

(30) コンクリート充填円形鋼管十字継手の曲げ性状

穂山 靖司¹・播 繁²

¹正会員（建築学会） 鹿島建設（株） 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）
E-mail: akise@kajima.com

²正会員（建築学会） （有）播設計室（〒107-0052 東京都港区赤坂4-8-14 赤坂坂東ビル8F）
E-mail: ban@blue.ocn.ne.jp

通常の鋼管分岐継手では、支管の先端を主管の形状に合うように切断して溶接している。この支管の切断、主管との溶接は難しく、応力集中が生じやすいという問題がある。この問題点を解決するため「枝出し加工」を用いると、支管との接合部は2次元的になり、切断や溶接が容易となり、また、継手部分及びその近傍にコンクリートを充填し、プレストレスを導入することにより補強効果及び高剛性化が図れる。

本研究では、この十字分岐継手を対象に基礎的な力学的性質を調べるための実験を行い、継手部分の剛性の実験式を求めるとともに、各パラメータごとに十字形骨組としての荷重－変形関係およびその包絡線の比較を行い、この十字分岐継手構造の特性を考察した。

Key Words : Concrete-filled steel tubes, Cross Joints, Bending Behavior, Stiffness, Strength

1. 序論

鋼管は、建築の分野ではトラスやアーチの部材として多用され、鋼管が交叉する接点（継手）では一方の部材（主管）には手を加えず、他方の部材（支管）の先端を主管の形状に合うように切断して溶接している。この継手には、①支管端の切断、およびその切断面と主管との溶接の形状が3次元的であるため加工が難しいという製作上の問題、②溶接部分で主管壁が面外に局部変形するため剛性が低く、③かつ溶接部に応力集中が生じやすいため脆性的な破壊をしやすいという力学性状上の問題がある。

鋼管分岐継手に関する上記問題点の解決手段の一つとして設備配管の分野で使用されている枝出し加工（図-1参照）技術の利用が考えられる。この技術は、鋼管（主管）の継手位置にあらかじめ小さな穴を開けておき、その周辺を加熱しながら主管内にセットしたダイスを穴から引抜き、支管を溶接するための「枝」を形成する方法である。この技術を用いることにより支管との接合部は2次元的になり、切断や溶接が極めて容易となる。また、溶接部分は鋼管がまっすぐ継がれる形状であるため、脆性的な破壊が起こりにくくなる。しかし反面、主管の枝出し加工部分が断面欠損となるため耐力が低く、

従来継手よりさらに剛性が低くなる。そこで、主管、支管の内部が連続していることを利用し、枝出し加工をした継手部分及びその近傍の主管、支管内部にコンクリートを充填し、かつ充填コンクリートにPCストランドを配してプレストレス（以下PS）を導入することによりコンクリートの拘束性を高め、断面欠損に対する補剛効果及び高耐力化が期待できる。

本研究では、この十字分岐継手を対象に基礎的な力学的性質を調べるための実験を行い¹⁾²⁾、継手部分の曲げモーメント－回転角から継手部分の剛性の実験式を求めるとともに、各パラメータごとに十字形骨組としての荷重－変形関係およびその包絡線の比較を行い、この構造の特性を考察する。

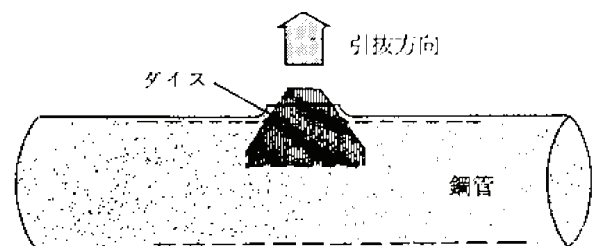


図-1 枝出し加工

2. 実験

(1) 試験体

試験体は表-1に示すように主管の径厚比 D/T (D :主管の外径、 T :主管の管厚)、支管の外径と主管の外径の比 d/D (d :支管の外径)、主管に作用させる外部軸力(N)の有無の3要因を実験変数とした枝出し加工をし、内部にコンクリートを充填し、かつ充填コンクリートにPSを導入したもの(以下、新型継手と呼ぶ)8体(No.1~8)と、比較用に枝出し加工をした継手で中空のもの1体(No.9)、さらにコンクリートは充填するがPSを導入していないもの1体(No.10)、主管には手を加えず、支管の先端を主管の形状に合うように切断して溶接した中空継手(以下、従来継手と呼ぶ)1体(No.11)の計11体とした。 D/T は新耐震設計法(建築基準法施行令1981年)で規定するFAランク($D/T=50$)、FBランク($D/T=70$ 、いずれもSS400材で柱部材の場合)を基準に36、48、68の3水準を選定した。 d/D は鋼管の規格値との関係で実際に使われそうな値として、 $d/D=0.52$ 、 0.76 の2水準とした。充填コンクリートに導入するPS量は主管では鋼管とコンクリートの累加耐力 N_u の0.3倍とし、支管ではコンクリートの単位面積あたりの応力が主管と等しくなるようにした。また、主管に外部軸力 N を作用させる場合、その量は主管鋼管の降伏軸耐力 N_y の0.2倍とした。試験体の形状・寸法等を図-2に示す。試験体は主管、支管ともに長さ1mとし、コンクリートを充填するものは全長にわたって充填した。実験に際しては主管と支管の延長部分(中空鋼管)を試験体に高力ボルトで接合して継ぎ足した。表-2に枝出し加工部の実測寸法を、表-3に使用鋼管材の機械的性質と実測寸法を、表-4にコンクリートの強度試験結果を示す。鋼管は市販の電縫管を使用した。鋼管の材質はSTK400とした。主管と支管との溶接は CO_2 アーク溶接で、従来継手は裏当て金を用いる完全溶け込み突合せ溶接、枝出し加工のものは裏当て金を用いない裏波溶接によった。また、新型継手は鋼管内にアスファルト

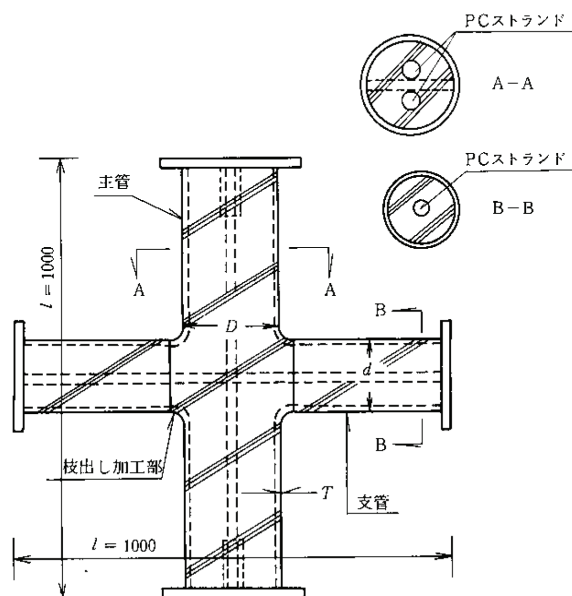


図-2 試験体の形状、寸法

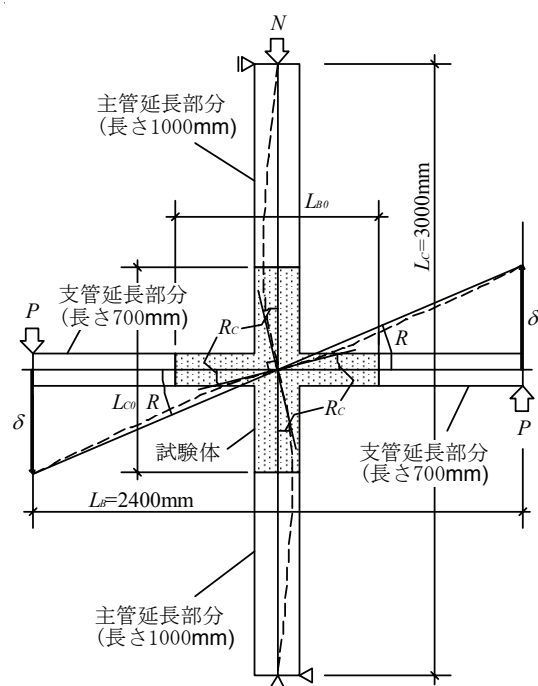


図-3 加力方法概要

表-1 試験体の緒元および実験結果一覧

試験体		緒元						計算値			実験結果			
		主管	支管	D/T	d/D	N_s/N_y	材齢 日	N_u kN	K kN/ 10^{-3} rad	P_u kN	K^{*2} kN/ 10^{-3} rad	P_y kN	P_u^{*2} kN	R_u^{*3} 10^{-3} rad
No	名称 ^{*1}													
1	36-0.76-0	ϕ -216.3x5.8	ϕ -165.2x5	36	0.76	0	91	1554	2.23	49.7	2.44 (1.10)	35.0	49.87 (>1.00)	134 (>6.00)
2	36-0.76-0.2	ϕ -216.3x5.8	ϕ -165.2x5	36	0.76	0.2	96	1554	2.23	49.7	2.58 (1.16)	33.9	49.74 (>1.00)	144 (>6.46)
3	48-0.52-0	ϕ -216.3x4.5	ϕ -114.5x6	48	0.52	0	28	1345	0.94	17.6	1.01 (1.07)	15.3	25.38 (>1.44)	132 (>7.06)
4	48-0.52-0.2	ϕ -216.3x4.5	ϕ -114.5x6	48	0.52	0.2	55	1345	0.94	17.6	0.95 (1.00)	14.7	24.74 (>1.40)	163 (>8.74)
5	48-0.76-0	ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	48	0.76	0	76	1345	2.11	43.8	2.29 (1.08)	28.7	42.99 (>0.98)	133 (>6.40)
6	48-0.76-0.2	ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	48	0.76	0.2	82	1345	2.11	43.8	2.28 (1.08)	30.2	43.27 (>0.99)	145 (>6.97)
7	68-0.76-0	ϕ -216.3x3.5	ϕ -165.2x5	68	0.76	0	63	1161	1.91	27.8	1.85 (0.97)	22.8	32.52 (>1.17)	136 (>9.37)
8	68-0.76-0.2	ϕ -216.3x3.5	ϕ -165.2x5	68	0.76	0.2	69	1161	1.91	27.8	2.32 (1.22)	22.6	31.49 (>1.13)	145 (>9.99)
9	48-0.76-0E	ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	48	0.76	0	-	704	1.13	24.6	1.13 (1.00)	12.5	18.47 (0.75)	88 (4.04)
10	48-0.76-0N	ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	48	0.76	0	86	1345	2.12	43.8	1.99 (0.94)	26.9	43.24 (>0.99)	135 (>6.51)
11	48-0.76-0G	ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	48	0.76	0	-	704	1.13	25.1	1.23 (1.09)	19.2	24.44 (0.97)	72 (3.25)

*1 試験体名称の末尾 E:中空、N:コンクリート充填でPSなし、G:通常の溶接継手 *2 かつこ内は計算値との比 *3 かつこ内は P_u/K (計算値)との比

を塗布し、充填コンクリートと鋼管の付着を低減した。

支管の管厚はそれが溶接される主管の枝出し加工部の管厚（枝厚）以上の値とし、試験体部分の長さ（1m）は、延長部分との継手で破壊しないように決めた。

表-1の弾性剛性(K)の計算値は、延長部分を含む主管、支管が全長にわたって試験部分と同じ断面であると仮定し、主管－支管継手部分の剛性は、既報¹⁾で提案した(1)式を用いて計算したものである。(1)式は、試験体部分の変形角測定値から、主管部分、支管部分の弾性変形の計算値を引いて継手部分の弾性剛性実験式としたものである。

$$K' = \frac{M}{\theta} = 4.5 \times 10^{-5} E \cdot D^3 \left(175 - \frac{D}{T} \right) \left(\frac{d}{D} - 0.23 \right) \quad (1)$$

(1)式で、 M は、支管端モーメント、 θ は支管端での継手変形角である。なお、コンクリートを充填していないNo.9とNo.11は、主管－支管継手部分に坂本ら³⁾が提案した(2)式を用いた。

$$K' = \frac{M}{\theta} = 74 \cdot E \cdot D^3 \cdot e^a \quad (2)$$

$$a = \left(4.37 \sqrt{\frac{d}{D}} - 10 \right) \cdot \left(\frac{D}{T} \right)^{0.15}$$

ここで、 e ：は自然体数の底(≈ 2.72)

終局荷重(P_u)計算値は、支管端が終局曲げモーメントに達するときの荷重とし、下式で計算した。

$$P_u = \frac{M_u}{(L_B - D)/2} \quad (3)$$

ここで、 M_u は、文献4)による終局曲げモーメントとした。ただし、管厚は枝出し加工部の管厚を用い、PS量を軸力として考慮した。中空のときは鋼管の全塑性モーメントを M_u とした。

(2) 実験方法

加力は、図-3に示すように試験体の主管延長部分の下端をピン支持、上端をローラー支持し、外部軸力(N)を作用させる場合は、上端の上方から油圧ジャッキで作用させた。加力は支管延長部分の先端に左右逆対称のせん断力(P)を油圧ジャッキで正負繰り返して作用させた。加力手順は、枝出し加工部の降伏まで荷重制御、以後は変形制御とし、変形角(R)約1/10まで漸増変位加力した。載荷荷重の検出は油圧ジャッキの先端に取り付けたロードセルによった。ひずみの測定は枝出し加工部分に3軸ゲージを貼付して行った。

(3) 実験結果および考察

荷重 P と、変形角 R の関係を図-5に、 P - R 曲線の正加力側の包絡線を要因別にまとめて図-6に示す。また、これら P - R 関係から得られた剛性、耐力の一覧を表-1

表-2 枝出し加工部寸法実測結果

主管	支管	枝内径 mm	枝厚 mm	枝外径 mm
ϕ -216.3x5.8	ϕ -165.2x5	155.3	4.4	164.1
ϕ -216.3x4.5	ϕ -165.2x5	155.2	3.5	162.2
	ϕ -114.5x6	102.3	3.5	109.3
ϕ -216.3x3.5	ϕ -165.2x5	155.5	2.8	161.1

表-3 鋼材強度試験結果^{*1}

管種 ^{*2}	管径 mm	管厚 mm	ヤング係数 N/mm ²	降伏応力度 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
ϕ -216.3x5.8	216.7	5.5	201000	365	481	36.9
ϕ -216.3x4.5	216.6	4.5	202000	346	504	37.3
ϕ -216.3x3.5	216.1	3.2	204000	300	444	37.8
ϕ -165.2x5	165.4	4.6	199000	414	484	32.9
ϕ -114.5x6	114.5	5.6	193000	460	518	27.9

*1 JIS12B号試験片による

*2 材質はすべてSTK400

表-4 コンクリート強度試験結果

材齢 日	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	引張強度 N/mm ²
28	22.1	23900	2.04
50	24.0	---	---
56	23.8	25300	2.09
105	25.7	---	2.59
平均	23.9	24600	2.24

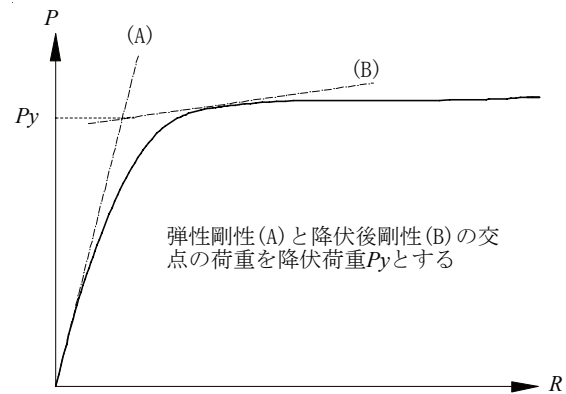


図-4 General Yield Point法

に示す。表-1中、降伏荷重(P_y)は P - R 包絡線から図-4に示すGeneral Yield Point法（降伏後剛性は弾性剛性の1/10とした）によって求めた。終局荷重(P_u)の実験結果は、実験で得られた最大荷重とし、そのときの変形角を R_u とした。

図-5によれば新型継手試験体の実験経過は概ね次のとおりである。 $R=2.5 \sim 7 \times 10^{-3}$ radで枝出し加工部が降伏し、徐々に剛性が低下し始める。繰返しループの形状はほぼ紡錘形で安定した履歴性状を示している。

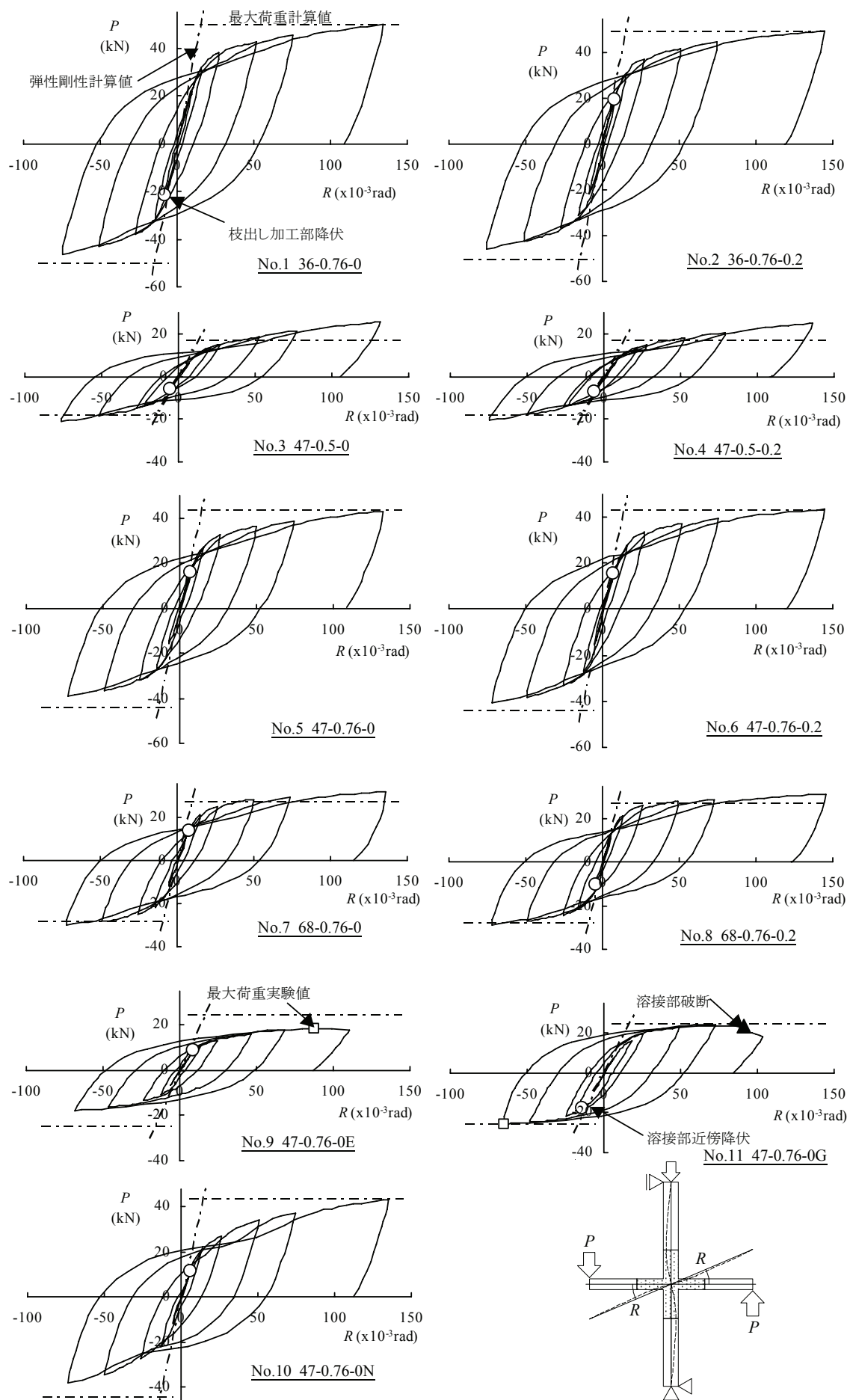


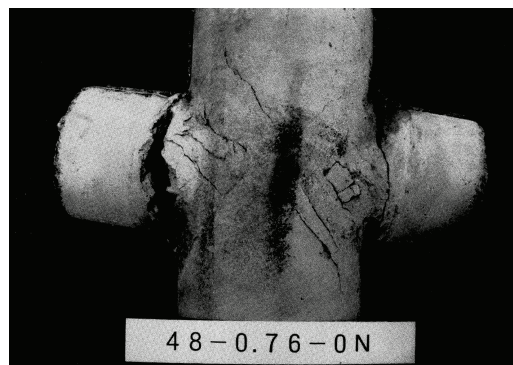
図-5 荷重(P) - 変形(R) 関係

荷重装置の都合で $R=130 \times 10^{-3} \text{rad}$ 前後で荷重を終了したが、いずれの試験体ともまだ上昇傾向にあった。この段階で、鋼管面の観察によれば主管部分、支管部分は健全で損傷は $d/D=0.52$ のもの (No. 3、No. 4) は枝出し加工部、その他は継手部分に集中していた。内部のコンクリートの損傷状況の違いを見るため、実験終了後試験体の鋼管をガス切断によってはがした (写真-1)。その結果、PSを導入していない 48-0.76-0N はパネル部分のコンクリートには斜めひび割れが入っている程度で支管端で大きく割れているのに対し、PSを導入した新型継手試験体 (48-0.76-0) はパネル部分のコンクリートが激しく損傷している。これは PS 導入によって支管端の曲げ耐力が上昇したためであり、パネル部分のコンクリートが激しく損傷しても鋼管によって拘束され、コンクリートが荷重を負担していたものと思われる。支管が細い 48-0.52-0 は PS を導入したにもかかわらず、支管端のコンクリートが大きく割れ、パネル部分のコンクリートは健全である。これは PS 導入によって上昇した支管の曲げ耐力よりさらにパネルの耐力のほうが高かったためであると考えられる。

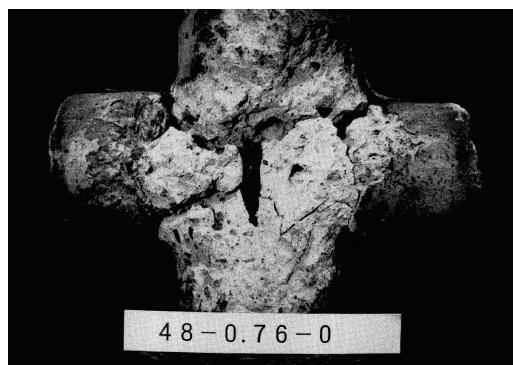
図-6(a)によれば新型継手試験体 (No. 5) を PS を導入していない試験体 (No. 10) と比較すると、弾性剛性、降伏荷重は若干高いが最大荷重はほぼ等しい。従来継手の試験体 (No. 11) と比較すると剛性、耐力、靱性の面で優れている。枝出し加工中空試験体 (No. 9) は、剛性、耐力とも他構造に比べ低い。

図-6(b)によれば、外部軸力 N の有無は今回の軸力レベルでは試験体の剛性、耐力にはほとんど影響しないといえる。

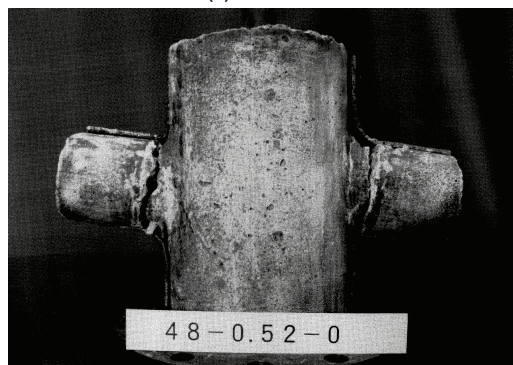
表-1によれば新型継手 (No. 1~No. 8) 試験体の弾性剛性は計算値の 0.97~1.22 倍となっている。また、枝出し加工で中空の No. 9 は、継手剛性を従来継手の評価式を用いた計算値と等しいという結果が得られた。



(a) 48-0.76-0N

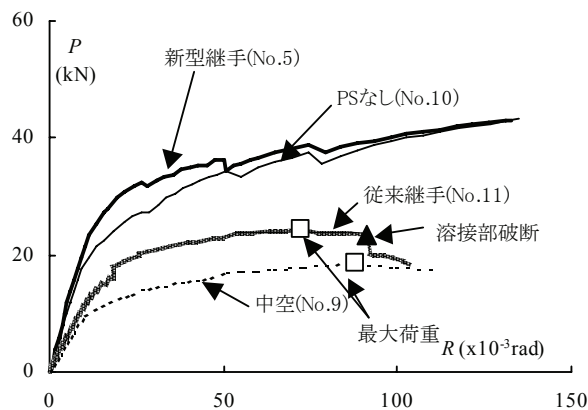


(b) 48-0.76-0

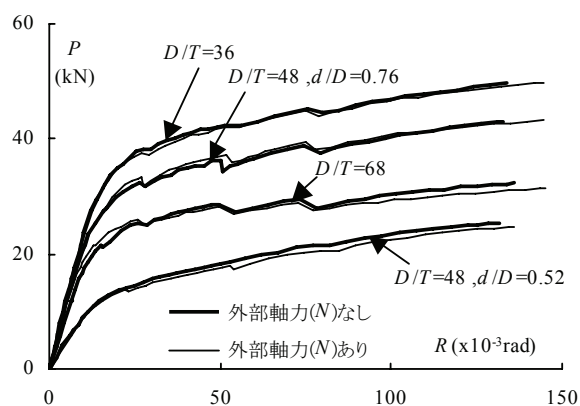


(c) 48-0.52-0

写真-1 内部コンクリートの損傷状況



(a) 継手形式、PSの有無、充填コンクリートの有無



(b) 外部軸力の有無

図-6 荷重(P) - 変形(R)の包絡線

3. 結び

枝出し加工を用いて主管と支管をつなぎ、鋼管内部にコンクリートを充填し、さらにプレストレスを導入した十字継手を対象に、主管の外径と厚さの比 D/T 、支管の外径と主管の外径の比 d/D 、主管への外部軸力 N の有無を要因とした11体（うち比較用3体）の試験体を用いて、繰返しの内面曲げ実験を行った。

その結果は以下のとおりである。

- a. 新型継手試験体の弾性剛性は、継手部分の剛性を考慮した計算値の0.97～1.22倍となっており、ほぼ評価できているといえる。
- b. この継手を含む十字形骨組は $R=130 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 程度まで耐力低下しない、従来の継手に比べ靱性に富んだ性状を示す。
- c. 主管への外部軸力の有無は継手の剛性、耐力にほとんど影響しない。
- d. 新型継手はプレストレスを導入していないものと比較して終局耐力はほとんど変わらないが、プレストレス導入により弾性剛性、降伏耐力が上昇する。

以上により、この新型継手は固定度の高い分岐継手として期待でき、トラスやアーチ構造物ばかりでなくラーメン構造への適用も可能性があると考えられる。なお、この継手の面外曲げ性状、種々の強度の鋼管材やコンク

リートの組み合わせによる性状の違い等は今後検討すべき課題である。

参考文献

- 1) 穂山靖司、佐伯俊夫、播繁：コンクリート充填鋼管十字継手の曲げ実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990.10、pp1095-1138
- 2) 佐伯俊夫、穂山靖司、播繁：コンクリート充填鋼管十字継手の曲げ実験、鹿島建設技術研究所年報 第38号、1990.10、pp99-104
- 3) 坂本傑、蓑島仲男：八角形鋼管T形分岐継手の力学性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、1979.9
- 4) 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、2001.1

BENDING BEHAVIOR OF CONCRETE-FILLED STEEL TUBE CROSS JOINTS

Seiji AKIYAMA and Shigeru BAN

In conventional welded tee-joint of tubular members, the cutting and welding operations necessary to produce three-dimensional joints are difficult, and also the structural behavior is very complicated because of stress concentration and local deformation. Taking note of these facts, the authors have developed a new tubular tee-joint procedure. Distinctive features of this procedure are the use of a special technique called "extruded outlet", and the filling of the tubes with pre-stressed concrete.

A loading test was performed to investigate the structural behavior of this joint, under bending moment. Eleven specimens were tested, of which the parameters were diameter of the chord to wall thickness (D/T), branch diameter to chord diameter (d/D), and axial force on the chord.

The conclusions obtained in the test are summarized as follows. a) Elasticity stiffness of the new joints become 0.97-1.22 times of the calculation value in consideration of stiffness for joint, and can almost evaluate elasticity stiffness of the new joint part. b) The cross-shaped framework including this joint shows a property full of in ductility comparison with the conventional tubular tee-joint which does not to be load reducing until $R=130 \times 10^{-3} \text{ rad}$. c) The effects of axial force to the chord on the rigidity and strength of joints are very slight at this level of axial force. d) The non-pre-stressed joint has a slight lower yield strength, but its ultimate strength is almost the same as those of the pre-stressed joint.