

(29) 鋼管コンクリート合成柱の動的な合成機構に関する一考察

早稲田大学大学院理工学研究科 ○ 岡 俊蔵
早稲田大学大学院理工学研究科 張 義隆
早稲田大学理工学部土木工学科 依田 照彦

1. まえがき

コンクリートを鋼管柱に充填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む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り、耐荷力と剛性に富み、また耐震上も優れた構造物である¹⁾とされている。しかしながら、鋼管コンクリート合成柱の動的な挙動は、鋼管とコンクリートとの一体化の程度により変化することが当然予想される。

そこで、本論文では、円形鋼管コンクリート合成柱の動的な合成機構を定性的に調べるため、鋼管コンクリート合成柱の鋼管部分に有限要素法、コンクリート部分および鋼管とコンクリートとの接着部分に個別要素法を用いて、鋼管コンクリート合成柱を二次元構造物としてモデル化し、動的応答解析をおこなった。解析で用いた個別要素法は、カンダル (Cundall, P.A.²⁾) によって提案された手法であり、この手法の特徴は、近似的に個々の要素を剛体とみなし、要素が互いに接触する場合には、仮想的なバネやダッシュポット、スライダーなどを介して隣接要素間に力が伝達されるものと考え、運動方程式をたてる³⁾ところにある。本解析では、この手法を用いて、鋼管コンクリート合成柱の動的挙動に及ぼすコンクリートのひびわれやすべり現象の影響、鋼管とコンクリートとの付着の影響、ずれ止めの効果などを検討した。

また、鋼管コンクリート合成柱の動的な合成機構は、鋼管とコンクリートとの一体化の程度、すなわち、鋼管とコンクリートとの付着強度やずれ止めの有無により異なるだけでなく、鋼管コンクリート合成柱に作用する上載荷重による慣性力や入力加速度の大きさによっても異なると思われるので、これらの点も含めた解析および考察を試みた。

2. 解析方法

2.1 解析上の前提条件

円形鋼管コンクリート合成柱の動的応答解析のおこなうにあたって、以下のような解析上の前提を設けた。

- (1) 合成柱の振動は、管軸および管断面の中心を通る任意の一方向のみを考慮し、2次元振動問題とする。
- (2) 合成柱の鋼管部分には有限要素法、コンクリート部分および鋼管とコンクリートとの接着部分には個別要素法が適用できる。
- (3) 合成柱はラーメン橋脚を想定し、近似的に境界条件を下端で鋼管およびコンクリートともに固定支持、上端で鋼管の回転角を拘束とした。
- (4) 合成柱への入力は、柱下端から水平方向の正弦加速度を与えることによりおこなった。
- (5) 合成柱の上部に作用する載荷重の影響を考慮するため、鋼管の最上部要素に質量、コンクリートの最上部要素に圧縮力を付加した。
- (6) 鋼管においては、軸力、曲げおよび収縮・膨張による3つの変形を考慮し、応力-ひずみ関係は線形、座屈および降伏は生じないものとする。
- (7) コンクリートにおいては、軸力、曲げおよびせん断による3つの変形を考慮し、力と変位の関係は線形とし、引張に対しては抵抗せず、ひびわれが生じるとした。さらに、ひびわれ面に沿ってすべりを生

じるとした。

(8) 鋼管とコンクリートとの肌離れは生じないとし、鋼管とコンクリートとの一体化の程度として、自然付着の状態、膨張コンクリートを充填した状態および鋼管とコンクリートとをずれ止めで合成した状態の3つを考えて、鋼管とコンクリートとのずれ現象をモデル化した。

2.2 鋼管部分のモデル化

鋼管部分は管の収縮・膨張を考慮したはりとし、応力-ひずみ関係を線形とし、管軸 z 方向の変位 w を1次式、加振軸 x 方向の変位 u_x を3次式で内挿し、有限要素法を用いて定式化した。

すなわち、鋼管を円管の中立軸 y を境にして左右のはり要素にわけ、鋼管全体の支配方程式を円管の軸力に関する式(1)、円管の中立軸における曲げに関する式(2)および中心角 $\Delta\alpha$ の円管部分の半径方向に作用する一様な圧力 q_r による収縮・膨張に関する式(3)であらわす。

$$E_s A_s \partial^2 w / \partial z^2 - \gamma_s A_s / g \cdot \partial^2 w / \partial t^2 + p = 0 \quad \dots(1)$$

$$E_s I_y \partial^4 u_x / \partial z^4 + \gamma_s A_s / g \cdot \partial^2 u_x / \partial t^2 = q_x \quad \dots(2)$$

$$E_s I_r \partial^4 u_r / \partial z^4 + k u_r + (\gamma_s A_s / g \cdot \Delta\alpha / 2) \cdot \partial^2 u_r / \partial t^2 = q_r r_m \Delta\alpha \quad \dots(3)$$

ただし、 $A_s = 2\pi r_m t$ 、 $I_y = \pi/4 (r_o^4 - r_i^4)$ 、 $I_r = r_m \Delta\alpha t^3 / 12$ 、 $k = E_s t \Delta\alpha / r_m$ 、 E_s : 鋼のヤング率、 γ_s : 鋼の単位体積重量、 g : 重力加速度、 t : 管厚、 r_o , r_i , r_m : 管の外、内、平均半径、 p , q_x , q_r : 外力項である。

左右両要素の力と変位の適合条件式は、

$$\left. \begin{aligned} w &= w_L = w_R, \quad p = p_L + p_R \\ u_x &= (u_L + u_R) / 2, \quad q_x = q_L + q_R \\ u_r &= (u_L - u_R) / 2, \quad 4q_r r_m = q_L - q_R \end{aligned} \right\} \dots(4)$$

となる。ここに、 (w_L, u_L) , (w_R, u_R) : それぞれ左右のはり要素の変位、 (p_L, q_L) , (p_R, q_R) : それぞれ左右のはり要素に作用する外力である。以上の関係式を用いて、鋼管部分を解析することになる。(図1参照。)

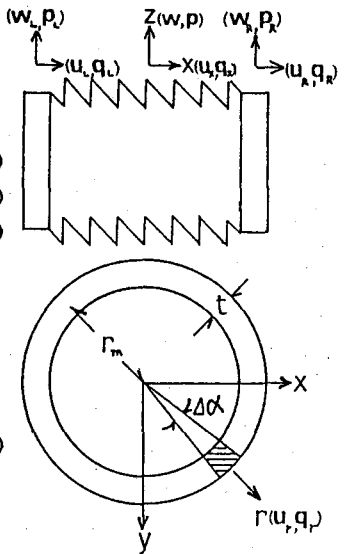


図1 鋼管部分のモデル化

2.3 コンクリート部分および接着部分のモデル化

コンクリート部分および鋼管とコンクリートとの接着部分では、個別要素法を用いてモデル化している。

(A) 個別要素法の概要^{(3), (4), (5)}

個別要素法とは、集合体を構成する個々の要素を剛体とみなし、隣接する要素が互いに接触している場合には、接触点に仮想的に設けられたバネ、ダッシュボットおよびスライダーなどを介して、要素間に互いに接触力が伝達されるとし、個々の要素が受ける接触力の総和および接触力による要素の重心まわりのモーメントの総和を外力として運動方程式をたて、数値積分によって解くことにより、任意の時刻における集合体の挙動を逐次追跡する方法である。

(B) 要素の形状

鋼管に充填されたコンクリートでは、文献6)によると、せん断力を受ける両端固定の角形合成柱において柱の高さと管径の比が4以上の場合には曲げ破壊によるひびわれが生じることが報告されている。そこで、コンクリートを柱軸直角方向の不連続面で区切られた個別要素の集合体とした。

(C) 接触力の機構

(1) コンクリート要素間の接触力の機構

コンクリート要素間の接触力の機構を図2のように接触面に対して垂直方向およびせん断方向のVoigtのバネ・ダッシュボットモデルに垂直方向のノーテンションジョイントとせん断方向のスライダーを付加したモデルで表現する。コンクリート要素間の接触力は、コンクリートを弾性体とみなしたときの等価バネ定数をもつバネの設置位置において伝達されるとした。すなわち、法線方向のバネ定数 K_{N1} 、接線方向のバネ定数 K_{S1} およびコンクリート円断面の中立軸からバネの設置位置までの距離 $r^{(1)}$ は、

$$K_{N1} = \frac{(n-1)E_c A_c}{mL_c}, \quad K_{S1} = \frac{(n-1)G_c A_c}{mL_c}, \quad r = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad \dots(5)$$

で与えられる。ここに、 E_c :コンクリートのヤング率、 G_c :コンクリートのせん断弾性係数、 L_c :コンクリート柱の高さ、 A_c :コンクリートの断面積、 I_c :コンクリートの中立軸に関する断面2次モーメント、 n :要素分割数、 m :隣接する要素間に存在する接触点の個数($m=4$)である。

コンクリートのひびわれは、コンクリート要素間の垂直方向のバネ力が引張となった場合あるいは先に述べたバネの設置位置に存在する仮定の接触点が隣接する要素の外に出た場合に生ずると仮定し、ノーテンションジョイントで表現した。また、ひびわれが生じた後のすべりは、要素間のせん断方向のバネ力が垂直方向のバネ力と摩擦係数 μ との積である最大摩擦力に達したとき生ずると仮定し、要素間のせん断方向の接触力を最大摩擦力として、スライダーで表現した。摩擦係数は、文献8)および9)のコンクリート間の接合部におけるせん断試験により得られた値を用いることとし、0.82とした。

(2) 鋼管とコンクリートとの接触力の機構

鋼管とコンクリートとの間には肌離れは生じないとして、長方形のコンクリート要素の4頂点と隣接する鋼管要素との接触面に対して垂直方向に常にVoigtのバネ・ダッシュポットモデルによって鋼管とコンクリートとの間の法線方向の力の伝達を考えた。法線方向のバネ定数 K_{N2} は鋼管とコンクリートが肌離れしないとき、コンクリートのみが変形すると仮定し、軸方向のバネ定数 K_{N1} を定めたときと同様の手法で概算した。すなわち、

$$K_{N2} = \frac{E_c A^*}{jL^*} \quad \dots(6)$$

式(6)における A^* はコンクリート断面の直径とコンクリート1要素の長さとの積とし、 L^* はコンクリート断面の直径とした。ただし、 j は1つのコンクリート要素と鋼管との間に取り付けられたバネの個数($j=4$)である。

また、長方形のコンクリート要素の4頂点と隣接する鋼管要素との接触面に対してせん断方向には、Voigtのバネ・ダッシュポットモデルに、せん断方向のバネ力が最大付着力 P_{MAX} に達するとせん断方向の接触力を最大付着力 P_{MAX} としてすべりを生ずるようなスライダーを付加した。

本解析では、鋼管とコンクリートとの一体化の程度として、鋼管に普通コンクリートを充填した自然付着の状態、鋼管に膨張コンクリートを充填した状態および鋼管とコンクリートとの間をジベル等のずれ止めで合成した状態の3つの場合を想定し、それらの状態を鋼管とコンクリートとの間の接線方向のバネ定数 K_{S2} と鋼管とコンクリートとの最大付着力 P_{MAX} で評価することにした。

接線方向のバネ定数 K_{S2} は、文献10)の鋼管コンクリート合成柱の付着試験における充填されたコンクリートに作用する荷重とすべりとの関係を参考にして定めた。さらに、鋼管とコンクリートとの最大付着力 P_{MAX} は、鋼管とコンクリートの付着応力度 c に基づいて決定した。すなわち、解析で用いる最大付着力 P_{MAX} は、付着応力度 c とコンクリート1要素の周表面積 A^* との積を1つのコンクリート要素と鋼管との間に取り付けられたバネの個数 j ($j=4$)で割ることにより求められる。

$$P_{MAX} = \frac{cA^*}{j} \quad \dots(7)$$

文献6)、10)、11)により、付着応力度 c は、鋼管に普通コンクリートを充填した自然付着の状態で2

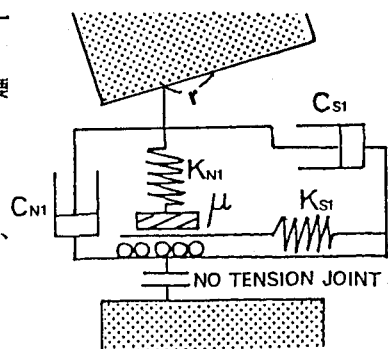


図2 コンクリート要素間の接触力の機構

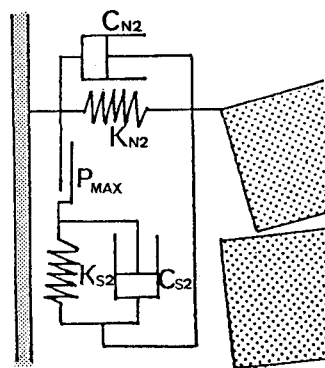


図3 接着部の接触力の機構

(kgf/cm²)、鋼管に膨張コンクリートを充填した状態で4(kgf/cm²)、鋼管とコンクリートとの間をジベル等のずれ止めで合成した状態で10(kgf/cm²)とした。(図3参照。)

2.4 上載荷重による質量および軸力の考慮

鋼管コンクリート合成柱が橋脚に用いられる場合、上部に載荷重が作用することが多い。そこで、載荷重となる質量は鋼管柱の上部に存在し、載荷重による初期圧縮力は、鋼管コンクリート合成柱の上部において鋼管とコンクリートとのひずみの適合条件が満足されるように鋼管とコンクリートに分配されると仮定して、コンクリートに作用する初期圧縮応力度を基に、鋼管柱の上部に付加される質量 M_s およびコンクリートに作用する初期圧縮力 P_c をもとめる。

$$M_s = \frac{(E_s A_s + E_c A_c) \sigma_{c0}}{E_c g}, \quad P_c = \sigma_{c0} A_c \quad \dots(8)$$

ここに、 A_s :鋼管の断面積、 σ_{c0} :上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度である。

解析では、鋼管柱の上部に付加される質量 M_s を最上部の鋼管要素に加え、コンクリートに作用する圧縮力 P_c を最上部のコンクリート要素の重心に鉛直方向に作用させた。

2.5 動的応答解析の数値解析法

動的応答解析は図4のフローチャートに従い、鋼管すなわちはり要素の節点の応答は、鋼管とコンクリートとの接着部分における接触力を外力として、線形加速度法を用いてもとめた。一方、コンクリートすなわち個別要素の重心の応答は、鋼管とコンクリートとの接着部分における接触力およびコンクリート要素間の接触力を外力として、近似差分法を用いてもとめた。

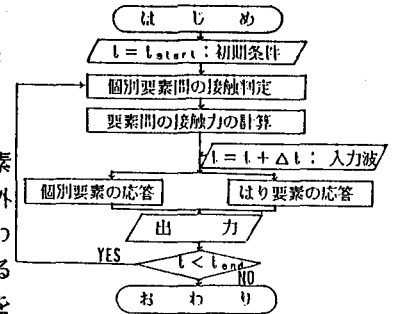


図4 動的応答解析のフローチャート

3. 解析結果および考察

3.1 材料定数および寸法と選択したパラメータ

表1に示す材料定数および寸法をもち、下端で鋼管要素およびコンクリート要素を固定支持し、上端で鋼管要素の回転角を拘束した図5のような10層等分割モデルに、周期 0.3(sec) の正弦加速度を4波下端水平方向から入力し、 1.0×10^{-5} (sec) の時間間隔でモデルの動的応答を調べた。

なお、動的応答解析において応答値に及ぼす影響が大きいと思われる入力加速度 α 、上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} および鋼管とコンクリートとの一体化の程度すなわち鋼管とコンクリートの接線方向のバネ定数 K_{S2} と最大付着力 P_{MAX} をパラメータに選び、計算を実施した。(表2参照。ただし、パラメータを組合わせたケースの表示方法は、入力加速度 α が200(gal)、上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} が30(kgf/cm²)、鋼管とコンクリートとの一体化の程度がずれ止めで合成されている場合、 $\alpha - \sigma_{c0}$ — 一体化の程度

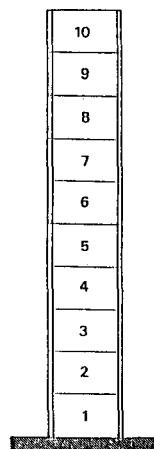


図5 解析モデル

表1 材料定数および寸法

項 目	数 値
合成柱の外径 D_o	397.7 mm
合成柱の管壁厚 t	5.6 mm
合成柱の高さ L	310.0 cm
鋼管の断面積 A_s	69.0 cm ²
鋼管の断面2次モーメント I_y	13260.0 cm ⁴
鋼のヤング率 E_s	2.1×10^6 kgf/cm ²
鋼の単位体積重量 γ_s	7.85×10^{-3} kgf/cm ³
コンクリートの断面積 A_c	1173.2 cm ²
コンクリートの断面2次モーメント I_c	109538.8 cm ⁴
コンクリートのヤング率 E_c	3.1×10^5 kgf/cm ²
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	1.3×10^5 kgf/cm ²
コンクリートの単位体積重量 γ_c	2.35×10^{-3} kgf/cm ³
コンクリートの摩擦係数 μ	0.82
コンクリート間の接線方向バネ定数 K_{N1}	2639802.3 kgf/cm
コンクリート間の接線方向バネ定数 K_{S1}	1107913.9 kgf/cm
接合部分の接線方向バネ定数 K_{N2}	2402500.0 kgf/cm
鋼管のRayleigh減衰係数行列比	0.006
鋼管のRayleigh減衰係数行列比	0.0
コンクリート間の接線方向減衰定数 C_{N1}	175.0 krf/(cm/sec)
コンクリート間の接線方向減衰定数 C_{S1}	200.0 krf/(cm/sec)
接合部分の接線方向減衰定数 C_{N2}	200.0 krf/(cm/sec)
接合部分の接線方向減衰定数 C_{S2}	175.0 krf/(cm/sec)

順に記号を並べてケース2-1-3とする。)

表2 パラメータの値

3.2 固有周期および減衰定数の確認

強制振動による応答計算に先立ち、表1の値をもち、一体化の程度が自然付着の状態であり、コンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} が30(kgf/cm²)および50(kgf/cm²)である場合について、ひびわれおよびすべりを考慮しない完全弾性体モデルを自由振動させて固有周期をもとめ、それぞれ0.11(sec)および0.15(sec)程度であることを確認した。

本解析では、減衰定数を有限要素法ではRayleigh減衰とし、個別要素法では図2および図3のようなひずみ速度依存型のダッシュボットとしているが、2つの手法を用いたことにより減衰定数の意味が不明確になったため、試行錯誤により表1のように定めた。先に述べた自由振動の応答波形から対数減衰率をもとめたところ、コンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} が30(kgf/cm²)のとき0.125、50(kgf/cm²)のとき0.093程度であった。文献1)では、鋼管コンクリート合成橋脚の自由振動実験をおこない対数減衰率を0.113と定めており、本解析で用いた減衰定数により得られたモデルの対数減衰率も同程度なので使用した減衰定数はほぼ妥当であると考えられる。

3.3 動的応答解析の結果

図6～図9は鋼管柱頂部の水平方向変位が最大になった時刻における鋼管およびコンクリートの水平方向の変形性状と加速度の分布を示したものである。鋼管およびコンクリートの変形モードは曲げが卓越しており、コンクリート上部では鋼管の上端で回転角を拘束したため応答値が減少する傾向を示した。図10、図11に応答値が小さかったケース2-2-3と応答値が大きかったケース2-2-2における鋼管柱頂部の水平方向変位量の時刻歴および鋼管コンクリート合成柱内部に生じたひびわれおよびすべりの状況を示す。これらの2ケースについて、鋼管下端部に生じた曲げ応力をもとめると、ケース2-2-3で400(kgf/cm²)、ケース2-2-2で3700(kgf/cm²)程度であった。

なお、本解析では強制振動する際、コンクリート要素が鋼管柱からはみ出さないように、鋼管柱をコンクリート柱より1(cm)程高くしておいたが、ケース2-2-1およびケース2-1-1については、入力継続時間内(周期0.3(sec)の正弦加速度4波)にコンクリート要素が鋼管柱からはみ出たので、そこで応答をもとめるのをやめ、もとめた時間内での最大応答値の分布を図6～図9に付記した。

3.4 応答値とパラメータの関係

入力加速度 α が50(gal)の場合には、上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} の大小および鋼管とコンクリートとの一体化の程度にかかわらず、応答値は小さい。さらに応答値は、コンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} が大きいくほど大きく、鋼管とコンクリートをずれ止めで合成した場合には、自然付着の場合および膨張コンクリートを充填した場合より小さくなっている。すなわち、入力加速度 α が50(gal)のときには、どの場合も鋼管とコンクリートとの合成効果は十分期待でき、応答値は上載荷重による慣性力と鋼管とコンクリートとのずれに対する剛性に依存すると考えられる。

入力加速度 α が200(gal)の場合には、一体化の程度を自然付着状態とした場合、上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} の大小にかかわらず、応答値が非常に大きくなっている。逆に、鋼管とコンクリートをずれ止めで合成した場合には、入力加速度 α が50(gal)の場合と同様に応答値は小さい。また、膨張コンクリートを充填した場合には、上載荷重によるコンクリートの初期圧縮応力度 σ_{c0} が50(kgf/cm²)では、応答値が非常に大きくなっているが、初期圧縮応力度 σ_{c0} が30(kgf/cm²)では、応答値は小さい。すなわち、自然付着状態や膨張コンクリートを充填した状態のような鋼管とコンクリートの付着力が小さいときあるいは上載荷重による慣性力の影響が大きいときには、鋼管とコンクリートとの一体化が十分に期待できず、応答値が大きくなると思われる。一方、ずれ止めで合成した場合には、応答値は小さいことから、鋼管とコンクリートとのずれ止め等による一体化が耐震性を向上させるうえで重要であることがわ

記号	1	2	3
パラメータ			
入力加速度 α (gal)	50	200	
コンクリートの 初期圧縮応力度 σ_{c0} (kgf/cm ²)	30	50	
一体化の程度 付着応力度 C (kgf/cm ²)	2	4	10
最大付着力 P_{MAX} (kgf)	1882	3764	9410
接合部分の摩擦 方向バネ定数 K_{CS} (kgf/cm)	240000	240000	400000

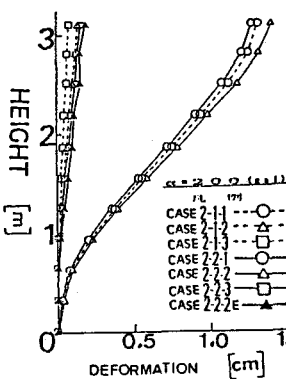
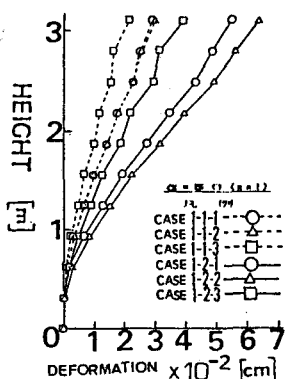


図6 鋼管の変形量の分布

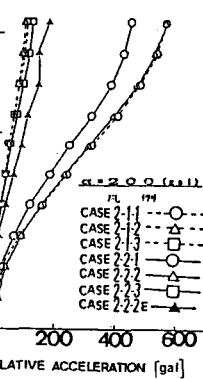
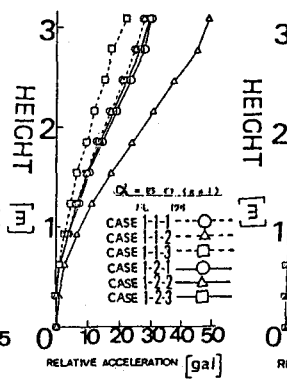


図7 鋼管の加速度の分布

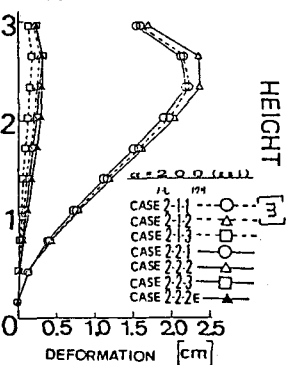
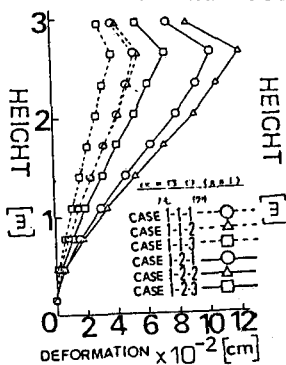


図8 コンクリートの変形量の分布

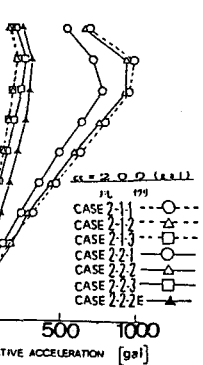
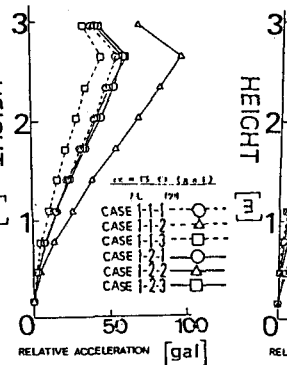


図9 コンクリートの加速度の分布

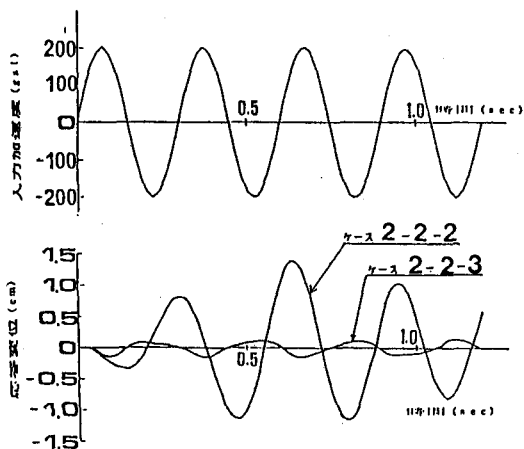


図10 入力加速度および応答変位の波形

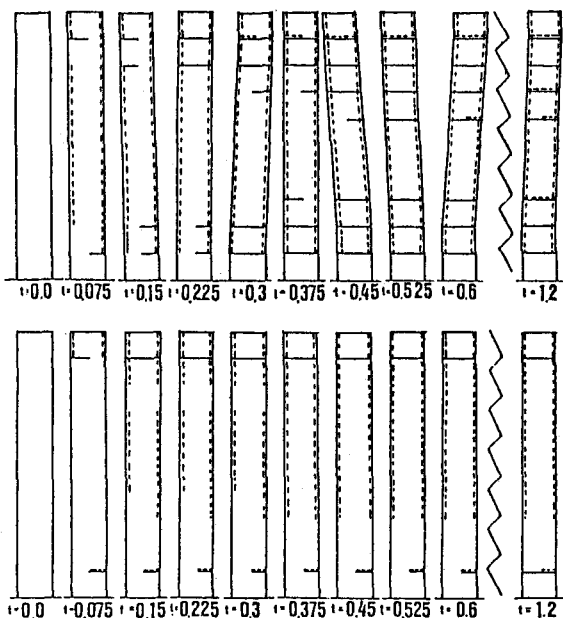


図11 ひびわれおよびすべりの状況 (上図がケース2-2-2、下図がケース2-2-3。実線—: ひびわれ、点線----: すべり。tの単位(sec).)

かる。

3.5 ひびわれおよびすべりの状況

強制振動を与えたときの鋼管コンクリート合成柱内部のひびわれおよびすべりの状況は応答値の小さいケースではケース2-2-3、応答値が大きいケースではケース2-2-2と同様の傾向となっていた。すなわち、応答値の小さいケースでは、拘束の大きい上下端にひびわれを生じているが、鋼管とコンクリートの付着が十分であるためひびわれは進展していない。一方、応答値の大きいケースでは、上下端にひびわれを最初に生じ、両端から柱の中央部に向かって徐々に進行してゆき、曲げによる拘束の小さい中央部で止まっている。これは、鋼管とコンクリートの付着が不足していたため、鋼管とコンクリートの間にすべりを生じ、ひびわれが進展したものと思われる。以上のことから、応答値を大きくするようひびわれの進行を防ぐために、固定端近傍には、鋼管とコンクリートとの付着力を大きくするためにずれ止め等を重点的に配置する必要があると思われる。

3.6 完全弾性体モデルとの比較

本報告では比較のため、完全弾性体モデルを用いて、ケース2-2-2についての応答計算を試みた。その結果を2-2-2Eとして示す。解析モデルの応答値は完全弾性体モデルの8倍程度になった。この差は、本解析モデルによって鋼管コンクリート合成柱内部に生じるひびわれおよびすべり現象を定量的に評価することの妥当性を示唆しているものと考えられる。

4. あとがき

鋼管コンクリート合成柱の動的な合成機構を個別要素法と有限要素法を応用して調べた。結果を要約すると次のとおりである。

(1) 鋼管コンクリート合成柱の動的な合成機構において、ずれ止め等による鋼管とコンクリートとの一体化、特に、固定端近傍におけるずれ止めの配置が耐震性向上のために果たす役割は大きい。

(2) 本解析で用いた個別要素法は、ひびわ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有用である。

なお、数値計算には東京大学大型計算機センターの HITAC M-680H を用いておこなった。

【参考文献】

- 1) 中井 博・吉川 紀:コンクリートを充てんした鋼製橋脚の耐荷性に関する実験的研究,土木学会論文集,第344号/I-1,1984年4月
- 2) Cundall, P.A. and Strack, O.D.L.: A discrete numerical model for granular assemblies, Géotechnique 29, No.1, 1979年
- 3) 大町 達夫・荒井 靖博:個別要素法で用いる要素定数の決め方について,土木学会構造工学論文集, Vol.32A, 1986年3月
- 4) 木山 英郎・藤村 尚:カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析,土木学会論文報告集,第333号,1983年5月
- 5) 大西 有三・吉岡 淳・安部 吉生:個別要素法を用いた不連続性岩盤の破壊パターンの解析,第17回土質工学研究発表会,1982年6月
- 6) 富井 政英・崎野 健治・森下 陽一:コンクリート充填鋼管構造の設計上の問題点,カラム, No.73, 1979年7月
- 7) 野上 邦栄・伊藤 文人・尾崎 浩明:有限剛体要素モデルを用いた骨組部材の弾性解析,日本鋼構造協会第17回大会研究集会マトリックス解析法研究発表論文集,1983年7月
- 8) 日野 伸一・太田 俊昭・金子 常光:鋼管-コンクリート接合部のせん断挙動に関する基礎的研究,土木学会第34回年次学術講演会概要集第Ⅶ部,1979年10月

- 9) 後藤 祐司・長滝 重義:コンクリート接合部のせん断耐力に関する基礎研究,土木学会論文報告集,第254号,1976年10月
- 10) 中井 博・吉川 紀・中村 一平・袴田 文雄・寺田 博昌:合成柱(充てん式)の圧縮・曲げ耐力および付着力に関する基礎実験,橋梁と基礎,1985年6月
- 11) 脇田 孝彦・湯田 豊雄・阿部 英彦:遠心力鑄鋼管と充填コンクリートの付着に関する実験的研究,土木学会構造工学論文集,Vol.32A,1986年3月