

栈橋の照査用断面設定法の精度向上に関する研究

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員○宮下健一郎

国土技術政策総合研究所 正会員 長尾 毅

1. はじめに

耐震強化栈橋の設計においては、骨組み構造モデルの上部工部分に荷重を作用させる弾塑性解析によって性能照査用断面を設定したうえで、二次元地震応答解析を行って性能を照査することが標準的である。しかしながら、杭の地中部に大きな曲げモーメントが発生する場合は、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、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必要があり、設計実務の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を増加させる以外に、耐力不足以外の杭の剛性を増加させるなど様々な方法が考えられるが、計算負荷の問題から一般的に実務では耐力不足の杭の肉厚を増加させる方法のみが検討されるが、この場合建設コストとして最適な断面が設定されている保証がない。以上の背景より、既往の研究¹⁾において著者は、鋼材重量最小化を目的関数、地中部における杭の発生モーメントが全塑性モーメント以下となることを制約条件とした最適化問題として照査用断面を設定する方法を提案し、一般的な弾塑性解析に比べて最適断面に近い照査用断面を設定できること示した。しかしながら、液状化層の厚いケースでは精度が低いという問題点があった。本研究では、液状化層が厚いケースで提案法の精度を向上させる地盤バネ特性について検討する。

2. 提案する照査用断面設定法の概要と問題点

提案する照査用断面設定法は式(1)の最適化問題を解くことにより、自動的に各杭の最適な杭諸元を設定できる方法である。更に、レベル1地震動及びレベル2地震動に対する性能を同時に満足する断面を一度に設定する方法であり、 t : 杭の肉厚(m), D : 杭径(m), σ_b : レベル1地震動作用時の曲げ応力度(N/mm²), σ_c : レベル1地震動作用時の圧縮応力度(N/mm²), σ_{by} : 曲げ降伏応力度(N/mm²), σ_{cy} : 圧縮降伏応力度(N/mm²), W : 栈橋断面内の杭の総鋼重量(N), M_g : レベル2地震動作用時の地盤の変形によるモーメント(kNm), M_s : レベル2地震動作用時の上部工慣性力による地中部曲げモーメント(kNm), M_p : 全塑性モーメント(kNm)である。提案法での地盤変形による曲げモーメントは図-1に示すように骨組モデルにおいて、バネ先を地盤変形分変位させることにより求め、地盤変形量は栈橋をモデル化しない地盤系の2次元地震応答解析により求める。図-2に示す10mの液状化層厚を有する断面において最適断面を既往のモデルで求めた結果を表-1に示す。また、その断面に対して2次元地震応答解析を行い得られた最大曲率分布と既往モデルで想定していた最大曲率分布の比較を図-3に示す。2次元地震応答解析の解析コードはFLIP²⁾を用いている。既往モデルは2次元地震応答解析結果に比べて曲率を大きく評価している。そのため、2次元地震応答解析結果は全塑性に比べて余裕のある結果となっており、既往のモデルは過大な断面を選定していることが分

$$\text{Subject to} \left(\frac{\sigma_b(t,D)}{\sigma_{by}} + \frac{\sigma_c(t,D)}{\sigma_{cy}} \right) \leq 1 \quad (1a)$$

$$\frac{M_g + M_s(t,D)}{M_p(t,D)} \leq 1 \quad (1b)$$

$$W(t,D) \Rightarrow \text{minimize} \quad (1c)$$

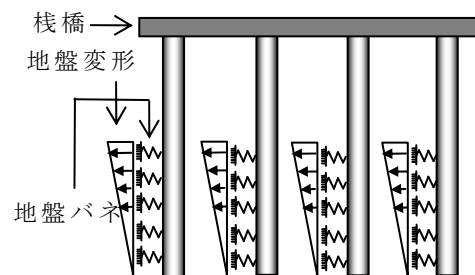


図-1 地盤変形による曲げモーメントを求めるための骨組み解析

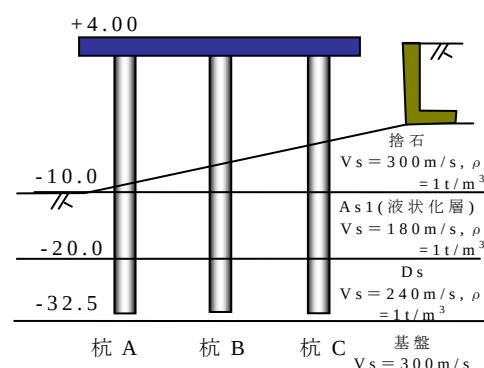


図-2 検討断面

キーワード 最適化, 栈橋, 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

かる。

3. 地盤バネの精度向上に関する検討

本研究では、まず、地盤バネの精度を向上のためバイリニア型の非線形性のバネを導入する。次に、地盤バネの初期勾配に杭が地盤をすり抜ける3次元的效果を考慮する相互作用バネを導入する。相互作用バネは小堤らによって提案され³⁾、2次元地震応答解析であるFLIPに導入されているが、本研究では、地盤をすり抜けることが無い板部材の地盤バネと地盤と杭との相対変位を表現する相互作用バネを直列につなぐことにより、骨組みモデルでこれを表現する。すなわち、本研究での地盤バネの初期勾配は式(2)のように表される。ここで、 k_p ：相互作用バネ(kN/m^3)、 α_p, β_p ：杭の間隔及び地盤の液状化の状態などに関する係数³⁾、 G' ：地震前の地盤の接線剛性、 k_s ：板部材に対する水平地盤反力係数(kN/m^3)、 ν ：ポアソン比、 B_0 ：基準載荷幅($=0.3\text{m}$)、 B_H ：換算載荷幅($=10\text{m}$)、 α ：補正係数($=0.5$)である。また、地盤バネの上限値は小堤らの提案³⁾をもとに、地盤のバネ反力-バネ変位関係は周辺地盤の $\tau_{xy}-\gamma_{xy}$ 関係と相似であるとして、地盤系の2次元地震応答解析結果で得られた杭打設予定位置の地盤要素の最大せん断強度と初期せん断応力の差に α_p を乗じた値で式(3)のようにモデル化する。ここで、 p_p ：単位幅あたりのバネ上限値(kN/m^2)、 τ_f ：地盤のせん断強度、 τ_{ini} ：地盤の初期せん断応力(kN/m^2)、 σ_m ：拘束圧(kN/m^2)、 P_{ex} ：過剰間隙水圧比であり、 τ_{ini} 、 σ_m 及び P_{ex} は栈橋をモデル化しない地盤系の2次元地震応答解析により求める。

4. 本研究のモデルの精度

本研究モデルにより既往のモデルと同条件で最適断面を求めた結果を表-2に示す。また、その断面に対して2次元地震応答解析を行い得られた最大曲率と本研究モデルで想定していた最大曲率分布の比較を図-4に示す。本研究モデルは既往の研究モデルに比べて小さな断面を設定しており、より経済的な断面を設定している。また、本研究で想定していた曲率分布は2次元地震応答解析の結果に近く、杭に働く断面力を精度良く求めることができている。2次元解析の曲率は全塑性に近い結果となっており、経済性を追求した断面を選定していること分かる。

参考文献

- 1) 宮下健一朗, 長尾毅：地盤変形による曲げモーメントを考慮した直杭式横栈橋の断面最適化に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), p.I_202-I.207, 2011
- 2) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. : Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990
- 3) 小堤治ほか：2次元地震有効応力解析における杭と液状化地盤の相互作用のモデル化, 第38回地盤工学研究発表会, pp1899-1900, 2003

表-1 既往モデルでの最適断面

杭A	杭B	杭C
$\phi 2200\text{t}24$	$\phi 2200\text{t}22$	$\phi 2200\text{t}22$

$$k_h = (k_s^{-1} + k_p^{-1})^{-1} \quad (2a)$$

$$k_p = \alpha_p \beta_p^{-1} G' \quad (2b)$$

$$k_s = \frac{2(1+\nu)\alpha G}{B_0} \left(\frac{B_H}{B_0} \right)^{-3/4} \quad (2c)$$

$$p_p = \alpha_p (\tau_f - \tau_{ini}) \quad (3a)$$

$$\tau_f = \sigma_m (1 - P_{ex}) \sin \phi \quad (3b)$$

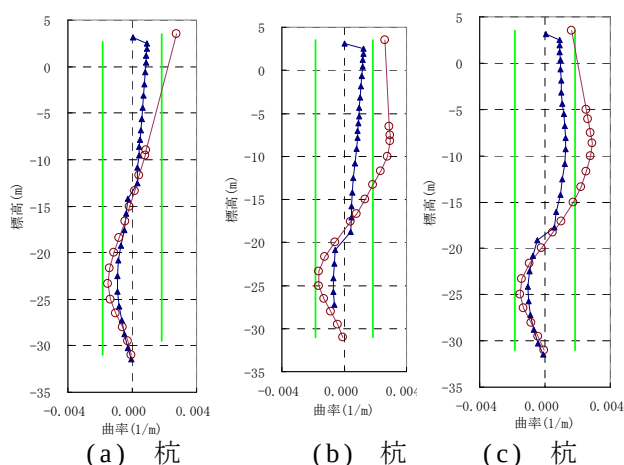


図-3 既往モデルによる断面の2次元地震応答解析結果

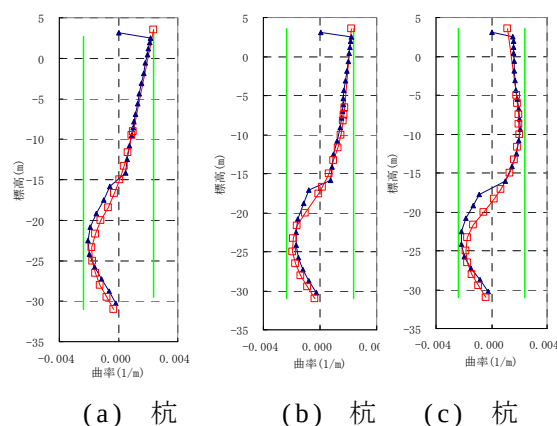


図-4 本研究モデルによる断面の2次元地震応答解析結果

表-2 本研究モデルでの最適断面

杭A	杭B	杭C
$\phi 1700\text{t}18$	$\phi 1700\text{t}19$	$\phi 1700\text{t}22$