

インターロッキング式橋脚の繰り返し載荷実験

藤倉修一¹・川島一彦²・庄司学³・張建東⁴・武村浩志⁵

¹学生会員 東京工業大学大学院修士課程 理工学研究科土木工学専攻
(〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

²フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (同上)

³正会員 工修 東京工業大学助手 工学部土木工学科 (同上)

⁴正会員 工博 (株)ピーエス技術部 (〒170 東京都豊島区北大塚 1-13-17)

⁵正会員 工修 (株)ピーエス技術部 (同上)

1. まえがき

我が国では、平成7年兵庫県南部地震以降、横拘束を高めることの重要性が認識され平成8年道路橋示方書では、帯鉄筋量を増やすとともに、中間帯鉄筋の配置、定着方法の改良等、種々の対策がとられてきている¹⁾。

一方、米国やニュージーランドでは、矩形断面橋脚を建設する場合には、円形断面を少しずつ重ねたインターロッキング式橋脚が用いられている^{2) 3)}。インターロッキング式橋脚は円形帯鉄筋によりコンクリートを効果的に拘束するといった観点から生まれたコンクリート断面であり、我が国では、平成8年道路橋示方書においても紹介されているが、現在までにほとんど検討されていない。

そこで本研究は、インターロッキング式橋脚と中間帯鉄筋を有する壁式橋脚模型の正負交番載荷実験を行い、横拘束筋や主鉄筋の配置の違いが荷重～変位関係に及ぼす影響と破壊形態の違いについて比較検討した。さらに、平成8年道路橋示方書における地震時保有水平耐力法による解析結果と実験結果を比較した。

2. 実験供試体及び実験方法

本実験では、表-1、図-1に示す中間帯鉄筋を有する壁式橋脚（タイプB）とインターロッキング式橋脚（タイプC）を用いて、正負繰り返し載荷試験を行った。これらの供試体は、地震時保有水平耐力法により求められる曲げ耐力がほぼ同じとなるように設計したものである。なお、米国やニュージーランドにおけるインターロッキング式橋脚では帯鉄筋と

してスパイラル筋を用いているが、ここでは、スパイラル筋ではなく、円形の帯鉄筋を使用した。これは、横拘束筋としては同じ特性の鉄筋を用い、インターロッキングの効果だけを検討するためである。供試体の断面は900mm×400mmの小判型で、柱基部から天端までの全高は1185mm、柱基部から載荷点位置までの有効高さは1000mmであり、せん断支間比は2.5となる。いずれの試験体も、普通ポルトランドセメントを使用し、コンクリートの呼び強度は18MPa、スランプは15cmとし、最大粒径10mmの粗骨材を使用した。載荷試験日にテストピースを用いて行った圧縮強度試験結果によると、コンクリート強度はタイプBでは22.9MPa、タイプCでは22.7MPaであった。軸方向鉄筋にはSD295、直径10mmの異形棒鋼を、帯鉄筋には150mm間隔で配置したSD295、直径6mmの異形棒鋼を用いた。主鉄筋の引張試験を行った結果、降伏強度は379N/mm²、引張強度は528N/mm²、帯鉄筋では降伏強度は380N/mm²、引張強度は557N/mm²であった。

図-2に示すように、一定振幅変位漸増方式により、降伏変位の正数倍の変位振幅で、それぞれ3回の繰り返し回数の正負交番載荷を行った。載荷速度は0.02～0.2mm/sec（周波数0.001Hz）とし変位制御により載荷した。一般に、RC橋脚には上部構造の死荷重により5～20kgf/cm²程度の軸力が作用しているが、ここでは壁式橋脚ということを考えて5.2kgf/cm²

(0.51MPa)の軸力を作用させた。フーチングからの主鉄筋の伸びだし量を測定するために、橋脚基部から60mmの位置にL字型のプラスチックプレートを張り付け、この点とフーチング間の相対変位を測定した。

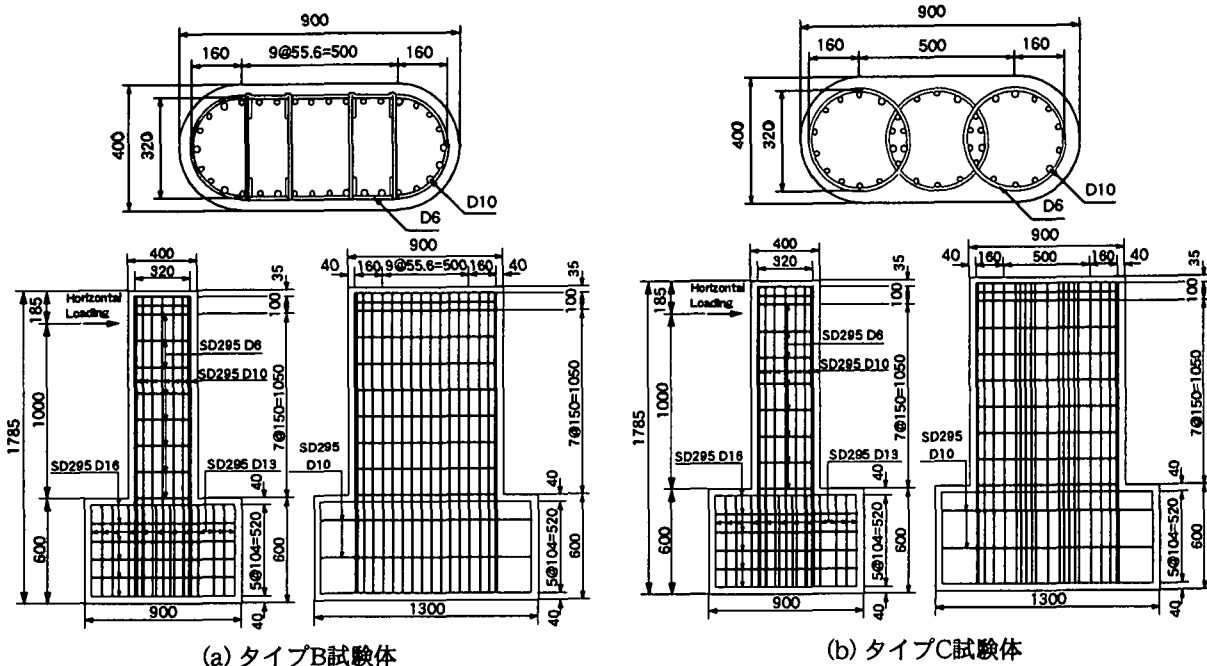


図-1 試験体の配筋

表-1 試験体の特徴

試験体	タイプB	タイプC
断面寸法 (mm)	400×900	400×900
断面形状	小判	小判
有効高さ (mm)	1000	1000
有効長 (mm)	167	250
帯鉄筋比 (%)	0.51	0.34
主鉄筋比 (%)	0.74	0.83

3. 破壊性状

タイプB、タイプCの代表的な荷重変位振幅における損傷状況をそれぞれ図-3、図-4に示す。これらは、試験体の展開図であり、メッシュは縦横ともに100mm間隔である。タイプB及びタイプCはともに橋脚基部で曲げ破壊した。いずれの試験体も、(1) ひび割れが、基部、基部からほぼ0.15m、0.30m、0.45mの位置（いずれも帯鉄筋の位置）に水平に発生し、これが増加したあと、(2) 橋脚基部においてかぶりコンクリートが剥落し、(3) 主鉄筋が面外方向に座屈して、最終的には終局状況に至った。6 δ_y 荷重中の引張側における橋脚基部から約0.15mの位置におけるひび割れ幅は、タイプB、タイプCではそれぞれ、1.5mm、3mm程度であり、タイプBの方がひび割れは密に入っている。また、9 δ_y 荷重後の損傷状況によれば、かぶりコンクリートの剥離は、タイプBでは基部から約0.30mの範囲まで及んでいるのに対

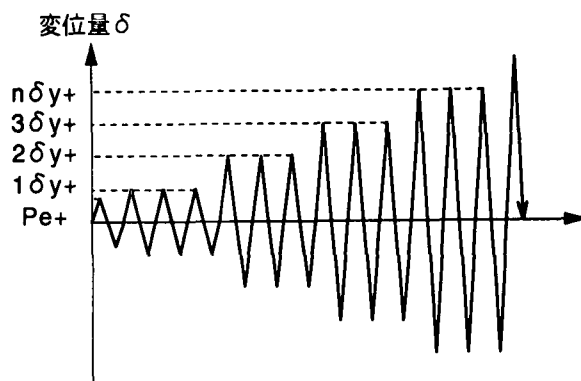


図-2 荷重履歴

して、タイプCでは基部から約0.15mまでの範囲であることが分かる。これらのことから、タイプCはタイプBに比べ、塑性ヒンジ区間長が短いことがわかる。

4. 耐力及び変形性能

繰り返し荷重実験により得られた橋脚天端における水平力と水平変位の履歴曲線を示すと、図-5のようになり、履歴曲線の包絡線の比較を図-6に示す。ここで、ドリフト比とは橋脚基部から荷重点までの高さに対する荷重点の水平変位の比である。タイプBの+面側（加振機を押した場合に圧縮側となる面）及び一面側、タイプCの-面側はともに190kN程度の耐力を保ち、最大耐力付近で安定した耐力が急に低下し始める変位はドリフト比にして3%程度である。タイプCの+面側は200kN程度の耐力を保ち、最大耐力付近で安定した耐力が急に低下し始める変

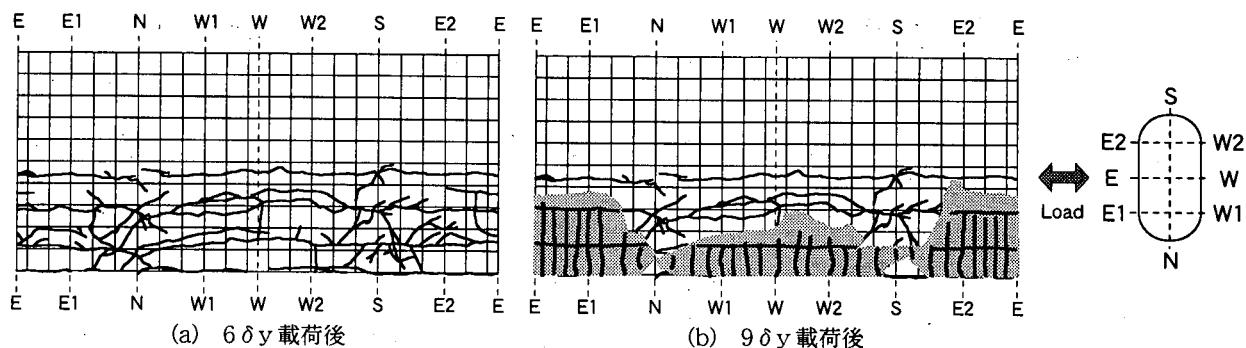


図-3 6 δy 及び9 δy 載荷後の損傷状況 (タイプB)

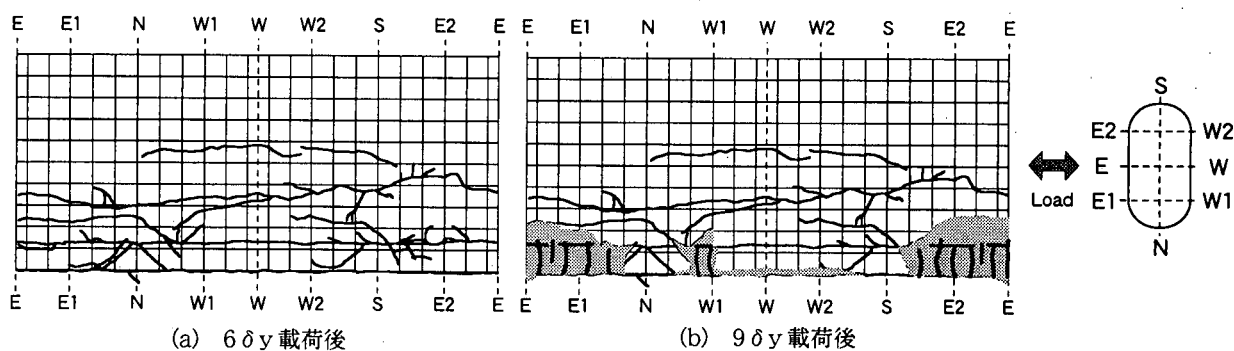


図-4 6 δy 及び9 δy 載荷後の損傷状況 (タイプC)

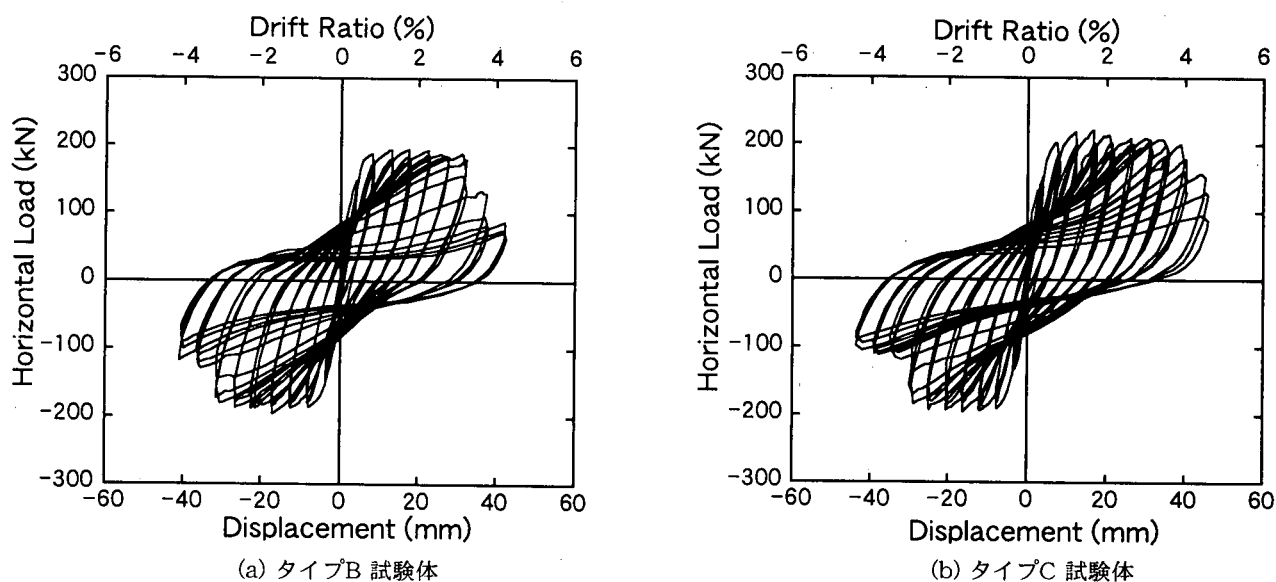


図-5 水平荷重-水平変位の履歴曲線

位はドリフト比にして4%程度である。これにより、タイプCの変形性能はタイプBに比べ、同等またはそれ以上であるということがいえる。

5. 解析値と実験値の履歴曲線の比較

平成8年道路橋示方書の地震時保有水平耐力法による水平耐力及び終局変位と実験結果を比較した結果が図-7ある。本解析では、コンクリートの圧縮縁のひずみが終局ひずみに達する時を終局時とし、帯鉄筋の拘束効果を考慮した星隈ら⁴⁾の応力-ひずみ関

係を用いた。ここで、断面補正係数はタイプBには矩形断面に対する $\alpha=0.2$ 、 $\beta=0.4$ 、タイプCには円形断面に対する $\alpha=1.0$ 、 $\beta=1.0$ を用いた。また、同一変位振幅の載荷繰り返し回数が3回であるため、タイプII地震動とみなして終局ひずみを求めたが、参考のため、タイプI地震動とみなした場合の結果も求めた。主鉄筋のフーチングからの伸びだしの影響を考慮するために、実験時に計測した伸びだしによる水平変位を、載荷位置の水平変位から差し引いた結果を図-7には示している。

タイプB及びタイプCの最大水平耐力に着目する

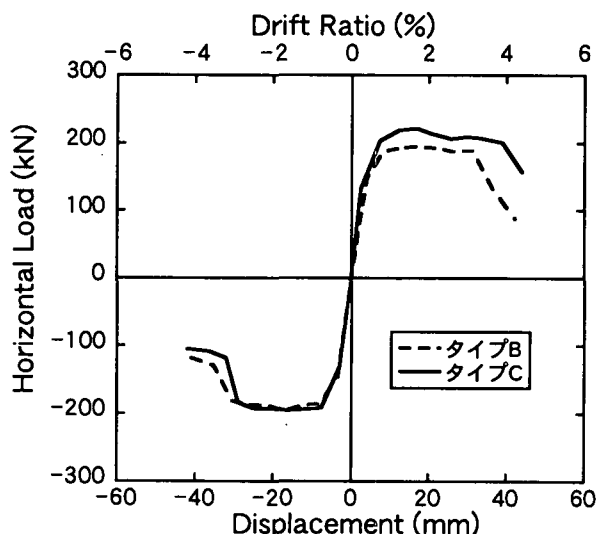


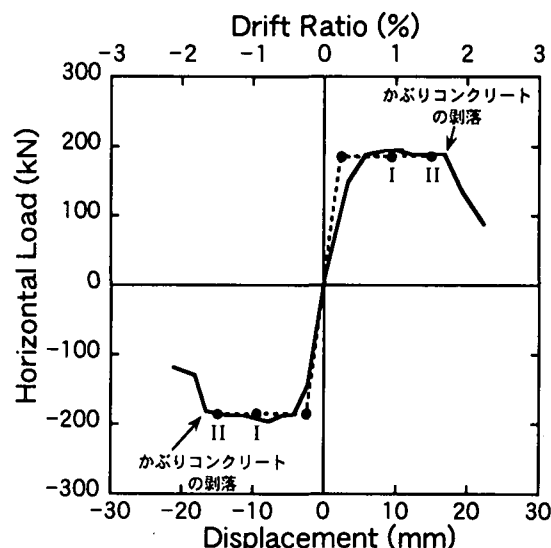
図-6 履歴曲線の包絡線の比較

と、計算値と概ね等しくなっている。繰返し回数が3回であったためにタイプIIの終局変位を見ると、タイプBでは、計算による終局変位は、かぶりコンクリートが剥落し水平耐力が低下し始める変位に相当する。タイプCについては、一面側では水平耐力が低下し始める変位と計算上の終局変位はほぼ等しいが、+面側では計算値より約36%大きい変位で耐力が低下し始めている。損傷状況からタイプBとタイプCとでは塑性ヒンジ区間に違いがあるが、ここでは、平成8年道路橋示方書に沿って計算しているために、タイプCとタイプBでは同じ塑性ヒンジ区間長(0.16m)を用いている点に注意する必要がある。

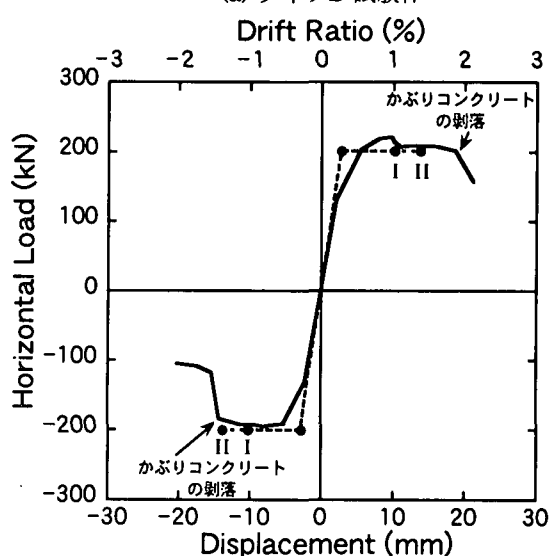
6. 結論

中間帯鉄筋を有する壁式橋脚とインターロッキング式橋脚の正負交番載荷試験を行い、平成8年道路橋示方書の地震時保有水平耐力法による解析結果と比較した。本研究結果をまとめると以下のようになる。

- (1) インターロッキング式橋脚では中間帯鉄筋を有する矩形橋脚に比較して塑性曲率は大きい、塑性ヒンジ区間長は短い。
- (2) 上記(1)のため、インターロッキング式橋脚では曲率の向上ほどには塑性回転能の増大は見られなかったが、インターロッキング式橋脚は中間帯鉄筋を有する矩形断面橋脚と、同等以上の変形性能を有している。
- (3) インターロッキング式橋脚と中間帯鉄筋を有する橋脚ともに水平耐力はほぼ同じであり、計算値と一致する。
- (4) 中間帯鉄筋を有する橋脚については、かぶりコン



(a) タイプB 試験体



(b) タイプC 試験体

図-7 履歴曲線の包絡線と解析結果の比較

クリートが剥落し水平耐力が低下し始める変位と計算による終局変位は概ね等しい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編、平成8年
- 2) Tanaka, H.: Effect of Lateral Confining Reinforcement on the Ductile Behaviour of Reinforced Concrete Columns, Research Report of Department of Civil Engineering, pp.208-324, University of Canterbury, Christchurch New Zealand, 1990.
- 3) Buckingham, G.C.: Seismic Performance of Bridge Columns with Interlocking Spiral Reinforcement, Washington State University, 1992.
- 4) Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A.W.: Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 5, pp.624-633, May, 1997.