

弾性応答スペクトルを用いた残留変位の推定

桑原里紗¹⁾・高橋典之²⁾・崔琥³⁾・中埜良昭⁴⁾

- 1) 学生会員 東京大学大学院工学系研究科, 東京都目黒区駒場4-6-1, kuwarisa@iis.u-tokyo.ac.jp
- 2) 会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, ntaka@iis.u-tokyo.ac.jp
- 3) 会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, choiho@iis.u-tokyo.ac.jp
- 4) 会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年の地震被害を機に、構造物の耐震設計において、耐震安全性だけでなく、地震後の機能維持や早期回復を指向した修復性にも配慮して設計を行う必要があると考えられるようになってきた。修復性の確保には残留変位の制御が一つの有効な手段として考えられており、残留変位は構造物の地震後の耐震性能を把握する重要な指標の一つであるといえる。本稿では、建物の骨格曲線と弾性応答スペクトルを用いて地震応答終了時の残留変位を推定する手法について検討した。

2. 残留変位に関する既往の研究

数値解析による残留変位の推定は1970年代から注目されるようになり¹⁾、近年では川島ら²⁾が、残留変位の大小が入力地震動の位相特性によって大きく影響を受けることを指摘し、非線形地震応答解析に基づく残留変位スペクトルを用いた残留変位の推定手法を提案した。川島らの提案した残留変位スペクトルは、橋脚等の様な規格で大量生産される構造物には汎用性のある手法であるが、多種多様かつその殆どが一品生産である建築物の場合、各構造物を網羅する残留変位スペクトルの提示は困難である。現状では、残留変位を求める手法として個々に非線形地震応答解析を実施するのが現実的な手法となっている。

3. 非線形地震応答解析における残留変位

3.1 振動中心軸のずれ変位量 R の定義

RC構造物を1自由度振動系でモデル化し、強震動が作用した場合の系の応答履歴の模式図が図-1のように表されるとする。系の変形が非線形領域に達し(A点)、その後、除荷により荷重がゼロ(B点)となっても構造物には塑性変形が残る。一般に、地震応答終了時の残留変位 δ_r (E点)の絶対値は、最大応答(正側A点, 負側C点)からの除荷時残留変位(正側B点, 負側D点)の絶対値より小さくなる。

文献1)では、地震応答終了時の残留変位 δ_r を、その生起時刻に関わらず、生じた正負の最大応答変位量の平均値を用いて推定している(図-2)。本稿では、最大応答経験後の応答が残留変位に影響すると考え、以下の変位量を振動中心軸のずれ変位量 R と定義した。すなわち、最大応答点(図-1では正側A点)と最大応答経験後にA点と符号を異にする最大応答点(負側C点)を結んだ直線上で荷重がゼロとなる点(F

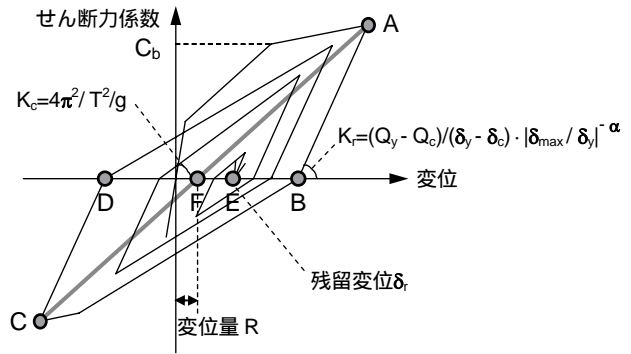


図-1 強震動が作用した場合の応答履歴と残留変位

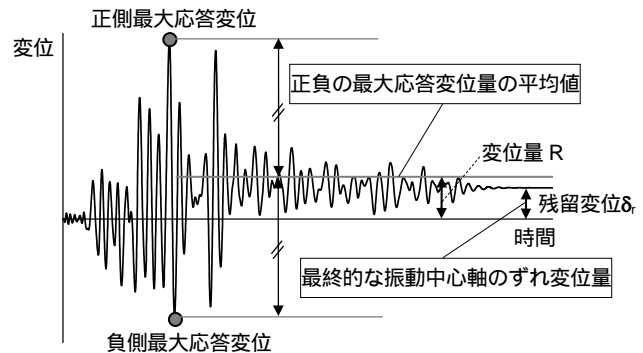


図-2 変位応答時刻歴

点)を求め、この点の変位量を R と定める。本稿では、まず変位量 R と残留変位 δ_r の関係について、非線形地震応答解析によるパラメトリックスタディを行った。

3.2 解析モデル

解析対象とする1自由度振動系の履歴則をTakeda Modelとし、系のベースシア係数 C_b を0.3と定め、降伏荷重を Q_y 、降伏時変位を δ_y 、ひび割れ強度 Q_c を降伏荷重の1/3($=Q_y/3$)、ひび割れ強度時の変位 δ_c を降伏変位の1/10($=\delta_y/10$)、降伏後剛性を初期剛性の1/1000、減衰を瞬間剛性比例型で減衰定数を5%とそれぞれ仮定した。

解析パラメータとして 弾性固有周期 T を0.2, 0.3, 0.4, 0.5秒の4通り、Takeda Modelに用いる除荷剛性低下指数 α を0.0から0.7まで0.1刻みに8通り設定した。また 入力地震動はEl Centro NS 1940, 東北大学NS 1978, JMA神戸NS 1995の3波を用いた。

3.3 解析結果

各入力地震動における振動中心軸のずれ変位量 R と残留変位 δ_r の差を降伏変位 δ_y の2倍($2\delta_y$)で除した

値と除荷剛性低下指数 α の関係を図-3(a)~(c)に示す。なお、本稿では系の最大許容応答塑性率 μ を4と定め、それ以下の結果のみを同図にプロットした。いずれの地震波においても $2\delta_r$ に対する変位量 R と残留変位 δ_r の差は概ね $\pm 10\%$ 程度の誤差範囲内に収まっている。

4. 弾性応答スペクトルを利用した残留変位推定手法の提案

前節の結果に基づき、本稿では変位量 R が残留変位 δ_r を近似するものと仮定し、さらに弾性応答スペクトルによる残留変位 δ_r の推定を試みた。その際、通常の弾性応答スペクトルに加えて、最大応答経験後にその最大応答と異符号の応答最大値から求められる応答スペクトル(これを第2ピークスペクトルと呼ぶ)を新たに定義する。

提案する残留変位推定手順を、図-4に示す模式図とともに以下に示す。

- (1) 既往の応答スペクトル法により最大応答変位(a点)を算出する。
- (2) 正側の最大応答変位(a点)と絶対値の等しい応答変位を負側の最大応答と仮定し(b点)、等価減衰を計算する。この等価減衰に対する第2ピークスペクトルから求められるSa-Sd曲線と骨格曲線との交点(c点)を算出する。
- (3) 正側の最大応答点(a点)と(2)で算出したc点を結び、X軸との交点が示す変位量だけ負側のSa-Sd曲線および骨格曲線を移動する。
- (4) 負側の最大応答をc点と仮定して同様の計算を行い、次のSa-Sd曲線と骨格曲線の交点を算出する。
- (5) (3)(4)を繰り返し、前ステップで仮定した点がSa-Sd曲線nと骨格曲線の交点と一致する点(p点)を求め、これと正側の最大応答点(a点)を結んだ直線とX軸との交点の変位量を変位量 R として求める。

各解析ケースにおける変位量 R (上記(1)~(5)による推定値)と残留変位 δ_r (応答計算結果)の関係を $\alpha=0.5$ かつ最大許容応答塑性率 μ が4以下の結果について図-5に示す。同図より、本提案手法による R が δ_r をよく近似していることがわかる。

5. まとめ

弾性応答スペクトルを用いた簡便な手法による残留変位の応答推定を試み、最大応答経験後にそれと異符号の最大応答値として定義した第2ピークスペクトルを用いて算出することで、残留変位の推定可能性を示した。

参考文献

- 1) 後藤尚男, 家村浩和: 強震時における1自由度系の塑性変形に関する考察, 土木学会論文報告集, 第184号, pp.57-67, 1970
- 2) 川島一彦, Gregory A. MACRAE, 星隈順一, 長屋和宏: 残留変位応答スペクトルの提案とその適用, 土木学会論文集, No.501/I-29, pp.183-192, 1994

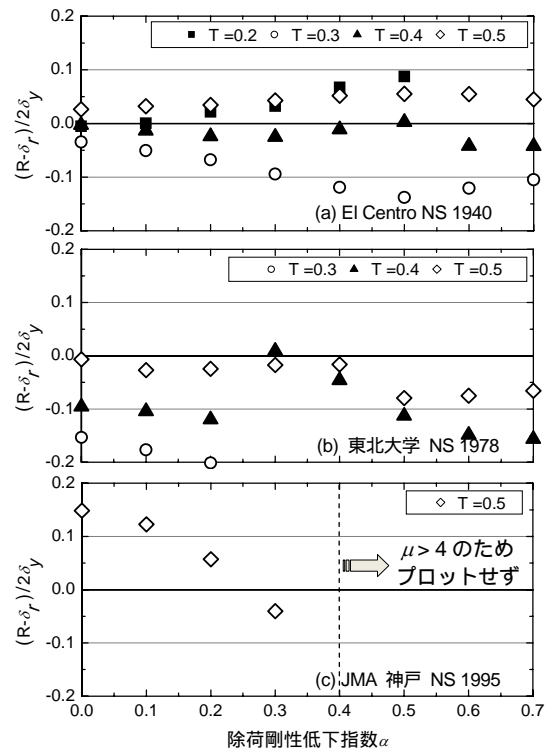


図-3 変位量 R と残留変位 δ_r の差と α の関係

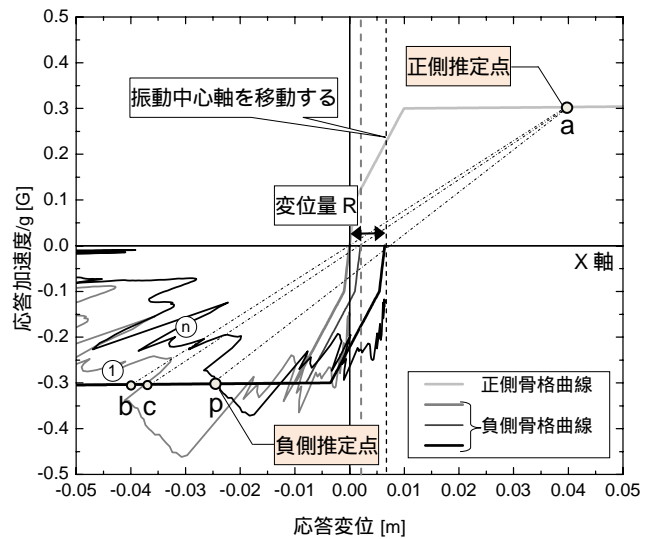


図-4 提案した手法による正負の最大応答推定

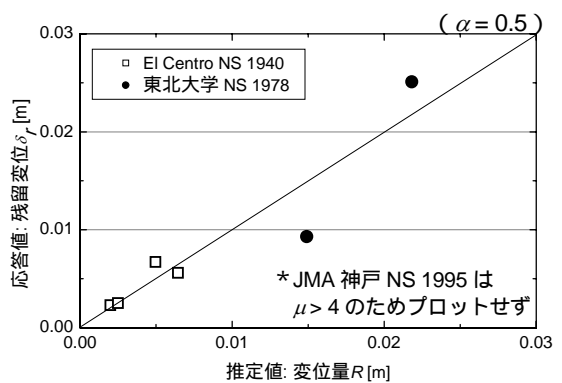


図-5 提案した手法による変位量 R と残留変位 δ_r の関係