

国鉄・構造物設計事務所・基礎工構造
正会員 福島弘文

§1. まえがき

従来のくい基礎の設計においては、くいの鉛直反力の計算にくい頭モーメント（以下、 M_0 ）によって生じる鉛直反力（以下、 ΔN ）を考慮したものは少なかった。

くい頭とフーチングをヒンジ結合と考えることのできる構造にする場合は、 M_0 は生じないのでこの問題はないが、近頃はくい頭とフーチングを剛結にするのを原則としているので、 M_0 は必ず生じることになり、それがくい反力に影響する。この M_0 は、構造上からは、くい一本当りの水平力が大きい場合や着しい非対称ラメンションの場合に大きくなる。また、くいの剛性 β の面からは、 $M_0 = H/2\beta$ で明らかにように β が小さい方が M_0 は大きくなる。したがって、 β が小さく、 H が大きいほど M_0 は大きくなる。また、 ΔN の大きさは、 M_0 のみならず、フーチングの剛性（以下、 EIf ）、くい間隔、くいに対する鉛直地盤係数（以下、 k_v (t/m²/cm)）等とに相対性をもっている。

国鉄において49年に制定された運送物設計標準（基礎構造物）（以下、基礎標準）では、 ΔN を考慮するように定められている。算出法としては、一般には、

- 1) フーチングとくいを一体構造とし、多支点ベネ系で求める。（本稿では、以下A法と称する）
- 2) フーチングをばりと考える。（同様に、B法と称する）
- 3) フーチングを剛体と考える。（同様に、C法と称する）

の3法があると考えられる。

以下、本稿では、表-1に示す、くい基礎の各要素が変化した場合に、くい頭変位（以下、 Δy ）、 M_{0i} 、 ΔN_i がどのように変化するかを調べ、くい基礎に水平力が作用した場合の特性を明らかにし、さらに、上記のA、BおよびC法により求めた ΔN の値を比較し、今後の ΔN を算出する場合の適切な計算法とその適用区分を明らかにして、今後のくい基礎の設計資料としようとするものである。

§2. 用いたモデルとデータ

2-1 用いたモデル

用いたモデルは、図-1に示すくい基礎である。

このモデルは、本稿を設計資料として使用する場合は、剛比のよりに比でもって適用されると思われるので、代表的な、例之ば橋脚とか高架橋などのようなものを例にとらず、一般的に構造物とし、適用範囲を広くするようにしたものである。

2-2 用いたデータ

表-1のようなデータとし、④列のものを基本型とする。これは構造物として一般的であろうと思われるものである。

この基本型を基本として、①、②、③、④の諸之を変化させて、 Δy 、 M_{0i} 、 ΔN_i への影響を調べる。

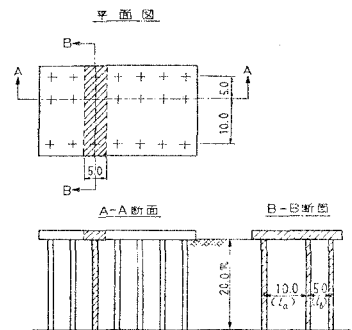


図-1 用いたモデル

表-1

	単位	①	②	③	④	⑤
① フーチング	厚さ	m	0.2	1.0	2.0	4.0
	λ_0		2.56×10^{-4}	3.21	2.56×10	2.05×10^2
②	k_v	kg/cm ²	0.1	0.5	1.0	2.0
③	k_v	t/m ² /cm	50	250	500	1000
④	I_0/I_1		10.0/10.0	7.5/10.0	5.0/10.0	2.5/10.0

ここに、 $\lambda_0 = \frac{EI_0}{EIf}$
 I_0 : フーチングの断面二次モーメント
 I_1 : くいの
 I_0, I_1 : 図-1の B-B 断面参照

§3. 各種算出法

α-1 A法——多節点バネ系による方法

この解法は、図-1を解く場合、図-2のような多節点バネ系のモデルに置換えて求める方法である。

このモデル化およびその解法についての説明や計算精度を上げる方法などについては、本稿の目的とするところではないので、ここでは説明を省略するが、この解法により求めた値は、厳密解に近いものである。

α-2 B法——フーチングをばねと考える場合

この解法は、図-1を解く場合、すなわち、 κ とフーチングの節点において、回転に対する κ の剛性が、フーチングの回転に対する剛性に比べて著しく小さくて無視できるとして、図-3のように、 κ の頭部回転角 θ は0としてChangの式等により M_0 を求める。ここで、図-4のように、 M_0 に応じて仮想ヒンジ点、すなわち、

$$h = \frac{3M_0}{H} \quad \text{あるいは} \quad \frac{H/3}{\beta} = \frac{H}{3}h \quad \text{より} \quad h = \frac{1}{2\beta}$$

を想定できる。このように考えると、 H により M_0 が生じ、この M_0 によって ΔN が生じる κ とよく分る。

さらに、図-4において、 ΔN を求めるに際しては、 κ の曲げ剛性がフーチングの曲げ剛性に比べて無視できるとすると、 κ の頭を弾性変換とした連続はりを考えることができる。さらにこの連続はりにおいて、 κ の先端と κ の周辺の鉛直バネおよび κ の弾性変換を含めた κ の頭での鉛直バネが、フーチングの曲げ剛性に比べて非常に大きく、変点反力を求めるに際しては、弾性変換の状況が無視できるとすると、結局、図-5のように κ の頭をヒンジ変換と考えて、 M_0 を変点に外力として作用させ、変点反力を求める κ に置換えられる。

図-5における変点反力は、 $M_A = M_B = M_C = M_0$ であることも考慮すると、

$$\left. \begin{aligned} \Delta N_A &= -1.5 M_0 / l_a \\ \Delta N_C &= 1.5 M_0 / l_b \\ \Delta N_B &= 1.5 M_0 \left(\frac{1}{l_a} - \frac{1}{l_b} \right) \end{aligned} \right\} \text{----- (3-1)}$$

を求める。

α-3 C法——フーチングを剛体と考える場合

図-1のモデルにおいて、 M_0 を求めるまでは、B法と同様である。図-4においてフーチングは剛体に近く、 κ の曲げ剛性に対して著しく剛性が大きく、 κ の曲げ剛性が無視できるとすると、図-6のように、 κ の頭を弾性変換とするモデルに置換えることができる。

図-6における ΔN は、通常の剛体フーチングの時の κ の反力を求める式と同じ。

$$\Delta N_i = \frac{\sum M_0 l_i}{I_y} \text{----- (3-2)}$$

ここに、 ΔN_i : $\Delta N_A, \Delta N_B, \Delta N_C$, $\sum M_0 = M_A + M_B + M_C = 3M_0$
 I_y : κ の群のY-Yに関する二次モーメント (Y-Yは κ の群の抵抗中心)
 l_i : Y-Yより各 κ までの距離

を求める。

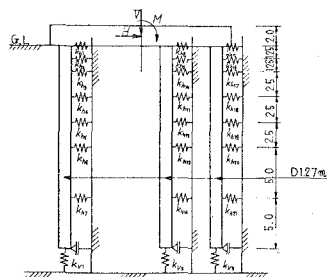


図-2 多節点バネ系モデル

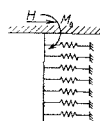


図-3

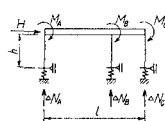


図-4

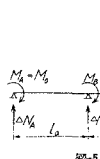


図-5

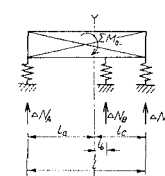


図-6

§4. 基本モデルによる諸元の変化の影響

基本型を中心に、 λ_0 , k_h , k_v , l_y/l_x が変化した場合の、 Δy , M_0 , ΔN_c の変化を考察した。これは、後で考察する近似解の数値検証においては、処理と、構造の一点に着目して行なわれるを得るので、構造の各点におけるわずかな違いをみるものである。

数値の都合上、 k_h についての整理したものを記すと図-7のようになる。 k_h が2.0~2.0 t/cm²/cmを過ぎると、 Δy , M_0 , ΔN_c とも変化が小さいことが分る。

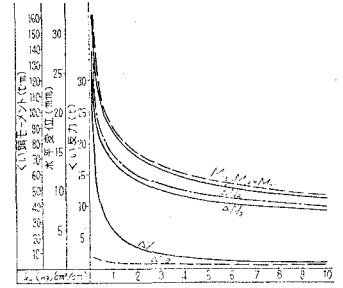


図-7 k_h と Δy , M_0 , ΔN_c の関係 (ただし、 ΔN_c は負)

§5. A法とC法で求めた ΔN_c の比較

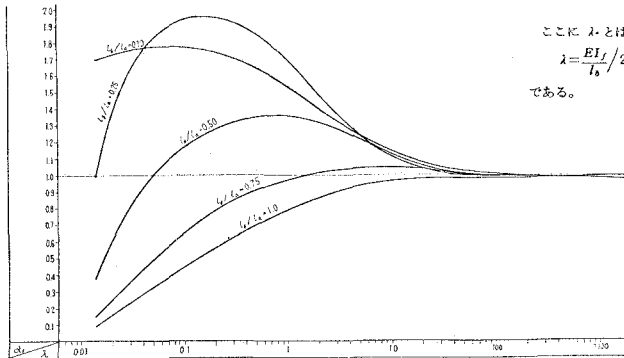
ここでは、図-4に示す ΔN_c に注目して、諸元が変化した場合に、A法とC法がいつける関係にあるかをみた。この目的は、A法とC法により求めた ΔN_c の関係が明らかに示せば、複雑な計算であるA法で求めなくても、簡易法であるC法で求めて、ある係数を乗じて処理すれば、 ΔN_c が簡単に求まるからである。

各図は、次のことを示している。

図-8 l_y/l_x が変化した場合の ΔN_c についてのA法/C法の関係

図-9 k_h _____ “ _____

図-10 k_v _____ “ _____



ここに λ とは、フーチングとくいの剛比であり、
 $\lambda = \frac{EI_y}{I_x} / 2EI_z\beta$
 である。

図-8 $\alpha_1 = \frac{\Delta N_{CA}}{\Delta N_{CC}}$

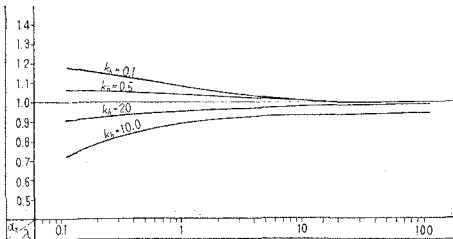


図-9 α_2 ($k_v = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ を 1.0)

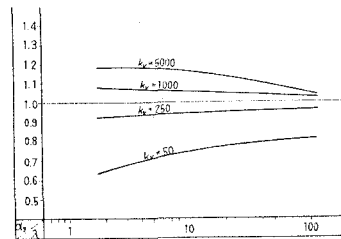


図-10 α_3 ($k_h = 500 \text{ t/m}^2/\text{cm}$ を 1.0)

§6. B法およびC法で求めた ΔN_c の比較

たとえば、基本型の場合の ΔN_c は、B法によると、

$$\Delta N_{CB} = \frac{3}{2} \cdot \frac{M_0}{l}$$

である。

すなわち、C法によると、

$$x = \frac{2l+3l}{3} = \frac{5}{3}l, \quad I_x = \left(\frac{5}{3}l\right)^2 + (2l - \frac{5}{3}l)^2 + (3l - \frac{5}{3}l)^2 = \frac{14}{3}l^2$$

$$\therefore \Delta N_{cc} = \frac{\Sigma M_0}{I_y} y = \frac{3M_0}{\frac{14}{3}l^2} \times \frac{4}{3}l = \frac{6}{7} \cdot \frac{M_0}{l}$$

よって、B法とC法の比を $\alpha_a = \Delta N_{cc} / \Delta N_{cb}$ と表わす。

$$\alpha_a = \frac{\frac{6}{7} \cdot \frac{M_0}{l}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{M_0}{l}} = \frac{4}{7} = 0.571$$

である。スパン比を変えて、 α_a を求めるのが図-11である。

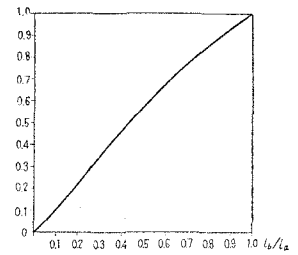


図-11 α_a (C法/B法)

5.7 適用方法

以上の検討結果をもとに、実際に ΔN を算出する場合の簡易法であるB法、又は、C法の使用例を示す。

図-12の場合の ΔN_D を求める。

諸元 地中より 高さ = 2.0m, 幅 = 1.0m, $I_f = 0.667 m^4$

くい $D = 1.27m$, $I_p = 0.125 m^4$

k_h, k_v $k_h = 1.0 kg/cm^2/cm$, $k_v = 5.0 t/m^2/cm$

$\beta = 0.183$

$$M_0 = \frac{H}{2\beta} = \frac{200/4}{2 \times 0.183} = 137 t \cdot m / 本$$

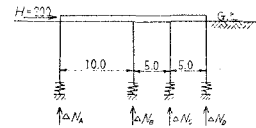


図-12

したがって、C法では、 $y = 8.75$, $I_y = 218.1 m^2 \cdot m$ $\therefore \Delta N_{Dc} = \frac{\Sigma M_0}{I_y} y = \frac{4 \times 137}{218.1} \times 8.75 = 22.0^t$

すなわち、

$$\lambda = \frac{I_y}{I_c} \times \frac{1}{2 \cdot I_p \beta} = \frac{0.667}{5.0} \times \frac{1}{2 \times 0.125 \times 0.183} = 2.92$$

の時、 α は、

図-8により、 $l_b/l_a = 5.0/10.0 = 0.5$ では、 $\alpha_1 = 1.35$

図-9により、 $k_h = 1.0 kg/cm^2/cm$ では、 $\alpha_2 = 1.0$

図-10により、 $k_v = 5.0 t/m^2/cm$ では、 $\alpha_3 = 1.0$

である。 ΔN_D は、

$$\Delta N_{DC} = \Delta N_{Dc} \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 = 22.0 \times 1.35 \times 1.0 \times 1.0 = 29.7^t$$

一方、A法により ΔN_D は、 $\Delta N_{DA} = 31.0^t$ である。

すなわち、B法で算出すると、 $\Delta N_{DB} = 20.5^t$ となり、かなり誤差が大きくなる。

5.8 結論

以上、A、B、C法について考察し、適用例も示したが、お前として、次のことがいえる。

A法は、厳密解に近い計算が複雑であり、いつでも手軽に計算するわけにいかない。すなわち、シビアによく用いられてきた簡易法であるB法は、3本以下の場合は、 α 、 α_a によって補正するだけで精算よく求められるが、4本以上になると、 l_b/l_a の算定が難しく、 α_a の補正誤差が大きくなり、精度が悪くなる。

以上の2法に比較してC法は、 α 、 α_a の補正をするにとにより、比較的簡単にA法に近い精度の値を求める。この場合も、 α 、 α_a を求めるにあたって、2の算定に多少問題があるが、 ΔN は本来、主として水平力によって生じるシヤ的値のものであり、この程度の精度であれば、通常の構造計算には十分使用可能と思われる。