

コンクリート充填スパイラル鋼管柱の正負交番載荷実験と その耐震性能評価法に関する基礎的研究

Seismic performance evaluation of concrete filled spiral steel tubes based on reversal cyclic loading tests

秋山充良*, 内藤英樹**, 小野潔***, 山口恭平****, 鈴木基行*****

Mitsuyoshi Akiyama, Hideki Naito, Kiyoshi Ono, Kyohei Yamaguchi and Motoyuki Suzuki

*博(工), 東北大学准教授, 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

**博(工), 東北大学助教, 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

***博(工), 東京工業大学准教授, 大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

****東北大学, 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

*****工博, 東北大学教授, 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

Concrete-filled circular spiral steel tubes (CFST) were tested under cyclic lateral force and a constant axial load. The welded part of this steel tube form a spiral and the seam-welded part is thicker than the steel tube wall. The test results showed that filling in steel tube with concrete enhanced the loading capacity and ductility of the CFST, and the spiral-welded part had no influence on the tube's flexural behavior. It was confirmed that the evaluation of the seismic performance of CFSTs does not need to take the existence of a spiral-welded part into consideration, and the relationship between load and horizontal displacement of CFSTs can be evaluated based on current design specifications.

Key Words: spiral steel tube, concrete-filled circular steel tube, seismic performance, reversal cyclic loading test

キーワード: スパイラル鋼管, コンクリート充填鋼管, 耐震性能, 正負交番載荷実験

1. はじめに

コンクリート充填鋼管構造を用いた橋脚(CFT 橋脚)では, 鋼管内部に充填されたコンクリートが鋼管の局部座屈を抑制し, また鋼管がコンクリートを横拘束することにより耐荷力と変形性能が向上する. 鉄筋コンクリート橋脚(RC 橋脚)に比べ, 橋脚断面を縮小化でき, さらに施工性の観点でも, コンクリート打ち込み時に鋼管が型枠の役割を果たすことから, 施工の合理化を可能にする. これらの利点により, 用地買収や施工の制約が厳しい都市内高架橋などでは, CFT 橋脚が利用されることが多い¹⁾. 一方で, 躯体自体の建設コストとしては, 一般に RC 橋脚の方が優位にある. 近年は, 橋梁の橋種選定の判断基準において, コスト比較が最重要な項目となっていることを考慮すると, 安価な CFT 橋脚の建設を可能にすることは, 都市内ではもちろん, 従来は RC 橋脚が用いられる地点でさえも CFT 橋脚が選択肢となり得

るため, 設計の自由度の拡大に寄与する. 本研究は, この背景のもと, 安価に入手可能なスパイラル鋼管を用いたコンクリート充填鋼管橋脚の実現のため, その耐震性能に関する基礎検討を行ったものである.

スパイラル鋼管は, 主に杭として使用されている. その製造では, コイルを連続的に巻き戻しながら, 成形ロールでスパイラル状に曲げて円筒にした後, 継目を溶接している. そのため, 図-1 に示すように, 溶接部(シーム)は螺旋形となり, 従来, 使用されてきた電縫鋼管等の冷間成形鋼管部材と比べて, 形状初期不整や初期応力は複雑になる. 現在までに, スパイラル鋼管の基本的な力学特性の把握を目的として, 一軸圧縮実験^{2,3)}が行われている. 一軸圧縮実験では, シームの存在により, コンクリート充填をしない場合にはスパイラル鋼管と通常の電縫鋼管で力学特性に差が現れることが報告されている. しかし, 正負交番載荷実験などに基づきスパイラル鋼管の耐震性能が検討された例はほとんどない.

表－1 供試体諸元と実験結果

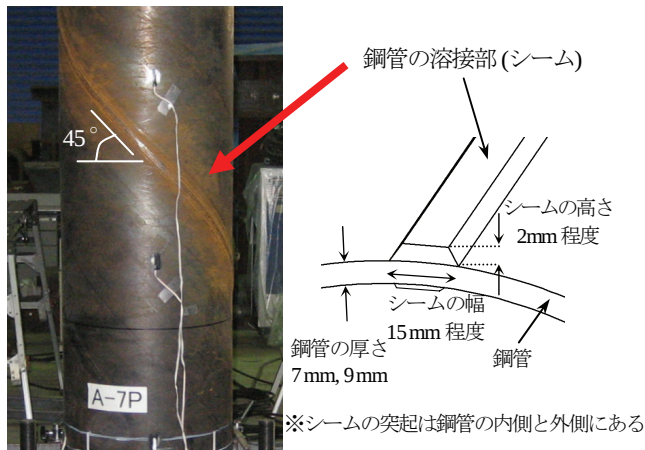
供試体名 ^{※1}	供試体諸元				実験結果 ^{※4}							
	外径 (mm)	厚さ (mm)	径厚比	軸力 (kN)	降伏点		座屈発生点 ^{※3}		最大荷重(P_{max})点		$0.9 P_{max}$ 点	
					変位 (mm)	荷重 ^{※2} (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)
A-7P	400	7.0	57	408	6.6	92	34 ($5\delta_y$)	231	34 ($5\delta_y$)	231	40 ($6\delta_y$)	211
A-7C					6.9	119	35 ($5\delta_y$)	294	42 ($6\delta_y$)	297	71 ($10\delta_y$)	263
A-9P		9.0	44	522	6.2	116	42 ($6\delta_y$)	369	42 ($6\delta_y$)	369	56 ($8\delta_y$)	336
A-9C					7.4	150	42 ($6\delta_y$)	424	55 ($8\delta_y$)	433	85 ($12\delta_y$)	395

※1：A-7P と A-9P は無充填鋼管柱，A-7C と A-9C は CFST 柱

※2：式(2)の変位に達した時の荷重（実験値）

※3：目視による座屈発生点

※4：正載荷における載荷ステップの最大変位点



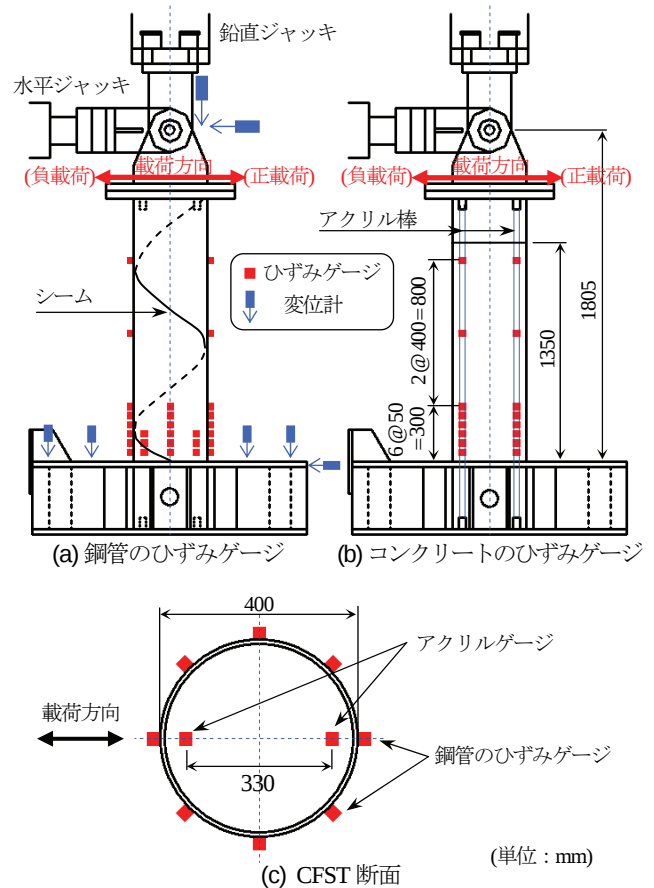
図－1 実験に使用したスパイラル鋼管

そこで本研究では，スパイラル鋼管単体と，コンクリートを充填したスパイラル鋼管の計4体の正負交番載荷実験を実施し，シームの存在が損傷進展に及ぼす影響や，コンクリート充填による部材変形性能や耐荷力といった耐震性能の向上の程度などを実験的に確認する．また，既往の設計式の適用性を考察することで，その耐荷力や変形性能などを電縫鋼管を用いた CFT 柱と同様に評価することの妥当性も検討している．なお，以降の章では，CFT 柱とスパイラル鋼管を用いたコンクリート充填鋼管柱を区別するため，後者を CFST 柱と称している．

2. スパイラル鋼管を用いたコンクリート充填鋼管 (CFST) 柱の正負交番載荷実験

2.1 実験概要

供試体諸元の一覧と載荷状況をそれぞれ表－1 と図－2 に示す．表－1 には後述する正負交番載荷実験の結果も示している．コンクリート充填の有無と鋼管の径厚比（鋼管の外径/鋼管厚さ）を実験パラメータとして，これらが耐荷力や変形性能に及ぼす影響を検討する．せん断スパン比は，既存の CFT 橋脚を参考に 4.0 とし，径厚比も一般的な範囲に入る 44 と 57 とした．軸力は，既往の



図－2 載荷状況とひずみゲージの貼付位置

鋼管柱の正負交番載荷実験⁴⁾と同様に，鋼管の公称降伏応力から計算される軸耐力の 15%を与えている．供試体にダイヤフラムは設けていない．シームと荷重載荷方向の位置関係は，図－2 に示されるように，全ての供試体で載荷直角面の柱基部にシームが位置するように柱とフーチングを溶接している．

道路橋示方書⁵⁾では，充填コンクリート直上の鋼断面が降伏もしくは局部座屈をしない高さまでコンクリートを充填している．一方，鉄道構造物等設計標準（鉄道標準）⁶⁾では，鋼管全体にコンクリートを充填することが規定されている．コンクリート充填高さが高いと，基

※ ひずみは大ひずみゲージにより測定

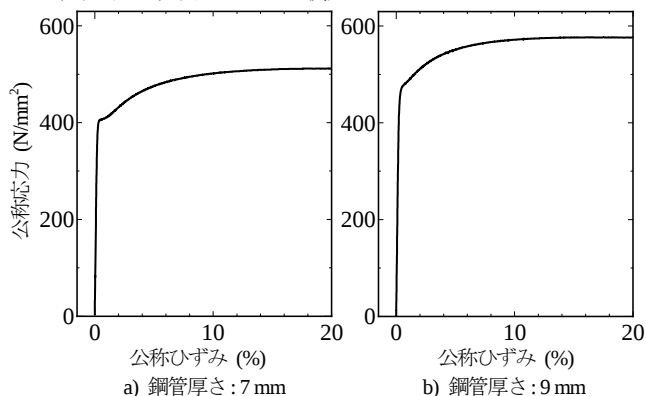


図-3 スパイラル鋼管片の引張試験の結果

礎構造物への負担が大きくなり、その結果としてコスト増をもたらす可能性がある。そこで本研究では、道路橋示方書に従い、柱基部から 1350mm (柱高さの 3/4) の位置までコンクリートを充填することにした。

スパイラル鋼管の製造においては、帯鋼 (ホットコイル) を連続的に巻き戻しながら、成形コイルにより螺旋状に曲げ、継目を内外面から溶接している。そのため、製作過程で塑性加工を受けることになる⁷⁾。鋼材は、塑性加工を受けると降伏棚が消失するなど、鋼板と比べてその機械的性質が変化することが報告されている²⁾。そこで、本研究では、スパイラル鋼管に関する既往の研究²⁾と同様に、スパイラル鋼管から軸方向に切り出した試験片 (JIS 12C 号試験片) により引張試験を行った。なお、試験片は、鋼管厚さ 7mm および 9mm のスパイラル鋼管からそれぞれ 3 本ずつ切り出した。引張試験から得られる公称応力-公称ひずみ関係の一例を図-3 に示す。また、3 本の引張り試験片による試験結果の平均値 (降伏点は 0.2% オフセット値) を表-2 に示す。図-3 より、既往の研究²⁾と同様に、塑性加工により明確な降伏棚が現れていないことが確認される。

表-2 には、コンクリートの材料試験結果も示した。これは、CFST 柱に充填したコンクリートと同じ養生条件で得られたテストピース ($\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$) 3 本の平均値である。既存の CFT 柱では低強度コンクリートが使用されていることから⁵⁾、本実験でも目標強度 18N/mm² のコンクリートを充填した。

2.2 荷重方法と測定項目

所定の軸力を与えた後、鋼管最外縁が公称降伏応力に達するまでの水平変位 (降伏変位 δ_y) を荷重した。そして、降伏変位の 1 倍 ($1\delta_y$)、2 倍 ($2\delta_y$)、3 倍 ($3\delta_y$) …と降伏変位の整数倍ごとに 1 回ずつ変位制御で交番荷重を与えた。なお、正負交番荷重の繰返し荷重の基準となる降伏変位 δ_y の決定方法としては、供試体に貼付したひずみゲージから測定されるひずみ値を基に決定するもの、ベルヌイ・オイラーの梁理論に基づく計算から求まる変位を用いるもの等、何種類か存在する。本研究では、コンクリート充填および無

表-2 材料試験の結果

鋼 管 (SKK490)			
鋼管厚さ	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
7 mm	409	516	1.92×10^5
9 mm	470	576	2.01×10^5
コンクリート			
供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	
A-7C	19.6	1.90×10^4	
A-9C	18.9	1.90×10^4	

充填鋼管柱の多くの正負交番荷重実験が行われた既往の研究⁴⁾と同様、降伏変位 δ_y として、以下に示す式(2)で求まるベルヌイ・オイラーの梁理論に基づく変位を用いた。

$$P_y = \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \right) \frac{W}{h} \quad (1)$$

$$\delta_y = \frac{P_y h^3}{3EI} \quad (2)$$

ここで、 σ_y は鋼管の公称降伏応力、 N は実験時に供試体に作用させる軸力、 A は鋼管のみの断面積、 W は鋼管のみの断面係数、 h は荷重点高さ、 E は鋼管のヤング係数、 I は鋼管のみの断面 2 次モーメントである。

図-2 に示す荷重方法では、水平荷重に伴うフーチングの水平変位と回転変位の影響を無視できないため、既往の正負交番荷重実験⁴⁾と同様に、図中に示すフーチングに設置した変位計の値を用いて、フーチングの変形に伴う荷重荷重位置の水平変位を補正した。表-1 や後述する実験結果の各変位は、この補正を行った後の変位である。そのため、例えば、A-7P と A-7C は同じ δ_y で、この値に基づき交番荷重を与えているが、表-1 などに示す降伏点の変位は補正の影響により異なっている。

スパイラル鋼管には、図-2 に示す位置にひずみゲージを貼付している。また、CFST 柱では、充填コンクリートの軸ひずみを計測するため、ひずみゲージを貼付した異形角型アクリル棒を鋼管内面から 25mm の位置に埋め込んでいる。アクリル棒に貼付したひずみゲージと柱基部からの距離が同じ位置の鋼管にもゲージを貼付している。この測定値により、鋼管と充填コンクリートの平面保持則の成立を確認する。なお、異形角型アクリル棒を用いた計測方法は、Nakamura and Higai⁸⁾により考案されたものであり、著者らも、RC 柱や CFT 柱の一軸圧縮実験により柱長さ方向のコンクリートの軸ひずみ分布を精度良く測定できることを確認している^{3,9)}。

2.3 実験結果

(1) 荷重-変位関係と損傷状況

各供試体の荷重-変位関係を図-4 に示す。図-4 に

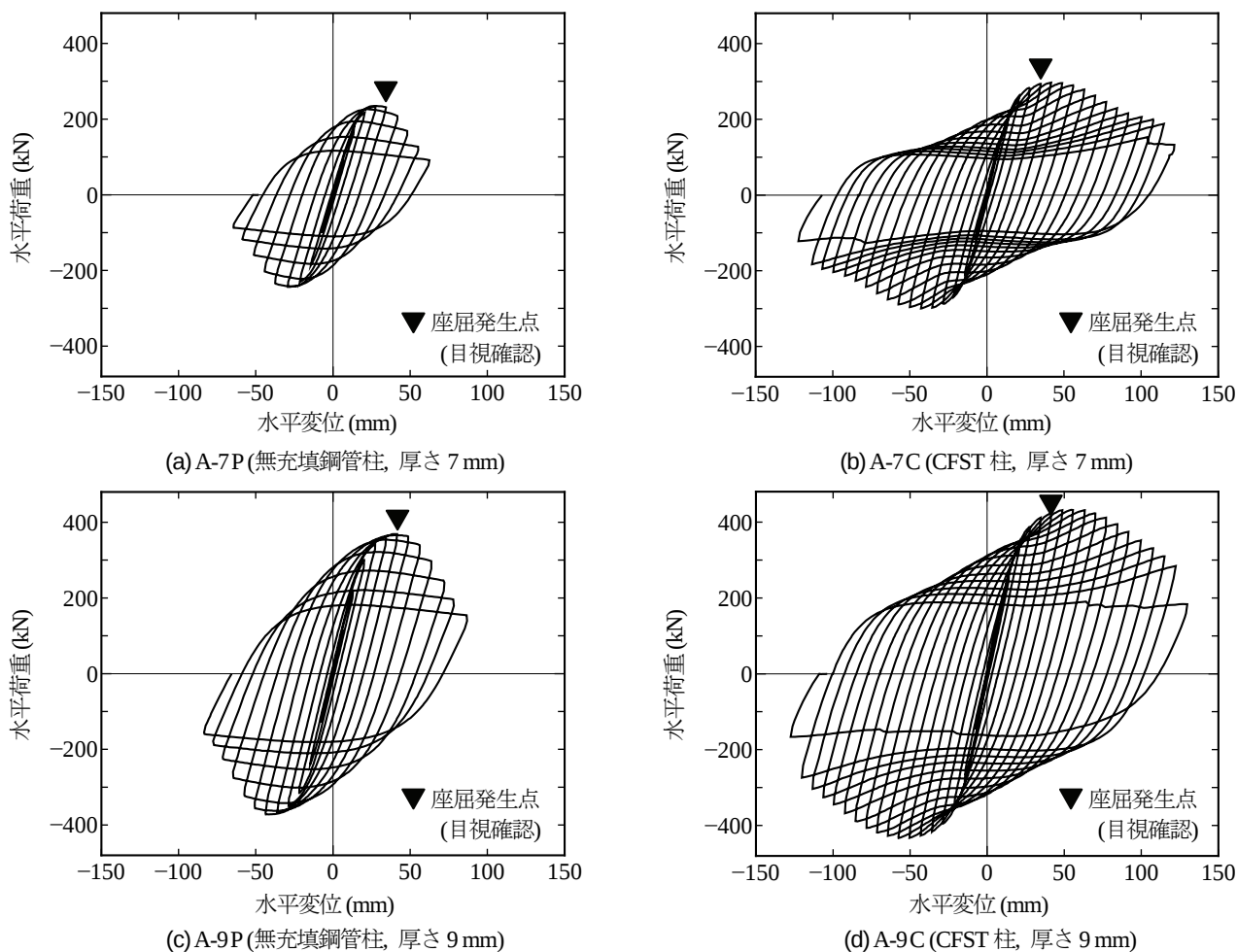


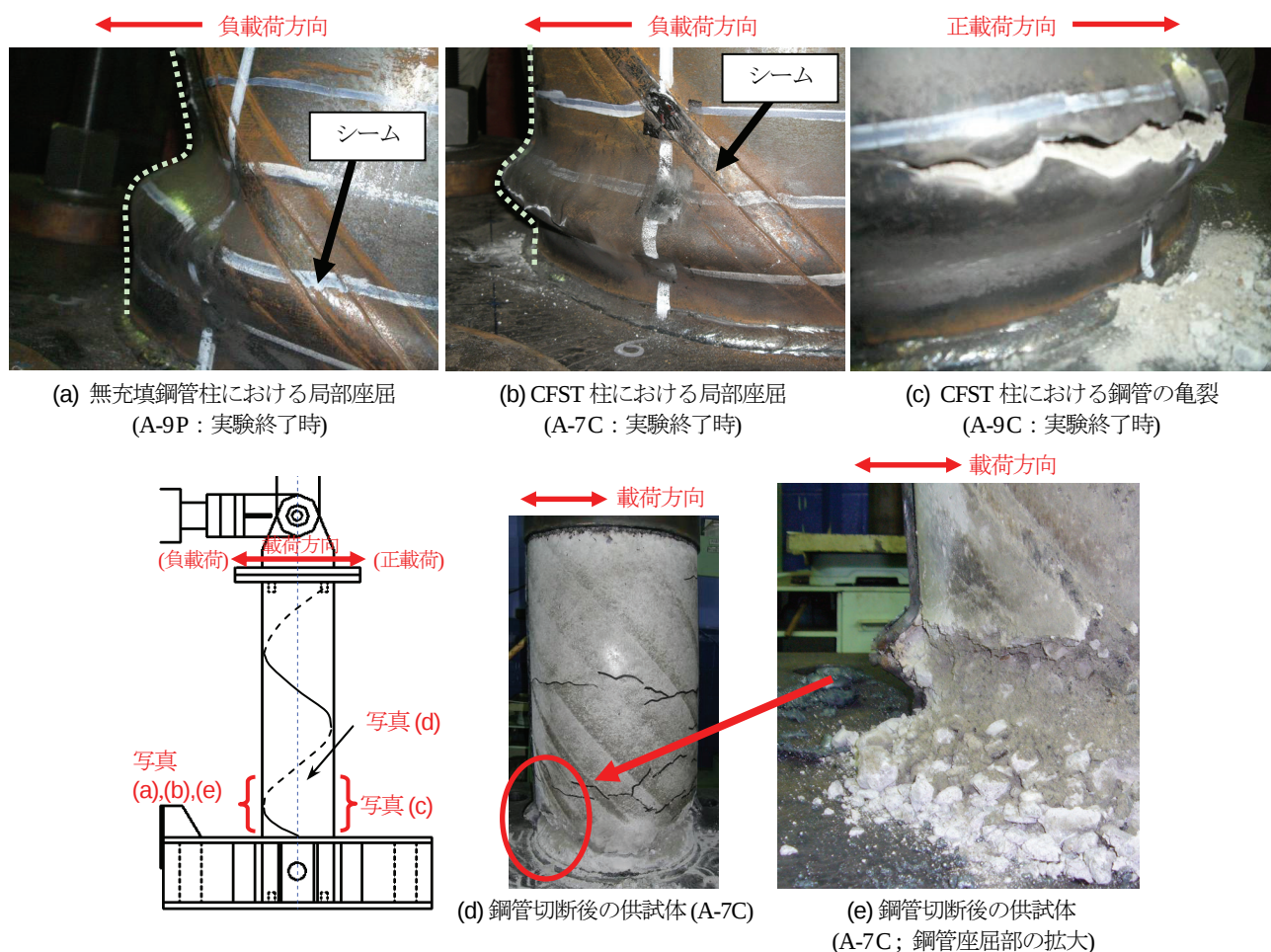
図-4 荷重－変位関係

は目視により確認されたスパイラル鋼管の局部座屈発生点も示している。降伏点や最大荷重点の具体的な荷重や変位の値は表-1 に示してある。

コンクリート無充填の A-7P や A-9P は、柱基部に鋼管の局部座屈が確認されるのとほぼ同時に最大荷重となり、局部座屈の進展に伴って荷重が低下した。A-7P (鋼管厚さ 7 mm) の座屈発生点が $5\delta_y$ であるのに対し、A-7P と比較して径厚比の小さい A-9P (鋼管厚さ 9 mm) は $6\delta_y$ であった。この結果は、径厚比が小さいほど最大荷重時の変位塑性率が大きくなるという、既往のベンディングロールで作られた円形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果⁴⁾と一致している。また、鋼管厚さ 9 mm の A-9P では、負載荷 (図-2 参照) を与えたときの柱基部に、写真-1 (a) に示すようにシームに沿って鋼管が柱内側に入り込む座屈形状 (非軸対称座屈) が現れた。一方、正載荷を与えたとき、および A-7P の正載荷や負載荷を与えたときでは、写真-1 (b) に示されるように、柱基部で鋼管が周方向外側にはらみ出す象の足座屈 (軸対称座屈) となった。ベンディングロールによる円形鋼管柱の正負交番載荷実験⁴⁾によると、A-9P、A-7P の径厚比と近い径厚比を有する供試体では、正載荷と負載荷のいずれ

も象の足座屈となるのに対し、A-9P の負載荷では螺旋状のシームによって座屈形状が非軸対象座屈に変化したと考えられる。最終的にこれらの無充填鋼管柱は、柱基部の溶接部や鋼管座屈部に亀裂が生じることなく、最大荷重の 50% まで水平荷重が低下したため載荷を終了した。なお、本研究は、CFST 橋脚の耐震性能の検討を主眼に置いており、無充填スパイラル鋼管の正負交番載荷実験は比較実験のために実施したに過ぎない。今後、無充填スパイラル鋼管を橋脚などに使用する場合には、写真-1 (a) と (b) に示される座屈形状の違いや、それらが柱の耐震性能に及ぼす影響などを詳細に検討する必要がある。

一方、CFST 柱 (A-7C、A-9C) では、スパイラル鋼管内部にコンクリートを充填することにより、無充填鋼管柱に対して最大荷重時変位と最大荷重がそれぞれ 1.2~1.3 倍程度増加した。鋼管の局部座屈形状は、鋼管厚さや載荷方向によらず、写真-1 (b) に示すように、両供試体ともに周方向外側にはらみ出す象の足座屈 (軸対称座屈) となった。著者ら³⁾の CFST 柱の一軸圧縮実験では、コンクリートが充填されると座屈形状やその力学特性などにシームの影響が現れないことが確認された。今



回実施した正負交番載荷実験でも、スパイラル鋼管にコンクリートを充填した場合には、鋼管の座屈挙動にシームの存在は影響しない結果となった。コンクリート充填の有無による局部座屈発生時の塑性率に大差は見られないが、CFST 柱では、局部座屈後も直ちに荷重低下は生じない。円形鋼管を対象とした佐藤¹⁰⁾の解析的検討や井浦ら¹¹⁾の正負交番載荷実験では、充填したコンクリートが鋼管内部への座屈変形を抑制することにより鋼管負担分の曲げ耐力の低下が低減され、また、コンクリートが曲げ圧縮力を負担することにより、CFT 柱では鋼管の局部座屈後も優れた変形性能を有することが報告されている。スパイラル鋼管にコンクリートを充填した CFST 柱においても、シームの影響はなく、CFT 柱と同様に優れた変形性能が期待できると考えられる。

最大荷重後は、局部座屈の進展に伴って荷重が低下するが、無充填鋼管柱と比較して軟化勾配は緩やかである。これら 2 体の CFST 柱は、その後の載荷により $17\delta_y$ 程度の載荷ステップにおいて鋼管の座屈部周辺に亀裂線が確認された。そして、写真-1 (c) に示されるように、CFT 柱と同じく座屈頂部において鋼管の破断が生じ、その後に荷重が大きく低下したため載荷を終了した。正負交番載荷実験時に見られる CFST 柱のこれら一連の損傷進展の様子は、CFT 柱の既往の実験で報告されているものと

同様である^{12),13)}。

CFST 柱では、載荷終了後に、正載荷方向に対して右側に位置する鋼管の半円を溶断し、充填コンクリートの損傷状況を確認した。写真-1 (d), (e) は A-7C 供試体のものである。充填コンクリートは、鋼管に局部座屈が生じている領域で粉体となるほど損傷しているのに対し、局部座屈以外の領域では、曲げによるひび割れが数本観察された程度で、ハンマーなどによる衝撃を与えてもコンクリートの剥落は生じなかった。柱長さのうちのごく一部の領域で充填コンクリートは損傷していることになる。A-9C の充填コンクリートも全く同様の損傷状況であった。なお、参考文献 11) で報告されている CFT 柱の実験結果を見る限り、このような充填コンクリートの損傷状況にシームの影響はないと判断できる。

(2) CFST 断面のひずみ分布

CFST 柱には、ひずみゲージを貼付した異形角型アクリル棒を充填コンクリート内に埋め込み、軸ひずみ分布を計測している。 $4\delta_y$ の交番載荷の途中で引張位置にあるアクリル棒が破断したと思われる音が確認され、確かにそれ以降のひずみ値に異常があらわれたことから、ここでは、 $4\delta_y$ (正載荷) までの測定値を用いた考察を行う。

柱基部から 100, 200, 300, 1100 mm の高さにあるアクリル棒のひずみゲージおよび鋼管に貼付したひずみゲ-

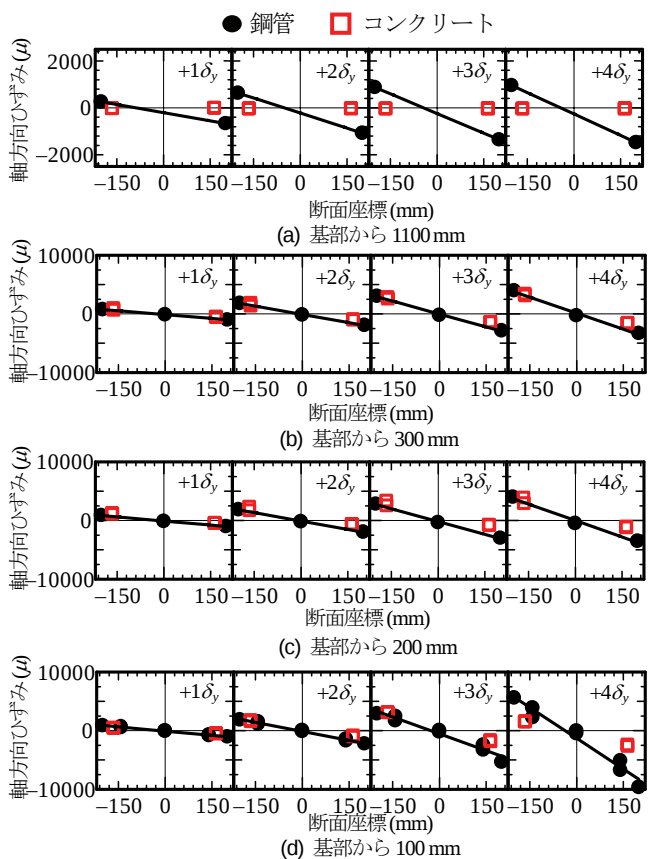


図-5 CFST 断面内のひずみ勾配 (A-7C)

ジを用いて、CFST 断面内のひずみ勾配を検討した。載荷ステップ $4\delta_y$ までの正載荷時の断面のひずみ勾配の変化を図-5 および図-6 に示す。図の縦軸は、引張ひずみを正として示す。なお、正載荷時と負載荷時は概ね同様の結果となることを確認している。柱基部から 300 mm までの区間においては、コンクリートのひずみは、圧縮側と引張側の鋼管に貼付したひずみの測定値を直線で結んだ線上、または、それよりもやや小さい値を示している。異形角型アクリル棒を用いた測定では、コンクリート局所圧縮ひずみが小さく得られる傾向にあることを考慮すると⁹⁾、柱基部から 300 mm の区間では、鋼管とコンクリートは一体となって曲げ挙動しており、平面保持則が概ね成立しているとみなせる。なお、 $4\delta_y$ 以降は、アクリル棒を用いたコンクリートの軸ひずみの測定はできていないが、これ以降は損傷が柱基部に局所化していくのみであり、 $4\delta_y$ 以降も柱基部から 300 mm までの範囲では平面保持則が成立すると推察される。一方、柱基部より 1100 mm の位置では、載荷ステップ $4\delta_y$ まで充填コンクリートにはほとんど軸ひずみが生じていない。CFST 供試体にはダイヤフラムはなく、コンクリートは柱基部から 1350 mm の範囲で充填されている。柱基部から 1100 mm の位置のコンクリートのひずみ値は、コンクリート充填高さが十分でない場合には、コンクリートに軸圧縮力が伝達されないことを示唆している。本実験の範囲では、CFT 柱に対して与えられている充填高さ⁵⁾を CFST 柱に

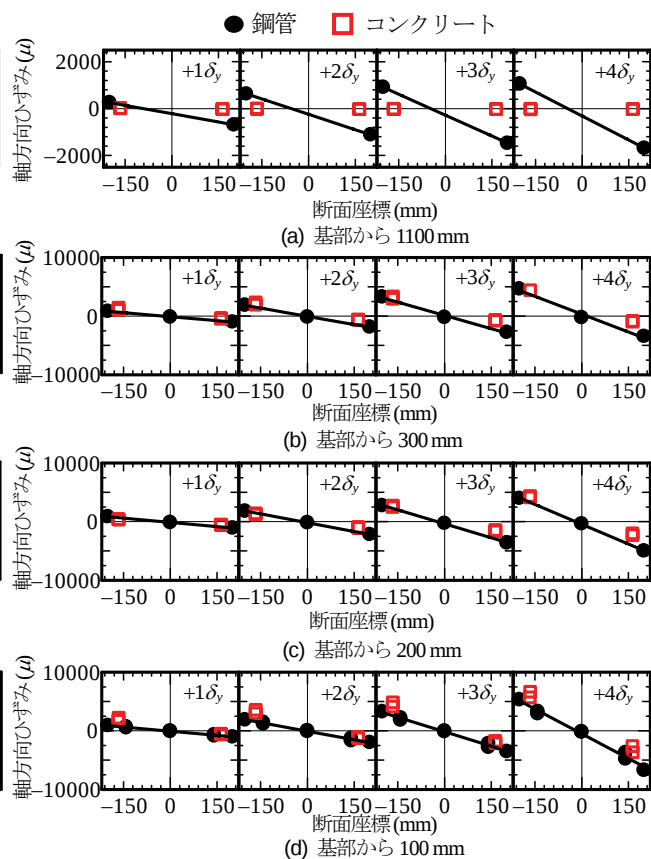


図-6 CFST 断面内のひずみ勾配 (A-9C)

も与えておけば、柱基部において鋼とコンクリートは一体となり曲げに抵抗することが確認された。これは後述する、平面保持則を仮定した降伏や最大荷重の計算値が概ね実験値と一致することからも確かめられる。

(3) 正負交番載荷実験のまとめ

コンクリートを充填しないスパイラル鋼管柱の正負交番載荷実験では、鋼管厚さ 9 mm の供試体において、写真-1 (a) に示すようにシームに沿って鋼管内側への座屈変形が生じるなど、シームが存在することの影響が確認された。前記したように、コンクリート未充填のスパイラル鋼管を橋脚として使用するためには、今後、シーム周辺の溶接による残留応力や初期不整などを考慮した詳細な検討が必要である。

一方、コンクリートを充填した場合には、局部座屈の形状や損傷の進展、および荷重-変位関係などの実験事実において、シームの影響は一切現れていない。つまり、本実験結果に基づくと、CFST 柱の耐力や変形性能の評価ではシームの影響を考慮する必要はなく、既存の CFT 柱の評価法をそのまま適用できると推察された。次章では、CFST 柱の荷重-変位関係の評価法について検討する。

3. CFST 柱の荷重-変位関係の評価

CFST 柱の耐震性能をシームの存在を無視して評価す

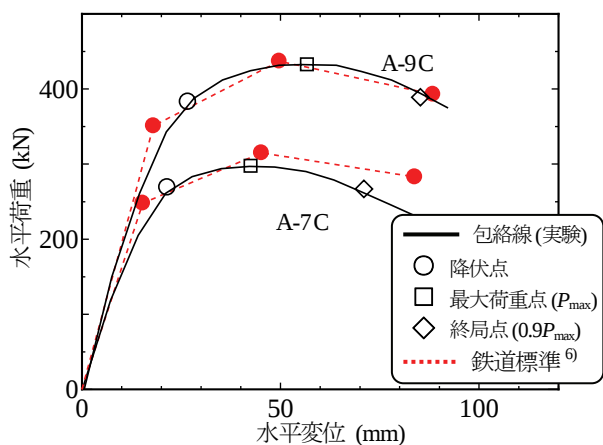
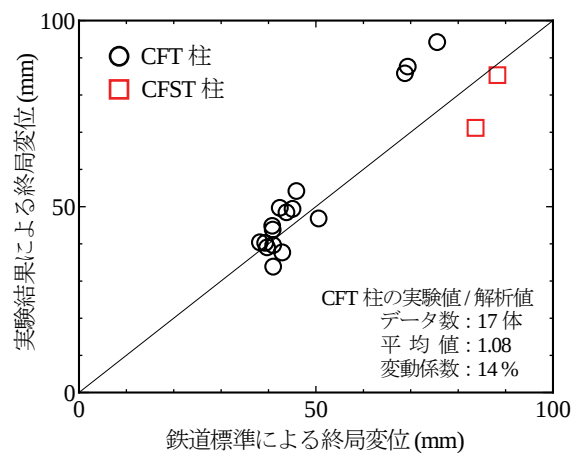


図-7 CFST 柱の実験結果と鉄道標準との比較

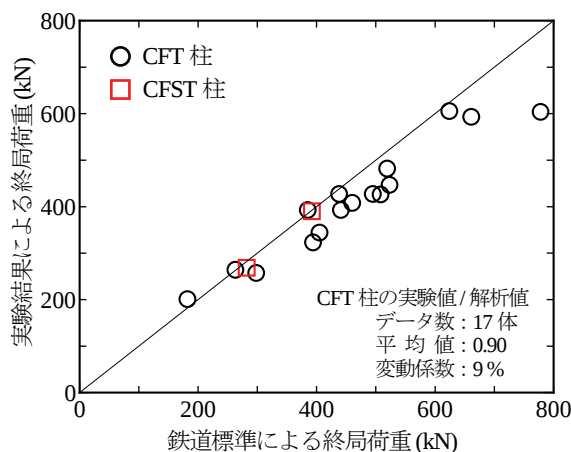
ることの妥当性を検討する。すなわち、CFT 柱の正負交番載荷実験に基づき提案された耐力力や変形性能評価式により、CFST 柱の荷重－変位関係の実験結果を再現する。これらの評価式を使用する際は、スパイラル鋼管を電縫鋼管と同じとみなしている。

道路橋示方書の規定では、コンクリートを充填する場合、ダイヤフラムを設けることになっている。しかし、スパイラル鋼管にダイヤフラムを設けることは難しく、仮に設置できたとしてもそれはコスト増の一因となる。そこで、評価式としては鉄道標準⁶⁾のものを使用する。なお、鉄道標準は、鋼管全体にコンクリートを充填することを前提としている。しかし、図-5 や図-6 に示されるように、CFST 柱の荷重－変位関係を支配する柱基部において、コンクリートと鋼管の一体化が確認されていることから、CFST 柱が部分充填であることは特に問題にならないと判断した。鉄道標準の評価式は、電縫鋼管を用いた村田ら^{14),15)}の CFT 柱の正負交番載荷実験に基づいており、降伏点、最大荷重点、および終局点 (最大荷重の 90% まで耐力が低下する点) に相当する水平変位と荷重を定めることができる。

実験により得られた荷重－変位関係の包絡線と鉄道標準による計算結果の比較を図-7 に示す。なお、鉄道標準では、水平力の載荷方向に対して 45° 位置での引張側鋼材が降伏ひずみに達する点を降伏と定義している。そこで、鋼管に貼付したひずみゲージの値から、鉄道標準に従い実験上の降伏点を定めている。これらの比較より、鋼管厚さが 7mm および 9mm のいずれの場合でも、鉄道標準の評価式により実験時の降伏点、最大荷重点、および終局点を概ね良好に再現できることが確認される。また、終局点について、参考文献^{14),15)}の実験値を用いた (実験値)/(鉄道標準評価式) と、(CFST 柱の実験値)/(鉄道標準評価式) の関係を図-8 に示す。降伏点や最大荷重点についても同様の結果を得ている。つまり、CFST 柱に対して鉄道標準の評価式を適用した場合、図-7 に示すような実験結果との差異が認められるものの、それは CFT 柱に対して鉄道標準の評価式を用いた場合に生じる実



(a) 終局変位の算定精度



(b) 終局荷重の算定精度

図-8 鉄道標準による CFT 柱と CFST 柱の終局点の算定精度

験結果との差と同程度にあることが確認された。

これらの検討から、CFST 柱の荷重－変位関係は、シームの存在を考慮することなく、CFT 柱と同様に評価可能と判断された。ただし、本研究では、せん断スパン比や軸力比を実験パラメータとしておらず、さらにはシームと柱基部での交差位置も図-2 に示すように固定している。今後、これらの影響についての検証が必要である。

4. まとめ

本研究は、CFT 柱のコストダウンを目的に考案した、コンクリート充填スパイラル鋼管柱の耐力および変形性能といった耐震性能を正負交番載荷実験に基づき評価したものである。本研究により得られた結論を以下に示す。

1) コンクリートを充填しないスパイラル鋼管柱では、シームに沿った鋼管内側への座屈変形 (非軸対称座屈) が見られた。一方、コンクリートを充填した場合には、電縫鋼管を用いた CFT 柱と同様に、周方向外側に鋼管が一樣にはらみ出す象の足座屈 (軸対称座屈) を呈した。このほか、コンクリートを充填したスパイラル鋼管柱の損

傷進展や荷重－変位関係などに、シームの影響は特に現れなかった。

2) 電縫鋼管を用いた CFT 柱の実験結果に基づき作成された既往の設計評価式により、コンクリート充填したスパイラル鋼管柱の耐荷力や変形性能を評価できた。これらの検討から、コンクリート充填を前提としていれば、スパイラル鋼管を橋脚部材に用いても、CFT 柱と同様にその耐震設計が可能と推察された。

なお、以上の結論は、限定された供試体の正負交番載荷実験に基づき導かれたものである。今後、他の諸元を有する柱について、同様の結論が成り立つのかについての実験的・解析的な検証が必要である。

謝辞

本実験の一部は、「日本鉄鋼連盟 鋼構造研究・教育助成事業 (土木一般研究)」により実施したものです。また、正負交番載荷実験の実施にあたり、JFE 技研 (株) のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大槻茂雄, 川瀬千佳, 高橋裕行, 前沢二郎: 日本初の CFT 構造を用いた鉄道高架橋の設計・施工, コンクリート工学, Vol.36, No.6, pp.16-20, 1998.
- 2) 木村祥裕, 小河利行, 佐伯英一郎: 製造方法の異なる冷間成形鋼管の局部座屈挙動, 鋼構造論文集, Vol.8, No.29, pp.27-34, 2001.
- 3) 山口恭平, 秋山充良, 内藤英樹, 鈴木基行: 一軸圧縮を受ける円形 CFT 柱の力学特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1327-1332, 2008.
- 4) 建設省土木研究所, 首都高速道路公団, 阪神高速道路公団, 名古屋高速道路公社, (社) 鋼材倶楽部, (社) 日本橋梁建設協会: 道路橋橋脚の地震時限界状態設

計法に関する共同研究報告書 (I) ~ (VIII), (総括編), 1997~1999.

- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002.
- 6) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計, 1999.
- 7) 大田孝二, 深沢誠: 橋と鋼, 建設図書, 2000.
- 8) Nakamura, H. and Higai, T.: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, JCI-C51E, Vol.2, pp.259-272, 1999.
- 9) 秋山充良, 渡邊正俊, 阿部諭史, 崔松涛, 前田直己, 鈴木基行: 一軸圧縮を受ける高強度 RC 柱の破壊性状および力学的特性に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.3, pp.477-496, 2006.
- 10) 佐藤孝典: 円形断面の充填鋼管コンクリート構造における鋼管とコンクリートの相互作用に関する研究, 大阪大学学位論文, 1995.
- 11) 井浦雅司, 折野明宏, 石澤俊希: コンクリートを部分充填した円形鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.696/I-58, pp.285-298, 2002.
- 12) 舘石和雄, 村田清満: 画像計測によるコンクリート充填鋼管部材のひずみ測定, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.1537-1544, 1999.
- 13) 齋藤智也, 舘石和雄: CFT 部材の鋼管のひずみ挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.1045-1050, 2000.
- 14) 村田清満, 安原真人, 渡邊忠明, 木下雅敬: コンクリート充填円形鋼管柱の耐荷力と変形性能の評価, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1555-1564, 1998.
- 15) 村田清満, 山田正人, 池田学, 瀧口将志, 渡邊忠明, 木下雅敬: コンクリート充填円形鋼管柱の変形性能の再評価, 土木学会論文集, No.640/I-50, pp.149-163, 2000.
(2008 年 9 月 18 日受付)