

[2093] 中空鋼管コンクリート合成部材の軸方向圧縮耐力

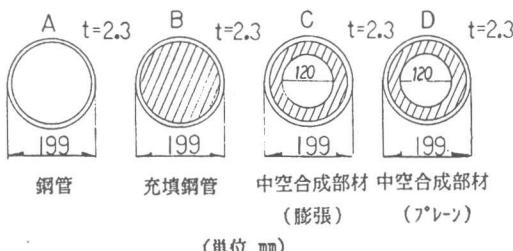
正会員 ○福沢公夫（茨城大学工学部）
 正会員 沼尾達弥（茨城大学工学部）
 半田健二（日本コンクリート工業）
 正会員 清田章二（日本コンクリート工業）

1. 研究の目的

中空钢管コンクリート合成部材（以下、中空合成部材という）は、钢管の内側に800~1000kgf/cm²の高強度コンクリートを遠心力により内張りした钢管とコンクリートの合成部材であり、基礎として用いられている。中空合成部材が曲げを受けるときの性状および耐力の算定方法などについては既に明らかにされている¹⁾。しかし、この種部材が軸圧縮力を受けるときの性状および耐力については報告がみられない。本研究は、中空钢管コンクリート合成部材とともに、钢管および充てんコンクリート钢管の圧縮試験を行い中空合成部材が軸力を受けるときの性状を把握し、中空合成部材の軸方向圧縮耐力の算定方法を提案するものである。

2. 試験体

試験体は4種類あり、図1に示すように直径199mm、厚さ2.3mmおよび長さ80cmの钢管(A)、この钢管を用いて普通強度のコンクリートを充填した充填钢管(B)、膨張材を用いた高強度コンクリート（以下、高強度膨張コンクリートといふ）を内張りした中空合成部材(C)および膨張材



を用いない高強度コンクリート（以下、高強度フレンコンクリートといふ）を内張りした中空合成部材(D)の4種類である。各試験体は、それぞれ3本ずつ製作した。

コンクリートの材料としては、普通ボルトランドセメント、川砂、碎石、石灰系膨張材、ナフタレン系の高強度用減水剤を用いた。钢管は熱間圧延鋼板を溶接加工して製作したものである。コンクリートの配合を表1に示す。中空合成部材は、型枠の中に钢管を固定し、高強度コンクリートを投入し遠心力により成形した。成形後40~60°Cの蒸気養生を行い翌日脱型し、180 °Cのオートクレー

表1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	配合強度(kgf/cm ²)	粗骨材最大寸法(mm)	W/C(%)	s/a(%)	C(kg/m ³)	膨張材(kg/m ³)	混和剤(%)	対応する試験体
高強度膨張	900	20	35	42	420	30	1.5	C
高強度フレン	900	20	33	42	430	-	1.5	D
低強度フレン	300	20	60	46	260	-	0.5	B

表2 コンクリートの圧縮強度・ヤング係数

コンクリートの種類 試験体	供試体 (cm)	材令 (日)	コンクリートの 圧縮強度 (kgf/cm ²)	コンクリートの ヤング係数 ¹⁾ ($\times 10^5$ kgf/cm ²)
高強度 膨張 C	20φ×30×4 速心	28	1009 平均 1018 1020 1032	4.20 平均 4.23 4.24 4.30
高強度 プレン D	"	28	1000 1046 996 941	4.21 4.40 4.30 —
普通強度 プレン B	10φ×20 振動	28	390 362 375 372	2.97 3.10 2.99 2.90

注 1) 圧縮強度の1/3点における割線ヤング係数

ブ養生を行った。充填鋼管の場合も鋼管を型枠に固定し鉛直にたて、そこに材令28日における圧縮強度が300~400 kgf/cm²程度の普通強度コンクリートを投入した。2日後脱型し、以後水中養生を行った。表2に圧縮試験時のコンクリートの圧縮強度およびヤング係数の測定結果を示す。なお、高強度膨張コンクリートは脱型せずにオートクレーブ養生を行ない、コンクリートが膨張してばらばらになるのを防止した。

3. 試験方法

試験体は、アムスラ型の圧縮試験機を用いて一軸圧縮試験を行った。各試験体は、コンクリートと鋼管とが同一平面となるように製作したので、荷重は載荷板より鋼管とコンクリートに同時に作用する。また、試験時に試験体が端部から破壊するのを防ぐため、養生期間を利用して図2に示すように試験体の両端10cmをそれぞれ鋼製のバンドを試験体の外側におきその間を膨張コンクリートを用いて充填することにより補強した。図3に示すように、試験体中央部における軸方向・軸直角方向のひずみを測定した。ひずみの測定には、ゲージ長10mmの塑性域クロスゲージを用いた。

4. 試験結果および考察

4.1 試験体の破壊状況

図4に各種合成部材と鋼管の荷重と圧縮ひずみの関係を示す。なお、供試体の内容を示すアルファベットに続く数字は、試験体の番号を示す。また、試験における荷重の最大値およびその時の軸方向ひずみの値を表3に示す。これらの図、表および試験時の観察をもとに各試験体の破壊に至るまでの性状を述べる。

(1) 鋼管(A)の圧縮耐力は、比較的バラツキが小さく平均値で2380kgf/cm²であった。また、荷重ひずみ図から求めたヤング係数は 2.14×10^6 kgf/cm²であった。最大荷重を示した後にさらに載荷を行うと、局部座屈が起こるまで荷重はほぼ一定値を示した。

(2) 充てん鋼管(B)は、よく知られているように韌性に富んでおり、圧縮ひずみが0.015程度まで荷重が低下することなく変形した。試験後試験体を軸方向に切断した状態を図5に示す。これより、内部のコンクリートは完全に破壊していることがわかる。

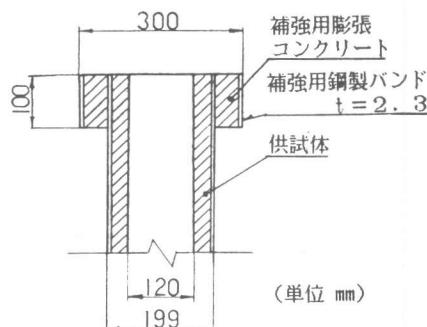


図2 端部補強方法

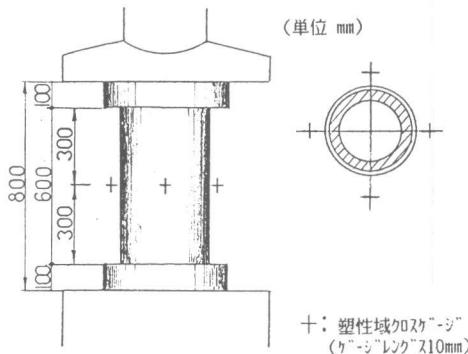


図3 試験方法

(3) 中空合成部材(C,D)は、最大耐力を示した後変形の増加とともに荷重の低下がみられ、充てん鋼管に比べると韌性の劣ることがわかる。中空合成部材の場合、最大荷重を示した後の荷重とひずみの関係から判断して、最大荷重時あるいはその直後から内張りコンクリートが破壊してゆくものと思われる。図6に試験後の中空合成部材の内張りコンクリートの破壊状況を示す。これより、コンクリートが完全に破壊され一部のコンクリートは内側に落下していること、破壊したコンクリートが鋼管を外側に変形させている部分あるいは、鋼管が座屈して外側に変形している部分のことなどがわかる。なお、コンクリート中の膨張材の有無は、荷重とひずみの関係は顕著な影響を及ぼしていない。

5.2 鋼管によるコンクリートの拘束

钢管とコンクリートとの合成部材の圧縮耐力は、钢管によるコンクリートに対する拘束の程度に影響されるものと思われる。そこで、ひずみ測定結果とともに拘束の影響を充填钢管の場合を含めて検討を行う。

(1) 充填钢管(B)の軸直角方向のひずみに対する軸方向ひずみの比の絶対値(以下ひずみ比という)の平均値と軸方向圧縮ひずみの平均値との関係を図7に示す。図7には、充填钢管のほか、钢管試験体・コンクリート供試体の結果も合わせて示してある。钢管のひずみ比は、圧縮ひずみが0.001迄は0.28、それ以後増大し、圧縮ひずみが0.0037で0.48となっている。钢材のボアソン比は、弾性範囲で約0.3、塑性範囲で0.5であるといわれている²⁾。本実験の結果はそれに一致している。コンクリート供試体については、圧縮ひずみが0.001迄はほぼ一定であり、その値は0.2である。圧縮ひずみがその値より大きくなるとひずみ比は増大する。特に圧縮ひずみ

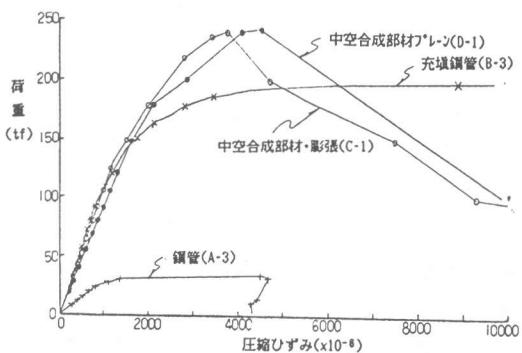


図4 各種部材の荷重・ひずみの関係

表3 試験結果一覧

試験体記号	試験体の内容	最大荷重実測値(tf) (A)	最大荷重計算値(tf) (B) ¹⁾	A/B	最大荷重時ひずみ(x10 ⁻⁶)
A	钢管	34.0 平均 32.8 33.8 34.5	—	—	—
B	充填钢管	171.0 182.5 185 201.5	146	1.17 平均 1.25 1.27 1.38	8130 平均 7080 8610 10630
C	中空合成部材 膨張材	240.0 220.0 247 280.0	224	1.07 0.98 1.10 1.25	3690 (2210) 3560 3430
D	中空合成部材 フレーン	243.0 270.0 251 240.0	220	1.10 1.23 1.14 1.09	4420 3110 4160 4940

注) 1) 一軸応力状態とし、钢管とコンクリートの耐力の和として求めた値

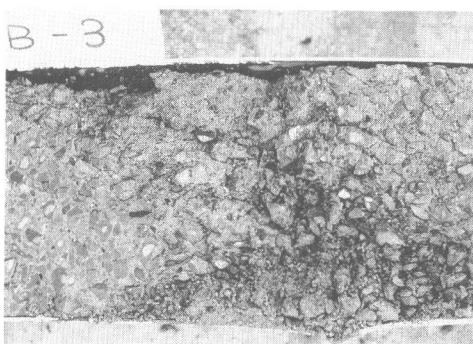


図5 充填钢管コンクリートの破壊状況

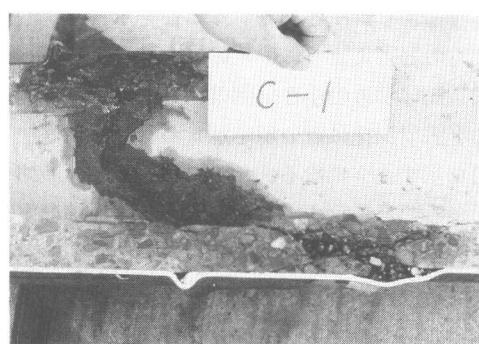


図6 中空合成部材のコンクリートの破壊状況

が0.0025より増大すると、ひずみ比が著しく増大して、みかけのポアソン比は0.5より大きくなるといわれている²⁾。したがって、充填鋼管の圧縮試験を行なうと、荷重の小さい範囲では鋼管のポアソン比がコンクリートのそれより大きいため、鋼管が外側に離れるようになるので、コンクリートは鋼管により拘束されない。荷重が増大してコンクリートのポアソン比が著しく増加するようになって、拘束されることになる²⁾。図7における充填鋼管のうちB-1、B-3の測定値は、上記のことを裏付けている。ひずみ比が増大してコンクリートが鋼管により強く拘束されるようになるのは、試験体によりばらつきはあるものの圧縮ひずみが0.003～0.005以上のときである。

(2) 中空合成部材のうち、高強度膨張コンクリートを用いたCおよび高強度プレンコンクリートを用いたDのひずみ比と軸方向ひずみとの関係を図8および図9に示す。Cは膨張材の影響があるので、まずDについて検討する。図9で試験体のうちD-2,D-3の2本の場合は、0.0013迄は0.24とコンクリートのポアソン比程度の値を示している。このことは、鋼管とコンクリートの付着が良好で、鋼管は外側に広がるのをコンクリートにより抑制されていることを示すものと言えよう。D-1の場合、軸方向ひずみの小さい間は、コンクリートのポアソン比に近い値を示すが、徐々に増加し圧縮ひずみが0.0005で鋼管のひずみとほぼ同じ値を示すようになる。この試験体では、コンクリートと鋼管との付着が他の2体の試験体よりも劣っていることを示すものといえよう。圧縮ひずみが0.0013より大きくなると、ひずみ比が著しく増大するD-2とあまり変化しないD-1、D-3にわかれる。なお、このように供試体毎に傾向が異なる原因が測定位置のばらつきに起因することも考えられる。そこで、各試験体につき、各測定点毎のひずみ比の変化を比較したが、測定点により傾向の異なることはなかった。D-2の場合コンクリートが鋼管から強く拘束を受けていることを示している。D-1、D-3の場合最大荷重ま

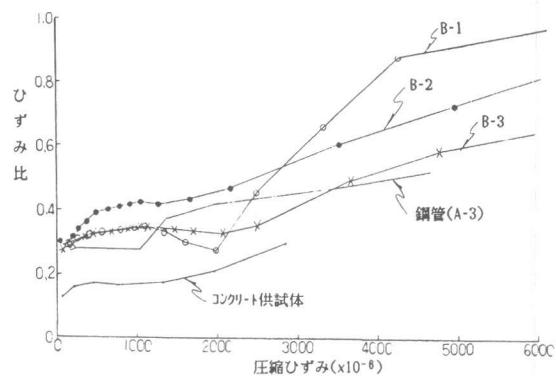


図7 ひずみ比・圧縮ひずみの関係(充填鋼管)

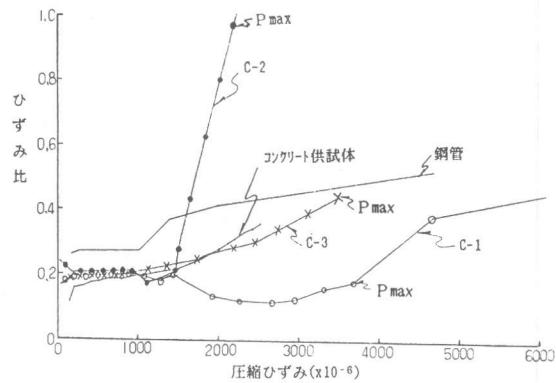


図8 ひずみ比・圧縮ひずみの関係(中空・膨張)

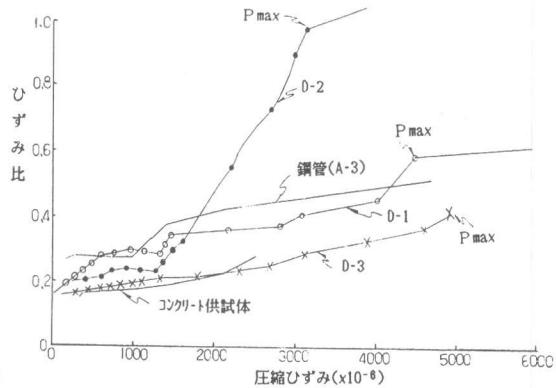


図9 ひずみ比・圧縮ひずみの関係(中空・プレン)

図9の説明文: 圧縮ひずみが0.0013より大きくなると、ひずみ比が著しく増大するD-2とあまり変化しないD-1、D-3にわかれる。なお、このように供試体毎に傾向が異なる原因が測定位置のばらつきに起因することも考えられる。そこで、各試験体につき、各測定点毎のひずみ比の変化を比較したが、測定点により傾向の異なることはなかった。D-2の場合コンクリートが鋼管から強く拘束を受けていることを示している。D-1、D-3の場合最大荷重ま

では鋼管のボアソン比と同等か小さく鋼管による拘束は、受けていないことを示している。試験体が最大荷重となる時の圧縮ひずみを比べてみると、D-2のように軸方向ひずみが小さいうちに増加を始める場合0.0031と最も小さく、ひずみ比から判断して拘束のないと思われるD-1、D-3の方が大きい値となっている。なお、D-1、D-3も荷重が最大値を示すときあるいはそれ以降ではひずみ比が増大する傾向にある。

膨張コンクリートを用いた試験体Cの場合は、ひずみが0.0014迄はどの試験体もコンクリートのボアソン比とほぼ同一である。これは、コンクリートの膨張によりケミカルプレストレスが生じるので鋼管は引っ張られた状態となっているため、荷重が作用するとコンクリートのひずみがあらわれるものと思われる。圧縮ひずみが0.0014以上の範囲では、Dの場合と同様に試験体によりひずみ比の増加の著しいものとあまり増加しないものとにわかれた。また、ひずみ比の増加の著しいものは、軸方向ひずみが小さいときに破壊することもDの場合と同じである。

既に述べたように、中空合成部材は、最大荷重時あるいは直後からコンクリートが破壊して、部材の内側に落下してゆくものと思われる。最大荷重時のひずみは、表3に示されているが、高強度膨張コンクリートを用いた合成部材Cの平均で0.0036、高強度プレーコンクリートを用いた合成部材Dの平均で0.0042である。これに対して供試体の試験で得られる破壊ひずみは、膨張コンクリートで0.00283、高強度プレーコンクリートで0.00264である。このように、中空合成部材においてはコンクリートが破壊するときのひずみが増大している。これは、破壊近くのコンクリートのボアソン比は鋼管のそれより著しく大きくなるため、コンクリートは鋼管により拘束され外側からは破壊しないこと、そのためコンクリートの内側から破壊することになるが、コンクリートが落下するときのひずみはアーチアクションのため、供試体の試験から得られる破壊ひずみより増大することによると思われる。

コンクリートに圧縮試験時に側圧を作用させて圧縮試験を行うときの応力ひずみ関係は側圧がない場合よりも圧縮強度および圧縮強度となるときのひずみが著しく増大することはよく知られている³⁾。しかし、拘束の影響が生じるのは、あくまでコンクリートが破壊あるいは破壊しようとして膨張を始めるときであり、それが拘束されてはじめて応力ひずみ関係が改善される。中空合成部材のように内側に逃げ場のある場合は、コンクリートが内側に落下するので顕著な改善はみられないものと思われる。したがって、コンクリートの応力ひずみの関係は一軸応力状態と考えてコンクリートの分担力を求めると実測値に近い安全側の値となる。また、拘束力が大きいほど外側への逃げ場がなく軸方向ひずみの小さいうちに破壊する可能性がある。これが、膨張材を用いた方が破壊時ひずみが小さくなる原因と思われる。

5.3 中空合成部材の一軸圧縮耐力

中空合成部材C、Dの各試験体の荷重ひずみ関係を図10および図11に示す。これらの図には、(1)式に示すように同一ひずみにおける鋼管とコンクリートの軸力の単純累加として求めた荷重とひずみの関係の計算値も合わせて示してある。

$$P(\varepsilon) = A_c \cdot \sigma'_c(\varepsilon) + A_s \cdot \sigma'_s(\varepsilon) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ε : 圧縮ひずみ、 $P(\varepsilon)$: ε のときの軸方向力、 A_c, A_s : コンクリートおよび鋼管の断面積

$\sigma'_c(\varepsilon)$: ε のときのコンクリートの応力度 (コンクリート供試体の応力ひずみ関係から求める)

$\sigma'_s(\varepsilon)$: ε のときの鋼管の応力度 (鋼管試験体の応力ひずみ関係から求める)

これらの図より、計算値の求められる範囲では、計算値は実測値とほぼ一致していること、

および実測値の方が最大荷重となるときのひずみが大きくなる傾向にあることがわかる。最大荷重の実測値と計算値（コンクリートの応力度を供試体の圧縮強度 f'_c とし、鋼管の応力度を試験体の圧縮試験から求めた降伏点応力度 f'_y とするときの値）の比較は、表3に示してある。表3によると実測値と計算値の比は、高強度膨張コンクリートを用いた場合（C）で0.98～1.25、平均1.10、高強度プレンコンクリートを用いた場合（D）で1.09～1.23、平均1.14である。したがって、中空合成部材の軸方向圧縮耐力は、コンクリートおよび鋼管の応力ひずみ関係を一軸応力状態であるとして求めると、ほぼ実測値に近く安全側の値が得られる。

6. 結論

(1) 中空合成部材は、最大荷重に達した時点から、内張りコンクリートの落下が始まる。落下が始まる時のひずみは、鋼管によりコンクリートが飛散するのを防止されるので、コンクリート供試体から求まる値より増大する。

(2) 荷重ひずみ関係、軸方向圧縮耐力は内張りコンクリートの膨張により大きな影響は受けない。ただし、最大荷重となるときの軸方向ひずみは膨張コンクリートを用いる場合の方がプレンコンクリートを用いる場合より小さくなる。

(3) 内張りコンクリートが破壊しようとしてコンクリートのみかけのボアソン比増大するようになってコンクリートは鋼管から強く拘束されるようになる。中空合成部材の場合、部材内側にコンクリートが落下するため、鋼管による拘束の影響は内張りコンクリートの破壊を始めるひずみを増大させる効果はあるが圧縮強度を増大させるほどの影響はない。

(4) 中空合成部材の軸方向圧縮耐力は、コンクリートの強度を供試体圧縮強度とし、鋼管の強さを降伏点強度としてそれぞれの耐力の和として求めることができる。

引用文献

- 1) 松本嘉司、福沢公夫：中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ性状に関する実験的研究、土木学会論文報告集、No.301、Sep.1980、pp125～139
- 2) 富井政英、崎野健治：充てんコンクリート鋼管構造に関する研究の現状 その1、コンクリート工学 Vol.13、No.2、Feb.1975、pp26～41
- 3) 小阪、谷川、畠中、森：多軸効果を考慮した鋼纖維補強コンクリートの応力-ひずみ特性に関する解析的研究、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1982、pp189～192

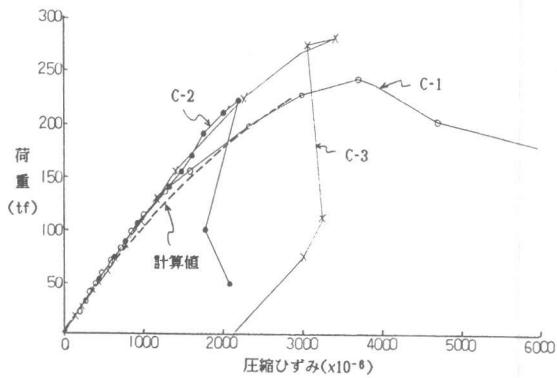


図10 荷重・圧縮ひずみの関係（中空・膨張）

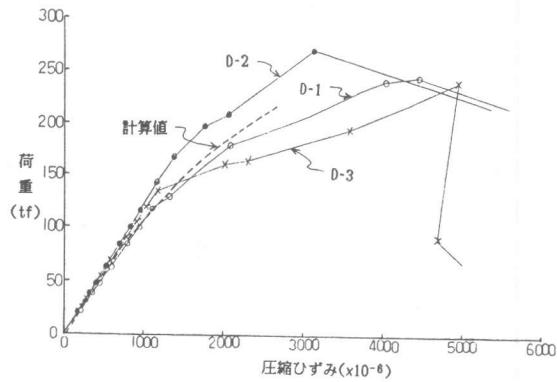


図11 荷重・圧縮ひずみの関係（中空・プレン）