

(56) コンクリート充填二重鋼管柱の圧縮耐力に関する研究

崔 鉉俊¹・杉浦 邦征²・大島 義信³

¹京都大学大学院修士課程 都市環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:choi@csd.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院助教授 都市環境工学専攻 (同上)
E-mail:sugiura@csd.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院助手 都市環境工学専攻 (同上)
E-mail:ohshima@csd.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究の目的はコンクリート充填鋼管柱の自重の軽減に着目し、2つの径の異なる鋼管を同心円上に配置したコンクリート充填二重鋼管柱(CFDST)をモデル化し、力学的な特性を明らかにすることである。従来のコンクリート充填鋼管柱(CFT)をモデル化したCFT試験体と外鋼管あるいは内鋼管をコンクリートと組み合わせさせたC2-So/Si試験体を製作し、それぞれの結果を比較するとともに外鋼管と内鋼管が耐力に与える影響に着目してその力学的な特性について実験的に検討をした。CFDSTの外鋼管は円周方向に引張を受けるのに対し、内鋼管は円周方向に圧縮を受けることから外側に引張に強い材料を使い内側には圧縮に強い材料が望まれる。このことから、外鋼管をFRP管に置き換えることなどでより効率的な複合構造とする研究が望まれる。

Key Words : *Double-Skin Steel Tube, Concrete-Filled Tube, compression, buckling*

1. 概要

現在、日本道路公団で標準としている鋼管・コンクリート複合構造橋脚は帯鉄筋の代わりにPC鋼より線を螺旋状に巻きつけた複合橋脚であり、鋼管を先行して立て込み、それを足場として柱断面コンクリートの施工型枠を移動させ、急速施工を可能とし、PC鋼により線巻き立てによるじん性向上。橋脚柱上下部端で縞付きの鋼管による付着上昇などの新しい試みが入り入れられた合理的な構造である¹⁾。しかし、主鉄筋及びPC鋼より線が、外側から鋼管に巻きつけたコンクリートを拘束してはいるものの、マスコンクリート打設時に伴う温度上昇が、円周方向にコンクリートのひび割れを発生させ、施工管理上の問題となっている。この問題を解決するために、主鉄筋を外側鋼管に置き換えた無筋コンクリート充填二重鋼管構造にすることが考えられる。二重鋼管構造は施工

方式が単純でありながら高強度、軽量の観点から製作・施工を一層容易とする構造である。熟練労働者の不足や構造形態による施工上の困難が顕在する状況では構造形式の単純化はきわめて重要である。二重鋼管を使うことによって施工が単純化し、工事期間も短縮できると考えられる²⁾。さらに、既存の鉄筋コンクリート橋脚には、その耐震診断に基づき側面を鋼板で被服した耐震補強が広く行われているが、地震時に作用する慣性力の軽減が重要な課題でもある³⁾。そこで本研究ではコンクリート充填鋼管柱の自重の軽減に着目し、2つの径の異なる鋼管を同心円上に配置した中空式コンクリート充填二重鋼管柱(CFDST)をモデル化した試験体、従来のコンクリート充填鋼管柱(CFT)をモデル化した試験体と外鋼管あるいは内鋼管をコンクリートと複合化した試験体に対して各々静的圧縮試験を行い、それぞれを比較してその

力学的な特性について実験的に検討をした。

2. 実験概要

2.1 試験体

(1) 試験体の製作

各試験体での比較を容易にするため、グループ G1～G3 に分類し一併製作した。グループ(G1)はコンクリート充填柱(CFT)をモデル化したものであり、グループ(G3)は、コンクリート充填二重鋼管(CFDST)をモデル化したものである。また、グループ(G2)は二重鋼管(CFDST)の外鋼管と内鋼管が強度や荷重を受け持つ状態などの影響を調べるために製作した。さらに、CFDST タイプにおいては外鋼管と内鋼管の効率的な組合を調べるため、2つの異なる径厚比を設定した。なお、図-1 に試験体の概要を示す。

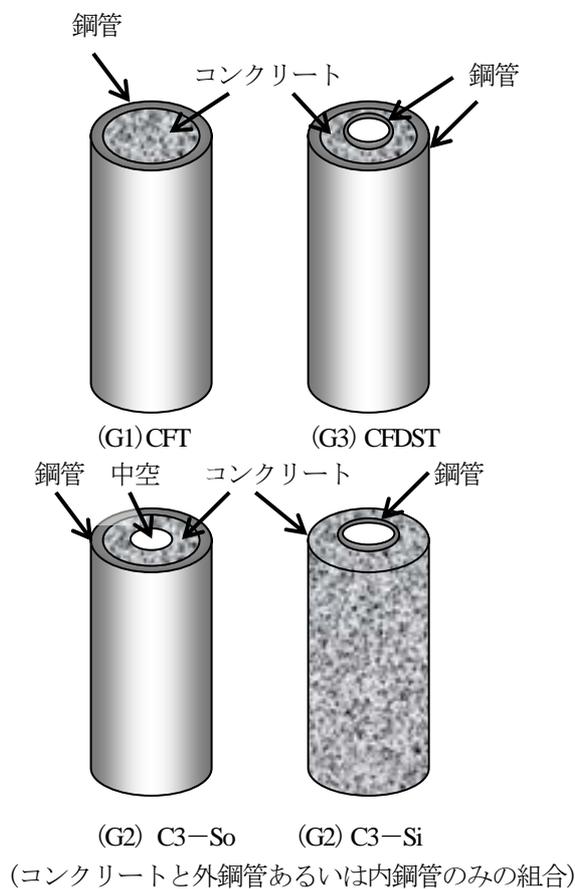


図-1 各グループの試験体の模式図

(2) 試験体の諸元

本研究で対象とした試験体の一覧を表-1 に示す。供試体CFDSTは2つの径の異なる鋼管を同心円上に配置したコンクリート充填二重鋼管柱である。高さ 450mm、外鋼管(So)の直径 150mm、内鋼管(Si)の直径 112.5mmで固定し、それに対して t_o (外側鋼管管の厚さ)、 t_i (内側鋼管

の厚さ)をパラメーターに設定した。試験体の寸法を図-2 に示す。パラメーターは $D/2t = 50$ を基準として相対的に薄肉、厚肉を各1ケース設定し、これらの組み合わせから試験体を製作した。そして比較検討のため従来のコンクリート充填鋼管柱として同じ径厚比の外鋼管を有する試験体CFTを用意した。

表-1 試験体一覧

試験体名 (コンクリート-鋼管-D/2t)	鋼管の板厚(mm)	
	外側鋼管	内側鋼管
Group 1 CFT		
C1(Concrete)	-	
C1-So32.6	2.3	
C1-So46.9	1.6	
Group 2 C2-So/ Si		
C2(Concrete)	-	
C2-So32.6	2.3	-
C2-So46.9	1.6	
C2-Si24.5	-	2.3
C2-Si46.9		1.2
C2-Si70.3		0.8
Group 3 CFDST		
C2-DS-32.6-24.5	2.3	2.3
C2-DS-32.6-46.9		1.2
C2-DS-32.6-70.3		0.8
C2-DS-46.9-24.5	1.6	2.3
C2-DS-46.9-46.9		1.2
C2-DS-46.9-70.3		0.8

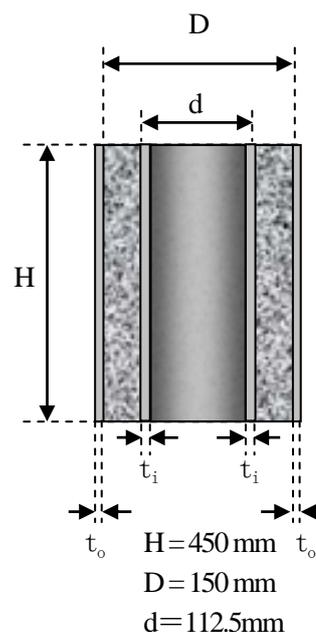


図-2 試験体の寸法

2.2 試験項目

(1) 圧縮試験

圧縮実験は万能試験機により試験体に圧縮力を加えることで行った。図-3にひずみゲージの貼付け位置を示す。供試体の中央と上下端部から30mmに円周方向の4箇所を設定し、計12箇所にて2軸ゲージを貼り付け、局所的な軸ひずみと円周方向のひずみを計測した。CFDSTの場合は内鋼管にも同様な2軸ゲージを貼り付けた。変位計は4台を用意し、試験体の回りに90°ピッチで配置し、試験体全体の縮みを計測した。

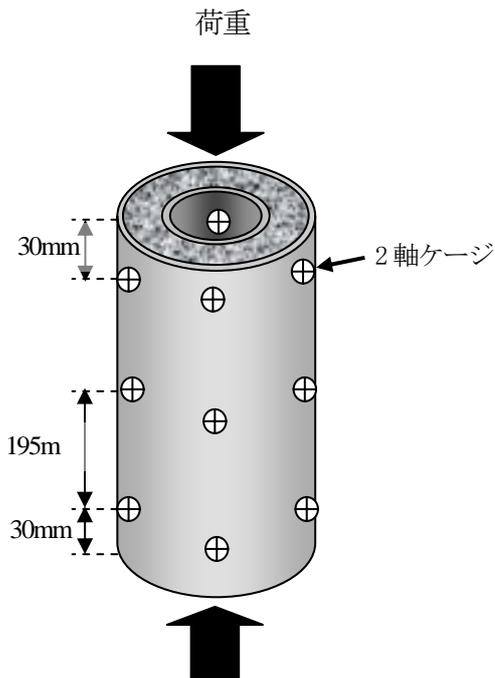


図-3 ひずみゲージの貼付け位置

3. 試験結果および考察

(1) 圧縮試験結果

1) 圧縮強度

各タイプにおいて2.3mm鋼管を有する試験体の最大荷重を比較したものをそれぞれ図-4に示す。また、破壊形態を図-5に示す。CFTの最大荷重が最も高い値を示す結果となった。この理由としては、CFTにおいて外鋼管によるコンファインド効果が最も優れていると考えられる。外鋼管あるいは内鋼管とコンクリートの組合(C2-So/Si)においては最大荷重がCFTとCFDSTに比べて大幅に下回っている。これはCFTとCFDSTにおいては鋼管がコンクリートを拘束する役割により強度が増加しているのに対し、外鋼管あるいは内鋼管とコンクリートの組合は、図-5の破壊性状からわかるようにコンクリートが鋼管からはく離して鋼管とコンクリートがお互いを拘束する効果を失うためと考えられる。

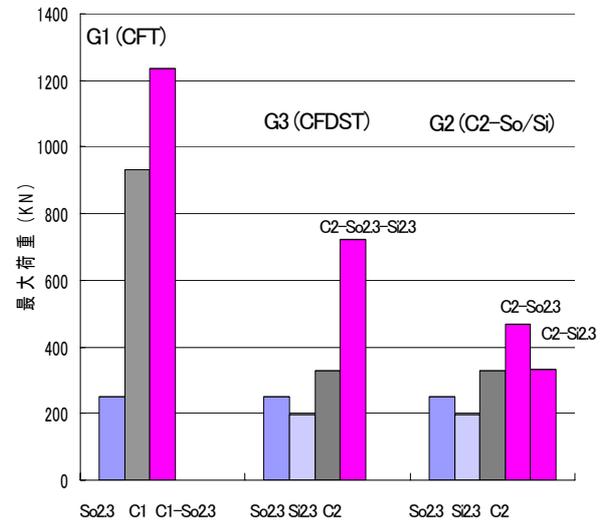


図-4 圧縮強度の比較結果 (鋼管板厚 2.3mm)



(G3) CFDST タイプ

(G1) CFT タイプ



C2-So



C2-Si

(G2) C2-So/Si のタイプ



図-5 (a) CFDST のせん断破壊形態

図-5 圧縮試験における破壊性状

CFDST の最大荷重は試験体 C2-So2.3 と C2-Si2.3 (外鋼管あるいは内鋼管をコンクリートと組み合わせしたタイプ) の最大荷重を大幅に上回る結果になったが、CFT と比べると若干下回る結果となっている。CFDST におけるコンクリートの拘束効果は CFT のそれに比べて小さく、内側鋼管の構造寸法には十分配慮する必要がある。

2) 累加強度による評価

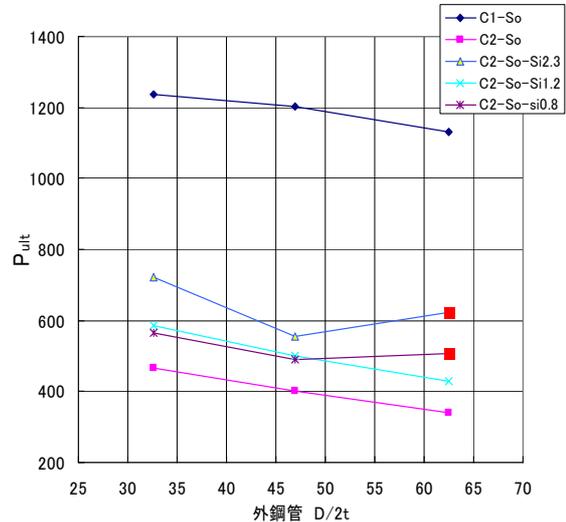
異種の材料が効率性を評価するときは各々の材料の強度が組合されることによってどの程度の強度の上昇があるのかが最も重要なことである。表-2 に鋼管とコンクリートの最大荷重を単純に加算した値で各試験体の最大荷重を除いた結果 ($P_{ult}/P_{(So+Si+Co)}$) を示す。この結果からわかるように、CFT は 4% から 11% まで強度の上昇が生じたのに対し、CFDST は強度の上昇がなくその単純累加した値をわずかに下回っている。この理由としては CFT と CFDST は鋼管がコンクリートの破壊を防止することとコンクリートが鋼管の座屈の防止するもののお互いの拘束効果が強度上昇の重要な要因であるが、CFT の場合は外鋼管が内側のコンクリートを拘束したのに対し、CFDST は外鋼管と内鋼管によって拘束されている内側のコンクリートが図-5(a) の破壊形状からわかるようにせん断破壊されたため拘束効果を果たせなかったと考えられる。

表-2 各試験体の圧縮試験結果のまとめ

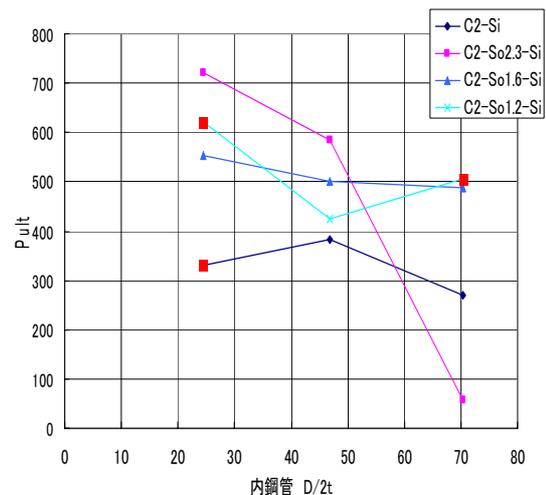
試験体名	D/2t	$P_{ult}/P_{(So+Co+Si)}$	$\epsilon_{ult}/\epsilon_y$
C1-So-32.6	So32.6	1.04	1.32
C2-So-32.6		0.80	0.89
C2-DS-32.6-24.5		0.93	0.98
C2-DS-32.6-46.9		0.87	1.25
C2-DS-32.6-70.3		0.90	1.05
So-32.6		1.00	1.08
C1-So-46.9	So46.9	1.11	1.51
C2-So-46.9		0.84	1.14
C2-DS-46.9-24.5		0.82	3.05
C2-DS-46.9-46.9		0.89	1.23
C2-DS-46.9-70.3		0.94	1.33
So-46.9		1.00	1.44
C2-Si-24.5	Si24.5	0.63	0.55
C2-DS-32.6-24.5		0.93	0.74
C2-DS-46.9-24.5		0.82	2.03
C2-DS-62.5-24.5		0.98	0.77
Si-24.5		1.00	2.9
C2-Si-46.9	Si46.9	0.92	0.64
C2-DS-32.6-46.9		0.87	1.48
C2-DS-46.9-46.9		0.89	1.17
C2-DS-62.5-46.9		0.80	1.21
Si-46.9		1.00	1

3) CFDST と径厚比 (D/2t) の関係

試験体 CFDST の最大荷重と外鋼管あるいは内鋼管の径厚比の関係を図-6 に示す。縦軸は各試験体の最大荷重であり、横軸は同じ板厚の鋼管を有す試験体を基準とし、径厚比 D/2t が変わりことによる最大荷重の変化を表した。



(a) 外側鋼管の効果



(b) 内側鋼管の効果

図-6 CFDST 最大荷重と鋼管の径厚比 (D/2t) の関係

同じ板厚の内鋼管を有する試験体は外鋼管の D/2t が増加すると最大荷重が小さくなるのがわかる。これは外鋼管の板厚が薄い方が座屈の影響受けやすくなり、厚い鋼管の方がコンクリートと外鋼管の間の荷重伝達が優れていると考えられる。一方、内側鋼管の場合は D/2t が増加すると試験体の最大荷重が下がることがわかる。これは内鋼管が厚いほど、試験体の最大荷重が上がることを示している。内鋼管は軸方向と円周方向に圧縮力を受けるため、肉厚な鋼管を使う方が有利であると考えられる。この結果から、CFDST では外鋼管は軸方向に圧縮力を

受けながら、主に円周方向に引張を受けており、内鋼管は軸方向と円周方向に圧縮力を受けている。このことから、CFDSTは外側に引張に強い材料を使い、内側に圧縮に強い材料構造寸法を採用することが最も有利であると考えられる。

4) 圧縮耐荷力の評価

実験結果をさらに検討するため、日本建築学会⁴⁾が提案している圧縮強度の算定式との比較を行った。

● 円形断面のCFT柱の算定強度式による算定強度

$$N_u = (1 + \eta)A_s f_{sy} + A_c f_c \quad (1)$$

ここに、 f_c ：コンクリート強度、 f_{sy} ：鋼管の降伏強度、
 A_c ：コンクリート断面積、 A_s ：鋼管の断面、
 η ：耐力上昇効果：0.27

図-7(a)に式(1)による算定値と実験値を比較したものを示す。圧縮強度は相対比は $N_{exp}/N_u=1.06$ である、相関係数 $r=0.99$ という結果から評価式ならびに実験結果の妥当性を確認できる。CFTと同様な拘束効果を期待してCFDSTにもこの計算式が適用できると考える。ここでは、CFDSTの内鋼管の耐力を考慮する必要があるため内鋼管の耐力を単純に累加する方式も使われていることから次の式から求めた値と実験結果を比較した。

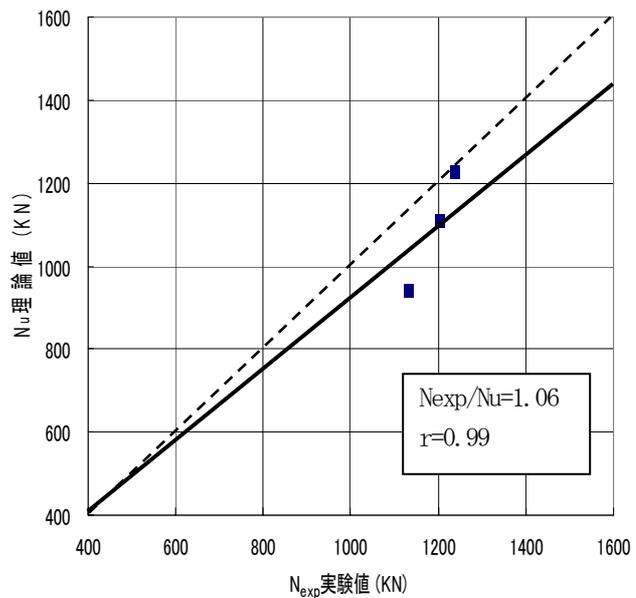
● CFDSTの圧縮耐力の算定強度

$$N_u = (1 + \eta)A_{so} f_{soy} + A_{si} f_{siy} + A_c f_c \quad (2)$$

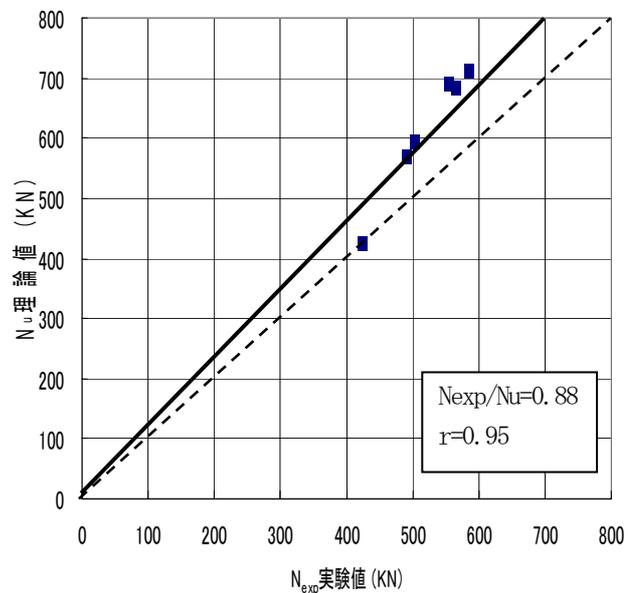
ここに、 f_{so} ：外鋼管の降伏強度、 A_{so} ：外鋼管の断面積、
 f_{si} ：内鋼管の降伏度、及び A_{si} ：内鋼管の断面積
 この算定値を用いてCFTと同様に相関係数を求めて比較した結果を図-7(b)に示す。圧縮強度の相対比は $N_{exp}/N_u=0.88$ 、相関係数 $r=0.95$ という結果になった。相関係数はその値が0.7~1の値であるならば、強い相関係数があるとみられることから、CFT算定式を用いて同様な効果を内鋼管にも期待しCFDSTの強度算定がある程度可能であることがわかった。

4. 結論

- 1) 各々の試験体を比較した結果、最大荷重はCFTが最も高い外鋼管によるコンクリートに対するコンファインド効果も最も優れていることがわかった。
- 2) 圧縮強度と破壊形状からCFDSTは外鋼管あるいは内鋼管とコンクリートの組み合わせにより、高い強度や鋼管のコンファインド効果がみられたが、CFTに比べてわずかであったため、今後コンファインド効果がより期待できる構造形式の対案が望まれる。
- 3) CFDSTにおいて外鋼管と内鋼管の拘束効果が大きくないためコンクリートが早期にせん断破壊した可能性が



(a) CFT



(b) CFDST

図-7 CFT圧縮耐力の算定値と実験値の相関関係

あり、2軸圧縮状態となる内鋼管の厚肉化が必要と考えられる。

- 4) 供試体 C3-So/Si (外鋼管あるいは内鋼管をコンクリートと複合化)の製作や養生の過程でコンクリートにひび割れが生じ、さらに鋼管とコンクリートが分離してしまう問題が多くみられた。
- 3) 結論の確認のための再試験が必要である。
- 5) CFDSTタイプにおいては外鋼管は軸方向に圧縮力を受けながら、主に円周方向に引張力を受けている。さらにコンクリートの拘束効果を効率的に発揮させるためには、外鋼管の広径を抑える構造詳細が望まれる。また、内鋼管は軸方向と円周方向に圧縮力を受けている。

以上をまとめると、外側に鋼管より薄い断面で引張強度が大きく弾性係数が大きい材料（FRP など）を、内側に圧縮に強い厚肉の鋼管を用いた構造形式の検討が必要であると考えられる。

- 4) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工方針, pp,1-40, 1997.
- 5) Teng, J.G, T. and Wong, Y.L. : Hybrid FRP-Concrete-Steel Double-Skin Tubular Structural Members, 2nd International Conference on Steel and Composite structures, 2-4 September 2004, Submitted.

参考文献

- 1) 日本道路公団(1998): 鋼管・コンクリート複合構造橋脚設計マニュアル, 1998.8.
- 2) 早見 真, 上中宏二郎, 鬼頭弘明, 園田恵一郎 : 二重鋼管・コンクリート合成柱の中心圧縮実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集 vol. 58 回: I-506, 2003.
- 3) 日本鋼構造協会 : 土木におけるコンクリート充填鋼管構造の現状と今後の課題, pp,1-33, 1998.

Structural Behavior of Concrete-Filled Double-Skin Tubular Columns

Hyunjoon CHOI, Kunitomo SUGIURA and Yoshinobu OHSIMA

The objective of this study is to examine the structural performance of proposed Concrete-Filled Double-Skin Steel Tube (CFDST). CFDST is a composite member made of outer, and inner steel, and concrete filled in between two steel tubes. Its advantages may be when CFDST is used as structural member in seismically active regions⁵⁾ because it has lighter weight than Concrete Filled Tubular (CFT). In this study, the specimens of CFDST are made in the shape of short columns tested under compression and the thickness to Diameter ratio of outer and inner steel tubes is assessed.