

京都大学 学生員 ○清水 優 巽 郁仁
正会員 石川 敏之 服部 篤史 河野 広隆

1. はじめに

コンクリート充填鋼管 (CFT) 部材は鋼管の内部にコンクリートを充填した構造であり、橋脚として用いる場合には脚長を長くしても優れた耐荷性、耐震性が得られることで知られている。一方、コンクリート充填鋼管二重鋼管 (CFDT) 部材は CFT 部材の鋼管の中に径の小さい鋼管をもう一つ配置し、両鋼管の間のみにコンクリートを充填することで中空断面とし、CFT 部材の軽量化を図った構造である。これまでに CFDT 部材の基礎力学特性および耐震性に関する研究が多く報告されているが^{1), 2)}、鋼管-コンクリート界面のずれ止めの必要性について検討した研究はない。本研究では、主に鋼管-コンクリート界面のずれ止めの有無による CFDT 部材の曲げ特性の違いを実験によって検証した。

2. 実験方法

表-1 に供試体の一覧を示す。実験には、外側の鋼管 (以下、外鋼管) とコンクリート界面にずれ止めを設置した供試体、内側の鋼管 (以下、内鋼管) とコンクリート界面にずれ止めを設置した供試体、両鋼管にずれ止めを設置した供試体、ずれ止めを設置していない供試体を用いた。ラベルに “s” のつく供試体には図-1(b)に示すように、せん断スパンのみにずれ止めを設置した。また、外鋼管径 D_o と内鋼管径 D_i の比 (内外鋼管径比 D_i/D_o) が異なる 2 種類の CFDT 部材と CFT 部材を用いた。載荷方法は図-2 に示すように対称 4 点曲げ載荷とし、純曲げ区間でたわみ、供試体端部で鋼管とコンクリートのずれを測定した。

3. 結果と考察

(1) 鋼管とコンクリートのずれ

全ての供試体で、コンクリートが鋼管から抜け出すようにずれが発生した。外鋼管とコンクリートのずれは、内鋼管とコンクリートのずれよりも大きく、特に外鋼管引張縁における外鋼管とコンクリートのずれが最も大きかった。図-3 に D22 シリーズの、曲げモーメントと外鋼管引張縁における外鋼管とコンクリートのずれの関係を示す。この図から、外鋼管にずれ止めを設置していない D22-n と I では、ずれが約 0.2mm を上回った辺りから傾きが変化し、曲げモーメントに対するずれの増加が大きくなっていることがわかる。

(2) 曲げモーメント-曲率関係

図-4 に D22-n と D22-OI の曲げモーメントと曲率の関係を示す。この図には、鋼管とコンクリートのずれが大きくな

表-1 供試体一覧

断面	ラベル	D_i/D_o	M_{max} [kN·m]	M_{con} [kN·m]
	CFT-n	0	84.2	92.8
	CFT-O	0	100.88	96.6
	CFT-Os	0	95.58	92.8
	D22-n	0.22	91.82	96.4
	D22-O	0.22	101.76	100.2
	D22-Os	0.22	98.62	96.4
	D22-I	0.22	97.92	99.3
	D22-Is	0.22	93.54	96.4
	D22-OI	0.22	108.16	103.1
	D22-OIs	0.22	100.16	96.4
	D60-n	0.60	112.124	119.2
D60-O	0.60	117.604	123.0	
D60-I	0.60	115.96	123.0	
D60-OI	0.60	119.024	125.6	

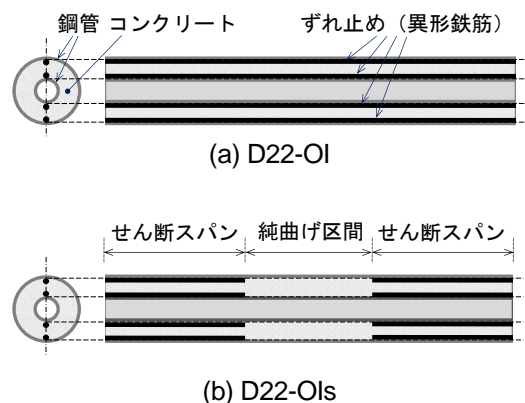


図-1 ずれ止めの設置例

った曲げモーメントとして、外鋼管引張縁における外鋼管とコンクリートのずれが 0.2mm に達した際の曲げモーメントを破線で示している。外鋼管とコンクリートのずれが大きかった D22-n の供試体では、曲げモーメント-曲率関係の傾きが低下する曲げモーメントと、外鋼管とコンクリートのずれが 0.2mm に達する曲げモーメントはほぼ同じである。一方、外鋼管にずれ止めを設置した D22-OI では、約 100 kN・m、すなわち表-1 に示す最大曲げモーメントの 92%程度までずれが抑制されおり、合成断面が維持されていることがわかる。

(3) 終局曲げモーメント

表-1 より、CFT, D22 の供試体のうち、外鋼管にずれ止めを設置した O, Os, OI, OIs の供試体では、実験より得られた最大曲げモーメント M_{max} はずれ止めを設置しない n の供試体よりも大幅に高いことがわかる。これはコンクリートの軸方向への抜け出しを拘束しているため、圧縮側のコンクリートが外鋼管によって側圧を受け 3 軸応力状態になり見かけの圧縮強度が高くなる、すなわちコンファインド効果のためと考えられる。コンファインド効果を考慮した終局曲げモーメント算定式を次式で与える。

$$M_{con} = (\sigma'_c/12) \cdot (D_o^3 \cos^3 \alpha_o - D_i^3 \cos^3 \alpha_i) + \left[\{(\beta_1 + \beta_2)/2\} \cdot f_{osy} D_o^2 t_o \cos \alpha_o + f_{isy} D_i^2 t_i \cos \alpha_i \right] \quad (1)$$

ここに、 $\sigma'_c = k_1 f'_c + 0.78 \cdot \{2t_o / (D_o - 2t_o)\} \cdot f_{osy}$, $\beta_1 = 0.89$, $\beta_2 = 1.08$, f_{osy} , f_{isy} はそれぞれ外鋼管および内鋼管の降伏強度, t_o , t_i はそれぞれ外鋼管および内鋼管の板厚, α_o , α_i はそれぞれ外鋼管および内鋼管の中立軸位置を示す角度であり、次式の軸力の式で $N_{con}=0$ として得られる。

$$N_{con} = (\sigma'_c/8) \cdot \{D_o^2 (\pi - 2\alpha_o - \sin 2\alpha_o) - D_i^2 (\pi - 2\alpha_i - \sin 2\alpha_i)\} + f_{osy} D_o t_o \{(\pi/2) \cdot (\beta_1 - \beta_2) - \alpha_o (\beta_1 + \beta_2)\} - 2f_{isy} D_i t_i \alpha_i \quad (2)$$

表-1 中に式(1)より得られる終局曲げモーメント M_{con} を示す。CFT および D22 では、外鋼管にずれ止めを設置した O, Os, OI, OIs の

M_{max} は M_{con} より大きく、コンファインド効果を考慮した式(1)を用いて安全側に評価できる。一方、内鋼管のみにずれ止めを設置した I, Is および内外鋼管径比の大きい D60 では、 M_{max} は M_{con} より小さい。これらの供試体ではコンクリートの軸方向の拘束が小さいため、先述のコンファインド効果が得られていないと考えられる。

4. まとめ

- (1) ずれ止めを設置していない場合、曲げ剛性が低下する前に外鋼管とコンクリートに大きなずれが発生した。一方、ずれ止めを設置した場合、曲げ剛性が十分低下するまで鋼管とコンクリートのずれを抑制することができた。
- (2) 外鋼管にずれ止めを設置すると、圧縮コンクリートがコンファインド効果を受けるため、最大曲げモーメントが向上し、外鋼管のせん断スパンのみにずれ止めを設置した場合でも同様の効果が得られる。
- (3) コンファインド効果を考慮した終局曲げモーメント算定式を提案し、実験値を安全側に評価できた。

5. 参考文献

- 1) 上中宏二郎, 鬼頭宏明: 二重鋼管・コンクリート合成部材の中心圧縮および曲げ特性に関する研究, 第 8 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, Vol.8, pp.9-1-9-8, 2009.
- 2) 杉浦邦征, 林堂靖史, 橋本国太郎, 大島義信, 河野広隆: コンクリート充填中空式 2 重鋼管構造橋脚の耐震性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.670-679, 2009.3.

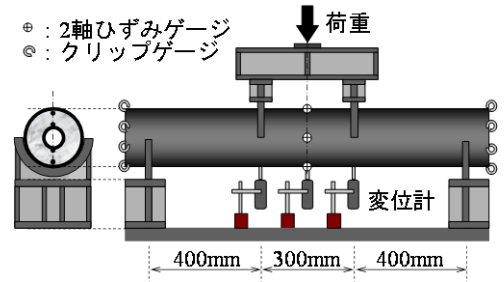


図-2 荷重方法

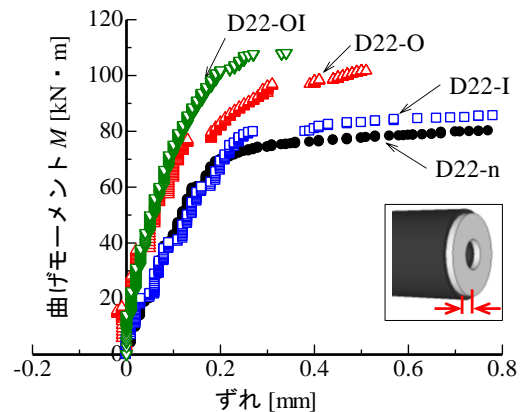


図-3 外鋼管とコンクリートのずれ

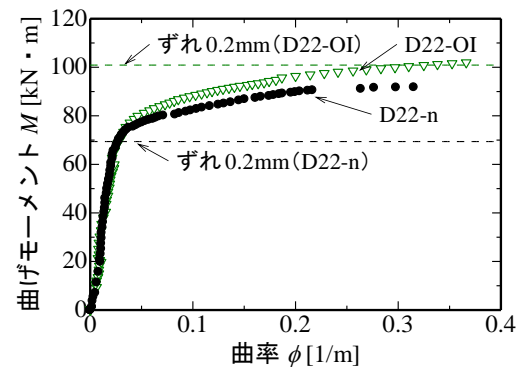


図-4 D22-n と D22-OI の曲げモーメント-曲率関係