

RC橋脚における軸方向鉄筋のフーチングからの 伸び出し変位の計測方法に関する検討

塩島亮彦¹・星隈順一²・運上茂樹³

¹独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ耐震チーム
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: siojima@pwri.go.jp

²国土交通省 総合政策局建設施工企画課課長補佐
(〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

E-mail: hoshikuma-j2u8@mlit.go.jp

³独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ耐震チーム上席研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: unjoh@pwri.go.jp

鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の伸び出し変位の計測方法には、橋脚基部表面に変位計をセットして間接的に計測する簡易な方法と、軸方向鉄筋にワイヤー等を取り付け直接的に計測する方法の二通りがある。これら計測方法の違いにより、実験結果に違いが生じる可能性があるため、本研究では、別途実施した鉄筋コンクリート橋脚の正負交番載荷実験において、上記二通りの計測方法で伸び出し変位を計測し、その結果について比較、検討を行った。

Key Words : reinforced concrete columns, pull-out displacement, measurement system

1. はじめに

鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能を縮小模型供試体に対する正負交番載荷実験に基づいて検証する場合、実験結果の事後評価を適切に行うために、柱躯体の曲げによる変位と軸方向鉄筋のフーチングからの伸び出しによって生じる変位を分離できるように計測計画を企てておく必要がある^{1),2),3)}。正負交番載荷実験において、軸方向鉄筋の伸び出し変位を計測する方法としては、フーチング上面とその少し上方の柱断面に変位計を設置し間接的に計測する簡便な方法が多用されているが、この他にも軸方向鉄筋にワイヤー等を取り付けて直接的に計測する方法も提案されている⁴⁾。計測原理に基づけば、後者の手法の方がより信頼性のある伸び出し変位を計測することが可能と考えられる。その一方で、従来より広く用いられてきている前者の手法による伸び出し変位の計測値との間に違いが生じることが考えられるが、この点については明確に検討されていない。

そこで本研究では、著者らが別途実施した鉄筋コンクリート橋脚の正負交番載荷実験において、上記二通りの

計測方法の両方を用いて軸方向鉄筋の伸び出し変位を計測し、その結果について比較、検討を行った。

2. 実験の概要

(1) 実験に用いた供試体

本研究で対象とした実験供試体は、図-1に示すように断面寸法が600mm×1200mmの長方形の4角を切り落とした8角形断面で、基部から載荷点までの高さが3010mmのRC橋脚模型である。この供試体は別の研究目的のために、帯鉄筋を楕円状に曲げてインターロッキング配置とし、それに沿うように軸方向鉄筋を配筋している。軸方向鉄筋にはD10を用いており、それが高さ700mmのフーチングに定着されている。なお、軸方向鉄筋の降伏点は377.6N/mm²、引張強度は507.1N/mm²、フーチング部のコンクリートの圧縮強度は38.0N/mm²である。

(2) 伸び出し変位の計測方法

軸方向鉄筋の伸び出し変位の計測方法としては、図-2

に示すように2つの方法で同時に行った。

一つ目の計測方法(以下、「A方法」と呼ぶ)として、圧縮縁ならびに引張縁となる両面において、フーチング上面と基部から高さ37mmの区間の相対変位を変位計によって計測した。この計測方法は、軸方向鉄筋の伸び出しを間接的に計るものであり、計測区間における鉄筋の伸びも計測値に含まれることに注意を要する。また、この方法では載荷実験の進展に伴う供試体の損傷の影響を受けやすい。このため、供試体製作時にねじ切り鋼棒と断面に貫通させて内部コンクリートに定着させるとともに、かぶりコンクリートと鋼棒の付着は発泡スチロールにより絶縁することでかぶりコンクリートの剥離などに伴う鋼棒の変形を防止した。

二つ目の方法(以下、「B方法」と呼ぶ)として、橋脚とフーチングの接合断面において、最外縁に配置された軸方向鉄筋にワイヤーを固定させて直接伸び出し変位を計測した。この方法は、図-2に示すように、鉄筋に固定したワイヤーをシース管を用いてフーチングの外に出し、このワイヤーの出入りを変位計によって測定するものである。この方法では、ワイヤーとシース管との摩擦が大きいと正確な値が得られない可能性があるため、本実験では、内部にポリエチレン管を内蔵し摩擦の小さい自転車の変速機用ワイヤーシースを使用した。また、計測に用いた変位計は、センターホール型で内部にワイヤーを通すことができる構造のものである。

3. 実験結果および計測方法が実験結果に及ぼす影響

(1) 正負交番載荷実験の結果の概要

図-3は、本研究で対象とした供試体における水平力-水平変位関係の履歴曲線を示したものである。損傷の進展状況としては、水平ひびわれの進展が $5\delta_y$ の変形まで

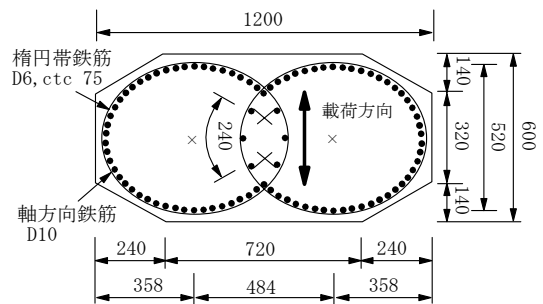


図-1 実験供試体断面の諸元

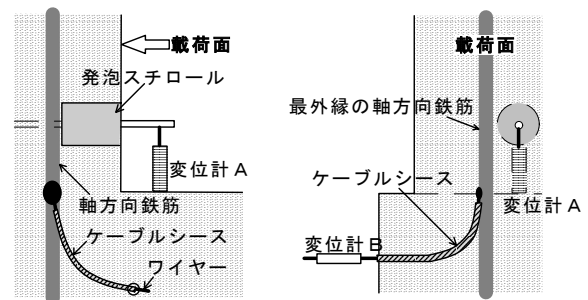


図-2 伸び出し変位の計測方法

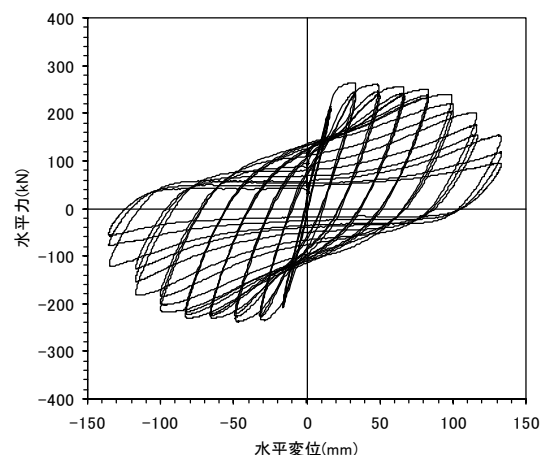
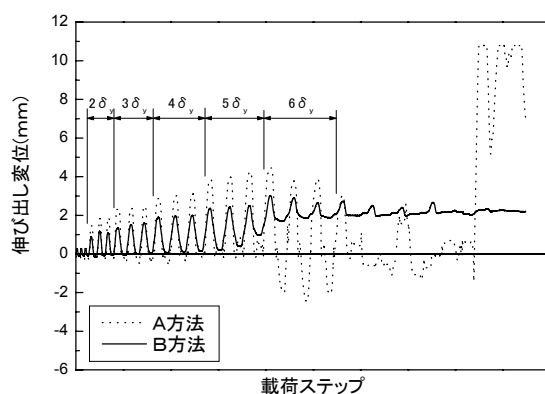
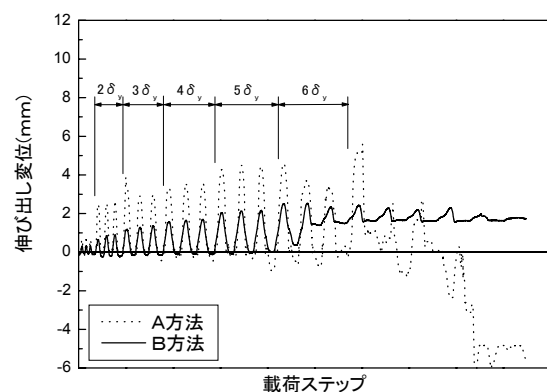


図-3 水平力-水平変位の履歴曲線



(a) P面側



(b) M面側

図-4 軸方向鉄筋の伸び出し変位の時刻歴

続き、 $6\delta_y$ の2サイクル目を载荷中に基部から230mmの範囲で軸方向鉄筋の座屈に伴ってかぶりコンクリートが剥落した。この段階でのかぶりコンクリートの剥落は圧縮側の面全体で生じているのではなく、軸方向鉄筋のかぶり厚さが最も小さくなっている2箇所が生じた。

(2) 軸方向鉄筋の伸び出し変位の時刻歴挙動

図-4は、A方法ならびにB方法で計測した軸方向鉄筋の伸び出し変位の時刻歴挙動を示したものである。ここでは、圧縮縁ならびに引張縁となる面のうち先に引張を受ける側をP面、圧縮を受ける側をM面と呼んでいる。この図からわかるように、A方法、B方法とも、正負交番繰返し载荷に伴って軸方向鉄筋の伸び出しならびに押しもどしの挙動が計測されており、計測治具の摩擦の影響は生じていない。また、载荷変位が進展するにつれてP面、M面とも伸び出し変位が残留してきている様子もわかる。ただし、A方法においては、 $7\delta_y$ の载荷ステップにおいて変位計及び計測治具に剥落したかぶりコンクリートが接触したため、それ以降の計測ができなくなっている。

また、B方法による計測値は、A方法による計測値のほぼ半分となっている。これは、A方法による計測値には変位計測区間における鉄筋の伸び分も含まれていることが大きな要因と考えられる。また、B方法では、 $6\delta_y$ 以降、伸び出し変位の振幅が小さくなっている。これは、 $6\delta_y$ の载荷により軸方向鉄筋が座屈してかぶりコンクリートが剥落し、柱断面に変形が集中した現象に適合していると考えられる。このような挙動は、A方法による計測では確認できない。

(3) 伸び出し変位－载荷点変位の関係

図-5は、伸び出し変位－载荷点変位の関係について、A方法とB方法を比較したものである。いずれの計測方法とも、载荷点変位と伸び出し変位の間には概ね正比例の関係があることがわかる。ただし、A方法による計測

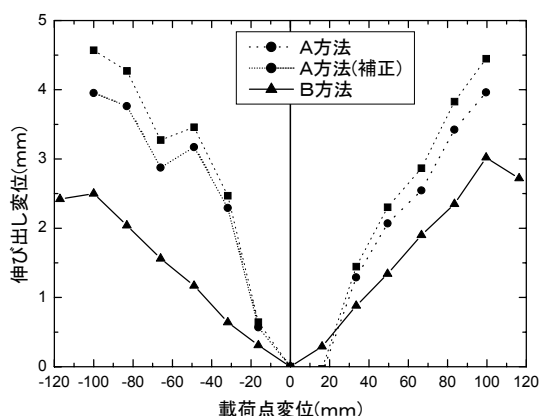


図-5 伸び出し変位－载荷点変位の関係

値のほうがB方法によるものよりも大きいですが、これは前述したような理由によると考えられるので、計測区間内における軸方向鉄筋のひずみから、次式により柱断面内の軸方向鉄筋の伸び分の変位を算出することにより補正を行うことができる。

$$\Delta = \varepsilon \cdot l \quad (1)$$

ここに、

Δ : A方法計測区間の軸方向鉄筋の伸びによる変位

ε : A方法計測区間における軸方向鉄筋のひずみ

l : A方法における計測区間長

ただし、今回の実験では、計測対象とした軸方向鉄筋にはB方法用のワイヤーを取り付けていたため、A方法における計測区間内の位置でひずみの計測ができなかった。そのため、直近のひずみゲージである、基部から30 mm下の位置に貼付したものによる計測値を用いて、式(1)により補正を行ってみた。なお、 $3\delta_y$ 以降はひずみゲージの不具合により計測ができなかったため、 $3\delta_y$ 以降のひずみ値は直線補完により推定した値を用いた。伸び出し変位についてほぼ同様の傾向は得ることができたが、ひずみ値が正確に計測できなかったことから、一致するまでには至らなかった。

(4) 橋脚基部の回転による水平変位と载荷点変位の関係

正負交番载荷実験は、一般に変位制御で行われるが、载荷点で与えられる水平変位は、橋脚の曲げ変形による変位と軸方向鉄筋の伸び出しによる基部の回転による変位に分解される。ここで、载荷点における軸方向鉄筋の伸び出しによる水平変位の成分は、式(2)により算出される。

$$\delta_\theta = \theta \cdot L \quad (2)$$

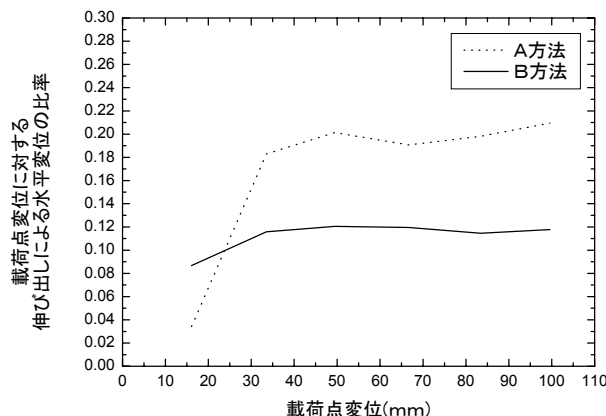
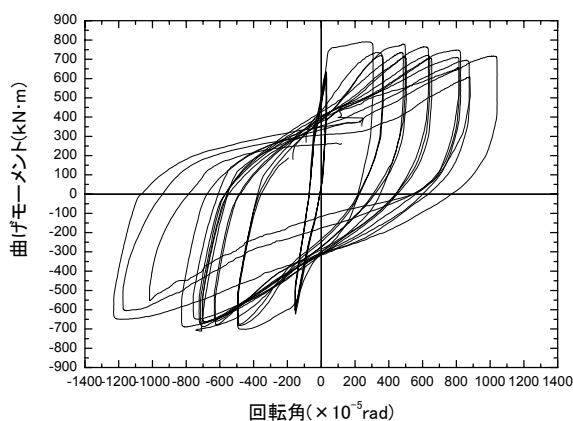
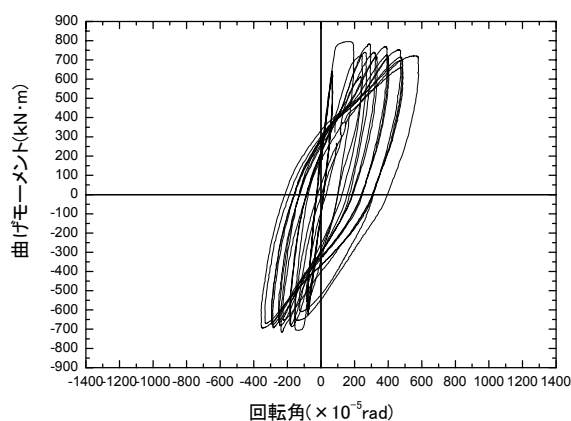


図-6 伸び出しによる水平変位の比率



(a) A方法



(b) B方法

図-7 橋脚基部におけるM-θ関係

ここに、

δ_θ : 軸方向鉄筋の伸び出しによる水平変位

θ : 橋脚基部の回転角

L : 橋脚基部から載荷点までの高さ

図-6は、式(2)より算出した軸方向鉄筋の伸び出しによる水平変位と載荷点における水平変位の関係を両計測方法で比較したものである。これより、A方法の計測値から求めた伸び出しによる水平変位の比率は、B方法によるものよりも全体的に5~7割大きいことがわかる。

(3) 橋脚基部における曲げモーメント-回転角の関係

図-7は、両計測方法による計測値から算出した、橋脚基部における曲げモーメントM-回転角 θ の関係の履歴曲線を示したものである。A方法によるM- θ 関係を見ると、B方法によるものよりも基部の回転によるエネルギー吸収が大きい、これは橋脚の曲げ変形によるエネルギー吸収が少なからず含まれているためである。

また、B方法によるM- θ 関係では、正負交番載荷において先に引張を受ける回転方向に、残留回転角が生じていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の伸び出し変位の計測方法について検討することを目的として、別途実施した鉄筋コンクリート橋脚の正負交番載荷実験において二通りの計測方法により軸方向鉄筋

の伸び出し変位を計測し、その結果について比較、検討を行った。本検討により得られた知見を以下に示す。

- ・ A方法では、計測値に計測区間における鉄筋の伸び分が含まれてしまう。断面高さが600mmの柱に対して計測区間を37mmとした場合でも、伸び出し変位はB方法よりも約2倍として計測された。
- ・ 今回の実験では適切な位置にひずみゲージがなかったため正確な補正を行うことができなかったが、A方法の変位計測区間における鉄筋のひずみを計測することにより、鉄筋の伸び分の補正を行うことができれば、B方法と同等の結果を得ることが出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 星隈順一、運上茂樹、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす断面寸法の影響に関する研究、土木学会論文集、No. 669/V-50、pp. 215-232、2001年2月
- 2) 星隈順一、運上茂樹、川島一彦、長屋和宏：載荷繰返し特性と塑性曲率分布に着目した曲げ破壊型鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能とその評価法、構造工学論文集、Vol. 44A、pp. 877-888、1998年3月
- 3) 星隈順一、長屋和宏、運上茂樹：鉄筋コンクリート橋脚の塑性曲率分布と塑性ヒンジ長、構造工学論文集、Vol. 46A、pp. 1461-1468、2000年3月
- 4) 石橋忠良、小林薫、海原卓也：大変形領域の交番荷重を受けるRC橋脚のフーチングからの鉄筋拔出量算定法に関する研究、土木学会論文集、No. 648/V-47、pp. 43-54、2000年5月

(2003. 10. 10 受付)