

## 大口径深礎の設計における杭周面の鉛直方向せん断地盤反力度の影響

鹿島建設(株) 正会員 ○山崎 啓治  
 リテックエンジニアリング(株) 正会員 有山 裕亮  
 中日本高速道路(株) 正会員 萩原 直樹  
 中日本高速道路(株) 小谷内祐弥

### 1. はじめに

斜面上に建設される道路橋の大口径深礎の設計は、『斜面上の深礎基礎設計施工便覧』<sup>1)</sup> (以下、設計基準) に準拠し行われ、杭径、杭長および基礎本体の配筋に着目した設計上の支配要因は、一般に表-1、図-1のとおりである。このうち杭径は常時の主に鉛直荷重に抵抗する「杭底面の鉛直地盤反力度」が「最大地盤反力度の上限値」に達しないように杭基礎底面の面積を定める。鉛直荷重に対して「杭底面の鉛直地盤反力」と「杭周面の鉛直方向せん断地盤抵抗」が協働して抵抗するが、後者に対しては設計で考慮すべき荷重状態に応じ「せん断地盤反力度の上限値」を設け、安全側の配慮を行っている。

本報文では、3次元弾塑性解析を適用し、「杭周面の鉛直方向せん断地盤反力度」を直接評価した結果を用い、設計基準に準拠した大口径深礎の設計と解析による実挙動の予測との差異のうち、杭径の設計に対して支配的な常時について考察したものを報告する。

表-1 斜面上の大口径深礎の設計上の支配要因

設計項目	杭 径	杭長および基礎本体の配筋
考慮すべき荷重状態	常時およびレベル1地震時	レベル2地震時
	常時(温度時等) 鉛直荷重が主	レベル2地震時 水平荷重が主
支配的な作用	斜面山側方向載荷	斜面谷側方向載荷 <small>※斜面山側方向載荷時は抵抗が大きい</small>
	杭底面の鉛直地盤反力度	杭前面の水平地盤反力の上限値 基礎本体の降伏曲げモーメント 基礎本体のせん断耐力

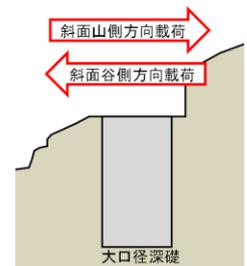


図-1 深礎の載荷方向

### 2. 杭周面のせん断地盤反力度の設計上の扱い

モルタルライニングや吹付けコンクリート等の基礎周面地盤のせん断抵抗を期待できる土留めを用いた場合、杭周面のせん断地盤反力度を考慮することができる。設計基準における杭周面のせん断地盤反力度の上限値(表-2)および上限値決定のための補正係数m(表-3)を示す。設計上は、頭打ちの300kN/m<sup>2</sup>(軟岩の場合)をさらに補正係数mで除し100kN/m<sup>2</sup>を上限値としているのに対し、後述する解析では補正を掛けず300kN/m<sup>2</sup>まで負担させる。

表-2 杭周面のせん断地盤反力度の上限値の支配要因

杭側面および周面のせん断地盤反力度の上限値 $f_u$	$f_u = f / m$
杭側面および周面の最大周面摩擦力 $f$	軟岩の場合 $f = c + p_0 \cdot \tan \phi \leq 300$ ここに、 $c$ : 地盤の粘着力(kN/m <sup>2</sup> ) $p_0$ : 壁面に作用する静止土圧強度(kN/m <sup>2</sup> ) $\phi$ : 地盤のせん断抵抗角(°) $m$ : 補正係数

### 3. 検討に用いた橋脚基礎の概要

検討に用いた橋脚基礎は、新東名高速道路河内川橋工事にて施工中の下り線P3橋脚とし、杭径 $\phi = 16\text{m}$ および杭長 $L = 30\text{m}$ を有し、基礎底面は礫岩(CL~CM)に支持される<sup>2)</sup>(図-2)。

表-3 杭周面のせん断地盤反力度の上限値決定のための補正係数m

	常時	レベル2地震時
杭側面の水平方向せん断地盤反力度	1.5	1.0
杭側面および周面地盤の鉛直方向せん断地盤反力度	押込み力	3.0
	引抜き力	6.0

### 4. 3次元弾塑性解析による杭周面の鉛直方向せん断地盤反力度の評価

3次的に分布する地層構成を考慮した初期地山応力の再現、深礎掘削(掘削解放力考慮)、深礎土留め工、基礎本体の構築および基礎設計用橋脚下端断面力の載荷を考慮したステップ解析を伴う有限差分法による3次元弾塑性解析を行った。解析の詳細は別報を参照されたい<sup>2)</sup>。

常時(温度時)の杭周面の土留め工を模擬したインターフェース要素の接触状態(図-3)、杭周面の鉛直方向せん断地盤反力度分布図(図-4)、杭前・背面の鉛直方向せん断地盤反力度グラフ(図-5)を示す。設計基準に準拠した一次元化したフレーム計算とは異なり、3次元の杭形状に対してせん断地盤反力分布が評価される。杭前面では杭頭付近にて、杭背面では杭中間位置にて、せん断地盤反力度が設計基準での上限値100kN/m<sup>2</sup>を超えている。

キーワード 大口径深礎, 杭径, 杭周面, せん断地盤反力度, 3次元弾塑性解析

連絡先 〒258-0123 神奈川県足柄上郡山北町湯触 322-1 鹿島・大成特定建設工事共同企業体 TEL 0465-77-3002

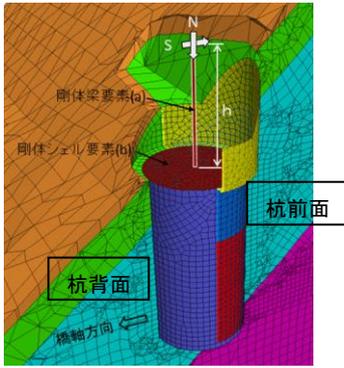


図-2 検討対象橋脚基礎 (3次元解析モデル)

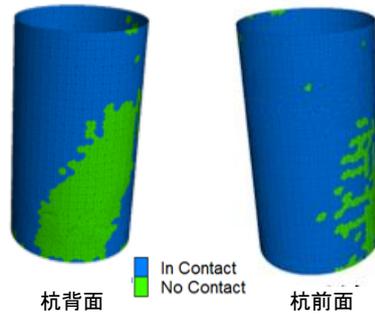


図-3 杭周囲の土留め工を模擬したインターフェース要素の接触状態

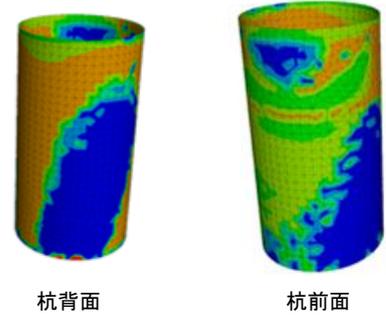


図-4 杭周囲の鉛直方向せん断地盤反力度分布

5. 杭径の設計に影響を及ぼす鉛直荷重に対する底面および周面抵抗分担比率

常時 (温度時) の杭底面の鉛直地盤反力度分布図 (図-6) を示すが、浮き上がりは生じておらず底面全体で鉛直荷重を支持している。杭底面の鉛直地盤反力度のうち杭中心の橋軸方向を抽出すると基礎を剛体ではなく弾性体として計算していることから、台形分布とはなっていない (図-7)。これを台形分布に近似させると、つま先側の最大鉛直地盤反力度は設計基準の上限値  $2,000\text{kN/m}^2$  (表-4) を下回る程度である。解析上得られる基礎つま先の最大鉛直地盤反力度に対しては、3次元応力下を考慮した Drucker-Prager の降伏曲面にて塑性化判定したところ降伏には至っていない。

常時 (温度時) の鉛直荷重に対する「杭底面の鉛直地盤反力」および「杭周囲の鉛直方向せん断地盤抵抗」の分担比率を示す (表-5)。「杭周囲の鉛直方向せん断地盤反力度の上限値」を  $100\text{kN/m}^2$ 、地盤抵抗を節点ばねにモデル化し一次元化したフレーム解析による設計基準に準拠した場合、底面で 65%・周面で 35%であるのに対し、「杭周囲のせん断地盤反力度の上限値」を杭が有する周面摩擦力  $300\text{kN/m}^2$  まで許容した 3次元弾塑性解析の結果では、底面で 50%・周面で 50%であった。

6. おわりに

斜面上に建設される道路橋の橋脚基礎をモデルとし、3次元弾塑性解析を適用し、「杭周囲の鉛直方向せん断地盤反力度」を直接評価した結果、設計基準に準拠した設計で想定している「杭周囲の鉛直方向せん断地盤抵抗」以上に寄与していることを確認した。モデル橋脚基礎のような杭径に対して杭長が大きい大口径深礎では、「杭周囲のせん断地盤反力度の上限値」の合理的な設定が経済的な設計に繋がり、土留め構造と地盤の間の最大周面摩擦力に関する研究はもちろん、本検討のような解析による実挙動の予測事例の蓄積が重要と思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧，2012. 4.
- 2) 山本ら：斜面上の大口径深礎におけるずり出しトンネルの影響検討，第 74 回年次学術講演会，土木学会，2019. 9.

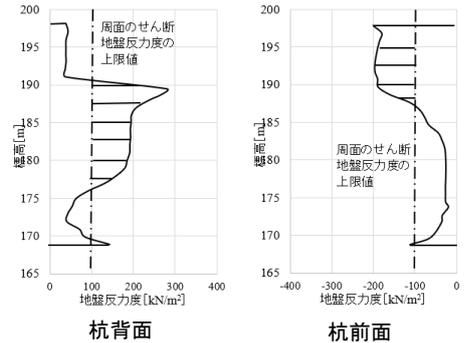


図-5 杭前・背面の鉛直方向せん断地盤反力度

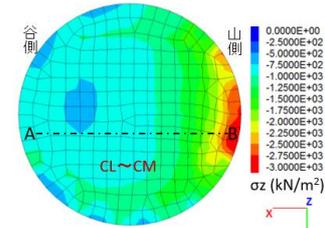


図-6 杭底面の鉛直方向地盤反力度分布

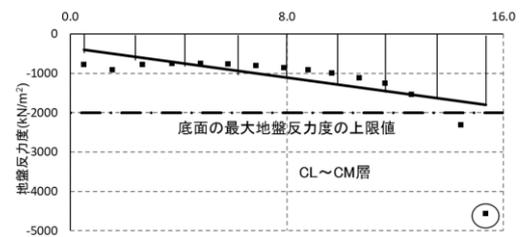


図-7 杭底面の鉛直方向地盤反力度分布 (橋軸方向)

表-4 基礎底面地盤の最大地盤反力度の上限値

地盤の種類	杭底面地盤の最大地盤反力度 ( $\text{kN/m}^2$ )	
	常時	レベル2地震時*1
軟岩	2,000	6,000
硬岩	2,500	7,500

\*1: 常時の最大地盤反力度の上限値を3倍した値

表-5 鉛直荷重に対する底面および周面抵抗分担比率

	杭周囲のせん断地盤反力度の上限値 ( $\text{kN/m}^2$ )	鉛直荷重に対する分担比率 (%)	
		杭底面の鉛直地盤反力	杭周囲の鉛直方向せん断地盤抵抗
3次元弾塑性解析	300	50	50
設計基準	100	65	35