論文　高強度無収縮モルタルを用いた鋼管継手に関する実験的研究

三瓶昭彦[*1]．内田和弘[*2]．佐々木仁[*3]．松戸正士[*4]

要旨：本研究は、柱を鋼管コンクリート造、梁をＳ造とするハイブリッド構造形式で、柱鋼管の接合を従来の溶接接合によらず鋼管継手と称する接合金物を用いて、鋼管と鋼管継手の隙間を高強度無収縮モルタルを充填することにより一体化をはかることを特長とする工業化工法の開発に関するものである。本論文は、この鋼管継手の構造性能を確認するために行った圧縮・引張実験及び純曲げ実験について検討したものである。実験の結果、母材鋼管の外面及び鋼管継手の内面にリブをつけることにより、鋼管から鋼管へ引張及び曲げ応力を十分に伝達させる性能を有していることがわかった。

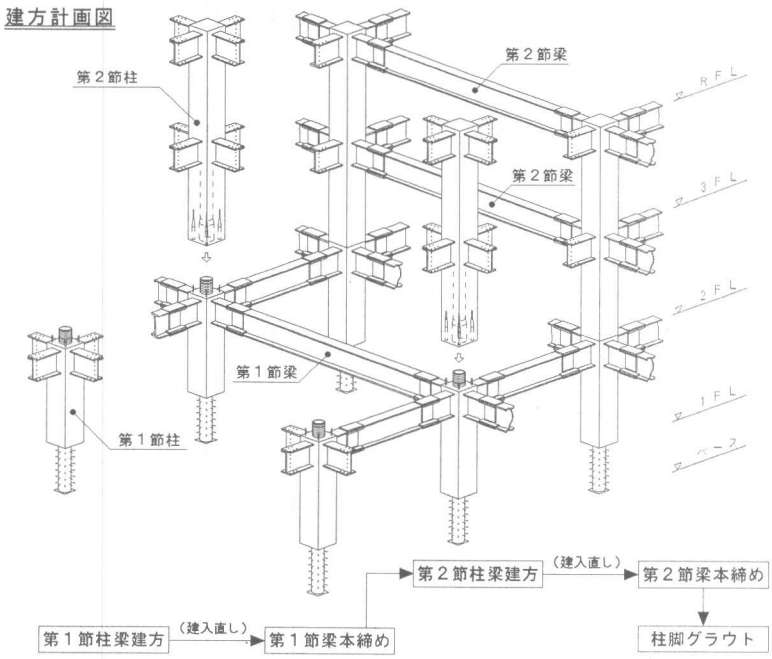
キーワード：鋼管コンクリート、工業化工法、鋼管継手、高強度無収縮モルタル、付着

１．はじめに

筆者等は、柱を鉄筋コンクリート（ＲＣ）造、梁を鉄骨（Ｓ）造とする混合構造形式で、柱をプレキャスト（ＰＣａ）化し、純鉄骨造と同様の施工が可能な工業化工法を開発し、大型店舗等の実施建物へ適用してきた[1][2]。設計上は、比較的長スパン化ができること、階高が小さく抑えられることや剛性の上昇により居住性の改善ができることなどが挙げられる。また、生産、施工の面からは、ＰＣａ化による工場生産化や品質の向上、工期の短縮、省力化などが挙げられる。しかし、柱がＲＣ造であるため適用範囲に限界があった。そこで、さらにスパンを大きくしたり、高層の建物へ適用するため、柱を鋼管コンクリート造、梁をＳ造とするハイブリッド構造形式で、柱鋼管の接合を従来の溶接接合によらず鋼管継手と称する接合金物を用いて接合することを特長とし、上記ＰＣａ工法と同様に純Ｓ造並みの施工可能な工業化工法の開発を進めてきた[3]。

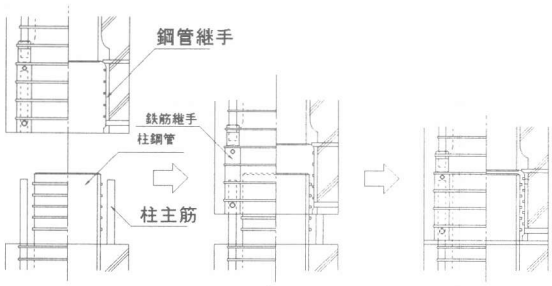
鋼管コンクリート構造は、建築学会の構造計算規準では鉄骨鉄筋コンクリート（ＳＲＣ）構造に属するもので、被覆形、充填形（ＣＦＴ）および充填被覆形の３種類の構造形式に分類されているが、本構法はいずれの構造形式にも適用可能である。柱が被覆形あるいは充填被覆形鋼管コンクリート造の場合は、図－１、２に示すように、柱をＰＣａ化し、上階のＰＣａ柱と下階のＰＣａ柱は柱脚部において接合される。被覆コンクリートの主筋はスリーブ継手を介して高強度無収縮モルタルを充填することにより一体化され、鋼管は鋼管継手を介して、鋼管と鋼管継手の隙間を主筋の接合と同様に高強度無収縮モルタルを充填することにより一体化をはかるものである。すなわち、鋼管どうしを溶接によって直接接合することなく高強度無収縮モルタルを介して接合することを特長とするものであり、このような構造形式の工期の短縮と省力化がはかれるものと期待される。また、柱が充填形鋼管コンクリート造の場合は、柱・梁交差部において鋼管と鋼管継手の隙間を高強度無収縮モルタルを充填することにより一体化をはかる。柱をＰＣａ化することも可能であるが、コンクリートは現場において充填することも可能である。

*1 ㈱フジタ技術研究所建築研究部主席研究員（正会員）
*2 ㈱フジタ技術研究所建築研究部主任研究員（正会員）
*3 ㈱フジタ技術研究所建築研究部主任、工修（正会員）
*4 ㈱フジタ技術研究所建築研究部、工修（正会員）



図－１　工法の概要

本論文は、鋼管を従来の溶接によらず、鋼管継手及び高強度無収縮モルタルを用いた接合方法が鋼管から鋼管への応力を十分に伝達できるかどうかを確認するために行った引張・圧縮実験及び純曲げ実験について検討したものである。



図－２　柱建方の概要

２．実験計画

２．１　鋼管継手の引張圧縮性能確認実験

本工法で用いるような鋼管継手の性能については公に認められた性能試験方法は確立されていないので、鉄筋の機械式鉄筋継手、圧着継手及び溶接継手等に関する「特殊な鉄筋継手の取扱いについて」[4] に準じて実験を行った。

(1) 試験体

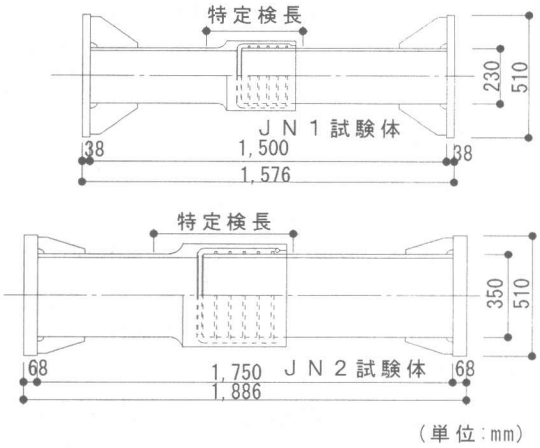
試験体の一覧を表－１、試験体形状を図－３に示す。、試験体はＪＮ１及びＪＮ２の２体で、各試験体の継手部詳細を図－４及び図－５に示す。鉄筋継手性能判定基準の継手単体の試験項目は、①一方向引張試験、②一方向繰返し試験 (引張)、③弾性域正負繰返し試験及び④塑性域正負繰返し試験の４種類であるが、ＪＮ１試験体は③弾性域正負繰返し試験を、ＪＮ２試験体は②一方向繰返し試験 (引張) を計画した。

試験体はいずれも丸鋼管であり、ＪＮ１、ＪＮ２試験体の母材鋼管径 (D) はそれぞれ 230mm、 350mm、継手の長さすなわち母材鋼管の継手への埋め込み長さは 1D とした。母材

表－１　試験体一覧

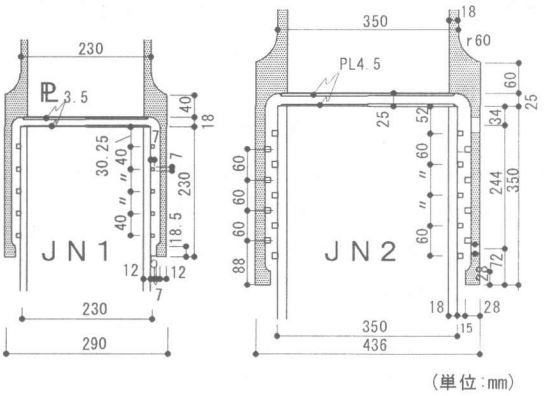
試験体	母材鋼管	継手長さ	D／h	載荷方法
ＪＮ１	230φ×12	1.0D(230)	6	弾性域正負繰返し
ＪＮ２	350φ×18	1.0D(350)	6	引張繰返し

鋼管から鋼管継手への応力伝達を向上させるために、ＪＮ１試験体では、母材鋼管の埋め込み部分の外面に、またＪＮ２試験体では、さらに継手の内面にリブを設けた。リブ高さについては、異形鉄筋のふし高さ(JIS G 3112)に準じて決定した。すなわち、異形鉄筋の場合、ふしの高さは公称直径の7％～10％の範囲にあることから、鋼管の断面積と等価な断面積をもつ鉄筋に換算したときの直径を求め、本実験ではほぼ7％としてリブ高さを算定し、リブの幅高さと同一とした。従って、ＪＮ１試験体では7mm、ＪＮ２試験体では10mmとした。



図－３　試験体の形状

リブ間隔は、異形鉄筋の場合の付着破壊が、ふし側面の支圧によってコンクリートが局部圧縮破壊するか、ふしの頂部を連ねる面で、ふしにくい込んだコンクリート部分がせん断破壊するかにより、このいずれかが先行するかは、ふしの高さhとふしの間隔Lとの比に依存し、L/hが小さければせん断破壊が生じ、L/hが大きければ局部圧縮破壊となり、両者が同時に生じるL/hの値は、6～8と一般に言われていることから[5]、鋼管継手のリブ間隔をほぼL/h=6として算定した。従ってリブ間隔は、ＪＮ１試験体では40mm、ＪＮ２試験体では60mmとした。鋼管継手は、厚さは母材鋼管と同一とし、その外径は、母材鋼管のリブと鋼管継手内面のリブとのあきを5mmとし、ＪＮ１試験体では290mm、ＪＮ２試験体では436mmとした。



図－４　鋼管継手部詳細

(2) 使用材料

使用材料の力学的性質を表－２に示す。鋼管柱及び鋼管継手部分の鋼材にはSTK490を用いた。リブ鋼材にはSS400をそれぞれ用いた。鋼管継手の充填用モルタルには高強度無収縮モルタルを用いた。

表－２　使用材料の機械的性質

鋼材	降伏強度 (kgf/cm²)	引張強度 (kgf/cm²)	弾性係数 (kgf/cm²)	破断伸び (%)	使用箇所
PL-12	3,980	5,453	2.04×10^6	29.2	柱鋼管
PL-12	4,130	5,375	1.92×10^6	31.4	鋼管継手
PL-18	3,997	5,554	2.00×10^6	25.4	柱鋼管
PL-18	4,040	5,413	2.03×10^6	29.9	鋼管継手
		圧縮強度(kgf/cm²)		材令(日)	
充填モルタル		1,231		32	

(3) 加力方法

加力は3000tf大型構造物試験機を用いた。同試験機の最大容量は、圧縮3000tf、引張1000tfであるが、試験体と試験機を接合する接合装置の最大容量が圧縮、引張とも600tfである。鉄筋継手性能判定基準の継手単体の加力方法は、②一方向繰返し試験(引張)：0→(0.2 σ_{y0}～0.95 σ_{y0}を30回繰り返し)→破断、③弾性域正負繰返し試験：0→(0.95 σ_{y0}～-0.5 σ_{y0}を20回繰り返し)(σ_{y0}：母材の規格降伏点)と

なっているが、本試験では加力装置の制限により、弾性域正負繰返し試験（ＪＮ１）では、降伏強度以上を確認することができないので、載荷荷重の範囲は圧縮、引張とも規格降伏点σ_{y0}の95％を目標とした。また、引張繰返し試験（ＪＮ２）では規格降伏点（σ_{y0}=3,300kgf/cm^2）までを載荷範囲として計画した。母材の応力に換算した値で、降伏強度の25、50％、75％でそれぞれ5回ずつ繰り返し、0.95 σ_{y0}で15回の繰り返しを行った後に、母材の降伏強度の荷重まで載荷を行うことを目標とした。

２．２ 単純梁形式による鋼管継手の純曲げ性能確認実験

本実験は、鋼管継手による接合部分に純曲げモーメントのみを作用させ、曲げ応力を合理的に伝達できるかを確認し、耐力及び変形性能等の力学的性状を把握することを目的に行った。

(1) 試験体

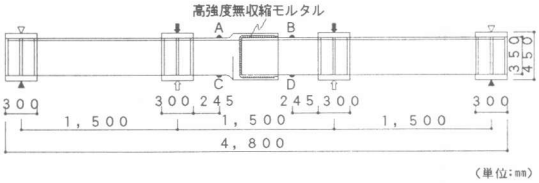
表－３に試験体一覧を、図－５に試験体形状・寸法を示す。試験体は２体であり、鋼管継手部の詳細は引張圧縮実験のＪＮ２試験体と全く同様であるが、ＢＮ１試験体は母材鋼管、鋼管継手のそれぞれの外面及び内面に補強リブがない。すなわち、実験パラメータは、補強リブの有無である。

表－３　試験体一覧

試験体	ＢＮ．１	ＢＮ．２
母材鋼管	φ３５０×１８	
鋼管継手	φ４３６×１８	
継手長さ	１．０Ｄ（Ｄ：母材鋼管径）	
補強方法	母材及び継手ともリブなし	母材及び継手ともリブ付き
リブ形状	なし	ｄ／ｈ＝６（L:間隔、h:高さ）

(2) 使用材料

使用材料の力学的性質を表－２に示した。鋼管柱および鋼管継手部分の鋼材にはSTK490を用いた。リブ鋼材にはSS400をそれぞれ用いており、引張圧縮実験ＪＮ２試験体と同様である。



図－５　試験体形状

(3) 加力方法

加力スケジュールを表－４に示す。加力は、継手部に純曲げモーメントを作用させた２点集中正負交番繰り返し載荷を行った。加力の制御は、1/3 σ_{y0}、2/3 σ_{y0}（長期許容応力度）、σ_{y0}（短期許容応力度）までを荷重で制御し、以後降伏変形δｙおよび２δｙ、４δｙ、６δｙについては変形により制御した。制御した変形は、加力点位置の側面に取り付けたゲージホルダーと部材中央との相対変形である。降伏変形δｙの値は、ＢＮ．１試験体の母材鋼管の図－５に示した点Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄの外表面に貼付したひずみゲージが全て降伏ひずみに達した時の変形量δ=4.3mmを降伏変形と定めた。ＢＮ．２試験体についても降伏変形の値は、δｙ＝4.3mmとした。

表－４　加力スケジュール

段階	荷重、変形制御値	繰り返し回数
P1	１／３σy0	±１
P21～P23	２／３σy0（長期許容応力度）	±３
P31～P33	σy0（短期許容応力度）	±３
P41～P43	降伏変形δｙ（ＢＮ．１を基本）	±３
P51～P53	２δｙ	±３
P6	４δｙ	±１
P7	６δｙ	±１

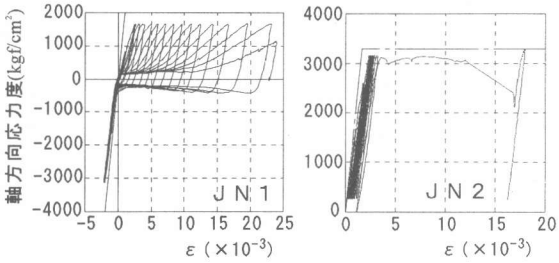
３．実験結果及び検討

３．１ 引張圧縮実験

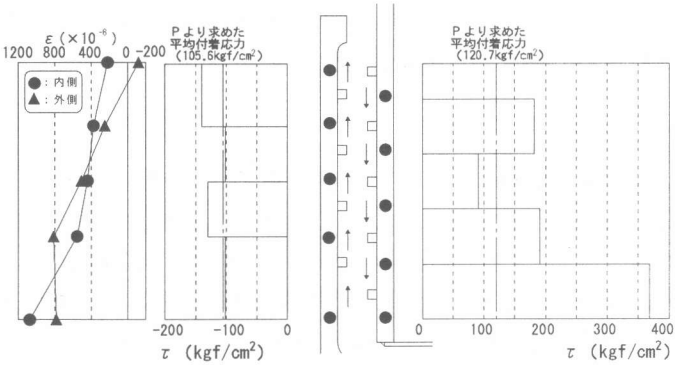
(1) 荷重－変形関係

図－６に荷重－変形関係を示す。縦軸は載荷荷重を母材の断面積で除した応力度（kgf/cm^2）、横軸は特定検長で計測された変形を特定検長で除したひずみ度（×10^{-3}）である。同図中には、母材のヤング係数を直線で示した。弾性域正負繰返し試験のＪＮ１試験体では、引張側の0.25 σ_{y0}の繰り返し（５回）と圧縮側の繰り返し（20回）では、残留変形の進展はみられないが、引張側の0.5 σ_{y0}の繰り

返し（15回）では繰り返し回数を追う毎に抜け出し変形が増大し、ほぼそのまま残留変形が生じたと同時に圧縮側へ移行するときには典型的なスリップ性状がみられ、圧縮域ではほとんど劣化がみられなかったのに対し、引張側の劣化が顕著であることが分かった。一方、鋼管継手の内面にリブを設けたＪＮ２試験体では、初期剛性は、母材のヤング係数の84％で、やや剛性が低かったが、0.25σｙ、0.5σｙ、0.75σｙで５回ずつ繰り返しにおいて、剛性低下、残留変形はほとんど見られなかった。0.95σｙの繰り返しでは徐々に残留変形が進行し、15回目の繰り返し（全体では30回の繰り返し）後の割線剛性は母材のヤング係数の50％であった。その後、母材の公称降伏強度（3300kgf/cm^2）までの載荷時に、抜け出しによる変形が増大し荷重が低下した。ひずみ$\varepsilon = 12.0 \times 10^{-3}$で抜け出しが急激に進み荷重が低下したが、再加力開始後は、抜け出しがほとんどなく、加力装置の限界である母材応力$\sigma = 3300$kgf/cm^{2}に達した。このことから、鋼管継手内面の補強リブが、引張側における性能の改善に非常に有効であることが分かった。



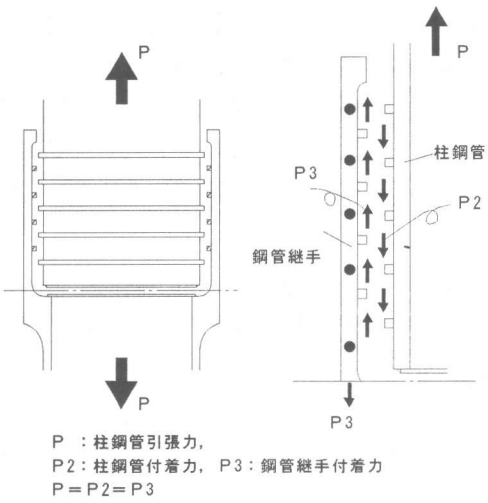
図－６　荷重－変形関係



図－７　付着応力度分布と鋼管継手のひずみ分布

(2) 引張軸力の伝達機構

図－７にＪＮ２試験体の継手部分の付着応力度分布（鋼管応力＝0.75σ_{y0}時）を、図－８に引張軸力の伝達機構の模式図をそれぞれ示す。付着応力度は、図－８に●印位置で測定したひずみより算定した。図－８に示すように柱鋼管の引張力は、柱鋼管付着力Ｐ２と鋼管継手付着力Ｐ３とそれぞれ釣り合うと仮定する。鋼管継手の付着応力度は、材軸方向に平均的に分布しており、また、Ｐより求めた平均付着応力度ともほぼ等しくなっていることがわかる。柱鋼管の付着応力度は、Ｐより求めた平均付着応力度よりかなり大きくなっている。鋼管継手のひずみは鋼材の表裏に貼付し、その平均値をとっているが、ひずみ分布を見ると内側と外側では局部曲げの影響により差異が見られる。柱鋼管のひずみは表だけの計測であり、局部曲げの影響を含んだ軸方向ひずみと考える。したがって、鋼管

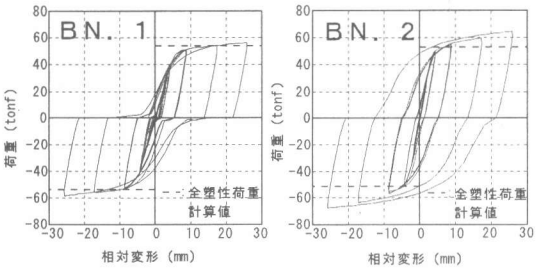


図－８　引張軸力の伝達機構

継手の付着応力度分布より、柱鋼管の引張力は、鋼管継手に付着を介して平均的に伝達されていると判断できる。

３．２ 純曲げ実験

図－９に荷重変形曲線を示す。母材鋼管の外面及び鋼管継手の内面に補強リブのないＢＮ１試験体においても、母材鋼管が降伏し、曲げ耐力を発揮することができたが、除荷時の荷重が零近傍ですべりが顕著で逆Ｓ字形の履歴性状を示した。一方、母材鋼管の外面及び鋼管継手の内面に補強リブを設けたＢＮ２試験体は、曲げ降伏後も変形の増大とともに荷重も増加し、最終加力時まで紡錘形の安定した履歴性状を示した。すなわち、鋼管の曲げ応力は、リブ付き鋼管のモルタルとの付着作用による伝達だけでなく、支圧作用によって伝達するが、リブ補強によって履歴性状が改善されることが分かった。



図－９　荷重変形曲線

４．まとめ

丸鋼管を従来の溶接によらず、鋼管継手及び高強度無収縮モルタルを用いた接合方法が鋼管から鋼管への応力を十分に伝達できるかどうかを確認するために行った引張・圧縮実験及び純曲げ実験を行った。これらの結果は以下のようにまとめられる。

(1) 圧縮軸力は、鋼管継手の内面に補強リブを設けなくても伝達可能である。

(2) 引張軸力については、①鋼管継手の内面に補強リブがない場合、初期剛性は母材ヤング係数の 40 %まで低下し、また引張荷重が規格降伏点の 50 %時の繰り返しで顕著な滑り変形が見られた。一方、②補強リブがある場合、初期剛性は母材ヤング係数の 84 %で、引張荷重が規格降伏点の 95 %の繰り返しでも顕著な滑り変形は見られず、補強リブを設けることにより初期剛性、強度、滑り変形が改善される。

(3) 鋼管継手の内面に補強リブを設けることにより、強度は母材の降伏点（平均付着応力度 160kgf/cm^2）以上を確保することができる。

(4) 曲げ耐力は、支圧作用のみでも計算値以上の強度を確保することができるが、繰り返し加力に対しては、補強リブがないと逆Ｓ字形の履歴性状を示し、補強リブを設けることにより安定した紡錘形の履歴特性に改善することができる。

謝辞

本研究は、㈱クボタとの共同研究の一環として行った。また、引張圧縮実験にあたり、日本大学 助教授 白井伸明博士の多大な協力を得ました。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

１）三瓶昭彦、吉野次彦、佐々木仁、山本哲夫：プレキャストコンクリート柱と鉄骨梁で構成される混合構造工法に関する研究開発（その１～１０）、日本建築学会大会梗概集、 pp.1199-1203、 1990.10、 pp.1643-1646、 1991.9、 pp.1899-1908、 1992.8　２）三瓶昭彦、山本哲夫、久保田勤、小早川敏、元宗照良、太田勝、浅沼俊二：柱ＲＣ・梁Ｓとする混合構造の工業化工法、施工、 pp.100-107、 1992.12　３）三瓶昭彦、佐々木仁、松戸正志、松原洋志、内田伸二：プレキャストＳＲＣ柱とＳ梁で構成されるハイブリッド構造構法に関する研究開発（その１～７）、日本建築学会大会梗概集、 pp.1854-1860、 1993.9、 pp.1791-1796、 1994.9　４）建設省住宅局建築指導課：建設省住指発第 31 号「特殊な鉄筋の取り扱いについて」、ビルディングレター、 pp.29-33、 1991.1　５）小阪義夫、森田司郎：鉄筋コンクリート構造、丸善、 1982　６）日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、 1987