

論文 部材耐力の不確定性を考慮した RC 骨組の弾塑性地震応答解析

江原 礼子*1・前田 匡樹*2

要旨：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 RC 造平面骨組の降伏機構について、層数およびスパン数を変化させ、骨組の降伏機構に影響を及ぼすと考えられる部材の曲げ耐力のばらつきや動的効果について検討するために、部材の曲げ耐力のばらつきを考慮した弾塑性地震応答解析を行った。本研究では部材耐力がばらつき要因として、耐力評価式の精度および材料強度のばらつきを考慮し、モンテカルロ法により設計時に想定した梁曲げ降伏先行型全体降伏機構の生起確率 P_f と柱梁耐力比 α の関係を検討し、ある目標確率で全体降伏機構を実現させるための設計条件を求めた。

キーワード：部材耐力の不確定性、全体降伏機構、柱梁耐力比、生起確率、動的効果

1. はじめに

靱性に依存した鉄筋コンクリート造建築物の耐震設計では、地震入力エネルギーを特定層ではなく建物全体の降伏ヒンジで吸収するような、いわゆる梁曲げ降伏先行型の全体降伏機構を形成するような設計が望ましいとされている。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説」(以下、靱性保証指針と略す)¹⁾では、設計時に想定した梁曲げ降伏先行型全体降伏機構を確実に実現させるために、骨組を構成する各部材を、降伏ヒンジを計画する部材(ヒンジ部材、主に梁部材)および計画しない部材(非ヒンジ部材、主に柱部材)に明確に区別し、ヒンジ部材に対しては十分な靱性を確保し、非ヒンジ部材には曲げ降伏ヒンジの発生やせん断破壊・付着破壊などの脆性的な破壊が生じないように部材設計を行うこととしている。そのためヒンジ部材降伏後の耐力上昇を考慮して、ヒンジ部の曲げ耐力を割り増した曲げ上限強度を設定し、せん断・付着耐力及び非ヒンジ部材の曲げ耐力がヒンジ部材の曲げ上限強度を上回るように設計を行うこととしている。

筆者らはこれまでに、鉄筋コンクリート部材の構成材料である鉄筋およびコンクリートの材料

強度のばらつきや耐力評価式の精度に伴う部材耐力のばらつきを定量化し、単一の部材および一節点の破壊形式の信頼性、静的外力下での骨組の降伏機構の信頼性を評価してきた²⁾。

本研究では、これらの検討結果を用い、確率論により梁曲げ降伏先行型の全体降伏機構となるよう設計された RC 骨組について、部材耐力の不確定性および地震動入力による動的効果の影響を検討するため、梁および柱部材の曲げ耐力のばらつきを考慮した弾塑性地震応答解析を行い、設計で想定した梁曲げ降伏先行型全体降伏機構の信頼性(生起確率)と柱梁耐力比の関係について検討した。ここで柱梁耐力比とは、設計用外力分布によって得られたヒンジ部材応力に対する、非ヒンジ部材応力の割り増し率であり、靱性保証指針¹⁾では降伏ヒンジの上限強度算定用耐力割り増し係数および動的増幅係数としている。

2. 解析手法

2.1 解析対象建物

解析対象建物は、図-1に示す3層1スパン(骨組A)および3層5スパン(骨組B)のRC造平面骨組であり、建物の柱脚は完全固定とし建物と地盤の相互作用は考慮しないこととした。スパン

*1 前田建設工業株式会社 横浜支店 (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)

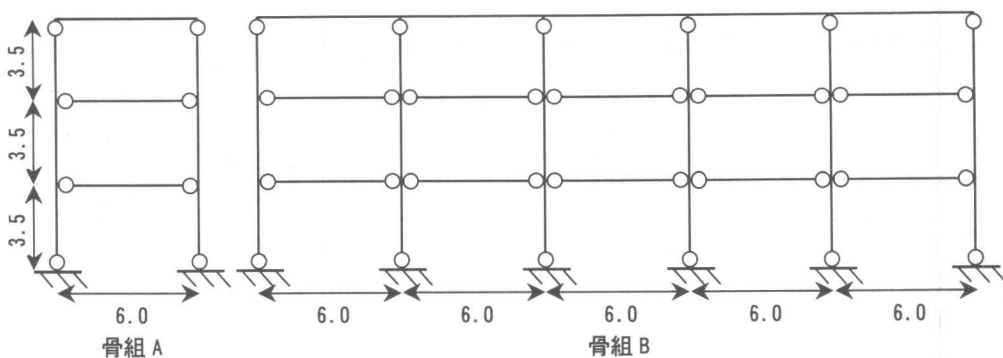


図-1 解析対象建物

数による部材耐力のばらつきおよび動的効果の影響の違いを検討しやすいように、骨組 A と骨組 B の固有周期を一致させた。曲げ耐力に材料の規格強度に基づく曲げ信頼強度を用いた確定論では、図-1 に示すような梁曲げ降伏先行型の全体降伏機構、すなわち 1 階柱脚、3 階柱頭、2 階および 3 階梁の両端が降伏ヒンジ領域となる降伏機構を形成する。各層の重量は 1 スパンあたり 432kN ($12\text{kN/m}^2 \times 6\text{m} \times 6\text{m}$, 12kN/m^2 : 単位床重量) で均等とし、部材断面は表-1 に示す値とした。設計用外力分布は震度逆三角形分布とし、降伏機構形成時のベースシア係数は 0.3 とした。柱部材の非ヒンジ領域の曲げ信頼強度は、ヒンジ領域に曲げ上限強度を用いた静的漸増載荷解析による応力とした。本研究では、曲げ上限強度算定用の耐力割り増し係数を、梁曲げ耐力に対する柱曲げ耐力の比であると考え柱梁耐力比 α と定義し、 $\alpha=1.2 \sim 2.3$ を 0.1 刻みとした 13CASE を検討した。また、部材は十分なせん断耐力および付着耐力を有すると仮定し、せん断破壊および付着破壊は考慮しないこととした。

表-1 検討対象梁・柱断面

	梁部材	柱部材
断面 $b \times D$ (cm)	45×75	70×70
σ_y (MPa)	390	390
σ_b (MPa)	40	40

2.2 解析モデル

解析では剛床を仮定し、梁部材および柱部材は両端に剛塑性曲げバネを有する線材に置換した。

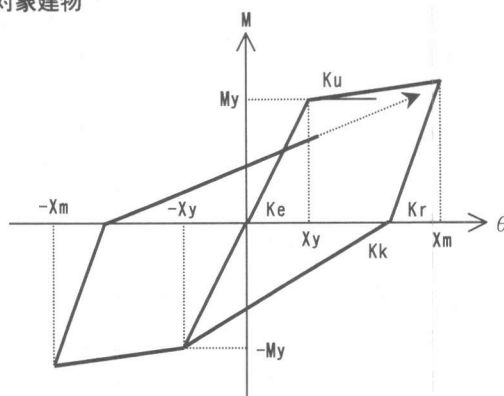


図-2 曲げバネの復元力特性

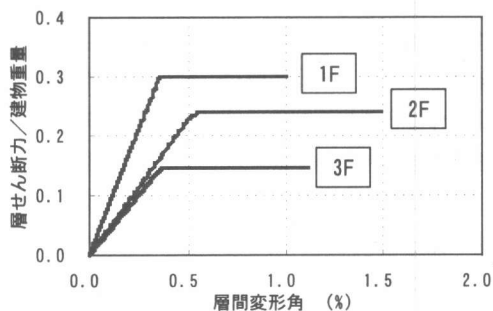


図-3 層せん断力-層間変形角関係

各部材のせん断変形および軸方向変形は無視した。部材両端の曲げバネの復元力特性は、鉄筋コンクリート部材を想定した、図-2 に示す修正 Clough モデル (部材の初期剛性は弾性剛性の 0.33, 降伏後の剛性低下率は 0.001) とした。震度逆三角形分布を用い、静的漸増載荷解析による層せん断力-層間変形角関係を図-3 に示す。

2.3 入力地震動

入力地震動は El Centro (1940) の NS 記録およ