

鋼管コンクリート合成柱の2次元動的応答解析

早稲田大学大学院
早稲田大学大学院
早稲田大学理工学部

学生会員 ○岡 俊哉
学生会員 張 義隆
正会員 依田 照彦

(1) まえがき

コンクリートを鋼管柱に充した鋼管コンクリート合成柱は引張に対してじん性に富んだ鋼材と、圧縮に対して有利なコンクリートを一体とした構造物であるため、耐力と剛性に富み、また耐震上も優れた構造物であるとされている。

既往の研究によれば、コンクリート柱の有利な点として、①合成後の鋼管は中空鋼管の場合より、ひずみが減少すること。②動的剛性が著しく上昇すること。③動的特性が著しく改善されること。(すなわち、減衰効果が増大する)などが挙げられている¹⁾。

そこで、本報告では鋼管コンクリート合成柱の合成作用の動的応答をカンドル(Cundall, P.A.)の提案した個別要素法と従来の有限要素法を応用して調べることを目的とした。

(2) 解析方法

鋼管に充てんされたコンクリートは不連続面で区切られた個別要素の集合体と仮定し、外側の鋼管ははり要素とみなした。さらに、個別要素の場合には近似差分法により、有限要素の場合には直接積分法のNewmarkの β 法($\beta = 1/4$)により、動的応答解析を行った。

(a)個別要素：コンクリートは曲げ引張に対して、ひびわれが生じやすいので、コンクリートは最初からひびわれを生じていると仮定し、不連続ブロックと考える。したがって、2つのコンクリートブロックが接触するときには、①コンクリートブロックは長方形の剛体である。②すべての変形はブロックの表面で生じる。③変形はブロックの頂点と辺の接触点に集中する、という3つの仮定を設ける必要がある²⁾。この接触力の機構はvolgtのばね-ダッシュポットモデルで表現でき、法線・接線方向のばね剛性を K_n, K_s , ダッシュポットの粘性を η_n, η_s とすれば、図1のように表示できる。ただし、コンクリートブロックと鋼管はシベルで合成されていると仮定し、法線・接線方向のばねおよびダッシュポットのみで常時接触しているものとする。

(b)有限要素：鋼管を左と右のはり要素に分け、左右両要素の支配方程式を円管の中立軸に関する曲げ方程式(1)と管拘束に関する支配方程式(2)で表す。

$$E_s I_1 \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + D_s A \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = f \quad (1), \quad E_s I_2 \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + D_s \cdot \frac{1}{2} A \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \eta v = g \quad (2)$$

ここに、 E_s ：鋼ヤング率、 D_s ：鋼密度、 f, g ：外力項、 $A = 2\pi(r + r/2) \cdot \Delta x$ 、 $I_1 = 2\pi(r + r/2)^3 \Delta x$ 、 $I_2 = (r + r/2)^3 / 12 \cdot \Delta x$ 、 $\eta = \left(\frac{r}{r + r/2} \right) \cdot \Delta x$ 、 τ である。(図2) 左右両要素の力と変位の適合を考える。

$$f = P_L + P_R \quad (3), \quad g = \frac{P_L - P_R}{2} \quad (4), \quad w = \frac{u_L + u_R}{2} \quad (5), \quad v = \frac{u_L - u_R}{2} \quad (6)$$

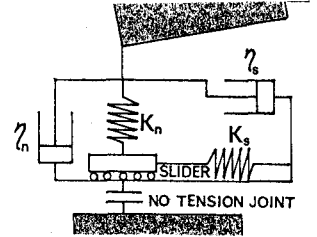


図1 接触点のモデル化

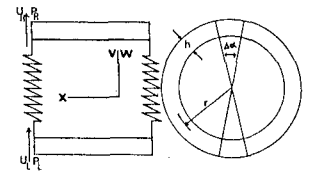


図2 鋼管のモデル化

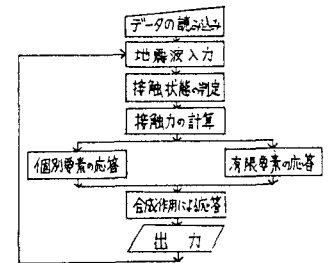


図3 動的応答解析のフローチャート

表1 材料定数および寸法

項目	記号	数値	単位
外径	D_o	397.7	mm
管厚	A	5.6	mm
鋼管の面積	A_s	69.0	cm ²
コンクリートの換算面積	A_c^*	177.8	cm ²
鋼管コンクリートの断面積	A^*	246.7	cm ²
鋼管の断面2次モーメント	I_s	13260.0	cm ⁴
コンクリートの換算断面2次モーメント	I_c^*	16597.0	cm ⁴
鋼管コンクリートの断面2次モーメント	I^*	29856.0	cm ⁴
鋼管コンクリートの有効半径	L	31.00	cm
鋼管密度	D_s	7.85×10^{-3}	kg/cm ³
コンクリート密度	D_c	2.35×10^{-3}	kg/cm ³
鋼のヤング率	E_s	2.10×10^{10}	kg/cm ²
コンクリートのヤング率	E_c	3.18×10^{10}	kg/cm ²
鋼の弾性係数	G_s	0.83×10^{10}	kg/cm ²
コンクリートの弾性係数	G_c	1.33×10^{10}	kg/cm ²
コンクリート間の摩擦係数	μ_s	0.82	
要素の長さ	L_e	31.0	cm
個別要素の接触点の法線方向のばね剛性	K_n	478872.1	kg/cm
個別要素の接触点の接線方向のばね剛性	K_s	400566.0	kg/cm
個別要素の接触点の法線方向の粘性	η_n	115.30	kg/cm
個別要素の接触点の接線方向の粘性	η_s	105.45	kg/cm
時間間隔	Δt	1.54×10^{-5}	sec

ここに、 u_L : 左側のはり要素の水平節点変位、 u_R : 右側のはりの水平節点変位、 P_L : 左側のはり要素の節点外力、 P_R : 右側のはり要素の節点外力である。これらを代入して式(1)および(2)を整理すると、

$$\begin{bmatrix} M_1+M_2 & 0 \\ 0 & M_1+M_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_R \\ \ddot{u}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_1+K_2 & K_1-K_2 \\ K_1-K_2 & K_1+K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_R \\ u_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_R \\ P_L \end{bmatrix} \quad (7)$$

が得られる。ここに、 $M_1 = \frac{1}{4} D_s A$, $M_2 = \frac{1}{4} D_s A$, $K_1 = \frac{1}{4} E_s I_s \frac{\pi^2}{L^2}$, $K_2 = \frac{1}{2} E_s I_s \frac{\pi^2}{L^2} + \frac{1}{2} k_c$, L である。式(7)を使って、鋼管部分を解析することになる。

(C)合成作用: 合成作用のモデル化は個別要素と有限要素との接合・非接合問題に帰着される。全体の計算過程は図3のような繰り返し計算となる。

[3] 解析結果

解析は表1に示す材料定数および寸法をもつモデルに加速度 $200(\text{gal})$ に相当する周期 $0.1(\text{sec})$ の正弦波を入力して行った。(ケース[A]とする。) さらに、比較のため、条件をかえた4ケース、すなわち、[b]加速度 $600(\text{gal})$ に相当する周期 $0.1(\text{sec})$ の正弦波を入力した場合、[c]頂部のコンクリートブロックの重量を4倍とした場合、[d]コンクリートブロック頂点とコンクリートブロックとの間の接線方向のばねおよびスライダーを除いた場合、[e]コンクリートブロック頂点と鋼管との間の接線方向のばねを除いた場合、について計算を行った。解析結果を図4～図7に示す。これらは、鋼管頂部の節点変位が最大となる時刻のコンクリートブロック重心および鋼管の節点の水平方向の変位分布および加速度分布である。[e]のコンクリートブロック頂点と鋼管との間の接線方向のばねを除いた場合には、コンクリートブロック間に不連続部分が生じ、変位応答が非常に大きくなったため結果を省略した。また、[b]の加速度 $600(\text{gal})$ の正弦波を入力した場合には、コンクリートブロック間にすべりを生じていた。

[4] 考察

加速度 $200(\text{gal})$ を入力した[a]および[c]の場合とはともにコンクリートブロック間にすべりを生じていないことから、鋼管内部のコンクリートが有利に作用していると思われる。また、加速度 $600(\text{gal})$ を入力した[b]の場合にはコンクリートブロック間にすべりが生じていたにもかかわらず、変位は加速度 $200(\text{gal})$ を入力した[a]の場合の約3倍となっており、コンクリートブロック間にすべりが生じたのちも鋼管コンクリートの耐力は保持されることが考えられる。しかし、[e]の場合のようにコンクリートブロックと鋼管のせん断抵抗をなくすと変位が大きくなることから、コンクリートと鋼管の付着、すなわち、ジベル等によるコンクリートと鋼管の合成作用が耐震上重要であることがわかる。

[5] あとがき

鋼管コンクリート合成柱の動的挙動を個別要素法と有限要素法を応用して調べた。その結果、ひび割れが生じた後のコンクリートのような不連続体の動的挙動の解析に個別要素法が有用であることが分った。なお、数値計算は東京大学大型計算機センターの M-Z80H を使用して行った。

参考文献 1) 中井・吉川: 土木学会論文誌, 1984年4月

2) 大西・吉岡・安部, 第17回土木工学研究委員会, 1982年6月

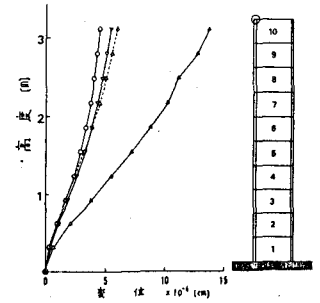


図4 鋼管の節点の変位分布

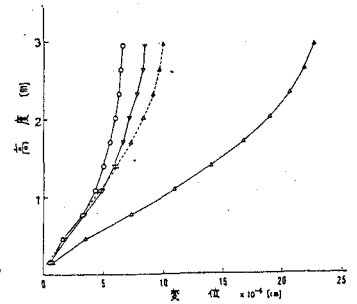


図5 コンクリートブロック重心の変位分布

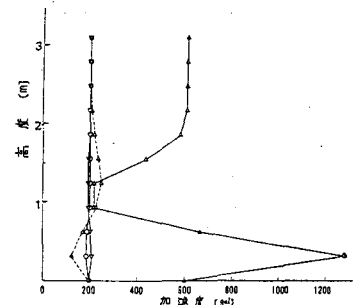


図6 鋼管の節点の加速度分布

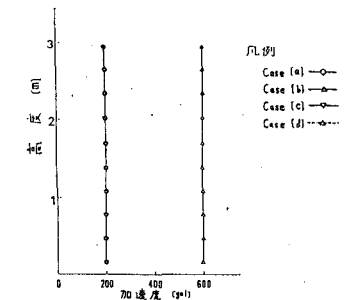


図7 コンクリートブロック重心の加速度分布