

地震により変形した直杭式横栈橋の残存耐力に関する解析的研究

鳥取大学大学院 学生会員 ○青木智宏
鳥取大学大学院 学生会員 山崎陽一郎

鳥取大学工学部 フェロー会員 上田茂
(株)日本港湾コンサルタント 正会員 石田誠

1. はじめに

栈橋が大きな地震動を受けた後の余震に対する残存耐力、または地震により多少変形し、その後継続して使用されてきた栈橋の残存耐力を知ることは地震防災上必要である。本研究では、有効応力法を用いて構造物と地盤を連成して解析し、鋼管杭に働く応力、上部工の変形量などを算出し、地震によって変形した直杭式横栈橋の残存耐力について検討を行った。

2. 解析対象栈橋

図-1 は解析対象栈橋の標準断面図である。この栈橋の設計震度は $k_h=0.22$ である。栈橋の解析は本来三次元とすべきであるが、この解析法は二次元解析法なので、杭を単位幅当りの剛性が等価な二次元モデルとして解析した。

解析は自重解析、動的解析の順で行った。自重解析では、残留水位以下の物体の単位体積重量に浮力を考慮する。表-1、2 は解析に用いた栈橋の周辺地盤および構造部材の物性値である。上部工および杭は梁要素とし、その他は平面ひずみ要素とした。

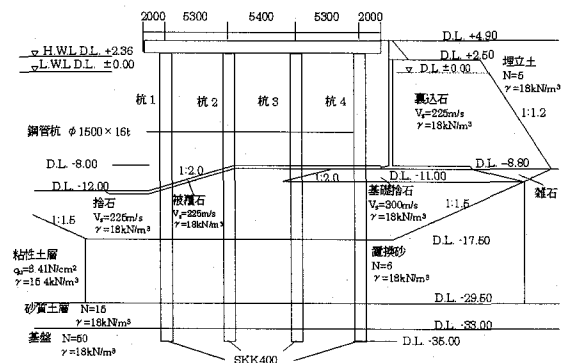


図-1 栈橋断面図

表-1 地盤の物性値

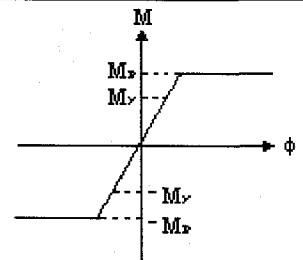
種別	ポアソン比 ν		剪断弾性係数 G (kN/m^2)	減衰定数 h	単位体積重量 γ (kN/m^3)		V_s , N , q_u
	自重解析	動的解析			自重解析	動的解析	
裏込石(+)	0.33	0.45	92984.69	0.02	18.00	18.00	$V_s=225\text{m/s}$
裏込石(-)	0.33	0.45	92984.69	0.02	10.00	20.00	
埋立土(+)	0.33	0.45	43019.18	0.02	18.00	20.00	
埋立土(-)	0.33	0.45	43019.18	0.02	10.00	20.00	
基礎礫石	0.33	0.45	165306.12	0.02	10.00	20.00	$V_s=300\text{m/s}$
被覆石	0.33	0.45	92984.69	0.02	10.00	20.00	$V_s=225\text{m/s}$
捨石層	0.33	0.45	92984.69	0.02	10.00	20.00	$V_s=225\text{m/s}$
礫石	0.33	0.45	92984.69	0.02	10.00	20.00	$V_s=225\text{m/s}$
置換砂	0.33	0.45	48697.35	0.02	10.00	20.00	$N=6$
粘性土層	0.33	0.45	14297.00	0.02	5.40	15.40	$q_u=8.41\text{N/cm}^2$
砂質土層	0.33	0.45	90803.91	0.02	10.00	20.00	$N=15$
基盤	0.33	0.45	205902.73	0.02	10.00	20.00	$N=50$

表-2 構造部材の物性値

種別	ポアソン比 ν		ヤング率 E (kN/m^2)	剪断弾性係数 G (kN/m^2)	減衰定数 h	単位体積重量 γ (kN/m^3)		断面積 A (m^2)	断面2次 I_z (m^4)
	自重解析	動的解析				自重解析	動的解析		
上部工	0.33	0.167	2.5×10^7	9398496	0.05	24.00	24.00	2.200	0.88700
杭(+)	0.33	0.167	2.0×10^8	77000000	0.02	78.50	78.50	0.014918	0.00410
杭(-)	0.33	0.167	2.0×10^8	77000000	0.02	68.50	78.50	0.014918	0.00410
ケーソン	0.33	0.167	2.5×10^7	2449000	0.02	24.00	24.00	-	-
L型ブロック(+)	0.33	0.167	2.5×10^7	2449000	0.02	24.00	24.00	-	-
L型ブロック(-)	0.33	0.167	2.5×10^7	2449000	0.02	14.00	24.00	-	-

鋼管杭の非線形特性は、杭の断面諸元と鋼管の保証降伏点強度から降伏モーメントおよび全塑性モーメントを求め、全塑性モーメント $M_p=1656.2\text{kN}\cdot\text{m}$ を正負の最大値とする原点对称型のバイリニアモデルで設定した(図-2)。

地盤の非線形特性は、骨格曲線を決めるパラメーターが多く土質試験結果との対応付けが比較的容易な修正 RO モデルを適用するものとした。また、砂質土地盤には液状化を考慮した。

図-2 バイリニアモデル(M- ϕ 関係)

3. 解析

まず、自重解析では解析モデルに重力が作用した状態での地盤や構造部材にはたらく応力を計算し、動的解析の初期応力とする。次に動的解析で、基盤(-40m)に兵庫県南部地震の際に、ポートアイランドで観測された記録から K.P-79m 地点での基盤波(PI-79 2E)を水平方向に作用させて解析を行った。図-3 に動的解析モデルの構造概念を示す。

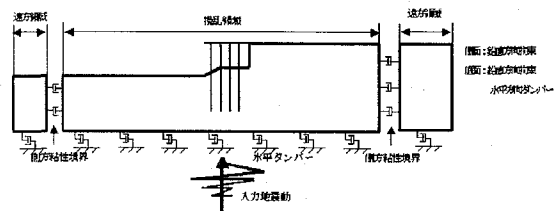


図-3 動的解析モデルの構造概念

解析ではポートアイランド波を最大加速度が 100gal~400gal となるように調整した加速度波形を用い、余震を想定する加速度波形を連続して作成し、200gal-200gal、400gal-400gal などとした。図-4 は入力地震波形の一例である。

4. 解析結果および残存耐力の評価

背後地盤の滑りや周辺地盤の土圧の影響を最も受けやすい鋼管杭の損傷は、栈橋の残存耐力に及ぼす影響が大きい。鋼管杭の性能の評価は、杭の降伏モーメントを指標として、杭に発生する応力が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であるかどうかで判断する。また、栈橋の変形量についても、地震によって変形した栈橋が、船舶や人の安全な利用や荷役の機能を果たすかどうかの判断には、重要な指標となる。

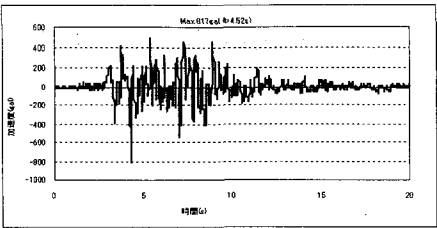


図-4 入力地震波形(水平方向)

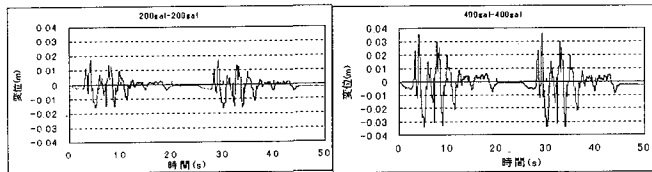


図-5 上部工の応答変位の時刻歴

表3 栈橋上部工の最大応答変位および残留変位

最大加速度(gal)	一つ目の地震動による 最大応答変位(cm)	一つ目の地震動作用後の 残留水平変位(cm)	二つ目の地震動による 最大応答変位(cm)	二つ目の地震動作用後の 残留水平変位(cm)
200	+1.76(t=4.24s)	-0.083	+1.70(t=29.24s)	-0.14
400	+3.58(t=4.24s)	-0.85	+3.60(t=29.24s)	-0.21

図-5 および表-3 は 200gal-200gal、400gal-400gal の地震動を作用させた時の栈橋上部工の応答変位の時刻歴および残留変位を示したものである。2 波目の地震動は 1 波目の地震動による影響がなくなる時間を考慮して作用させた。栈橋上部工は変形するものの、残留変位は非常に小さいことが分かる。このことから杭は弾性領域で振動したものと考えられる。この程度の変形量であれば、栈橋の使用性能には問題ないといえる。

図-6 は、100gal~400gal の地震動を作用させた時の杭の正負の最大曲げモーメントの分布図を示したものである。また、図-7 は 400gal の地震動と 400gal の地震動を連続して作用させた場合の鋼管杭の正負の最大曲げモーメント分布を示したものである。杭の最大曲げモーメントはほぼ $M = \pm 500 \text{ kN} \cdot \text{m}$ で、鋼管杭の降伏モーメントである $M_y = \pm 1286.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ を超えていない。

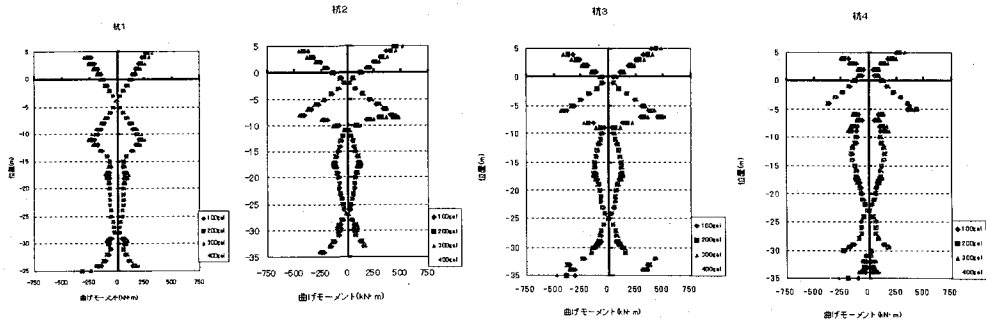


図-6 100~400gal 作用時の杭の最大曲げモーメント分布

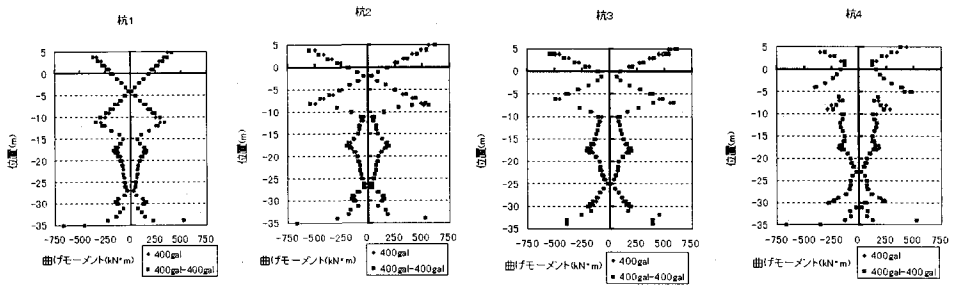


図-7 400gal と 400gal-400gal 作用時の杭の最大曲げモーメント分布

5. まとめ

本研究では、400gal の地震動を連続して作用させ、直杭式横栈橋の残存耐力を検討した。この栈橋の作用震度は概ね 200gal を想定されるので、この加速度の範囲では弾性域を超えなかった。今後は残存耐力に影響を及ぼす杭の塑性状態まで再現し、検討したい。