

節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法における根固め部強度の F E M による検討

正会員 ○小椋 仁志*

杭 先端支持力 有限要素法

1. はじめに

プレボーリング拡大根固め工法の開発時には、根固め液として使用するセメントミルクの管理強度と配合を設定する必要がある。それらを検討する過程で、未だよく分かっていない根固め部の強度と支持力との関係を、F E M 解析によって検討した¹⁾。

今回、解析に用いるヤング係数を実情に近い値に修正して再計算した。また、根固め部内の強度分布を変えた解析も行った。本報は、その結果について述べたものである。

2. F E M 解析の概要

文献 1) では、根固め液の配合を次の手順で求めている。

所定の先端支持力になるときの根固め部の強度 F を、F E M 解析によって求める。根固め部内の節杭 杭周充填材・根固め材 地盤への力の流れや降伏・破壊状況は複雑で、簡単なモデルでは表現できないためである。

掘削土との混合攪拌による強度低下を考慮して、根固め液の管理強度(プラント強度)を決める。

管理強度が発現されるのに十分なセメントミルクの配合(水セメント比)を設定する。

の過程で用いた F E M は、コンクリート材の構成式を Kotsvos モデルとしたもので、文献 2) では根固め部内の杭先端位置の検討に用いている。以下に解析条件等を簡単に示すが、根固め部のヤング係数 E 以外は文献 2) と同じであり、詳細は同文献や文献 3), 4) を参照されたい。

要素：軸対称 4 角形要素。

図-1 にメッシュ割り図。

杭体寸法：杭径 800mm
(節部径)- 600mm(軸部径)、肉厚 90mm、節部間隔 1000mm

根固め部寸法：外径は基本掘削径 850mm の倍 (: 拡大比。 = 1.0, 1.25, 1.5, 2.0 の 4 とおり)。ただし、掘削底から上方 0.25m までは 850mm。

根固め部の上端位置は杭先端より 2m 上方。

下端位置は杭先端から

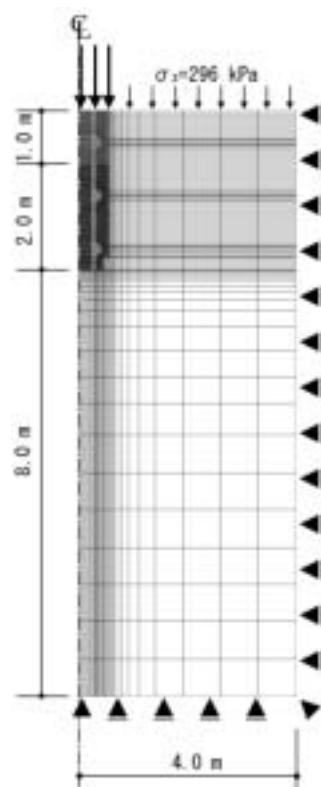


図-1 F E M のメッシュ割り

が 1.0 と 1.25 の場合は 0 m(着底型)、 が 1.5 と 2.0 の場合は 0.5m(離間型)。

杭体の定数：等方弾性体、 $E = 40000\text{N/mm}^2$ 、 $\nu = 0.20$ 。

根固め部の定数：Kotsvos モデル。 F は 5 ~ 30 N/mm^2 の間で設定する。 E は文献 1) では解析結果が安全側になるように $E = 2000\text{N/mm}^2$ を採用していた。その後、図-2 のように、杭周に充填するソイルセメント(掘削土を混合攪拌したセメントミルク)の E のデータが蓄積された。 E は 2000 N/mm^2 以上が大半であり、文献 1) で用いた値は小さすぎたといえる。今回の解析に用いる E は、設定した F から、R C 規準に記載の new R C 式に掘削土の混合による低減率 を考慮した次式で与える。単位体積重量 は 17 kN/m^3 とし、 α は 0.6 を採用した。

$$E = \alpha \times 33500 \times (F/24)^2 \times (F/60)^{1/3} \quad (1)$$

(1) 式による $F \sim E$ 関係を図-2 に示す。

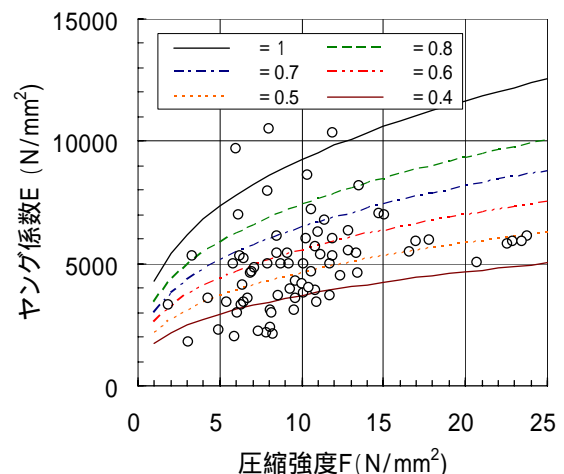


図-2 ソイルセメントの強度とヤング係数の関係

杭周充填部の定数：Kotsvos モデル。 $F = 1\text{N/mm}^2$ 。 E は (1) 式による 2576 N/mm^2 となるように Kotsvos モデルから求められる剛性に係数を乗じた。は 0.14 程度。

地盤の定数：Duncan 等のモデル³⁾。有効上載圧 296 kN/m^2 (GL-40m) を与え、これと釣り合うように地盤の初期応力を設定($K\alpha=1$)。 $\alpha=0$ 。 N 値が 20, 40, 60 に対応した支持力を持つように剛性と を設定。

3. 解析結果

解析結果の一例として図-3 に(a) $\alpha = 1.25$, (b) $\alpha = 2.0$ の場合の耐力比分布を示す。いずれも地盤の N 値が 60 の場合である。耐力比とは各要素に生じる応力の Kotsvos の破壊基準に対する比であり、1 になった要素は破壊状態に至ったことになる。根固め部の強度は、(a) が 20 N/mm^2 、(b) が 25 N/mm^2 である。この図から、根固め部の破壊域は最下

端節部よりも下方が主であることが分かる。

図-4に、 $\alpha=1.5$ 、 N 値 60 のときの先端荷重 Pp ~先端変位量 Sp 曲線を示す。 Pp は、杭先端面から 3m上方の位置で杭体に与えた荷重である。この図では根固め部の強度を3種類想定しているが、各強度の Pp ~ Sp 曲線は根固め部が破壊することによって、根固め部が破壊しない弾塑性モデルの曲線から順次離脱していくことが分かる。

この Pp ~ Sp 曲線から $Sp=80$ mm(節部径の10%)の時の Pp を求め、これと F との関係から所定の支持力時の F を求める。表-1は得られた F の値である。ヤング係数の見直しによって、文献1)で示した値よりも $0\sim 8N/mm^2$ 小さくなっている。なお、 $\alpha=2$ の場合は、根固め部のヤング係数を大きくしたことによって、図-3のようにヤング係数の小さい杭周充填部の変形が進み、根固め

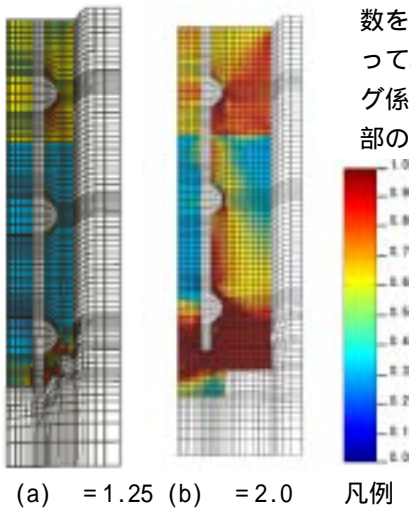


図-3 根固め部の耐力比の分布例

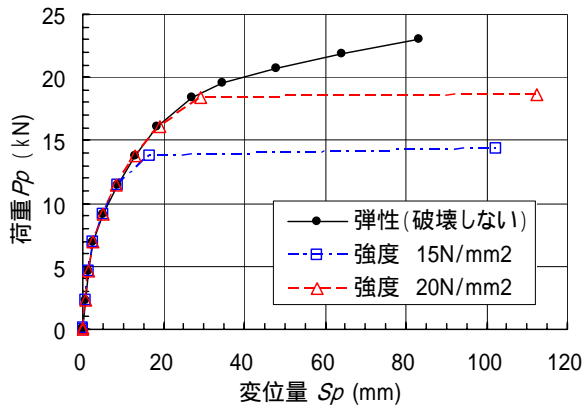


図-4 Pp ~ Sp 関係の例

($\alpha=1.5$ 、 N 値 60、離間型)

表-1 FEM解析による根固め強度 F

(単位: N/mm^2)

拡大比	先端平均 N 値		
	20	40	60
1.00	5.0	9.4	16.1
1.25	6.0	10.4	17.8
1.50	7.2	11.5	18.6
2.00	-	-	19.2

部より先に破壊するようになったため、実際の施工も考慮して杭先端から 3 m 上方まで根固め部として解析した。

4. 根固め部内での強度分布の検討

これまでの解析では、 F や E の値は根固め部内で一様と考えていた。しかし、実際の根固め部の強度分布をみると、固結時に上載圧が影響するためか根固め部内の上方は小さく下方になるほど大きくなる傾向がある。また、図-3(a)をみると、 $\alpha=1.25$ では最下端節部から上方の根固め部には杭からの力がほとんど伝わっていない。そこで、 $\alpha=1.25$ で上方の強度が小さい時の支持力を調べるため、表-2に示すパターンでの解析を行った。表-1に示した F の値を根固め部の上方部分では $F/4\sim 3F/4$ に低減した。

表-2には解析結果の一例として N 値が 60 の場合の支持力と平均強度のケース A に対する比も併記している。なお、解析を行ったのは記号が太字の 10 ケースで、残り(斜字)は内挿値である。この結果から、以下のことが分かる。

上方部分の強度が小さくても、所定の支持力(ケース A)

表-2 解析パターンと解析結果 ($\alpha=1.25$ 、 $N=60$)

ケース記号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	F	3F/4	2F/4	F/4	3F/4	2F/4	F/4	2F/4	F/4	F/4	3F/4	2F/4	F/4	2F/4	F/4	F/4	2F/4	F/4	F/4	F/4
	F	F	F	F	3F/4	3F/4	3F/4	2F/4	2F/4	F/4	3F/4	3F/4	3F/4	2F/4	2F/4	F/4	2F/4	2F/4	F/4	F/4
	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	3F/4	3F/4	3F/4	3F/4	3F/4	3F/4	2F/4	2F/4	2F/4	F/4
	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
平均強度のAに対する比	1	0.94	0.88	0.81	0.88	0.81	0.75	0.75	0.69	0.63	0.81	0.75	0.69	0.69	0.63	0.56	0.63	0.56	0.50	0.44
支持力のAに対する比	1	1.03	1.06	1.10	1.17	1.06	1.06	0.99	1.03	0.99	1.06	1.04	1.01	1.02	0.98	0.98	0.94	0.97	0.93	0.90

より大きくなる場合がある。これは、ケース A よりも上方部分の E が小さくなる結果、根固め部の力が最下端節部付近に集まるように流れ、応力状態が圧縮になりコアの様な部分が形成されるためと推測される。平均強度の比がおおむね 0.7 以上であれば、所定の支持力は確保される。

最下端節部から上方部分の強度が $F/4$ まで下がった場合でも、支持力は所定の値の 90% 程度は発揮される。

5. おわりに

本報では、未だ両者の関係がよく分かっていない根固め部強度と支持力について、FEM解析によって検討した。

謝辞 本解析に多大なご指導・ご協力をいただいた岡山理科大学准教授の山崎雅弘博士に深甚の謝意を表します。

参考文献 1) 小椋仁志・小松吾郎・真鍋雅夫・大島 章・千種信之・細田 豊・須見光二・三村哲弘: 既製杭のプレボーリング拡大根固め工法の拡大掘削径と鉛直支持力、G B R C、Vol. 32, No. 1, pp10-21、日本建築総合試験所、2007.1 2) 小椋仁志・山崎雅弘: 節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法での杭先端の設置位置(根固め部の破壊を考慮した FEM による検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、pp. 509-510、2006.9 3) 山崎雅弘・竹脇 出・長岡弘明・中村恒善: 既製コンクリート杭根固め部の構造耐力の施工形状依存性、構造工学論文集、Vol. 41B、pp. 467-476、1995.3 4) 山崎雅弘・長岡弘明: 既製コンクリート杭根固め部の構造耐力機構、日本建築学会構造系論文集 No. 491、pp. 73-80、1997.1.