

合成柱の一弾塑性解析と力学特性について

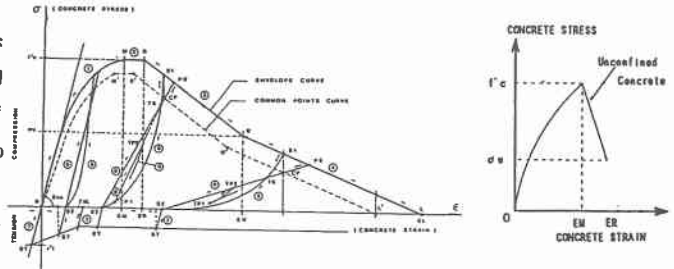
徳島大学大学院 学生員 ○豊嶋 昭年 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔
 徳島大学工学部 正 員 沢田 勉 徳島大学工学部 正 員 成行 義文

1. まえがき 本研究では、地震動などの変動繰返し荷重をうける合成構造物の非線形履歴挙動を、精度よく算定できる解析法を導くための基礎的研究として、静的繰返し荷重をうける、単柱式橋脚を念頭に置いた、合成柱^{1,2)}の弾塑性解析法、並びにその解析プログラムの作成を試みた。そして、円形断面及び矩形断面をもつ、簡単な合成柱並びにRC柱に対する数値解析結果をもとに、合成柱とRC柱の力学特性の相違並びに断面形による合成柱の力学特性の相違等について若干の比較検討を試みた。

2. 構成材料の応力-ひずみ履歴関係

(1) コンクリートの応力-ひずみ関係

本研究では、コンクリートの履歴挙動の基本的性質を比較的精度良く再現でき、かつ汎用性のある図-1のDanilo³⁾の解析モデルを採用した。なお、かぶりコンクリートについては、図-2に示すKent&Parkモデルを用いた。



(2) 鋼の応力-ひずみ関係

図-1, 図-2 コンクリートの $\sigma-\epsilon$ モデル

図-3に示すMenegotto-Pinto³⁾の解析モデルを採用した。また、鋼材の座屈現象⁴⁾については基礎的研究として、鉄筋にはエンゲッサ・シャンレイの座屈理論式を、鋼管板には曲面板(平板)の座屈強度式を適用し、各分割要素の圧縮応力がこれらの座屈応力を越えればその要素は座屈したものとみなし、以後、その要素は外力には抵抗しないものとして解析した。

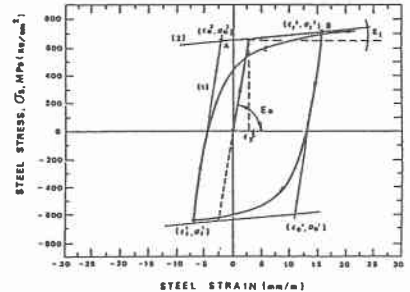


図-3 鋼の $\sigma-\epsilon$ モデル

3. 解析方法

本解析法は、部材並びに断面を微小要素に分割し、前述のコンクリート及び鋼の非線形な応力-ひずみ履歴関係に起因する非線形な断面力-断面変形関係を、微小な変位増分間並びに部材要素間では線形とみなして解析する増分解析法である。いま、変位 $\{U_i\}$ が $\{\Delta U\}$ だけ増加して $\{U_{i+1}\}$ となる場合について、解析手順を示せば以下のようなものである。ただし、変位 U_i に対する断面変形 $\epsilon_{a,i}$ 、 $\phi_{y,i}$ 、 $\phi_{z,i}$ 等は既知とする。また、部材の各分割断面は、解析当初に微小要素に分割し、その断面諸量(断面積・重心間距離など)は、計算されているものとする。

(1) 変位 $\{U_i\}$ に対する断面変形 $\epsilon_{a,i}$ 、 $\phi_{y,i}$ 、 $\phi_{z,i}$ より、各断面分割要素 i のひずみ $\epsilon_{ij,i}$ を求める。(2) コンクリート及び鋼の応力-ひずみ関係 $\epsilon_{ij,i}$ に対応する各要素の接線剛性 $E_{ij,i}$ を算出し、これをもとに、各分割断面のstiffnessマトリックス $[k]_i$ を求める。(3) $[k]_i$ の逆マトリックス $[f]_i$ を用いて部材の各分割要素 i に対するflexibilityマトリックス $[F]_i$ を求め、これを合成して部材座標系に対する部材のflexibilityマトリックス $[F]_i$ を求める。そして、 $[F]_i$ の逆マトリックス $[K]_i$ を座標変換し、基準座標系に対する部材のstiffnessマトリックス $[K]_i$ を求める。(4) 各部材の $[K]_i$ を重ね合わせ、骨組全体の増分釣合い方程式 $\{\Delta P\} = [K_S]_i \Delta \{U\}$ を立てる。そして、この増分式を、変位制御型に変形し、変位増分 ΔU_i を与えて、対応する荷重増分 ΔP_i と他の変位増分 $\Delta \{U\}$ を求める。(5) 求めた $\Delta \{U\}$ より、部材変形増分 $\Delta \{u\}$ 及び部材力増分 $\Delta \{s\}$ を求め、 $\{u\}_{i+1} = \{u\}_i + \Delta \{u\}$ 、 $\{s\}_{i+1} = \{s\}_i + \Delta \{s\}$ を算出する。さらに、各分

割断面の断面力増分 $\Delta\{p\}$ 及び断面力 $\{p\}_{i+1} = \{p\}_i + \Delta\{p\}$ を求め、 $\Delta\{p\}$ を用いて断面変形増分 $\Delta\{\nu\}$ ($\Delta\varepsilon_{a,i}, \Delta\phi_{y,i}, \Delta\phi_{z,i}$)を求め、変位 $\{U\}_{i+1}$ (荷重 $\{p\}_{i+1} = \{p\}_i + \Delta\{p\}$)に対する断面変形 $\{\nu\}_{i+1} = \{\nu\}_i + \Delta\{\nu\}$ を求める。

4. 数値解析例 単柱式橋脚を念頭に置いた、図-4に示すような、長さ6mの片持ち柱を解析した。その際、この柱を長さ3mの2部材からなる骨組とみなし、更に各部材を図-5のように、長さ75cmの4要素に分割して解析した。また、この柱の断面形は、合成柱及びRC柱とも図-6～図-9に示す円形断面並びに矩形断面とし、断面分割は図中のようにした。なお、これらの断面は、RC柱、合成柱（RC充填）ともに、上部構重量 $W = 300\text{t}$ とし、道路橋示方書V耐震設計編⁵⁾に準じて、許容応力度設計法により求めたものである。

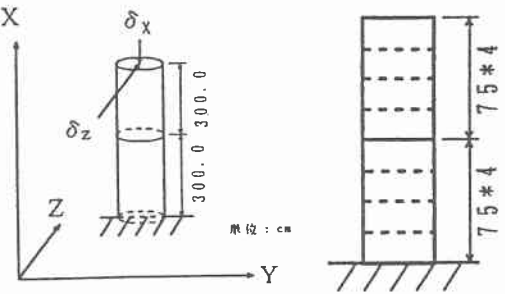
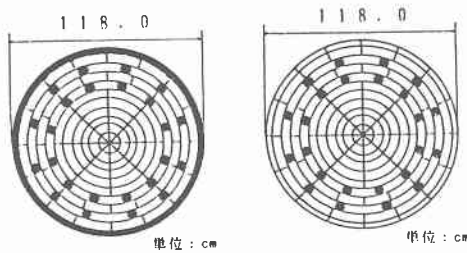


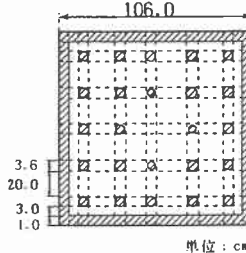
図-4 解析対象柱

図-5 部材分割方法

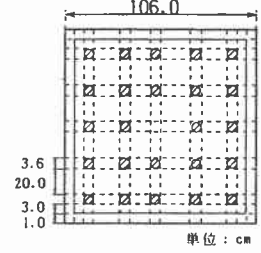


断面半径: $R = 59\text{cm}$
鉄筋: $\phi 4\text{cm} \times 12\text{本}$ 2段配置
鋼管厚: 1cm

断面半径: $R = 59\text{cm}$
鉄筋: $\phi 4\text{cm} \times 12\text{本}$ 2段配置
かぶりコンクリート厚: 7cm



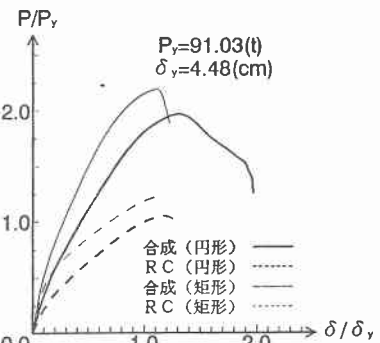
断面長: $B = H = 106\text{cm}$
鉄筋: 第1層 $\phi 3.6\text{cm} \times 8\text{本}$
第2層 $\phi 3.6\text{cm} \times 16\text{本}$
鋼板厚: 1cm



断面長: $B = H = 106\text{cm}$
鉄筋: 第1層 $\phi 3.6\text{cm} \times 8\text{本}$
第2層 $\phi 3.6\text{cm} \times 16\text{本}$
かぶりコンクリート厚: 3cm

図-6～図-9 合成柱、RC柱の断面形並びに断面分割方法

図-6～図-9の円形断面並びに矩形断面を持つ合成柱、並びにRC柱の自由端に、設計荷重 $N_x = 300\text{t}$ に相当する軸方向変位 $\delta_x = 0.03264\text{cm}$ を一定として与え、柱頭のZ軸方向の水平変位 δ_z を、変位増分 $\Delta\delta_z = 0.02\text{cm}$ として、漸増させた場合の $P_z - \delta_z$ 関係を比較して示せば、図-10のようである。これより、同一変位に対する荷重が合成柱の方が大きくなっており、初期剛性並びに最大耐力が著しく増加していることがわかる。そして、不安定領域（耐力劣化域）における挙動も合成柱の方がかなり有利な結果となっていることもわかる。また、矩形断面と円形断面では、前者の初期剛性並びに最大耐力が若干大きくなっているが、降伏後は剛性が急激に低下していることがわかる。

図-10 $P - \delta$ 関係 (漸増)

5. あとがき 限られた解析結果からではあるが、合成柱とRC柱では、合成柱の方が、耐荷力・変形性能（じん性）ともに優れており、耐震設計上望ましい構造といえる。なお、今後、本解析法の妥当性・実用性を検証するため、実験結果と本解析結果との比較検討を行ってみたい必要がある。

参考文献 1) JSSC No.10 1993秋季号、(社)日本鋼構造協会、平成5年10月 2) 合成柱研究会著：「合成橋脚とその計算例・解説」、現代理工学出版、平成4年7月 3) Danilo.R. "Stress-Strain Based Modeling of Hysteretic Structures Under Earthquake Induced Bending and Varying Axial Loads" Research report No.86-ST-01, Kyoto University, March, 1986 4) 土木学会鋼構造委員会編：座屈設計ガイドライン、昭和62年10月 5) 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）、(社)日本道路協会、平成2年2月