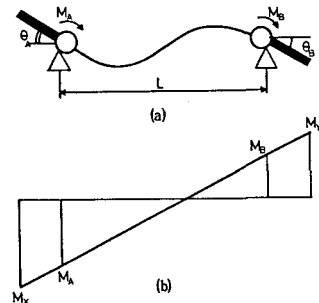
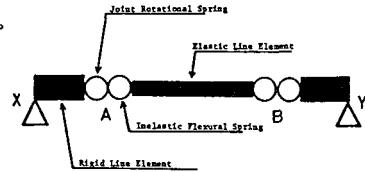
$$\begin{bmatrix} \Delta M_X \\ \Delta M_Y \\ \Delta P_X \\ \Delta P_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1/L & -1/L \\ 1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{梁要素の} \\ \text{剛性マトリックス} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1/L & 1/L \\ 0 & 1 & -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_X \\ \Delta \theta_Y \\ U_X \\ U_Y \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 運動方程式

$$\vec{M} \cdot \Delta \ddot{\vec{u}} + \vec{C} \cdot \Delta \dot{\vec{u}} + \vec{K} \cdot \Delta \vec{u} = -\vec{M} \cdot \Delta \ddot{\vec{y}} - \Delta \vec{F} \quad (3)$$

増加形式にすることで線形化し、微小時間内に剛度が一定という仮定を用いる。実際の履歴ループが曲線である理由から、補正值として  $\Delta \vec{F}$  を導入している。

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, William TANZO and Haruo YONEYAMA



### 3. サブストラクチャー・ハイブリッド実験と実験モデル

本実験では、3層あるいは5層のせん断質点形R/Cフレーム構造物に対し、その構造物の第1層のみが塑性挙動を示すとし、その部分をハイブリッド実験により直接的に観測した (FIG. 3, FIG. 4)。両方のモデルに対して第1層の柱材は同一の供試体を用い、フレームモデルのヒンジにあたる先端部に荷重を作用させた。解析では帯筋の影響を無視して計算を行った。また、入力地震動はEl Centro 地震(1940)のNS成分を用い、最大加速度340galを一定倍することにより500galとして30秒間分の解析を実施した。

### 4. 解析結果と考察

実験と解析とを、各々のフレームモデルの第1層の柱材上端でのモーメント-回転角関係から比較した (FIG. 5, FIG. 6)。IDA (Inelastic Dynamic Analysis) は解析のグラフを表し、SS-HYLSER は実験のグラフを表す。IDAの履歴曲線を規定するために、ハイブリッド実験で測定したひびわれ点・鉄筋降伏点の値を使用した。実験と解析では、構造物の挙動が弾性域で

良い一致を示し、塑性域では大きな変位差を生じた。これは、部材のモデル化の段階で塑性変形を起こす部分を部材端のみに定めたため、弾性挙動が卓越したからだと考えられる。実際の部材では、塑性変形は部材端に集中せず、部材の中心部分にまでひびわれが生じるため、これを評価する必要がある。また、3層モデルより5層モデルのほうが永久変形が大きくなっており質量慣性力の大きさによるものと推定される。

### 5. あとがき

本研究のモデルはかなり簡単なモデルであるにもかかわらず、実験・解析間にかなりの一致がみられた。今後は、ファイバーモデルを使用することにより、さらに正確な解析の実施が期待される。

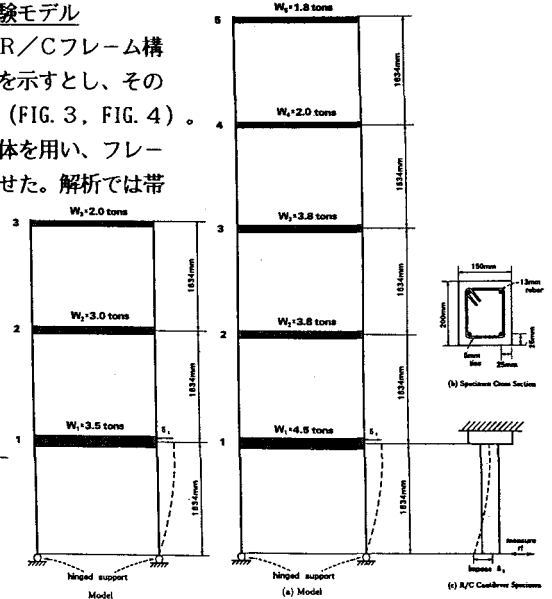


FIG. 3 3-story 1-bay Frame Model FIG. 4 5-story 1-bay Frame Model

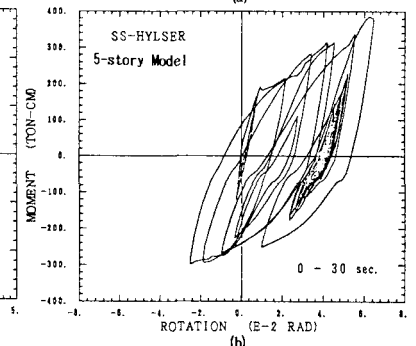
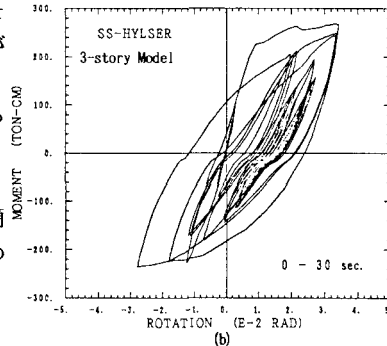
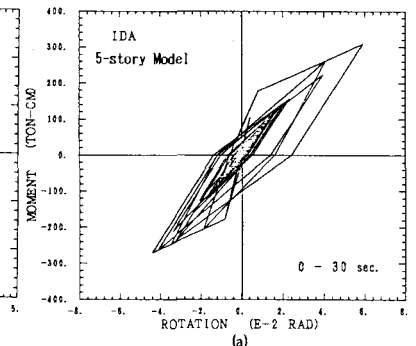
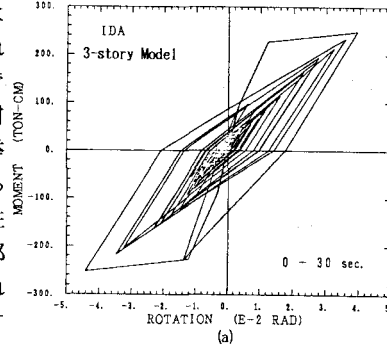


FIG. 5 Hysteresis Loop of 1-st Story Column for the 3-story Model (0-30 sec)

FIG. 6 Hysteresis Loop of 1-st Story Column for the 5-story Model (0-30 sec)