

純ねじりモーメントが交番載荷される中空断面 RC 柱の挙動特性

九州大学大学院 正会員 ○山崎智彦 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
九州大学大学院 学生会員 服部匡洋 九州大学 学生会員 西木友宏

1. 目的

中空断面を有する RC 部材のねじりに対する非線形挙動を適切に評価することが出来れば、山間部に多用されている中空断面 RC 橋脚や箱桁（写真 1）に関してより安全な設計が可能となる。本論文では、中空断面 RC 柱部材に対し一定軸力作用下でねじり荷重の交番載荷実験を行い、各パラメータ（壁厚，帯鉄筋間隔）がねじり挙動に与える影響，破壊メカニズムを明らかにすることを目的とした。



写真 1 別府明礬橋

2. 実験概要

実験供試体の概略を図 1 に示す。断面 $400 \times 400 \text{ mm}$ の正方形中空断面であり、供試体長さ 1600 mm の RC 製である。鉄筋の種類は SD295A，鉄筋径は主鉄筋 D13，帯鉄筋 D6 を使用し、コンクリート設計基準強度は 40 N/mm^2 である。載荷方法は純ねじりの交番載荷とし、圧縮応力を作用軸応力としてコンクリート設計基準強度の 10% である 4.0 N/mm^2 と与えた。実験供試体のパラメータは、壁厚(t) 60 mm ， 100 mm ，帯鉄筋間隔(c) 30 mm ， 60 mm である。

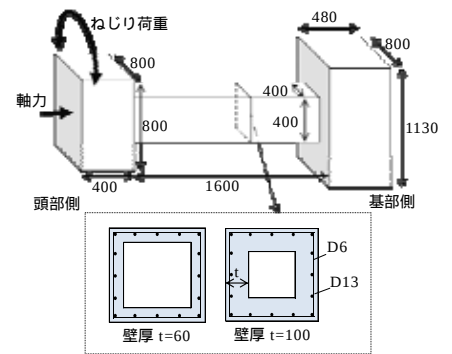


図 1 供試体概略図(単位: mm)

表 1 に検討ケース一覧および材料試験結果を示す。ここでは、中空断面に加え過年度に実験済みの充実断面¹⁾のうち、載荷方法，コンクリート設計基準強度，作用軸応力の条件が一致する 2 ケースを合わせた計 6 ケースの実験結果について検討を行う。

3. 実験結果

3.1. 履歴曲線に関する考察

図 2 に中空断面での同一壁厚(a)(b)，充実断面を含めた同一帯鉄筋間隔(c)(d)ごとに実験結果の履歴曲線，包絡線を重ねて示す。

(1) 帯鉄筋間隔の影響

図 2(a)(b)より，壁厚が同等な履歴曲線においてひび割れ耐力点および急激に剛性が低下している点（部材降伏点）は帯鉄筋間隔の違いによらず同等である(表 1)。このことから，充実断面と同様に中空断面でも部材降伏点に関して帯鉄筋間隔が与える影響は小さいと考えられる。帯鉄筋間隔の影響は最大耐力と靱性に関して明白であり，壁圧 60 mm ， 100 mm とともに $c=30 \text{ mm}$ は $c=60 \text{ mm}$ と比べて最大耐力は大きい。ただし，帯鉄筋間隔が密な No.1，No.3 では最大耐力後に急激な耐力低下を伴っており，脆性的な挙動を示した。

(2) 壁厚の影響

図 2(c)(d)より， $c=30$ ， 60 mm の双方で壁厚が厚いほど，部材降伏時に生じるねじりモーメントが大きい。これは，充実断面の場合ねじりひび割れが断面中央に達した時点で部材降伏が発生することから²⁾，中空断面の場合はねじりひび割れが中空部に達すると部材降伏に至ると推測される。このことから，壁厚を厚くすることで部材降伏耐力は向上すると考えられる。帯鉄筋間隔が密なケース(c)では最大耐力は同等であるが壁厚が薄くなるほど靱性は乏しくなる。帯鉄筋間隔が疎なケース(d)では壁厚が厚いほど最大耐力は大きい。

(3) 中空と充実との比較

図 2(c)(d)より，帯鉄筋間隔が密なケース(c)において，中空の場合は最大耐力後に急激な耐力低下を伴うが，充実には靱性に富んだ挙動を示した。帯鉄筋間隔が疎なケース(d)においては， 0.06 rad 付近以降では中空断面であっても壁厚 100 mm に達すると充実断面と同等の靱性を示した。

表 1 検討ケース

供試体No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
断面形状	中空				充実	
壁厚(mm)	60		100			
帯鉄筋間隔(mm)	30	60	30	60	30	60
圧縮強度(N/mm^2)	60.3	61.6	57.4	68.7	35.3	45.7
引張強度(N/mm^2)	3.8	4.4	4.6	3.9	4.1	4.2
ヤング率(kN/mm^2)	27.8	27.1	25.1	28.8	23.9	27.3

表 2 イベント耐力の実験値

供試体No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
ひび割れ(kNm)	33.7	34.2	39.3	47.9	87.6	95.1
部材降伏(kNm)	59.8	53.9	72.1	79.0	98.5	103.8
最大耐力(kNm)	106.6	80.7	107.0	90.7	106.1	108.6

キーワード：ねじり，中空断面，壁厚，帯鉄筋間隔，軸方向ひび割れ

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 092-802-3374

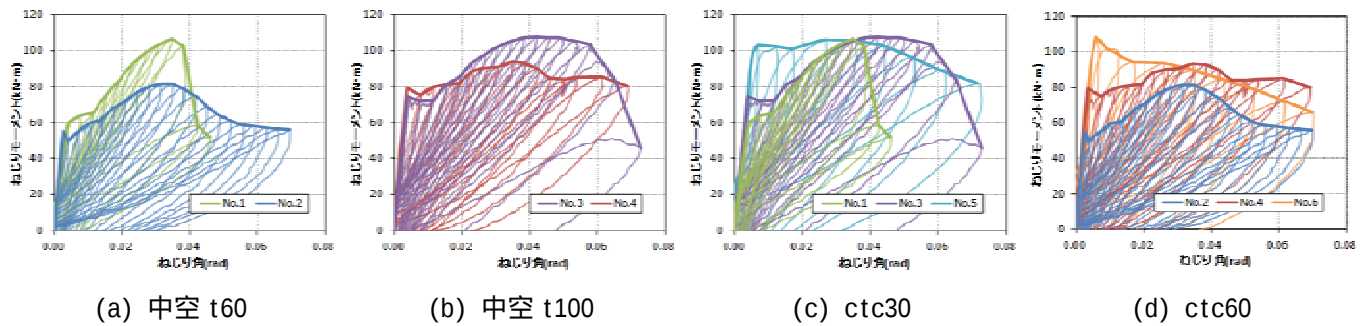


図2 履歴曲線，包絡線の実験結果

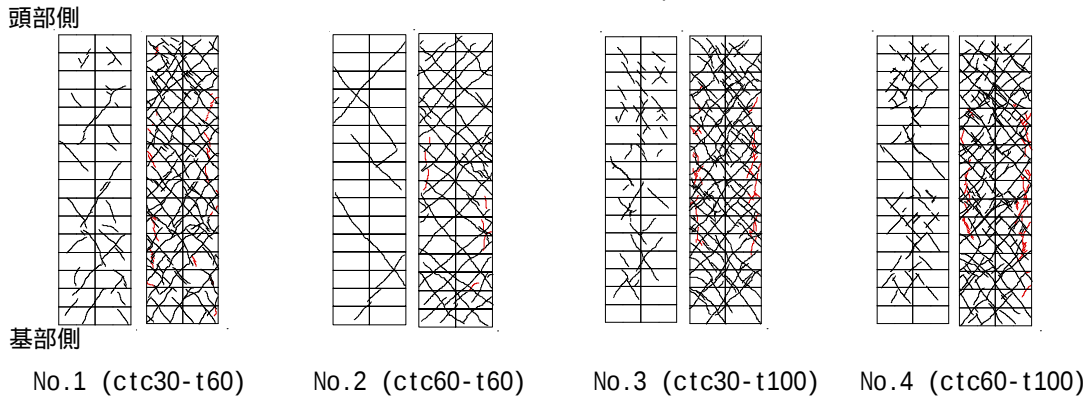


図3 部材上面ひび割れ状況（左側図：部材降伏時，右側図：最大耐力時）

+0.0460rad
かぶり剥離

写真2 No.1 上面

3.2. ひび割れ状況に関する考察

図3に部材降伏時，最大耐力時での部材上面のひび割れ状況を示す．ひび割れ図の上側が頭部側，下側が基部側である．部材降伏時のひび割れを比較すると壁厚が厚く，帯鉄筋間隔が密なほどひび割れは分散し多数発生する傾向が見られた．最大耐力時でのひび割れ状況では全ての中空断面供試体において，特徴的なひび割れとして部材隅角部で軸方向に発生するひび割れが確認された．写真2にNo.1の最大耐力後の上面写真を示すが，軸方向ひび割れの進展により，かぶりの剥離が助長されている状況が確認できる．

3.3. 終局メカニズムに関する考察

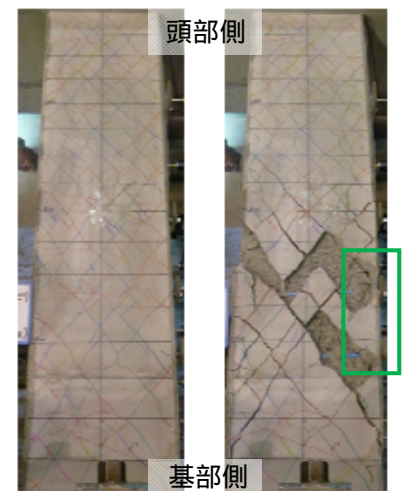
鉄筋ひずみに着目すると，帯鉄筋間隔が疎であるNo.2，No.4において最大耐力に至る時点で帯鉄筋降伏が多数確認されたことから，帯鉄筋降伏により耐力低下に転じたと考えられる．帯鉄筋間隔が密なNo.1，No.3においては，履歴曲線より靱性のない傾向が見られることから，かぶり剥離が生じたことで圧縮応力を負担するコンクリートの有効断面が減少し，コンクリートが圧縮破壊に至ることで耐力低下に転じたと考えられる．また，全ケースにおいて，部材全体が一様にねじられる立体トラス形式（写真3(a)）から，かぶり剥離が生じている付近を破壊面とした，局所的な斜め曲げ破壊形式（写真3(b)）への変遷が確認された．

4. 結論

中空断面では，壁厚が厚いほど部材降伏耐力は大きく，帯鉄筋間隔が密なほど最大耐力は上昇する．また，帯鉄筋間隔が密なケースではコンクリート圧縮破壊，疎なケースでは帯鉄筋降伏破壊の傾向を示した．中空断面は充実断面に比べて部材降伏耐力は小さい．また，中空断面を有し帯鉄筋間隔が密な場合は最大耐力後に急激な耐力低下を伴っており，靱性に富んだ挙動を示す充実断面とは異なる傾向が見られた．

参考文献

- 1) 大塚久哲：RC橋脚のねじり耐震照査と補強，樺歌書房，2011.
- 2) 大塚久哲，秦逸平，宇山友理：純ねじり荷重を受けるRC部材の三次元非線形有限要素解析，構造工学論文集，Vol.55A，2009.7



(a)+0.0307rad (b) +0.0460rad

写真3 No.1 上面