

コンクリート充てん形式の合成短柱の力学的挙動に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部 正員 中井 博

正員 北田俊行

大 林 組 正員 青田英樹

1. 研究目的 鋼管にコンクリートを充てんした柱(以下、合成柱という)は、主に建築の分野で利用されてきたが、最近では土木の分野においても利用されつつある。合成柱では充てんコンクリートの三軸圧縮効果により、その強度が著しく増大するなどの利点があるが、その挙動が十分明確にされていないため、必ずしもその特性が十分に活用されているとは思えない。したがって、今回、充てんコンクリートの三軸応力状態のもとにおける非線形挙動を中心に、合成短柱の耐荷性を解析的に考察するとともに、補助的に簡単な実験を行ったのでここに報告する。なお、合成柱への載荷方法としては、コンクリートの三軸圧縮応力状態が把握しやすい図-1に示す方法によった。

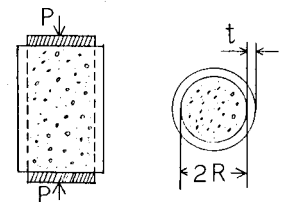


図-1, 載荷方法

2. 理論解析上の仮定および解析モデル

解析にあたっては、以下の仮定を設けた。

- ① 圧縮力には偏心がなく、鋼管およびコンクリート内の応力状態は一樣である。また、それらの材料は、均一で等方性である。
- ② 対象とする合成柱は短柱に属し、柱の全体座屈および鋼管の局部座屈は起らない。
- ③ 鋼管とコンクリートの境界面には付着や摩擦は作用せず、すべり止めなども設けない。したがって、鋼管にはフープ方向の応力のみが発生し、軸方向圧縮応力は発生しない。
- ④ 鋼管は、降伏点に至るまで完全弾性体である。コンクリートの破壊に至るまでの挙動に関しては、Ottosenの提案した「非線形指標 β 」を用いる方法¹⁾に従い、破壊(降伏)基準には、一般的なMohr-Coulombの基準は使用せず、 β 法との適合を考慮してOttosenの基準²⁾およびCaiの基準³⁾(図-2参照)に従うものとする。
- ⑤ 鋼管が降伏するとき、あるいは、コンクリートが破壊(降伏)するときの荷重を合成柱の耐荷力 P とする。

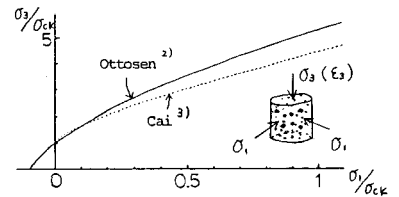


図-2, コンクリートの破壊基準

鋼管の解析モデルは、内径 $2R$ 、厚さ t の円形鋼管とし、その機械的性質はSS41材相当のものとする。コンクリートの機械的性質は、圧縮強度 $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$ 、引張強度 $\sigma_t = \sigma_{ck}/10$ 、初期接線弾性係数 $E_i = 2.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、 σ_{ck} における割線弾性係数 $E_f = E_i/2$ 、初期ポアソン比 $\nu_i = 0.2$ 、 σ_{ck} におけるポアソン比 $\nu_f = 0.36$ のものを標準とする。

3. 理論解析 合成柱の耐荷力を評価する基準耐荷力として、 $P_0 = A_c \cdot \sigma_{ck} + A_s \cdot \sigma_y$ によって求められる単純累加耐荷力 P_0 を使用する。合成短柱の耐荷力 P を P_0 で無次元化してプロットしたものを、図-3に示す。この図に示すように、すべての P/P_0 において P が P_0 を上回る結果となった。とくに、 $P/P_0 = 20$ 付近で P/P_0 の値が大きくなっていることから、耐荷

Hiroshi NAKAI

Toshiyuki KITADA

Hideki AOTA

力を高めるうえで有利な R_{te} の存在することからうかがえる。図-4は鋼管降伏時における充てんコンクリートの軸方向ひずみ ϵ_3 を示したものであるが、 R_{te} の値が小さいものほど ϵ_3 は大きくなり、 ϵ_3 は鋼管およびコンクリートの一般的な降伏(破壊)ひずみの数倍にまで達している。たとえば、 $R_{\text{te}}=5$ のとき、コンクリートに作用する軸方向圧縮応力 σ_3 は、圧縮強度 σ_{ck} の約6.5倍にまで達している。したがって、この載荷法をとる合成柱は、「鋼管によって増強されたコンクリート柱」ということかできる。

4. 実験結果と理論結果との比較

解析の妥当性と、実際の合成柱の挙動を調べるために簡単な実験を行ったが、実験装置の容量不足で供試体の耐荷力を求めることができなかったため、 P_{max} に至る途中までの挙動について検討する。供試体3体の寸法は、内径 $2R=200.3\text{ mm}$ 、肉厚 $t=8\text{ mm}$ 、高さ 300 mm であり、充てんしたコンクリートの強度は、 $\sigma_{ck}=296\text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_t=22.3\text{ kg/cm}^2$ 、 $E_c=3.2\times 10^5\text{ kg/cm}^2$ 、 $E_f=E_c/2$ 、 $\nu_c=0.175$ 、 $\nu_f=0.3$ である。

実験結果を図-5～図-8に示す。まず図-7、 $P-\sigma_{sx}$ 曲線(中央断面)図-8、 $\sigma_3-\sigma_{st}$ 曲線(中央断面)図-5から、 σ_3 と ϵ_3 との関係は解析値とほぼ一致している。解析上の仮定として「鋼管には軸方向応力 σ_{sx} は発生しない」としたが、実際には図-7に示すように境界面の摩擦によりかなりの応力が発生していた。そして、載荷中に鋼管の中央部がふくれ、鋼管には面外曲げが発生していた。今後は、境界面の摩擦や鋼管の面外曲げを考慮することが必要である。また、図-8に示すように、フープ応力 σ_{st} は解析値とかなり異なっていた。現在のところ、これはOttosenの方法自体に問題があるのか、本解析上の仮定に問題があるのか不明である。

5. 結論

今回の研究によって合成柱の耐荷力を十分明確にすることはできなかったが、合成柱を用いれば、充てんコンクリートを有効に利用することが可能であることがわかった。今後は、境界面での摩擦や鋼管の曲げを考慮した解析や、境界面の条件を種々変化させて実験を行うことが必要である。

参考 1.Ottosen,N.S., "Constitutive Model for Short-Time Loading of Concrete"
 2.Ottosen,N.S., "A Failure Criterion for Concrete"
 文献 3.Cai Shao-Huai, "Limit Analysis and Application of Concrete-Filled Steel Tubular Columns"

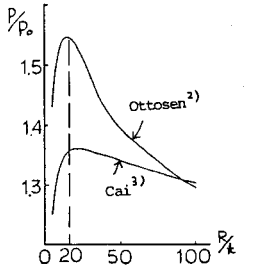


図-3、 R_{te} による P/P_0 の変化

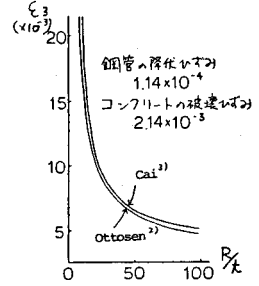


図-4、鋼管降伏時におけるコンクリートの軸方向ひずみの R_{te} による変化

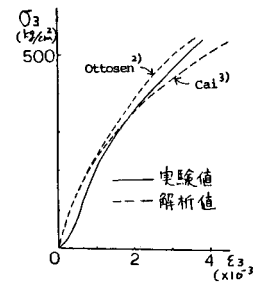


図-5、 $\sigma_3-\epsilon_3$ 曲線

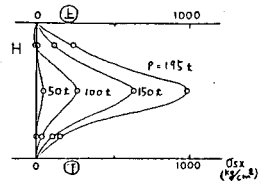


図-6、 σ_{sx} の垂直方向分布

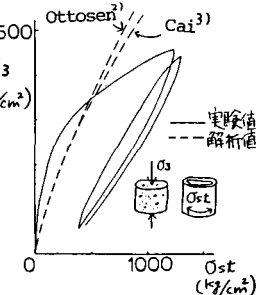
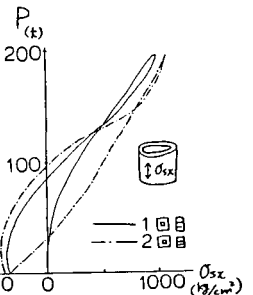


図-8、 $\sigma_3-\sigma_{st}$ 曲線(中央断面)