

中空円形断面を有する鉄筋コンクリート橋脚 の変形性能の及ぼす配筋方法の影響

運上茂樹

正会員 工博 建設省土木研究所耐震研究室(〒305 つくば市旭1番地)

山岳部の橋梁の橋脚など背の高い橋脚では、自重を軽減するために中空断面橋脚が採用される場合がある。このような中空断面橋脚では、大地震時にはコンクリートの損傷が断面の外側のみならず内側でも生じることから中実断面の橋脚とは変形特性が異なることが考えられる。本文は、円形中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚を対象に、模型橋脚を用いた正負交番繰り返し載荷実験を行い、その破壊特性や変形性能を検討するとともに、帯鉄筋の配筋方法が変形性能に及ぼす影響について検討した結果をまとめたものである。

Key Words : highway bridge, reinforced concrete column, circular hollow section, ductility characteristics

1. まえがき

山岳部の橋梁などでは、非常に背の高い橋脚を建設する場合もあるが、このような橋脚では自重を軽減し、橋脚基部における軸力を低減するために中空断面橋脚を用いる場合がある。中空断面橋脚については、大地震時の動的耐力や変形性能については十分に検討されておらず、橋脚に損傷が進展した場合には断面の外側のみならず内側でもコンクリートが剥離し、もろい破壊に至りやすいことが考えられる。

本研究では、円形中空断面を有する鉄筋コンクリート橋脚を対象に、模型橋脚を用いた正負交番繰り返し載荷実験を行い、その破壊特性や変形性能を検討するとともに、帯鉄筋の配筋方法が変形性能に及ぼす影響を検討した結果をまとめたものである。

2. 正負交番繰り返し載荷実験

(1) 模型供試体

実験では、模型橋脚を実橋脚の約1/6程度とし、図-1に示すように載荷高さを3m、断面としては、外径75cm、内径45cm、壁厚さ15cmの中空円形断面とした。せん断支間比は4である。高橋脚の場合には、さらに大きなせん断支間比にする必要があるが、実験上重要となる壁厚さを十分に確保する必要があること、また載荷実験装置の制約から模型橋脚のせ

ん断支間比は4とした。

軸方向鉄筋としては、図-2に示すように中空断面の外側にD16を40本、内側にD16を20本配筋した。軸方向鉄筋比としては4.2%となる。帯鉄筋としては、断面の外側、内側それぞれD10を10cmピッチで配筋した。帯鉄筋比は0.95%である。なお、帯鉄筋の定着には重ね継手を用いたが、端部には半円形のフックを設けて軸方向鉄筋を取り囲むように定着した。

実験のパラメータは、中間帯鉄筋の配筋方法とした。図-3は、中間帯鉄筋の配筋方法を示したものである。ケース1は中間帯鉄筋がない場合、ケース2は中間帯鉄筋として1断面あたりD6を10本配筋した場合、ケース3は中間帯鉄筋として1断面あたりD6を20本配筋した場合である。帯鉄筋の体積比としては、それぞれ、1.78%、2.12%、及び2.46%となる。なお、中間帯鉄筋の両端は半円形のフックを設け、軸方向鉄筋を取り囲むように定着した。鉄筋の引張試験の結果、D16、D10及びD6の降伏強度は、それぞれ、3,817kgf/cm²、3,419kgf/cm²、3,782kgf/cm²であった。

コンクリートとしては、設計基準強度を270kgf/cm²、粗骨材の最大寸法を20mmとした。載荷試験当日の圧縮強度は、供試体ケース1～3に対して、それぞれ、259kgf/cm²、280kgf/cm²、323kgf/cm²である。中空部については、厚紙で型枠を作り、コンクリート硬化後、これを撤去した。

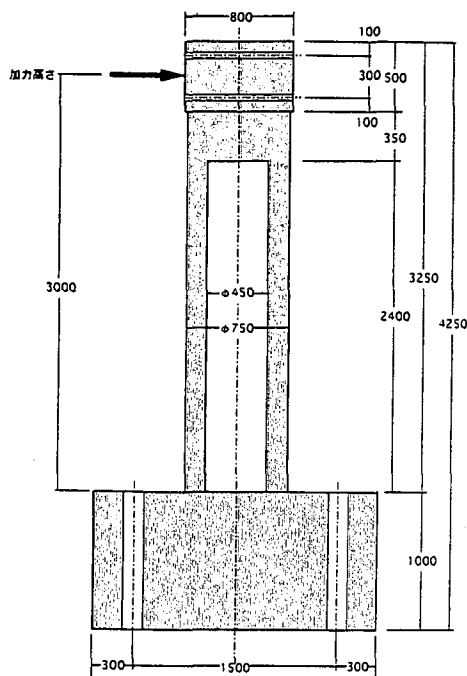


図-1 模型橋脚の側面図

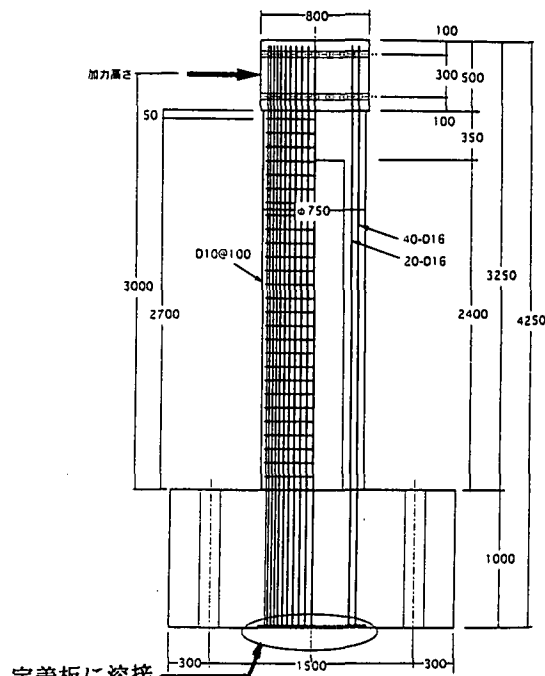
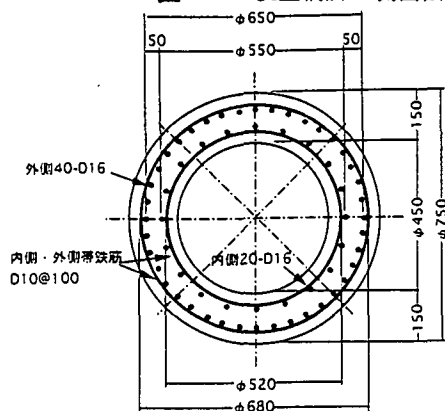
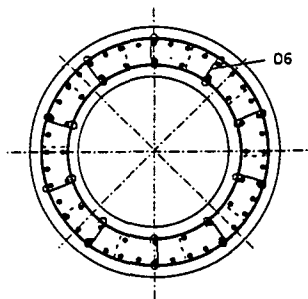


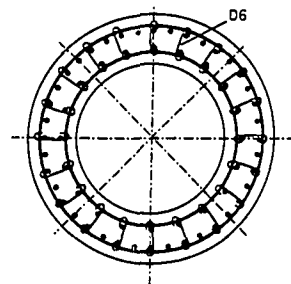
図-2 模型橋脚の配筋図



(1)ケース1



(2)ケース2



(3)ケース3

図-3 実験パラメータ（中間帯鉄筋の配筋方法）

(2) 載荷実験方法

実験では、図-4に示すように鉛直ジャッキにより軸力を作用させた状態で水平ジャッキにより正負交番載荷を行った。軸力としては、中空断面の場合には一般的な中実断面よりも大きくなることから56.5tf（軸圧縮応力度としては 20kgf/cm^2 ）を作用させた。載荷方法としては、降伏変位を基準としてこれの正数倍で変位を漸増させながら載荷した。各載荷変位での繰返し回数は3回とした。載荷基準変位は、次式のように定めた。

$$\delta_0 = \phi_{yu} \cdot L^2 / 3 \quad (1)$$

$$\phi_{yu} = (M_u / M_{y0}) \phi_{y0} \quad (2)$$

$$\phi_{y0} = 3 \delta_{y0} / L^2 \quad (3)$$

ここで、

δ_0 : 実験に用いる載荷基準変位

ϕ_{yu} : 終局時の曲率

M_u : 断面の終局モーメント

M_{y0} : 最外縁鉄筋が降伏するときのモーメント（初降伏時のモーメント）

ント（初降伏時のモーメント）

ϕ_{y0} : 最外縁鉄筋が降伏するときの曲率

δ_{y0} : 最外縁鉄筋が降伏するときの変位

L : 載荷高さ

予備載荷実験により最外縁の軸方向鉄筋が降伏する際の δ_{y0} 、 M_{y0} （水平耐力 P_{y0} から算出）を計測し、これと計算により求めた終局曲げモーメント M_u から、式(1)～(3)により載荷基準変位を定めた。ここで、このように載荷基準変位を求めたのは、橋脚の荷重～変位関係を完全弾塑性型にモデル化した場合には、最外縁の鉄筋が降伏した場合を降伏変位とするのではなく、これよりもさらに降伏変位が大きくなることを考慮したものである。このようにすると、載荷基準変位はケース1～3の供試体に対して、それぞれ、2.63cm、2.55cm、2.62cmとなる。

実験では、損傷状況を調査するとともに、荷重～変位の関係を計測した。なお、中空断面の内部についても小型テレビカメラで損傷状況を調査した。

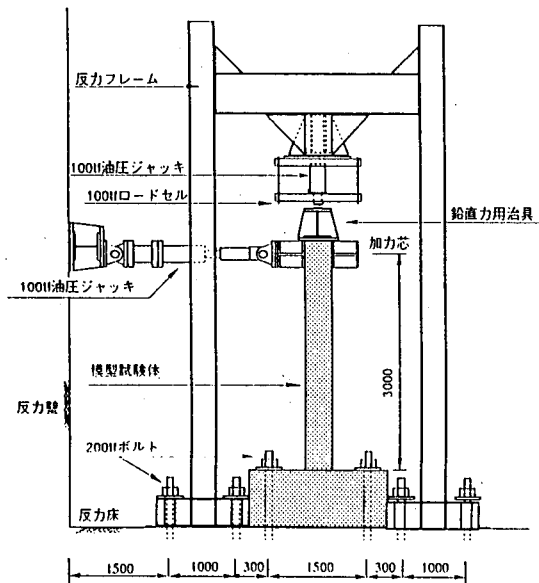


図-4 荷重実験方法

3. 実験結果

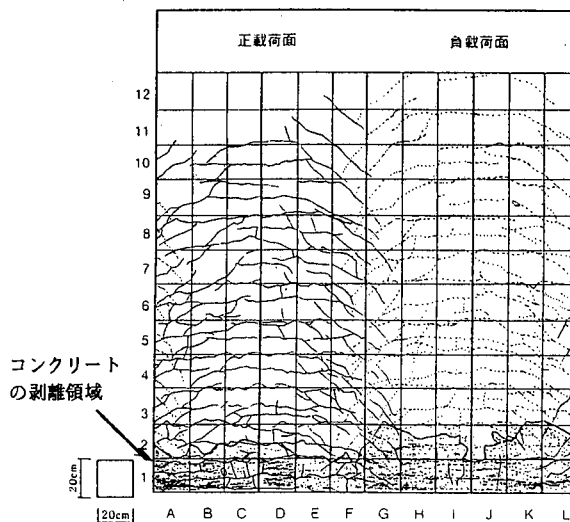
(1) 損傷モード

図-5は、最終荷重段階における各供試体の損傷状況を示したものである。中間帯鉄筋のないケース1の供試体では、3 δ 0荷重で、荷重方向に直角方向の面で水平ひびわれが、荷重方向と平行な面で斜めひびわれが進展した。4 δ 0荷重で、荷重方向の最外縁の軸方向鉄筋が座屈し出し、かぶりコンクリートが剥離し始めた。荷重の進展とともに主鉄筋の座屈、コンクリートの剥離が進展し、3波目の荷重で耐力が急激に低下して最終状態となった。損傷の特徴としては、かぶりコンクリートの剥離が始まると急激に損傷が進展し、耐力が低下することがあげられる。

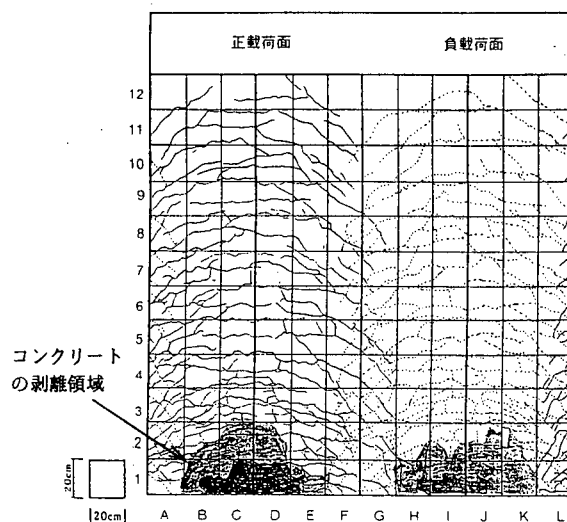
中間帯鉄筋を10本配置したケース2では、3 δ 0荷重では水平ひびわれ、斜めひびわれが進展、わずかにコンクリートが剥離した。4 δ 0荷重ではひびわれとコンクリートの剥離がわずかつづ進展した。5 δ 0荷重ではコンクリートの剥離が進展し、軸方向鉄筋の座屈が確認されたが、耐力の低下は小さい。6 δ 0荷重では1波目の荷重で軸方向鉄筋が座屈するとともに、コンクリートの剥離が顕著になり、耐力が低下して最終状態となった。ケース1に比較して、コンクリートの剥離、軸方向鉄筋の顕著な座屈が1 δ 0荷重分遅れる。ただし、コンクリートの剥離がある程度以上進展すると、軸方向鉄筋の座屈が進展し、耐力が急激に低下する。

中間帯鉄筋を20本配置したケース3では、5 δ 0荷重まではケース2と同様である。6 δ 0荷重では1波目の荷重で軸方向鉄筋が3本破断し、徐々に耐力が低下した。さらに、コンクリートの剥離、軸方向鉄

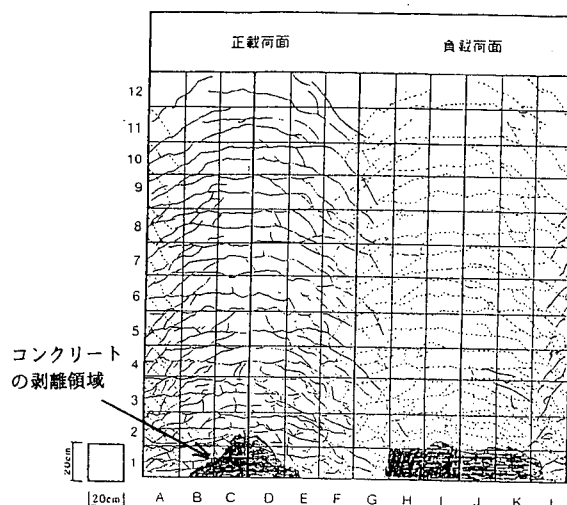
筋の座屈が進展し、3波目で耐力が低下して最終状態となった。ケース2とほぼ同様の破壊性状であるが、6 δ 0荷重での耐力の低下度合いが少ないこと、最終的に軸方向鉄筋の破断が先行して最終状態となった点が異なっている。



(1) ケース 1



(2) ケース 2



(3) ケース 3

図-5 各供試体の最終破壊性状

ここで、上記3供試体ともに、図-5に示したように載荷方向と平行な面に顕著な斜めひびわれが生じている。これは、中空断面の場合にはコンクリート断面積が少ないことからせん断が厳しい条件となっているためである。

なお、中実断面の場合については実験を行っていないが、ケース3の最終状態が軸方向鉄筋の破断で決まっていることから、配筋が同様であれば、これとほぼ同様の破壊性状を示すことが予想される。

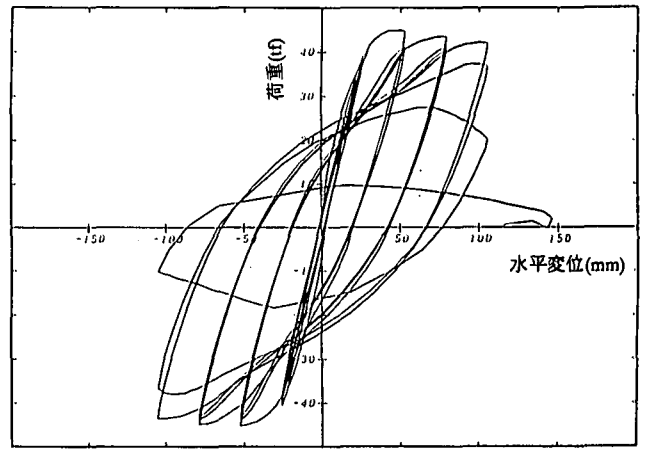
(2) 耐力・変形性能

図-6は、各供試体の荷重～変位の履歴曲線を示したものである。履歴曲線が安定してエネルギー吸収を図り、水平耐力が維持される終局変位は、それぞれの供試体に対して、 $4\delta_0$ 、 $5\delta_0$ 、 $6\delta_0$ 程度となり、中間帯鉄筋の配筋を密にし、コンクリートを拘束することにより、コンクリートの損傷を遅らせ、結果として変形性能を向上させることが可能になることがわかる。

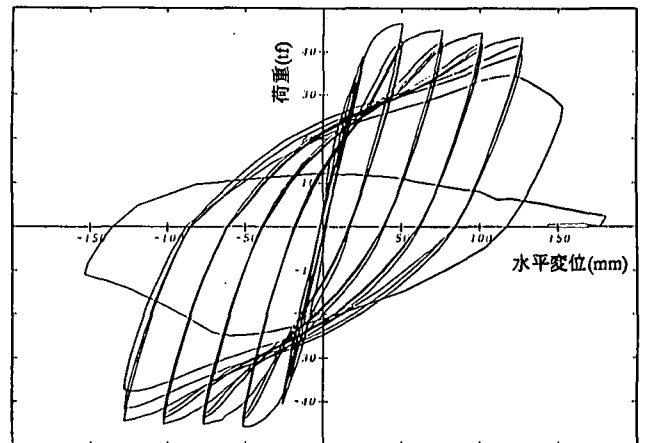
4. まとめ

本実験検討結果をまとめると以下の通りである。

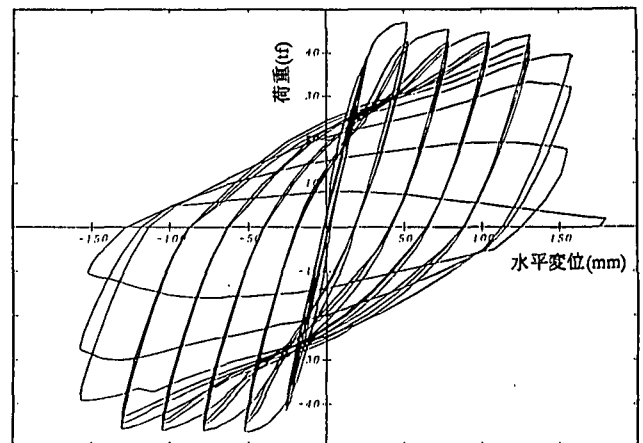
- (1)破壊モードとしては、かぶりコンクリートの剥離が顕著になると、コンクリートの剥離が内外で生じ、急激に損傷が進展する。今回対象とした実験供試体では、 $4\sim 6\delta_0$ 載荷で耐力が急激に低下した。中空断面に対しても、コンクリートの剥離が生じない段階まではじん性を期待することが可能である。なお、せん断ひびわれが多く発生しており、中空断面ではコンクリートの断面積が少ない分、せん断耐力に留意する必要がある。
- (2)中空断面橋脚の終局状態としては、コンクリートの損傷で決まる場合と、軸方向の鉄筋の破断で決まる場合がある。
- (3)コンクリートの壁を拘束するように中間帯鉄筋を入れると、損傷モードとしては、コンクリートの破壊から軸方向鉄筋の破断が生じるモードに移行させることができ、これによってじん性を向上させることができる。ただし、軸方向鉄筋が破断するようになると配筋量を多くしても効果は限定される。



(1)ケース 1



(2)ケース 2



(3)ケース 3

図-6 荷重～変位の履歴曲線

参考文献

- 1)川島、長谷川、長島、小山、吉田：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法に関する研究、土木研究所報告第190号、平成5年9月
- 2)池田、山口、恵谷：コンクリート円環柱の耐荷挙動に関する研究、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986