

1. はじめに

地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建物に残された耐震性能を評価する指標として、日本建築防災協会の「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針(2001年)」¹⁾(以下、被災度区分判定基準)で耐震性能残存率 R が提案されている。既往の研究²⁾では、解析対象となる構造物が全ての部材で同一の破壊性状である場合についてのみ R の妥当性が検討されている。そこで本研究では、部材による破壊性状の違いを考慮し、曲げ柱とせん断柱の降伏強度の比率、弾性周期をパラメータとした地震応答解析を行ない、地震波の大きさに定義される耐震性能残存率と R 指標を比較することにより被災度区分判定基準による評価の妥当性を検証する。

2. 地震応答解析

2.1 解析モデル

解析対象構造物は、ピロティを有する鉄筋コンクリート造多層構造を想定し、2階以上を完全に剛とした1質点系にモデル化した。また、復元力特性は図1のように設定し、弾性周期を0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.8,1.0秒と変化させ、降伏時のベースシア係数を0.3に統一した。

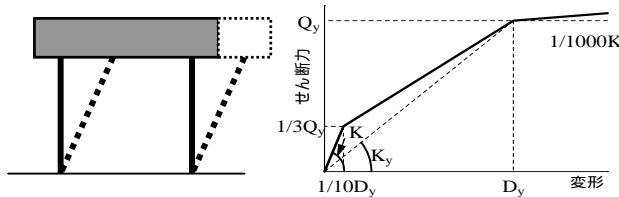


図1 モデル化のイメージ図と復元力特性

履歴モデルは TakedaSlip モデルに加え、負剛性を取り入れた負剛性モデル、さらに指向点移動を取り入れた図2のような指向点移動モデルの3種類で解析を行った。

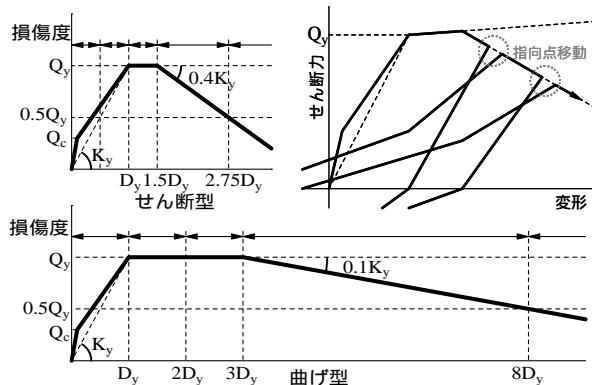


図2 解析モデルの荷重-変形関係と履歴モデル

変形能力と損傷度の関係及び負剛性の設定については、異なる2種類のモデルを既往の実験³⁾を参考にして図2のように、それぞれせん断柱(終局塑性率2.75)、曲げ柱(終局塑性率8)の部材を設定した。それぞれの解析モデルを構成する柱は、せん断柱と曲げ柱の Q_y の比率が0:100、25:75、50:50、75:25、100:0となる5パターンで検討した。荷重-変形包絡線と損傷度

の関係については、解析結果と被災度区分判定基準をもとに図2のように設定し、それぞれのモデルにおいて損傷度 から耐力低下が始まり、損傷度 に達した時点で耐力が降伏強度の50%に低下するようにした。

2.2 入力地震波

入力地震波は観測波4波と模擬波2波を用いた。観測波はEl Centro NS、東北大学 NS、神戸海洋気象台 NS、大阪ガス管合供給所 N30Wの4波である。模擬波は建築基準法の限界耐力計算法を参考に目標加速度スペクトルを設定し、そのスペクトルに近似するような加速度応答スペクトルを持つように、主要動の長さや継続時間の異なる2種類をそれぞれS波、L波として作成した。

2.3 残存耐震性能の評価方法

被災度区分判定基準では、損傷を受けた部材の残存耐震性能を評価する値として耐震性能低減係数 が提案されており、損傷度と耐震性能低減係数 との関係が表1のように定量化されている。

表1 耐震性能低減係数

損傷度	せん断柱	曲げ柱
無損傷	1.00	1.00
	0.95	0.95
	0.6	0.75
	0.3	0.5
	0	0.1

また、せん断柱と曲げ柱から構成される解析モデルの耐震性能残存率 R は式(1)より求める。

$$R = \frac{Q_s}{Q_s + Q_m} s(\mu) + \frac{Q_m}{Q_s + Q_m} m(\mu) \quad (1)$$

Q_s : せん断柱の降伏強度 Q_m : 曲げ柱の降伏強度

$s(\mu)$: せん断柱の $m(\mu)$: 曲げ柱の

ここで $s(\mu)$ 、 $m(\mu)$ については、各損傷度の上限の塑性率 μ と、表1の の値を結ぶ折れ線で近似した。

以上より、解析モデルの塑性率と耐震性能残存率 R との関係を求めたグラフを図3に示す。尚、耐震性能残存率 R による被災度区分は被災度区分判定基準により次のように定義されている。

[軽微]	$R \geq 95 (\%)$
[小破]	$80 < R < 95 (\%)$
[中破]	$60 < R < 80 (\%)$
[大破]	$R < 60 (\%)$

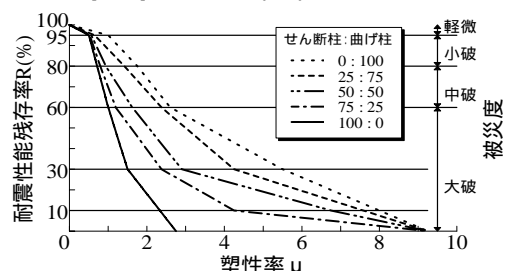


図3 塑性率 μ と耐震性能残存率 R の関係

また、地震応答解析による耐震性能を評価する値として、既往の研究⁴⁾⁵⁾で耐震性能残存率 R_{dyn} が定義され

ている。この耐震性能残存率 R_{dyn} は、無損傷時での限界地震波倍率 A_0 に対する、ある被災度が生じた後での限界地震波倍率 A_{dR} の割合として式(2)で定義される。

$$R_{dyn} = \frac{A_{dR}}{A_0} \quad (2)$$

ここで限界地震波倍率とは、終局変形に至る地震波の大きさを表し、残存耐震性能がほぼ失われる変形 ($R=10\%$) を終局変形とした。

3. 解析結果

3.1 履歴モデルが耐震性能残存率に及ぼす影響

履歴モデルが耐震性能残存率に及ぼす影響を検討するため、計6波の地震波を入力して得られた耐震性能残存率の平均値と標準偏差を求めた。例としてせん断柱 50:曲げ柱 50 における結果を図4に示す。ここで、解析結果により得られた耐震性能残存率について、1以上となったものは1とみなして解析結果の検討を行った。また、図4中の破線は、(平均値 - 2 × 標準偏差) を表し、本研究においてこの値を耐震性能残存率の下限値として扱った。指向点移動モデルと負剛性モデルを比較すると、平均値、下限値共に大きな差は見られず、指向点移動による耐震性能残存率への影響は小さいと考えられる。この2モデルと TakedaSlip モデルを比較すると、平均値、下限値共に耐力低下を考慮した2モデルの方が低く、被災度区分判定基準に近い値となった。尚、せん断柱と曲げ柱の比率が違う他の解析モデルにおいても同様の結果となった。これにより、履歴モデルにおいて耐力低下を考慮する必要性が確認された。従って、以降は耐力低下を考慮した指向点移動モデルの解析結果を用いて検討を行う。

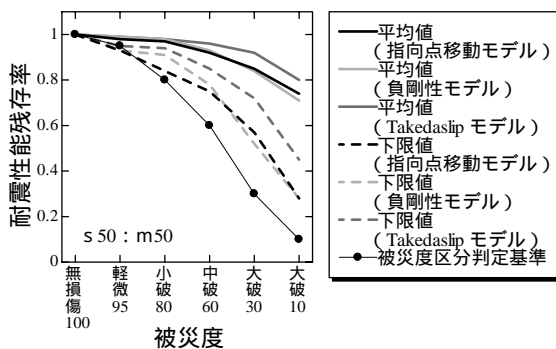


図4 被災度と耐震性能残存率の関係

3.2 周期・変形性能が耐震性能残存率に及ぼす影響

周期・変形性能が耐震性能残存率に及ぼす影響を検討するため、計6波の地震波を入力することにより得られた耐震性能残存率を、周期ごと、変形性能ごとに平均したものをそれぞれ図5に示す。周期ごとに比較すると、周期0.5秒辺りまでは、周期が短いほど耐震性能残存率が低く、被災度が大きくなる程その傾向が顕著である。また、それ以降の周期では耐震性能残存率はほぼ一定であった。変形性能ごとに比較すると、それぞれの被災度において、柱の降伏強度の比率による大きな差は見られず、せん断柱と曲げ柱が混在しているモデルについても、

せん断柱、曲げ柱のみの場合と同様に評価できると考えられる。

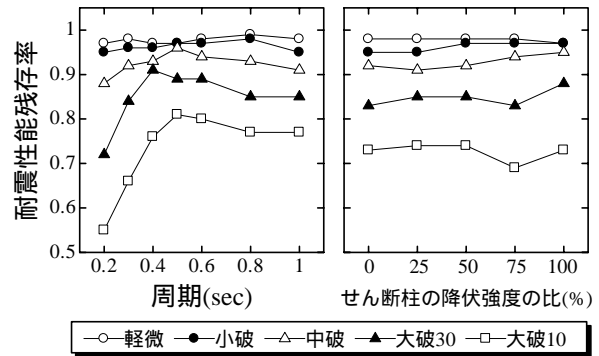


図5 周期・変形性能と耐震性能残存率の関係

3.3 被災度区分判定基準との比較

地震により被災した建築物の機能の維持や復旧の可否に最も関わると考えられる小破、中破、及び人命の安全性に関わる大破 ($R=30\%$) について被災度区分判定基準と解析結果を比較・検討するため、計6波の地震波を入力することにより得られた耐震性能残存率の下限値と周期の関係を図6に示す。被災度区分判定基準が一部解析結果を上回っている場合も見られるが、全ての周期、変形性能において概ね被災度区分判定基準が解析結果を下回り、安全側に評価している。

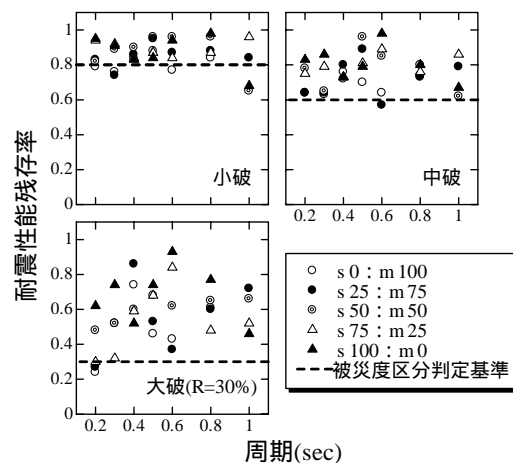


図6 周期と耐震性能残存率の下限値の関係

4. まとめ

履歴モデルにおいては、最大耐力後の耐力低下を考慮する必要があることが確認された。また、異なる破壊性状及び変形性能を持つ部材が混在する建物についても、単一の部材から構成される建物と同様に、被災度区分判定基準は解析結果を概ね安全側に評価しており、残存耐震性能を評価する指標として妥当であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針、2001年
- 2) 康大彦：地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の残存耐震性能評価、平成15年度東北大学博士学位論文
- 3) 鄭文淑、前田匡樹他：地震被害を受けたRC造建築物の残存耐震性能の評価、構造工学論文集、Vol.48.B、2002.3
- 4) 田中康介、康大彦、前田匡樹、堀則男：模擬地震波を用いた地震応答解析による震災RC造建築物の残存耐震性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.211~212
- 5) 鄭文淑、文野正裕、前田匡樹他：柱部材の損傷状態に基づく残余耐震性能評価(その1)実験概要および結果