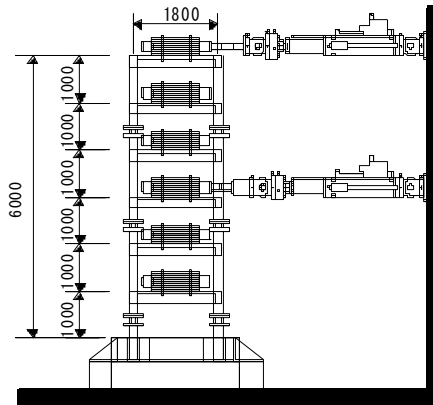


地震時の繰り返し挙動を考慮した鉄筋コンクリート造建物の応答評価と部材の損傷評価に関する基礎研究

-エネルギー指標を用いた検討-

構造研究グループ 研究員 向井 智久

I はじめに 本研究では、地震時の繰り返し挙動を考慮した耐震性能評価手法を構築することを目的とした。建物の保有する荷重と変形の積で算定される履歴吸収エネルギーに着目し、地震時における鉄筋コンクリート造(RC 造)建物の最大応答値の推定(応答評価)と RC 部材の繰り返し挙動によって生じる損傷程度の把握(損傷評価)について検討を行い、実験により本手法の有効性を確認した。本手法は、地震時における建物の繰り返しの揺れの影響を「繰り返し回数」で陽に評価できるため、海洋型地震や直下型地震等の地震発生条件や長時間地震動の揺れの影響を考慮したい建物の耐震性評価に適している。



当該式により最大応答塑性率を推定した結果を表1に示す。表より最大応答をおおむね予測できていることが分かる。従って、立体 RC 造建物を対象とした場合における本推定法の妥当性が確認された。

図1 6層試験体立面

II 6層立体RC造建物の仮動的実験結果による提案手法の妥当性の検証(応答評価手法の妥当性) 試験体は6層1×2スパン(図1参照)で、中央に連層耐力壁を有している。なお試験体の縮尺は1/3である。また、両固定条件(基礎回転、固定)の実験は同一試験体で行い、単点加力より得られた固有周期は、基礎回転:0.157sec, 基礎固定:0.269secとなった。加力装置の都合上、無限均等スパンと仮定した支配面積に対して梁の長期設計を行い、梁ヒンジ機構を保証する柱の設計を行った。また、既往の実験で指摘されている直交梁及びスラブ効果を考慮し、逆三角形の外力分布を想定した場合の試験体の保有水平耐力は基礎回転415kN($C_B=0.74$), 基礎固定739kN($C_B=1.32$)となった。

次にエネルギー吸収のモデル化を行い、最大応答変形推定式を導く。RC造建物のエネルギー吸収量ESとして、弾性歪みエネルギー E_y と1サイクル目の塑性歪みエネルギー E_{ds} 、2サイクル目以降の累積塑性歪みエネルギー E_c 、粘性減衰吸収エネルギー E_h の4種類から構成されるモデル化を行う。なお、 E_h は初期剛性比例型の式とした。エネルギー吸収量ESと入力エネルギー量EDが等しいとした釣り合い式より、最大応答変位 δ_p の算定式が得られる。

表1 最大応答塑性率の推定結果

基礎回転			基礎固定		
地震動	実験値	推定値	地震動	実験値	推定値
TOH25	0.08	0.14	FKOBE50	0.56	0.82
ELCE37	0.33	0.59	FKOBE75	0.80	1.21
KOBE50	1.08	1.48	FTAKA250	2.04	2.59
KOBE75	1.73	2.02			

III RC造梁部材のエネルギー吸収モデルの提案及び安全限界吸収エネルギー量算出式とその妥当性 7体の試験体は同形状・同配筋の曲げ降伏する梁部材で、せん断余裕度が約1.1から1.2程度(せん断余裕度のばらつきはコンクリート強度の違いによる)であり、曲げ降伏後にせん断圧縮破壊するように設計した。図2に示すように部材断面200×300mm、シラスパン700mmの梁部材で、主筋の歪みゲージは梁端部とせん断補強筋に貼付した。パラメータは载荷履歴であり、(1)地震時の応答履歴(以下、本震・余震载荷)、(2)左右均等な定変位繰返し载荷(以下、両側定変位载荷)、(3)一方向に片寄った定変位繰返し载荷(以下、片側定変位载荷)、(4)±5, 10, 20, 30, 40, 50×10³rad.の漸増繰返し载荷(以下、漸増载荷)とする。

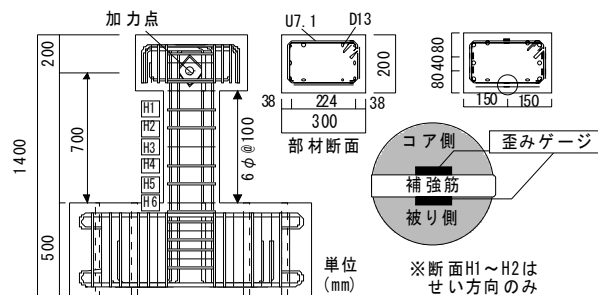


図2 試験体概要及び補強筋のゲージ貼付位置

文献2)において曲げ降伏する梁部材の安全限界点を特定し、安全限界履歴吸収エネルギーを算定した。ここでの安全限

界点は、漸増荷重試験体の繰り返し加力に伴う耐力低下点とヒンジゾーンのせん断変形成分の割合の関係性から定義し、その関係性を用いてランダム荷重する本震試験体のヒンジゾーンの安全限界点を決定した。実験の結果に基づき図3に梁部材における各種限界状態の吸収エネルギーモデルと吸収量の推定式を提案する。提案する手法は文献1)に示したエネルギー吸収モデルを修正したものである。使用限界点は弾性範囲内であると仮定したため、繰返し数によらず吸収エネルギー量は一定である。1サイクル目の塑性歪み吸収エネルギーは、地震時応答変位の片寄りが大きい場合と、左右ほぼ均等である場合とに分けて算出する。図中の α は1サイクル目の塑性歪みエネルギー吸収の効率係数で、規則的荷重試験体5体の1サイクル目のエネルギー量の実験値より逆算した。次に2サイクル目以降のエネルギー量 E_n を算出する場合に必要な繰返し履歴吸収エネルギー性能を表すループ面積係数 ξ は2種類提案した。具体的には、文献2)で検討した各試験体の ξ と、塑性率 μ 及び繰返し数NDの関係性を線形近似し、本震を受ける前に損傷を受けたことを想定した ξ_d は漸増荷重の実験値より、損傷を経験しないことを想定した ξ_{non-d} は両側、片側定変位荷重の実験値より以下の式で算出する。

$$\xi_d = (0.01ND - 0.09)\mu - 0.09ND + 0.68 \quad (1)$$

$$\xi_{non-d} = (0.01ND - 0.05)\mu - 0.16ND + 0.75 \quad (2)$$

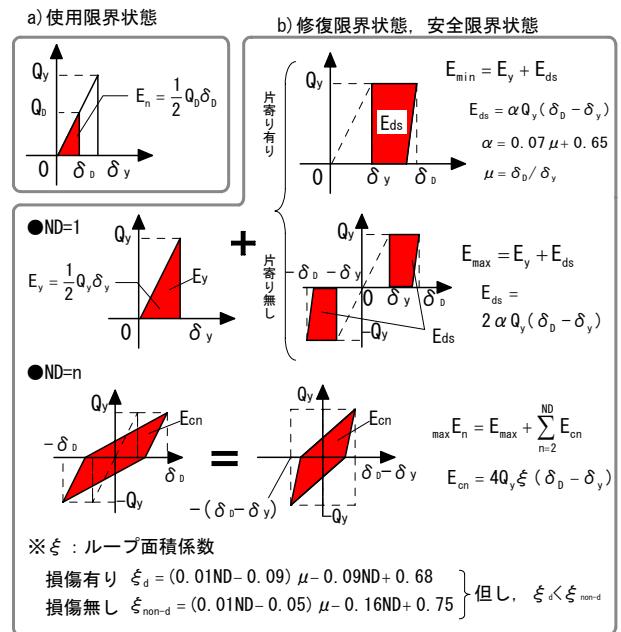
ただし、 ξ_{non-d} の値が ξ_d を下回る場合は ξ_d の値を用いる。その結果得られる ξ - μ 関係を図4に示す。図中の点は実験値で黒丸は漸増荷重、白丸は定変位荷重の結果である。図より、式(1)及び(2)より、ある塑性率におけるエネルギー吸収性能が分かるため、地震時の繰返し荷重を考慮した安全限界変形(塑性率)を定め、上式を用いて本震荷重試験体の安全限界吸収エネルギーの算定を行う。その際、文献2)で定めた安全限界点に至るまでに経験した正負の最大変形の平均値を用い、 ξ は本実験結果(本震と漸増(2)との相関性が高い結果)より損傷有りの ξ_d を用いた。その結果を図5に示す。図よりNDを大きく想定した安全限界吸収エネルギーの計算値は、本震荷重時のそれと相関性があり、本式は概ね精度良く部材の安全限界吸収エネルギーを評価できた。

IV 今後の展望 本提案式の適用範囲並びに妥当性の検討に加えて、一般的な評価方法として提案するには累積損傷を考慮した安全限界状態の推定が必要であり、部材の荷重履歴に応じたせん断変形角割合の算定方法と安全限界状態のクラ

イテリアとなりうるせん断変形角の割合値を決定する必要がある。またここで対象としている本震とは、一般建物に対する標準的な応答を対象としたものであるが、現在は本知見を基に長周期地震動に対するRC部材を対象とした検討を開始している。

【参考文献】

- 1) 向井智久,衣笠秀行,野村設郎:地震動を受けるRC構造物の限界応答変形量を保証するに必要な耐力算出法とその精度検証,日本建築学会構造系論文集,第532号,pp.137-143,2000.6
- 2) 向井智久,梶原唯史,野村設郎:「曲げ降伏するRC造梁部材の地震時挙動とエネルギー吸収性能に関する実験的研究」,日本建築



学会構造系論文集 601号 2006.3, pp.129-136

図3 エネルギー吸収のモデル化

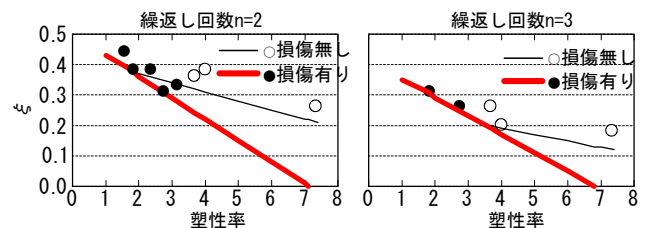


図4 塑性率とエネルギー吸収性能係数との関係

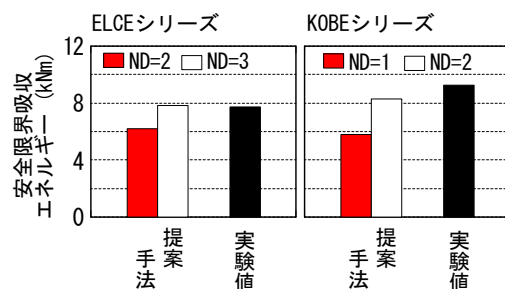


図5 安全限界履歴吸収エネルギーの精度検証