

摩擦減衰機構を持つ弾性耐震柱の実験的研究

京都大学防災研究所 正会員 ○澤田純男 高橋良和
東京電力(株) 正会員 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なからずあった。それには橋脚新設費より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変形が部材の弾性範囲内に留めることのできる高性能耐震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、柱を鉛直方向に分割することで断面を小さくし、変形性能の向上を図ることを考える。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。これにより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切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を得られ、強震時応答を柱部材の弾性限度内に留める可能性が期待できる。本研究では、提案構造で導入する摩擦機構が実際に制御可能かどうかを調べるため、幅90mm、厚さ10mmの亚克力等の樹脂板を3枚重ね合わせて柱高さ400mmの模型を作成し、漸増載荷実験を実施した。

3. 実験結果

(1) 最大剛性と最小剛性

比較のため、部材間が完全に固着している場合(最大剛性を発揮するケースで、以下、「stiff」ケースと呼ぶ)と、初期拘束力が0で部材間の摩擦が無い場合(最小剛性を発揮するケースで、以下、「flex.」ケースと呼ぶ)の実験結果を図-2に示す。部材幅が1/3になることにより前者が後者の9倍の剛性を持つこと、さらに後者は前者の3倍の変形性能を持つことが示されている。図中の×印は、柱部材に貼付けたいずれかのひずみゲージが、鉄筋降伏ひずみ(1.75×10^{-3})を超えたときの応答である。この状態を便宜上、「部材降伏」と呼ぶこととする。それぞれの条件における部材降伏の時点での、高さ方向に対する各部材の曲率分布を図-3に示す。二本の破線で示された「stiff」ケースと「flex.」ケース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。

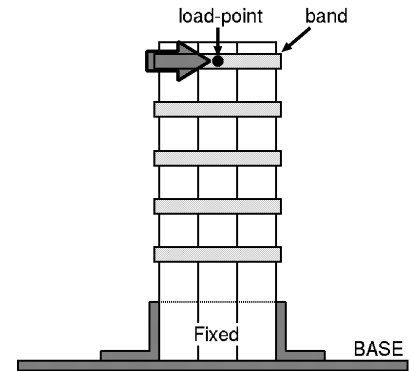


図-1 柱の分割と拘束

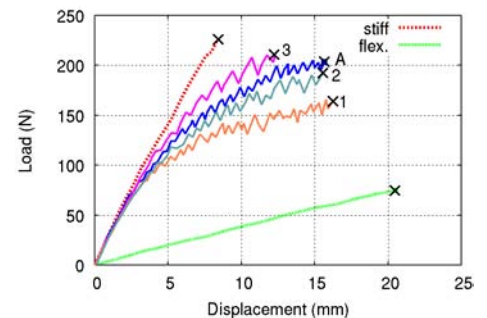


図-2 変位—復元力関係

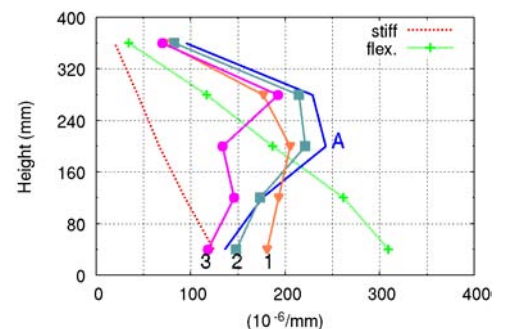


図-3 曲率分布

キーワード：摩擦，弾性変形，減衰，変形性能

連絡先：京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 耐震基礎分野 TEL:0774-38-4066

(2) 拘束力分布の違いによる挙動の変化

本研究では、柱高さ400mmの供試体に柱上端から下端までの間に等間隔（80mm）で5ヶ所に拘束力を与えるので、実験ケースごとの初期拘束力分布を、図-4に示すように上からF(1),...,F(5)で表現し、 $F(X) = \alpha + \beta X$ で与える。まず、 $\alpha = 0(\text{N})$ として、 β の値を400,500,600(N/unit)と変化させたときの結果を図-2にそれぞれ1,2,3として示す。拘束力分布の勾配が大きくなる、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。それでも、「stiff」ケースに比べて、変形性能が大幅に向上している。また、部材降伏時点の高さ方向に対する各部材の曲率分布を図-3の1,2,3にそれぞれ対応させて示す。各部材の曲率分布が直線ではなく、拘束力の勾配が大きくなるにつれて、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ることなく、柱上部での大きな変形を導き、結果として柱全体の変形性能を大きくしていると考えられる。また、同実験を続けて載荷時部材降伏点から除荷、再載荷を行ったときの変位-力関係を図-5に示すが、その履歴は部材降伏点を最大応答として大きな面積を囲むことがわかる。また、様々な拘束力分布で載荷実験した結果、特によい性能が得られたのが $\alpha = -400(\text{N})$, $\beta = 700(\text{N/unit})$ のときの図-2のケースAであった。また、このケースの降伏時の曲率分布が図-3のケースAに示される。部材曲率が極大値となる部分が中央高さ付近に生じ、柱全体で変形を受け持つことが示されている。

4. 数値解析結果との比較

次に、 $\alpha = 0(\text{N})$ として、 β を400,500,600(N/unit)と変化させたときの実験結果（図-2の1,2,3）と同じ拘束力分布条件で、摩擦係数0.4として数値解析した結果を、図-6にそれぞれ1,2,3と対応させて示す。それぞれの数値解析結果が実験結果（図-2）とほぼ合致していることがわかるが、 $\beta = 600(\text{N/unit})$ のときには最終変形量が実験よりやや大きい。そこで図-7の曲率分布をみると、特に $\beta = 600(\text{N/unit})$ のケースにおける実験結果では柱高さ中央での曲げ変形が小さいので、このことが影響して数値解析結果よりその最終変形が小さくなったものと考えられる。

5. アクリル&硬質塩化ビニル合成柱より得られた挙動特性

中心の柱部材として硬質塩化ビニルを用い、両側からアクリルの柱部材ではさんだ柱に対する実験を実施した。その結果は、前述の全てがアクリル部材の柱と比べて摩擦係数が減少し、同じ拘束力分布に対して剛性変化点が下がる傾向がみられた。このアクリル&硬質塩化ビニル合成柱について、 $\alpha = 0(\text{N})$ として、 β を400,600,800,1000(N/unit)と変化させたときの実験結果を図-8に示す。ただし、図中のカッコ内の値は(α , β)である。アクリル柱の場合に比べ、剛性変化点が下がっているが、基本的な挙動は、アクリル柱（図-2）の場合とほとんど差異はない。

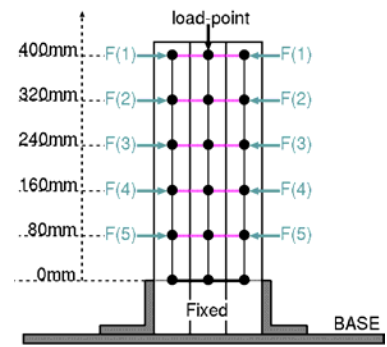


図-4 拘束力を与える位置

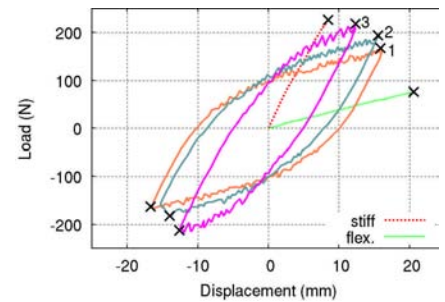


図-5 変位—復元力関係

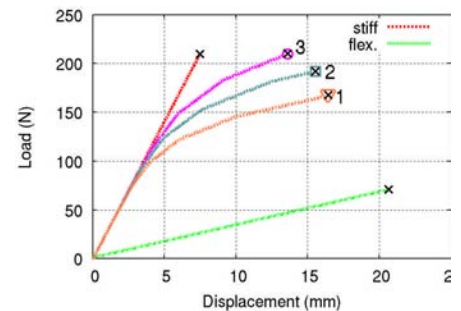


図-6 数値解析結果

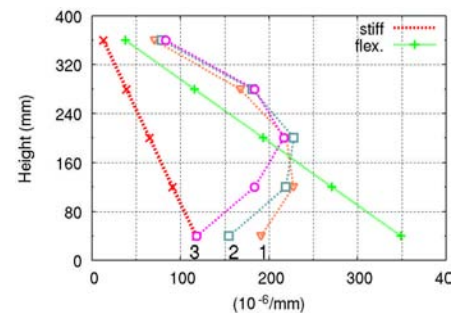


図-7 数値解析結果

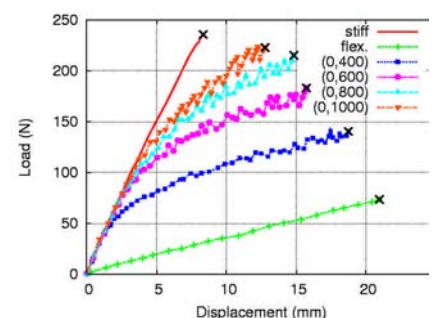


図-8 変位—復元力関係
(硬質塩化ビニル柱)