

矩形断面鉄筋コンクリート橋脚の 塑性ヒンジ長に関する実験的研究

榊原泰造¹・川島一彦²・庄司学³

¹正会員 修(工) 大林組東北支店(〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字沖附地内)

²フェロー 工博 東京工業大学教授 土木工学科(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

³正会員 修(工) 東京工業大学助手 土木工学科(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形のメカニズムの解明を目的として、主鉄筋の径と降伏強度を変化させた鉄筋コンクリート橋脚供試体を4体製作し、準静的な正負繰返し載荷実験を行い、塑性ヒンジ長に及ぼすこれらの影響について実験的に検討を行った。この結果、鉄筋径は塑性ヒンジ長に影響を与えることが明らかとなった。

Key Words : plastic hinge length, seismic design, bridge, reinforced concrete bridge column

1. はじめに

橋脚の耐震設計において、慣性力の作用位置に生じる終局変位は、橋脚基部に生じる塑性ヒンジ区間の塑性回転から評価される。この場合には、塑性ヒンジ区間における塑性曲率と塑性ヒンジ長の両者を適切に設定することが重要である。塑性ヒンジ長は橋脚高さ、断面寸法、主鉄筋径、帯鉄筋間隔などによって変化するものと言われているが、これらを検討した研究は少ないのが現状である¹⁾。

本研究では、塑性ヒンジ長に影響を及ぼすと考えられる主鉄筋の径と降伏強度をパラメータとし、4体の曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚模型供試体に対して正負繰返し載荷実験を行い、主鉄筋の径および主鉄筋の降伏強度が塑性ヒンジ長に及ぼす影響について実験的に検討した。

2. 実験供試体および実験方法

本実験では、図-1に示すように主鉄筋の径と降伏強度が異なるRC橋脚供試体を4体製作した。主鉄筋径とその本数は、各供試体において主鉄筋比がほぼ1%になるように決定した。タイプB供試体はSD295AのD13を12本配筋したもので、本実験における基準供試体と考えた。タイプA供試体は、これよりも鉄筋径を小さくし、D10(SD295A)を24本配筋したもので、タイプC供試体はタイプB供試体よりも径を太

くし、D16(SD295A)を8本配筋したものである。タイプD供試体は、主鉄筋の降伏強度を上げるために、SD345を使用し、径と本数はタイプB供試体と同じとしたものである。ただし、引張試験を行ったところ、SD345の降伏強度は実際には381MPaで、SD295Aの降伏強度(355~367MPa)と大きな相違はなかった。このため、後述するように降伏強度を増加させたことによる影響は明確に現れてこなかった。

帯鉄筋は、すべての供試体に対してD6(SD295A)を50mm間隔で全高にわたって配置し、帯鉄筋比 ρ_s は0.77%とした。

実験は東京工業大学の耐震部材載荷装置を用いて、1.02MPaに相当する一定軸力を橋脚天端に作用させた状態で、変位制御により水平方向に載荷を行った。変位振幅は、橋脚の降伏変位 δ_y を基準とし、繰返し回数3回の一定振幅変位漸増方式により与えた。

3. 損傷状況と塑性曲率性状

各供試体の塑性ヒンジ長を検討するために、供試体の損傷状況、主鉄筋の軸ひずみ分布、帯鉄筋の周方向ひずみ分布、塑性曲率分布を図-2に示す。ここで、曲率は、橋脚の高さ方向に10cm間隔で測定した変位から求めたが、測定方法に問題があり、精度が検証できていない。このため、曲率に関しては単なる参考資料としてここに示しただけであることに注意していただきたい。ここでは、基準供試体のタイ

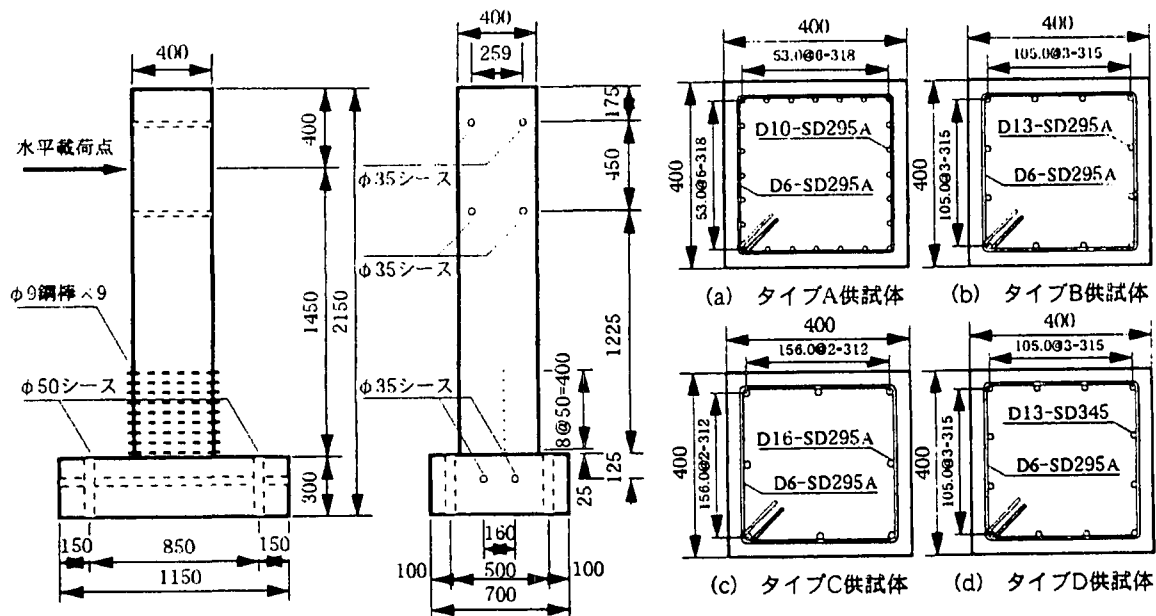


図-1 実験供試体

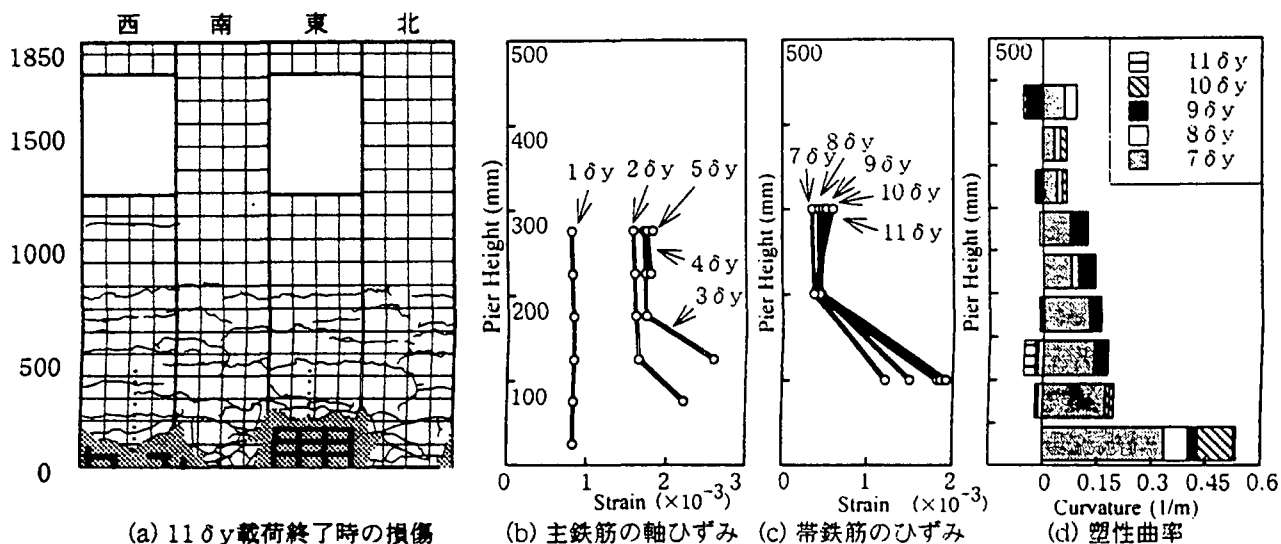


図-2 供試体の損傷状況 (タイプB供試体)

ブB供試体に対してのみ示す。損傷状況としては、主鉄筋が座屈して載荷を終了したとき (11 δ_y) の様子を示している。これによれば、主鉄筋および帯鉄筋は橋脚基部から100mmの位置では降伏し、200mmの位置では降伏していないことから、塑性ヒンジ化したのは、およそ150mm程度とみることができる。塑性曲率は橋脚基部になるにつれて大きくなっていくが、基部に近づくにつれて単調増加するわけではない。橋脚基部から50mmの範囲では、曲率が大きくなっているが、これには、主鉄筋のフーチングからの抜け出しの影響も入っている。また、上述した塑性ヒンジ区間と考えられる範囲でも、必ずしも塑性ひずみが一定となるわけではなく、この範囲でも曲率は変化している。

ここで、等価塑性ヒンジ長 $\tilde{L}_p$ を次式より求めることとする。

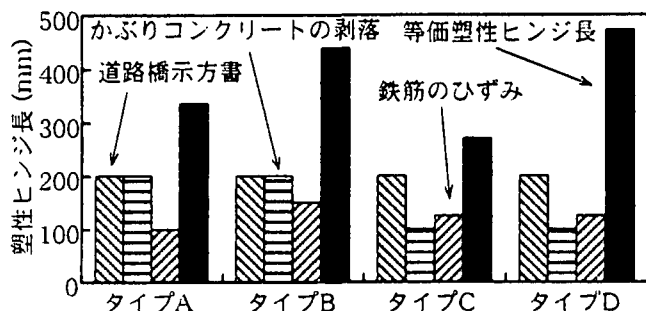
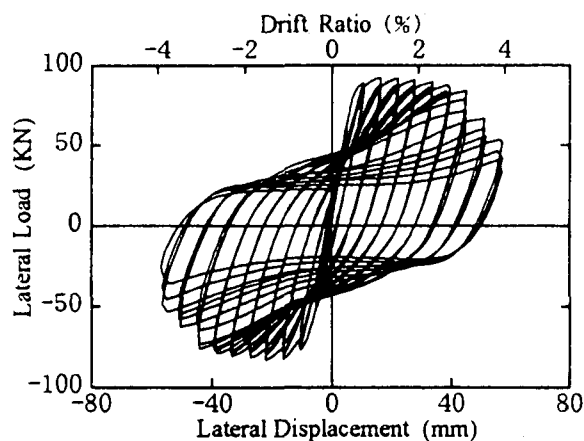


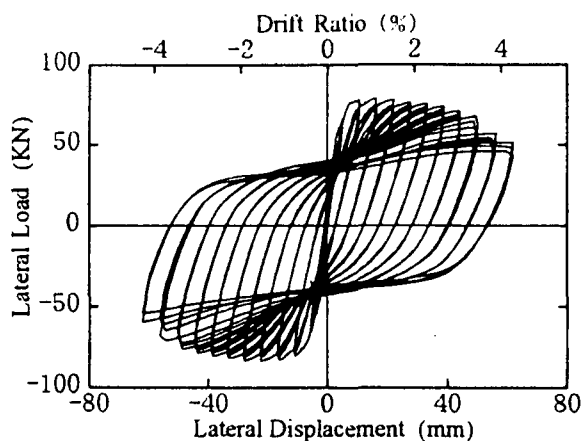
図-3 塑性ヒンジ長

$$\tilde{L}_p = \frac{1}{\tilde{\phi}_{pu}} \int_0^{L_p} \phi_{pu} \cdot dy \quad (1)$$

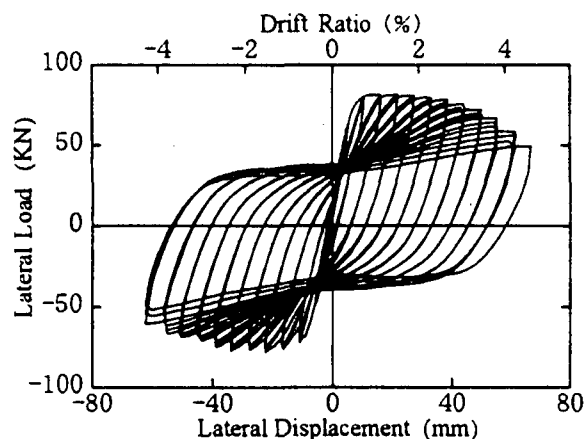
ここで、 ϕ_{pu} は実験で求めた塑性曲率、 $\tilde{\phi}_{pu}$ は道路橋示方書より求められる橋脚基部の塑性曲率²⁾、 L_p は実験で曲率を計測した範囲である。また、 ϕ_{pu} 、 $\tilde{\phi}_{pu}$



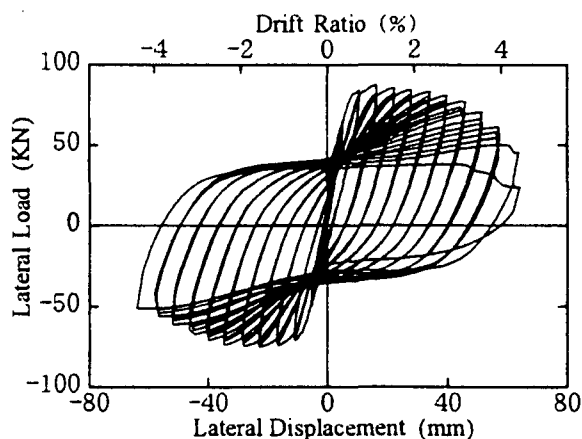
(a) タイプA供試体



(b) タイプB供試体



(c) タイプC供試体



(d) タイプD供試体

図-4 水平力～水平変位の履歴曲線

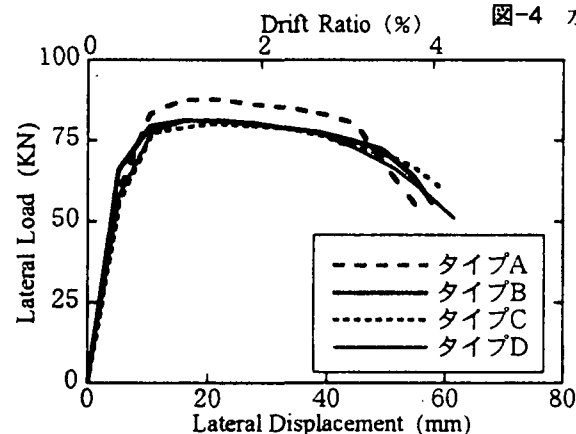


図-5 履歴曲線の包絡線の比較

は次式から求められる。

$$\begin{aligned}\phi_{pu} &= \phi_u - \phi_y \\ \tilde{\phi}_{pu} &= \tilde{\phi}_u - \tilde{\phi}_y\end{aligned}\quad (2)$$

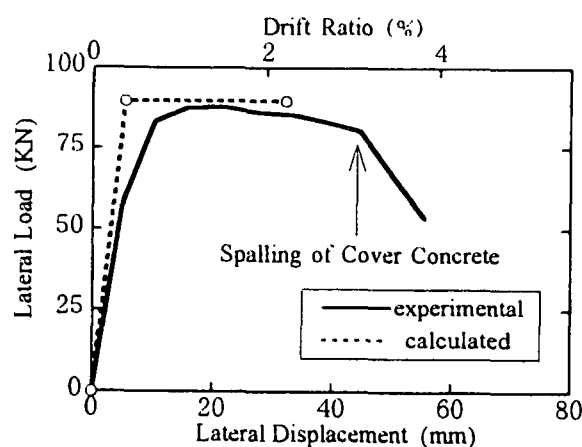
ここで、 ϕ_u 、 $\tilde{\phi}_u$ は計算および実験で求められる終局曲率、 ϕ_y 、 $\tilde{\phi}_y$ は計算および実験で求められる降伏曲率である。実験で求められた終局曲率とは、後述する図-6に示す解析によって求められた終局変位に相当する曲率である。ただし、橋脚基部から50mmの範囲における曲率には、フーチングからの主鉄筋の抜け出しの影響が含まれているため、この範囲の曲率は、直上の50mm～100mm区間で計測された曲率と同じであると仮定した。

以上より、道路橋示方書、主鉄筋および帯鉄筋の降伏ひずみ、かぶりコンクリートの剥落、式(1)で求

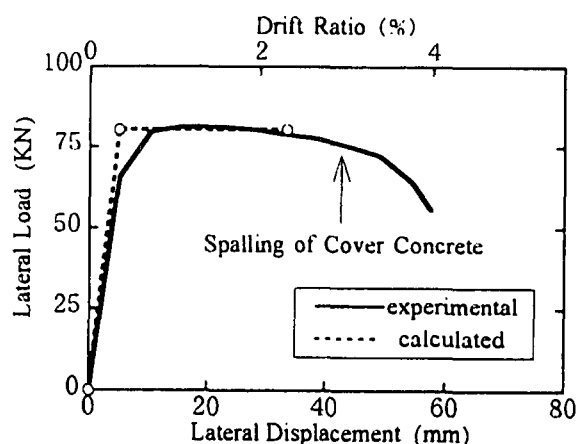
められる等価塑性ヒンジ長の各指標から推定した供試体の塑性ヒンジ長を図-3に示す。4つの方法で求めた塑性ヒンジ長にはかなり大きな違いが見られる。特に式(1)による等価塑性ヒンジ長が最も大きな値を与えるが、これについては前述したように曲率の測定精度に問題がある可能性があり、単なる参考資料として見ていただきたい。また、主鉄筋のひずみから推定した塑性ヒンジ長は全体として小さめに評価されている。このように各方法による塑性ヒンジ長にはバラツキがあるが、式(1)による等価塑性ヒンジ長を除外すると、タイプA～D間でそれ程大きく変化していない。基準供試体であるタイプB供試体と主鉄筋の降伏強度を上げたタイプDの等価塑性ヒンジ長がほぼ同じであるのは、前述したようにタイプB供試体とタイプD供試体では、主鉄筋の降伏強度に違いが見られないためであると考えられる。これに対して、タイプA～C間では主鉄筋の径と本数を変化させたが、今回検討した程度の径と本数の組み合わせでは塑性ヒンジ長にそれ程大きな違いを生じないと見ることができる。

4. 耐力及び変形性能の比較

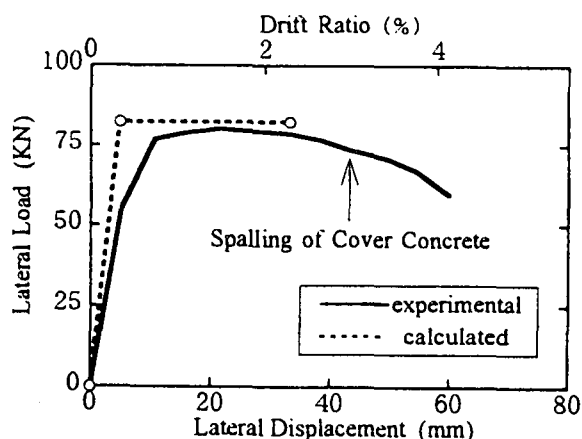
繰り返し載荷実験により得られた各供試体の載荷点位置における水平力～水平変位関係の履歴曲線を



(a) タイプA供試体



(b) タイプB供試体



(c) タイプC供試体

図-6 履歴曲線の包絡線と解析結果の比較

図-4に示す。また履歴曲線の包絡線を正側と負側で平均した結果を図-5に示す。図中のドリフト比とは、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。耐震設計上重要なドリフト比で3.5%以上の領域に着目すると、鉄筋径が細く、鉄筋本数を増やしたタイプA供試体では、他の供試体に比べて早い段階から耐力低下が始まる。反対に鉄筋径が太く、本数を減らしたタイプC供試体では、他の供試体に比較して耐力低下が生じにくい。主鉄筋の降伏強度を上げたタイプD供試体の耐力や変形性能はタイプB供試体とほとんど変わらない。これは、前述したように主鉄筋の降伏強度がほとんど変わらなかったことに起因する。

道路橋示方書²⁾に基づいて本実験供試体の水平荷重～水平変位の関係を求めると、図-6のようになる。ここでは、タイプD供試体については示していない。最大耐力については、各供試体とも解析結果と概ね一致している。道路橋示方書では、降伏耐力付近で安定していた耐力が低下し始める変位を終局変位と定義している。実験においても、降伏耐力付近から耐力が低下し始める変位に着目すれば、解析により

求められる終局変位とよく一致している。

5. 結論

主鉄筋径とその本数、および主鉄筋の降伏強度が塑性ヒンジ長に及ぼす影響を検討するため、4体の鉄筋コンクリート橋脚に対して正負繰り返し荷重実験を行った。本研究から得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 主鉄筋、帯鉄筋の降伏から塑性ヒンジ長を求めると、基準としたタイプB供試体に比較して鉄筋径を細くしたタイプA供試体では短く、鉄筋径を太くしたタイプC供試体ではやや長く求められる。
- 2) ドリフト比3.5%以上の領域においては、鉄筋径を太くしたタイプC供試体では、基準供試体に比較して耐力低下が生じにくく、反対に鉄筋径を細くしたタイプA供試体では、耐力低下が早く生じる。
- 3) 主鉄筋としてSD345を用いたタイプD供試体に対する検討を行ったが、結果的に主鉄筋の降伏強度がSD295Aを用いたタイプB供試体とほとんど同じであったため、主鉄筋の降伏強度を増加させることの影響はほとんど見られなかった。

謝辞：本実験供試体の製作、片づけにあたっては、(株)ピー・エスの野村貞広氏、森拓也氏、武村浩志氏、堀内達斗氏に大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 星限順一、運上茂樹、川島一彦、長屋和宏：荷重繰返し特性と塑性曲率分布に着目した曲げ破壊型鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能とその評価方法、構造工学論文集、土木学会、Vol.44A, pp.877-888, 1998.3.
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、1996.