

I-212 構造要素間の相互作用を考慮した基礎構造の解析

建設省 土木研究所 正会員 足立義雄
東洋技研コンサルタント(株) 正会員 島田 功

1. まえがき：橋梁等の基礎構造として用いられる、杭基礎、ケーソン基礎等の設計は、それぞれの基礎で個別に考え方を展開させている。したがって、各基礎構造の設計計算には完全な結び付きが認められない。そこで、本報告では、一つの体系で基礎の設計を取り扱うことを考えて、図-1に示すように各要素が互いにバネ結合されるとともに地盤バネで支持される基礎構造を対象に、関係式を誘導し、若干の数値計算例を示した。これを発展させることにより、中間的剛性を持つ大径杭、鋼管矢板基礎、大型ケーソン等を含めて一貫した考えによる合理的扱いが可能になると思われる。なお、この時に水平力等により発生する基礎の曲げモーメントは、一般に深さ方向の減衰が大きく、せん断変形を無視できない場合があるため計算式にはせん断変形も考慮している。

2. 解析概要：図-2に示す棒要素（i）の微小部分の釣合を考え次の基礎式を得る。

$$\left. \begin{aligned} EA_i \frac{d^2 u_i}{dx^2} &= T_i^R - T_i^L \\ EI_i \frac{d^4 v_i}{dx^4} &= -V_i + \frac{EI_i}{GA_i} \frac{d^2 v_i}{dx^2} + \frac{h_i}{2} \frac{d}{dx} (T_i^R + T_i^L) \end{aligned} \right\} \text{---(1)}$$

ここに、 $T_i^R = k_i^{0s} u_i^R + k_{i-1}^s (u_i^R - u_{i-1}^L)$
 $T_i^L = -k_i^{0s} u_i^L + k_i^s (u_{i+1}^R - u_i^L)$
 $V_i = k_i^{0n} v_i + k_{i-1}^n (v_i - v_{i-1}) - k_i^n (v_{i+1} - v_i)$
 $u_i^R = u_i + \frac{h_i}{2} \frac{dv_i}{dx} - \frac{h_i}{2} \frac{Q_i}{GA_i}$ 上付き添字 R, L は、
 $u_i^L = u_i - \frac{h_i}{2} \frac{dv_i}{dx} + \frac{h_i}{2} \frac{Q_i}{GA_i}$ それぞれ要素の右、左
 を意味する。

断面力は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} N_i &= EA_i \frac{du_i}{dx} \\ M_i &= -EI_i \frac{d^2 v_i}{dx^2} + \frac{EI_i}{GA_i} V_i \\ Q_i &= \frac{dM_i}{dx} + \frac{h_i}{2} (T_i^R + T_i^L) \end{aligned} \right\} \text{---(2)}$$

このような問題に対し、ここでは次のように軸方向に展開した級数を含む解を仮定して扱う。

$$\left. \begin{aligned} u_i &= \bar{C}_{i1} + \bar{C}_{i2}x + \bar{C}_{i3}x^2 + \sum_{m=1,2,3} \bar{u}_{im} \cos \alpha_m x \\ v_i &= C_{i1} + C_{i2}x + C_{i3}x^2 + C_{i4}x^3 + \sum_{m=1,2,3} v_{im} \sin \alpha_m x \end{aligned} \right\} \text{---(3)}$$

$\alpha_m = \frac{m\pi}{l}$

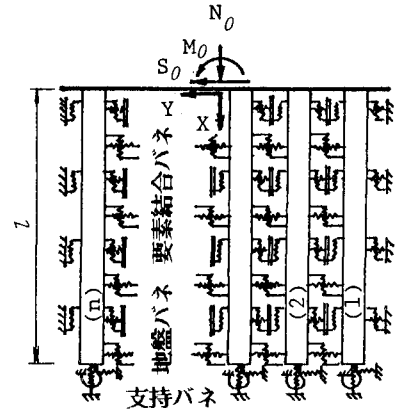
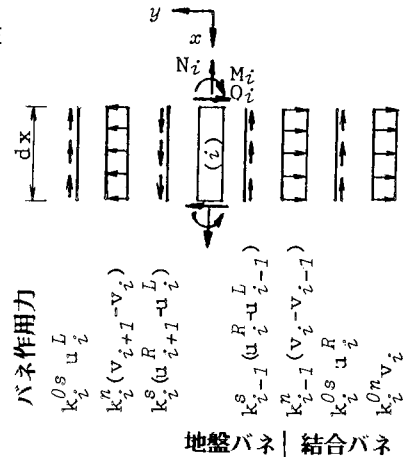


図-1



地盤バネ	結合バネ	
k_i^{0s}	k_i^n	k_i^s
k_i^{0n} k_i^{0s}	k_{i-1}^n	k_{i-1}^s

図-2

式（3）に含まれる代数式をフーリエ級数に展開（ u_i は $\cos$ 級数、 v_i は $\sin$ 級数）し、式（1）に代入すると $\bar{c}_{i3}$ 、 $\bar{u}_{im}$ 、 v_{im} が $\bar{c}_{i1}$ 、 $\bar{c}_{i2}$ 、 c_{i1} 、 c_{i2} 、 c_{i3} 、 c_{i4} などによって表され、さらに定数 $\bar{c}_{i1}$ 、 $\bar{c}_{i2}$ 、 c_{i1} 、 c_{i2} 等は各要素の境界条件を解ることにより求まる。また、頂部が剛体の場合、頂部での力の釣合条件を導入すれば剛体部変位も決定される。本解析では、隣接要素とバネ結合された構造を対象としているため、上記の $\bar{c}_{i3}$ 、 $\bar{u}_{im}$ 、 v_{im} に他の棒要素の影響が及ぶが、図-3に示すように合成作用がない場合は、一つの棒要素に対し頂部の力と変位の関係（バネマトリックス）が得られ、せん断変形を無視すれば杭基礎の頂部変位をもとめる式と同じ結果を得る。また、ケーソンの計算式は、剛体変形の項（ $\bar{c}_{i1}$ 、 c_{i1} 、 c_{i2} ）のみを考慮したものである。

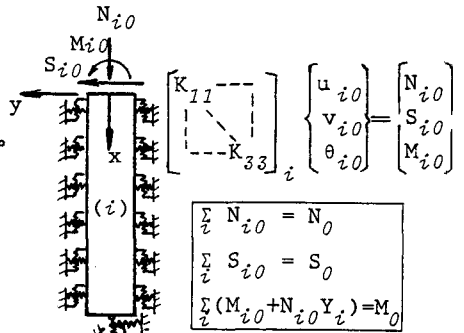


図-3 結合バネがない場合

3. 数値計算例および考察：図-4に示す、天端の剛体部に水平力 S_0 とモーメント M_0 を受ける基礎構造をモデルに、要素結合バネ値を変化（ $k^s = 0$ ；杭、 $k^s = \infty$ ；ケーソンと考えられる）させた場合の結果を示す。本計算には級数計算を含むが、変位、断面力とも10項程度までの採用で実用上十分な精度の結果が得られた。図-5(a)-(d)には $k^s=0$ の場合と対比した結果を示す。結合バネが存在すると軸力は増大するが曲げモーメントは非常に小さくなる。また、結合バネの存在は作用力 M_0 に対する変位を非常に小さくすることがわかる。

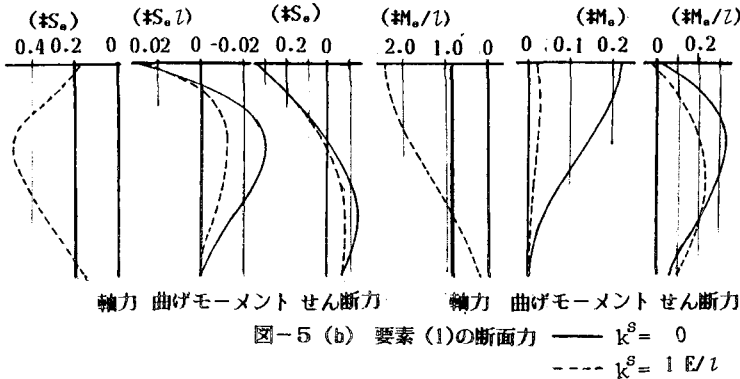


図-5 (b) 要素 (1) の断面力 — $k^s = 0$
----- $k^s = 1 E/l$

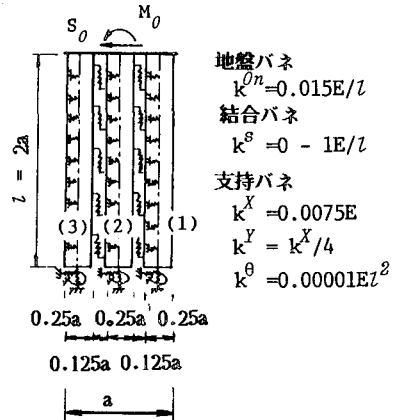


図-4 計算モデル

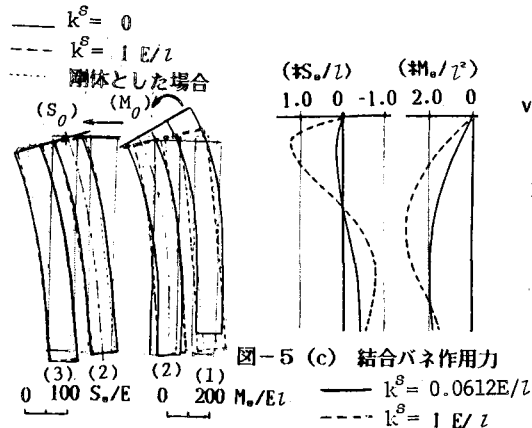


図-5 (c) 結合バネ作用力

図-5 (a)

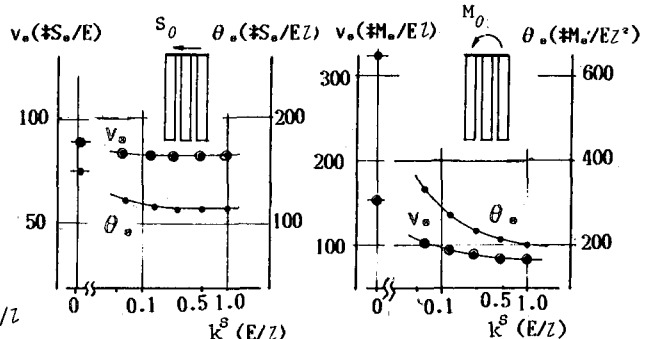


図-5 (d) 結合バネ (k^s) と頂部の変位