

鋼・コンクリートの合成作用を考慮したコンクリート充填二重鋼管柱強度の解析的研究

東京都市大学大学院 学生会員 ○山極政行
東京都市大学教授 フェロー会員 増田陳紀

1. はじめに

鋼管にコンクリートを充填させたコンクリート充填鋼管構造 (Concrete Filled Steel Tube 以下 CFT 構造)は、鋼管とコンクリートの相互作用により圧縮曲げ強度の増大・施工の省力化につながることから、合理的構造として注目されている¹⁾。近年ではさらなる重量軽減を目的として、図 1 のような中心部を中空にしたコンクリート充填二重鋼管構造(Concrete Filled Double Steel Tube 以下 CFDT)が提案されている。

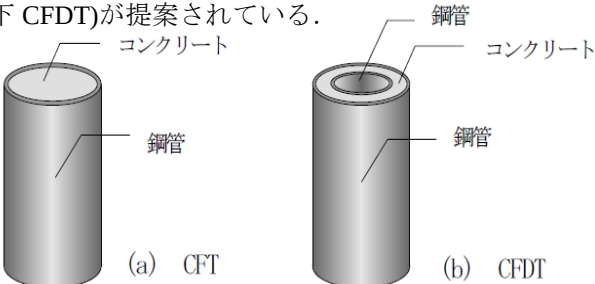


図 1 CFT と CFDT の概略

CFDT の曲げ強度に及ぼす因子として内鋼管・外鋼管厚比²⁾、外径・内径比³⁾についての実験的検証が行われている。一方、妥当な解析モデルの提案と鋼・コンクリートのズレや剥がれを抑制することによる強度の増加の定量的な評価に関しては、CFT については行われているが⁴⁾、CFDT については未だ行われていない。そこで本研究では文献 4 に示されている実験や解析及び解析モデル等を参考とし、CFDT について鋼・コンクリートのズレや剥がれを抑制する合成効果の有無をパラメーターとしたプッシュオーバー解析を行い、強度の増加を定量的に評価することを目的とする。

2. 解析対象

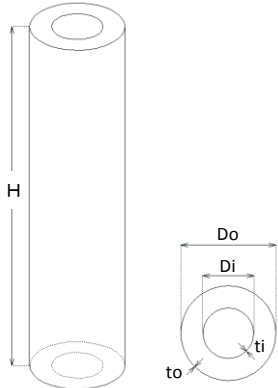


図 2 CFDT 解析対象

表 1 解析対象諸元

H	2920.0	mm
Do	817.36	mm
Di	441.28	mm
to	4.00	mm
ti	2.00	mm
Di/Do	0.540	-
ti/to	0.500	-

旧建設省土木研究所で行われた CFT の一定軸圧縮力下水平載荷実験の供試体と同断面積の CFDT を内鋼管厚／外鋼管厚と内径／外径を留意点として設定し解析対象とした⁴⁾。諸元等を図 2 および表 1、2 に示す。

表 2 鋼とコンクリートの材料特性

	ヤング率[kN/mm ²]	ポアソン比[-]	単位体積重量[kN/m ³]
鋼材	205.8	0.3	77.00
コンクリート	29.50	0.15	23.00

3. 線形解析結果

3.1 モデル概要

解析モデルについては、実験値を精度良く再現できている参考文献 4 の CFT モデルを参考としてモデルを作成する。解析対象は対称性を考慮し 1/2 モデルを作成する。鋼管は 8 節点曲面シェル要素、コンクリートは 20 節点 6 面体ソリッド要素、境界面は 8 節点境界要素を用いた。コンクリート部分の要素分割は断面直径方向を 4 分割し円周方向を 8 分割した。高さ方向は拘束面側がより細分割化するように、拘束面から 730mm までを 10 分割、1460mm までを 5 分割、最上部までを 5 分割した。詳細を図 3 に示す。

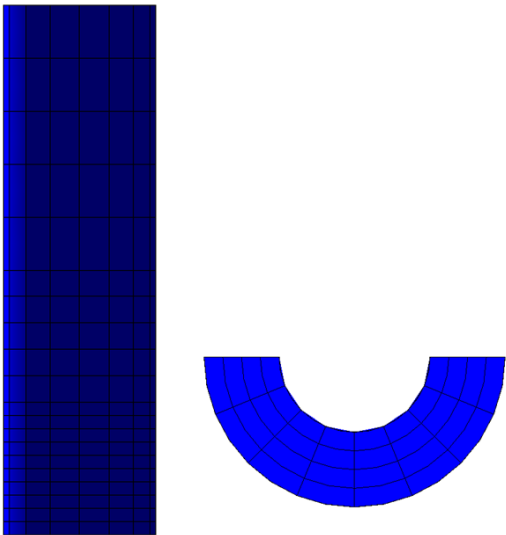


図 3 解析対象モデルの要素分割

モデルは内鋼管と外鋼管それぞれの境界要素について、剥がれ方向・ズレ方向の剛性をパラメーターとして 4 ケース作成した。今回の解析では線形解析であるため、境界要素の接触・剥がれ方向の剛性は全てコンク

キーワード：コンクリート充填鋼管 合成作用 座屈 境界要素 水平載荷

リート剛性 E_c とした。ズレ方向については剛性なしとコンクリートせん断剛性 G_c に分類し、内鋼管と外鋼管それぞれについて設定した。詳細を表 3 に示す。

表 3 合成作用をパラメーターとする線形解析モデル

	内鋼管境界要素 剥がれ方向剛性	外鋼管境界要素 剥がれ方向剛性	内鋼管境界要素 ズレ方向剛性	外鋼管境界要素 ズレ方向剛性
ケース1	E_c		なし	なし
ケース2			G_c	なし
ケース3			なし	G_c
ケース4			G_c	G_c

3.2 荷重・拘束条件

拘束に関しては、下部を全拘束とし、対称性を考慮した境界面は並進方向を拘束した。荷重は、自重を考慮した上で、上面に一定軸圧縮力(10.78N/mm^2)を分布荷重として与えた。水平載荷は上端面の外鋼管シェル要素の節点に強制変位として与えた。強制変位値は参考文献 4 の実験結果の降伏変位である 12.9mm とした。

3.3 モデルの妥当性

本解析モデルの妥当性については、既に実験との比較を行いある程度の妥当性を示している文献 4 の CFT 解析結果と比較することにより検討する。文献 4 の CFT の供試体と本解析の CFDT の比較を表 4 に示す。

表 4 CFT⁴⁾と CFDT 結果の比較

	CFT	CFDT	比
載荷点変位[mm]	12.9	12.9	1
載荷点荷重[kN]	758	1086	1.43
曲げ剛性[MN・m ²]	4.87×10^2	7.53×10^2	1.55

本構造は片持ちばりの自由端に集中荷重を積荷した構造と類似のものであり、強制変位に対する反力は線形領域内では曲げ剛性 EI に比例する。今回の結果では表 4 に示す通り、曲げ剛性 EI は $4.87 \times 10^2 [\text{MN} \cdot \text{mm}^2]$ から $7.53 \times 10^2 [\text{MN} \cdot \text{mm}^2]$ と 1.55 倍であることに對して水平載荷荷重反力が 758.3kN から 1086kN と 1.43 倍となり、結果の差は 8%程度に収まり、モデルはある程度妥当であると考えられる。

3.4 解析結果

表 3 に示す各モデルケースに対して線形解析を行った結果得られた載荷点反力を表 5 に示す。鋼管とコンクリートのズレを拘束

表 5 各ケース載荷点反力

	載荷点反力[MN/mm]
ケース1	1.086
ケース2	1.096
ケース3	1.110
ケース4	1.118

することにより、曲げ剛性が最大約 3%増加することを確認することができた。内鋼管と外鋼管のズレの合成効果を比べると、外鋼管のズレを

拘束した方が、外内鋼管径比より若干大きな曲げ剛性向上効果を有することを確認できた。

3.5 非線形解析モデルケース

線形領域内での曲げ剛性の向上は最大でも 3%程度であるが、材料・幾何学非線形領域では鋼管の座屈防止効果により、文献 4 の CFT と同様に 10~20%程度の強度向上が確認できると考えられ、次に非線形解析を実行して強度増加を定量的に評価する予定である。非線形解析では境界要素の剥がれ方向の剛性についても、剛性なしとコンクリート剛性 E_c を組み合わせた、表 6 に示す解析ケースを作成する。なお、剥がれ方向が拘束されてズレ方向が拘束されないというケースは、実現象を適切に捉えていないので、解析ケースから外した。

表 6 非線形解析の解析ケース

	内鋼管境界要素 剥がれ方向剛性	外鋼管境界要素 剥がれ方向剛性	内鋼管境界要素 ズレ方向剛性	外鋼管境界要素 ズレ方向剛性
ケース1	なし	なし	なし	なし
ケース2	なし	なし	G_c	なし
ケース3	なし	なし	なし	G_c
ケース4	なし	なし	G_c	G_c
ケース5	E_c	なし	G_c	なし
ケース6	E_c	なし	G_c	G_c
ケース7	なし	E_c	なし	G_c
ケース8	なし	E_c	G_c	G_c
ケース9	E_c	E_c	G_c	G_c

4. まとめ・今後の予定

CFDT の鋼・コンクリート合成作用をパラメーターとした線形解析を行い、文献 4 の CFT 解析結果との比較によりモデルの妥当性を示し、鋼管とコンクリートのズレを拘束することにより線形領域内の曲げ剛性の向上を確認した。今後は材料非線形と幾何学非線形を考慮した解析を行い、曲げ耐力の増加を定量的に評価することが必要であり、その結果は当日報告する。

5. 参考文献

1) 松井千秋:コンクリート充填鋼管構造・CFT 構造の性能と設計, オーム社, 平成 21 年 2 月, pp6-7

2) 杉浦邦征・大島義信・小野紘一:軸力および曲げを受けるコンクリート充填二重管柱の相関強度に関する考察, 構造工学論文集, Vol.53A, 2007 年 3 月, pp. 1050-1056

3) 上中宏二郎・鬼頭宏明: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, 2006 年 9 月, pp45-53

4) 松村寿男・水野英二:曲げ変形を受けるコンクリート充填鋼管柱の合成作用の有無を考慮した内部性状に関する三次元有限要素解析, 応用力学論文集, Vol.11, 2008 年, pp. 307-318