

III-41 ケーソン基礎の2次元耐震安定計算

本州四国連絡橋公団 正員 多田 浩彦

〃 〃 〇 山根 哲雄

1. はじめに

通常行われている橋梁基礎の耐震安定計算では、地盤を弾性ばねとみなし基礎をばねで支持させ、このばねによる抵抗力と外力を一次元的な変形条件を適合するよう解くという手法が用いられ、その結果について基礎の滑動、転倒、支持力等の安定の判定が行われている。これらの計算には未だ不確定な要素が多く含まれており、安定の判定基準の必ずしも明確とは云えないと思われる。

ここでは、ケーソン基礎の耐震安定計算を地盤と基礎とを2次元の構造体と仮定し、1) 線型弾性¹⁾、2) 地盤の引張強度と圧縮強度の差異を考慮した場合²⁾ 3) 地盤と基礎の境界面における摩擦滑り、剥離現象を考慮した場合³⁾ について有限要素法を適用して静的Kをおく。これはで行われてきた慣用安定計算法と比較すると共に、橋梁基礎の安定性Kについて考察してみようとした。有限要素法による計算手法については、それを参考文献と参照される。

2. 計算法の概要

(1) 線型漸性解

線型弾性計算とは、地盤中に根入れされたケーソン基礎および地盤と、剛性の異なる弾性体が連続した構造系とみなし線型計算したものである。

(2) 地盤の引張強度と圧縮強度の差異を考慮して解析 (no-tension 解)

地盤は一般に圧縮強度と引張強度に差異があり、圧縮力に比して引張力に対する抵抗力は小さい場合が多い。したがって解析は、地盤は圧縮主応力方向には弾性挙動し、引張主応力方向には引張力は伝達しないものと仮定し、線型弾性計算の結果生じる引張主応力を繰返し計算により再分配していくものである。

(3) 地盤と基礎の境界における摩擦滑り、剝離を考慮した解析

図-1 に示すように境界面を z 軸に平行にとり、境界上の点を左右に
ら、よに分割し、それぞれに作用する力を $F_{ix}, F_{iy}, F_{jx}, F_{jy}$ とすると外荷重
がない場合次の釣合式が成り立つ。

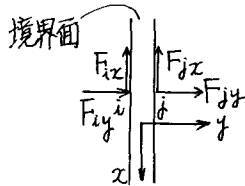


圖-1

$$F_{ix} + F_{jx} = 0, \quad F_{iy} + F_{jy} = 0$$

また、適合条件式は結合の性質に応じて以下のように仮定した。

i). 連続体結合の場合

適合式 $\delta_{ix} = \delta_{jx}$, $\delta_{iy} = \delta_{jy}$

ここに K , δ_{ix} , δ_{iy} , δ_{jx} , δ_{jy} は、それぞれ変位 i, j の x, y 方向の変位

ii) 摩擦滑りの場合

i) 奥に抗力が発生し、 $|F_{ix}| > C_0 + \mu_s |F_{iy}|$ のとき、摩擦滑りが発生する。

適合式 $\delta_{ix} \neq \delta_{jx}$, $\delta_{iy} = \delta_{jy}$

摩擦滑り発生後は、 $i(j)$ 奥に F_{ix} と反対方向に $\mu |F_{iy}|$ が反響される。ここに、 $\mu_s(a)$ は静(動)摩擦係数、 C_0 は付着力である。

iii) 剥離の場合

$i(j)$ 奥に剥離する方向に力が発生し、 $|F_{iy}| > C$ のとき剥離が発生する。

適合式 $\delta_{ix} \neq \delta_{jx}$, $\delta_{iy} \neq \delta_{jy}$

また、 $|F_{iy}| \leq C$ で、 $|F_{ix}| > C$ のとき単純滑りが生じるものとし、ii) と同じ適合式を用いる。

この場合、 $\mu |F_{iy}|$ は作用させない。ここに C は付着力である。

(4) 慣用計算法

比較に用いた慣用計算法は、日本道路協会「道路橋下部構造設計指針、ケーソン基礎の設計篇」にもつき図-2に示すように考えられている。

K_H : 水平方向地盤反力係数
 K_V : 鉛直方向地盤反力係数
 K_S : 水平方向せん断ばね係数
 力の釣合

$$H = N_2 + P$$

$$V = N_1$$

$$H_k = P \cdot \frac{l}{2} + P_2 \cdot \frac{l}{3} + N_1 x$$

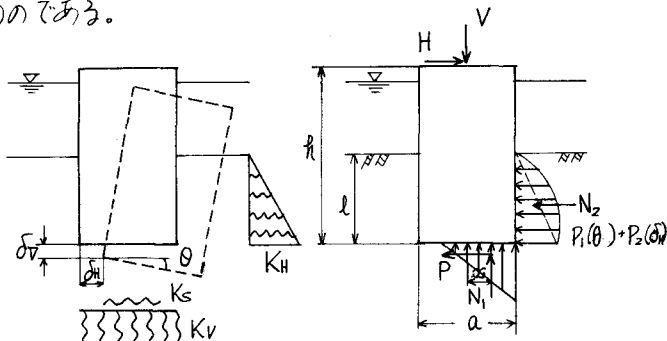


図-2 変位ばね係数図

荷重図

3. 数値計算および結果の考察

(1) 計算モデルの設定

計算の対象とする構造物は図-3に示す形状寸法であり、外荷重としてケーソン天端中央に鉛直力と水平力と作用させる。計算の規模および計算ケースを表-1に、計算に必要な諸係数と表-2に示す。

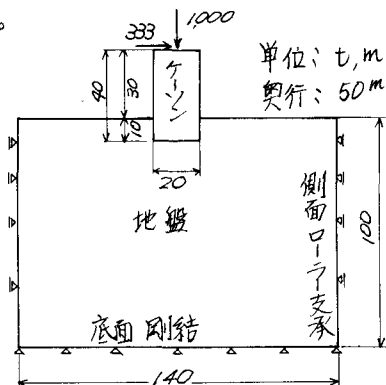


図-3 形状モデルおよび外荷重

	1	2	3	4	5
計算ケース	線型弾性解	no-tension解	滑りのみ考慮	剥離のみ考慮	滑り剥離を同時に考慮
ネット数	290	260		290	
節点数	183	149		183	

表-1 計算の規模 計算ケース

	弾性係数 E	ポアソン比 ν	付着力 $C_0 = C$	摩擦係数 $\mu_s(a)$
ケーソン	2,100,000 $\frac{t}{m^2}$	0.15	—	—
地盤	45,000 $\frac{t}{m^2}$	0.25	10 $\frac{t}{m^2}$	0.30

表-2 ケーソンおよび地盤の計算諸定数

(2) 結果の考察

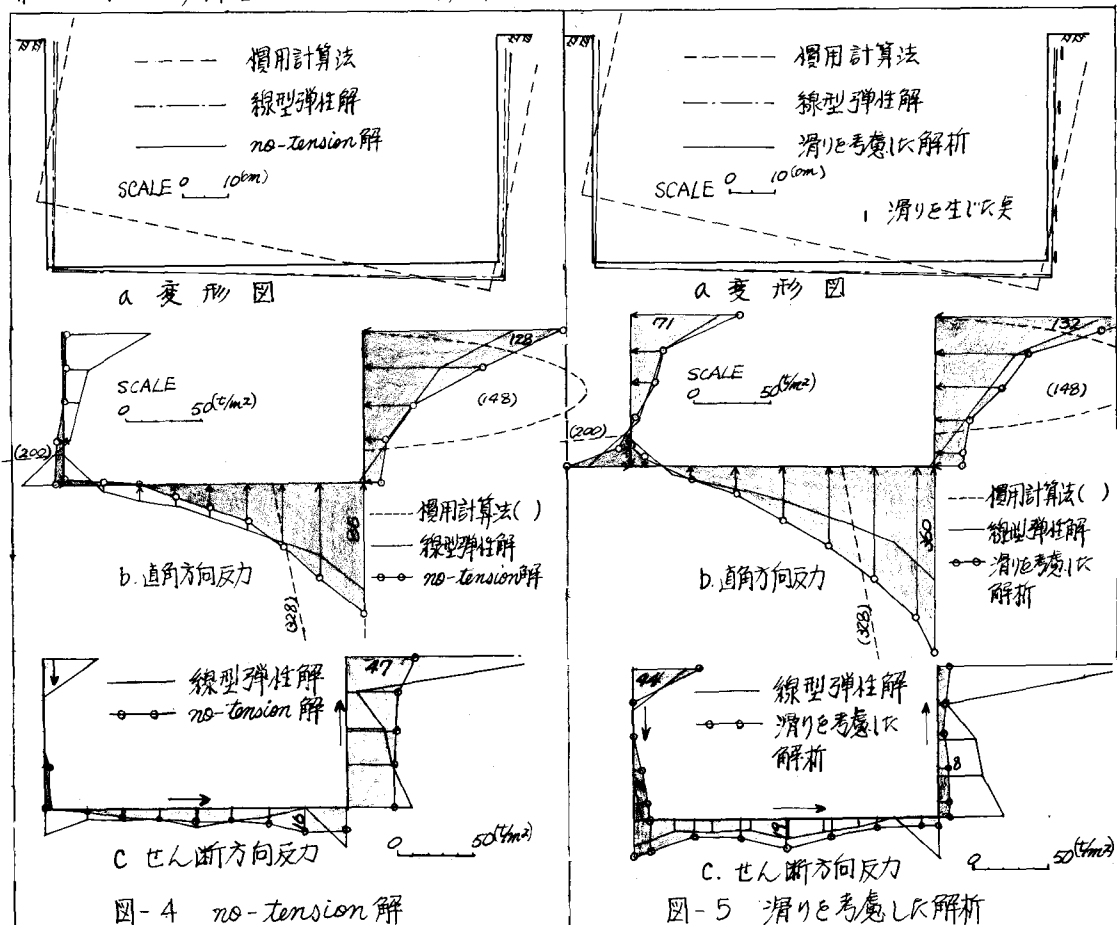
ケーソン基礎天端中央における水平変位 δ_H 、鉛直変位 δ_V 、回転角 θ の比較を表-3に示す。

計算ケース	1	2	3	4	5	6
	線型弾性解	no-tension 解	滑りのみ考慮	剝離のみ考慮	滑りと剝離を考慮	慣用計算法
水平変位 δ_H (mm)	53.7	73.9	59.2	70.0	104.5	402.1
鉛直変位 δ_V (mm)	25.4	24.2	26.7	23.2	22.8	-41.4
回転角 $\theta(10^{-3})$	1.299	1.683	1.360	1.613	2.487	10.61

表-3 天端中央における変位の比較

表より、水平変位、鉛直変位、回転角はともに慣用計算法が大きい値を示している。二次元解析では境界の変動の著しい滑り剝離を考慮した場合が、水平変位、回転角とも大きい値を示している。水平変位、回転角は線型弾性解に比べおよそ 100% 近く増加しているが、その量は滑りと剝離を個々に考慮した量と加えあわせのものではなく、滑り剝離現象が非線型的に相互作用し合っていることがわかる。no-tension 解の値と剝離のみを考慮した解とは値が近似している。

基礎周辺地盤および根入れされるケーソン部分の変形状態、さらに地盤の反力分布とケーソン面に直角方向、せん断方向について、図-4~図-7に示す。変形図では、境界が滑り、点と黒点・印で、境界が剝離した点と印で示した。変形図および反力図は、慣用計算法、線型弾性解の結果もあわせて示し、比較している。ここで取りあげた荷重、地盤条件では基礎前面全域にわたり滑りが生じ、基礎背面全域にわたり剝離が生じている。滑り剝離を同時に考慮した場合では、さらに基礎底面の背面側



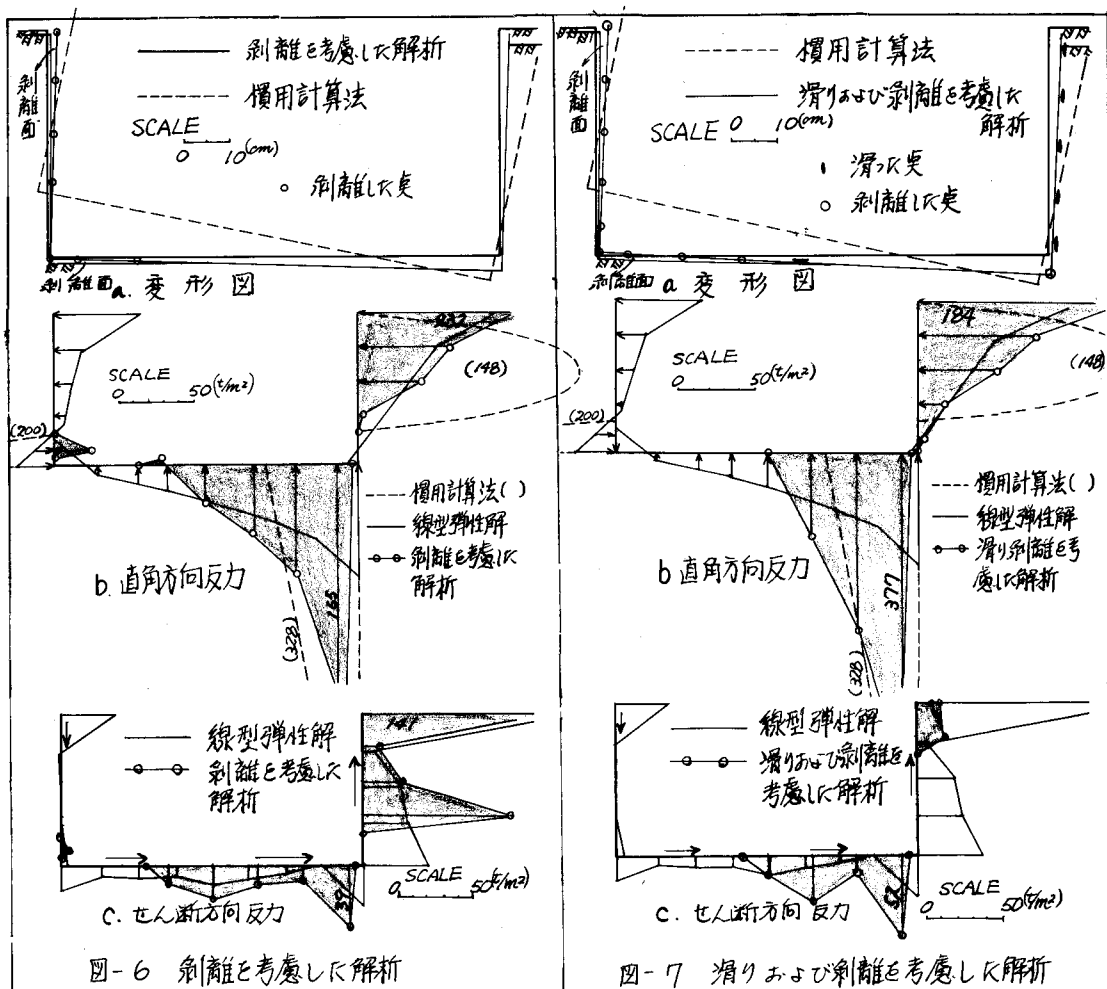


図-6 剥離を考慮した解析

図-7 滑りおよび剥離を考慮した解析

の一部に剥離が生じてくる。その結果図-7のように基礎背面隅角にむすかたから浮きあがりを生じ、水平方向変位、前面隅角部の沈下量かもっと大きくなることと認められた。境界変動は主として側面を生じ、滑り現象は沈下に影響し、剥離現象は回転に影響する傾向にあると思われる。

地盤反力分布についてみれば、2次元解析において非線型性が増すに反かい、底面に直角方向の反力は、隅角に偏心した三角形分布となっている。側面に直角方向の反力は、2次元解析では側面地盤の弾性係数を一樣としているから、変形の入る地表面で最大、底面付近で0に近づく逆三角形分布となっているが、慣用計算法ではばね係数の分布の仮定条件から、地表面で0、底面近くで最大となる二次の放物線分布となっている。

4 結び

基礎の2次元耐震安定計算に地盤あるいは基礎と地盤の境界における非線型性を考慮しておけば結果、境界の滑り、剥離現象は基礎の安定に大きな影響を与えることが明らかとなり、地盤の拘束状態を想定するときこれらの条件に十分留意すべきものと思われる。参考文献：「¹⁾ 柳田、橋脚基礎周辺地盤の力学的特性」第4回土木工学研究発表会(3)報告、²⁾ ケーソン基礎周辺地盤の応力状態および変形挙動、土木学会論文報告集188号(3)報告、³⁾ ケーソン基礎周辺地盤の力学的挙動、第6回土木学会、