コンクリート充填円形鋼管分岐継手の力学性状に関する実験的研究

A EXPERIMENTAL STUDY ON STATICAL CHARACTERISTICS OF
CONCRETE-FILLED CIRCULAR TUBULAR BRANCH JOINTS

鈴木 敏 郎*, 五十嵐 規矩夫**, 金子 洋 文***, 樋 口 満****, 平 出 亨*****

Toshiro SUZUKI, Kikuo IKARASHI, Hirohumi KANEKO,
Mitsuru HIGUCHI and Tohru HIRADE

In this paper, the behavior of the concrete filled circular tube Y branch joint are investigated. The strength of branch joint and the collapse mode are clearly by the experiment. As a result, the stiffness and yield strength of the concrete filled branch joint are increased extremely. And the concrete filled branch joint is collapsed by the fracture at the obtuse angle side. According to circumstances, the branch broken decided the collapse mode and the ultimate strength. And the ultimate strength is greater by the compression force in the main pipe. Finally, the strength estimation is shown.

Keywords : concrete filled circular tube, branch joint, yield strength, ultimate strength, collapse mode, fracture
コンクリート充填円形鋼管, 分岐継手, 降伏耐力, 最大耐力, 崩壊形式, 破断

§ 1. 序

コンクリート充填鋼管部材を用いた鋼管トラス柱や平行弦トラスについての研究^{3)~6)}等により, トラス構造としてのコンクリート充填鋼管部材の有用性が明らかにされている。コンクリート充填鋼管構造設計施工指針¹⁾では, これらを始めとして多くの研究成果をまとめ, コンクリート充填鋼管トラスの特徴として, ウェブ材あるいは弦材の節点間での個材座屈及び弦材の構面外座屈に対して有利に作用すること等が示されている。またトラス節点の継手耐力と継手剛性に関しても, 弦材にコンクリートを充填することで増加が期待できることが指摘されている。

しかし, 現在のところ主管にコンクリートを充填した分岐継手耐力に関する研究は, 実験事例を含めても数少なく, 設計法確立のための基本的な資料が得られていない。そこで本研究では, 弦材にコンクリートを充填したトラス構造はもとより, コンクリートを充填した主管に支管が直接接合されるような場合を想定し, それらの分岐継手の性状を明らかにすることを目的とする。

鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の中では, X, T, Y, K 型の円形鋼管分岐継手に共通して見られる破壊形態として, 主管管壁の局部的な曲げ変形があることが指摘されている。主管に作用する軸力が圧縮力のとき, 支管軸方向の局部変形が主管径の 1 割程度で終局耐力に達し, この局部変形耐力は主管壁の塑性曲げ耐力によって大

きく支配されることが述べられている。またこれら分岐継手の許容力, 最大強さについては, 評価式の形でまとめられている。しかし, 本研究で対象とするコンクリートが充填された主管に支管が取付く場合には, 主管内部のコンクリートにより主管の局部変形が拘束されることとなり, その結果として分岐継手の耐力と剛性は, 中空鋼管分岐継手のものに比べ大幅な増加が期待できる。

また上記現象に対する検討は, 柱梁接合部において多く行われている。例えば文献⁷⁾において, コンクリート充填円形鋼管柱-鉄骨梁フランジ接合部を対象として, 接合部に降伏メカニズムを仮定した降伏線理論による解析及び部分モデル実験を通して, 局部耐力評価が行われている。本研究は, 柱梁接合部と異なり, 充填コンクリートの効果が大きいと判断される円形断面の主管に同じく円形断面の支管が取付く組み合わせを対象とし, 支管の引張力に対する主管管壁の面外剛性及び耐力を検討するものである。これは, 柱梁接合部に比べて支管部にダイヤフラム等の補強を施すのは容易ではないこと, また, 主管管壁の面外変形が大きくなると支管へ流れる軸力が小さくなり, トラス機構としてのせん断耐力が低下することなど, 柱梁接合部とは幾分異なる現象を明確にしていく必要があるためである。

以上のような観点から本研究では, コンクリート充填円形鋼管分岐継手のなかで基本的な分岐継手である Y 型継手を対象として, 支

* 鋼構造材料研究会 代表・工博

** 東京工業大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

*** ㈱竹中工務店技術研究所 工博

**** ㈱竹中工務店東京本店設計部

***** ㈱竹中工務店技術研究所 工修

Kouzouzairyou Kenkyukai Co., Ltd., Representative, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Research & Development Institute, Takenaka Corporation, Dr. Eng.

Building Design Department, Tokyo Main Office, Takenaka Corporation

Research & Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

管軸方向に単調引張力を受ける場合の基本性状について検討する。主管が中空の分岐継手では通常、支管圧縮側の方が耐力が低く問題となるが、コンクリートを充填することにより支管圧縮側は十分な剛性、耐力を期待できることが予測できることから、危険側となる引張側の力学性状のみに着目する。事実著者らは、文献8)の中で、コンクリートを充填した主管に支管を接合した場合の繰返し実験を行い、繰返し履歴性状は支管圧縮、支管引張に関わらず同様な性状を示し、その性状は安定したものであることを確認している。このような観点から、支管が引張荷重を受ける場合の主管及び支管の形状、主管軸力の有無及び主管内部コンクリートの有無を変数として、継手の剛性及び耐力に及ぼす影響について検討する。また得られた結果から、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾に示されている耐力との対応について考察を加える。

ただし、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾に示される中空鋼管の分岐継手の降伏耐力や最大耐力は、主管に圧縮力が作用すると軸力比の増大に対して低下するものの、主管に引張力が作用すると高くなることが示されている。そこで、本研究では、圧縮力作用下でのコンクリート充填の効果を明らかにするため、主管に圧縮力が作用する場合のみを扱う。

図1 試験体図

表3 コンクリートの機械的性質

	材齢(日)	σ_b (N/mm ²) [kgf/cm ²]	E_c (kN/mm ²) [$\times 10^5$ kgf/cm ²]
ca	32 (実験開始)	40.6 [414]	30.5 [3.11]
	44 (実験終了)	42.6 [435]	31.7 [3.23]
cb	28 (実験開始)	63.3 [646]	37.8 [3.86]
	36 (実験終了)	63.3 [646]	38.0 [3.88]

註) σ_b : 圧縮強度, E_c : ヤング率

§2. コンクリート充填円形鋼管分岐継手載荷実験の概要

本研究では、コンクリート充填円形鋼管分岐継手の基本的な力学性状と、その力学性状に影響を及ぼす因子を抽出することを主な目的としている。文献2)において、分岐継手の耐力は、主管に対する支管の管径比 (d/D)、主管径厚比、軸力比等に影響されることから、今回は特に d/D について検討しているが、その他にも主管内部コンクリートの有無、軸力の有無について幅広く試験体を選定し載荷実験を行った。試験体は全部で10体である。

図1に試験体図の一例を示す。試験体は、主管に支管が全周突合溶接されたY型分岐継手であり、柱とブレース、あるいはトラス部材の弦材と腹材の関係を模擬している。主管の両端部には、載荷装置との取りあいのために、290×290×40の端部プレートが全周すみ肉溶接されている。支管載荷点側には200×200×40の端部プレートがすみ肉溶接されている。また軸力を導入する試験体には、コンクリートとの付着を除去するためにシース管を主管内に4本通し、その中にPC鋼棒を挿入し、自己釣合的に試験体に軸力を導入する機構としている。

表1に試験体一覧を示す。試験体名称の最初の英字は鋼管形状を示し、2番目の英字は主管充填コンクリートの有無(F, N)であり、3番目の数字は、軸力の有無(1, 0)を示している。ここで、軸力を導入した試験体の軸力比は0.6である。また主管と支管の交角は全ての試験体で45度である。

表1 試験体一覧

試験体名	実験パラメータ						鋼管形状				使用材料		
	D/T	d/D	d/t	充填コンクリート	軸力比 n	交角 θ (度)	主管径 D (mm)	主管板厚 T (mm)	支管径 d (mm)	支管板厚 t (mm)	主管	支管	コンクリート
AF0	44.7	0.692	25.4	有	0.0	45	165.2	3.7	114.3	4.5	h	g	ca
BF0	44.7	0.539	27.8	有	0.0	45	165.2	3.7	89.1	3.2	h	e	ca
CF0	44.7	0.525	54.2	有	0.0	45	165.2	3.7	86.7	1.6	i	c	cb
DF0	44.7	0.462	27.3	有	0.0	45	165.2	3.7	76.3	2.8	i	b	cb
EF0	44.7	0.366	26.3	有	0.0	45	165.2	3.7	60.5	2.3	i	a	cb
FF0	33.0	0.674	55.7	有	0.0	45	165.2	5.0	111.3	2.0	j	f	cb
AF1	44.7	0.692	25.4	有	0.6	45	165.2	3.7	114.3	4.5	h	g	ca
BF1	44.7	0.539	27.8	有	0.6	45	165.2	3.7	89.1	3.2	h	e	ca
AN0	44.7	0.692	25.4	無	0.0	45	165.2	3.7	114.3	4.5	h	g	-
BN0	44.7	0.539	27.8	無	0.0	45	165.2	3.7	89.1	3.2	h	e	-

註) CF0, FF0の支管は、それぞれ鋼管c, fから削りだして製作

表2 鋼材の機械的性質

鋼材名	使用鋼管	実測板厚 (mm)	σ_y (N/mm ²) [tf/cm ²]	σ_u (N/mm ²) [tf/cm ²]	E (kN/mm ²) [tf/cm ²]	ϵ_u (%)	Elong. (%)	Y.R. (%)
a	φ-60.5x2.3	2.23	377 [3.85]	429 [4.38]	201.7 [2058]	11.9	26.8	87.9
b	φ-76.3x2.8	2.70	379 [3.87]	440 [4.49]	201.0 [2051]	11.7	29.4	86.2
c	φ-89.1x2.8	2.70	374 [3.82]	426 [4.35]	199.5 [2036]	12.5	29.7	87.8
d	φ-89.1x3.2	3.00	466 [4.76]	498 [5.08]	198.6 [2027]	12.1	30.2	93.7
e	φ-89.1x3.2	3.10	386 [3.94]	468 [4.78]	211.2 [2155]	13.8	35.3	82.4
f	φ-114.3x3.5	3.30	395 [4.03]	502 [5.12]	204.7 [2089]	17.3	32.2	78.7
g	φ-114.3x4.5	4.34	358 [3.65]	482 [4.92]	206.2 [2104]	23.9	39.7	74.0
h	φ-165.2x3.7	3.47	351 [3.58]	458 [4.67]	210.1 [2144]	14.4	38.1	76.7
i	φ-165.2x3.7	3.47	414 [4.22]	486 [4.96]	199.6 [2037]	12.3	28.9	85.1
j	φ-165.2x5.0	4.65	342 [3.49]	408 [4.16]	202.4 [2065]	12.3	34.2	83.9

註) σ_y : 降伏応力度, σ_u : 引張強さ, E: ヤング率, ϵ_u : 一様のび

図2 載荷装置及び載荷概念図

図3 実験結果の整理方法

主管と支管の接合は、全周突合溶接であるが、支管内部に管状の裏当て金を取り付けている。また接合部において主管には孔を設けていない。また支管の長さは、支管の破断に及ばず端部境界の影響を排除する意味で、支管径 d の3倍とした。コンクリートの打設は、図1の主管下側に示す孔から行った。

鋼管に使用した鋼材はSTK400である。ただし、使用した鋼管ごとに鋼材が異なることから、試験体に使用した全ての鋼管に対して材料試験を行った。その結果を表2に示す。また表1中には、この材料と試験体との対応も示している。また内部コンクリートの機械的性質を表3に示す。内部コンクリートに関しても、試験体ごとで異なるためその対応を表1に示している。

載荷は、油圧ジャッキを用い、ロードセルを介して支管軸方向に単調引張載荷を行った。主管両端の支持条件はピン支承になっており、載荷点においてもピン支承になっている。したがって主管には、曲げモーメントが発生する。本実験における載荷概念図とこの載荷方式におけるモーメント分布図を図2に示す。またこの図には、併せて変位形位置も示している。鋼管継手部の変形としてどの部分をとるかの議論は残るところであろうが、コンクリート充填鋼管分岐継手の変形は、主に主管管壁の伸びによるものと予測される

ことから、本研究では継手性状として、図に示す部分の主管直径の変化をみることで考察を進める。図3にAF0の場合を例にとり、本研究における降伏耐力及び最大耐力の取り方を示している。降伏耐力については、先ず図中破線で示すように初期剛性を算出し、図中一点鎖線で示すように初期剛性の1/3剛性を得る。その後荷重変位関係において、この1/3剛性となる時の耐力を降伏耐力として定義している。この降伏耐力を図中では▽で示している。また最大耐力は、荷重が低下し始める点とし、図中▼で示している。

§3. コンクリート充填円形鋼管分岐継手の力学性状

3.1 コンクリート充填の有無が荷重変位関係に与える影響

ここではまずコンクリート充填鋼管分岐継手の特徴を把握するため、コンクリート充填の有無による荷重変位関係の違いを検討する。

図4及び図5がAF0, BF0, AN0, BN0の継手荷重変位関係を示している。コンクリートを充填することにより継手の剛性は飛躍的に増加する。そのため、図4は変位量が小さい範囲を示している。これら4体の最終的な耐力低下要因は、主管と支管の鈍角側接合部におけるき裂の発生によるものである。黒塗りの点で示したコンクリート充填型の試験体の方が初期剛性が高く、白抜きの点で示した

図4 分岐継手部の剛性に及ぼすコンクリート充填の効果

図5 荷重変位関係に及ぼすコンクリート充填の効果

コンクリートを充填していない中空型のものに比べ初期剛性は、9倍程度であった。

また中空型の荷重変位関係は早期に線形関係を離れ、剛性が低下するのに対し、コンクリート充填型は降伏耐力付近まで高い剛性を保っている。これは、コンクリートを主管内部に充填することにより、接合部近傍の主管管壁が内部に曲げられることが拘束されているためである。またこの主管管壁の内部への変形を拘束していることが、降伏耐力、最大耐力の上昇にもつながっていると考えられる。コンクリートを主管内部に充填することにより降伏耐力では1.5倍程度、最大耐力では1.2倍程度向上している。また中空型の試験体では、主管管壁に局部変形が起こることにより剛性の低下が促進され、低い荷重でき裂が発生するのに対し、コンクリート充填型の試験体では、主管管壁の局部変形が拘束されることにより剛性の低下が起りにくくなり、き裂もほぼ最大耐力で発生した。

鋼管形状による差異は、管径比(d/D)が大きい試験体で初期剛性が大きい傾向にあるが、大きな違いはない。この傾向は、中空型、コンクリート充填型にかかわらず同程度である。また降伏耐力、最大耐力に関しては、中空型では管径比による差異は認められないものの、コンクリート充填型では、管径比が大きくなるほどそれらの差が大きくなる傾向にある。これは管径比が小さなものの応力の集中が大きいことによるものと考えられる。

3.2 鋼管分岐継手周辺の性状

図6は、AF0、AN0の継手鈍角側の接合線から3cm離れた位置における主管表面に貼付したひずみゲージの値から得られるひずみ度の推移を荷重とともに示したものである。コンクリートを充填していないAN0は、ひずみの進展が早く、主管ひずみゲージ位置の変形が大きい。これは、コンクリートを充填していないことによる主管管壁の内側への変形に伴うものであると判断される。これに対して、コンクリートを充填したAF0は、ゲージ位置でのひずみ度の値が、ほぼ降伏ひずみ度に達した直後に本研究で定義する降伏耐力となっている。したがって、このAF0の性状に対しては、ほぼ主管管壁の材軸方向の伸び変形が支配的であると言える。

またこのひずみ度の値が、反転した時点をもってき裂の発生と判断するならば、コンクリートを充填したAF0がき裂発生と同時に最大耐力となっているのに対し、コンクリートを充填していないAN0は、き裂が発生してもすぐには耐力低下を起こさず、耐力上昇を続

図6 ひずみ進展状況に及ぼすコンクリート充填の効果

けている。このき裂発生に関する判断については、事実、実験中の目視による観察においても、ほぼ同時期にき裂を確認している。これからもAF0は主管管壁の伸び変形が、AN0は主管管壁の内側への曲げ変形が支配的であると考えられる。

図7に中空型AN0、コンクリート充填型AF0の降伏耐力時の継手周辺におけるひずみ分布を示す。この図は、三軸ゲージから得られるひずみ度を元に主ひずみで表している。それぞれの分布図の中央が支管であり、下側が接合部鈍角側である。この図は、主管を切り開いた形で表現している。

支管直下の主管管周方向のひずみ分布を比較すると、中空型のAN0は継手から側面方向に距離をおいてもひずみが生じている。このAN0の90度位置では、主管周方向に圧縮ひずみが生じている。これは、この位置において、主管管壁が管内部に曲げ変形していることによる。これに対し、コンクリート充填型のAF0は継手部から側面方向に移行すると急激にひずみの進展が見られなくなる。これは、充填コンクリートが主管管壁の内部への曲げ変形を拘束しているためである。また、135度位置に材軸方向圧縮ひずみが生じており、支管の引張力により主管全体が曲げ変形している。

またAN0は、支管との接合部全体に渡って、主管管壁が内部に曲げ変形していることで0度上の鈍角側引張りひずみの値が大きくなっ

図7 ひずみ分布状況

図8 最終変形状態

図9 荷重変位関係 (AF0)

図10 荷重変位関係 (BF0)

図11 荷重変位関係 (CF0)

図12 荷重変位関係 (DF0)

図13 荷重変位関係 (EF0)

図14 荷重変位関係 (FF0)

ている。しかし AF0は、主管管壁の変形が抑えられていることから、0 度上の引張りずみ度の値も大きくなっていない。このようなひずみ分布状況及び図 8 の最終的なき裂発生位置から考えて、AN0のものは、拘束の緩い様伸び的な状況でき裂が発生し、AF0のものは、塑性拘束の大きな状況における局所的なき裂発生ということが出来る。これらの要因により、図 6 に示すようなき裂発生に伴う最大耐力値の違いが現れて来ていると考えられる。

この変形の様子が図 8 に示した 2 体の最終変形写真からもわかる。ただしこの写真は、図 7 と向き等を一致させてある。中空型では、支管直下の主管管壁が内部に変形している様子がわかる。これに対してコンクリート充填型のものは、き裂以外に目立った変形は見られない。

また図 7 にもどれば、両試験体とも接合部溶接止端部の鈍角側で大きなひずみが生じている。このことから中空型の試験体では、接合部の主管管壁で局所変形が起これ、その後、接合部鈍角側に応力が集中することでき裂が発生し、最大耐力が決定される。これに対し、コンクリート充填型の試験体では、主管全体が断面形状を維持したまま変形し、接合部鈍角側における応力の集中によりき裂が発生し、最大耐力が決定したと考えられる。

これら最大耐力決定要因としての主管に生じたき裂の発生位置は、図 8 の写真に示すように、主管自体に生じており、継手の最大耐力は主管自体の管壁の破断により決定されている。

§ 4. コンクリート充填円形鋼管分岐継手の力学性状に及ぼす鋼管形状の影響

4.1 荷重変位関係に及ぼす影響

図 9～図14に軸力を導入せずに鋼管の形状を変化させたコンクリート充填円形鋼管分岐継手の荷重変位関係を示す。荷重変位関係

を見るかぎりにおいて、二通りの荷重変位関係が得られている。一つは、AF0, BF0, DF0, FF0のものであり、もう一つは、CF0, EF0のものである。AF0, BF0, DF0, FF0の荷重変位関係は、なめらかな曲線となっており、継手の変形が十分進行してから主管管壁に生じたき裂進展により最大耐力が決定されている。これに対し、CF0, EF0のものは、変位の進行が見られない。これらの性状の違いには、コンクリート充填鋼管の崩壊形式が大きく影響している。つまり二つの荷重変位関係の違いは、最終的な崩壊形式が、き裂が主管に進展しているか、支管が破断しているかによるものである。

CF0, EF0のものは支管の破断により最大耐力が決定されている。この支管破断した CF0の最終破壊状況を図15に示す。また目安として、CF0, EF0の荷重変位関係には、支管の断面積と降伏応力度及び引張強さを用いて算出した、単純引張状態における支管の降伏耐力と最大耐力の値を示している。試験体の最大耐力は、ほぼ支管の破断耐力で決定されていることがわかる。また最終的な崩壊形式をみると支管の破断位置は、支管材軸方向の途中であり、主管との接合線上ではない。したがって、この支管破断は、支管が十分に塑性化し、一様に伸びた後に破断しているものと考えられる。

このように鋼管の形状によっては、崩壊形式が異なる。本研究で対象としているコンクリート充填円形鋼管分岐継手は、コンクリート充填柱に鋼管ブレース等が取付く場合のものとしても捉えられる。この場合はコンクリート充填柱が健全なままブレースのみが十分に伸び、その機能を効果的に果たす必要がある。このときの破壊形態としては、CF0, EF0にみるような支管破断が望ましいと言える。したがって、このような部位を設計する場合には、継手の耐力と支管の耐力の関係を明らかにする必要がある。ここで支管の耐力は荷重変位関係に示すように、断面積に降伏応力度及び引張強度を乗じることで概ね評価可能である。しかし、継手の耐力に関しては、

図15 支管破断状況

図16 崩壊形式とひずみ分布の関係

鋼管形状及び軸力が影響することが考えられる。そこで5章では、鋼管形状及び軸力比と耐力の関係について考察する。

4.2 ひずみ分布性状

図16に主管にき裂が発生し最大耐力が決定されたAF0と、支管が破断したCF0及びEF0の最大耐力時のひずみ分布を示す。これらの図は、先の図7と同様な表現である。主管にき裂が発生したAF0は、継手周辺全体にひずみが生じ、特に接合部鈍角側のひずみ度は大きい。これに対し、EF0のものは継手周辺にひずみが生じておらず、変形は全て支管部分の伸び変形のみであったと考えられる。しかし、支管が破断したCF0のものはこれら2体の中間的なひずみ分布性状を示している。さらにCF0の初期剛性に関しても、EF0のもののほど極端に高くなく、その他の試験体のように荷重とともに変位が進行している。したがってCF0は、継手がある程度変形した後に支管が破断したのと考えられる。

ところでCF0とEF0の支管の断面積はほぼ等しいことから、支管の降伏耐力、破断耐力もほぼ等しくなる。したがって、この初期の剛性、最終崩壊形状にCF0とEF0で違いが見られることから、主管に対する支管の管径比(d/D)が何らかの影響を与えていることが考えられる。この最終的な崩壊がどちらで発生するかの詳細な検討は、次報において報告予定である。

4.3 主管軸力が分岐継手の荷重変位関係に与える影響

図17に軸力が導入された試験体AF1、BF1及び導入されていない試験体AF0、BF0の荷重変位関係を示す。ここで導入した軸力比はいずれも0.6であり、内部に挿入したPC鋼棒に引張力を導入することで自己釣合的に導入している。

初期剛性についてはA、Bタイプ共にほぼ同程度であり、導入軸力が降伏軸力の60%程度では鋼管分岐継手部の初期剛性にそれほど大きな影響を及ぼさないと考えられる。したがって設計に際しては、軸力が剛性に及ぼす影響をさほど考慮する必要は無いと考えられる。しかしA、Bタイプ共に軸力導入により降伏耐力、最大耐力はやや増加した。これは、導入軸力によって主管軸方向のひずみの進展が抑制され、接合部主管管壁が引張力によって降伏すること及び接合部に生じるき裂の発生が遅れたためと推測できる。

これらの現象は、図18の継手部鈍角側の接合線から3cm離れた位置の主管表面に貼付したひずみゲージの値からも説明が付けられる。ここでは、AF0、AF1のものを示しているが、荷重の上昇とともにひずみ度の進展は、軸力の有無によらずほぼ等しい。これが、荷重変位関係において初期剛性がほぼ等しいことに起因していると考えられる。さらに軸力を導入したAF1のひずみ度が荷重との関係において線形関係から離れる荷重が大きくなっている。また本研究で定義する降伏耐力は、このひずみ度の線形関係から離れる位置と

図17 荷重変位関係に及ぼす軸力の影響

図18 ひずみ進展状況に及ぼす軸力の影響

$Py/(\sigma_y T^2)$ $Pu/(\sigma_y T^2)$

図19 耐力に及ぼす鋼管形状の影響

一致している。またそのひずみ度の値はほぼ等しい。AF1には初期圧縮ひずみが導入されていることにより、引張側でこの降伏ひずみに到達するのが実質的に遅くなり、耐力上昇につながっているものと考えられる。

§ 5. コンクリート充填円形鋼管分岐継手の降伏耐力及び最大耐力

5.1 降伏耐力及び最大耐力に及ぼす鋼管形状の影響

図19は、本研究で得た降伏耐力及び最大耐力を、主管に対する支管の管径比で整理したものである。ただし、耐力は、主管の降伏応力度及び実測板厚を用いて基準化している。黒塗り印がコンクリート充填鋼管のもので主管にき裂が生じたものを示し、白抜印のものが中空鋼管のものを示している。また×印はコンクリート充填鋼管のもので支管が破断したものの最大耐力を示している。比較のために、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾に示されている評価式から得られる曲線を示している。細実線が評価式から得られる最大強さ、細破線が許容力を示している。また主管径厚比が44.7のAF0, BF0, DF0の結果から得られた最大耐力及び降伏耐力の一次近似直線をそれぞれ太実線及び太破線で示している。

実験結果は、管径比が大きくなれば耐力も高くなるという鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の式の傾向と一致している。ただし、最大耐力に関しては、ほぼ鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の評価式で評価可能であるが、降伏耐力に関しては、コンクリートを主管に充填することにより大幅に向上している。したがって、指針の評価式に比べて降伏耐力に対する最大耐力の比率は小さくなっている。

これらの耐力の関係は、変形過程の違いによるものであると考えられる。鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の許容力は、主管の局部変形破壊によって決定付けられているが、コンクリートを充填した場合には、主管の局部変形ではなく、局所的な引張降伏によるものであることから、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の最大耐力で本実験結果がほぼ対応したのと考えられる。

またAF0とFF0ではほぼd/Dが等しいものの、主管径厚比D/TはFF0の方が小さい。この関係では、鋼管構造設計施工指針・同解

 $Py/(\sigma_y T^2)$ $Pu/(\sigma_y T^2)$

図20 耐力に及ぼす軸力の影響

説²⁾式からは、D/Tが小さいものが、耐力は小さく評価されており、この傾向は実験においても捉えられている。

また支管で破断したものの最大耐力は、主管にき裂が発生したものの実験結果を評価した一次直線の最大耐力には達しておらず、本実験結果によりコンクリート充填鋼管の崩壊性状を類推できる。すなわち、本実験結果の最大耐力評価値に到達しないような支管耐力を有する場合には、支管破断で崩壊することになる。この結果を用いれば、効果的なブレースの設計が可能となる。

5.2 降伏耐力及び最大耐力に及ぼす軸力の影響

図20は、コンクリート充填円形鋼管分岐継手耐力に及ぼす圧縮軸力の影響を示したものである。縦軸の耐力は、先の図19と同じように基準化している。また線の種類等も先の図と同じである。

本実験結果は、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の評価式から得られる曲線とは異なる傾向を示し、圧縮軸力が高くなると降伏耐力、最大耐力ともに高くなる傾向にある。これは、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の評価式が主管の局部変形をもとにした式であることから、主管にかかる圧縮力が大きくなれば、耐力は小さくなるのに対し、コンクリートを充填した鋼管の場合には、主管の局部変形を考える必要がなく、主管管壁の伸びによる挙動に支配されることによる。したがって圧縮力が作用した場合には、支管からの作用による引張力を軸力としての圧縮力が打ち消すことで耐力が上っているものと考えられる。したがって、降伏耐力、最大耐力が鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾の評価式の値よりも増大したと考えられる。しかし、増加割合は軸力比0.6の場合でもさほど大きいものではなく、軸力の影響を降伏耐力や最大耐力に折り込む必要性は薄いとも考えられる。

鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾に中空鋼管の分岐継手の降伏耐力や最大耐力は、主管に圧縮力が作用すると軸力比の増大に対して低下することが示されている。しかし、ここではコンクリート充填の効果により、主管に圧縮力が作用する場合においても、支管の引張力に対して降伏耐力及び最大耐力が上昇することを示した。

§ 6. 結

本研究では、載荷実験によりコンクリート充填円形鋼管分岐継手の性状、特に耐力について、それらを決定する要因を抽出し、その基本的な資料を提示した。

主管にコンクリートを充填した場合、支管が引張荷重を受ける際に、主管管壁の内部への曲げ変形が抑えられるため、継手の剛性が著しく増大する。またコンクリートを充填した場合の降伏耐力、最大耐力決定要因は、主に継手鈍角側の主管管壁の降伏及びき裂発生である。これらの耐力は主管と支管の形状で決まり、鋼管構造設計施工指針・同解説²⁾に示されている値よりも向上する。さらに、主管管壁の耐力と支管破断耐力の関係で、継手部の変形が無いまま、支管が十分に伸び変形をした後に破断する形式を予測することが可能である。主管軸力に関しては、圧縮軸力の影響により、降伏耐力、最大耐力ともに軸力が作用しない場合に比べ増大する。

以上本研究で得られた結論を要約して述べた。本研究では、コンクリート充填円形鋼管分岐継手の基本的な性状を明らかにした。次報では、さらに検討対象を増やし、崩壊性状に与える鋼管形状の影響及び定量的な耐力評価を行う予定である。

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，1997.10
- 2) 日本建築学会：鋼管構造設計施工指針・同解説，1990.1
- 3) 焦 然，小川厚治，山成 實，黒羽啓明：弦材にコンクリートを充填した鋼管トラスの終局挙動に関する実験的研究，日本建築学会大会学術梗概集，pp.1293～1294，1990.10
- 4) 松井千秋，河野昭彦，大串勝利：弦材にコンクリートを充填した鋼管トラス柱の曲げねじれ座屈挙動と耐力評価，日本建築学会構造系論文集，第459号，pp.169～176，1994.5
- 5) 河野昭彦，松井千秋，崎野良比呂：繰返し水平力を受けるコンクリート充填鋼管トラス柱の弾塑性挙動と変形能力に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第482号，pp.141～150，1996.4
- 6) 河野昭彦，松井千秋：弦材にコンクリートを充填した平行弦鋼管トラスの変形能力，日本建築学会構造系論文集，第522号，pp.129～135，1999.8
- 7) 付 功 義，森田耕次：コンクリート充填円形鋼管柱—鉄骨梁フランジ接合部の局部引張耐力に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第504号，pp.119～125，1998.2
- 8) 鈴木敏郎，五十嵐規矩夫，金子洋文，樋口 満，平出 亨，李 成 大，菊地岳史：円形鋼管トラス分岐継手の性状について(その2 コンクリート充填タイプの管径比，径厚比，軸力の影響)，日本建築学会大会学術梗概集，pp.715～716，1998.9

(2000年1月7日原稿受理，2000年8月2日採用決定)