

大阪工業大学

正員 岡村宏一

大阪設計コンサルタント KK

正員 吉田公憲

全 上

正員 ○小林真一

I) まえがき： ラーメン式橋台、橋脚等は主として水平外力に対する抵抗性の増大を期待する場合に設計されるのは周知のことであるが、特に図-1 に示すようく峡谷に設置される橋台等の場合には、切取の土量を減少させるために不等脚のラーメンが使用される。このようばラーメンに於て、地震時水平力、土留による土圧に対して例えは基礎固定の条件で慣用計算を行りヒ短柱側は軸力の減少と同時にモーメントの著しい増大を来し過大なフーチングの設計が要求され、そのために掘削量の増大やフーチング間の切取の勾配が急にならため基礎の信頼度を低くする等の設計上の難点を生ずる。一般に、基礎地盤の変形はラーメンの変形に比較してかなり大きく、基礎底面下の地盤にバネ常数を仮定し基礎と一体化させたラーメンの解析法について従来、若干の成果が発表されているが、この種の構造のように基礎底面の合力が核外に出る場合が多く、基礎の浮上側にバネを期待出来ばくばり底面反力の分布巾が変化する非線形の結合となる場合についてはあまり扱はれていないようである。このようば基礎と非線形の結合をするラーメンの力学的性状は線形結合（基礎底面下全面にバネを仮定する）として解析した場合とかなり異った性状を示し、特に前述の不等脚ラーメンの場合の脚柱断面力の不均衡等は線形結合の解析ではあまり緩和されないか非線形結合としての解析によれば後述の計算例に示すように地盤反力とともに殆んど均等化された結果が得られ、合理的かつ経済的な設計が期待出来る。またこのようば解析法は直接基礎のみならず、其の他の形式の基礎と結合する場合、例えは引抜抵抗を期待出来ない杭基礎あるいはウェル基礎をもつラーメンの場合にも拡張出来るものである。

II) 解法の大要： 地盤についての諸係数は実例データによる場合が多いが、こゝではそれ等のデータに援用するに於ける弹性論的表示を与える。応力のある範囲内で、地盤を理想化して半無限の弾性体として考えると地盤の変形と応力の関係は鉛直反力の局部的応力集中を無視してその分布形を簡易化すれば Boussinesq の応力解を積分することにより与えられる。鉛直反力の分布領域のみに仮定される地盤の鉛直バネ係数  $k_v(\xi)$  は、反力分布巾( $\xi B$ )の減少に伴う反力分布領域( $\xi B \times L$ )の辺長比の変化に伴って変はるか、偏心があまり大きくならぬ範囲では一定として扱つてよい。又底面のせん断バネ係数  $k_s(\xi)$  は底面水平力が限界摩擦力を越えない範囲で仮定され弾性解としては Curreli, Vögt の解式が利用出来るが実用上は

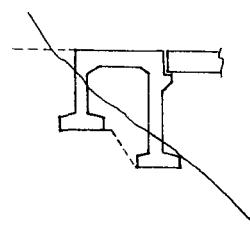


図-1

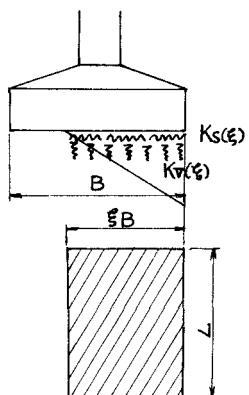


図-2

$K\tau(\xi)$  と一定の比率で与えられると便利である。地盤の諸係数を与えれば、このようないき直基盤をもつラーメンの解式は反力の分布巾の変化係数を高次の陰関数、あるいは特殊な関数で内在する問題となる。本文ではこのようないき直基盤条件を考慮したラーメンの解式を示し計算例を付してその力学的性状を線形解あるいは慣用計算の場合と比較して。演算の手法としては線形解を出発点とする逐次近似法により、演算の途上に解の収束を早めるための補足式を加える。計算は電算を用いて容易に遂行される。

III) 解式: 本文に記す基本形状は図-3に示す様な一空間一層ラーメンであつて多空間多層ラーメンにも拡張して用ひることが出来る。

#### 1) ラーメン部の解式

図-3に示す様に基盤の回転によつて生ずる挾角  $\theta_{1,2}, \theta_{4,3}$  及び基盤の不等沈下、不等水平変位によつて生ずる部材回転角  $R_2, R'$  を含む挾角挾度式を用いる。ここで  $R_2, R'$  は①基盤の  $\delta_H$ ,  $\delta_H$  と④基盤の  $\delta_H$ ,  $\delta_H$  との間に次式が成立する。

$$R_2 = \frac{1}{l} (\delta_H - \delta_H), \quad R' = \frac{1}{h_2} (\delta_H - \delta_H)$$

尚③, ④部材の全回転角  $R_3$  は  $R_3 = n R_1 + R'$  で表わす。

#### 2) 基礎部の解式

基礎下面図心に作用する外力  $\Sigma N_i, \Sigma H_i, \Sigma M_i$

$$\Sigma N_i = N_{i,2} + W_{F_i}, \quad \Sigma H_i = H_{i,2} + K \cdot W_{F_i},$$

$$\Sigma M_i = M_{i,2} + H_{i,2} \cdot F_i + K \cdot W_{F_i} G_{F_i}$$

$N_{i,2}, H_{i,2}, M_{i,2}$  = ラーメンより伝導する作用力。

$W_{F_i}$  = 基礎自重,  $F_i$  = 基礎高,  $G_{F_i}$  = 基礎重心高。

$K \cdot W_{F_i}$  = 基礎に作用する水平力,

基礎の回転角  $\theta_F$ , 図心における鉛直変位量  $\delta_H$ , 水平変位量  $\delta_H$ , 反力作用長  $\xi_i B_i$ ,

$$\theta_F = \frac{2 \Sigma N_i}{K\tau(\xi_i) \cdot L_i \cdot B_i \cdot \xi_i^2}, \quad \delta_H = \frac{\Sigma N_i (2\xi_i - 1)}{K\tau(\xi_i) L_i \cdot B_i \cdot \xi_i^2}, \quad \delta_H = \frac{\Sigma H_i}{K\tau(\xi_i) L_i \cdot B_i \cdot \xi_i}, \quad \xi_i B_i = 3 \left( \frac{B_i}{2} - \frac{\Sigma M_i}{\Sigma N_i} \right)$$

$B_i$  = 基礎巾,  $L_i$  = 基礎奥行き,  $\xi_i B_i$  = 反力作用長,  $K\tau(\xi_i)$  = 基礎底面の受圧面積 ( $L_i \cdot \xi_i B_i$ ) に応じて変化する底面の鉛直バネ係数,  $K\tau(\xi_i)$  = 基礎底面のセイ断バネ係数。(④基礎部も同様である)

#### 3) バネ係数算定式

$$K\tau(\xi_i) = E_R / \xi_i B_i I(\xi_i) \cdot (1 - \nu^2) \quad E_R = \text{基盤の弾性常数} \quad i; \text{基盤のボアソン比}$$

$$I(\xi_i) = \frac{2}{\pi} \left\{ \beta \xi_i^{-1} \log \frac{1 + \sqrt{1 + (\beta \xi_i^{-1})^2}}{\beta \xi_i^{-1}} + \frac{1}{2} \beta \xi_i^{-1} \log \{ \beta \xi_i^{-1} + \sqrt{1 + (\beta \xi_i^{-1})^2} \} \right\}$$

$$- \frac{1}{2} \beta \xi_i^{-1} \left( \sqrt{1 + (\beta \xi_i^{-1})^2} - \beta \xi_i^{-1} \right)$$

$$\beta = \frac{L_i}{2 B_i}$$

又は  $K\tau(\xi_i) = \text{const.}$   $K\tau(\xi_i) = 1/2 K\tau(\xi_i)$ , 又は  $K\tau(\xi_i) = 1/2 K\tau(\xi_i)$  (常数), と仮定する。

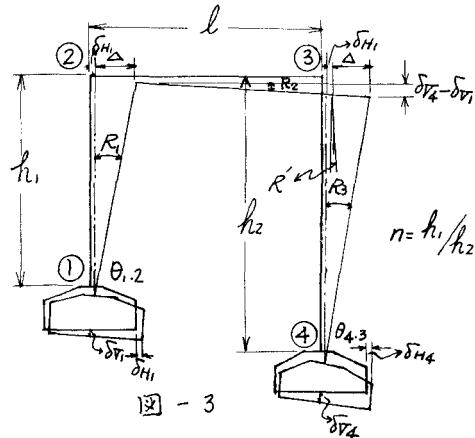


図-3

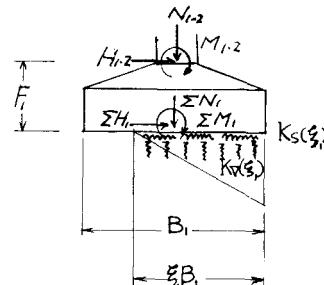


図-4

#### 4) ラーメン部と基礎部との境界条件式

基礎部を完全剛体と仮定して、ラーメンの挙角  $\theta_{1,2}, \theta_{4,3}$  及び 部材回転角  $R_2, R'_1$  と基礎部の回転角  $\theta_{F_1}, \theta_{F_4}$  及び鉛直、水平方向変位量  $\delta_{HF_1}, \delta_{HF_4}, \delta_{TF_4}, \delta_{HF_4}$  との間に次式の関係が成立する。

$$\theta_{1,2} = \theta_{F_1}, \quad \theta_{4,3} = \theta_{F_4}, \quad R_2 = \frac{1}{\ell} (\delta_{TF_4} - \delta_{TF_1}) \quad R'_1 = \frac{1}{h_2} [(\delta_{HF_4} + F_4 \cdot \theta_{F_4}) - (\delta_{HF_1} + F_1 \cdot \theta_{F_1})]$$

以上 1), 2), 3), 4) の解式及び条件式より、基礎の非線形結合を考慮したラーメンの解を求めることが出来る。

#### Ⅳ) 演算の手法

① 基本の不静定力  $N_{1,2}, H_{1,2}, M_{1,2}$  を仮定し、(線型解による  $N, H, M$  を用いた。) 各基礎の回転角  $\theta_{FL}$ 、鉛直水平変位量  $\delta_{HF_L}, \delta_{HF_L}$  を求め、この回転及び変位を与えた時の① 基本作用力  $N'_{1,2}, H'_{1,2}, M'_{1,2}$  を算出する。

この操作をくり返し収束をおこなう。この過程において収束を早めるため次の補足式を用いる。

1) もり近似解；上記手法による① 基本の仮定値  $N_{1,2}, H_{1,2}, M_{1,2}$  に対する算出値  $N'_{1,2}, H'_{1,2}, M'_{1,2}$

補足式；  $N$  の仮定値を単位量増大し  $(N_{1,2}+d_1), H_{1,2}, M_{1,2}$  に対する算出値  $(N'_{1,2}+d_1), (H'_{1,2}+d_2)$   $(M'_{1,2}+d_3)$  を求める。同様にして、仮定値  $N_{1,2}, (H_{1,2}+d_1), M_{1,2}$  に対する算出値  $(N'_{1,2}+\beta_1), (H'_{1,2}+\beta_2)$   $(M'_{1,2}+\beta_3)$ 、及び仮定値  $N_{1,2}, H_{1,2}, (M_{1,2}+d_1)$  に対する算出値  $(N'_{1,2}+\gamma_1), (H'_{1,2}+\gamma_2), (M'_{1,2}+\gamma_3)$  を得る。今 仮定値 1 項の増減が算出にたらほどす増減度は比例関係を満足すると仮定すると、 $\#2$  近似解の不静定力  $(N_{1,2}+\xi_1), (H_{1,2}+\eta_1), (M_{1,2}+\zeta_1)$  は次の連立方程式を解くことにより求まる。

$$\left. \begin{array}{l} (d_1-1)\xi_1 + \beta_1\eta_1 + \zeta_1\zeta_1 = C_{N_1} \\ d_2\xi_1 + (\beta_2-1)\eta_1 + \zeta_2\zeta_1 = C_{H_1} \\ d_3\xi_1 + \beta_3\eta_1 + (\gamma_3+1)\zeta_1 = C_{M_1} \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} C_{N,1}, C_{H,1}, C_{M,1} \text{ } (\#1 \text{ 近似解の誤差であり,} \\ C_{N,1} = (N_{1,2} - N'_{1,2}), \quad C_{H,1} = (H_{1,2} - H'_{1,2}) \\ C_{M,1} = (M_{1,2} - M'_{1,2}) \end{array}$$

$n$  回目の収束操作においては上式中荷重に  $(n-1)$  回目の収束誤差を代入することによって、不静定力の仮定をおこなう。この様な補足式を用いたことにより収束を早めることが出来る。

V) 計算例； 基礎との非線形結合による影響を調べるために、多主桁橋ラーメン構脚について、非線形結合条件を考慮した場合と、線形結合と仮定した場合、及び慣用計算法による場合の比較計算結果を示す。構脚寸法並びに作用荷重は(図-5)に示す通りであり、鉛直バネ係数は常数と仮定し、 $k_F = 5 \text{ kg/cm}^3 \sim 20 \text{ kg/cm}^3$  の間に変化させ、 $k_F$  の変化によるラーメン断面力及び地盤反力等の比較検討も含せて示す。

鉛直バネ係数  $k_F = 10 \text{ kg/cm}^3$  と仮定した場合の慣用計算法(柱下端固定解)、線形結合計算法、非線形結合計算法(不等沈下、不等水平変位を無視)による、ラーメン端モーメント、各部地盤反力値を次頁図-6, 7, 8, に示している。

図-9, 10 は  $k_F = 5 \text{ kg/cm}^3, 20 \text{ kg/cm}^3$  に変化した場合の非線形結合計算法によるラーメン端モーメント、及地盤反力の変化状態を示している。

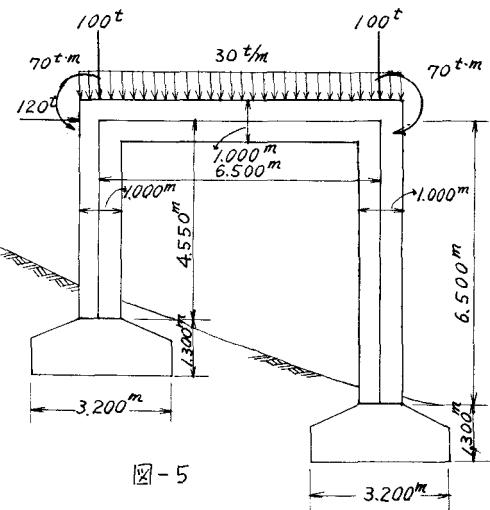
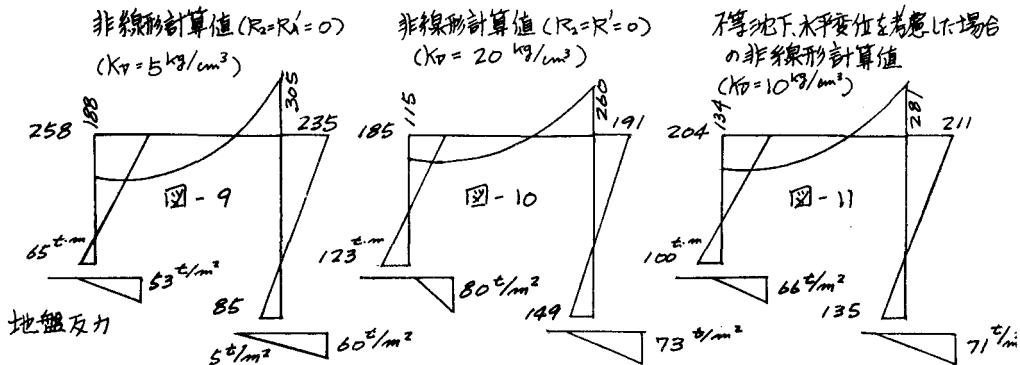
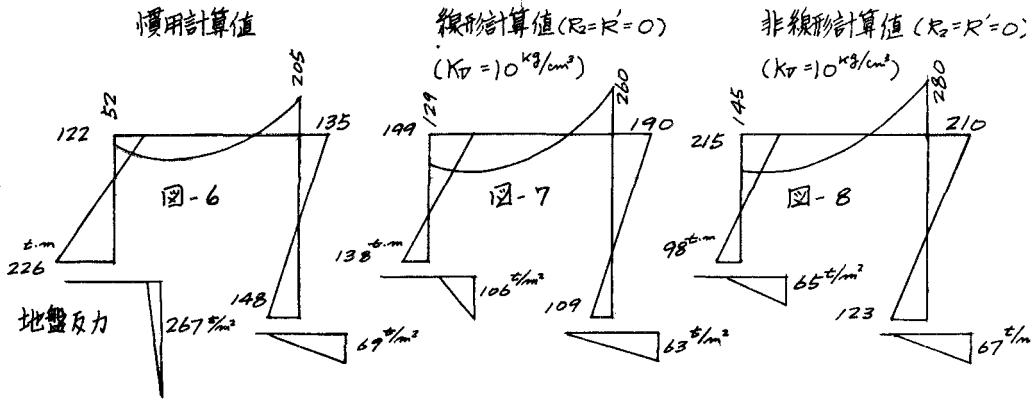


図-5



$K_D = 10 \text{ kg/cm}^3$  と仮定した場合の不等地盤下、不等水平変位によるラーメン部材回転角を考慮した非線形結合計算法によるラーメン端モーメント及び地盤反力値を(図-11)に示している。図-8 の収束状態を(図-12)に示した。

## VI 結論

本例に示した解析結果においても慣用計算法による場合は短柱側は下端モーメント、地盤反力共著しく増大を示しているが、非線形結合解では端モーメント、地盤反力の不均衡は完全に緩和され、慣用計算値の30~50%に減少している。すなわち非線形結合解は合理的かつ経済的設計法と言えよう。線形結合解の緩和度は非線形解の60~70%であり、本例の様に基盤底面反力の偏心度が比較的大きい場合(特に短柱側)においては充分な解法とは云えない。

尚不等地盤下、不等水平変位による影響は特殊な場合を除いてはほとんど生じず、設計上は無視出来る要素である。鉛直バネ係数(常数)の変化による影響は比較的大きく設計計算に当っては地盤諸係数の正当な評価が望まれる。

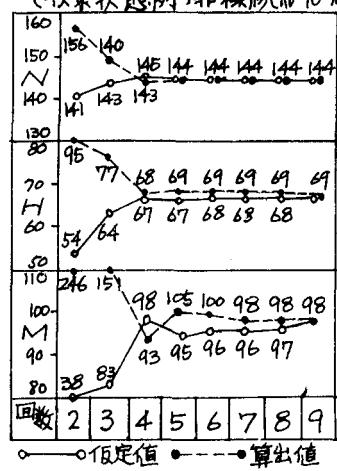


図-12  
(4~5回で“140”収束する)