

ケーソン基礎における地盤の前背面鉛直せん断摩擦力による基礎降伏震度への影響検討

株式会社白石 ○ 正会員 劉 春山 正会員 久保田 翼

はじめに

平成 11 年 10 月に改定された「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」^[1]では、ケーソン基礎の前背面鉛直せん断摩擦力度の上限値は前背面水平方向地盤反力度に関係するようになっている（表-1）。

一方、平成 8 年 12 月に改定された「道路橋示方書」⁽²⁾では、ケーソン基礎の前背面鉛直せん断摩擦力度の上限値は静止土圧のみで評価されている。

文献[1]に示す設計手法に基づいて、地盤の前背面鉛直せん断摩擦力がケーソン天端の水平変位および地盤降伏による降伏震度に与える影響を、下記のようにパラメータを変えて、筆者らが調査した。

- (1) 前背面鉛直方向せん断摩擦力度の上限値(式-4, 式-5)を水平方向地盤反力度(式-6, 式-7)に関係するように設定する。
- (2) 前背面鉛直方向せん断摩擦力度の上限値を静止土圧 p_0 に固定する。
- (3) 前背面鉛直方向せん断摩擦力度の上限値を 0 とする。

前背面鉛直方向せん断摩擦力度の上限値を水平方向地盤反力度と関係する解析アルゴリズムを下記の 1 項と 2 項のように整理した。

1 地盤抵抗要素

「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」によりケーソン基礎を設計する場合、表-1 に示すような地盤抵抗特性を考慮するような設計が求められている。

表-1 地盤反力係数及び地盤反力の上限値

	地盤反力係数 (kN/m^3)	地盤反力度の上限値 (kN/m^2)
前面の水平方向地盤反力係数 (k_h)	$1.7 E_{eqh} B_h^{-3/4}$ $E_{eqh} = \beta_h \alpha E_0$	上限値: $\alpha_h p_p - p_0$ 下限値: $p_0 - p_a \geq 0$
前背面の鉛直方向せん断地盤反力係数 (k_{sL})	$0.3 k_h$	砂質土: $\min[\sigma_h \tan \delta, 5N] \leq 200$ 粘性土: $[c \text{ または } 10N] \leq 150$
側面のせん断地盤反力係数 (k_{sb})	$0.3 k_h$	砂質土: $\min[\sigma_v \tan \delta, 2N] \leq 50$ 粘性土: $[0.5c \text{ または } 5N] \leq 50$
底面の鉛直方向地盤反力係数 (k_v)	$1.7 E_{eqv} B_v^{-3/4}$ $E_{eqv} = \beta_v \alpha E_0$	上限値: q_p 下限値: 0
底面の水平方向せん断地盤反力係数 (k_s)	$0.3 k_v$	$(V_{bd} \tan \delta_b + A_v c') / A_v$

δ : ケーソン前面及び側面と地盤との摩擦角 ($\phi/2$)
 δ_b : ケーソン底面と地盤との摩擦角で、オープンケーソンの場合 ϕ ; ニューマチックケーソンの場合 (2/3) ϕ
 c : 土の粘着力度 (kN/m^2) N : 土層の N 値
 p_p : 受働土圧力度 (kN/m^2) p_a : 主働土圧力度 (kN/m^2)
 p_0 : 静止土圧力度 (kN/m^2) β_h : 周面地盤の緩み係数

σ_h : 基礎前面の水平地盤反力度 (kN/m^2)
 B_h : ケーソン前面の換算幅 (m) q_p : 底面の極限鉛直支持力度 (kN/m^2)
 β_v : 底面地盤の緩み係数 c' : 基礎底面地盤の粘着力度 (kN/m^2)
 α : E_0 の試験方法に対する補正係数
 V_{bd} : 基礎底面における有効鉛直荷重
 A_v : 基礎の底面積 (m^2) (基礎底面における合力の作用位置が核外にある場合は、有効面積 A' とする)

2 節点鉛直せん断摩擦力による節点回転バネへの換算

図-1を参照して、円形断面ケーソンの前背面節点回転バネ定数計算アルゴリズムを誘導する。

図-1(a) に示す円形ケーソンの円周を $4n$ 等分割する。1 分割の角度は $\Delta \alpha$ と仮定する。

$$\Delta h_i = R[\sin(\alpha_i + \Delta \alpha) - \sin \alpha_i] \tag{式-1}$$

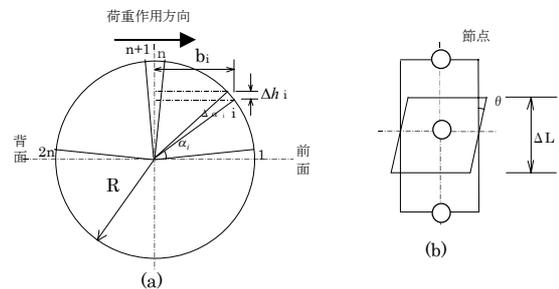


図-1 前背面回転バネ定数の算出

図-1(a)に示す i 分割目に着目する。 i 分割目に発生する鉛直せん断地盤反力度 p_{vi} は次式より計算する。

$$p_{vi} = b_i \theta \cdot k_{sL} \leq p_{vy} \tag{式-2}$$

$$b_i = R \cos(\alpha_i + \frac{\Delta \alpha}{2}) \tag{式-3}$$

k_{sL} : 前背面鉛直せん断地盤反力係数 (kN/m^3)

p_{vy} : 前背面鉛直地盤反力度の上限値 (kN) で、次式より求める。

$$p_{vy} = \min[\sigma_h \tan \delta, 5N] \leq 200 \quad (\text{砂質土}) \tag{式-4}$$

$$p_{vy} = [c, 10N] \leq 150 \quad (\text{粘性土}) \tag{式-5}$$

σ_h : 基礎前背面水平地盤反力度 (kN) で次式より算出する。

$$\sigma_h = p_0 + k_h \delta_h \leq \alpha_h p_p \quad (\text{基礎前面}) \tag{式-6}$$

$$\sigma_h = p_0 - k_h \delta_h \geq p_a \quad (\text{基礎背面}) \tag{式-7}$$

δ_h : 節点の水平変位 (m)

i 分割目の地盤回転モーメント ΔM_i は次式より算出できる。

$$\Delta M_i = p_{vi} \cdot \Delta L \cdot \Delta h_i \cdot b_i \tag{式-8}$$

図-1(a)の円形断面が上下対称であることを考慮して、節点地盤抵抗モーメント M ($kN \cdot m$) を次式より計算できる。

$$M = 2 \cdot \sum_{i=1}^{2n} p_{vi} \cdot \Delta L \cdot \Delta h_i \cdot b_i \tag{式-9}$$

キーワード ケーソン基礎 鉛直せん断反力度の上限値 降伏震度 地盤バネ

〒101-0032 東京都千代田区神田岩本町1-1-4 TEL:03-5687-8325 FAX:03-5687-6493

よって、地盤の節点回転バネ定数を次式より求める。

$$K_R = M / \theta \quad \text{式-10}$$

3 全体の解析モデル

1, 2に示したアルゴリズムに基づいて、図-2に示したモデルを用い、ケーソン躯体を弾性とし、ケーソン底面の浮上りを考慮したFortranの解析プログラムを作成した。

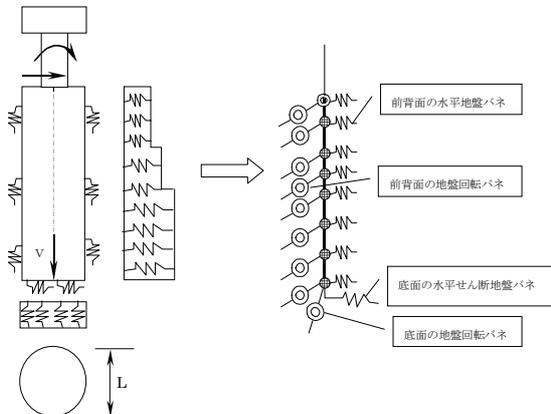


図-2 解析モデル

4 試算条件および計算ケース

解析対象とするケーソンの外形寸法、上部工慣性力重量および地盤の土質定数などを図-3と表-2に示す。

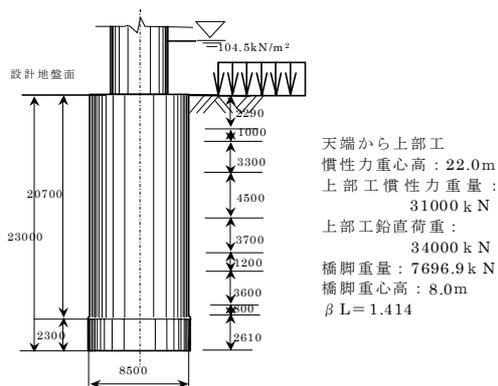


図-3 解析対象とするケーソン

表-2 各層の土質定数一覧表

層目	土質	αE_0 (kN/m ²)	γ 水中 (kN/m ²)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	N
1	砂質	8800	7.6	20	0	5
2	砂質	8800	7.6	22	0	5
3	砂質	5600	7.6	20	0	8
4	砂質	42000	8.6	25	0	25
5	砂質	35600	6.7	25	0	17
6	砂質	26800	6.7	30	0	20
7	砂質	100400	9.6	30	0	35
8	砂質	26800	7.6	30	0	20
9	砂質	100400	9.6	40	0	41
底面	砂質	100400	9.6	40	0	41

5 解析結果

周面のせん断摩擦力による影響を考慮するために、下記の3ケースにて解析を行った。

CASE1: 周面鉛直せん断摩擦力を式-1~式-10のように

評価する。

CASE2: 基礎前背面水平地盤反力度(kN)を静止土圧 p_0 とする。すなわち、式-6, 式-7を下記のようにする。

$$\sigma_h = p_0$$

CASE3: 周面摩擦力を無視する。すなわち、式-4, 式-5を下記のようにする。

$$p_{vy} = 0$$

計算した水平震度~水平変位の曲線を図-4に示す。

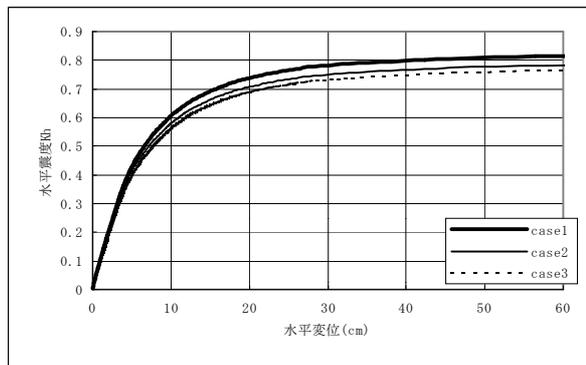


図-4 ケーソン天端の水平震度~水平変位曲線

資料(1)に基づく各ケースの降伏震度表-3に示す。

表-3 地盤による基礎降伏震度一覧表

	水平震度			降伏震度 $=k_{fg} + (k_{g0} - k_{fg}) / 0.5 \times (\beta L - 1.0)$	降伏変位 (cm)
	k_{fg}	k_{g0}			
$\beta L = 1.414$	1.2% L	0.006 (rad)	80%L		
A case1	0.612	0.588	0.824	0.783	30.46
B case2	0.586	0.564	0.790	0.751	30.49
C case3	0.568	0.548	0.771	0.732	30.35
(B-A)/A%	-4.2	-4.1	-4.1	-4.1	—
(C-A)/A%	-7.2	-6.8	-6.4	-6.5	—

6 まとめ

以上から、下記の結論が得られた。

- (1) 前背面鉛直せん断摩擦力度の上限値が前背面水平方向地盤反力度に関係するように、前背面鉛直せん断摩擦力を考慮する場合は、それを無視する場合より、地盤降伏による基礎の降伏震度が6.5%上がった。
- (2) 前背面鉛直せん断摩擦力度の上限値が前背面水平方向地盤反力度に関係するように、前背面鉛直せん断摩擦力を考慮する場合は、前背面鉛直せん断摩擦力度の上限値が p_0 に設定する場合より、地盤降伏による基礎の降伏震度が4.1%上がった。

参考文献:

- (1) 鉄道総合技術研究所, 「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」, 平成11年10月
- (2) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, 平成8年12月
- (3) 総合技術研究所, わかりやすいケーソン基礎の計画と設計, 平成9年12月