

I - 3 鉄筋コンクリート造建物のエネルギーに基づく耐震評価手法 開発のための基礎的研究

Basic Study on the Seismic Evaluation Method based on Energy Balance for R/C Structures

(研究期間 平成 16~18 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

向井智久
Tomohisa Mukai

The energy based seismic design for R/C structures has been developed by the authors and others. A major method of performance based seismic evaluation for R/C structures is to predict the maximum value of response displacement under earthquakes and compare the damage with the allowable maximum displacement. Up to the present, the method for predicting the maximum response displacement is proposed and the validity had been analytically confirmed and the required data to investigate the damage evaluation and dissipated energy of R/C beams with flexural yielding under earthquakes have been obtained. In this paper, firstly, the validity of the method for predicting the maximum response displacement is investigated by using the result of pseudo dynamic tests for RC frame with multi-shear wall. Secondary, the equation to calculate the safety limit energy dissipation capacity of R/C beams with flexural yielding subject to earthquakes is proposed.

〔研究目的及び経過〕

建築構造の性能規定化を実現するため2000年6月に新たに制定された建築基準法施行令及び告示に限界耐力計算法があるが、それと並列に限界耐力計算と同等以上の構造計算方法も認められている。現在、その並列する方法としてエネルギー手法が挙げられ、「エネルギーの釣合に基づく耐震計算等の構造計算を定める件」に関する告示が制定される流れにある。しかしながら、最大応答変形を損傷指標とする鉄筋コンクリート造建物を対象としてエネルギー釣合手法を適用する場合、地震時におけるヒンジ部材や建物のエネルギー吸収性能を適切に把握する必要があり、また同時に上記の検討はエネルギー法を将来的にRC構造に適用するためだけでなく、RC部材及び建物の評価手法の精度向上に直接関連するものでもある。

そこで本研究開発では、最大応答値の推定方法の検証およびランダムな応答を受け曲げ降伏するRC造部材の安全限界点におけるエネルギー吸収性能の把握を目的とした。本論においては、連層壁を有する6層RC造架構を用いた応答予測の検証結果および提案するRC造梁部材の安全限界エネルギー吸収算定式に関する検討結果の概要について報告する。

〔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〕

試験体は6層1×2スパンで、中央に連層耐震壁を有している。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、梁ヒンジ機構を確保できる柱として柱の設計を行った。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(CB=0.74)、基礎固定:739kN(CB=1.32)となった。

次にエネルギー吸収のモデル化を示し、応答変形推定式を導く。RC造建物のエネルギー吸収量ESを弾性歪みエネルギーEyと1サイクル目の塑性歪みエネルギーEds、2サイクル目以降の累積歪みエネルギーEc、粘性減衰吸収エネルギーEhの4種類に分類してモデル化を行う。なお、Eh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が等しいと仮定し、最大応答変位 δD の算定式が得られる。

その結果を表1に示す。図より、概ね最大応答を予測出来ていることが分かる。従って、RC造建物を対象とした本推定法の妥当性が確認された。

表 1 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			

〔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。部材断面200mm×300mm、シアスパン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。パラメータは荷重履歴であり、(1)地震時の応答履歴(以下、本震・余震荷重)、(2)左右均等な定変位繰返し荷重(以下、両側定変位荷重)、(3)一方に片寄った定変位繰返し荷重(以下、片側定変位荷重)、(4)±5、±10、±20、±30、±40、±50×10⁻³rad.の漸増繰返し荷重(以下、漸増荷重)とする。

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。その結果に基づき図1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に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Enを算出する場合、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、損傷を受けて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2に示す。図中の点は実験値で黒丸は漸増、白丸は定変位の結果である。図より、式(1)及び(2)は実験値の下限値を定めていることが分かる。ここで提案した式(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3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、本計算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とと言える。

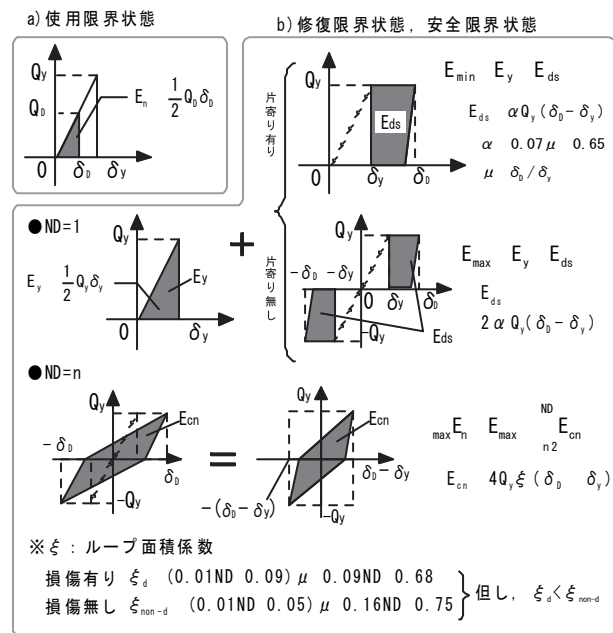


図1 エネルギー吸収のモデル化

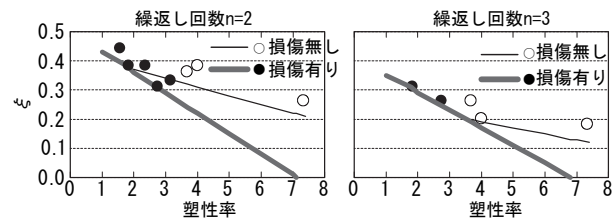


図2 塑性率とエネルギー吸収性能係数との関係

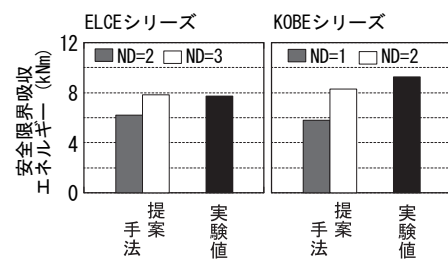


図3 安全限界履歴吸収エネルギーの精度検証

【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