

2 軸曲げを受ける RC 橋脚の非線形特性と損傷

学生氏名 山口 知泰
指導教員 吉川 弘道

1.はじめに

耐震性能評価に際して、実際の地震動の挙動を追従するために、従来の 1 方向載荷だけでなく、斜め方向や 2 方向などからの載荷を検討する必要がある。そこで、本研究ではセル分割型ファイバーモデルを用いて、単柱式鉄筋コンクリート(RC)橋脚に、従来の 1 方向載荷と載荷方法の異なる 2 種類の 2 方向載荷、およびランダム載荷を入力し、損傷や、靱性の比較を行い、載荷方法の評価を行なった。

2.構造体諸元と解析モデル

構造体諸元として図 1 に(a)断面図, (b)基準諸元, (c)構造体(円形断面を示す), (d)モデル図を示す。解析モデルは、基準諸元(図 1(b))の等しい矩形と円形の断面を用いて、柱基部に非線形を期待するために、図 1(d)のようにファイバー要素を用いてモデル化を行い、断面における曲げモーメント - 曲率関係を追従可能にした。ファイバー要素の長さは、塑性ヒンジ区間(曲率が集中する領域)を考慮するために 1.0D(800mm)と設定した。柱基部以外の部材は線形部材とし、弾性梁要素でモデル化を行った。また今回用いたファイバーモデルでは、断面を格子状に分割したコンクリートの 1 ブロックごとの応力 - ひずみ関係から断面におけるコンクリートの損傷を把握可能である。図 2 にそれぞれの損傷度を表す色と断面損傷の例を示した。

3. 載荷方法

載荷方法は、1 方向繰返し載荷(以下、載荷方法 1)、2 方向載荷は 2 方向斜め繰返し載荷(以下、載荷方法 2)、矩形回転繰返し載荷(以下、載荷方法 3)の 2 種類、さらに 3 種類のランダム載荷を用いた。ランダム載荷は、新潟中越地震(観測点: 小千谷)、(十日町)、兵庫県南部地震(海洋気象台)の波形(以下、小千谷、十日町、兵庫)を用いた(図 4, 図 5 参照)。それぞれ変位制御によって付与した。載荷方法 1 の場合、載荷変位は降伏変位 10.8mm を基準とし、同一変位による繰返しは行なわず、その整数倍で変位を順次増加させた。

4. 2 軸係数 の定義

斜め方向に荷重がかかった場合の影響を評価するため、終局点までの距離 u^* を水平 2 成分に分解したときの、絶対値の大きい変位($\max(\delta_x^*, \delta_z^*)$)で除すことにより、2 軸係数 ζ と定義した。 ζ が大きい方が斜めの影響が大きいことを表している。図 5(a)のランダム載荷は矩形と円形で、終局点が違うため異なる。

$$\zeta = \frac{\delta_u^*}{\max(\delta_x^*, \delta_z^*)} \quad \text{単軸: } \zeta = 1 \quad \text{2軸: } \zeta = 1 \sim \sqrt{2}$$

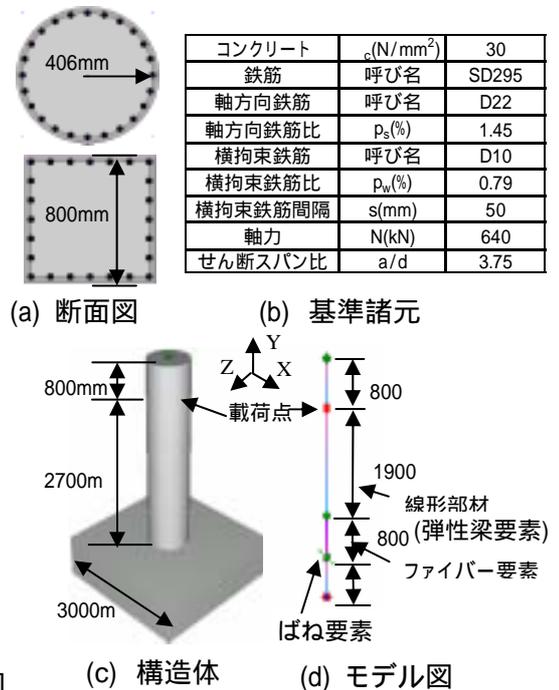


図 1 構造体諸元

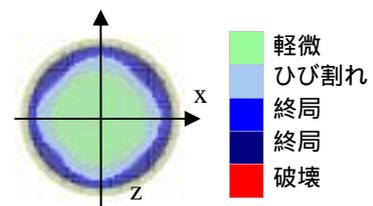


図 2 断面損傷

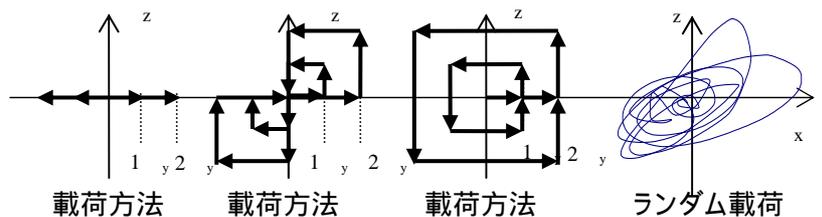


図 3 1 方向, 2 方向, ランダム載荷による載荷方法

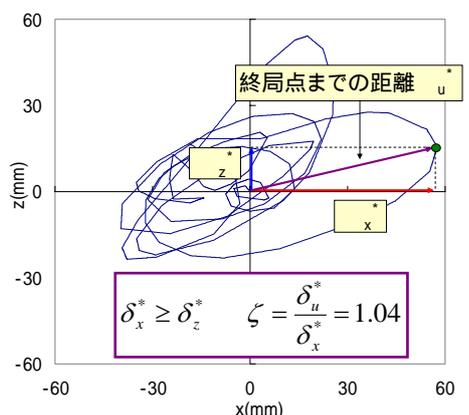


図 4 2 軸係数の定義(小千谷の場合)

5. 結果と考察

5.1 コンクリート応力 - ひずみ関係

図 6 に、円形断面に対する荷重方法 ~ を用いた場合の最外縁終局位置でのコンクリート応力 - ひずみ関係を示した。荷重方法は 4_y 時で最大応力 σ_{cc} (以下 σ_{ce}) まで達せず、6_y 時でも、終局には至らなかった。荷重方法 では、4_y 時ですでに終局をむかえ、6_y 時では σ_{cc} の 20% (= σ_{ce} で一定) まで低下した。荷重方法は 4_y 時ではまだ終局せず、6_y 時で σ_{cc} の約 40% まで低下した。つまり 2 方向荷重は 1 方向荷重と比べ、2 方向から荷重がかかるため、損傷の進展が早くなるといえる。

次に、荷重方法 と荷重方法 を比較すると、荷重方法 の方が応力の低下が早く、断面の損傷も若干大きく現れた。荷重方法 の場合は、最外縁全体から損傷が進展するのに対し、荷重方法は、斜め 2 方向に荷重が集中するため、損傷も集中し、最も応力が低下した(図 7)

5.2 等価靱性率

2 方向に変位が生じる場合の靱性を評価する方法として、等価靱性率 μ^* を用いた。降伏点までの距離を y^* 、終局点までの距離を u^* とすると、 $\mu^* = u^*/y^*$ で表され、この数値が大きいほど靱性に富んでいると言える。荷重方法における等価靱性率 μ^* を図 8 に示す。図 8 から、矩形断面、円形断面とも、最も靱性が大きいのが 1 方向による荷重方法で、次に 3 つの地震動、最も靱性が小さいのは、荷重方法 の 2 方向からの荷重方法となった。つまり、1 方向のみの荷重では、ランダム荷重よりも靱性率が大きく現れてしまうため、地震動を正確に表現できているとはいえず、設計に用いた場合不十分であると考えられる。2 方向からの荷重は、ランダム荷重よりも靱性率が小さく表れ、より激しい荷重方法であるため、設計に用いた場合、安全性が高いといえる。

5.3 2 軸の影響

図 9 に各荷重方法における μ^* と 2 軸係数の関係を示し、斜め方向に荷重がかかった場合の靱性に及ぼす影響について考察した。図 9 より、矩形断面は μ^* が大きくなると μ^* は低下しているのに対し、円形断面では μ^* はあまり低下していない。ランダム荷重の場合でも、矩形断面では図 4 の μ^* が小さい小千谷と比べ、図 5(b) が大きい十日町の方が、 μ^* は低下しているが、円形断面では変化が小さい。矩形断面では斜め方向から荷重がかかると、それを受けもつ鉄筋の本数が少ないため、隅角部に損傷が集中し、靱性が低下すると考えられる。つまり、2 軸の影響を受けるといえる。円形断面では斜め方向の荷重は 1 方向荷重と同じように鉄筋が受けもつため、2 軸の影響を受けないと考えられる。

6. まとめ

- ・矩形断面、円形断面ともに靱性率の大きさは、1 方向荷重、ランダム荷重、2 方向荷重の順となった。
- ・2 方向からの荷重を受ける場合は、円形断面の方が、2 軸の影響を受けないため、適していると言える。

【参考文献】

- (1) 解析ソフトおよび資料:フォーラムエイト株式会社
- (2) 早川涼二, 川島一彦, 渡邊学歩: 水平 2 方向地震力を受ける単柱式 RC 橋脚の耐震性, 土木学会論文集 No. 759/I-67, 79-98, 2004.4
- (3) Thomas Telford: RC FREAMS UNDER EARTHQUAKE LOADING, 1996.1

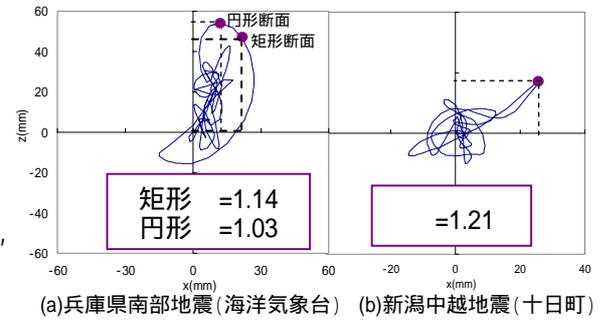


図 5 柱頭変位と

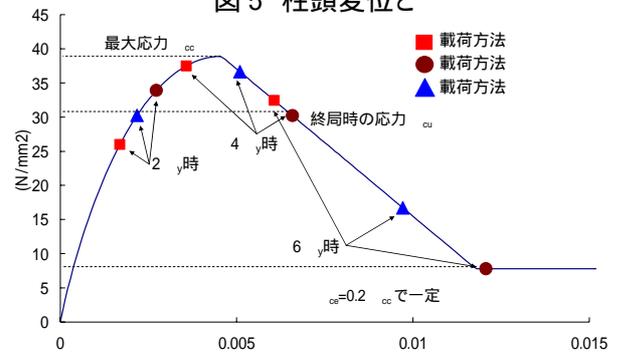


図 6 コンクリート応力 - ひずみ関係(円形断面)

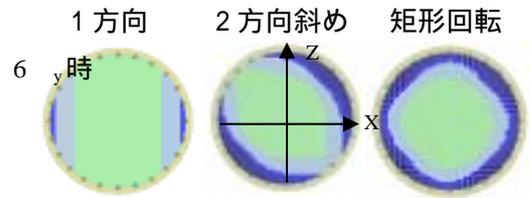


図 7 断面損傷

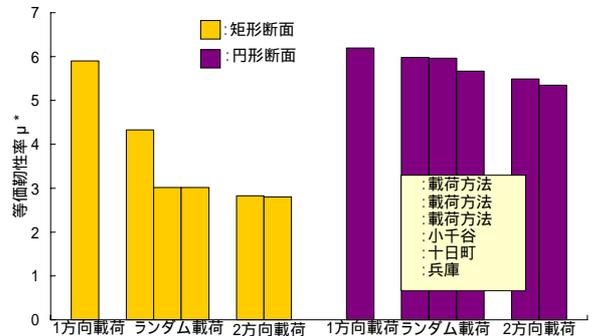


図 8 等価靱性率

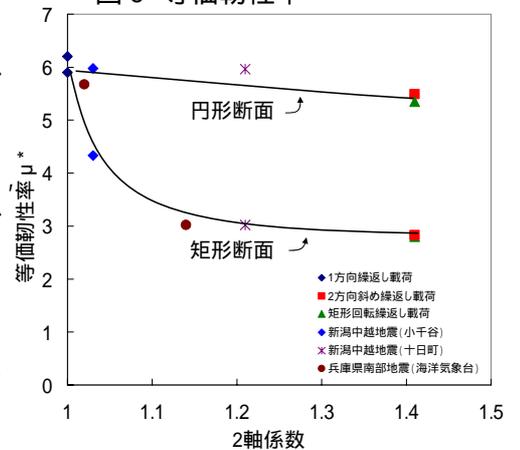


図 9 μ^* - 2 軸係数の関係