

ニューマチックケーソン式栈橋の耐震性能照査法における杭の特性値 β の適用性について

(株)日本港湾コンサルタント 正会員 ○柴田 大介
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 長尾 毅

1. はじめに

大石ら¹⁾は、レベル1地震時におけるニューマチックケーソン式栈橋の照査用震度の算出方法として、「港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾」に記載されている栈橋の照査用震度算定法に準じ、仮想地表面下 $1/\beta$ の加速度応答スペクトルと栈橋固有周期をもとに設定する方法を提案している。本検討では、剛性の高いケーソン基礎構造に対して、基礎の剛性、地盤剛性および水平力を変化させた二次元有限要素法解析を実施し、弾性床上の梁のたわみ曲線式の結果と比較することでニューマチックケーソン式栈橋に対する特性値 β を用いた照査方法の適用性について検討した。

2. 検討内容および検討条件

ニューマチックケーソン式栈橋のケーソン基礎杭を対象とし、図-1に示す検討モデルに対して、杭頭固定の条件で二次元有限要素法解析を実施し、弾性床上の梁のたわみ曲線式の結果と比較した。

本検討では、杭幅 5.5m、根入長 20m、奥行き方向の杭間隔 20m のケーソン基礎杭を想定し、杭頭固定の条件で表-1に示すように杭の曲げ剛性、地盤剛性(N 値)、水平力を変化させた検討を実施した。

ここで、二次元有限要素法解析には FLIP ROSE®(Ver.7.3.0)³⁾ を用い、地盤定数は簡易パラメタ設定法⁴⁾により設定した。なお、土が杭間をすり抜ける効果を杭-地盤相互作用バネを用いて考慮している。また、弾性床上の梁のたわみ曲線式としては Chang の式⁵⁾を用いて検討し、横方向地盤反力係数は N 値を基に式 1 より算定した。

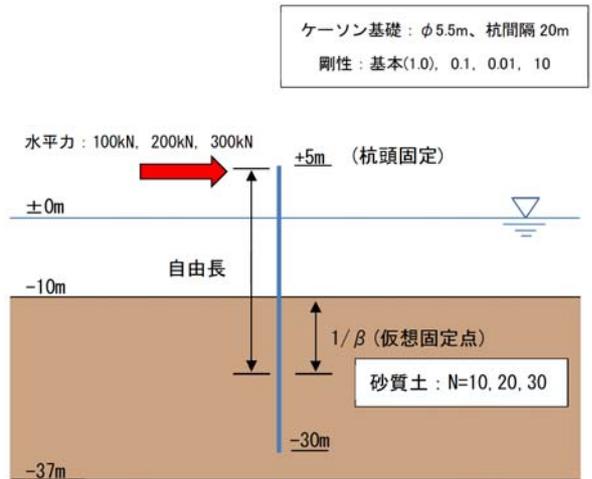


図-1 検討モデル図

$$k_{CH} = 3900N^{0.733} \dots \dots \dots \text{(式 1)}$$

ここに、

k_{CH} : 横方向地盤反力係数(kN/m³)

N : N 値

表-1 検討ケース一覧

検討条件	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10	Case11	Case12	Case13	Case14	Case15	Case16	Case17	Case18
N値	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
水平力	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200	200	200	300	300
1/β	16.0	14.1	13.1	9.0	7.9	7.4	28.5	25.1	23.3	5.1	4.5	4.1	16.0	9.0	28.5	5.1	16.0	9.0
2/β	32.0	28.2	26.2	18.0	15.9	14.7	57.0	50.2	46.6	10.1	8.9	8.3	32.0	18.0	57.0	10.1	32.0	18.0
3/β	48.0	42.3	39.3	27.0	23.8	22.1	85.4	75.2	69.8	15.2	13.4	12.4	48.0	27.0	85.4	15.2	48.0	27.0
長杭・短杭	短杭	短杭	短杭	長杭	長杭	長杭	短杭	短杭	短杭	長杭	長杭	長杭	短杭	長杭	短杭	長杭	短杭	長杭
EI	3.5E+08	3.5E+08	3.5E+08	3.5E+07	3.5E+07	3.5E+07	3.5E+09	3.5E+09	3.5E+09	3.5E+06	3.5E+06	3.5E+06	3.5E+08	3.5E+07	3.5E+09	3.5E+06	3.5E+08	3.5E+07
径の比率	1	1	1	0.1	0.1	0.1	10	10	10	0.01	0.01	0.01	1	0.1	10	0.01	1	0.1
検討条件	Case19	Case20	Case21	Case22	Case23	Case24	Case25	Case26	Case27	Case28	Case29	Case30	Case31	Case32	Case33	Case34	Case35	Case36
N値	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30
水平力	300	300	200	200	200	200	300	300	300	300	200	200	200	200	300	300	300	300
1/β	28.5	5.1	14.1	7.9	25.1	4.5	14.1	7.9	25.1	4.5	13.1	7.4	23.3	4.1	13.1	7.4	23.3	4.1
2/β	57.0	10.1	28.2	15.9	50.2	8.9	28.2	15.9	50.2	8.9	26.2	14.7	46.6	8.3	26.2	14.7	46.6	8.3
3/β	85.4	15.2	42.3	23.8	75.2	13.4	42.3	23.8	75.2	13.4	39.3	22.1	69.8	12.4	39.3	22.1	69.8	12.4
長杭・短杭	短杭	短杭	長杭	短杭														
EI	3.5E+09	3.5E+06	3.5E+08	3.5E+07	3.5E+09	3.5E+06												
径の比率	10	0.01	1	0.1	10	0.01	1	0.1	10	0.01	1	0.1	10	0.01	1	0.1	10	0.01

表-2 FLIP 地盤定数⁴⁾

ケース	N値	有効	細粒分	密度	間隙率	初期	初期	有効	ポアソン比	せん断
		上載圧	含有率			せん断剛性	体積剛性			
		σ_v'	Fc	ρ	n	Gma	Kma	σ_{ma}'	ν	ϕ_f
		kN/m ²	%	t/m ³		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		°
Case1,4,7,8,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	10	131	15	2	0.45	67511	176059	98	0.33	38.98
Case2,5,8,11,21,22,23,24,25,26,27,28	20	131	15	2	0.45	108183	282123	98	0.33	40.56
Case3,6,9,12,29,30,31,32,33,34,35,36	30	131	15	2	0.45	142536	371713	98	0.33	41.76

キーワード ニューマチックケーソン, ケーソン基礎, 栈橋, 耐震設計

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 8-3-6 (株)日本港湾コンサルタント 技術本部 TEL:03-5434-5256

表-3 ケーソン基礎杭定数

ケース	杭幅	杭間隔	断面二次モーメント I	ヤング率 E	せん断剛性 G	ポアソン比 ν	備考
	B	L					
	m	m	m ⁴	kN/m ²	kN/m ²		
Case1,2,3,13,17,21,25,29,33	5.5	20	76.26	2.5E+07	1.04E+07	0.2	基本ケース
Case7,8,9,15,19,23,27,31,35				2.5E+08	1.04E+08		基礎杭剛性10倍
Case4,5,6,14,18,22,26,30,34				2.5E+06	1.04E+06		基礎杭剛性1/10
Case10,11,12,16,20,24,28,32,36				2.5E+05	1.04E+05		基礎杭剛性1/100

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_{CH} D}{4EI}} \dots \dots \dots (式 2)$$

ここに、

β : 杭の特性値(m⁻¹)

k_{CH} : 横方向地盤反力係数(N/cm³)

D : 杭の幅(cm)

EI : 杭の曲げ剛性(N·cm²)

3. 検討結果

図-2～図-4 に、N 値別の杭頭モーメントと杭剛性の関係を示す。プロットは上段から基礎杭剛性 10 倍、基本ケース、1/10、1/100 となっている。また、式 2 より特性値 β を求め、根入長 $20m < 2/\beta$ であれば短杭、 $20m > 2/\beta$ であれば長杭と見なした。

まず、基礎杭の剛性に注目すると、杭の剛性が低く、杭頭に作用する水平力が小さい場合（基礎杭剛性 1/100、水平力 100）には FLIP 解析と Chang の式による結果はある程度整合が取れていたものの、杭の剛性が高く、杭頭に作用する水平力が大きくなると両者の差は大きくなった（基礎杭剛性 10 倍、水平力 300）。次に、地盤の剛性に注目すると、地盤の剛性が高くなるにつれて、発生する杭頭モーメントは小さくなる傾向となった。また、地盤の剛性が高くなるにつれて FLIP 解析と Chang の式による結果の差は小さくなった。最後に、杭の長杭・短杭に着目すると長杭の場合よりも短杭の場合の方が FLIP 解析と Chang の式による結果の差が大きくなった。

4. まとめ

本研究では、ニューマチックケーソン式栈橋を対象に、ケーソン基礎杭の曲げ剛性、地盤剛性、水平力を変化させた解析を実施し、特性値 β を用いた照査方法の適用性について検討した。検討の結果、ケーソン基礎杭の剛性が低い場合には FLIP 解析と Chang の式による結果は類似していたものの、剛性が高くなると両者で差が生じた。通常、ケーソン基礎杭は剛性が高く、仮想固定点が深くなるため、設計断面の杭は長杭と見なせない場合が多い。つまり、ニューマチックケーソン式栈橋の基礎杭は、杭頭固定、高剛性、短杭の条件に該当するため、特性値 β を用いた照査方法の適用性は低いものと考えられる。

参考文献

1)大石雅彦, 長尾毅, 茂木浩二, 大内正敏, 佐藤祐輔, 清宮理: ニューマチックケーソン式横栈橋の地震時挙動および耐震性能照査法に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, 2012. 2)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007. 3)Iai,S.,Matsunaga,Y. and Kameoka,T.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992. 4)森田年一, 井合進, Liu Hanlong, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料, 1997. 5)石黒健, 高橋邦夫: 横荷重を受ける杭と矢板の横梁解法, 山海堂.

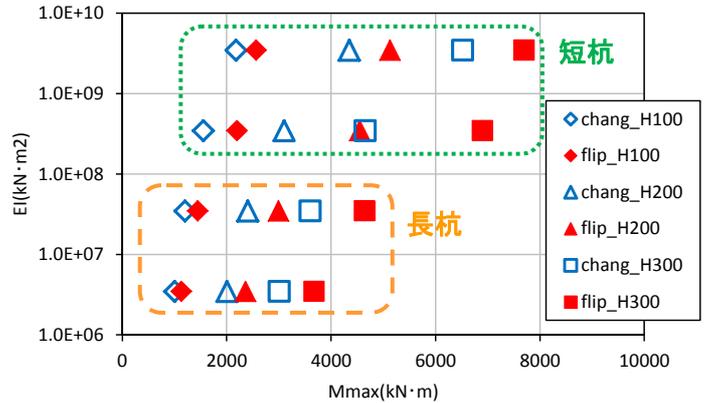


図-2 杭頭モーメントと杭剛性の関係(N=10)

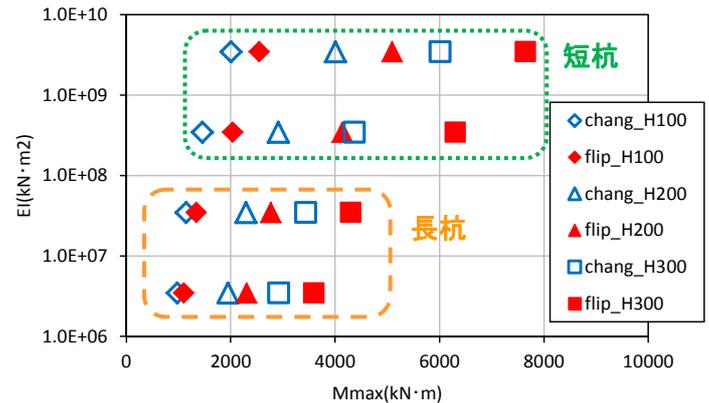


図-3 杭頭モーメントと杭剛性の関係(N=20)

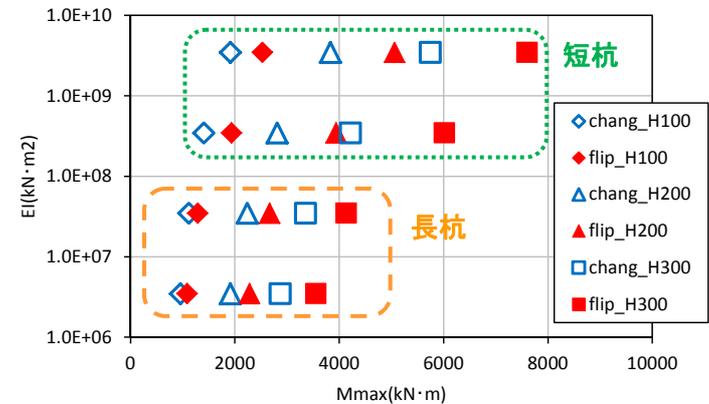


図-4 杭頭モーメントと杭剛性の関係(N=30)