

地盤変形による曲げモーメントを考慮した直杭式横棧橋の断面最適化に関する研究

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員○宮下健一朗
国土技術政策総合研究所 正会員 長尾 毅

1. はじめに

現行の港湾基準では、耐震強化施設としての棧橋式係船岸を設計する場合、棧橋を構成する杭の中に二箇所以上で全塑性に達している杭が存在しないこと、もしくは一箇所のみで全塑性に達している杭が存在するように性能規定されており、地中部の杭の損傷の評価が重要となっている。また、杭の性能照査は地盤との動的相互作用を考慮できる方法で行うこととなっており、一般的に二次元地震応答解析によって行われている。そして、二次元地震応答解析を行う際の照査用断面は外力として上部工慣性力のみを考慮した弾塑性解析によって設定されることが多い。しかしながら、レベル2地震動作用時は地盤の変形によって地中部の杭に大きな曲げモーメントが発生する場合があります。このような場合は弾塑性解析による照査用断面と二次元地震応答解析において性能を満足する断面が乖離するため、設計者は性能を満足する断面が得られるまで、二次元地震応答解析を繰り返すことになり、設計実務における計算負荷が増大している。また、性能を満足する断面を得るには、耐力不足の杭の肉厚もしくは杭径を上げる方法や、耐力不足以外の杭の剛性を上げて、耐力不足の杭に作用する力を軽減させる方法など様々な方法があるが、計算負荷の問題から耐力を満足するまで耐力不足の杭の肉厚を上げるというのが一般的であり、この場合必ずしも最適な断面が設定されるとは言うことができない。本研究では、著者らが提案した棧橋の最適設計法¹⁾を地盤の変形による曲げモーメントを考慮できるように拡張し、効率的かつ最適に二次元地震応答解析を行う際の照査用断面を設定する方法を提案する。

2. 地盤の変形による曲げモーメント考慮した最適設計法

本研究で提案する最適設計法は棧橋の設計を式(1)に示す最適化問題として取り扱い、数学的に最適断面を求める。ここで、 M_g ：地盤の変形によるモーメント、 M_s ：上部工慣性力によるモーメント、 M_p ：全塑性モーメント、 σ_b ：上部工慣性力による曲げ応力度、 σ_c ：上部工慣性力による圧縮応力度、 σ_{by} ：曲げ降伏応力度、 σ_{cy} ：圧縮降伏応力度、 W ：杭重量、 t ：肉厚、 D ：杭径であり、最適断面はレベル2地震動作用時の慣性力及び地盤の変形による地中部モーメントが全塑性以下であることと、レベル1地震動作用時の慣性力による杭の応力が降伏応力度以下であるという制約条件の中で、鋼材重量を最小化する杭径と肉厚としている。本研究では地盤の変形によるモーメントは、杭が存在しない断面の二次元地震応答解析による最大変形量と骨組解析を用いた応答変位法を利用する。応答変位法に利用する地盤バネは仮想海底面下に設置し、杭が存在しない断面の二次元地震応答解析結果の残留変形時の杭位置での割線剛性から式(2)により求めることとする。ここで、 G ：割線剛性、 ν ：ポアソン比、 B_0 ：基準載荷幅(=0.3m)、 B_H ：換算載荷幅(=10m)であり、仮想海底面とは図-2に示すように前面水深と実海底面との平均水深である。杭が存在しない断面の二次元地震応答解析を照査用断面選定において1度行うことについては、最終的に決定断面に対して二次元地震応答解析を行うため、大きな計算負荷にはならないと判断している。慣性力によるモーメント及び応力度は過去の提案法¹⁾同様、近似化した応答加速度スペクトル、仮想固定点法、及びチャンの方法を利用することにより、肉

$$\text{Subject to } \frac{M_g + M_s(t, D)}{M_p(t, D)} \leq 1 \dots (1)a \quad (\text{レベル2地震動作用時})$$

$$\left(\frac{\sigma_b(t, D)}{\sigma_{by}} + \frac{\sigma_c(t, D)}{\sigma_{cy}} \right) \leq 1 \dots (1)b \quad (\text{レベル1地震動作用時})$$

$$W(t, D) \rightarrow \text{Minimize} \dots (1)c$$

$$k_h = \frac{2(1+\nu)G}{B_0} \left(\frac{B_H}{B_0} \right)^{-3/4} \dots (2)$$

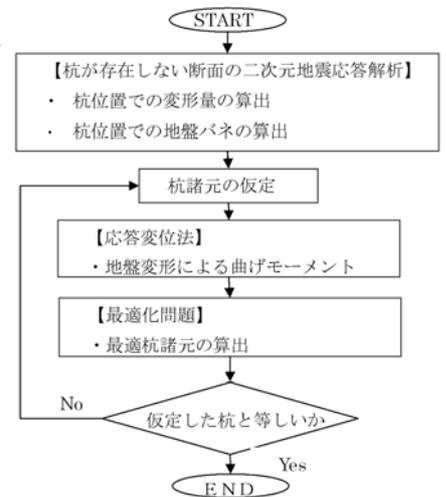


図-1 最適断面決定までのフロー

キーワード 最適化, 棧橋, 耐震

連絡先 〒206-8550 東京都多摩市関戸 1-7-5 パシフィックコンサルタンツ(株) 港湾部 TEL042-372-6180

厚 t と杭径 D の関数として整理し、最適化問題に取り入れる。本研究における最適断面決定までのフローを図-1に示す。応答変位法による曲げモーメントは肉厚 t と杭径 D の関数として整理できないので、最適化問題に組み込むことができず、仮定した杭諸元と最適化問題により算出した杭諸元が一致するまで繰り返すことになるが、二次元地震応答解析を繰り返すよりは計算負荷は小さいと考えている。

3. 最適断面の算出

検討断面は水深-10m, -13m, -16mの3ケースで、図-2に断面を表-1に地盤条件を示す。地盤は地盤変形による曲げモーメントが発生し易い原地盤中間に比較的堅固な過圧密粘土層が存在する地盤を想定した。使用した地震動は図-3に示すH港におけるレベル1地震動及びレベル2地震動である。本研究の手法により得られた最適杭諸元を表-2に示す。ほとんど全ての杭がレベル2地震動によって決定しているが、-16mの杭Dのみレベル1地震動により決定している。また、上部工慣性力のみによる設計の場合、水深が深い方が杭剛性が大きくなるが、本研究手法による結果ではこの傾向が見られなかった。本研究手法と二次元地震応答解析のレベル2地震動作用時の曲げモーメントの比較を図-4に示す。紙面の都合上-13m以外の結果は割愛する。本研究手法は線形解析であるため、杭頭では全塑性以上のモーメントが発生している。地中部では地盤剛性のコントラストが大きい-22m付近で二次元解析と同程度の大きいモーメントが発生しており、本研究手法で精度良くモーメントを評価できていることが分かる。本提案手法により最適な照査用断面を選定することができると思われる。

	Case1	Case2	Case3
海底面高さ	杭A -10	杭B -13.2	杭C -15.75
	杭D -5	杭無 -7.7	杭無 -9.75
杭間隔	5m	5m	6m
杭本数	3	4	4
上部工幅	14m	20.5m	23m

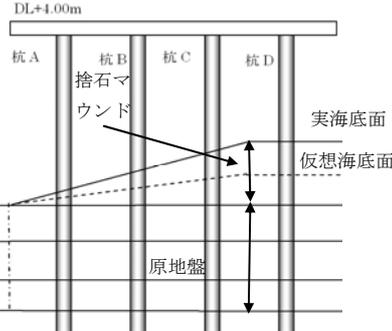


図-2 検討断面

表-1 地盤条件

地盤	土層区分	ρ (t/m ³)	N	kh (kN/m ³)	G_{max} (kN/m ²)	σ_{va} (kN/m ²)	ν	ϕ (deg)	Cu (kN/m ²)	h_{max}	m_g
水深-10m	埋土	1.8	-	-	20800	70	0.33	37	0	0.24	0.5
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	原地盤	2	7	10500	45000	210	0.33	37	0	0.24	0.5
		1.7	16	24000	68000	82.5	0.33	0	200	0.2	0.5
水深-13m	埋土	1.8	-	-	20800	81	0.33	37	0	0.24	0.5
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	原地盤	2	7	10500	45000	210	0.33	37	0	0.24	0.5
		1.7	16	24000	68000	120.9	0.33	0	200	0.2	0.5
水深-16m	埋土	1.8	-	-	20800	92	0.33	37	0	0.24	0.5
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	原地盤	2	7	10500	45000	221	0.33	37	0	0.24	0.5
		1.7	16	24000	68000	97.9	0.33	0	200	0.2	0.5
共通物性	捨石マウンド	2	-	3500	-	-	-	-	-	-	-

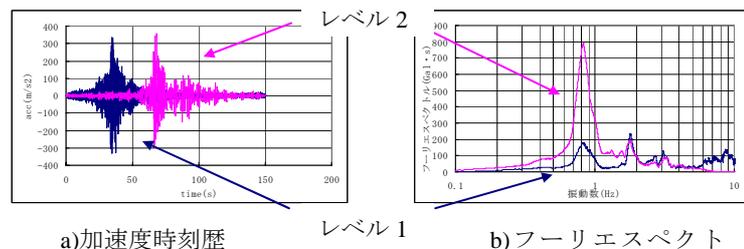


図-3 入力地震動

表-2 本研究手法による最適杭諸元

水深	杭諸元	杭A	杭B	杭C	杭D
-10	杭諸元	φ 1400t14	φ 1400t15	φ 1400t15	-
	決定要因	レベル2	レベル2	レベル2	-
-13	杭諸元	φ 1300t14	φ 1300t13	φ 1300t13	φ 1300t20
	決定要因	レベル2	レベル2	レベル2	レベル2
-16	杭諸元	φ 1300t13	φ 1300t13	φ 1300t13	φ 1300t13
	決定要因	レベル2	レベル2	レベル2	レベル1

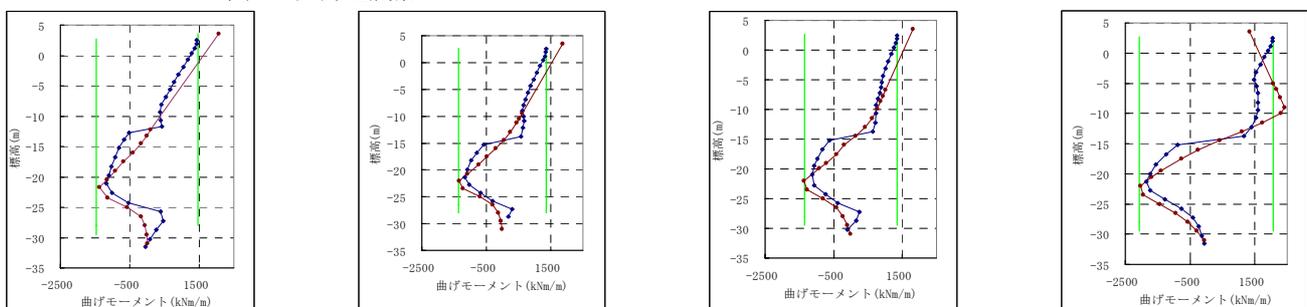


図-4 本研究手法と二次元地震応答解析結果の曲げモーメントの比較 (水深-13m)

参考文献

1)長尾毅, 宮下健一朗: 応答加速度スペクトル形状を考慮した直杭式栈橋の断面最適化に関する研究, 海洋開発論文集 Vo24, pp.195-200, 2008