

# 高支持力埋込み杭の根固め部の強度確認試験結果 (その1)

(施工現場でのデータ蓄積と各種比較試験事例)

正会員 ○細田光美\* 正会員 小松吾郎\*  
正会員 吉川那穂\* 正会員 吉田 映\*

高支持力埋込み杭 根固め部 圧縮強度

## 1. はじめに

近年、高支持力埋込み杭の根固め部の品質管理に関する様々な知見が認識されるとともに、施工管理に関する提案やマニュアル類も整備されてきた。このような背景の中、筆者らは、高支持力埋込み杭工法(特定工法)の根固め部圧縮強度データを収集・蓄積し、統計的手法により整理した。また、同一現場・地盤で実施した各種試験結果から、根固め部体積に対するセメント注入率をパラメータとした根固め部圧縮強度の比較、ソリメントのセメント含有率(以下CM含有率と略す)の推定、室内配合試験と未固結試験の圧縮強度の比較等について検討を行ったので報告する。

## 2. 高支持力埋込み杭工法の根固め部強度の蓄積データ

施工現場における根固め部強度の確認には、未固結試験採取やコアボーリングによる方法がある。過去にこれらの方法で圧縮強度を確認した事例のうち、2013.8時点までのデータ108件(工法開発実験以外の未固結試験データ88、コアボーリングデータ20)について集計した。

採取方法や土質別の統計処理結果を表-1、圧縮強度と必要強度(先端支持力に応じた、根固め部が破壊しないための強度とする)の関係を図-1、強度区間ごとの分布(ヒストグラム)を図-2に示す。

表-1 根固め部の4週圧縮強度の統計処理結果

	データ数 n	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	標準偏差	変動係数	最大値 (N/mm <sup>2</sup> )	最小値 (N/mm <sup>2</sup> )
<b>未固結採取(全て)</b>	<b>88</b>	<b>24.4</b>	<b>8.269</b>	<b>0.339</b>	<b>50.0</b>	<b>11.5</b>
砂質地盤	37	20.6	5.766	0.280	37.5	11.5
礫質地盤	36	27.3	8.384	0.307	44.9	13.3
粘土質地盤	15	27.1	9.317	0.344	50.0	15.6
<b>コア採取(全て)</b>	<b>20</b>	<b>28.2</b>	<b>10.668</b>	<b>0.378</b>	<b>54.3</b>	<b>15.0</b>
砂質地盤	11	30.8	9.641	0.313	52.4	20.1
礫質地盤	5	23.2	2.109	0.091	25.7	20.2
粘土質地盤	4	27.2	16.045	0.590	54.3	15.0
<b>合計(全て)</b>	<b>108</b>	<b>25.1</b>	<b>8.883</b>	<b>0.354</b>	<b>54.3</b>	<b>11.5</b>
砂質地盤	48	22.9	8.086	0.353	52.4	11.5
礫質地盤	41	26.8	8.002	0.299	44.9	13.3
粘土質地盤	19	27.2	11.079	0.407	54.3	15.0

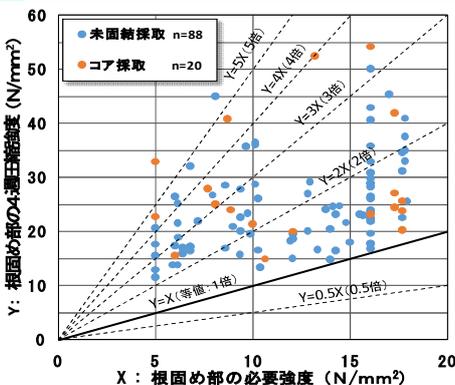


図-1 圧縮強度と必要強度

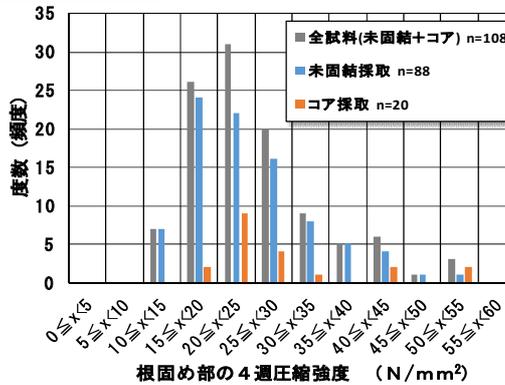


図-2 強度分布図(ヒストグラム)

2種類の採取方法による各種比較試験を、同一現場において実施できる機会は多くはない。表-1の統計処理結果は、どちらか一方の採取方法のみの場合が多く、地盤条件等が同一ではない異種条件での比較とならざるを得ないことに注意が必要である。条件別の傾向把握や詳細な分析にも利用可能なものとするには、採取方法や土質ごとのデータ数(条件別の母数)が未だ少ないと考えられる。ここでは両者の平均値にて比較することと定めるが、未固結強度平均値 24.4N/mm<sup>2</sup> に対してコア強度平均値 28.2N/mm<sup>2</sup> となっており、コア強度の方が大きい傾向になっている。ただし、土質別に比較した場合はこの限りではない。

図-1より、圧縮強度の必要強度に対する安全性も特に問題はない。図-2の強度分布図は、対数正規分布形状を成していることが分かる。強度区間としては、15~35 N/mm<sup>2</sup>のデータ数は86件となっており、全体の約80%を占めている。さらに、採取方法と土質種別ごとに示した表-1の統計諸数値が示すとおり、圧縮強度はばらつきが大きく、全体での変動係数は35%程度であった。

## 3. 同一条件下(同一現場・地盤)での各種比較試験事例

ここでは室内配合試験と施工現場による比較試験等(未固結採取、コア採取試験等)の結果について事例報告を行う。実験は関東地区にて行い、図-3に土質柱状図を示す。前述のとおり、同一条件下における各種の比較試験実施の機会は多くはないため、高支持力埋込み杭の根固め部強度に関

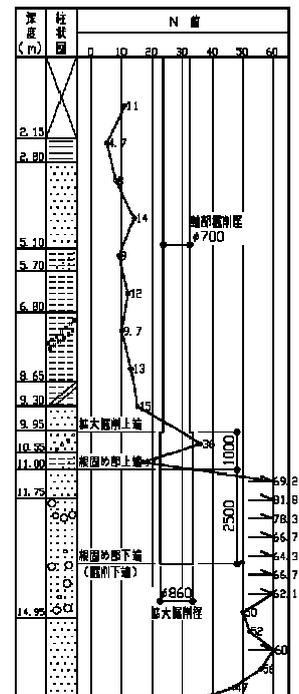


図-3 土質柱状図

The strength check test in the grouted base of the high bearing capacity pile by pre-boring method (The 1st)

HOSODA Terumi, KOMATSU Goro,  
YOSHIKAWA Nao, YOSHIDA Ei

する基礎的データ資料を得る目的で、以下①～⑤の各種比較試験を実施した。支持層は GL-11.75m 以深の砂礫層と想定し、以下の②④⑤について根固め液の基本注入率を 1.0、1.5、2.0 の 3 ケース実施した。この際、基本となる CM 含有率は 50%、60%、67% となる。

### 3.1 各種試験実施内容と結果概況

#### ①土質試験（支持層：砂礫）

事前に設定した支持層付近の土質を採取して各種土質試験を行った。

自然含水比： $\omega = 14.4\%$ ，湿潤密度： $\rho_t = 2.190 \text{ g/cm}^3$   
 乾燥密度： $\rho_d = 1.914 \text{ g/cm}^3$ ，細粒分含有率： $F_c = 18.3\%$

②室内配合試験：事前に採取した現地土に水を添加し施工時を想定した密度に調整した解泥土を作製した。その解泥土にセメントミルクを添加・混合攪拌しソイルセメント試料を作製した。調整解泥土密度  $1.7 \text{ g/cm}^3$  を基本とし、その他に  $1.6 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.8 \text{ g/cm}^3$ 、 $2.19 \text{ g/cm}^3$  も実施した。圧縮強度試験結果を CM 含有率と根固め部圧縮強度の関係で整理したものを図-4 に示す。

③施工試験：同一条件下での施工にて施工性の確認と解泥土の採取を行い原位置での密度を確認した。その結果根固め液を注入する直前状態の解泥土密度は  $1.72 \text{ g/cm}^3$  であり、上記②の基本調整解泥土密度に対応する。

④未固結試料採取試験：二工程方式の採取器を使用し、採取深度（開閉口部）は掘削底から約 1m 上方の根固め部中心付近の未固結試料を採取した。圧縮強度試験結果を図-4 に示す。なお、杭は沈設せず、通常行われている別孔による採取と同様とした。

⑤コアリング試験：同一条件下で施工した根固め部の固化後にコア採取を行った。圧縮強度試験結果は、根固め部内の深度方向 7 供試体の平均値にて図-4 に示す。既存の収集・蓄積データより、統計的に「未固結試料圧縮強度  $\leq$  コア採取圧縮強度」となると思われるが、強度は逆転している。この比較については同名報文(その 2)にて検討する。

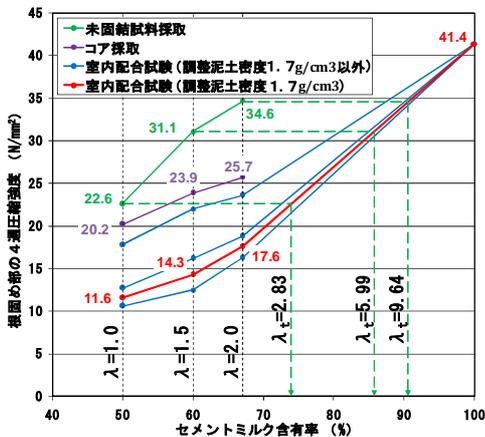


図-4 室内配合、未固結、コアの強度結果

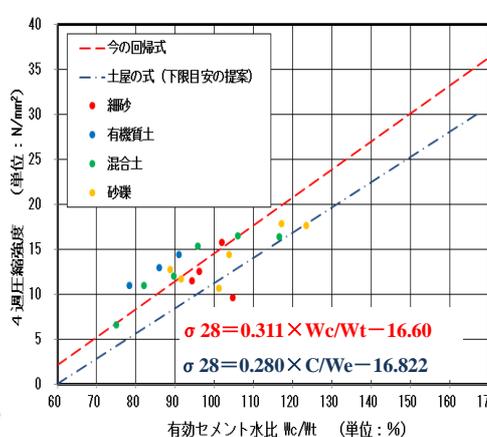


図-5 圧縮強度と有効セメント水比

### 3.2 室内配合試験と未固結試料の圧縮強度の比較

図-4 より、両者の固化体圧縮強度は、根固め液の基本注入率が同一でも、未固結試料の方が室内配合よりも約 2 倍大きい圧縮強度であった。これは、ソイルセメントの築造方法の違いによるものであり、施工現場の根固め部築造は室内配合よりも CM 含有率が上昇する。ここでは、「基本注入率  $\lambda$ 」により設定される CM 含有率を「基本 CM 含有率」、施工現場での出来上がり状態を「補正 CM 含有率」と呼び、これに対応して注入率補正したものを「補正注入率  $\lambda_t$ 」として区分する。図-4 より、基本注入率  $\lambda$  のときの未固結圧縮強度(緑色実線)と、調整解泥土密度  $1.7 \text{ g/cm}^3$  のときの室内配合試験結果(赤色実線)から緑色破線の要領で補正 CM 含有率を推定した。その結果がそれぞれ 73.9%、85.7%、90.6% となっており、基本 CM 含有率からの増加幅は 25% 程度となった。これに対応する補正注入率  $\lambda_t$  を図中に示す。

### 3.3 既往研究からの出来上がりソイルセメントの水セメント比推定

既往の研究<sup>1)</sup>により、ソイルセメント中の有効セメント水比 ( $W_c/W_t$ ) と圧縮強度には良好な相関関係が見られ、圧縮強度はセメント添加量と供試体内部の全有効水量の比によって推定できる。当該地盤で採取した現地土にて、砂礫以外でも室内配合試験を実施した。図-5 にその 19 点をプロットしたが、圧縮強度は  $W_c/W_t$  に対応している。

また、今らの回帰式より、未固結試料の圧縮強度に対応する  $W_c/W_t$  を求め、逆数である水セメント比を求めると、それぞれ 79%、65%、61% となる。セメントミルクの水セメント比は 60% だったため、セメントミルクへの置換度がかかなり高い状態であったと考えられる。

## 4. まとめ

室内配合試験と未固結試料の圧縮強度の関係を明らかにすることで、現状未整備となっている室内配合試験での根固め液の配合（主に、注入率）決定方法が今後具体化すると考えられる。そのためには同一条件下におけるデータ蓄積と検証が必要である。

【参考文献】 1) 土屋富男，桑原文夫：埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究，日本建築学会技術報告集，第 18 巻，第 40 号，pp.883～888，2012. 10.  
 2) 今広人，吉田映，細田光美，木村亮：プレボーリング杭工法の根固め部におけるソイルセメントの室内配合試験による強度特性，地盤工学ジャーナル Vol. 8，No. 4，pp.567～578，2013. 11