

RC橋脚に対する正負交番載荷実験における曲率の計測とその精度

国土交通省土木研究所 正員 星隈 順一
 国土交通省土木研究所 正員 運上 茂樹
 国土交通省土木研究所 正員 長屋 和宏

1. はじめに

塑性変形性能を検証するための曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚に対する正負交番載荷実験では、一般に加力点の水平荷重と水平変位、鉄筋のひずみ値が計測されるに留まることが多く、塑性ヒンジにおける曲率とその分布が計測されることは少ない。これは、曲率はその計測自体が難しく、加力点における水平変位に比べると計測データの信頼性が確認されていないためと考えられる。しかしながら、曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能は、塑性ヒンジによって支配的にコントロールされるため、塑性変形性能を詳細に解明していくためには、塑性ヒンジの特性の解明が不可欠であり、塑性ヒンジ内部における曲率やその分布に関する実験データを蓄積していく必要があると考えられる。

このような背景から、著者らは、曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚模型に対する正負交番載荷実験では、塑性ヒンジとなる領域において曲率を計測しており、その結果を用いて塑性ヒンジに関する様々な研究を行っている^{1),2)}。本文では、これらの実験データを用いて、実験により得られた曲率の計測精度について検証したので、その結果を報告する。

2. 曲率を計測する目的

曲げが卓越した鉄筋コンクリート橋脚の柱頭部における水平変位 δ は、曲げ変形理論に基づけば次式により求められる。

$$\delta = \int_0^H \phi \cdot y \, dy \quad (1)$$

ここで、 ϕ ：柱頭部から y の断面における曲率、 y ：柱頭部からの距離、 H ：橋脚基部から柱頭部までの高さである。式(1)により柱頭部における水平変位を算出する場合、曲率の高さ方向分布が必要となる。しかしながら、耐震設計で一般に終局時として想定している損傷、すなわち、軸方向鉄筋が座屈し、かぶりコンクリートが剥落するような損傷が生じた時における曲率の高さ方向分布は解析的に求めるのは非常に困難である。正負交番載荷実験において曲率の計測を行うのは、このような損傷が生じる時の曲率分布がどのようになっているのかを調べ、その結果に基づいて式(1)により合理的に終局水平変位を算出できるようにするためである。

3. 実験により計測される曲率とその物理的な意味

本来、曲率とは断面毎に定義される指標であるが、実験においてある特定の断面の曲率を計測することは、著者らの知る計測技術の範囲内では非常に難しい。そこで、著者らは、塑性ヒンジとその近傍の断面領域における曲率を図-1に示すような手法により計測している。すなわち、柱高さ方向に対してある計測区間長を設定し、その区間における圧縮縁近傍ならびに引張縁近傍の相対変位を変位計により計測し、この計測値から、計測区間内の断面における平均曲率を次式により算出している。

$$\phi = \frac{\Delta_T - \Delta_C}{D_t \cdot h} \quad (2)$$

ここに、 ϕ ：計測区間内の断面における平均曲率、 Δ_T, Δ_C ：計測区間における引張縁近傍及び圧縮縁近傍の相対変位、 D_t ：引張縁側と圧縮縁側に配置された変位計の距離、 h ：計測区間長である。式(2)による曲率の計測は、欧米やニュージーランドでも既に多用されている手法でもあるが、このようにして求められる曲率は、特定の断面における曲率ではなく、あくまでも計測区間内の断面における平均的な曲率であることに注意する必要がある。

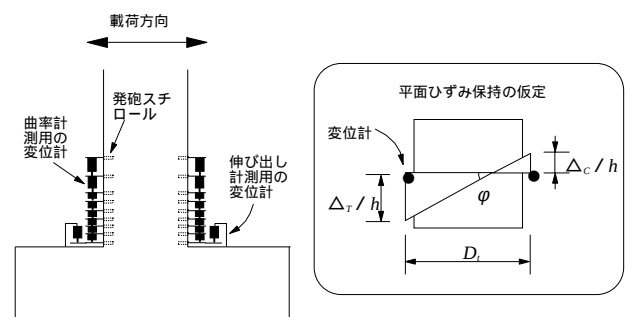


図-1 曲率の計測方法

4. 計測区間長が曲率の計測値に及ぼす影響

式(2)に基づいて曲率を計測する場合、実験前に設定する計測区間長によって曲率の計測値が変化することになる。そこで、

既往の実験データを用いて、計測区間長が曲率の計測値に及ぼす影響について検討してみた。図 - 2 は、断面高さ D が 600mm、1200mm、2400mm の実験供試体に対して、かぶりコンクリートが剥落するような損傷の段階において計測された曲率分布と計測区間長を変えた場合の曲率分布を比較した一例を示したものである。これより、計測区間長を小さくするほど、ひびわれの生じた断面を含んだ領域の局所的な曲率が計測されるようになるため、多少凹凸のある分布形状となっているが、計測区間長を断面高さの 0.13 ~ 0.25 倍とすれば、橋脚基部に近づくにつれて曲率が漸増するような分布が得られており、また弾性曲率しか生じていない領域と塑性曲率が生じている領域の境界位置も精度よく特定することができている。一方、計測区間長を断面高さの 0.4 倍程度以上にまで大きくすると、弾性応答断面と塑性応答断面の境界の特定ができなくなり、計測区間長を断面高さの 0.25 倍以下とした場合と比較すると、曲率分布の計測精度が悪くなっていることがわかる。したがって、曲率分布を精度よく計測するためには、計測区間長は断面高さの 0.25 倍以下とするのがよいと考えられる。

5. 曲率の計測精度

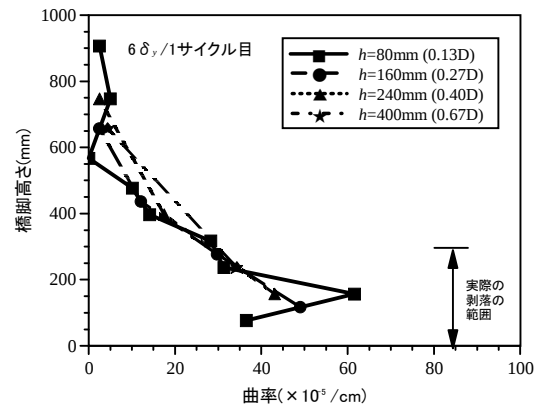
式(2)によって算出される曲率の計測精度を検証するために、曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚 14 体に対して、曲率の計測値を式(1)に代入して求められる柱頭部における水平変位と、その曲率が計測された時の柱頭部における水平変位の実測値を比較した。その結果を図 - 3 に示す。ここで、式(1)による水平変位の計算においては、軸方向鉄筋の伸び出しによる基部の回転も考慮している。また、実験では、橋脚上方の断面では弾性挙動となるため曲率の計測を行っていないが、その領域については、作用曲げモーメントから断面に生じている曲率を計算により求めた。なお、厳密にはせん断変形によって生じる水平変位の成分もあるため、柱頭部における水平変位の実測値からその影響分を差し引く必要があるが、いずれの供試体も曲げ変形が卓越していることから、せん断変形の影響は無視して比較した。これより、曲率の計測値を用いて算出した柱頭部の水平変位は、柱頭部に設置した変位計による実測値と比較的よく一致していることがわかる。断面寸法の大きな供試体となるほど、ばらつきが大きくなる傾向があるが、 $\pm 10\%$ 程度の範囲に収まっていることがわかる。したがって、図 - 1 に示す手法により、計測区間内の断面における平均的な曲率を精度よく計測できているものと考えられる。

6. まとめ

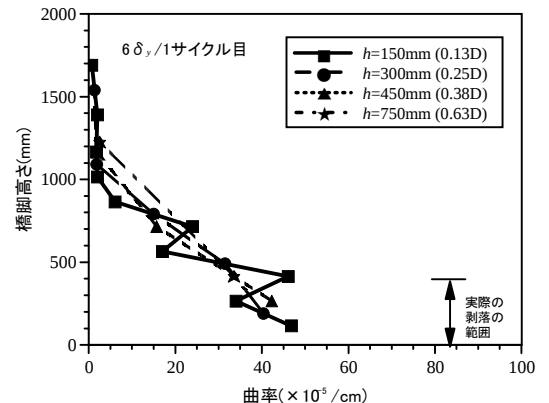
著者らがこれまでに実施した様々な R C 橋脚模型に対する正負交番載荷実験の結果を基に、曲率の計測方法とその精度について検討した結果、曲率分布を精度よく計測するためには、計測区間長は断面高さの 0.25 倍程度以下とするのがよいこと、また図 - 1 に示す手法では、 $\pm 10\%$ 程度の精度で曲率が計測できることが確認できた。今後、塑性変形性能の検証のために行われる R C 橋脚の正負交番載荷実験においては、単に加力点での変位だけでなく、塑性ヒンジに生じる曲率とその分布についても検討されることが望まれる。

参考文献

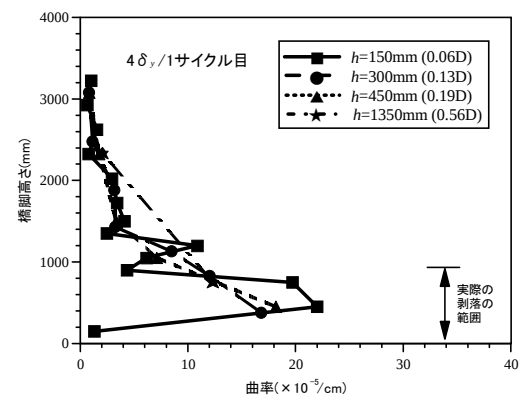
- 1) 星隈順一、運上茂樹、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の塑性曲率分布と塑性ヒンジ長、構造工学論文集、Vol.46A、2000 年 3 月
- 2) 星隈順一、運上茂樹、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす断面寸法の影響に関する研究、土木学会論文集、No.669/V-50、pp.215-232、2001 年 2 月



(a)断面高さ 600mm の供試体



(b)断面高さが 1200mm の供試体



(c)断面高さが 2400mm の供試体

図 - 2 計測区間長が曲率の計測値に及ぼす

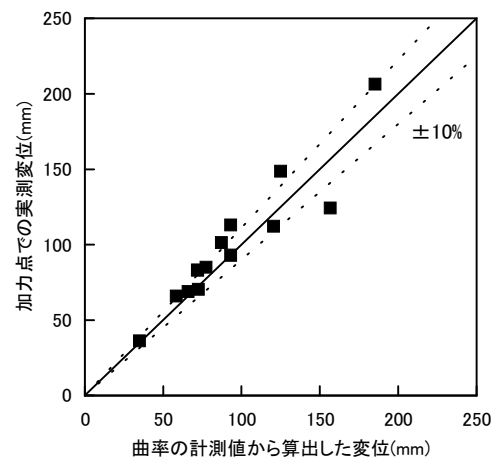


図 - 3 曲率の計測精度