

# 埋込み杭の根固め部における未固結試料採取による施工管理手法の提案 その4 根固め部の必要強度と安全性の判定

埋込み杭 施工管理 破壊モード  
余裕係数 基準強度 管理強度

正会員 ○木谷 好伸\*1 平川 泰行\*2  
同 林 隆浩\*3 佐藤 啓\*4  
同 桑原 文夫\*5

## 1. はじめに

未固結試料採取による根固め部の品質管理手法では、適切な養生期間後の供試体の一軸圧縮強度と根固め部に必要な強度を比較することにより判定を行う。さらに、この比較において、供試体強度のばらつきを考慮した安全率を見込むことが望ましく、実績数や要求性能を勘案した上で判定する必要がある。ここでは、まず根固め部の必要強度の考え方について述べ、次に未固結採取を施工管理に取り入れる場合の余裕係数について述べる。

## 2. 根固め部の必要強度の考え方

根固め部の必要強度の考え方について図1に示す3種類の破壊モードで検討した。根固め部上端位置に作用する荷重を根固め部支持力  $R_p$  として、杭底面支持力  $R_{pp}$  は  $R_p$  から根固め部内の杭挿入長さ  $L_2$  部の杭周面摩擦力  $F_2$  を引いた値で、根固め部強度  $F_c$  の大きさにより変化する(杭周面摩擦力は  $F_c$  の関数)と仮定する。

### <破壊モード1>

根固め部の拡径による支圧効果により杭底面と根固め部底面間での支圧破壊。根固め部先端地盤は破壊しない。

### <破壊モード2>

杭先端径  $D_1$  の円筒で、杭下根固め部が押抜きせん断破壊する場合。 $R_{pp}$  は円筒面のせん断力  $F_1$  と円筒底面部支持力  $R_{b1}$  の合算値。

### <破壊モード3>

杭先端位置で根固め部が上下に割裂破壊し、杭下根固め部の外周面と底面で支持する場合。 $R_{pp}$  は破壊面せん断力  $F_1$  と根固め部外周の摩擦力  $R_{f1}$  および根固め部先端面支持力  $R_{b1}$  の合算値。

## 3. 根固め部の必要強度検討例

以下に3モードの破壊モデルの検討例を表1示す。算出条件は以下に示す通り。

- $D_1$ : 杭先端径  $D_2$ : 根固め径  $L_1$ : 杭下部長さ
- $R_{b1}$ : 根固め部底面支持力 (200kN/m<sup>2</sup>)
- $R_{f1}$ : 根固め部周面摩擦力 (6.5kN/m<sup>2</sup>)
- $F_1$ : 根固め部のせん断力 ( $F_c/5$ )
- $F_2$ : 杭と根固め部の付着力 ( $F_c/10$ )
- $D_1=800\text{mm}$ :  $D_2=960\sim 1600\text{mm}$ :  $L_1=1000\text{mm}$
- $L_2=800\text{mm}$ :  $N$  値=60 :  $\alpha$ : 300~700 kN/m<sup>2</sup>

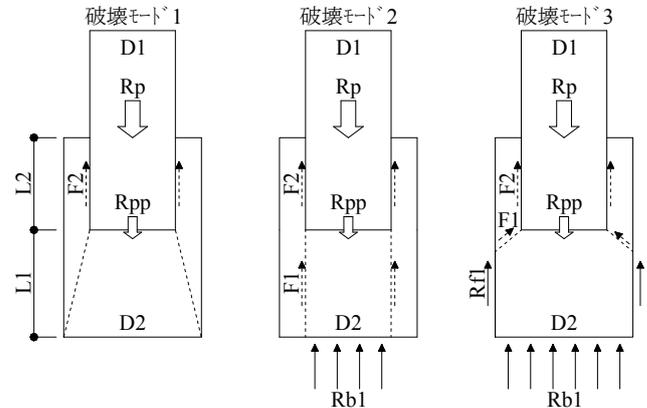


図1 根固め部の3つの破壊モード

表1 各モードの検討結果

D1 mm	D2 mm	D2/D1	$\alpha$	全支持力 Rp kN	mode1		mode2		mode3		
					Fc N/mm <sup>2</sup>	Rpp kN	Fc N/mm <sup>2</sup>	Rpp kN	Fc N/mm <sup>2</sup>	Rp kN	RB* kN
800	960	1.2	300	9048	11.3	6776	4.3	8183	—	9048	9862
800	1120	1.4	400	12064	13.4	9370	8.6	10335	—	12064	13195
800	1280	1.6	500	15080	15.1	12044	12.9	12486	—	15080	17010
800	1440	1.8	600	18096	16.4	14798	17.2	14637	—	18096	21308
800	1600	2.0	700	21112	17.5	17593	21.5	16789	—	21112	26088

\* RB= $R_{f1}+R_{b1}$

表1の  $R_{pp}$  は  $R_p$  から  $F_2$  を引いたものである。ただし、 $F_2$  は  $F_c$  の値により変化することを考慮している。モード1は  $L_1$  部の支圧破壊によるが、モード2, 3は  $R_{pp}$  と  $L_1$  部の破壊ブロックに働く力の釣り合いから求めた。その結果、 $F_c$  は、モード1では11.3~18N/mm<sup>2</sup>、モード2では4.3~21.5N/mm<sup>2</sup>となった。これは、モード1は拡径効果と支圧効果が同じ関係で支持力増加に寄与しているため、拡径比の増加率と  $F_c$  の増加率はほぼ等しい(多少の違いは  $F_2$  の影響である)。一方、モード2では拡径の効果が破壊モードに寄与しないため、支持力の増加率と  $F_c$  の増加率は一致しない。モード2で支持力増加を図るには  $L_1$  部を長くするか  $F_c$  を大きくすることになる。モード3では、 $L_1$  部の根固め部外周面摩擦力  $R_{f1}$  と根固め部先端面支持力  $R_{b1}$  の合算値のみで全支持力  $R_p$  を上回り(破壊面せん断力  $F_1$  は含まず)、力の釣り合いからは  $F_c$  は負の値となり、表1の条件においてはモード3の破壊は生じないことになった。根固め部に必要な強度は、想定したこれらの破壊モードにおける必要強度  $F_c$  の最大値を採用する。

#### 4. 管理強度の考え方

根固め部から未固結試料を採取して、その固化強度で根固め部の出来栄を判定する管理手法では、良否判定のための管理値が必要となる。この管理値の設定方法には、採取データの結果からバラツキを考慮して統計的に基準強度を定める方法と、必要強度に余裕係数を乗じた管理強度を設定する方法がある。

##### 4.1 統計的に定める方法（基準強度）

根固め部の未固結試料データの統計処理結果から基準強度を設定する場合は、根固め部から採取した未固結試料の固化強度データの平均値  $F_{bave}$  から標準偏差  $\sigma$  の  $m$  倍を差し引いた値を基準強度  $F_b$  とし、この値が必要強度以上であることを確認する。

$$F_b = F_{bave} - m \cdot \sigma \geq \text{必要強度} \quad \dots\dots (1)$$

根固め部から採取する未固結試料は、土質、 $N$  値、根固め径、深度、掘削水、施工方法などの諸条件に影響される。未固結採取試料の圧縮強度データを統計的に分析し、適切な基準強度を設定するためには、条件を絞ったデータが必要となる。

##### 4.2 余裕係数を乗じて設定する方法（管理強度）

必要強度に余裕係数を乗じた管理強度を設定し、固化強度データの平均値  $F_{bave}$  がこの値が以上であることを確認する方法も考えられる。余裕係数は、施工の実績等に依りて設定する。

##### 4.3 管理強度設定の具体例

関東地区で施工した同一工法(プレボーリング拡大根固め工法)246 現場で、根固め部から採取した試料の固化強度を調査した事例<sup>1)</sup>

を示す。このヒストグラムを見ると概ね正規分布していると判断できる。これらのデータから、破壊確率=10%を想定した基準強度  $F_b$  ( $m=1.3$ ) を設定した結果を表-2に示す。設定した基準強度  $F_b$  は、必要強度  $F$  の 1.16 倍(全体)であった。一方、圧縮強度平均値を必要強度で除して余裕係数を逆算すると 1.78(全体)となった。

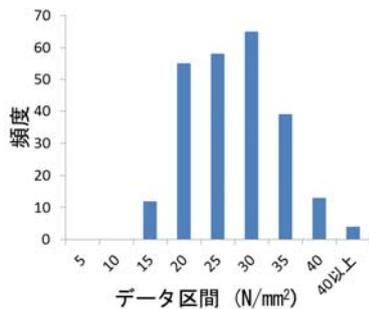


図2 未固結データ例

#### 5. 試験結果の判定方法

設定した強度の管理値に対して、試験結果の判定を行う。統計的に基準強度を設定した場合は、基準強度が必要強度以上であれば判定は合格となる。前述の事例では、

表2 管理強度・余裕係数 検討例

	砂質土	礫質土	粘性土	全体
データ数	144	86	16	246
必要強度 $F$ (N/mm <sup>2</sup> )	14			
強度平均値 $F_{bave}$ (N/mm <sup>2</sup> )	25.1	25.6	20.6	25.0
標準偏差 (N/mm <sup>2</sup> )	6.6	6.8	4.5	6.7
変動係数	0.26	0.27	0.22	0.27
基準強度 $F_b^*$ (N/mm <sup>2</sup> )	16.5	16.7	14.7	16.3
$F_b/F$	1.18	1.19	1.05	1.16
余裕係数 $S^*$	1.79	1.82	1.47	1.78

$$* F_b = F_{bave} - 1.3\sigma \quad S = F_{bave}/F$$

設定した基準強度  $F_b$  に対して全体での不良率は9%程度であったが、基準強度を下回ったものも必要強度はすべて満足していた。このように、管理値を設定するとそれを下回るケースも出てくるため、事前に、設計者や管理者と、必要強度や不良時の対応方法も確認しておかなければならない。以上より、未固結試料による管理の流れを以下と図3に記す。

- 1) 工法ごとに支持力理論で設定した破壊モデルの中から類似のパターンを想定して必要強度を算出し、その設定数値の妥当性について検討・確認する。
- 2) 圧縮試験結果から統計的に基準強度を設定、または必要強度から管理強度を設定する。基準強度は、圧縮試験結果に対して適切な破壊確率を設定して定める。余裕係数を設定して管理強度を定める場合は、実績数や施工品質全体の信頼性を勘案して設計者・管理者と合議のうえ設定する。
- 3) 物性試験における土塊の混入率に応じて低減係数を設定し、圧縮試験結果に低減係数を乗じた値と管理値を比較して最終的な結果の判断を行う。

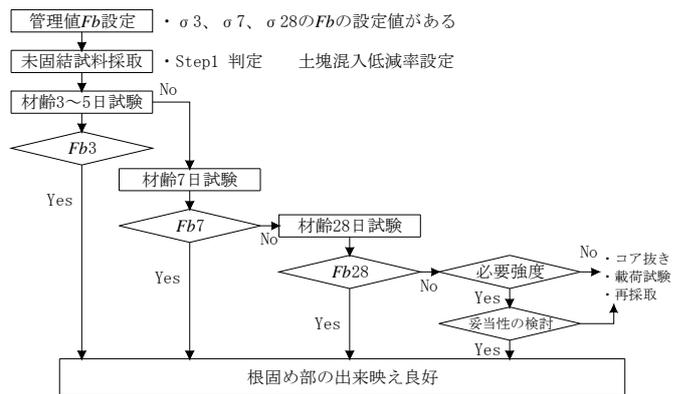


図3 根固め部管理フロー

#### 参考文献

- 1) 横山ほか(2012): 埋込み杭根固め部の品質調査(その2) 根固め内部の強度分布調査, 日本建築学会学術講演会梗概集構造1, pp.501-502.

\*1 三谷セキサン \*2 日本コンクリート工業  
\*3 丸門建設 \*4 前田製管  
\*5 パイルフォーラム

\*1 Mitani Sekisan \*2 Nippon Concrete Industries  
\*3 Marumon Cnstruction \*4 Maeta Concrete Industry  
\*5 Pileforum