

## 中空式二重鋼管・コンクリート合成深はりの曲げせん断実験

京都大学大学院 学生員 ○清水優  
神戸市立高専 正会員 上中宏二郎

## 1. はじめに

中空式二重鋼管・コンクリート合成部材(CFDT)とは、径の異なる二つの鋼管を同心円上に配置し、両鋼管の間みにコンクリートを充填した構造である。このような構造形式により、従来のコンクリート充填鋼管部材<sup>1)</sup>(CFT)と比較して軽量となる利点を有する。著者らはこれまで、CFDTの中心圧縮特性ならびに曲げ特性に関する系統的な検討を行ってきた<sup>2)-4)</sup>。そこで、本研究では、既報<sup>5)</sup>にさらに4体のCFDT深はり供試体を加え、主に内径外径比 $D_i/D_o$ がCFDTのせん断特性に与える影響について実験的に検討することを目的とする。

## 2. 実験方法

外鋼管径 $D_o=160\text{mm}$ 、軸方向長さ $H=420\text{mm}$ を一定とし、内鋼管径 $D_i$ を0(CFT),37.5,75.0および112.5mm(表-1参照)と変化させ、内外鋼管厚 $t_i, t_o$ を1.0,1.6および2.3mmの3種類として、合計12体の供試体を使用した。荷重方法は図-1に示すように、供試体中央に集中荷重を与え、左右に等しいせん断力を作用させた。供試体には、内鋼管ならびに外鋼管にそれぞれ、2軸ひずみゲージを10箇所、および3軸ひずみゲージを2箇所に貼付した。さらにスパン中央には鉛直に変位計を設置した。

## 3. 実験結果と考察

(1)破壊形式 CFDTおよびCFTの破壊形式を写真-1に示す。CFT供試体は荷重点下部付近で鋼管が破断し、その後ウェブコンクリートがせん断破壊した。一方、CFDTにおいてはウェブコンクリートが圧縮破壊した。 $D_i/D_o=0.70$ の供試体は、荷重初期からウェブコンクリートの圧縮破壊が顕著であり、その後鋼管が降伏に至った。

(2)変形特性 図-2に荷重-変位曲線を示す。同図において $D_i/D_o \leq 0.47$ では、せん断変形性能の著しい低下は見られない。しかし $D_i/D_o=0.70$ の供試体は、他の供試体よりも極端に強度が低い。これはコンクリート充填部が薄いため、荷重初期においてコンクリートが圧縮破壊し、断面剛性が低下したためと考えられる。

(3)終局強度 図-3は $V_{\text{exp}}$ と $V_{\text{su}}$ の関係を示す。ここで、 $V_{\text{exp}}$ は実験から得られた最大せん断力、 $V_{\text{su}}$ はトラスモデルによって与えられるせん断耐力であり、次式で算定した。

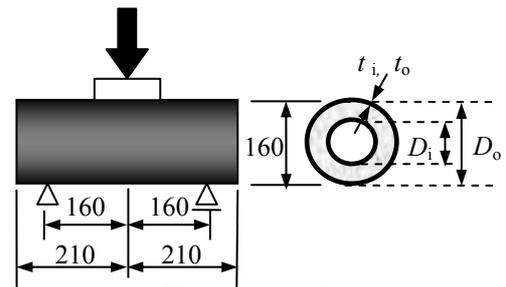


図-1 荷重方法



写真-1 破壊形式

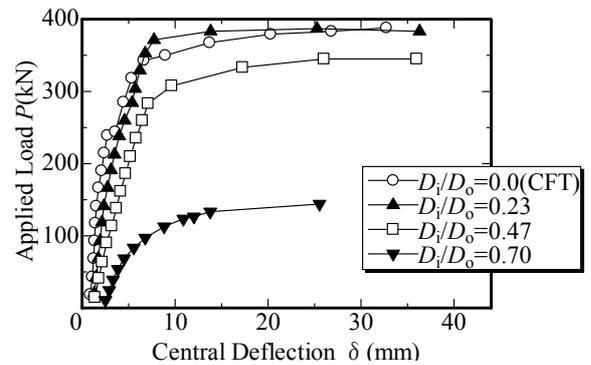
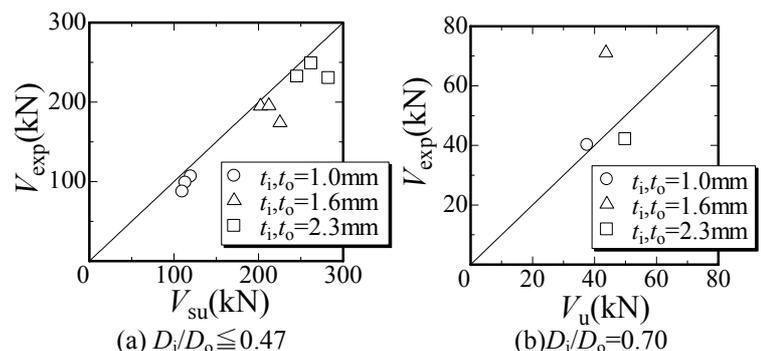
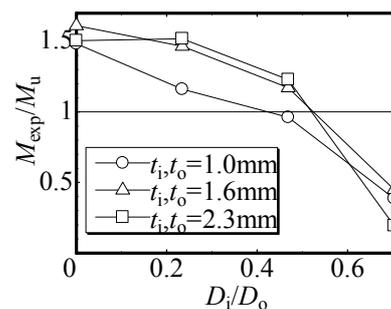


図-2 荷重-変位曲線

図-3  $V_{\text{exp}}$ と $V_{\text{su}}(V_u)$ の関係図-4  $M_{\text{exp}}/M_u$ と $D_i/D_o$ の関係

キーワード 複合構造, CFT, CFDT, 深はり, 断面剛性, トラスモデル

連絡先 〒615-8540 京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻 TEL(075)383-2970

$$V_{su} = V_u + V_{si} + V_{so} \quad (1)$$

$$V_u = \frac{0.24f_c^{r^{2/3}}(1+(100p_w)^{1/2})(1+3.33r/d)}{1+(a/d)^2} b_w d \quad (2)$$

ここで、 $V_{si}, V_{so}$ :内外鋼管がそれぞれ負担するせん断耐力、 $f_c$ :コンクリート強度(MPa)、 $b_w$ :ウェブ幅、 $d$ :有効高さ、 $r$ :載荷幅(=100mm)、 $a$ :せん断スパン長、 $p_w=A_s/b_w d$ である。せん断強度の算定は、 $D_i/D_o \leq 0.47$ では鋼管がせん断補強筋として働いていることが窺えたため  $V_{su}$ によって算定し、 $D_i/D_o = 0.70$ では二羽の式  $V_u^{(6)}$ のみによって算定した。これらの算定式を用いて、実験値は概ね良好に評価できた。

図-4は  $M_{exp}/M_u$ と  $D_i/D_o$ の関係を示す。ここで、 $M_{exp}$ は実験から得られた最大曲げモーメントである。また、 $M_u$ は鋼管とコンクリートの応力状態を全塑性と仮定し、コンクリートの引張強度を無視した純曲げ強度であり、次式で算定した。

$$M_u = \frac{2kf'_c}{3} (R_o^3 \cos^3 \alpha_o - R_i^3 \cos^3 \alpha_i) + 4f_{sy}(R_o^2 t_o \cos \alpha_o + R_i^2 t_i \cos \alpha_i) \quad (3)$$

ここで、 $k$ :コンクリートの低減係数(=0.85)、 $R_o$ :外鋼管の半径、 $R_i$ :内鋼管の半径、 $f_{sy}$ :鋼管の降伏強度、 $\alpha_o$ :外鋼管の中心から中立軸までの角度、 $\alpha_i$ :内鋼管の中心から中立軸までの角度である。この算定式を用いて、実験値は概ね良好に評価できた。しかし、 $D_i/D_o = 0.70$ では  $M_{exp}/M_u$ が著しく低下している。これは先に述べたように、載荷初期においてコンクリートが圧縮破壊し、断面剛性が著しく低下したためと考えられる。

(4)応力状態 内外鋼管に貼付したひずみゲージから、弾塑性状態の平面応力状態における Prandtl-Reuss の構成則を用いて二軸応力状態を求めた。図-5は外鋼管曲げ引張側の二軸応力の関係である。ここで、 $\sigma_z, \sigma_\theta$ はそれぞれ軸方向応力および周方向応力を示す。また、破線は Von Mises の降伏曲線を示している。同図より  $D_i/D_o = 0.70$ の供試体は、載荷初期から  $\sigma_\theta$ が圧縮側へ流動していることがわかる。これはコンクリート充填部が薄いために、上下方向に圧縮力を受けるリングのように挙動しているためと考えられる。

#### 4. まとめ

(1)曲げせん断力を作用させることによる破壊の形式は、CFT 供試体では鋼管が破断し、CFDT では内径・外径比が大きくなるに従ってウェブコンクリートが圧縮破壊するモードへと変化した。

(2)CFDT の変形性能は、 $D_i/D_o \leq 0.47$ では CFT のそれとほぼ同等であった。一方、 $D_i/D_o = 0.70$ では断面剛性の低下により、CFDT の変形性能が著しく低下した。

(3)CFDT のせん断強度は、二羽の式およびトラスモデルを用いて評価できることがわかった。

(4)実験の最大曲げモーメントは  $D_i/D_o \leq 0.47$ では純曲げ

表-1 実験結果と算定強度

No.	$t_i, t_o$ [mm]	$D_i/D_o$	$P_{exp}$ [kN]
1		0.00	213.6
2	1.0	0.23	197.0
3		0.47	175.4
4		0.70	80.4
5		0.00	390.0
6	1.6	0.23	391.0
7		0.47	347.9
8		0.70	142.1
9		0.00	464.5
10	2.3	0.23	497.8
11		0.47	460.6
12		0.70	84.3

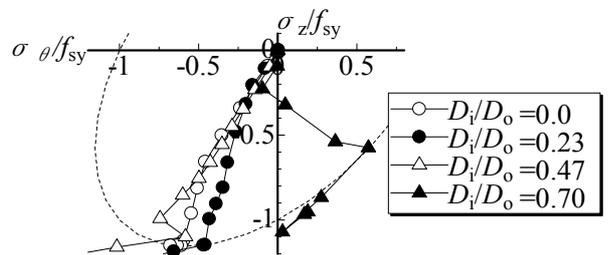


図-5 外鋼管曲げ引張側の応力状態(圧縮を正)

強度と概ね一致した。一方、 $D_i/D_o = 0.70$ では、上記(1)の理由により、実験の最大曲げモーメントが純曲げ強度を大幅に下回った。

(5)CFDT の外鋼管引張側の応力状態は、 $D_i/D_o \leq 0.47$ では従来の CFT とほぼ同様であった。しかし  $D_i/D_o = 0.70$ では、載荷初期から圧縮側に流動していた。

#### 参考文献

- 1)日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 1997.
- 2)上中宏二郎, 鬼頭宏明, 園田恵一郎:二重鋼管合成短柱の圧縮特性に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 日本鋼構造協会, Vol.14, No. 53, pp. 67-75, 2007.
- 3)上中宏二郎, 鬼頭宏明, 後藤亮太:中空式二重鋼管・コンクリート合成部材の曲げ特性, コンクリート工学論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol. 17, No. 3, pp. 45-53, 2006.
- 4)Uenaka, K., Kitoh, H. and Sonoda, K.: Concrete Filled Double Skin Tubular Members subjected to Bending, Steel and Composite Structures, Techno-Press, Vol. 8, No. 4, pp. 297-312, 2008.
- 5)上中宏二郎, 清水優, 鬼頭宏明:二重鋼管・コンクリート合成深はりの曲げせん断実験, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol. 30, No. 3, pp. 1321-1326, 2008.
- 6)二羽淳一郎:FEM 解析に基づくディープビームのせん断耐力評価式, 第2回 RC 構造のせん断に問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, 日本コンクリート工学協会, pp. 119-128, 1983.