

RC 構造物における地震応答終了時の残留変位の評価法に関する解析的研究

鉄筋コンクリート構造物

修復性

正会員

○桑原里紗*1

同

高橋典之*2

残留変位

地震応答解析

同

崔 琥*2

同

中埜良昭*3

1. はじめに

本稿では構造物の地震後の修復性に大きく関係すると考えられる残留変位について、RC 構造物を対象に、振動中心軸との関係について検討した結果を報告する。

2. 非線形地震応答解析における残留変位の推定

2.1 振動中心軸のずれ変位量 R の定義と残留変位 δ_r の推定

RC 構造物を系の応答履歴の模式図が図 1 のように表される 1 自由度振動系でモデル化する。後藤ら¹⁾は、地震応答終了時の残留変位 δ_r (E 点) 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で推定している。一方、北村ら²⁾は、最大応答経験後の応答が残留変位 δ_r に特に影響するとしている。そこで本研究では、以下に示す振動中心軸のずれ変位量 R を定義し、これにより残留変位 δ_r の推定を試みた。すなわち、最大応答点 (図 1 では正側 A 点) を 1st ピークとし、1st ピーク経験後に A 点と符号を異にする領域での最大応答点 (負側 C 点) を 2nd ピークとする。更に 2nd ピーク経験後に C 点と符号を異にする領域での最大応答点を 3rd ピーク (D 点)、それ以降のピークも同様のルールで定義する (図 2 (a), (b))。そして、1st ピークと 2nd ピークを結んだ直線上で荷重ゼロとなる点 (図 1 では F 点) を変位量 R_1 とし、順次 Nth ピークと (N+1)th ピークによる点を変位量 R_N とする。

既報³⁾では、非線形地震応答解析に基づき、変位量 R_1 による残留変位 δ_r の推定可能性を示したものの、 $(R_1 - \delta_r)/2\delta_r$ (δ_r : 降伏変位) は $\pm 10\%$ 程度であった。そこで本稿では、変位量 R_2 以降の残留変位 δ_r の推定精度を検討した。

2.2 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、ひび割れ強度 Q_c を降伏荷重 Q_y の $1/3 (=Q_y/3)$ 、ひび割れ強度時の変位 δ_c を降伏変位 δ_y 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 5%、弾性固有周期 T を 0.3 秒、除荷剛性低下指数 α を 0.5 とそれぞれ仮定した。また、入力地震動は El Centro NS 1940、東北大学 NS 1978、JMA 神戸 NS 1995、中越沖 NS 2007、BCJ-L1 (日本建築センター模擬波) の 5 波とし、最大応答塑性率 μ が 1, 2 および 3 となるように地震動に倍率を乗じた。ここで、最大応答塑性率 μ を 3 以下に限定したのは、建物の修復限界を超えない修復性能評価を目的として残留変位の検討を行っているためである。

2.3 解析結果

各入力地震動における変位量 R_N と残留変位 δ_r の差を $2\delta_r$ で除した値 (δ_r の規準化推定誤差とする) と R_N の関係を図 3 に

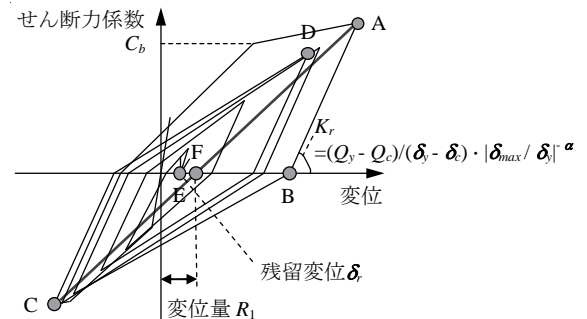


図 1 強震動が作用した場合の応答履歴と残留変位

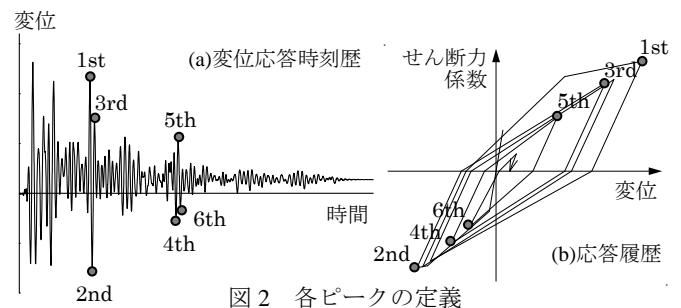


図 2 各ピークの定義

示す。いずれの地震動においても、 $\mu=1$ では、ピーク次数 N に関わらず規準化推定誤差は概ね 0 となった。これは降伏前の応答であることから一般的に予想される結果である。

一方、 $\mu=2, 3$ のケースでは、東北大学 NS 1978 の最大応答塑性率 $\mu=3$ で、変位量 R_1 より R_2 で推定精度が若干低下し R_3 で向上したが、それ以外の全てのケースで R_1 より R_2 の推定精度が急激に向上し R_3 で低下した。

2.4 精度の変動についての検討

本節では、ピーク次数 N の増加が必ずしも推定精度の向上につながらない原因を検討する。1st ピークを正側と仮定すると、まず変位量 R_1 から R_5 の大小関係は、変位量 R の定義により、 $R_2 < R_1$, $R_2 < R_3$, $R_4 < R_3$, $R_4 < R_5$ となる (図 4 参照)。残留変位 $\delta_r < R_2$ では、 δ_r は R_1 , R_3 より R_2 に近接するので、 R_2 は R_1 より δ_r の推定値として精度が向上し (図 4 左参照)、 R_3 は逆に精度が低下する (図 4 右参照)。一方、残留変位 $\delta_r > R_1$ では、 δ_r は R_2 より R_1 に近接するので、 R_2 は R_1 より δ_r の推定値として精度が低下する。すなわち、残留変位 δ_r の推定精度は、ピーク次数 N ではなく変位量 R_N と δ_r の大小関係に依存する。図 5 は図 3 に示した R_1 による δ_r の推定誤差に対する R_2 による誤差の比を用いて、推定誤差の低減効果を R_1, R_2, δ_r の大小関係とともに示したものである。 R_1 に対して R_2 の精度向上が認められなかった (すなわち $R_1 \approx R_2$) 東

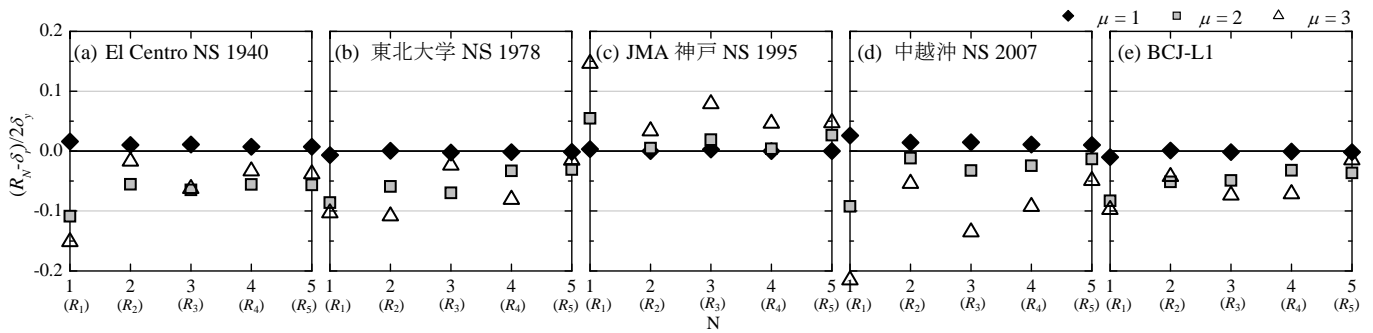


図3 各ピーク次数 N における残留変位 δ_r の規準化推定誤差

北大学 NS 1978, $\mu=3$ のケースは、図より $R_2 < R_1 < \delta_r$ であり、 δ_r の推定値として R_2 を採用することは逆に精度を低下させた図 3 の結果と符合する。そこで次に、残留変位 δ_r を変位量 R_1 または R_2 を用いて簡便に推定する場合、いずれがより適切かを検討する。最も簡便な推定値は R_1 であるが、図 5 より R_1 と R_2 が近接しない場合は R_2 が δ_r の推定値として適当と予想されることから、 R_1 と R_2 の近接度を図 4 に示す等価剛性の比 K_1/K_2 で代表し、また R_1 , R_2 と δ_r の近接度を(1)式で定義し、全 15 ケースについて両者の関係を図 6 に示す。

$$\gamma = \{\delta_r - (R_1 + R_2)/2\} / 2\delta_r \quad (1)$$

図 6 より、 K_1/K_2 が減少するほど、すなわち R_2 が R_1 より小さくなるほど γ は明確な負値をとり、 δ_r は R_1 より R_2 に近接するため、 δ_r の推定値としては R_2 がより適当な値を与えると予想される。一方、 K_1/K_2 が増加すると γ は負値から正值の両領域に分布する傾向が生じ、 γ の値に応じて R_1 または R_2 を選別する必要が生じるが、他方で、 K_1/K_2 が 1 に近づくことにより R_1 と R_2 が近接するため、 R_1 , R_2 のいずれを採用しても推定精度に大きな差は生じないと考えられる。そこで K_1/K_2 がある基準値以上の場合には簡便に R_1 で、以下の場合には R_2 で、それぞれ δ_r を推定することを試みる。

図 7(a)に K_1/K_2 によらず δ_r を R_1 で推定した結果（既報³⁾の手順に相当)を、(b)に $K_1/K_2=0.95$ を境界値として δ_r を R_1 または R_2 で推定した結果をそれぞれ示す。同図には同一解析モデルに対して入力地動レベルを増大させ $\mu=4\sim 10$ とした解析結果についても併せて示した。図より、設定した条件に従って R_1 または R_2 を採用した場合、精度の向上がみられた。

3. まとめ

RC 構造物を対象に、地震応答終了時の残留変位と振動中心軸との位置関係について検討を行った結果、変位量 R_1 と R_2 の大小関係を考慮していずれかの値を用いることで残留変位 δ_r が精度よく推定できた。

【参考文献】

- 1) 後藤尚男ほか：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) 北村春幸ほか：鋼構造物の終局耐震性と応答評価指標，シンポジウム「増大する地震動レベルと建物の終局耐震性の課題と展望」資料，p.77-87，2008.12
- 3) 桑原里紗ほか：弾性応答スペクトルを用いた残留変位の推定，日本地震工学会2008梗概集，p.6-8，2008.11

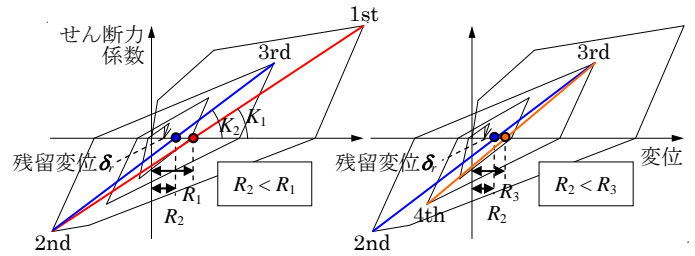


図4 変位量 $R_1\sim R_3$ の大小関係

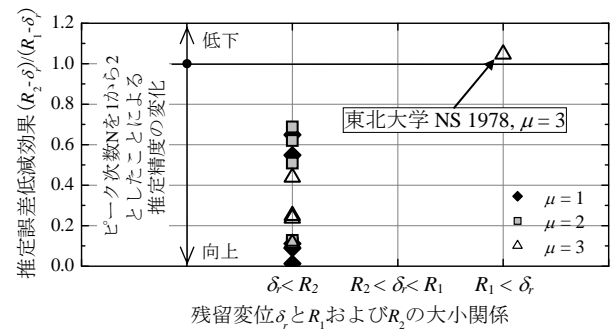


図5 変位量 R_1 と R_2 に対する残留変位 δ_r の大小関係

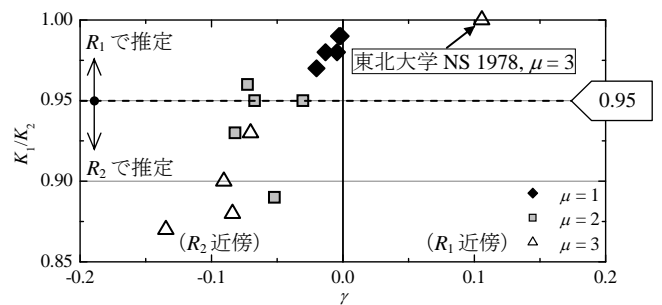


図6 γ と K_1/K_2 の関係

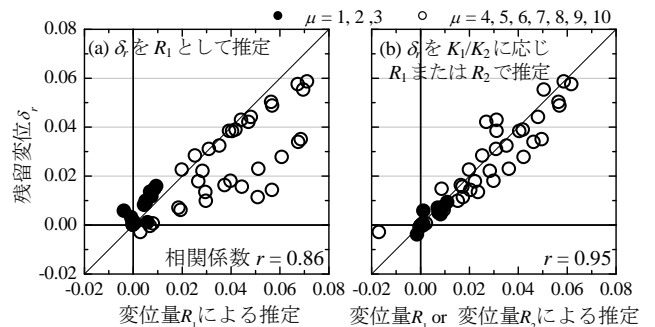


図7 変位量 $R_1\sim R_2$ に対する残留変位 δ_r の関係

*1 東京大学大学院 工学系研究科 大学院生，日本学術振興会特別研究員 DC
*2 東京大学 生産技術研究所 助教 博(工)
*3 東京大学 生産技術研究所 教授 工博

*1 Grad School of Eng., Univ. of Tokyo, JSPS Research Fellow DC
*2 Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
*3 Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.