

中空断面 RC 橋脚の変形性能に関する 実験的検討

田中 克直¹・家村 浩和²・高橋 良和³

¹正会員 工(修) 建設省 中部地方建設局 (〒511 三重県桑名市大字播磨字沢南 81)

²フェロー 工博 京都大学教授 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

³正会員 工(修) 京都大学助手 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

高橋脚には必要な剛性を合理的に確保することが必要であり、上部に空洞部を有する中空断面橋脚が採用されることが多い。本論文では、複雑な挙動を呈する中空断面 RC 橋脚の破壊に関して、その変形性能と耐荷力を検討するため、静的載荷実験を行っている。実験より、曲げ破壊を呈した供試体においてもウェブ部では斜めひび割れが生じており、中空断面によるせん断抵抗力の低下が確認された。実験より得られた結果を、中空断面構造によるせん断耐力及び変形性能への影響や、せん断スパン比などの相違による影響などに注目して検討するものである。

Key Words : Hollow Section, RC Pier, Static Experiment, Shear Failure

1. はじめに

高橋脚を設計する場合、橋脚の自重を軽減し、橋脚に作用する地震力を低減するため、中空断面が採用される場合が多い。中空断面では、曲げ剛性は合理的に確保できるものの、ウェブの薄さによりせん断抵抗力が著しく低下することも考えられる。それにもかかわらず、中空断面 RC 橋脚に関して変形性能やせん断耐力に着目した研究は従来あまり行われていないのが現状である。このような観点に基づき、本研究では、橋脚模型の載荷実験を行い中空断面 RC 橋脚の変形性能と耐荷力に関して検討したものである。

2. 実験概要

(1) 実験用供試体

本試験で用いた RC 柱部材は、図-1に示すとおりで断面寸法 32×32 (cm) で 15×15 (cm) の中空部を有するものを採用した。また中間補強筋を配したものも作成した。またせん断スパン長を 60cm, 120cm (せん断スパン比: 2.0, 4.0) の 2 通り設けた。供試体の主鉄筋には D10(SD295) 及び D13(SD295) を用い、せん断補強筋配置間隔は 100mm とした。コンクリートには早強ポルトランドセメントを用い、最大寸法 15mm の粗骨材を用いた。コンクリートの設計基準強度は 34MPa である。これら供試体種類を表-1に示す。

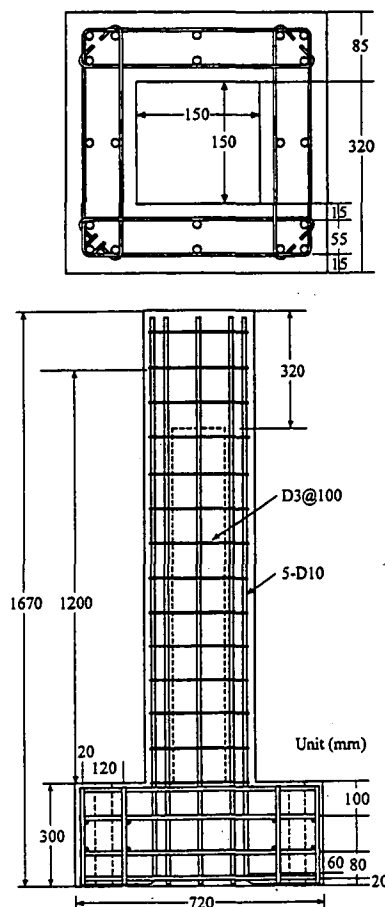


図-1 供試体概略図

(2) 載荷方法

荷重載荷方法は、水平方向は変位速度一定の変位制御方式を用いた。また本実験では荷重制御方式によつ

表-1 供試体諸量

供試体名	l/d	軸力 (MPa)	主鉄筋径	せん断補強筋比	中間補強筋
H4-1	4.0	0.0	D10	0.34	無
H4-2	4.0	3.7	D10	0.17	無
H4-3	4.0	3.7	D10	0.17	有
H2-1	2.0	3.7	D10	0.17	無
H2-2	2.0	3.7	D13	0.17	無
H2-3	2.0	3.7	D13	0.17	有

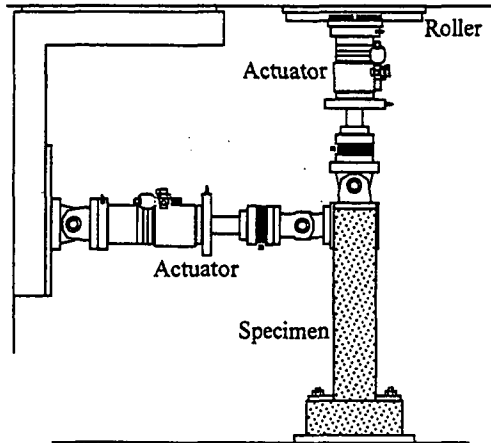


図-2 載荷方法概略図

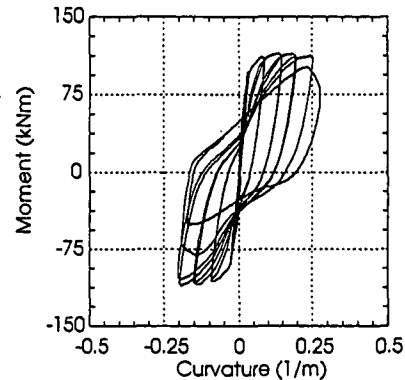
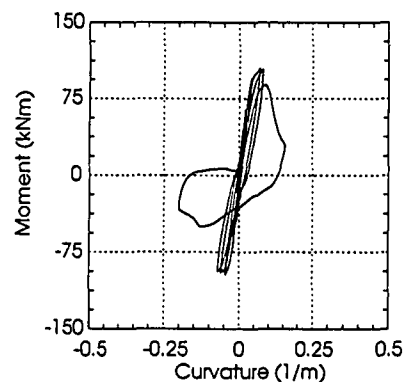
て 3.7 MPa の軸力を導入した。載荷モデル図を図 3 に示す。載荷波形は供試体長 $\times 1/100$ を変位増分とする 2 回くり返し変位漸増方式を採用している。

3. 実験結果及び考察

本実験ではせん断スパン 1200mm の供試体は曲げ破壊、せん断スパン 600mm の供試体はせん断引張破壊を呈したが、その破壊過程に相違が見られた。ここでは特にせん断スパン比の相違 (H4-2, H2-1) による変形性能及びせん断耐力への影響について考察する。

(1) 荷重-変位関係

モーメント-曲率曲線を図-3, 図-4 に示す。H2-1 では部材が最大耐力に達すると耐力が急激に減少し、脆性破壊を呈した。対して H4-2 では部材降伏後、その耐力をある程度保持した後に耐力が低下し始めた。これは H4-2 が変形性能に優れることを示すものであり、せん断スパン比の破壊形式に与える影響の大きさを物語るものである。しかしながら H4-2 においても耐力の減少が始まるとそれ以後耐力は急激に減少し、破壊に至っている。これは本供試体が中空断面であるためであり、ウェブ幅が薄い中空断面を採用する際には脆性破壊に対して十分な注意を要することを示している。なお本

図-3 $M - \phi$ 曲線 (H4-2)図-4 $M - \phi$ 曲線 (H2-1)

実験では、H4-2 の曲率 $-0.5(1/m)$ 以降負の曲率は変位計のストローク不足によって計測できなかった。また、本実験では中間補強筋を配した供試体を 2 体作成し静的載荷実験を行ったが終局変位の増大は期待したほど得られず、また、破壊形式など諸特性にも大きな差異は認められなかった。これは主鉄筋がスターラップの配置間隔のほぼ中央部において座屈しており、鉄筋の座屈に対して十分な拘束効果を発揮できなかったためである。このことよりせん断補強筋の配置間隔を検討するにはせん断補強筋比のみを検討するのではなく、その配置間隔についても十分配慮する必要があるといえる。

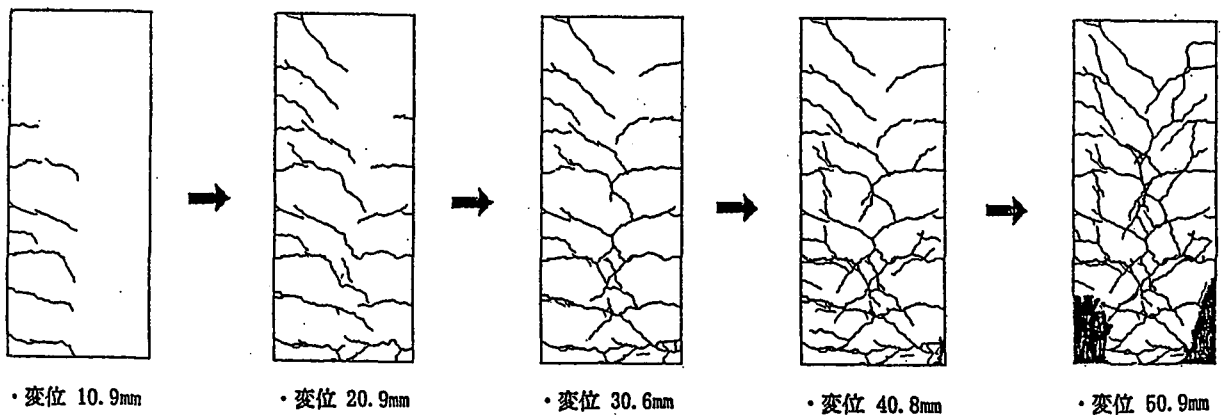


図-5 ひび割れ進行状況 (H4-2)

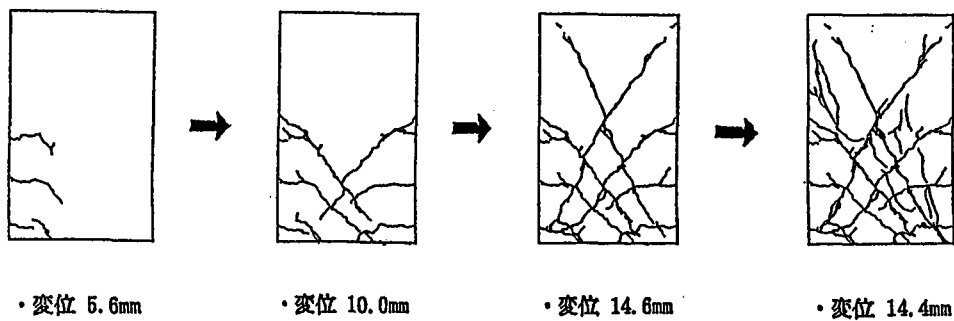


図-6 ひび割れ進行状況 (H2-1)

(2) 破壊性状

H4-2 と H2-1 のひび割れ進行状況をそれぞれ図-5、図-6に示す。これによれば H2-1 においては載荷初期からウェブ部分に斜めひび割れが生じており、せん断スパン比のひび割れ発生状況に与える影響の大きさがわかる。一方、H4-2 においては全体的に曲げひび割れが支配的であるものの、ウェブ部分に着目すれば斜めひび割れが生じていることがわかる。これは中空断面のウェブ幅が薄い部分に該当し、中空断面の場合は曲げが卓越するような部材でもせん断ひび割れが生じることを物語るものである。

(3) スターラップひずみ

図-7に変位のピーク時のスターラップのひずみを供試体高さ方向にプロットした。全体的な傾向として、せん断スパン比が小さいほど、作用せん断力が大きくなるため、同一変位に対するスターラップのひずみのかなり大きくなっている。H2-1 に比べて H4-2 のひずみがかなり小さく、H4-2 では曲げ変形が、H2-1 ではせん断変形が卓越していることを示している。スターラップの降伏ひずみは約 1450μ であり、H4-2 では耐力低下時の平均ひずみが約 1200μ であることから、降伏ひず

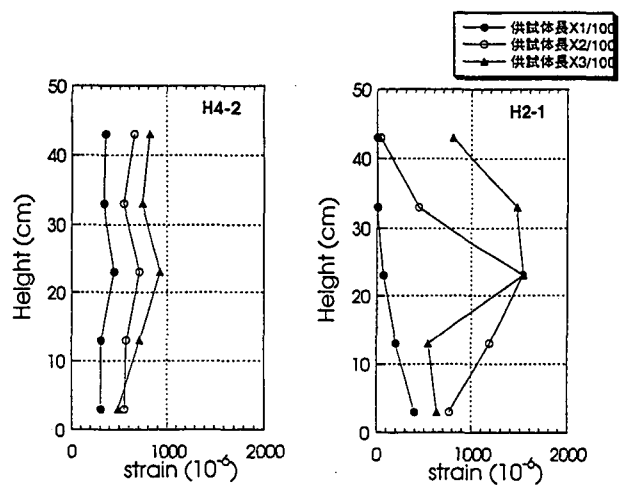


図-7 スターラップひずみ

みにも達しておらず、H4-2 においては曲げ破壊モードが卓越していることが分かる。

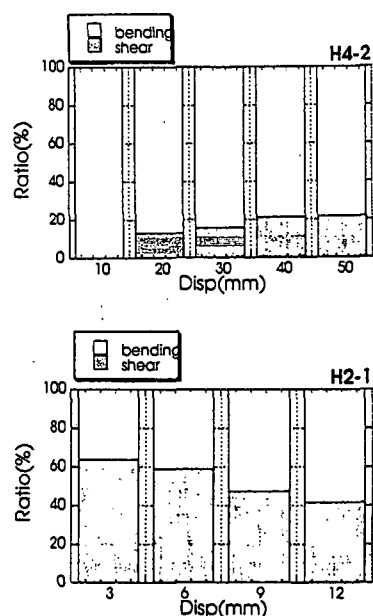


図-8 曲げ変形量とせん断変形量の比率

(4) 曲げ変形量とせん断変形量

図-8には、各供試体の頂部に占める曲げ変形量とせん断変形量の比率を百分率で示している。ここで言う曲げ変形量とは、実験により得られた供試体基部の曲率履歴から、各断面の曲率分布を求め、軸方向に積分することにより算出したものである。またせん断変形量は、全変位から曲げ変形量を差し引いたものとして簡便に定義した。同図より H2-1 の方がせん断変形の影響が大きいことが明白にうかがえる。例えば、耐力低下直前における全変形に対するせん断変形の比率を比較すると、H4-2 が 21% に対して H2-1 は 41% である。これらのことはスターラップのひずみ及びエネルギー吸収能の観点から見た考察を異なる角度から裏付けるものである。また図-8によれば H4-2 についてもその載荷サイクルが進むにつれてせん断変形率が増大しており、曲げ変形が卓越している部材においても繰り返し載荷によってせん断変形が無視できなくなることを示している。

4. RC 部材のせん断耐力についての考察

コンクリート標準示方書によれば設計せん断耐力は $V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ なる強度累加式で表される。ここで V_{cd} はコンクリートの設計せん断耐力を、 V_{sd} はせん断補強筋の設計せん断耐力を表している。同示方書によれば V_{cd} , V_{sd} の分担の関係は、ひび割れ発生後コンクリートの分担分は一定でその後の作用せん断力の増加分をスターラップ等のせん断補強筋が分担するとしている。しかしながら本実験では図-9に示すように、その値は安

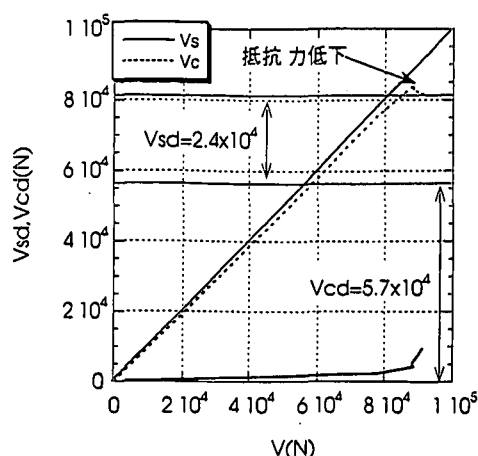


図-9 分担せん断力

全側を示しているものの、 V_c はひび割れ発生後減少しているものも確認された。これは正負交番くり返し荷重を受ける部材では最終的に V_c は示方書の値 V_{cd} を下回ることもあることを示している。特にウェブ幅の薄い中空断面部材の場合は、このことに対する配慮が重要であり、コンクリートの分担分の減少を考慮することが望ましいと思われる。なお、終局付近ではスターラップひずみの値が精度よく得られなかったため、図 13 では終局付近をプロットしていない。

5. まとめ

本研究では中空断面を採用して静的載荷実験を行った結果、せん断スパン比の相違が破壊性状や変形性能に与える影響の大きさが示された。さらに解析によれば、曲げ変形が卓越する部材でも繰り返し載荷によってせん断変形の割合が大きくなっており、繰り返し正負交番荷重を受ける場合はせん断変形を無視できないことがわかった。また斜めひび割れは中空部のウェブ部分に集中して発生しており、これは中空断面のウェブ幅の薄さの影響したものであり、中空断面のようにウェブ幅の薄い断面を採用する際には脆性破壊に対して十分な対策を講じておく必要がある。また、繰り返し正負交番載荷によりコンクリートのせん断抵抗力が低下し、コンクリート標準示方書の値を下回ることも考えられる。そのため、このことを考慮することが望ましいであろう。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，平成 8 年。
- 2) 江川典聰・家村浩和・井上晋：中空断面 RC 梁部材の耐震性に関する実験的研究，第 23 回地震工学研究発表会講演概要，pp.607 - 610，1995。