

名古屋大学大学院 学員 前田 欣昌  
名古屋大学大学院 学員 ○伊藤 誠二  
名古屋大学工学部 正員 水野 英二

## 1. はじめに

一般に、角形鋼管を用いたコンクリート充填鋼管柱は、円形鋼管を用いたそれと比較して、鋼管のコンファインド効果が小さいことが知られている。それゆえ、コンクリート充填角形鋼管柱の解析にあたっては、充填コンクリートに作用する鋼管部分からの有効拘束圧の変動および鋼管部分の耐荷力特性の評価方法が課題となる。本研究は、中心軸圧縮を受けるコンクリート充填角形鋼管柱のエネルギー吸収能について考察する。

## 2. 解析モデル

本研究では、角形鋼管柱（無補剛）とコンクリートとは完全付着、力のやりとりは側圧のみと仮定し、充填コンクリート部分および鋼管部分の軸力-変位関係をそれぞれ足し合わせることで、コンクリート充填鋼管柱の軸力-変位関係を推定する。充填コンクリートおよび鋼管に対して、以下の解析モデルを用いた。

- (1) 充填コンクリートの軸力-変位関係を求めるにあたり、コンクリートの寸法および形状効果を考慮したエネルギー吸収形態を、Parallel-series モデルに採り入れる。このモデルおよび解析手法の詳細については、文献1)を参照されたい。
- (2) 鋼管柱に関しても上記(1)と同様に、局部座屈を考慮したエネルギー吸収形態を、図-1(a)に示す、Series モデルに採り入れる。ここで、鋼管を水平方向に有限個(N個)の要素に分割し、各要素の応力・ひずみは一軸状態と仮定する。3節および4節では、特に、コンクリートを充填した鋼管部分のエネルギー吸収モデルについて述べる。
- 
- Figure 1(a) illustrates the energy absorption model for a steel tube. The main diagram shows a rectangular cross-section of a steel tube with a diagonal brace, subjected to a vertical load  $P$ . A detail view on the right shows a cross-section of the tube with internal stress  $\sigma$  and external stress  $\sigma_0$ , and labels for 'エネルギー吸収能' (Energy Absorption Capacity) and '大' (Large).

### 3. 鋼管部分のエネルギー吸収形態

角形鋼管のエネルギー吸収形態として、局部座屈が発生する領域にのみエネルギーが吸収され、局部座屈中心点（図-1（a）のA-A'）から局部座屈終了点（図-1（a）のB-B'）へと移るにしたがい、吸収エネルギーが低減すると仮定する。同図に、鋼管のエネルギー吸収形態を模式的に示す。色の濃い要素は多くのエネルギーを吸収することを表している。また、図-1（b）に各要素の応力 $\sigma$ -ひずみ $\varepsilon$ 曲線を模式的に示す。同図のある応力点 $\sigma^*$ に対する塑性エネルギー（図中の斜線部分

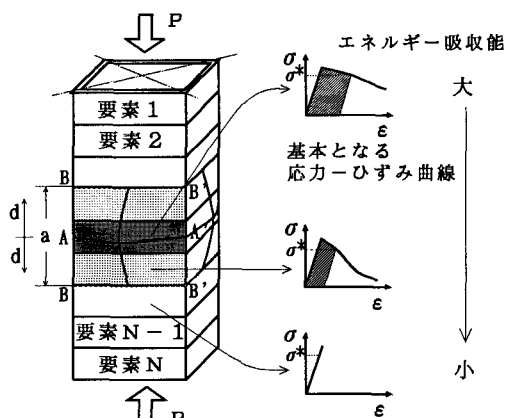


図-1(a) Seriesモデル 図-1(b)  $\sigma - \epsilon$  曲線

の面積)の大きさがエネルギー吸収能の大きさを示している。このエネルギー吸収能は局部座屈変形の曲率に比例すると仮定して、局部座屈中心点からのエネルギー吸収能の低減率を算定した。ここでは、コンクリート充填鋼管柱の局部座屈波形は、周辺固定支持板のそれと等しいと仮定し、文献2)で与えられるたわみの式から、曲率の変動を算出することにより、エネルギー吸収能の低減率を局部座屈中心点からの距離および座屈領域長さ(=供試体幅と仮定)の関数として表現した。

#### 4. 鋼管部分の基本となる応力-ひずみ曲線

局部座屈中心点(図-1のA-A'部分)の応力-ひずみ曲線が、本解析で必要となる基本となる応力-ひずみ曲線である。この基本曲線を設定すれば、3節で述べたエネルギー吸収能の低減曲線を用いて、各要素の応力-ひずみ曲線の推定が可能となる。本研究では、1)コンクリートで充填された鋼管柱は周辺固定支持の圧縮板として挙動する、2)最大応力点<sup>29)</sup>による最大応力度曲線より求められる、3)鋼管は最

大応力点までは線形弾性挙動を示し、最大応力点で初めて局部座屈が生じると仮定する。コンクリートを充填した鋼管の基本となる応力-ひずみ曲線を設定するにあたり、コンクリートを充填した鋼管柱と充填しない鋼管柱の局部座屈中心部分でのエネルギー吸収能を比較した。その結果、コンクリートを充填した鋼管のエネルギー吸収能（単位高さ当たりの曲率の合計）は、コンクリートを充填しない鋼管のエネルギー吸収能（剛板の座屈波形を、小松ら<sup>3)</sup>にならい、周辺単純支持板のそれと等しいと仮定した場合の、単位高さ当たりの曲率の合計）の約2倍であることが分かった。それゆえ、コンクリートを充填した鋼管の基本となる応力-ひずみ曲線は、コンクリートを充填しない鋼管の基本となる応力-ひずみ曲線（実験データから求められる曲線）と比較して、2倍のエネルギー吸収を有するように設定した。

## 5. 解析結果

解析対象となったコンクリート充填角形鋼管柱の供試体寸法および材料定数を表-1に示す<sup>4)</sup>。

表-1 供試体寸法および材料定数

| Specimen | b<br>(mm) | L<br>(mm) | t<br>(mm) | R<br>$k = 4.0$<br>$k$ :座屈係数 | $E_s$<br>$\text{kgf/cm}^2$<br>( $\times 10^6$ ) | $\sigma_y$<br>$\text{kgf/cm}^2$<br>( $\times 10^3$ ) | $\epsilon_y$<br>( $\times 10^{-3}$ ) | $E_c$<br>$\text{kgf/cm}^2$<br>( $\times 10^5$ ) | $f'_c$<br>$\text{kgf/cm}^2$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|
| U9-C     | 196       | 592       | 4.51      | 0.839                       | 2.01                                            | 2.71                                                 | 1.34                                 | 2.84                                            | 280                         |
| U12-C    | 263       | 790       | 4.51      | 1.126                       | 2.01                                            | 2.71                                                 | 1.34                                 | 2.88                                            | 289                         |

b:供試体幅, L:供試体高さ, t:供試体厚さ, R:幅厚比パラメータ,  $E_s$ :鋼管のヤング係数,  $\sigma_y$ :降伏応力  
 $\epsilon_y$ :降伏ひずみ,  $E_c$ :コンクリートのヤング係数,  $f'_c$ :寸法・形状効果を考慮したコンクリートの一軸圧縮強度

図-3 (a) に、供試体 (U9-C) の充填コンクリートに角形鋼管から各種一定拘束圧 ( $\sigma_c = 0, 3, 6, 10 \text{ kgf/cm}^2$ ) が作用すると仮定した場合の解析結果を示す。図中、縦軸は中心軸圧縮荷重  $P$  (tonf) を、横軸は軸方向変位  $u$  (cm) を表す。なお、解析結果を実線で、実験結果を破線で示す。同様に、図-3 (b) に、供試体 (U12-C) の解析結果を示す。まず、(U9-C) のケースについて考察する。拘束圧が作用しないと仮定した場合には、最大耐力に関しては解析結果と実験結果は良く一致している。しかし、最大耐力以降の挙動に関しては、解析結果は実験結果よりもかなり脆性的な挙動を示す。また、同図から一定拘束圧が  $3 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$  と作用するに従い、最大耐力に関しては解析結果は実験結果よりも大きくなってゆくが、最大耐力以降の挙動に関しては、徐々に延性的な挙動を示すようになり比較的实验結果と同様な傾向を予測する。また、(U12-C) のケースについても、(U9-C) のケースと同様な考察が言える。

## 6. まとめ

本研究による成果をまとめると、次のようである。

- (1) 充填コンクリート部分の圧縮軟化挙動をParallel-seriesモデルで、角形鋼管部分の圧縮挙動をSeriesモデルを用いて予測し、両結果を足し合わせることで、コンクリート充填角形鋼管柱のエネルギー吸収能を考察した。
- (2) コンクリート充填角形鋼管柱の解析結果を実験結果と比較した結果、充填コンクリート部分には鋼管部分から低拘束圧（約  $6 \text{ kgf/cm}^2$ ）が作用していると推測できる。

## 参考文献

- 1) 前田欣昌、水野英二、伊藤 誠、畑中重光：コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, 1994.
- 2) 中井 博、北田俊行、吉川 紀：土木学会論文集、Vol. 356, pp. 405-413, 1985. 4.
- 3) 小松定夫、北田俊行：土木学会論文報告集、Vol. 270, pp. 1-14, 1978. 2.
- 4) 葛 漢彬・宇佐美 勉・寺田昌弘：構造工学論文集、Vol. 38A, pp. 119-132, 1992. 3.

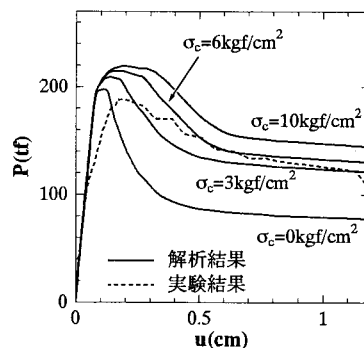


図-3 (a) 解析結果 U9-C

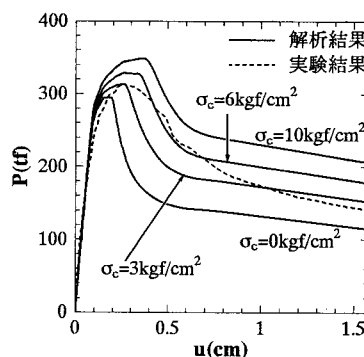


図-3 (b) 解析結果 U12-C