

論文 部材の履歴特性における耐力低下及びスリップ形状が RC 構造物の地震応答に及ぼす影響

鄭 文淑*¹・前田 匡樹*²・長田 正至*³

要旨：本研究では、梁曲げ降伏先行型の全体降伏機構を形成するように設計された 6 層 5 スパン RC 造平面骨組を対象にして弾塑性地震応答解析を行い、降伏ヒンジを想定した部分の耐力低下及びスリップ形状が建物の応答性状に及ぼす影響について検討した。耐力低下及びスリップの程度、またそれらの発生位置を変化させ、耐力低下及びスリップが生じない場合と比較し、その最大層間変形角、ヒンジ部の最大応答塑性率がどのように変化するか検討した。また、それぞれの応答増分の定量化を行い解析結果との比較検討を行った。

キーワード：骨組地震応答解析、耐力低下、スリップ、最大層間変形角、最大塑性率

1. はじめに

韌性に依存した鉄筋コンクリート造建築物の耐震設計¹⁾では、建物全体の降伏ヒンジで塑性変形による履歴エネルギーの消費を期待するため、いわゆる梁降伏型の全体降伏機構を形成するように設計する。しかし、部材が曲げ降伏した後、せん断強度や塑性変形能力が充分ではないときには、柱・梁接合部あるいは部材内での主筋の付着劣化やひび割れなどにより履歴エネルギー消費が劣化するスリップ性状や、繰り返し载荷によって耐力劣化が生じる。既往の研究によると、スリップ性状による地震応答の増大効果はあまり大きくないと指摘されている²⁾のに対して、繰り返しによる耐力低下は地震応答の増大効果に大きく影響を与えると報告されている³⁾。しかし、それらのいずれの影響も、応答の増大効果に関して定量的に十分に明らかにはされておらず、建物を設計する際に、どの程度のスリップや耐力低下が許容しうるかについては必ずしも明らかではない。

本研究では、部材の復元力モデルに耐力低下及びスリップを考慮した骨組モデルを設定し、耐力低下及びスリップの程度、それらの発生位置を変化させた弾塑性地震応答解析を行い、耐力低下及

びスリップがない場合の応答に対して、建物の最大応答に及ぼす影響を検討する。また、応答増分を設計に合理的に反映させるために、簡略に推定する手法について検討した。

2. 解析方法

2.1 解析対象構造物

解析対象構造物は図 1 に示す 6 層 5 スパンの RC 平面骨組とし、スパンは 6m、階高は 1 階で 4.0m、2 階～6 階まで 3.6m とした。部材断面は表 1 とした。コンクリート設計基準強度は 27 N/mm²、コンクリート弾性係数は 2.35×10^4 N/mm²、鉄筋は SD390 と設定した。積載荷重を含む単位重量は 12kN/m² と仮定した。建物の設計時に想定した降伏機構を図 1 に示す。すなわち 1 階柱脚と 6 階柱頭、2 階～6 階梁の両端を降伏ヒンジ領域に設定し、メカニズム時に梁曲げ降伏先行型の全体降伏機構を形成するように設計した。設計用外力分布は、震度逆三角形分布とし、鉄筋コンクリート造建築物の韌性保証型耐震設計指針⁴⁾に伴い降伏機構形成時のベースシア係数 C_0 が 0.25 になるように主筋を配筋した。この際には、最小配筋の規定は無視した。(6 階柱柱頭のみ最小配筋の規定を下回る。)

*1 横浜国立大学大学院 工学研究科 計画建設学専攻 (正会員)
 *2 東北大学大学院 助教授 工学研究科、博士(工学) (正会員)
 *3 横浜国立大学 教授 工学部 建設学科、工学博士 (正会員)

2.2 解析モデル

解析では剛床を仮定し、柱・梁部材は線材に置換して両端に塑性変形のすべてが集中する材端曲げバネモデルとした。せん断変形は弾性とし、軸変形は無視した。曲げバネの復元力特性は図2に示すようにトリリニア型とし、ひび割れモーメントは $M_c = 0.56\sqrt{F_c} \cdot Z + ND / 6$ (Z : 断面係数) により計算し、降伏点の割線剛性は弾性剛性の1/3倍、降伏後の剛性低下率は初期剛性の0.001倍とした。震度逆三角形分布の水平力による静的漸増载荷における層せん断力-層間変形角関係を図3に示す。但し、梁の耐力にはスラブ筋効果を無視した。

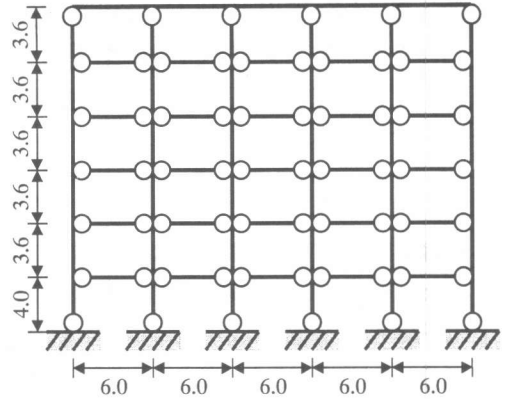


図1 解析対象構造物 (単位:m)

3. 部材の履歴特性及び応答増分の定式化

3.1 部材の履歴モデル

柱・梁部材の履歴特性は耐力低下及びスリップを考慮した CANNY Sophisticated モデル⁹⁾を使用した(図5, 図6)。その繰り返しルールを以下に要約する。除荷剛性 K_u は式(1)により設定するが、除荷剛性低下係数 η は図5のように反対側の初期剛性の延長線上で降伏強度に達する点を指すように η を1.0とした。(ただし, $\eta \geq 1$)

$$K_u = \frac{\eta M_y + M_m}{\eta M_y / K_0 + \theta_m} \quad (1)$$

耐力低下モデル(図5)は、式(2)に示すように再载荷時の指向点の耐力 \bar{M}_m を直前の最大応答点の耐力 M_m に耐力低下率 α を乗じて $\bar{M}_m = \alpha \cdot M_m$ に低下させる。塑性率と耐力低下率の関係を図5に示す。耐力低下率 α は式(3)のように、最大塑性率 μ と耐力低下係数 λ_μ により算定する。

$$\bar{M}_m = \alpha \cdot M_m \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \lambda_\mu (1 - 1/\mu) \quad (3)$$

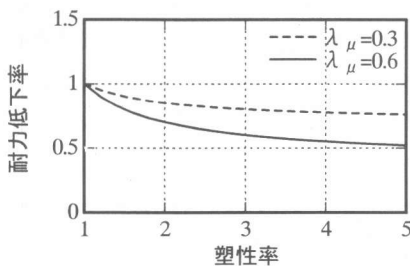


図4 塑性率と耐力低下率の関係

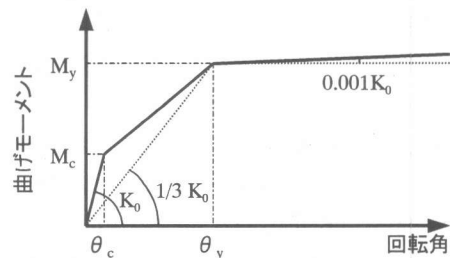


図2 部材端モーメント-回転角関係

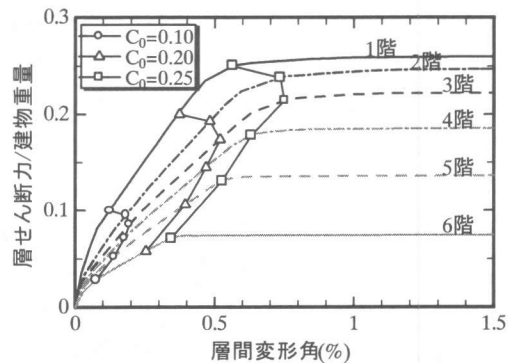


図3 層せん断力-層間変形角関係