

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04338

研究課題名(和文) 軽量コンクリート充填二重鋼管合成部材の終局強度に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental study on mechanical behavior of lightweight concrete filled double skin tubular members

研究代表者

上中 宏二郎 (Uenaka, Kojiro)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：70332046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：二重鋼管・コンクリート合成(CFDST)部材とは、同心円上に二種類の鋼管を配置して、両鋼管の間にコンクリートを充填した構造部材であり、高い耐震性を有するコンクリート充填鋼管構造(CFT)部材と比較して軽量となる。

また、細骨材、ならびに粗骨材に人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート(LC)は、普通コンクリート(NC)と比較して20%の軽量化が可能である。

本研究では、CFDSTにLCを用いたL-CFDST部材の力学特性を目的とした実験的検討を行った。実験変数は、外鋼管の径厚比、ならびに内径・外径比であり、L-CFDST部材の終局強度算定手法を提案することを目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、橋脚への使用を目的としたCFDSTの新たな構造形式としてさらに軽量化したL-CFDST部材の力学特性の把握を目的とした実験的検討である。軽量構造物のCFDST部材をさらに軽量化させることが可能であり、橋脚の耐震性能が向上し、減災効果が期待できる。

得られた一連の実験的検討により、中心圧縮強度は鋼管とLCの累加強度でおおむね評価できること、また、曲げせん断強度は普通コンクリートを用いたCFDSTの終局強度と同等の算定手法により、評価できることを確認した。さらに、L-CFDSTの破壊形式、ならびに終局強度は、外鋼管の径厚比、ならびに内径・外径比に影響を受けることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Concrete filled double skin tubular, CFDST, member consists of double concentric circular/square steel tubes and in-filled concrete between double walls. CFDST member with hollow section is consequently lighter than concrete filled steel tubular, CFT, member, which holds high deformabilities and large toughness owing to confined effect between steel tube and in-filled concrete, with solid section.

The lightweight concrete(LC) consists of cement, water and coarse and/or fine structural lightweight aggregates. The LC is 20% lighter than the normal concrete, NC.

This study aims to investigate mechanical behavior of lightweight concrete filled double skin tubular, L-CFDST, member. Selected test parameters are diameter-to-thickness and inner-to-outer diameter's ratios. Method to predict ultimate capacities of L-CFDST member under compression and bending-shear is mainly discussed.

研究分野：構造工学

キーワード：L-CFDST 軽量コンクリート CFT 内径・外径比 径厚比

1. 研究開始当初の背景

二重鋼管・コンクリート合成(Concrete filled double skin tubular, CFDST)部材は、図-1a)に示すように異なる二種類の直径の鋼管を両鋼管の間みに充填した中空断面を有する。したがって、CFDST 部材は従来のコンクリート充填鋼管¹⁾Concrete filled steel tubular, CFT, 図-1b)参照)部材と比較して内鋼管内部が空洞となるために必然的に自重を軽減できると考えられる。

一方、コンクリートの細骨材に膨張頁岩系の構造部材用の人工軽量骨材を用いた軽量骨材コンクリート(Lightweight concrete, LC)²⁾は、従来のコンクリート(Normal concrete, NC)と比較して約 20%の軽量化が可能である。しかしながら、LC を使用した RC はりはせん断強度が低下することが指摘されており、具体的には NC を用いたものよりも 70%に低減されている³⁾。

以上より、本研究では、CFDST 部材を軽量化させた軽量コンクリート充填 2 重鋼管部材(L-CFDST)の力学特性の把握を試みることにした。

2. 研究の目的

本研究では、CFDST の充填材料に膨張頁岩系の細骨材、ならびに粗骨材の LC を用いた L-CFDST 部材の力学特性に関する実験的検討を行った。LC を用いることに、従来の普通コンクリートを用いた CFDST (N-CFDST)と比較してさらなる軽量化が図れるとともに、LC は挟まれた内外鋼管によって弱点であるせん断の補強が得られると考えられる。

本研究の具体的な実験変数は、外鋼管と板厚の比(径厚比(D_o/t_o)), および L-CFDST 部材の特有のパラメータである内鋼管と外鋼管の直径の比(内径・外径比(D_i/D_o))であり、両者変数が力学特性に与える影響について実験的に検討した。さらに、L-CFDST 部材の終局強度算定手法を提案し、実構造物へ供するための基礎的データを得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、L-CFDST 部材の力学特性の把握を目的とした中心圧縮、ならびに曲げせん断による実験的検討を行った。詳細は以下のとおりである。

(1)中心圧縮実験

使用した内外鋼管は鋼板厚 $t_i, t_o=1.0, 1.6, 2.3\text{mm}$ を円形状に加工し、突合せ溶接することにより製作した。内鋼管の直径(D_i)は 38mm, 75mm ならびに 113mm である。外鋼管直径(D_o)は 160mm, 供試体高さ(H)は 450mm と固定している。また、内鋼管、および外鋼管厚(t_i, t_o)は 1.0, 1.6, ならびに 2.3mm であり、内外鋼管厚は等しくしている($t_i=t_o$)。また、内鋼管径(D_i)は

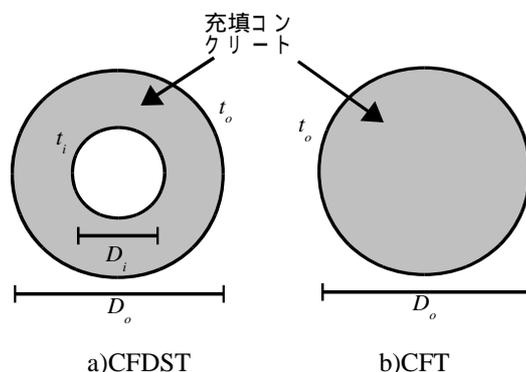


図-1 CFDST と CFT

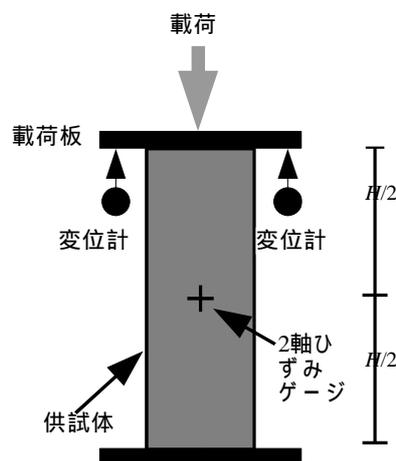
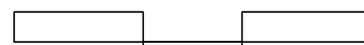
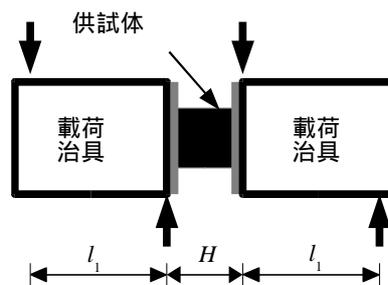
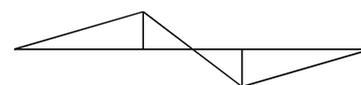


図-2 中心圧縮実験



(SFD)



(BMD)

図-3 曲げせん断実験

38mm, 75mm, 113mm としている。したがって、内径・外径比(D_i/D_o)、および外鋼管の径厚比(D_o/t_o)は、それぞれ 0.23~0.70、および 70~160 の範囲となっている。さらに、鋼管上部には溶接破壊防止のための 7mm×7mm の鋼材を円形にしたリングを溶接した。

図-2 に荷重方法を示す。L-CFDST 短柱供試体の中央部分の南北方向に 2 軸ひずみゲージを内外鋼管外側に貼付した。また、供試体上部に変位計を設置し、L-CFDST 短柱の変形性能を測定した。2MN アムスラー試験機により単調荷重方法を用いて L-CFDST 短柱に中心圧縮力を与え、明確な破壊モードが発生するまで目視した。

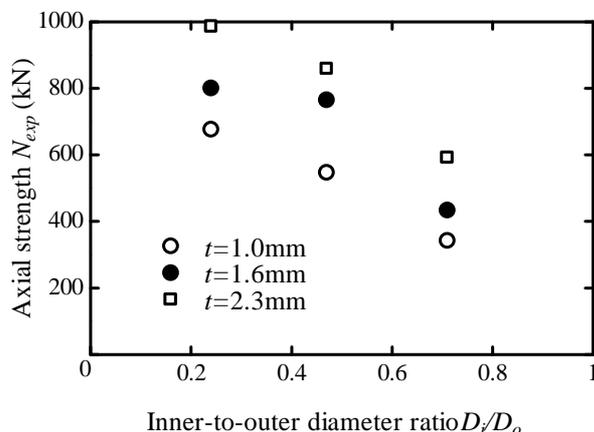


図-4 中心圧縮強度と内径・外径比

(2) 曲げせん断実験

図-3 に荷重方法を示す。供試体両端部に荷重治具を合計 16 本の高力ボルトで固定した。荷重方法は、500kN 荷重試験装置を用いて逆対称二点荷重方法を用いた。この方法により、曲げモーメントは反転するものの、L-CFDST 供試体に一定のせん断力を与えることが可能である。また、外鋼管の直径(D_o)は 160mm と一定、内鋼管、および外鋼管厚(t_i, t_o)は 1.0, 1.6, ならびに 2.3mm であり、内鋼管径(D_i)は 38mm, 75mm, ならびに 113mm としている。したがって、外鋼管の径厚比(D_o/t_o)、ならびに内径・外径比(D_i/D_o)はそれぞれ 0.23~0.7, および 70~160 の範囲となっており、これらは、上記の中心圧縮実験と同じ値である。さらに、供試体中央部に二軸ひずみゲージ、ならびに三軸ひずみゲージを貼付し、鋼管のひずみ状態を測定した。なお、荷重点直下に変位計を設置し、L-CFDST 部材の曲げせん断変形性能を測定した。

4. 研究成果

本研究は、同じ径厚比(D_o/t_o)、ならびに内径・外径比(D_i/D_o)を実験変数とした L-CFDST 部材の中心圧縮実験ならびに曲げせん断実験を行い、これらの実験変数が両終局強度に与える影響について実験的に検討したものである。結論付けられる事項を列記すると以下のとおりである。

- (1) 中心圧縮実験で得られた破壊形式は、コンクリートのせん断破壊に伴う鋼管の局部座屈であった。また、内径が大きいものは Elephant-foot 型の座屈を呈していた。さらに、内鋼管は LC のせん断破壊面に沿って鋼管が内側に座屈していた。一方、曲げせん断実験では、せん断変形が進行し終局状態となった。
- (2) L-CFDST 短柱の中心圧縮強度は、おおむね充填コンクリートと内外鋼管のそれぞれの累加強度で評価することが可能であった。しかしながら、Elephant-foot 型の破壊形式が見られた $D_i=113$ mm のものは、累加強度を大きく下回った。さらに、L-CFDST 短柱の中心圧縮強度は、普通コンクリートを用いた N-CFDST 短柱のそれよりも控えめな値となった。
- (3) L-CFDST 部材のせん断強度は、従来の RC のディープビームとせん断補強筋のそれぞれの累加強度で評価することがおおむね可能であった。
- (4) 内径・外径比(D_i/D_o)が大きくなると L-CFDST 短柱の中心圧縮強度は、図-4 に示すように低下する傾向が見られた。これは、既報⁴⁾で行った N-CFDST 短柱の傾向と一致した。
- (5) 外鋼管の径厚比(D_o/t_o)が大きくなると中心圧縮強度、ならびに曲げせん断強度は低下した。これは、N-CFDST 部材の挙動と同じであった。
- (6) 得られた中心圧縮、ならびに曲げせん断変形性能は径厚比が大きくなると低下した。この挙動は従来の N-CFT のものと同様であった。また、内径・外径比が大きくなると中心圧縮、ならびに曲げせん断変形性能は低下した。

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，丸善，2008.
- 2) 笠井芳夫編：軽量コンクリート，技術書院，pp. 71-87，2002.
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，丸善，p. 191，2017.
- 4) Uenaka, K.: Concrete Filled Double Skin Circular Tubular Beams with Large Diameter-to-thickness Ratio under Shear, Thin-Walled Structures, Elsevier, Vol. 70, pp. 33-38, 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上中宏二郎, 水越睦視	4. 巻 42
2. 論文標題 二重鋼管・軽量コンクリート合成短柱の圧縮特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 931-936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uenaka Kojiro, Mizukoshi Mutsumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Lightweight concrete filled steel tubular beam under bending-shear	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Structures	6. 最初と最後の頁 659 ~ 666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.istruc.2020.12.072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上中宏二郎, 水越睦視	4. 巻 1
2. 論文標題 軽量コンクリート充填鋼管部材の 曲げせん断特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 85-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森崎智哉, 上中宏二郎, 水越睦視, 酒造敏廣
2. 発表標題 二重鋼管・軽量コンクリート充填合成短柱の圧縮特性
3. 学会等名 2019年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 1-8, 2019.
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	水越 睦視 (Mizukoshi Mutsumi) (10455165)	神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授 (54502)	
研究 分担者	酒造 敏廣 (Miki Toshihiro) (90137175)	神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・特任教授 (54502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------