

第I部門 摩擦減衰機構を有する弾性耐震橋脚柱の提案

京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男
 京都大学工学部 学生員 ○ 西郡 一雅

1. はじめに

1995年、兵庫県南部地震によって多くの、RC橋脚柱が被害を受けた。その中で、倒壊しなかったものの、復旧過程で使用不可能とみなされ、再構築を余儀なくされたものが少からずあった。それには橋脚新設費よりも多額の費用と長い時間がかかった。このことは、構造物がレベル2設計地震動に対応するものであっても、それだけでは十分ではない可能性を示すものと考えられる。

そこで、内陸地震における強烈な地震動に対しても被害を受けない高性能耐震橋脚柱を実現するための新しいアイデアを提案する。

2. 基本アイデア

曲げ変形に対して平面保持の仮定が成り立つ限り、断面を小さくすれば断面内のひずみも小さくなるので、弾性限度内の許容変形量が大きくなり、その代わり剛性が小さくなる。

そこで橋脚柱について、まず柱部を鉛直方向に分割することで断面を小さくし、変形性能の向上をはかることを考える。しかし、分割しただけなら、十分な剛性が得られず、減衰も得られない。そこで、図-1に示すように分割した柱部材を束ねるように周囲に強度の大きな拘束部材を設け、予めプレストレスを導入する。これによって分割面での摩擦が期待できるようになる。つまり、このプレストレスを適当に分布させることで、変形性能と、摩擦によるエネルギー吸収の効果が得られ、強震応答時を柱部材の弾性限度内に留められる可能性が期待できる。

3. 数値解析手法

本研究では、提案する橋脚柱構造の挙動特性を明らかにするため、2次元はりフレームモデルを用いたプッシュオーバー解析を行う。摩擦機構は面で構成され体積を持たないが、モデル化の簡便にするため、柱部材と柱部材との節点間に架けるはり要素で表現する(図-2)。さらに、定式化の繁雑さを避けるため、摩擦機構の非線形特性には完全弾塑性モデルを用いた。動摩擦係数と静摩擦係数は同じ値とし、すべて0.5と仮定した。

解析対象は、図-1に示したように、高さ10m、下端固定、上端ヒンジで幅3.5mの矩形断面を持つRC柱で、正面内の一方向の曲げが作用するとして鉛直-奥行方向に三分割した3本の部材より構成される。それぞれの部材は降伏するまでの挙動のみを考慮するのですべて弾性とする。また、各柱部材の外端に主鉄筋があると見なし、そこでのひずみが鉄筋降伏ひずみを超えると、柱部材全体としての降伏であるとみなした。

評価パラメタとして部材降伏時の保有耐力、および変形性能、さらに、部材降伏時の変位における等価減衰定数 h_{eq} (式-1)、(図-3)を用いた。

4. 解析結果

比較検討のため、柱部材間が完全固着の場合'Stiff'の応答と、部材間の摩擦力がゼロの場合'Flex'の応答を図-5に示す。前者が後者の9倍の剛性を持つこと

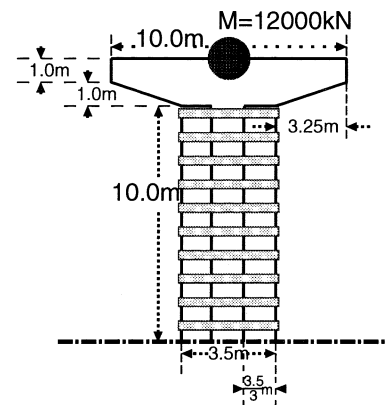


図-1 橋脚柱の分割と拘束

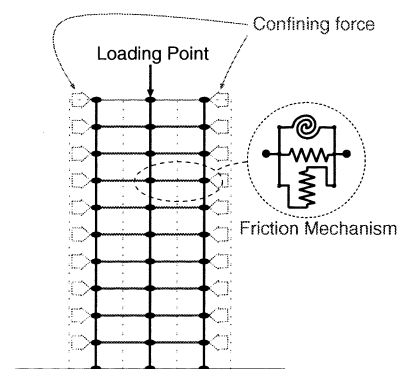
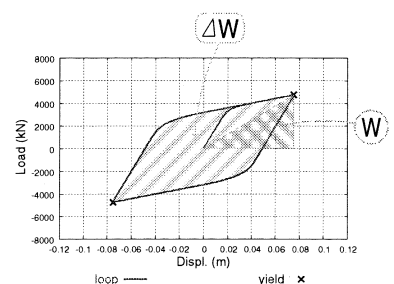


図-2 2次元はり骨組モデル



$$h_{eq} = \frac{\Delta W}{4\pi W} \dots\dots\dots (1)$$

図-3 履歴減衰による等価減衰

がわかり、さらに部材幅が 1/3 になることにより後者は鉄筋を降伏させずに前者の 3 倍まで変形出来ることを示している。また、それぞれの条件で部材降伏が発生した時点の各部材の曲率 $d\theta/dh$ の高さ方向 h に対する分布を図-6 に示す。二つの破線 'Stif'・'Flex' の曲率と高さの関係は、曲げモーメント分布と同じようにほぼ直線関係にあることがわかる。

次に、図-4 を用いて拘束力の分布を定義し、拘束力分布が以下のような関数 $F(X)$,

$$F(X) = \begin{cases} \alpha/2 & (X = 1) \\ \alpha + \beta X & (X \geq 2) \end{cases} [kN/m] \quad (2)$$

で表されたとき、各条件において Table 1 の値

Table 1

ケース	1	2	3	4	5	6
α	0	0	0	0	0	0
β	100	300	500	700	900	1100

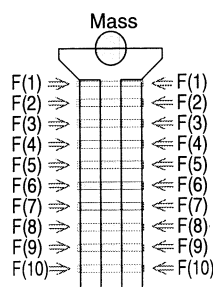


図-4 拘束部材位置

に示す各ケースの挙動を、図-5 6 に併せて示す。 β の値が大きくなる、つまり、柱基部の拘束力が大きくなると、剛性変化点での耐力が増加する代わりに変形性能が若干小さくなることがわかる。ただし、'Stiff' のケースに比べて、変形性能が大幅に向上している。また、同図に * でプロットされた点は、右側の軸を用いて等価減衰 h_{eq} をあらわしたものである。図-6 では、各部材の曲率分布が直線ではなくなり β の値が大きくなるにつれ、曲率の極大点が柱上部に推移していることがわかる。このことが柱下端にひずみを集中させずに、柱全体の変形性能を大きくしていると考えられる。

さらに、様々な条件でシミュレーションを実施した結果、それぞれの評価パラメタに着目した場合の最適拘束力分布として以下の知見を得た。

●減衰性能最大化

等価減衰を最も大きくする拘束力分布は式-2 において $\alpha = 2000$, $\beta = 200$ を代入した場合で、そのときの等価減衰定数は 31 % 程度であった (図-7)。

●耐力と変形性能の両立

耐力と変形性能の両立を図るのに最適な場合は、式-2 において $\alpha = 400$, $\beta = 900$ のときであり、図-8(a) に示される応答を得た。また、このときの曲率分布は図-8(b) に示されるものである。部材曲率の極大値が高さ 4.5m 付近に生じ、柱部材全体で変形を受け持つことが示されている。

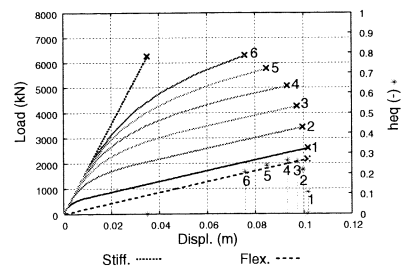


図-5 変位一荷重関係

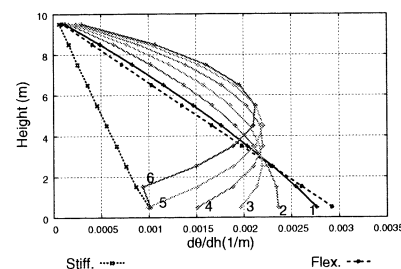


図-6 曲率分布

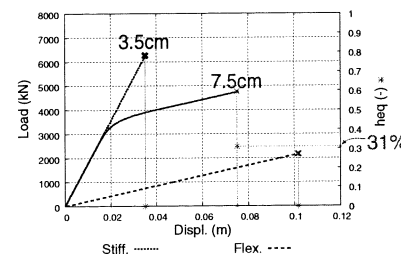
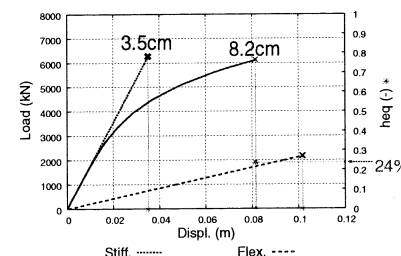
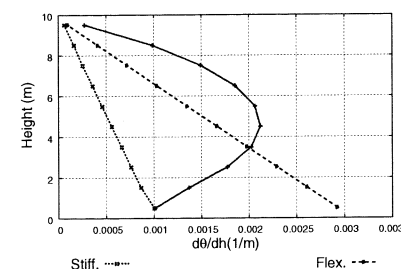


図-7 減衰性能最大のケース



(a) 変位一荷重関係



(b) 曲率分布

図-8 耐力と変形性能の両立ケース