

RC橋脚の水平力～水平変位に関する 履歴則の検討

渡邊学歩¹・川島一彦²

¹ 東京工業大学大学院助手 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail:gappo@cv.titech.ac.jp

² 東京工業大学大学院教授 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail:kawasima@cv.titech.ac.jp

兵庫県南部地震以降、橋の復旧可能性に大きな影響を与える橋脚に生じる残留変位はその重要性が認識されるようになってきており、バイリニア型モデルを用いた残留変位応答スペクトルに推定が提案されているが、地震後に生じる残留変位は、地震動、履歴特性によって大きなばらつきを有する。また一方向に卓越するような地震力がさようすると、橋脚の損傷が片側に集中し、載荷が進むにつれて変形がこの方向ばかりに蓄積する結果、大きな残留変形を生じる。本文では、片側に地震力が集中する場合の履歴則について除荷履歴に着目して実験的検討を行った。

Key Words : Seismic design, Ductility, Flexural Strength, Reinforced Concrete, Bridge, Column

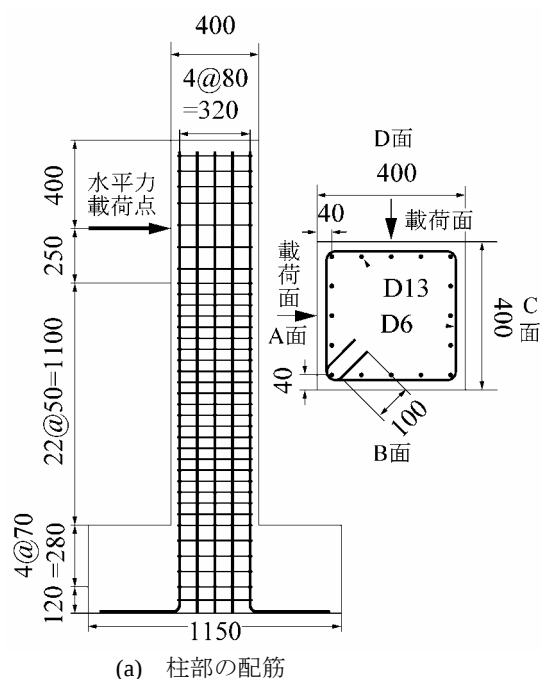
1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に橋脚の塑性変形を許容する地震時保有水平耐力法が導入されるようになった。最近では地震時の耐震性だけでなく、地震後の構造物の機能性をも考慮して行う性能設計規定型の耐震設計法の構築が検討されている。橋脚に塑性変形が生じると地震後に残留変位が生じる可能性があり、その後の橋の復旧可能性に大きな影響を及ぼす。

地震後に橋脚に生じる残留変位の推定については、バイリニア型モデルを用いた残留変位応答スペクトル¹⁾が提案されているが、地震動および周期の依存性が大きいことが知られている。また、一方向に卓越するような地震力が作用すると、橋脚の損傷が片側に集中し、載荷が進むにつれて変形がこの方向ばかりに蓄積する結果、大きな残留変形を生じることがある。本文ではこのような背景から、片側に地震力が集中する場合の履歴則について除荷履歴に着目して実験的検討を行った。

2. 解析対象橋及び解析モデル

実験供試体は、図-1 に示す 400mm×400mm の正



(a) 柱部の配筋

図-1 実験供試体

方形断面 RC 単柱式橋脚である。基部から水平アクチュエータ載荷点までの有効高さは 1350mm、かぶりコンクリート厚は 40mm、せん断支間比は 3.75 である。地震時保有耐力法に基づき軸方向鉄筋には D13(SD295A)を 16 本、帯鉄筋には、D6(SD295A)を

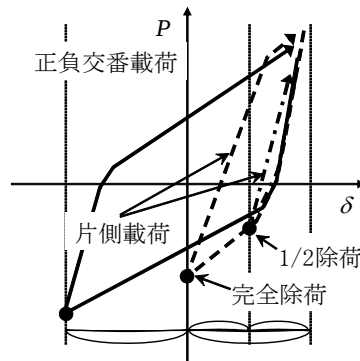


図-2 実験で与えた載荷履歴

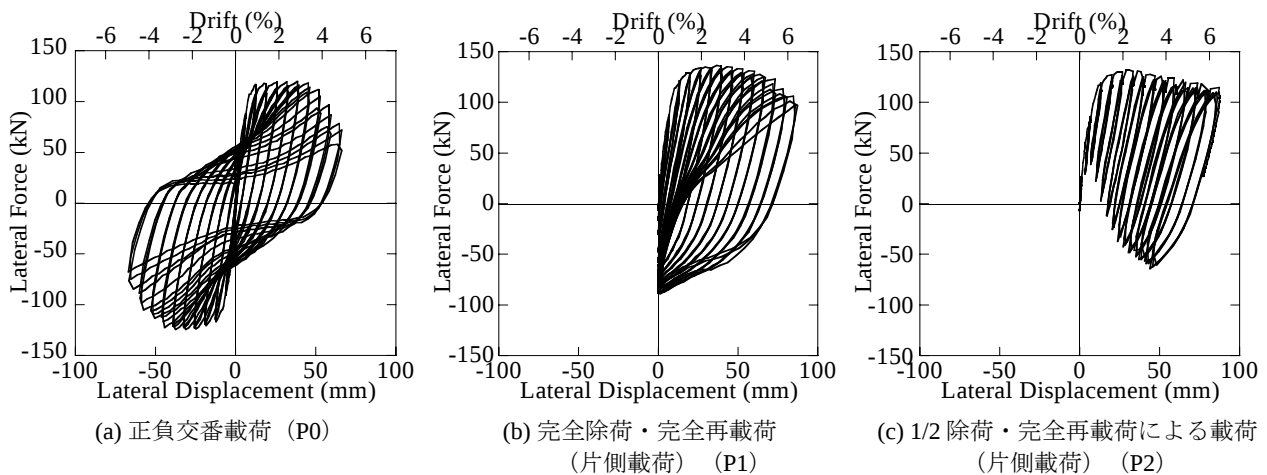


図-3 水平力—水平変位の履歴

50mm 間隔で配置した。橋脚基部での応力が 1 MPa となるよう鉛直方向のアクチュエータにより 160kN の軸力を荷重制御で加え、橋脚基部から 1350mm の位置に取付けた水平方向アクチュエータで載荷を行った。載荷方法としては、同一変位振幅における繰り返し回数を 3 回とした変位漸増方式であり、図-2 に示すように正負交番載荷実験 (P0) に加えて、片側にのみ完全除荷、完全再載荷 (P1) した場合と片側に載荷した後、その変位の 1/2 に相当する点まで除荷した段階で再載荷した場合 (以下 1/2 部分除荷、完全再載荷 (P2) と呼ぶの計 3 種類とした。なお、供試体の初期剛性はいずれも 19.3kN/mm である。

3. 両側および片側繰り返し実験結果

繰り返し載荷実験を行った場合の載荷終了までの水平力—水平変位関係を示すと図-3 のようになる。いずれの載荷でも Drift 0.75% 付近で降伏しているが、片側変位漸増方式による載荷 (P1, P2) では、降伏後も耐力は増加し、正負交番載荷実験 (P0) に比べて 1 割程度最大耐力は増加している。その後、正負交番載荷実験 (P0) では Drift 3.5% から耐力低下が始まり Drift 4.5% で耐力が 7 割まで低下したため、

Drift 5% で載荷を中止した。片側にのみ載荷した場合には、P1, P2 とともに Drift 4% から徐々に耐力が低下する。

4. 載荷履歴が除荷剛性に及ぼす影響

Drift 1%~6% までの、水平変位 u —水平力 P の除荷履歴を示すと図-4 および図-5 のようになる。図-4 には Takeda Model の履歴則に基づく除荷履歴を示す。正負交番載荷 (P0) の場合には荷重反転後の履歴に、過去の最大変位を目指すという Takeda の履歴則と実際の除荷履歴パスが一致している。Drift 5% の場合については一致度が低い。これは主鉄筋の座屈や破断などによる耐力低下が生じたためと考えられる。

P1 の場合には、水平力 P がひび割れ荷重 P_c に達した後、除荷パスは引張り側の降伏点に収束するという Takeda の履歴則に一致している。しかし、実験結果では Drift が 3% 以上になると Takeda の履歴則よりも除荷剛性が低く、各パスの合流地点と降伏点の一致度が低く、このまま除荷し続けても引張り側の降伏点には達しないと考えられる。

P2 では Drift 4% 以上にならないと水平力 P がひ

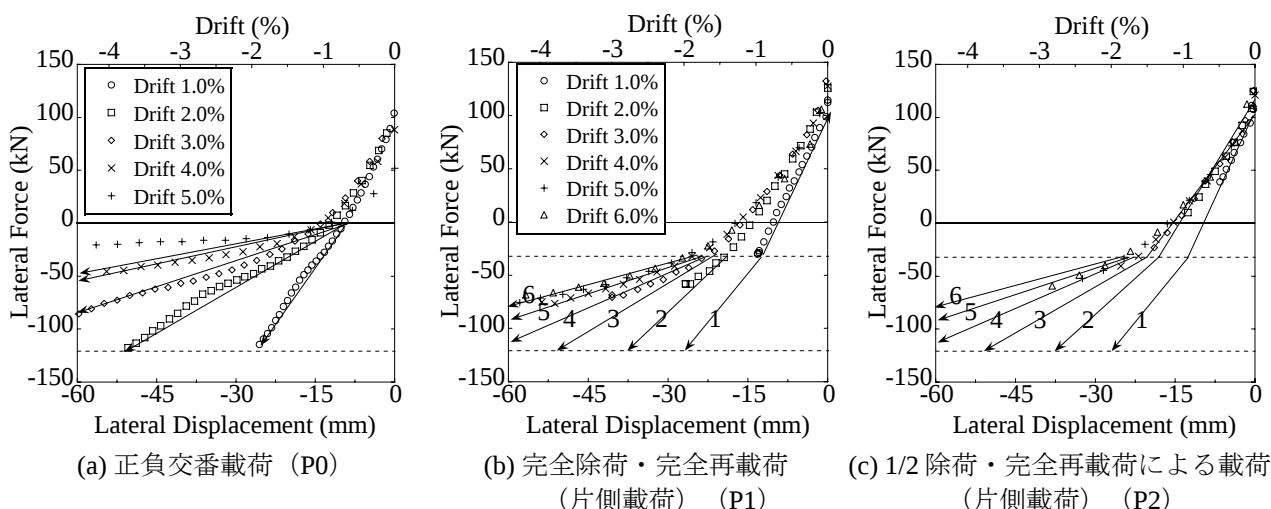


図-4 水平力-水平変位の除荷履歴

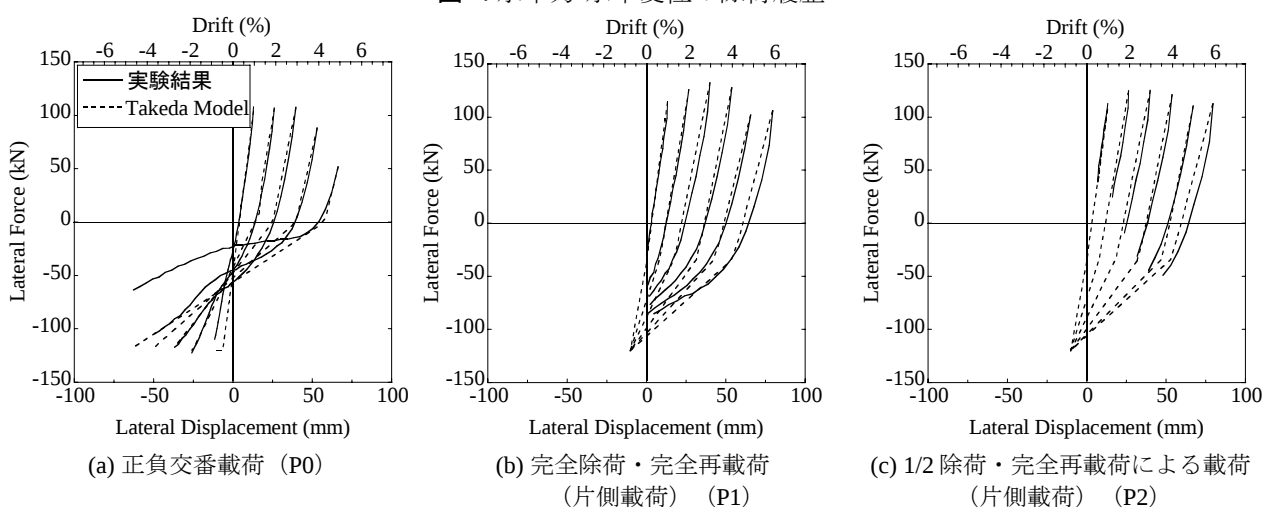


図-5 水平力-水平変位の除荷履歴

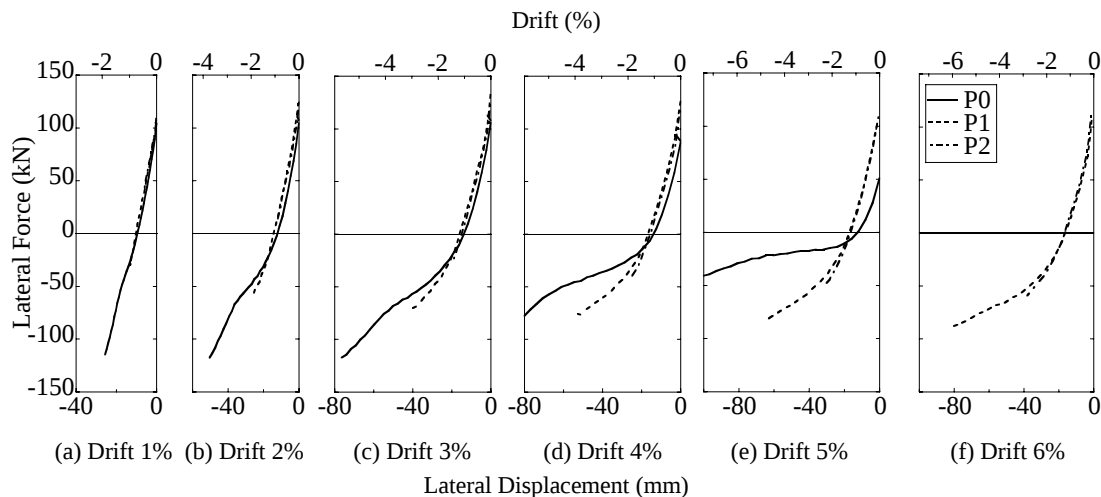


図-6 各ドリフトでの除荷履歴に及ぼす載荷変位の影響

び割れ荷重 $P_C = -33\text{kN}$ に達しないために、P1 との違いは明確でない。図-6 には P1, P2, P0 の水平力-水平変位の履歴の比較を示す。P0 では Drift が大きくなるにつれて除荷剛性が、P1 と P2 に比べて小さくなり、ひび割れ荷重 P_C 以下では除荷パスが著し

く異なる。P2 では損傷が同程度であるために除荷剛性は P1 と一致しており、同一パスを描く。

図-7 には除荷剛性 K を初期剛性 $K_{initial}$ で除して基準化したものを示す。これによれば除荷剛性 K は Drift に応じて指数関数的に劣化していることがわか

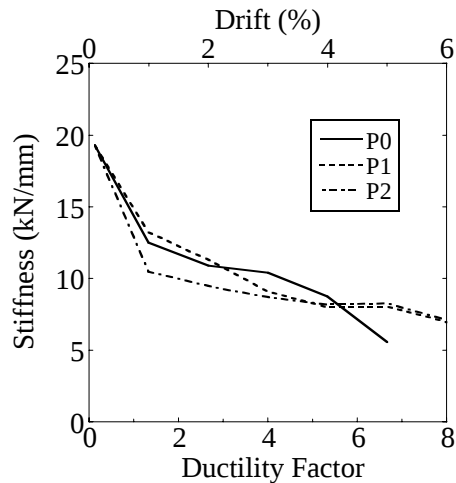


図-7 Drift と除荷剛性の関係

る。ただし、P0 では Drift 4%以降では耐力低下とともに急激に除荷剛性が低下している。

5. 結論

- (1) 実験による除荷履歴を Takeda Model と比較をすると、正負交番載荷 (P0) の場合には両者は一致するが、片側のみに載荷する場合には、水平力 P がひび割れ荷重 P_c に達した後の履歴を Takeda Model では精度よく再現できていない。
- (2) 完全除荷 (P1) , 1/2除荷 (P2) の除荷パスはよ

く一致するが、正負交番載荷した場合 (P0) とは大きく異なる。

参考文献

- 1) 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, No501, I-29, pp. 183-192, 1994
- 2) 早川涼二, 川島一彦, 渡邊学歩: 2 方向地震力を受ける RC 橋脚の耐震性に関する研究, 第 6 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム, 土木学会, pp. 65-70, 2003

(2003.10.10 受付)

EFFECT OF HALF SIDE LOADINGS ON THE FLEXURAL STRENGTH AND DUCTILITY OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE COLUMNS

Gakuho WATANABE and Kazuhiko KAWASHIMA

This paper describes the flexural stiffness of reinforced concrete bridge columns under half side loadings. Under a constant vertical load, the columns were subjected to half side loading. It was found that the deterioration of stiffness of the columns resulted from the half side loadings is substantial, and that the beam element analysis is effective to reproduce the hysteretic behavior of the columns under the half side loadings.