

## 論文 二径間連続桁橋におけるRC壁式橋脚の耐荷性状に関する基礎的実験

京田 英宏<sup>\*1</sup>・佐藤 昌志<sup>\*2</sup>・熊谷 健一<sup>\*3</sup>・三上 隆<sup>\*4</sup>

**要旨**：上部構造の自重および拘束条件がRC壁式橋脚の静的耐荷性状に与える影響に関して評価することを目的として、中型の二径間連続桁橋模型による単調載荷および正負交番載荷実験を実施し検討を行った。その結果、i) 単調載荷実験より、橋脚には主桁の面内曲げ剛性に起因する軸圧縮力が作用し、主桁にはこの軸圧縮力に対応する上向きの力が作用すること、ii) 正負交番載荷実験より、既往の実験同様、本実験においても単調載荷と正負交番載荷によりじん性能の差が見られること、iii) 橋脚の保有耐力との関係については不明確であるが主桁の面内曲げ剛性が橋脚の耐荷性状に影響を及ぼしていること、等が明らかとなった。

**キーワード**：RC壁式橋脚，耐荷性状，連続桁

## 1. はじめに

これまでに、鉄筋コンクリート（以下、RCと略す）橋脚の地震時挙動に関して様々な研究が為されているが、それらの大部分はRC橋脚単体模型による載荷実験に基づくものである。その実験方法は、地震時に橋脚が支持している上部構造の重量に起因して発生する慣性力に相当する荷重を橋脚頭部に直接作用させるものであり、橋脚のように質量の大部分が上部構造に集中している構造物を対象とする場合には有効と考えられる。しかしながら、実際の橋脚では支承を介して、上部構造に作用する慣性力とともに、上部構造の自重や上部構造の剛性による拘束を受けていることから、橋脚単体とは異なる地震時の挙動を示すことが推測される。したがって、上部構造の拘束下におけるRC橋脚の地震時の挙動に関する検討が必要と考えられるが、そのような検討例<sup>1,2)</sup>は少ないのが実情である。

このような観点から、北海道開発土木研究所では、河川橋に多く見られるRC壁式橋脚を対象として、中型の二径間連続桁橋模型による静的載荷実験を実施した。本研究では、この実験に

基づき、上部構造の拘束条件がRC壁式橋脚の静的耐荷性状に与える影響について検討を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 実験方法

図-1には、実験装置の概要図を示している。本装置は、橋長10m、桁総重量22.5kN(2.3t)の二径間連続鋼箱桁とそれを中間支点で支持するRC壁式橋脚で構成された橋梁全体模型に対し、橋脚のフーチング部に強制変位を与えることにより載荷している。載荷には、変位制御を適切に行うためサーボ型スクリュージャッキを使用している。なお、フーチング部をリニアガイドレール（摩擦係数；1/1000）上に設置することにより、載荷方向を橋軸方向に限定している。また、端支点および橋脚が支持している中間支点の支承条件はすべてピン支承とし、主桁には面内の回転のみを許容している。ここで、面内とは橋軸方向と鉛直方向による面を、面外とは橋軸方向と橋軸直角方向による面を表している。

図-2には、載荷実験のモデル図を示している。既往の研究では、橋脚単体模型の天端がフリー

\*1 (株)構研エンジニアリング 橋梁部 工修 (正会員)

\*2 国土交通省北海道開発局 建設部道路維持課長 工博 (正会員)

\*3 日本建設コンサルタント(株) 札幌事務所総括部長 工修 (正会員)

\*4 北海道大学大学院 工学研究科教授 工博 (正会員)

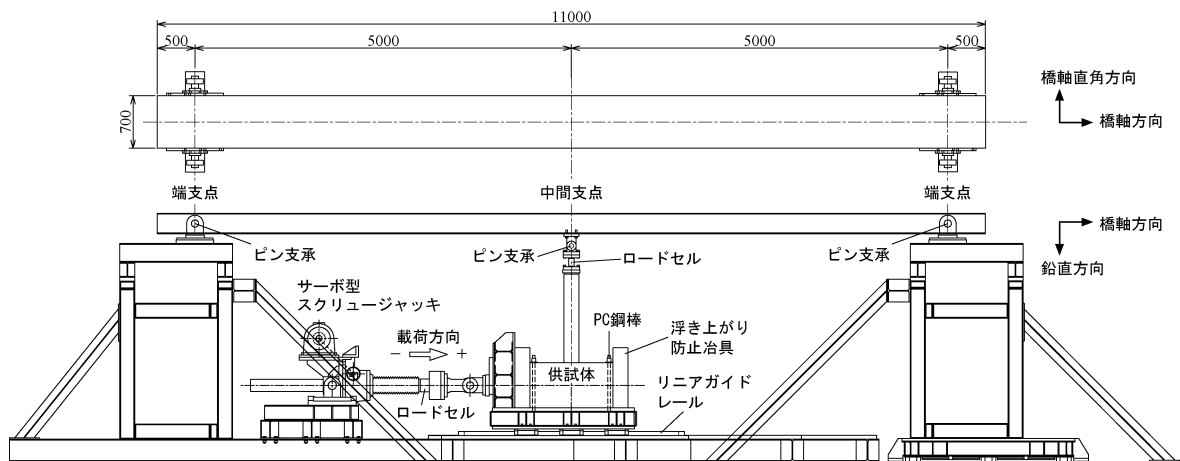


図-1 実験装置の概要図

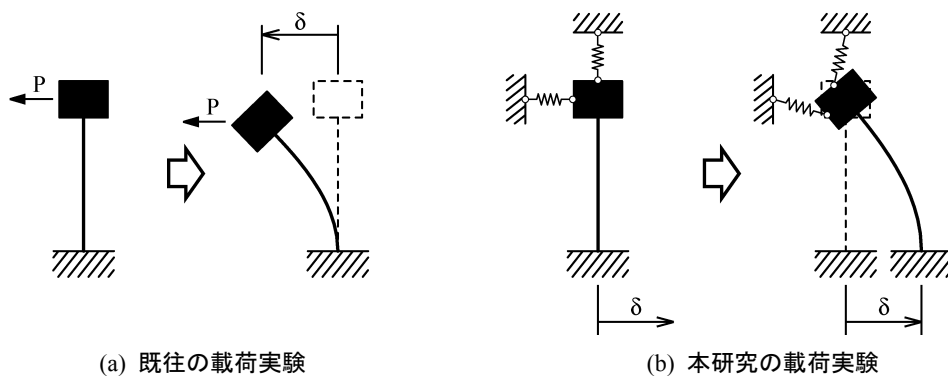


図-2 载荷実験のモデル図

な状態で、その頭部に直接载荷している。これに対して、本研究では上部構造を支持している状態の橋脚に対してフーチング部に強制変位を与えることにより载荷している。しかしながら、何れの载荷方法も橋脚に対して等価な荷重状態を与えることから、本実験装置により上部構造の拘束の影響を考慮した RC 壁式橋脚の耐荷性状について検討することは妥当と考えられる。

実験は、同仕様の RC 壁式橋脚模型について、単調载荷および正負交番载荷の 2 ケースを実施している。本実験では、橋脚基部における引張側主鉄筋の降伏時の载荷点変位を降伏変位  $\delta_y$  と定義し、 $\delta_y$  までを载荷速度 0.1mm/s、 $\delta_y$  以降を载荷速度 0.3mm/s に設定して载荷している。また、正負交番载荷実験では、第 1 サイクルの降伏変位  $\delta_y$  を基準変位量として、この整数倍の変位量  $n \times \delta_y$  ( $n=1,2,3,\dots$ ) で順次変位振幅を増加させながら载荷している。ここでは、同一

変位振幅における繰返し回数を 3 回としている。

なお、本論文における終局とは、耐力が顕著に減少する直前の载荷サイクルと定めている。

## 2.2 供試体概要

図-3 には、供試体の形状図および配筋図を、主桁および主鉄筋のひずみ計測位置、橋脚天端の支承配置と併せて示している。また、表-1 には、RC 壁式橋脚模型の構造諸元を材料試験結果と併せて示している。

主桁形式は、支承を 2 基設置可能とするため、桁幅 700mm、桁高 274mm の鋼箱桁とした。また、橋脚が支持している中間支点では、橋脚天端とピン支承の間にロードセルを設置し、中間支点の鉛直反力を計測している。支点部および支間中央部の鋼箱桁内空には、局部座屈や断面変形を防止する目的でダイアフラムを設置している。

橋脚模型の形状および配筋については、既往の研究<sup>3)</sup>を踏襲している。壁厚 200mm、壁幅

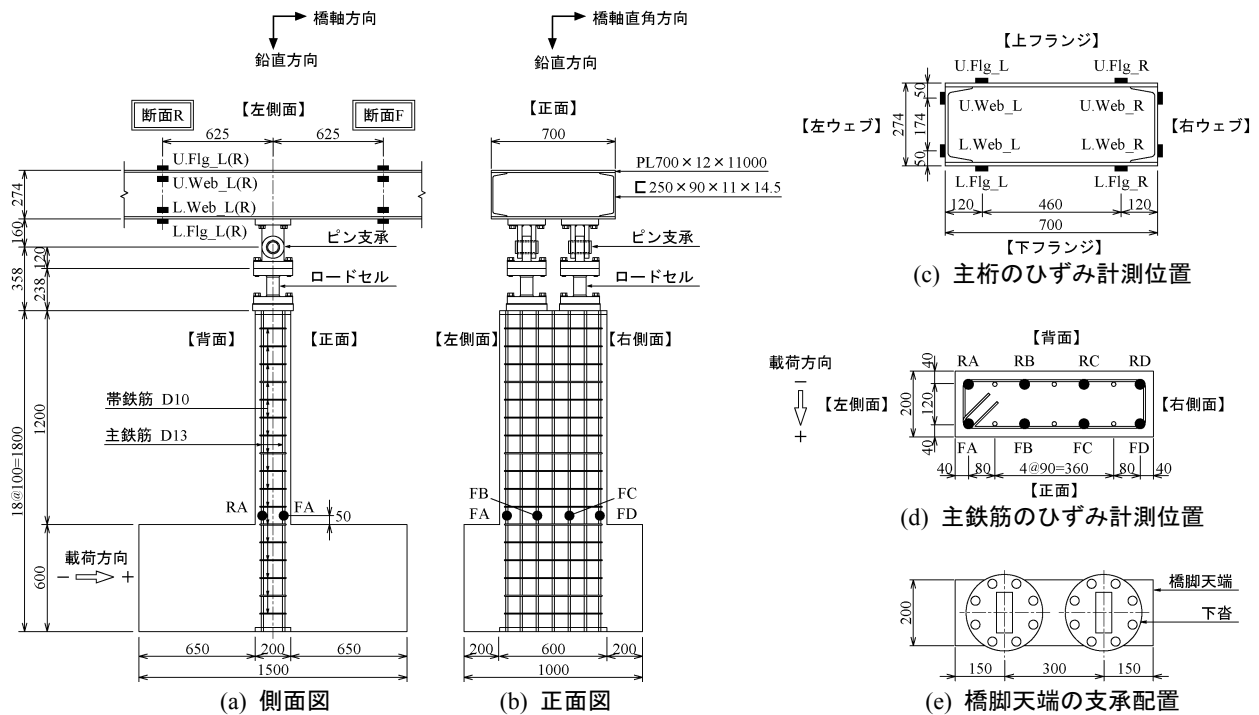


図-3 供試体の概要図

表-1 RC 壁式橋脚模型の構造諸元

荷重方法	断面 (mm×mm)	主鉄筋			帯鉄筋			コンクリート	
		種類 鉄筋径	降伏点 (MPa)	鉄筋比 (%)	種類 鉄筋径	降伏点 (MPa)	鉄筋比 (%)	設計基準強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
単調	200×600	SD345	401	1.48	SD295	375	0.24	24.0	26.5
正負交番		D13	391		D10	398			28.4

600mm, 支点高さ 1,558mm であり, アスペクト比 3.0 (壁式), せん断支間比 9.7 である。なお, ピン支承を介して橋脚が支持している上部構造重量は 13.6kN であり, 実際の RC 橋脚よりも軸応力は小さい ( $0.11\text{N/mm}^2$ ) が, 重量の調整は行っていない。また, 本実験は RC 壁式橋脚の耐荷性状の把握を目的とすることから, 主桁および支承には橋脚に比して十分な耐力を与えている。

### 3. 実験結果

本論文では, 荷重荷重, 橋脚が支持している中間支点の鉛直反力, 荷重点の水平変位, 橋脚基部の断面における主鉄筋ひずみ, 主桁の中間支点の前後 625mm に位置する断面 F および断面 R における主桁ひずみに着目して検討を行う。なお, 正負交番荷重実験については荷重荷重-水平変位関係に関する考察に留めることとする。

### 3.1 荷重荷重-水平変位関係

図-4 には, 単調荷重実験および正負交番荷重実験の荷重荷重-水平変位関係について, 単調荷重時の橋脚が支持している中間支点における鉛直反力-水平変位関係と併せて示している。ここで, 中間支点の鉛直反力については, 引張を正として表示している。

まず, 単調荷重実験の場合について考察する。荷重 31kN, 変位  $13.8\text{mm}$  ( $1\delta_y$ ) で主鉄筋が降伏し,  $2\delta_y$  前後で荷重勾配が大きく減少し,  $4\delta_y$  で最大荷重 42kN に達している。その後,  $4\delta_y$  から  $6\delta_y$  にかけて橋脚基部の引張側 (正面) ではひび割れの開口の進行にともない荷重が低下し, さらに,  $6\delta_y$  から  $8\delta_y$  にかけて橋脚基部の圧縮側 (背面) でかぶりコンクリートの剥離が進行して荷重が緩やかに低下している。なお,  $8\delta_y$  以降は, 明確な荷重低下が見られないまま

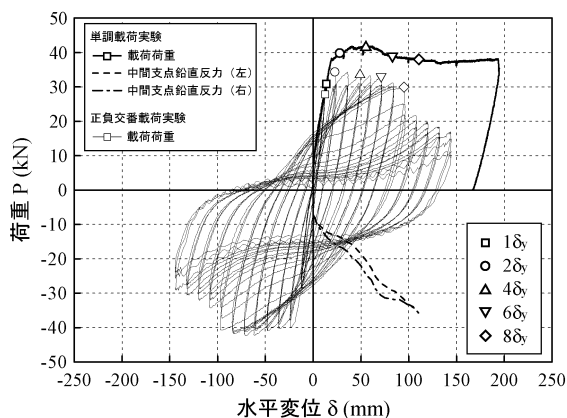


図-4 荷重荷重—水平変位関係

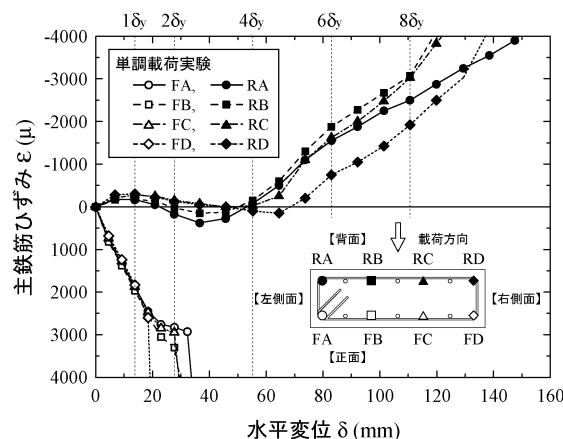


図-5 主鉄筋ひずみ—水平変位関係

横這いで推移している。また、橋脚が支持している中間支点における鉛直反力については、左右類似の性状を示しており、水平変位量の増加につれて中間支点の鉛直反力も増加している。これは、橋脚には主桁の面内曲げ剛性に起因して、軸圧縮力が作用しているものと推察される。

次に、正負交番載荷実験の場合について考察する。荷重 27kN、変位 11.9mm ( $1\delta_y$ ) で主鉄筋が降伏し、 $2\delta_y$  の第 1 サイクルで単調載荷よりも低い 34kN で最大荷重に達している。 $4\delta_y$  で降橋脚基部でひび割れの開口が進行し、 $7\delta_y$  からかぶりコンクリートが剥離し始める。その後、 $8\delta_y$  のサイクル中にかぶりコンクリートの剥落および主鉄筋の座屈が発生し、これにともない耐力が急激に低下して終局に至っている。また、履歴曲線については、橋脚頭部に載荷する既往の実験と同様に処女載荷側であるプラス側からマイナス側へのシフトが見られる。

最後に、単調載荷実験と正負交番載荷実験を比較する。単調載荷で耐力低下が終わる変位量と、正負交番載荷で耐力が急激に低下し終局に至る変位量は何れも  $8\delta_y$  で一致していることが確認できる。また、橋脚頭部に載荷する既往の実験と同様に載荷方法の違いによるじん性能の差が見られる。

### 3.2 主鉄筋ひずみ—水平変位関係

図-5 には、単調載荷実験における橋脚基部の主鉄筋ひずみ—水平変位関係を示している。

$1\delta_y$  までは引張側（正面）の主鉄筋（FA～FD）

は一般的な引張ひずみを、圧縮側（背面）の主鉄筋（RA～RD）についても同様にほぼ一般的な圧縮ひずみを示している。その後、 $2\delta_y$  前後で引張側（正面）の引張ひずみが急激に増大しており、圧縮側（背面）のひずみについては 0 を示している。したがって、中立軸が圧縮側（背面）の主鉄筋付近にあるものと考えられる。その後、 $2\delta_y$  から  $4\delta_y$  では主鉄筋ひずみがすべて引張を示していることから、中立軸が背面側主鉄筋の外側に位置しているものと推察される。また、最大荷重に達する  $4\delta_y$  以降には圧縮側（背面）の主鉄筋ひずみが再度圧縮へ転じており、圧縮側（背面）のかぶりコンクリートの損傷の進行により中立軸が圧縮側（背面）主鉄筋の内側へと移動したことを示唆していると考えられる。

### 3.3 主桁ひずみ—水平変位関係

図-6 には、主桁に作用する断面力とひずみの定義について示している。本論文では、主桁に作用する断面力を軸力  $N$ 、面内曲げモーメント  $M_{LG}$ 、面外曲げモーメント  $M_{TR}$  の 3 成分と仮定し、この断面力により生じるひずみをそれぞれ  $\epsilon_N$ 、 $\epsilon_{LG}$ 、 $\epsilon_{TR}$  と定義している。ここで、面内とは橋軸方向と鉛直方向による面を、面外とは橋軸方向と橋軸直角方向による面を表している。主桁ひずみについては、図-3 に示している断面 F および断面 R の各 8 点において、主桁の軸方向成分を計測している。

図-7 には、単調載荷実験における主桁ひずみについて水平変位  $1\delta_y$ 、 $2\delta_y$ 、 $4\delta_y$ 、 $6\delta_y$ 、 $8\delta_y$

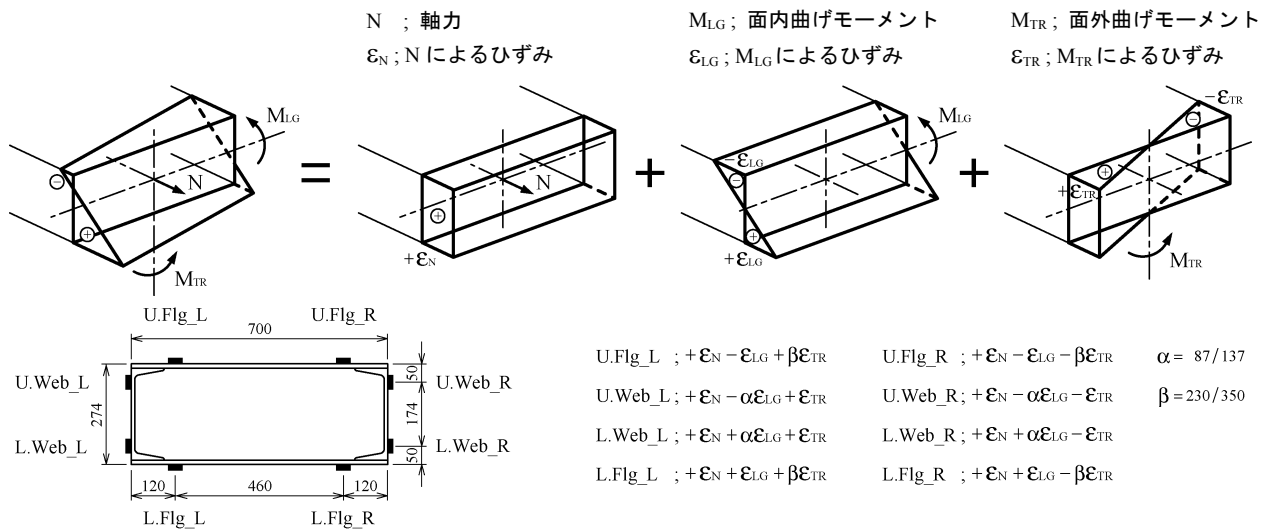


図-6 主桁に作用する断面力とひずみの定義

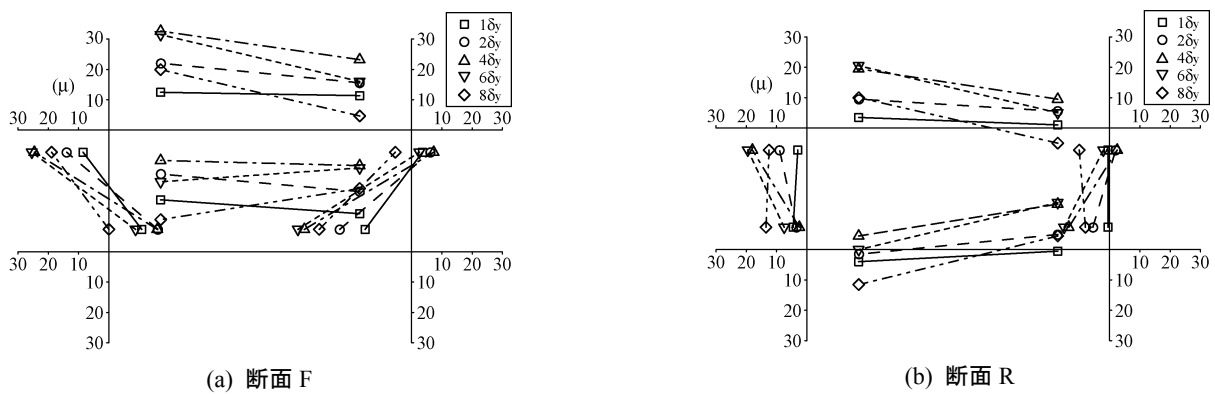


図-7 主桁ひずみ (単調載荷実験) ; 図-3 参照

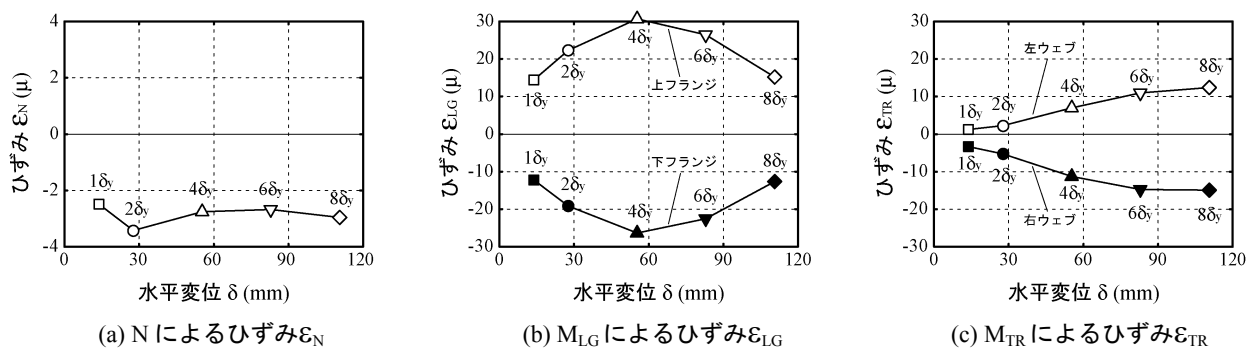


図-8 断面 F における主桁ひずみ-水平変位関係 (単調載荷実験)

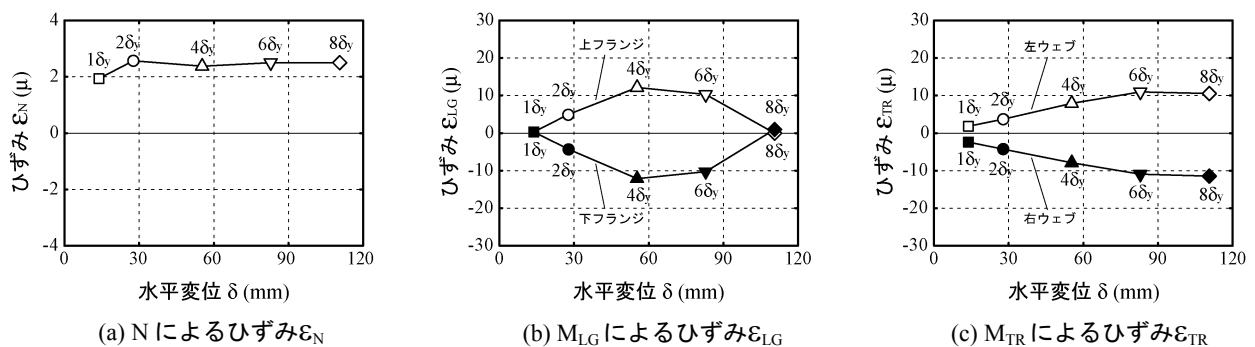


図-9 断面 R における主桁ひずみ-水平変位関係 (単調載荷実験)

の計5点に着目して示している。図-8および図-9には、図-7の主桁ひずみから上述の断面力とひずみの定義に基づいて算出した断面Fおよび断面Rにおける軸力によるひずみ $\epsilon_N$ 、面内曲げモーメントによるひずみ $\epsilon_{LG}$ 、面外曲げモーメントによるひずみ $\epsilon_{TR}$ について示している。ここで、 $\epsilon_N$ については計測点8点の平均値、 $\epsilon_{LG}$ については上下フランジの計測点4点、 $\epsilon_{TR}$ については左右ウェブの計測点4点を基に算出している。

まず、軸力によるひずみ $\epsilon_N$ について考察する。断面Fおよび断面Rの圧縮ひずみと引張ひずみが良く対応していることが分かる。したがって、端支点はそれぞれ橋軸方向の水平反力に対して固定として機能していることが確認できる。

次に、面内曲げモーメントによるひずみ $\epsilon_{LG}$ について考察する。断面Fおよび断面Rにおいて上下フランジのひずみには明瞭な対称性が確認できることから、主桁に対して図-6の断面力とひずみを仮定することにより、主桁の面内挙動を評価することは妥当と考えられる。主桁の上フランジには引張ひずみ、下フランジには圧縮ひずみが発生しており、主桁に対して上向きの力が作用していると判断できる。したがって、橋脚の保有耐力との関係については不明確ではあるが、主桁の面内曲げ剛性が橋脚の耐荷性状に影響を及ぼしていることを示唆している。

最後に、面外曲げモーメントによるひずみ $\epsilon_{TR}$ について考察する。本実験では、供試体は左右対称であり面内荷重のみを作用させているにも関わらず、面外曲げモーメントが発生している。ただし、断面Fおよび断面Rでは左右ウェブの主桁ひずみ-水平変位関係は大略一致していることから計測誤差とは考え難い。したがって、主桁橋軸方向に対して軸圧縮力が作用することにより、主桁断面の初期不整等に起因した面外方向の変形が助長されたものと推察される。

#### 4. まとめ

本研究では、上部構造の自重および拘束条件がRC壁式橋脚の静的耐荷性状に与える影響に

ついて適切に評価することを目的とし、中型の二径間連続桁橋模型によるRC壁式橋脚の単調載荷および正負交番載荷実験を実施して検討を行った。本研究により得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- 1) 単調載荷実験より,
  - i) 最大荷重に達する $4\delta_y$ 後、若干の荷重低下は見られるものの明確な低下が見られない。
  - ii) 橋脚には支承を介して支持する主桁の面内曲げ剛性に起因する軸圧縮力が作用する。
  - iii)  $2\delta_y$ から $4\delta_y$ には圧縮側主鉄筋においても引張ひずみが発生している。
  - iv) 主桁には、橋脚に作用する軸圧縮力に対応する上向きの力が作用している。
- 2) 正負交番載荷実験より,
  - i) 既往の実験同様、本実験においても単調と正負交番によるじん性能の差が見られる。
  - ii) 既往の実験同様、本実験においても履歴曲線に処女載荷であるプラス側からマイナス側へのシフトが見られる。
- 3) 1)、2)より、橋脚の保有耐力との関係については不明確であるものの、主桁の面内曲げ剛性が支承を介して橋脚の耐荷性状に影響を及ぼしている。

今後、橋脚の耐荷性状と主桁の拘束条件との関係について定性的な評価を目指す予定である。

#### 参考文献

- 1) 三田村浩, 吉田紘一, 佐藤昌志, 岸 徳光: 実規模二径間連続桁模型を用いたRC橋脚の荷重-変位特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.1207-1212, 1999
- 2) 佐藤昌志, 竹田俊明, 池田憲二, 高畑智考: 鉛直方向変位の拘束を考慮したRC橋脚の荷重-変位特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.3, pp.1525-1530, 2000
- 3) 佐藤 京, 岡田慎哉, 張 広鋒, 岸 徳光: 斜角を有する壁式RC橋脚模型の静的耐荷性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.343-348, 2003