

運輸省第五港湾建設局

菅沼 史典

不動建設株式会社

正会員 ○野津 光夫

同 上

鶴野 雅明

### 1. はじめに

静的締固め砂杭工法は、砂杭の造成に当たり振動機を用いずにベースマシンを反力による強制昇降装置によってケーシングを上下させて施工する工法で、振動・騒音を大幅に低減することが可能である<sup>1)</sup>。津松阪港香良洲地区護岸築造工事においては地盤補強工(液状化対策)として本工法が採用された。当工事においては、砂杭打設時の地中水平変位が図-1 中の地中変位計によって測定された。その詳細については文献<sup>2)</sup>に記載されている。著者らは、地中水平変位の予測方法確立のための検討を弾性FEM解析を用いて行ってきた<sup>3)</sup>。本検討では、この弾性FEM解析を行い予測法の妥当性を検証するとともに、静的締固め砂杭工法の締固めメカニズムの最近の知見<sup>4)</sup>を考慮した数値解析(弾塑性FEM)による地中変位の予測も試みた。

### 2. 弾性解析の方法と結果

#### (1) 二次元平面ひずみ解析(1列打設時)

まず図-1の地盤のモデルを用いて、砂杭1列施工時の二次元弾性FEM解析<sup>3)</sup>を行い、実測結果と比較する。与える水平荷重は $\Delta p=1(tf/m^2)$ および $\Delta p=2(tf/m^2)$ である。解析に用いた土質条件を表-1に示す。弾性係数は、原地盤のN値より $E=7N(kgf/cm^2)$ によって評価し、ポアソン比は $\nu=0.33$ とした。

解析と実測変位の比較結果を図-2に示す。今回は $\Delta p=1(tf/m^2)$ の場合、地中部でやや大きな解析結果となるものの、地表面ではおおむねよい整合を示している。既報<sup>3)</sup>の結果( $\Delta p=2tf/m^2$ で整合)と合わせると、与える水平荷重は $\Delta p=1\sim 2(tf/m^2)$ でほぼ妥当であるといえる。

#### (2) 軸対称解析(1本打設時)

当工事において測定された砂杭一本打設時の地中水平変位の測定値を用いて、図-1の地盤モデル左側の軸を中心とした軸対称解析を行った。解析では、砂杭を拡径するときに地盤が押される状態を考慮して、砂杭造成位置に強制変位を与え、地中変位計の位置での水平変位を求めた。当工事は、半径20cmのケーシングを用いて半径35cmの砂杭を造成したことから、モデルに与えた強制変位は15cmとした。

解析結果を図-3に示す。実測値より若干大きいものの、おおむね良好な一致がみられ、(1)と合わせて、既報<sup>3)</sup>の方法の妥当性が改めて示された。以上より、近接

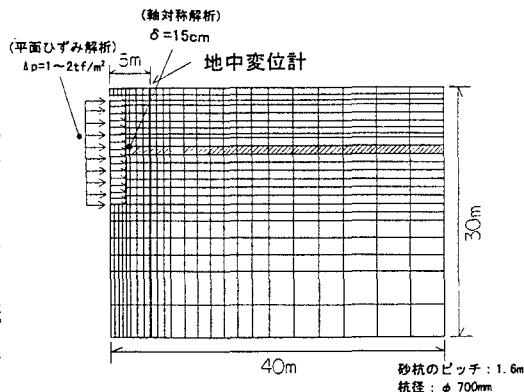


図-1 地盤モデルと地中変形の位置

表-1 解析に用いた土質定数

	GL(m)	N値	弹性係数 (tf/m <sup>2</sup> )	ボテンシル	せん断剛性角 (°)	M	$\lambda$	$\kappa$
砂質土	0～0.8	12	840	0.33	32.00	1.287	0.03	0.003
	～1.5	12	840		32.00	1.287		
	～2.0	25	1750		37.32	1.520		
	～3.0	12	840		32.00	1.287		
	～4.0	16	1720		33.86	1.363		
	～4.8	12	840		32.00	1.287		
	～5.5	10	700		30.95	1.242		
	～6.0	10	700		30.95	1.242		
	～7.0	9	630		30.99	1.217		
	～8.0	10	700		30.95	1.242		
	～9.0	13	910		32.49	1.309		
	～10.0	9	630		30.99	1.217		
	～11.0	10	700		30.95	1.242		
	～12.0	5	350		27.75	1.102		
	～13.0	8	560		29.80	1.191		
	～14.0	7	490		29.17	1.164		
	～15.0	5	350		27.75	1.102		
粘性土	～30.0	10	700	0.45	-	-	-	-

Keyword : 地盤改良、締固め

運輸省第五港湾建設局四日市港工事事務所 〒510 三重県四日市市千歳町9-1 TEL.(0593)51-1357

不動建設株式会社 〒110 東京都台東区台東1-2-1 TEL.(03)3837-6034 FAX.(03)3837-6158

施工の設計では、上のような簡単な弾性 FEM 解析の枠組みで、ある程度のレベルで変位予測が可能といえる。

### 3. 弹塑性解析の方法と結果

静的締固め砂杭工法の締固めメカニズムに関する最近の知見<sup>4)</sup>によると、おおむね 10%以上の細粒分を含む砂質地盤の締固めには、静的な圧入効果が大きく効き、それは圧入時のせん断応力の増加と過剰間隙水圧の発生に伴う体積圧縮（密度増加）によってもたらされるというものである。そこで、砂杭圧入によって発生するせん断応力による体積圧縮（負のダイレイタンシー）を考慮した変位予測を行うために、今回は Cam-clay モデルを用いて弾塑性 FEM 解析（非連成）を実施した。なお、本検討においては、砂杭一本打設時の水平変位について軸対称解析を行っている。

#### (1) 計算条件

Cam-clay モデルでは、体積ひずみ  $\varepsilon_v$  は次式によって計算される。

$$\varepsilon_v = \lambda/(1+e_0) \cdot \ln(p'/p_0') + D q/p'$$

ここに、 $\varepsilon_v$ : 体積ひずみ、 $\lambda$ : 圧縮指数、 $D$ : ダイレイタンシー係数( $=(\lambda - \kappa)/(M(1+e_0))$ )、 $\kappa$ : 膨張指数、 $M$ は限界状態パラメータで原地盤の  $\phi$  から計算した。 $q, p'$  はそれぞれせん断応力成分、平均有効応力成分である。上式の右辺第 2 項が締固めに大きく寄与していると考える。なお、圧縮指数  $\lambda$  は一般的な砂の  $e-log p$  関係から推定した（表-1）。

#### (2) 計算結果

弾塑性解析による水平変位の比較結果を図-3 中に示す。

全体的な変位モードにおいて実測値との違いはあるものの、おおむね良好の一一致を示しているといえる。また、

図-1 中の斜線部の要素について、体積ひずみを弾性解析と、弾塑性解析同士で比較したものを図-4 に示す。これより、弾塑性解析では、距離 5m 付近まで体積ひずみが顕著にみられることから、改良原理（ここでは、せん断応力による体積圧縮現象と考えている）をよく表わしているといえる。

### 4. まとめ

本検討において、弾性 FEM 解析が静的締固め砂杭工法施工時に発生する水平変位の予測を行うのに有效な手段であることが確認された。また、変位の予測にとどまらず、応力、ひずみの予測までを行う場合には、ダイレイタンシーを考慮できる構成モデルによる軸対称弾塑性解析が有効であると考えられる。しかし、弾塑性解析においては、モデルの土質パラメータ（圧縮指指数  $\lambda$  など）を地盤条件から決定する方法などについては、今後さらに検討していく必要がある。

《参考文献》1)山田・野津:非振動式締固め砂杭工法による砂地盤の締固め効果、第31回地盤工学研究発表会、pp.49~51,1996.7.; 2)菅沼・深田・中井:静的締固め砂杭工法の施工事例報告、土木学会第52回年次学術講演会（投稿中）;3)川村・安達・河邊・皆川・松本・野津・鶴野:静的締固め砂杭工法の地中水平変位の予測、第32回地盤工学研究発表会（投稿中）;4)山本・原田・野津・大林:砂杭圧入による密度増加の評価について、第32回地盤工学研究発表会（投稿中）

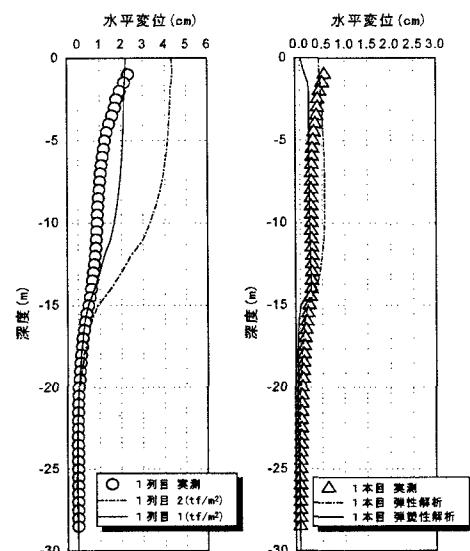


図-2 二次元弾性解析と実測変位 図-3 軸対称解析と実測変位  
(1列打設時)の比較

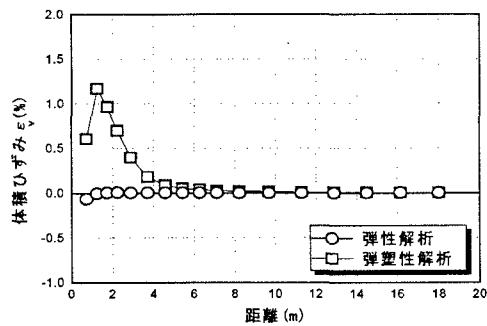


図-4 体積ひずみの分布