

# 論文 横拘束されたコンクリート柱の圧縮応力分布の測定実験

塩屋 晋一\*1・永田 健二\*2・黒木 康博\*3

要旨：本研究では、力学的対称性を利用して、角形鋼管により横拘束されたコンクリート柱が中心圧縮力を受ける場合の内部の圧縮応力分布を測定し、最大荷重直後までの応力分布の特徴を明らかにした。対称面の直圧縮応力分布については、これまで認識されていたように角形鋼管のコーナーに近い部分の応力が大きくなる性状が確認されたが、最大荷重直後ではそのコーナー部分の応力が急激に低下し、柱断面の中央部の応力が大きくなり、最大荷重以降の軟化域での応力性状は中央部の影響を大きく受ける可能性がある。最大荷重時の変形レベルで繰り返し加力を行っても同一荷重レベルであれば、内部の応力分布はほぼ同一である。  
 キーワード：鋼管コンクリート, 横拘束, コンクリート, 応力-ひずみ関係, 応力分布

## 1. はじめに

コンクリート系部材では、横拘束する帯筋や鋼管の形状により、部材内部ではコンクリートに対する拘束度合が異なることが予想され<sup>1)</sup>、そのことが解析的にも検証されている<sup>2)</sup>。

しかし、実験的に内部の応力分布を測定した例は全くない。コンクリート内部の詳細な応力分布が測定できれば、比較的精度の高いレベルで、それらの解析手法の妥当性も検証できる。

研究代表者らは、既に力学的対称性を利用してコンクリート内部の圧縮応力分布を詳細に測定する方法を提案している<sup>3)</sup>。

本研究では、その測定方法を横拘束されたコンクリート柱に適用することを試みた。今回は、部材内部で特に拘束度合が不均一になりやすい、角形鋼管で拘束される正方形断面柱とした。

本論文では実験方法と鋼管内部のコンクリートの直圧縮応力分布の特徴について述べる。

## 2. 内部の応力分布の測定原理

材料や形状および荷重などに対称性がある構造物では、対称線や対称面に仮想の支持条件を

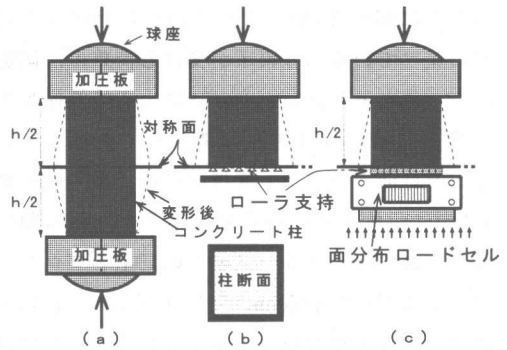


図-1 対称面の直圧縮応力分布の測定原理

与えることにより、応力状態やひずみ状態を変化させることなく、構造物の一部だけを扱うことが可能になる。このような構造物の部分的な扱い方は解析対象物のモデル化でよく利用される。一軸圧縮力を受けるコンクリート柱の場合には、図-1(a)に示すように中央高さの水平面が対称面となる。図-1(b)のように柱の上半分高さのものに、対称面に相当する面を鉛直変位が生じないようにローラー支持して一軸圧縮力を加えることを考える。その内部で生じる応力分布やひずみ分布は、図-1(a)の柱上半分のものに等しいことになる。そのローラー支持の鉛

\*1 鹿児島大学助教 工学部建築学科 工博(正会員)

\*2 (株) 植村組

\*3 鹿児島大学助手 工学部建築学科 工修(正会員)

直反力は対称面での内力の直圧縮応力度と釣り合うため、その鉛直反力分布を詳細に測定することは、図-1(a)の柱の対称面での直圧縮応力分布を間接的に測定することになる。実験では、図-1(c)のように昨年、開発した面分布ロードセルをセットして鉛直反力分布を測定する。

### 3. 実験計画

#### 3.1 面分布ロードセル

図-2に面分布ロードセルの概略を示す。図-2(a)中に示すような荷重検出用素子(以後、素子と称す)を鋼材で製作し、受感部に2枚のひずみゲージを貼付し、曲げ成分を除去できるようにしている。そして121個の素子を磨き鋼板の上に図-2(b)のように11行11列のます目状に並べている。各素子が受ける荷重は、個別に行ったキャリブレーションによる換算係数と受感部の平均のひずみの積として検出している。対称面のローラー支持については、図-2(c)中に示すように対称面と素子の上面の間に焼き入れ角鋼とグリース塗りの二重テフロンフィルム(厚さ0.05mm)をセットし、これらの間で対称面の横変形を拘束しないようにしている。この支持の静止摩擦係数は1.5%である。詳細については文献3)を参照されたい。

#### 3.2 試験体形状と測定面

図-3に試験体タイプ名と形状および寸法を示す。柱断面と鋼管の形状は正方形である。

鋼管が横拘束だけに効くように、加力端と鋼管の間に隙間を設けてコンクリートだけに圧縮

力が伝達するようにし、また鋼管の内側には金属型枠用の剥離剤を塗布してコンクリート打設を行った。CFT-N-Aが、標準の試験体(以後、標準試験体)で、これが中心圧縮力を受ける場合の中央高さの水平面が対称面となり、その面の直圧縮応力分布を測定することになる。このためには標準試験体の1/2モデルの試験体(以後、対称面試験体)を用いることになる。この際、鋼管は中央高さで切断されることになる。また、図-4のように変形測定用ホルダーのボルトをセットするために、対称面近傍で鋼管下端と対称面の間に鋼管で横拘束されない部分を設ける必要がある。対称面試験体は最終的に図-3のCFT-Hの形状となり、これにより測定

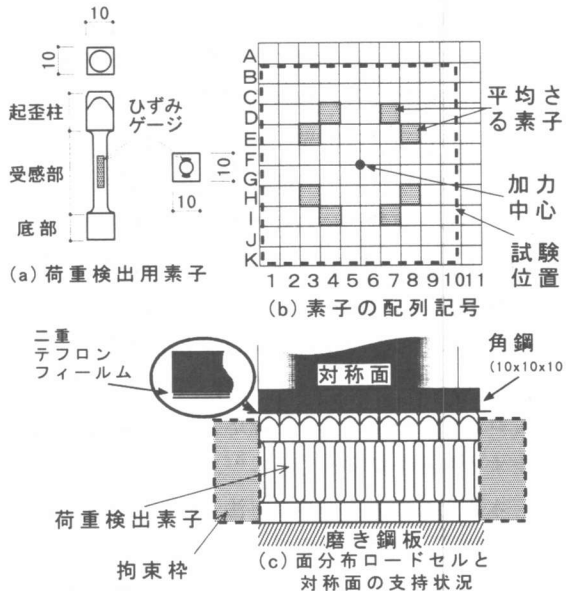


図-2 面分布ロードセルと荷重検出素子配列状況

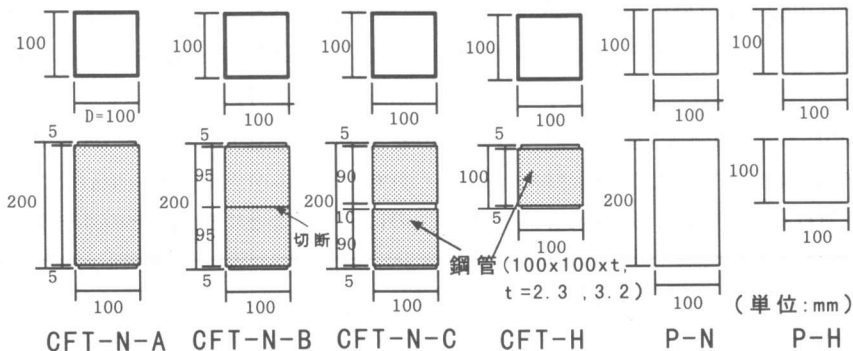


図-3 試験体名と形状および寸法



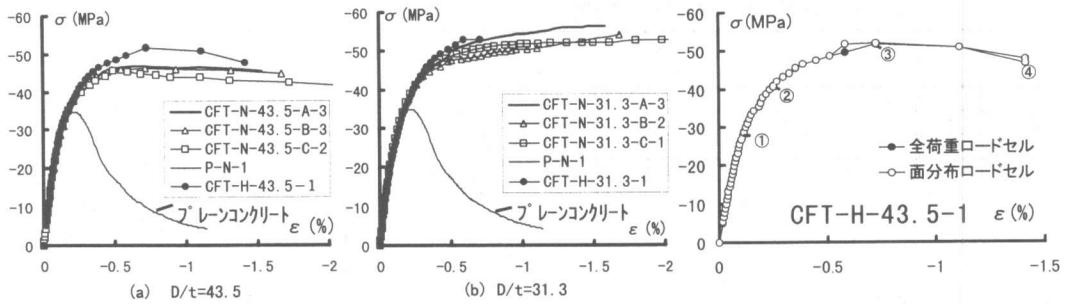


図-5 平均の圧縮応力-ひずみ関係の比較

くなっており、 $D/t=43.5$  のシリーズでは観られなかった鋼管の切断による影響が観られる。対称面試験体 CFT-H は、本来ならば CFT-N-C の応力-ひずみ関係に近づくはずであるが、標準試験体 CFT-N の応力-ひずみ関係とほぼ同じとなり、前述した対称面の面の広がり変形の拘束が存在しているものと考えられる。

以上のことから、今回の幅厚比の範囲では鋼管が厚くなるほど、鋼管の切断や隙間により応力が低下しやすくなる。また、実験での対称面のローラー支持方法を、面の広がりをまだ拘束しない方向で改善する必要がある。

#### 4.2 対称面の直圧縮応力分布

図-6に最大荷重時の応力分布が測定された CFT-H-43.5-1 の平均の圧縮応力-ひずみ関係を示す。●-●の応力-ひずみ関係は試験体に作用する全荷重から算出される平均の圧縮応力によるもので、○-○の応力-ひずみ関係は面分布ロードセルの各素子により検出される全圧縮力から算出される平均の圧縮応力によるものである。両者の差は、最大荷重の直前で 2.5% で、それ以外の測定ステップでは 1% 以内で、文献 3) で示した精度と同程度のものであった。ただし、4.1 節で述べたように幅厚比 ( $D/t$ ) が 43.5 のシリーズでは、対称面試験体 CFT-H は、標準試験体 CFT-N に較べて圧縮強度が約 7% 大きくなっているため、測定される圧縮応力分布にもその誤差が含まれていることに留意する必要がある。

図-7にその CFT-H-43.5-1 の対称面の直圧縮応力分布を示す。示した分布は図-6中に

示す番号の時のものである。図-7(a)は測定される応力分布で、分布にバラツキが生じている。これは、コンクリート材料における骨材・セメントペースト・気泡などの不均一性による影響を受けているものと考えられる。測定される分布では、その特徴を明確に把握できないため、つぎのような分布の平準化を行った。応力分布に前述のバラツキがない場合には、力学的には応力分布は柱断面中心を中心に点对称形の分布になる。この考えに基づき、図-2(b)に示すように柱断面中心から荷重素子の中心までの距離が等しい素子の応力を平均して、点对称形の分布に平準化する。図-7(b)は平準化された分布で、図-7(c)は①の分布にあるように柱断面の対角線列の分布であり、図-7(d)は中央列の F 列の分布である。図-7(c)(d)中には各時点での平均の圧縮応力  $\bar{\sigma}$  を実線の水平線で示す。また、圧縮強度時の③の分布にはプレーンコンクリート角柱(P-N)の平均圧縮強度  $c\sigma_B$  を点線の水平線で示す。

以下に平準化された分布に基づいて応力分布の特徴を述べる。図-8には応力分布の特徴を述べるための断面のゾーニングを示す。

①の分布は最大荷重の約 50% 時のもので、図-6の応力-ひずみ関係ではほぼ比例限界の時点と考えられる。鋼管と接する周辺部の応力が大きい。ただし、コーナーでも先端の部分(図-8の e)の応力が小さくなっている。

②の分布は最大荷重の約 80% 時のもので、応力-ひずみ関係で剛性が急激に低下し始める頃の分布である。コーナーの部分(図-8の c)の

図-6 平均の圧縮応力-ひずみ関係

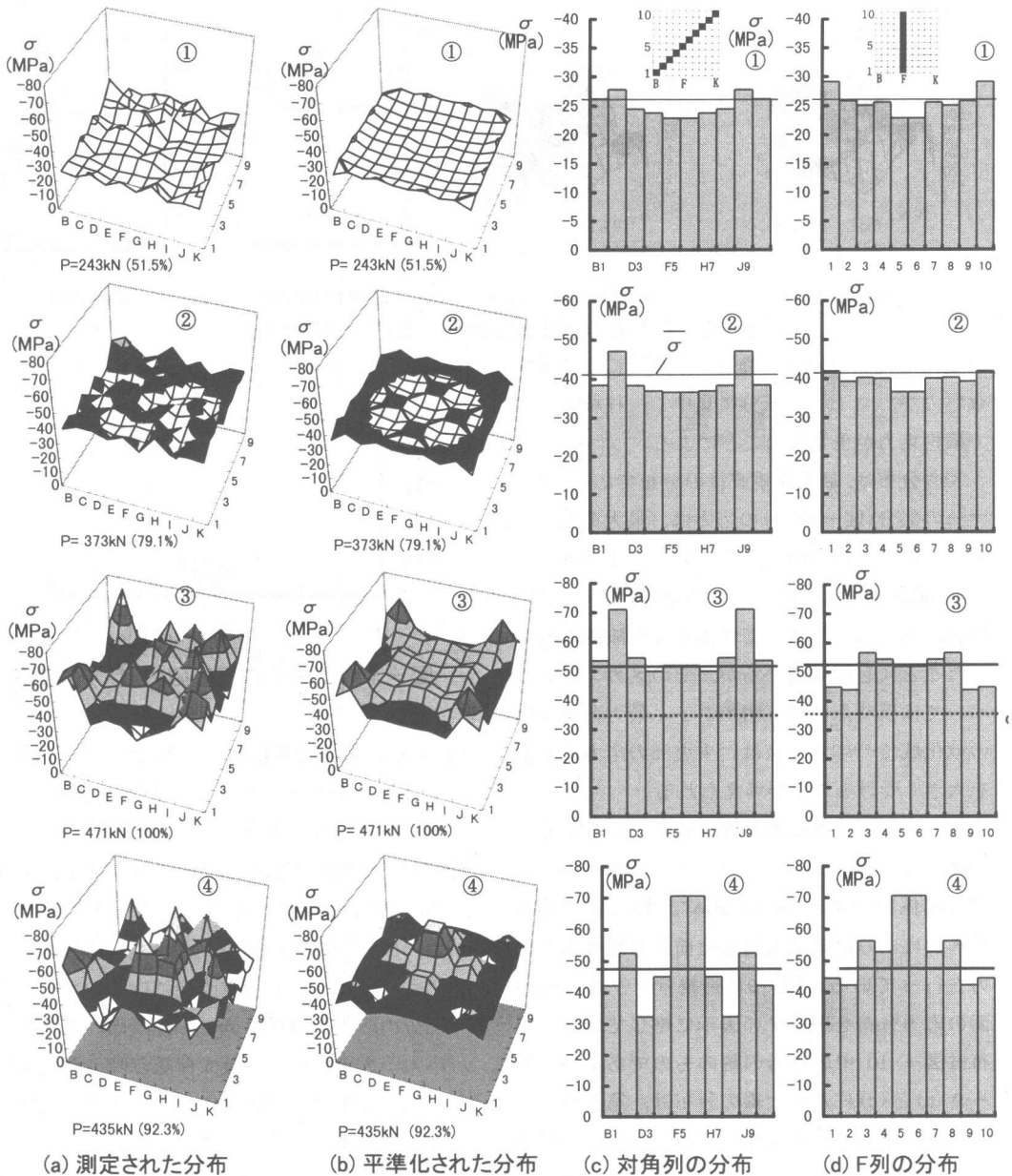


図-7 対称面の直圧縮応力分布 (CFT-H-43.5-1)

応力が突出して、その他はほぼ同じレベルの応力となっている。

③の分布は最大荷重時のもので、この時、鋼管の横ひずみが降伏ひずみにほぼ等しく、このつぎの測定ステップで完全に降伏した。コーナーの部分(図-8のc)の応力がより突出しているが、図-7(d)で視られるように周辺の柱幅の中央部分(図-8のd)の応力が小さくなって

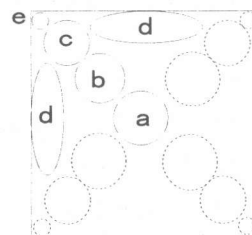


図-8 対称面のゾーニング

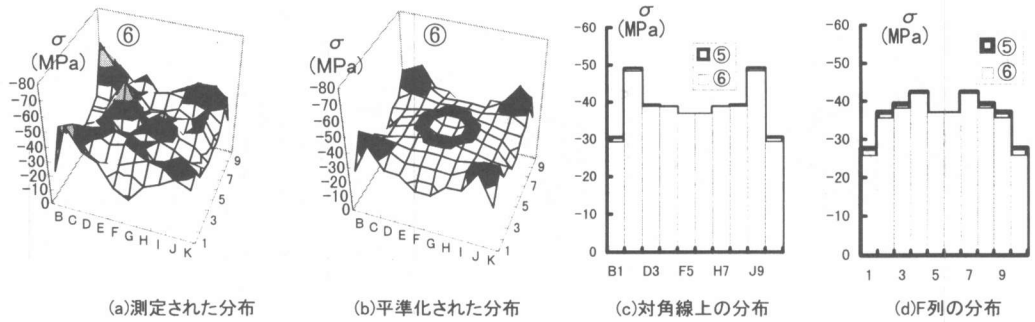


図-9 対称面の直圧縮応力分布 (CFT-H-43.5-3)

いる。これらの分布の特徴は、鋼管による横拘束応力が、コーナー部分に集中し、柱幅中央部で横拘束力が生じないことによる<sup>1)</sup>。

④の分布は、最大荷重直後の分布である。コーナーの部分(図-8のc)の応力は、最大荷重時のものに比べて約30%減少し、中央部(図-8のa)は約30%増加している。この現象については、鋼管が横方向に降伏して横拘束度の剛性が低下したことに起因しているが、そのメカニズムについては現時点では不明である。最大荷重以降の軟化域での応力性状は、中央部の応力の影響を大きく受けることが考えられる。

#### 4.3 繰り返し加力時の応力分布の変化

図-10にCFT-H-43.5-3の平均の圧縮応力-ひずみ関係を示す。この試験体では3.3節で述べた理由によりほぼ最大荷重直前から繰り返し加力を行っている。図-9に最終サイクルの対称面の応力分布を図-7の表示に準じて示す。分布は図-10中の番号の時のものであるが、図-9(c)と(d)に示す太線の分布は、第1サイクルで同じ応力レベル(図-10中の⑤)のものである。両者はほぼ同じ分布となっており、同じ応力レベルであれば繰り返し加力(4回)の影響をほとんど受けないものとなっている。

#### 5. まとめ

力学的対称性を利用して、角形鋼管により横拘束されたコンクリート柱の内部の圧縮応力分布を測定し、最大荷重直後までの応力分布の特徴を実験的に明らかにした。本研究で得られた見知をまとめと以下ようになる。

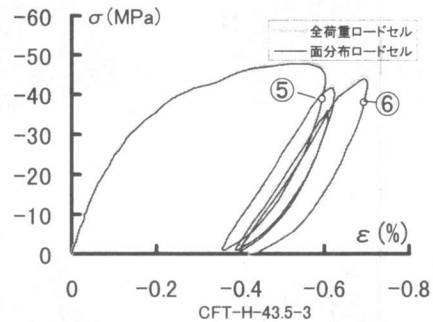


図-10 平均の圧縮応力-ひずみ関係

- (1) 示した応力分布には7%程度の誤差を含んでおり、対称面のローラー支持方法を今後、改良する必要がある。
- (2) 対称面の直圧縮応力分布については、これまで認識されているように角形鋼管のコーナーに近い部分の応力が大きくなる性状が確認されたが、最大荷重直後ではそのコーナー部分の応力が急激に低下し柱断面の中央部の応力が大きくなる。最大荷重以降の軟化域での応力性状は、中央部の影響を大きく受けることが考えられる。
- (3) 最大荷重時に4回程度の繰り返し加力を行っても、同一荷重レベルであれば、内部の応力分布はほぼ同一である。

#### 参考文献

- 1) 例えば、靱性設計小委員会報告書・線材 WG 報告書、日本建築学会、pp. 15(1992)
- 2) 例えば、水野英二、森本康介、畑中重光：中心軸圧縮力を受けるコンファインドコンクリートの拘束効果に関する三次元 FEM 解析、コンクリート工学年次論文集、Vol.21, No.3, pp. 85-90(1999)
- 3) 塩屋晋一：力学的対称面を利用するコンクリート内部の圧縮応力分布の測定、コンクリート工学年次論文集、Vol.21, No.2, pp. 583-588(1999)