

二径間連続桁橋模型による斜角を有する RC 壁式橋脚の 耐荷性状に関する実験的研究

An experimental study on load carrying capacity of RC wall-type skewed pier of two span continuous deck model.

(株) 構研エンジニアリング	○正 員	京田 英宏 (Hidehiro Kyoda)
(独) 北海道開発土木研究所	正 員	石川 博之 (Hiroyuki Ishikawa)
(独) 北海道開発土木研究所	正 員	佐藤 京 (Takashi Sato)
(独) 北海道開発土木研究所	正 員	岡田 慎哉 (Shinya Okada)
(株) ケイジーエンジニアリング	正 員	小澤 靖 (Yasushi Ozawa)
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

一般に、河川橋、跨線橋、跨道橋等では、架橋地点の交差条件により斜橋となる場合が少なくない。多径間の橋脚を有する斜橋の地震時応答性状を考える場合、橋軸および橋軸直角方向と橋脚断面の主軸方向が異なることから、上部工の拘束条件等により直橋とは異なる挙動を示すことが予想される。しかしながら、道路橋示方書¹⁾では斜角が 60° 以上の橋脚については直橋とみなして設計が可能であるとしており、また、斜角を有する橋脚の地震時挙動に関する研究例^{2)~5)}も少なく、その挙動特性が明確になっていないのが現状である。

このような観点から、本研究では、斜角を有する鉄筋コンクリート (RC) 橋脚の耐荷性状、特に上部工を設置した場合における静的耐荷性状を明らかにすることを目的に、斜角の有無をパラメーターとする RC 壁式橋脚に関する中規模二径間連続桁橋模型を用いた静的単調載荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1 には、中規模二径間連続桁橋模型に関する試験耐配筋図、支承配置図、ひずみ計測位置図を示している。また、表-1 には、試験体諸元を鉄筋およびコンクリートの材料試験結果と併せて示している。試験体の配筋および形状については、既往の実験^{3)~5)}を踏襲し、壁厚 200mm、壁幅 600mm、脚高 1,200mm の壁式橋脚とした。試験体は、直橋である斜角 90° と、直橋とみなして設計を行う下限値である¹⁾ 斜角 60° の 2 体である。なお、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁾ に準じて算出した斜角 90° の試験体の保有水平耐力は、橋軸方向：24.3kN、橋軸直角方向：77.3kN である。橋脚の支承部に関しては、境界条件をピン支承とし、中心間隔 300mm で 2 基設置している。なお、斜角 60° の試験体においても、支承は実橋梁と同様に橋軸方向に正対させて設置している。また、支承と橋脚天端の間には支点反力計測用のロードセルを設置している。上部工については、支承を 2 基設置可能な寸法とするため、桁幅 700mm、桁高 274mm の鋼箱桁とした。なお、端支点および中間支点には、箱桁内空に補剛材を配置している。

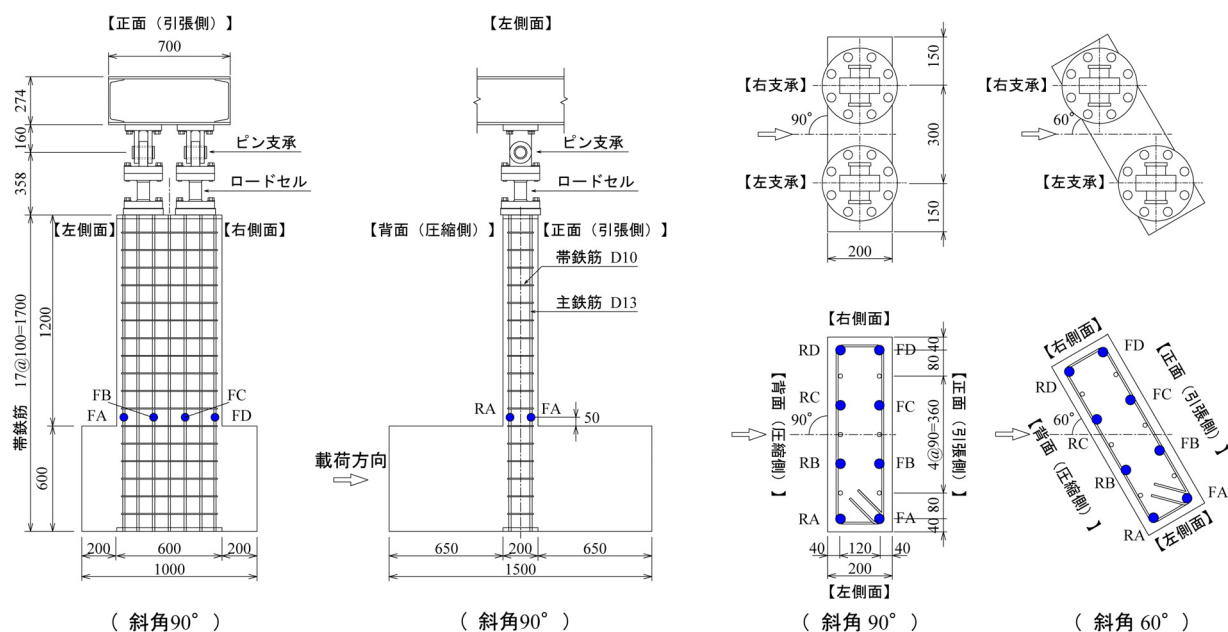


図-1 試験体配筋図、支承配置図、ひずみ計測位置図

表-1 試験体諸元および材料試験結果

斜角	断面 (mm×mm)	主鉄筋			帯鉄筋			コンクリート	
		種類 径	降伏点 (MPa)	鉄筋比 (%)	種類 径	降伏点 (MPa)	鉄筋比 (%)	設計基準強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
90°	200×600	SD345	401	1.48	SD295	375	0.24	24.0	26.5
60°		D13			D10				25.1

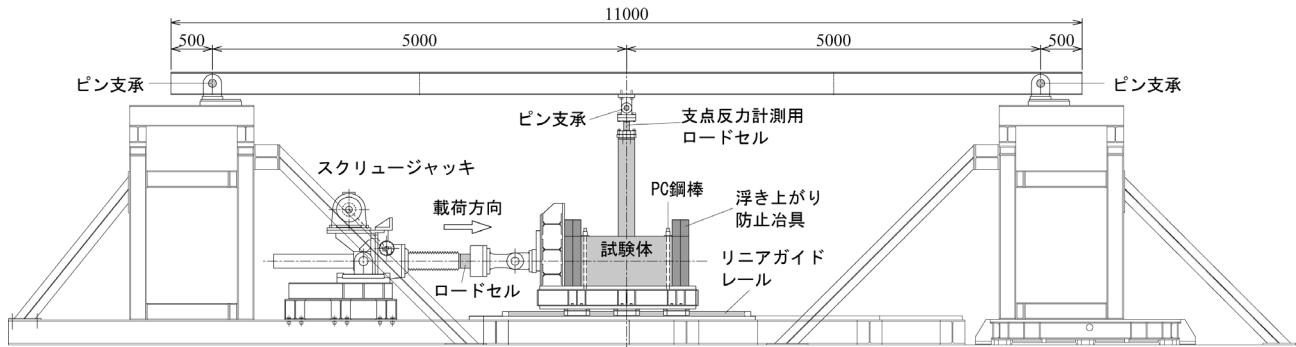


図-2 実験装置図

2.2 実験方法

図-2 には、二径間連続桁橋模型の実験装置図を示している。実験は、橋長 10.0m の二径間連続桁に試験体を設置し、スクリュージャッキを用いて橋脚フーチング部に対して橋軸方向に強制変位を与えることにより実施している。なお、斜角を有する場合には試験体に橋軸直角方向への強制力が発生することから、リニアガイドレール上にフーチングを配置して、フーチングの橋軸直角方向への移動を拘束することとした。また、支承はすべてピン支承として面内方向の回転のみを許容している。なお、試験体の天端には上部工重量（支承を含む）として 14.4kN の軸力が作用している。荷重は、橋軸方向に対して変位制御により、引張側（正面）最外縁の鉄筋の降伏までを荷重速度 0.1mm/s、降伏後を 0.3mm/s として実施し、何れの試験体においても橋脚の終局状態まで単調荷重している。

計測項目は、スクリュージャッキにより負荷する荷重、橋脚と支承の間に設置しているロードセルにより計測される支点反力、荷重点および橋脚の水平変位量、桁の面内および面外方向変位量、主鉄筋および帯鉄筋の軸ひずみ、鋼箱桁のひずみである。本論文では、特に荷重、支点反力、荷重点および橋脚の水平変位量、図-1 に示されている橋脚基部から 50mm の位置における主鉄筋ひずみ 8 点（FA～FD、RA～RD）について考察を行うこととする。

3. 実験結果

3.1 最終破壊状況

図-3 には、実験終了後のひび割れ分布を示している。斜角 90° の場合には、正面（引張側）の高さ方向に 10cm 程度の間隔で水平ひび割れが発生している。背面（圧縮側）には、正面に見られるような水平ひび割れは生じていない。また、左右両側面のコンクリートの剥落状況から、基部より 0.5D～1.0D（D：壁厚）の位置には

塑性ヒンジが形成されていることより背面に向かって角折れたものと推察される。

斜角 60° の場合には、正面側表面に斜角 90° の場合と同様に高さ方向にほぼ等間隔の水平ひび割れが見られ、さらに、正面左側上方へ向かう斜めひび割れが発生している。これは、斜角を有していることにともない、橋脚の面内方向成分荷重が作用したことによるものと推察される。背面においても、背面左側上方に延びる顕著な斜めひび割れが認められる。正面および背面に生じている斜めひび割れ分布を比較すると、右側面を挟んでほぼ対称に分布していることがわかる。また、全周に亘って橋脚のコンクリートが剥落しており、その剥落領域は左側面から右側面に向かうに従って、1.5D から 2.0D へと拡大していることが確認できる。

3.2 橋脚水平変位分布

図-4 には、橋脚側面の水平変位分布を δ 毎に 1～6 δ まで示している。なお、何れの試験体についても、引張側最外縁における主鉄筋降伏時の荷重点変位量を 1 δ と定めている。

斜角 90° の場合には、一部若干の乱れはあるものの左右両側面における水平変位は大略一致している。また、3 δ 以降橋脚基部の塑性ヒンジ化が進行し、基部を中心として角折れして行く様子がわかる。

一方、斜角 60° については、斜角 90° と同様の傾向を示しているもののその変位量は小さい。また、 δ 毎に徐々に両試験体の橋脚天端変位量および橋脚基部の回転角が乖離して行く様子が確認できる。このことは、斜角 60° の場合には、斜角 90° のような基部の塑性ヒンジ化が形成され難いことを暗示している。

3.3 荷重荷重－水平変位関係

図-5 には、荷重荷重－荷重点水平変位関係を示している。斜角 90° の場合には、40kN 程度で降伏し荷重が

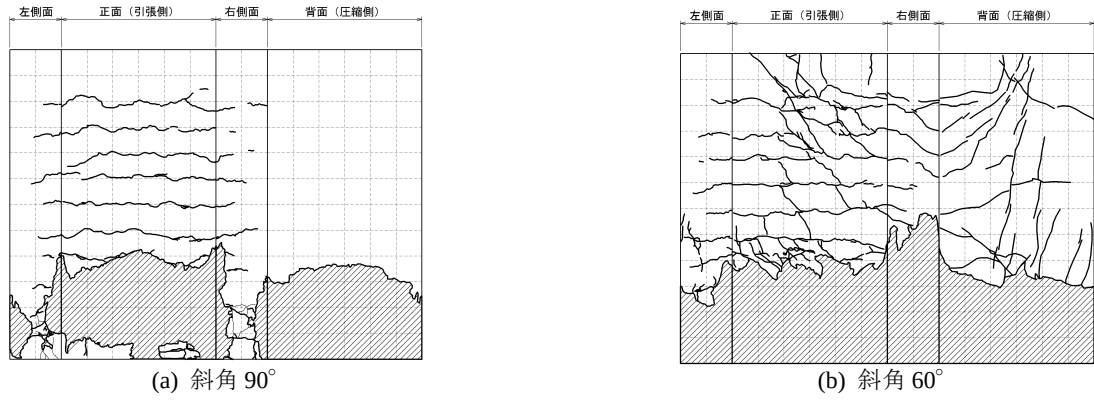


図-3 実験終了後のひび割れ分布

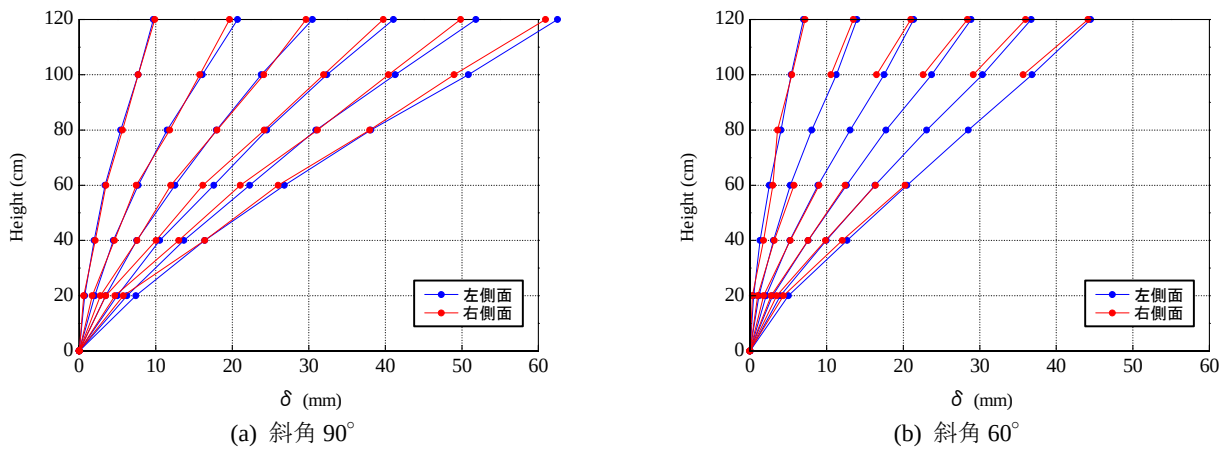


図-4 橋脚側面の水平変位分布

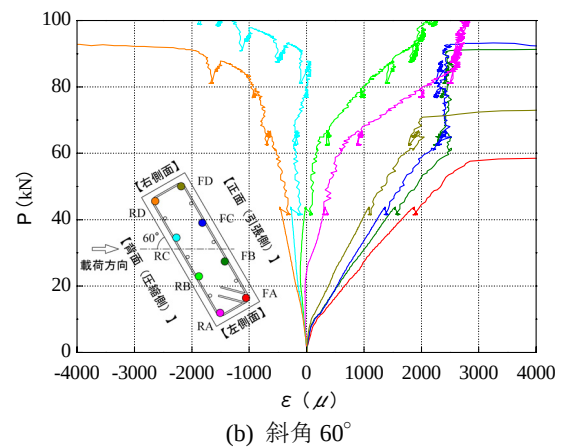
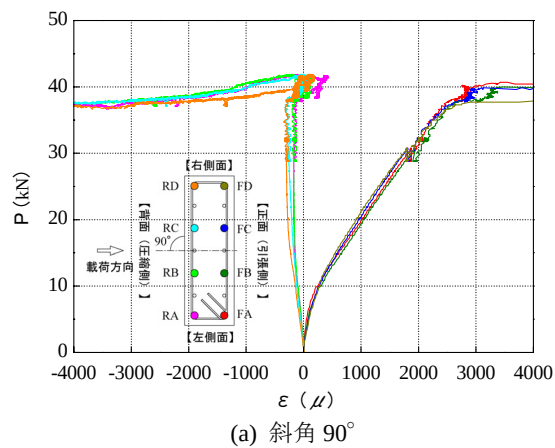
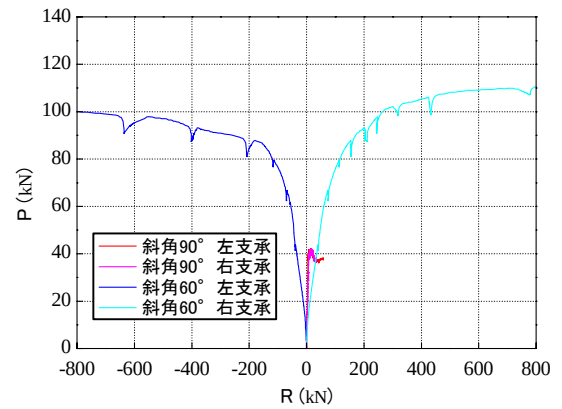
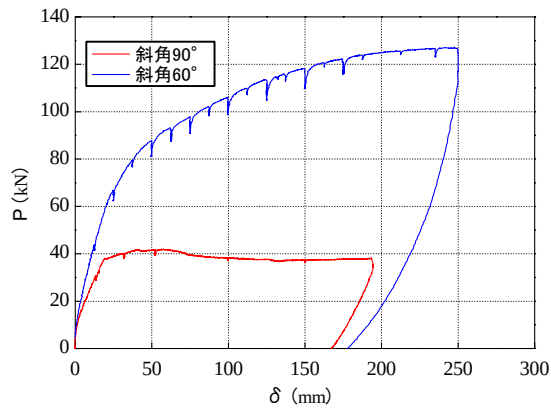


図-7 載荷荷重—ひずみ関係

横這いのまま推移して終局に至っている。一方、斜角 60° の場合は、斜角 90° と比較して初期勾配が大きくなるとともに最大荷重も3倍程度まで増加していることがわかる。これは、斜角であることにより面内方向（断面の橋軸回りの）剛性が橋脚の耐荷に大きく貢献していることを示唆している。

3.4 載荷荷重－支点反力関係

図-6 には、載荷荷重－支点反力関係を示している。

斜角 90° の場合には、左右の支点反力がほぼ一致して推移していることが確認できる。また、橋脚の降伏にともない支点部には引張力が発生し、終局時にはさらに上昇して 50kN 程度を示している。

一方、斜角 60° の場合には、橋脚の降伏にともない支点反力が発生しているものの、左支承には圧縮力、右支承には引張力が発生し、左右で正負の異なる支点反力を示している。また、橋脚部材の降伏の進行にともない、左右の反力が正負で対称に上昇していることがわかる。このような現象は、橋脚の変形にともなう橋脚天端面の回転を上部工が拘束することにより発生するものと考えられる。また、この正負異なる支点反力が壁式橋脚面内方向に作用することにより斜めひび割れが発生したものと推察される。

3.5 載荷荷重－軸ひずみ関係

図-7 には、橋脚基部から 50mm の位置における主鉄筋の載荷荷重－軸ひずみ関係を示している。

斜角 90° の場合には、正面（引張側）の主鉄筋（FA～FD）にはほぼ様な引張ひずみが発生していることがわかる。背面（圧縮側）の主鉄筋（RA～RD）についても同様に様な圧縮ひずみを示している。また、載荷初期の段階においては、正面と背面のひずみに対称性が確認できるが、正面の水平ひび割れの発生にともない引張側のひずみが増大することがわかる。以上のことから、斜角 90° の試験体は橋脚基部の曲げ破壊の性状を示しているものと推察される。

次に、斜角 60° の場合には、正面の主鉄筋（FA～FD）は斜角 90° の場合と同様に引張ひずみが発生しているものの、FA（左側面）からFD（右側面）に向かうに従ってひずみレベルが減少していくことを確認できる。また、背面左側面側のRAおよびRBにおいては、載荷荷重がある段階で圧縮ひずみから引張ひずみに移行している。しかしながら、載荷初期の段階においては、正面および背面のひずみはそれぞれ様な値を示している。以上のことから、橋脚部材の降伏の進行にともない左右で正負異なる支点反力が発生することにより、中立軸が壁式橋脚面内方向から橋軸直角方向に推移しているものと推察される。

4. まとめ

本研究では、上部工の拘束条件が斜角を有するRC壁式橋脚の静的耐荷性状に与える影響を適切に評価することを目的として、斜角の有無をパラメーターとするRC壁式橋脚に対して二径間連続桁橋模型による静的単調載

荷実験を実施した。本研究から得られた知見は以下の通りである。

- 1) 実験終了後のひび割れ分布より、i) 斜角を有する場合には、引張側および圧縮側に対称性のある斜めひび割れが発生しており、壁式橋脚の面内方向にはせん断的に荷重が作用したものと推察される。ii) 引張側については、斜角の有無に関わらず水平ひび割れが等間隔に発生する。iii) 斜角を有する場合には、橋脚基部に明瞭な塑性ヒンジが形成されない。
- 2) 橋脚側面の水平変位分布より、斜角を有する場合には、橋脚基部の塑性ヒンジ化が形成し難いことを暗示している。
- 3) 載荷荷重－水平変位関係より、斜角を有する場合には初期勾配が大きくなるとともに、最大荷重も大幅に増大する。
- 4) 載荷荷重－支点反力関係より、i) 斜角の有無に関わらず、橋脚部材の降伏の進行にともない支点反力が発生する。ii) このような現象は、橋脚天端面の回転を上部工が拘束することにより発生するものと考えられる。iii) 斜角を有する場合、左右の支承に正負異なる支点反力が発生する。この正負の異なる反力が橋脚に作用することにより、せん断的な斜めひび割れが発生したものと推察される。
- 5) 載荷荷重－軸ひずみ関係により、斜角を有する場合には、橋脚部材の降伏の進行にともない、中立軸が壁式橋脚面内方向から橋軸直角方向に推移しているものと推察される。

これらの現象から、斜角を有する橋脚は、面外方向の曲げ変形と面内方向のせん断変形を同時に受けるものと考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002。
- 2) 三好章仁，三田村浩，佐藤昌志，岸 徳光：衝撃的載荷重下の斜角を有するRC橋脚の挙動，土木学会北海道支部論文報告集，第55号，pp.8-11，1998。
- 3) 佐藤 京，今野久志，岡田慎哉，岸 徳光：斜角を有するRC壁式橋脚の静的挙動に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集，第59号，pp.186-189，2002。
- 4) 佐藤 京，今野久志，岡田慎哉，岸 徳光：斜角を有する壁式RC橋脚の静的単調載荷実験挙動，土木学会年次学術講演会論文集，第58回，pp.121-122，2003。
- 5) 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。