

論文 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

佐藤 京^{*1}・岡田慎哉^{*2}・張 広鋒^{*3}・岸 徳光^{*4}

要旨： 斜角を有する RC 橋脚の耐震性能を適切に評価し、耐震性向上法を確立するための基礎資料を得ることを目的に、数種の斜角角度の異なる小型壁式 RC 橋脚模型を製作して、静的単調載荷実験を実施した。検討の結果、実験終了後のひび割れ分布性状より、斜角角度の減少に伴い、橋脚は面外変形が卓越する曲げ部材から面内変形が卓越する純せん断部材に推移するため、1) 載荷側壁面は曲げ引張破壊から純せん断的な破壊に移行する、2) 圧縮側壁面では、幅全体に発生する基部コンクリートの圧縮破壊が圧縮側の隅角部に集中する、傾向にあることが明らかとなった。

キーワード： 斜角、壁式橋脚、耐荷性状、単調載荷

1. はじめに

平成 7 年に発生した阪神・淡路大震災における RC 橋脚の被害を教訓に、段落しを有する場合等の耐震性向上法に関する実験的・解析的研究が多く実施されてきた^{1),2)}。著者らも、特に壁式橋脚を対象に FRP シートを用いる場合の耐震補強法に関する数多くの静的・動的実験研究を実施している^{3)~5)}。

一方、橋梁の場合には、都市内高架橋やこ線橋、河川橋梁などその交差物の条件により、斜角を有する場合が少なくない。橋軸方向と橋脚断面の弱軸方向が異なる場合には、橋脚もしくは橋梁全体の挙動および上部工またはその各部位に与える影響など、直橋とは異なった挙動を示すことが予想される。しかしながら、斜角を有する場合の RC 橋脚の耐震補強に関する検討事例は皆無に等しく、適切な補強工法の呈示もないのが現状である。地震災害時の道路交通網確保のためには、考えている路線全ての橋梁に対して、同程度の耐震性を確保しておくことが肝要であるものと考えられる。

このような観点から、本研究では斜角を有す

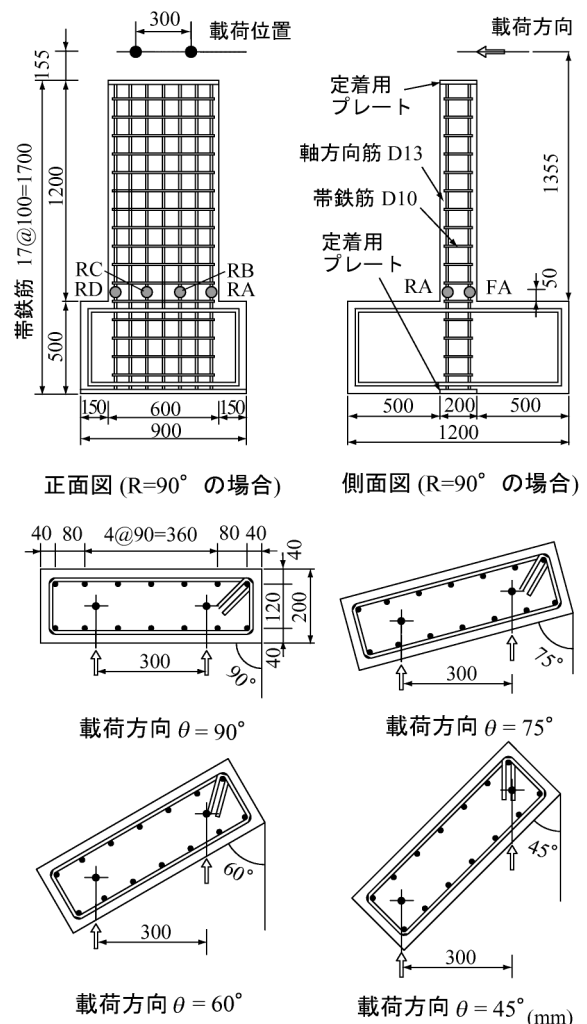


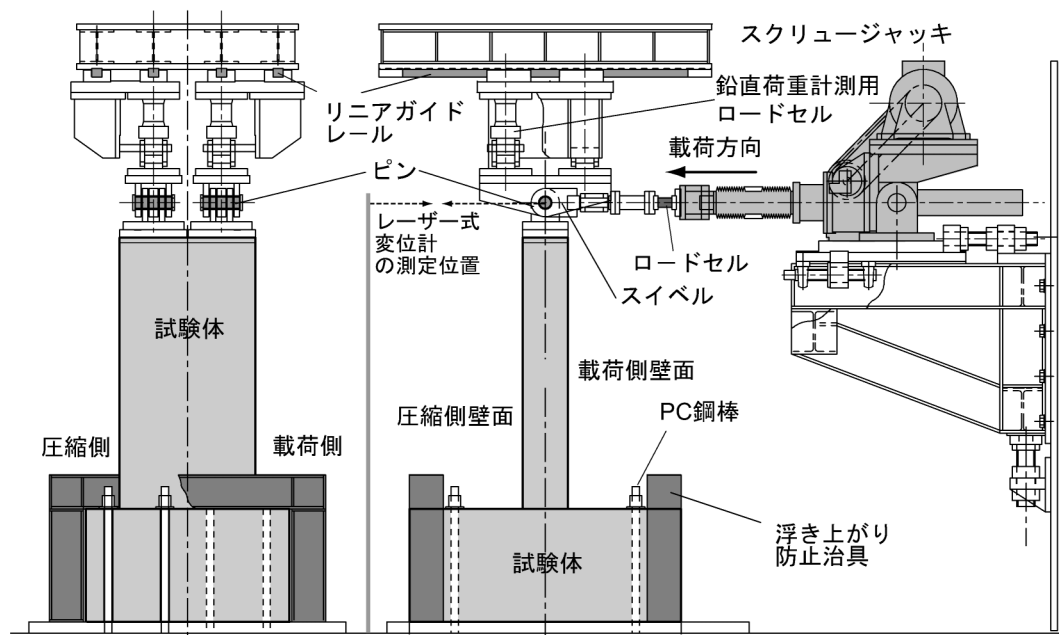
図-1 各供試体の配筋状況

*1 (独) 北海道開発土木研究所 構造研究室 研究員 (正会員)

*2 (独) 北海道開発土木研究所 構造研究室 研究員 修(工) (正会員)

*3 室蘭工業大学大学院 工学研究科建設工学専攻 修(工) (正会員)

*4 室蘭工業大学建設システム工学科 教授 工博 (正会員)



図－２ 実験装置の概要

る RC 橋脚の耐震性能を適切に評価し、耐震性向上法を確立するための基礎資料を得ることを目的に、数種の斜角角度の異なる小型壁式 RC 橋脚模型を製作して、静的単調荷重実験を実施した。本研究では、特に斜角角度による破壊モードの推移に着目して検討を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

本研究では、上述のように橋軸方向に対する斜角角度の違いによる耐荷挙動を把握する基礎実験と位置づけ、斜角角度のみをパラメータとした供試体を製作して、橋軸方向への単調荷重実験を実施した。

供試体の断面形状は、壁厚 200 mm、壁幅 600 mm、基部からの高さ 1200 mm の壁式で、90° 斜角（壁に対して水平荷重の方向が 90°であることを意味する。この場合は通常の壁式橋脚と同じ）における計算曲げ耐力は、橋軸方向が 44 kN、橋軸直角方向が 144 kN である。本研究では、橋軸と慣性力の作用方向が一致する上述の 90° 斜角模型を基本供試体とし、一般に多く施工されている範囲の角度を採用することとし、75° と 60° 斜角の場合と、斜角としては最大となる

45° 斜角の供試体に関する実験を実施した。

図－1 には、90° 斜角供試体に関する配筋状況の正面図、側面図の他、各供試体の橋脚平面図を示している。図中には荷重点、荷重方向も合わせて示している。

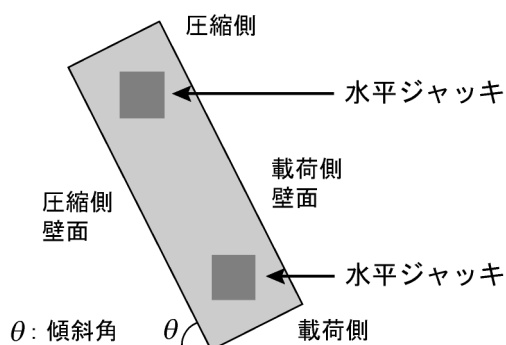
2.2 実験方法

実験は、図－2 に示すような荷重装置に供試体を設置し、電動スクリージャッキを用いて橋脚頂部に取り付けたスライベルに強制変位を与えることで実施している。なお、供試体天端には上部工重量に相当する鉛直荷重を荷重せず、その変位を可能な限り拘束することとし、それによって生じる反力をロードセルによって計測することとした。実橋の場合には、上部工重量および上部工の剛性に対応した鉛直力が作用することとなるが、ここでは斜角橋脚の基本的な耐荷挙動を把握することとし、天端の鉛直方向変位を可能な限り拘束することとした。ただし、天端での回転角は拘束していない。荷重は、橋軸方向に対して単調に 0.1 mm/s の荷重速度で変位制御により実施している。従って、各ジャッキに負荷される荷重は 90° 斜角の場合を除き同一にならないことが予想される。

斜角を有する場合には、弱軸方向への変形が

表－１ コンクリートおよび鉄筋の力学特性値

材料	圧縮 強度 f'_c (MPa)	降伏 強度 f_y (MPa)	弾性 係数 E (GPa)	ポアソン 比 ν
コンクリート	21.42	-	13.9	0.156
主鉄筋 D13	-	362	206	0.3
帯鉄筋 D10	-	362		

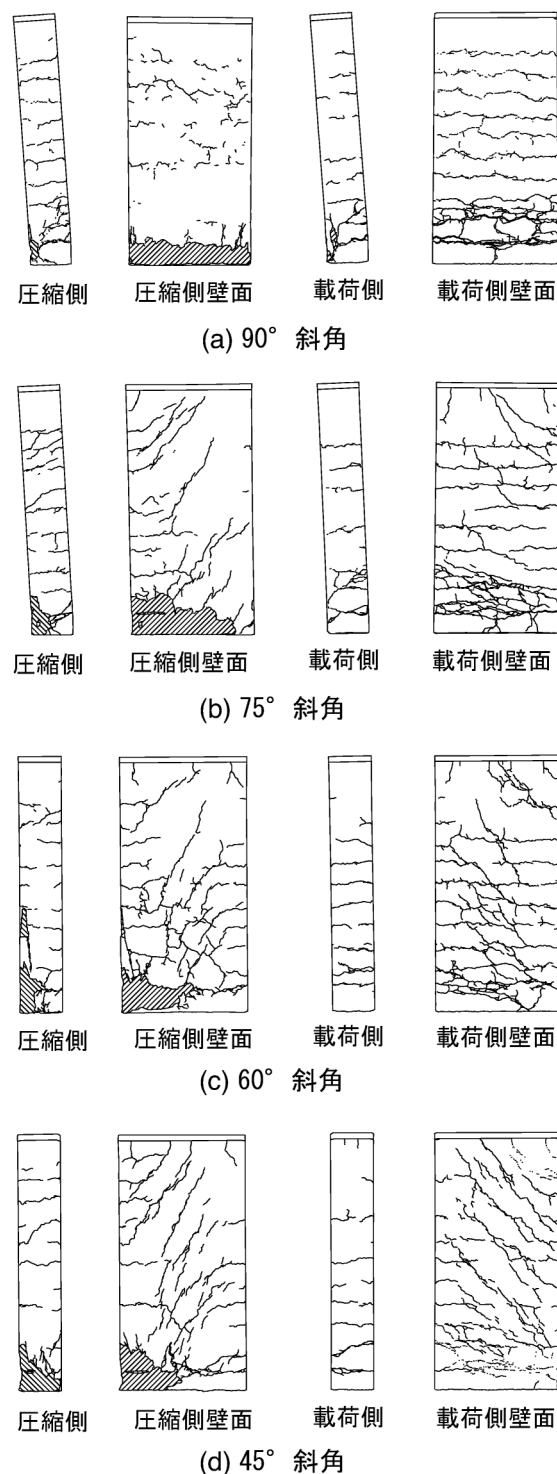


図－３ 試験体の各位置の呼称説明図 (断面図)

卓越する傾向にあることより、それらの変形を可能な限り拘束し、橋軸方向のみへの変形を誘導するために、橋軸直角方向に固定されたリニアガイドレールを配置し、その上に２台の鉛直荷重計測用ロードセルを設置している。

測定項目は、スクリュージャッキに負荷される水平荷重、リニアガイドレール上に設置されたロードセルによって計測される鉛直荷重、橋脚および載荷点における載荷方向の水平変位量、主鉄筋と帯鉄筋のひずみである。水平変位は、橋脚の両側面近傍に基部より 20 cm ピッチで変位計を配置するとともに載荷点にも配置した。主鉄筋のひずみは、図－１ に示した基部から 50 mm の位置の各壁面 4 本（図中の RA～RD, FA～FD）を対象とした。実験ケースは 4 斜角供試体に対して各 1 体ずつであり、いずれのケースにおいても橋脚の終局状態まで単調載荷している。なお、45° 斜角の場合には、静的設計計算値よりも耐力が大きく、スクリュージャッキの仕様を超えたため終局前に載荷を終了した。

表－１には、材料試験から得られたコンクリートおよび鉄筋の力学的特性値を示している。

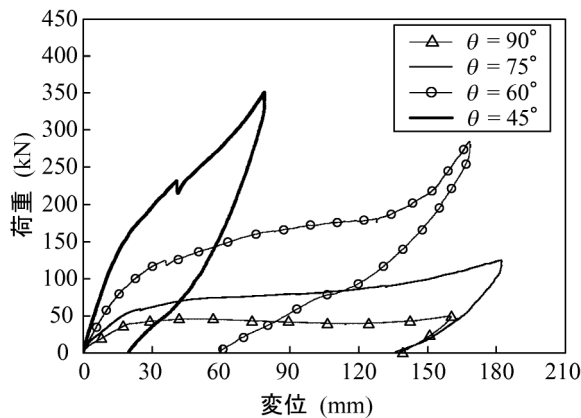


図－４ 実験終了後のひび割れ状況

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図－３には、試験体各位置の呼称説明図を示している。斜角の場合には、各壁面には壁式橋脚のように幅方向に様なひび割れが発生しないことより、図に示すようにジャッキ側にある壁面を載荷側壁面、その反面側にある壁面を圧



図－5 総載荷荷重－水平変位関係

縮側壁面と呼ぶこととする。また、水平ジャッキにより近い側面近傍を載荷側、反対側の側面近傍を圧縮側と呼ぶこととする。

図－4には、実験終了後の各試験体4面における変形状況およびひび割れ分布を示している。以下に、各試験体の実験結果について考察することとする。

(a) 図の90°斜角の場合は、載荷側壁面の高さ方向に10 cm程度の等間隔で水平方向のひび割れが生じている。特に基部より約10 cmの高さに生じたひび割れは、大きく開口しており、この位置で載荷方向に対して角折れが生じていることが分かる。圧縮側壁面は、基部より10 cm程度の高さまでかぶりコンクリートが鉄筋との付着切れを起こし剥落しており、この近傍に塑性ヒンジが形成されているものと推察できる。

(b) 図の75°斜角の場合も90°斜角と同様に載荷側壁面全面に高さ方向にほぼ等間隔で曲げによるひび割れが生じ、基部より約10 cmの高さに大きなひび割れが生じている。また、基部から2D (D: 壁厚) 程度の間で圧縮側に向って斜め上方に伸展するひび割れが発生している。これは、曲げと共に壁面に沿う純せん断的な荷重が作用したことによるものと推察される。圧縮側壁面では、載荷側壁面と異なり基部から天端まで斜めひび割れが発生し、上述の純せん断的な変形が顕在化していることが確認できる。また、90°斜角の場合と異なり、基部の圧縮側が大きく剥落しているものの、載荷側に向って

その領域が減少しており、載荷側端部では剥落は生じていない。圧縮側が大きく剥離しているのは、曲げ的にも純せん断的にも圧縮側であることに起因しているものと推察される。

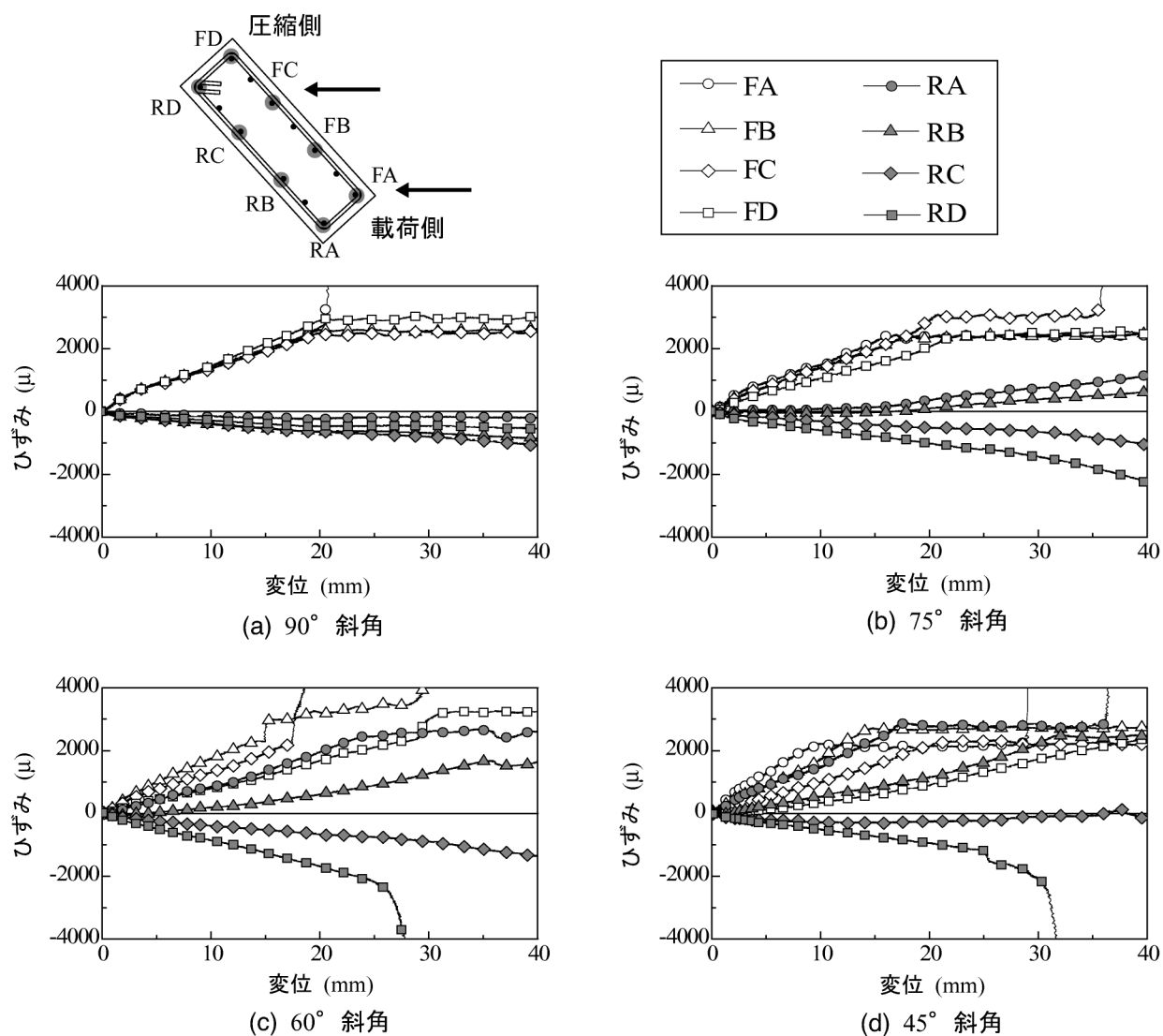
(c) 図の60°斜角の結果を見ると、載荷側壁面においては、斜めひび割れが75°斜角の場合よりも壁面全体に進展しており、純せん断的な作用が一層顕在化していることが分かる。圧縮側壁面を見ると、圧縮側の基部が大きく剥落している。しかしながら、剥落領域は幅の1/2程度の領域に限定され、75°斜角の場合よりも小さくなっていることが分かる。また、載荷側、圧縮側端部には水平方向に進展するひび割れが発生している。中央部に生じる斜めひび割れも考慮して考えると、これらは、荷重の面内方向成分の作用により面内方向に純せん断的な変形が卓越し、両端部では上方への引張力が作用し、中央部は載荷側の基部から圧縮側の天端方向への対角状引張力が作用することによるものと考えられる。

(d) 図の45°斜角の場合に関しては、スクリージャッキの定格容量を超えたため、終局状態に至らない状態でのひび割れ分布を示している。載荷側壁面においては、基部に曲げひび割れが発生しているもののその領域は狭く、壁面全体に斜めひび割れが分布していることが分かる。また、圧縮側壁面を見ると、コンクリートの剥落区域が他の試験体より小さく示されており、圧縮破壊によるコンクリートの剥落は圧縮側の隅角に集中していることが観察できる。

以上より、斜角角度の減少に伴い、橋脚は面外変形が卓越する曲げ部材から面内変形が卓越する純せん断部材に推移するため、1) 載荷側壁面は曲げ引張破壊から純せん断的な破壊に移行する、2) 圧縮側壁面では、幅全体に発生する基部コンクリートの圧縮破壊が圧縮側の隅角部に集中する、傾向にあることが明らかとなった。

3.2 水平荷重－変位関係

図－5には、水平荷重－水平変位曲線を示している。水平荷重は2つの載荷点における荷重



図－6 水平変位－ひずみ曲線関係

の和で、また、水平変位は荷重点における水平変位の平均値で評価している。

図より、90°斜角の場合には、40 kN程度から鉄筋が降伏し、荷重レベルがほぼ横ばいを示し完全弾塑性的な性状を示して終局に至っている。一方、斜角角度の減少とともに荷重初期勾配が大きくなり、最大荷重も増加している。これは、斜角角度の減少により、面外変形が卓越する曲げ的な部材から面内変形が卓越する純せん断的な部材に推移するため、荷重方向に対する橋脚の剛性が増加することに起因しているものと考えられる。なお、初期勾配を用いて橋脚の剛性を評価すると、90°斜角に対して45°斜角の場合は約4倍に増加していることが分かる。

3.3 軸ひずみ－水平変位関係

図－6には、軸方向鉄筋の軸ひずみと水平変位の関係を示している。なお、軸ひずみは、図－1に示すように橋脚基部から50 mmの高さの位置に貼付した軸方向鉄筋のひずみゲージ出力である。また、水平変位は、図－5と同様に2つの荷重点変位の平均値である。なお、(c)図に示す60°斜角のFAについては、ひずみゲージの不具合によりデータを削除している。

(a)図より、90°斜角の場合には、荷重側壁面のひずみ（FA～FD）が類似の分布性状を示し、ほぼ一様に引張側のひずみが発生していることが分かる。一方、圧縮側壁面（RA～RD）では、各値に若干の差異が見られるものの、全て圧縮

側のひずみを示している。これより、90°斜角の場合には、曲げ部材として挙動していることが分かる。

次に (b) 図に示す 75°斜角の場合に着目すると、載荷側壁面のひずみは、90°斜角の場合と同様に、引張ひずみが発生している。しかしながら、その傾きは載荷側の FA が最も大きく、圧縮側の FD に向かうほど小さく示されている。一方、圧縮側壁面のひずみの場合には、載荷側の RA および RB が水平変位 15 mm 程度から引張側のひずみを示していることが分かる。また、圧縮側の RC および RD は 90°斜角の場合と同様に圧縮ひずみを示しているものの、その程度は 90°斜角の場合よりも大きい。これらの現象は、橋脚が斜角角度を有することにより、中立軸が RB 点と FD 点近傍を結ぶ直線上に推移していることによるものと推察される。

(c) および (d) 図に示す 60°、45°斜角の場合にも、75°斜角の場合と同様な分布性状を示している。すなわち、斜角角度の減少とともに、圧縮側壁面のひずみも載荷初期段階から引張ひずみが発生し、その大きさは斜角角度の減少に比例して増大する傾向にあることが分かる。これより圧縮側壁面の中立軸は斜角角度の減少とともに RB 点から RC 点方向に推移する傾向を示していることが推察される。

4. まとめ

本研究では斜角を有する RC 橋脚の耐震性能を適切に評価し、耐震性向上法を確立するための基礎資料を得ることを目的に、数種の斜角角度の異なる小型壁式 RC 橋脚模型を製作して、静的単調載荷実験を実施した。本研究から得られた結果を整理すると、

- 1) 実験終了後のひび割れ分布性状より、斜角角度の減少に伴い、i) 載荷側壁面は曲げ引張破壊から純せん断的な破壊に移行する、ii) 圧縮側壁面では、幅全体に発生する基部コンクリートの圧縮破壊が圧縮側の隅角

部に集中する傾向にあること、が明らかとなった。

- 2) 水平荷重－水平変位関係より、斜角角度の減少とともに、載荷初期勾配が大きくなり、最大荷重も増加する傾向にある。
- 3) これらの現象は、斜角角度の減少に伴い、橋脚は面外変形が卓越する曲げ部材から面内変形が卓越する純せん断部材に推移することに起因するものと考えられる。

謝辞：本実験を実施するにあたり、室蘭工業大学大学院構造力学研究室の大学院生には実験データの整理など多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 幸左賢二，大塚久哲，星隈順一，佐々木協一，新保 弘：RC 橋脚の変形性能向上に関する実験的研究，土木学会論文集，No. 578, pp. 43-56, 1997.11
- 2) 山田真幸，三木千寿，舘石和雄，榎藤健二：段落としを有する鉄筋コンクリート柱の破壊過程とアラミド繊維巻き立てによる補強効果の検討，構造工学論文集，土木学会，Vol. 44A, pp. 1317-1324, 1998.3
- 3) 佐藤昌志，三上 浩，三田村浩，木下昌樹：実規模壁式 RC 橋脚の AFRP シート巻き付けによる靱性能向上効果，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21, No. 3, pp. 1369-1374, 1999.7
- 4) 池田憲二，吉田紘一，三上 浩，佐藤昌志：AFRP シート巻き付けされた段落としを有する実規模 RC 橋脚の動的プッシュオーバー実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 22, No. 3, pp. 1573-1578, 2000.7
- 5) 吉田紘一，三田村浩，三上 浩，岸 徳光：AFRP シート巻き付けされた段落としを有する実規模 RC 橋脚の静載荷実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 22, No. 3, pp. 1579-1584, 2000.7