中空断面橋脚の耐震性能について

東日本旅客鉄道㈱東北工事事務所　正会員　○鈴木　賢次郎

1. はじめに

鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計では、兵庫県南部地震レベルの大規模地震動に対して構造物の崩壊や大きな損傷が生じないよう設計をしている。しかし、中空断面橋脚においてはその耐震性能が明らかにされていない。また、建設年の古い橋脚等は十分な中間帯鉄筋が配置されていることが少なく、さらに河川内の橋脚の場合は偏平な断面となっていることが多い。既往の研究では、このように中間帯鉄筋のない偏平断面の橋脚を対象とした実験的研究がおこなわれていない。そこで、実橋の断面形状をモデルに中空断面橋脚の試験体を作成し、帯鉄筋量をパラメーターとした正負交番繰返し載荷試験を実施した。

本稿では、中空断面橋脚の損傷の特徴について、実験より得られた知見をまとめたので報告する。

2. 実験概要

⑴ 試験体概要

試験体の断面形状を図-1 に、試験体緒元を表-1 に示す。断面形状は、実橋の中空断面橋脚をモデルとしてその辺長比を約 1:2.3 とした。帯鉄筋量をパラメーターとしていることから、図-2 に示す中空部分の帯鉄筋のピッチを変化させて試験をおこなった。

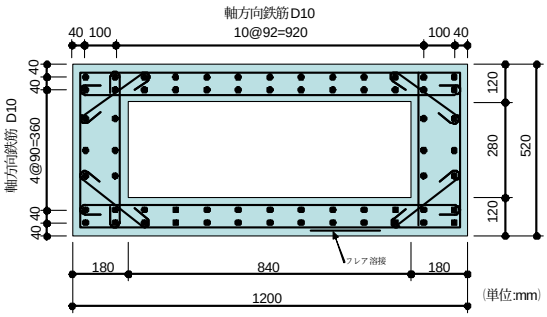

図-1　試験体断面図

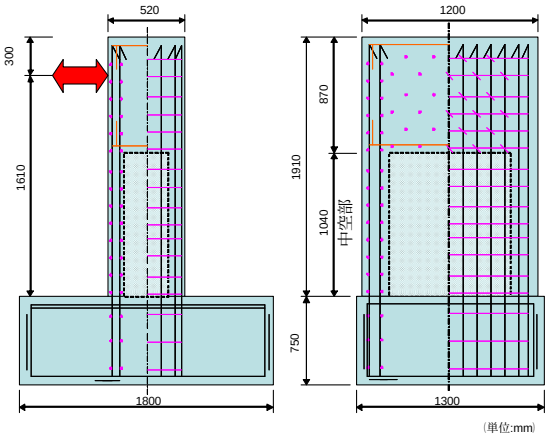

図-2　試験体側面図・正面図

表-1　試験体緒元

試験体		No.1	No.2
軸方向鉄筋	規格、径	SD345　D10	
	鉄筋比(%)	1.17	
	降伏強度(N/mm^2)	373.04	
帯鉄筋	規格、径	SD295　D6	
	ピッチ(mm)	60	420
	鉄筋比(%)	0.59	0.08
	降伏強度(N/mm^2)	353.36	
モルタル	圧縮強度(N/mm^2)	31.0	36.5
軸力：N　(kN)		468.0	
曲げ耐力：M_u　(kN・m)		496.5	504.9
せん断力（ウェブのみ）：V_y　(kN)		520.0	274.9
曲げせん断耐力比：V_y/V_{mu}		1.69	0.88

(2)載荷方法

載荷は、軸力を一定とした静的正負交番載荷でおこない、載荷位置はフーチング天端から 1.61m とした。軸力はコンクリートの圧縮応力度が約 1.2N/mm^2 となるように一定軸力を作用させた。交番載荷方法は、最外縁の軸方向鉄筋が材料の試験結果から定まる降伏ひずみに達した時の変位を降伏変位（δ_y）とし、1δ_yまでは荷重制御とした。2δ_y以降は降伏変位（δ_y）の整数倍を正負各 1 サイクルずつ変位制御にて載荷し、10δ_y 以降の大変形領域では降伏変位（δ_y）の偶数倍を正負各 1 サイクルずつ変位制御にて載荷した。

⑶ 計測

計測項目は、ストレインゲージによるフランジ部軸方向鉄筋のひずみ、ウエブ部帯鉄筋のひずみ、および載荷位置での水平変位、水平載荷荷重とした。

3. 実験結果

⑴ 荷重-変位関係

荷重-変位曲線の包絡線を図-3 に示す。いずれの試験結果も、2δ_yでほぼ最大荷重に達しているが、その後の変形性能は異なる。帯鉄筋比の大きい試験体 No.1 では 14δ_yまで最大荷重を維持し、荷重低下領域となっても急激な荷重低下は見られず緩やかに荷重が低下していった。ここで、荷重-変位曲線の包絡線が降伏荷重を下回らない最大変位を終局変位と定義すると、終局変位は 18δ_y付近となり非常に高い変形性能を有していることが分かる。

キーワード：耐震補強工法
連絡先：〒980-8580 宮城県仙台市青葉区五橋 1-1-1　TEL：022-266-3713　FAX：022-268-6489

これに対し帯鉄筋比の小さい試験体 No.2 では 6δy まで最大荷重を維持し、7δy の載荷終了間際で荷重が低下し、その後の 8δy の載荷途中で鉛直荷重を保持できなくなり急激に荷重が低下して実験を終了した。

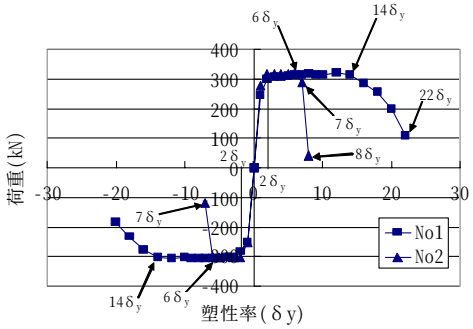

図-3 包絡線

⑵ 損傷状況

写真-1 損傷状況（No.1）

写真-2 損傷状況（No.2）

① 試験体 No.1 の実験終了後の破壊状況を写真-1 に示す。損傷は、躯体の基部に集中し、中間帯鉄筋を配置していないためフランジ部の帯鉄筋が大きくはらみだしている。このため軸方向鉄筋が座屈し、フランジ内のコンクリートが細かく破壊されているのが分かる。

以上より、曲げせん断耐力比の大きい中空断面部材が繰返し作用を受けた場合、フランジ部の軸方向鉄筋が座屈するとともに、フランジ部の損傷により荷重が低下し曲げ破壊に至ることが分かった。

② 試験体 No.2 の実験終了後の破壊状況を写真-2 に示す。ウエブ部に発生した中空部を横切る斜めひび割れが、フランジ部を押し抜くような状況で貫通している。

以上より、曲げせん断耐力比の小さい中空断面部材が繰返し作用を受けた場合、ウエブ部に卓越した斜めひび割れが発生し、フランジ部を押し抜くとともに急激に荷重が低下しせん断破壊に至ることが分かった。

⑶ 鉄筋ひずみ

① 軸方向鉄筋のひずみは、フランジ部に配筋した軸方向鉄筋にストレインゲージを設置し計測した。ここでは、軸方向鉄筋のひずみ測定結果のうち、試験体 No.1 の A1 鉄筋の荷重-ひずみ関係を代表して図-4 に示す。材料の試験結果から軸方向鉄筋の降伏ひずみは 2018μ であり、いずれの試験体も 2δy までに引張縁の全ての軸方向鉄筋が降伏し、概ね変位の増加に比例して鉄筋のひずみが増加する傾向となった。

② せん断に寄与すると考えられるウエブ部の帯鉄筋のひずみ測定結果について、試験体 No.2 の測定結果を図-5 に示す。測定箇所は、フーチング天端から 630mm 上がりに位置する帯鉄筋である。材料の試験結果から帯鉄筋の降伏ひずみは 1744μ であり、2δy 負側への載荷途中で降伏ひずみに達している。試験体 No.2 では中空部に全 2 段の帯鉄筋を配置したが、内空側も含め、いずれも最大荷重を保持している間に降伏した。

これに対し曲げ破壊をした試験体 No.1 の帯鉄筋は、最大荷重を保持している間には降伏まで至らなかった。

以上、ウエブ部の帯鉄筋の全てが降伏した試験体 No.2 では、最終的にせん断破壊に至ったことが分かる。

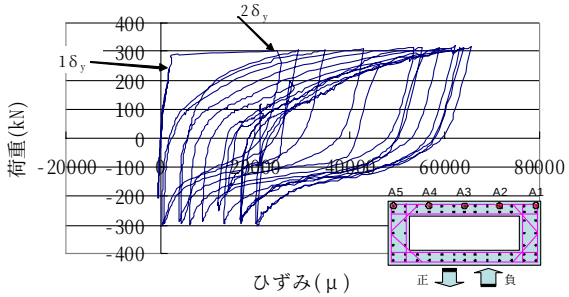

図-4 フランジ部軸方向鉄筋ひずみ

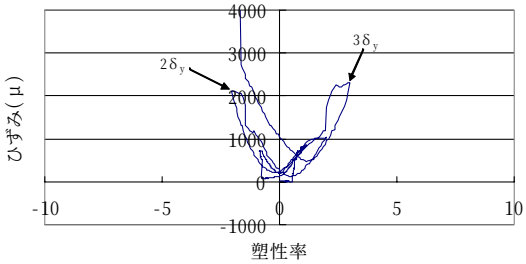

図-5 ウエブ帯鉄筋ひずみ

4. おわりに

実験結果から、曲げ破壊に至る場合、破壊に至るまではフランジ部の圧縮領域が残り、荷重を保持する耐荷機構となっている。また、曲げ降伏後にせん断破壊に至る場合、破壊に至るまではフランジ部の押抜きで荷重を保持する耐荷機構であることが分かった。箱型中空断面におけるせん断耐力は、ウエブ幅のみ評価され算出されているが、フランジ部もせん断耐力に大きく寄与していると考えられる。

今後、フランジ部を評価することを目的とした試験を計画し、箱型中空断面形状のせん断耐力算定式を提案したい。