

# 節付き場所打ちコンクリート杭の支持力の信頼性評価

渡 邊 康 司 喜 多 直 之  
(本社土木本部)

光 森 章 須 藤 敏 巳  
(本社土木本部) (本社建築本部)

## Reliability Evaluation of Bearing Capacity for Nodular Cast-in-Place Concrete Pile

Koji Watanabe Naoyuki Kita  
Akira Mitsumori Toshimi Sudo

### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the application of nodular cast-in-place concrete piles for railway structures. In recent years, both the height and weight of buildings have increased. This trend is noticeable especially in the central urban areas of Japan. Both tension and compression forces occur in foundations because of the overturning moments from earthquake and wind loads. Because of these situations, it is necessary to develop new types of foundations for high-rise superstructures. The nodular cast-in-place concrete pile is a new type of foundation with a nodular part at the middle section of the pile. The in-situ full-scale load tests were carried out to estimate the bearing capacity of the nodular cast-in-place concrete pile. The bearing capacity was estimated based on the Design Standards for Railway Structures and Commentary. This paper summarizes the results of the insitu full-scale load tests and the bearing capacity estimation for the nodular cast-in-place concrete pile.

### 概 要

本研究の目的は、節付き場所打ちコンクリート杭（ナックル・パイル<sup>®</sup>）を鉄道構造物に適用することである。都市部で増加しているアスペクト比の大きい超高層建築物の基礎や線路上空構造物のようにスパンが大きい構造物の基礎には、常時および地震時に大きな押込み力と引抜き力が作用する。これに対応する基礎杭として、場所打ちコンクリート杭の中間部を拡幅して節部を設けた節付き場所打ちコンクリート杭を大林組は開発している。節付き場所打ちコンクリート杭は、節部の支圧抵抗力を期待することで大きな支持力および引抜き抵抗力が得られる基礎杭である。節付き場所打ちコンクリート杭を鉄道分野に適用するに当たり、その支持力（周面摩擦力度、節部支圧力度、先端支持力度）を評価するために実大載荷試験を実施し、鉄道構造物設計標準に準拠した支持力評価を試みた。本論文では、節付き場所打ちコンクリート杭の実大載荷試験結果および支持力評価に関して報告する。

### 1. はじめに

都市部で増加しているアスペクト比の大きい超高層建築物の基礎には、常時および地震時に大きな押込み力と引抜き力が作用する。これに対応する基礎杭として、Fig. 1に示すように、場所打ちコンクリート杭の中間部を拡径して節部を設けた節付き場所打ちコンクリート杭（ナックル・パイル<sup>®</sup>）を大林組は開発し、建築分野においてすでに数件の適用実績がある<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。一方、土木分野においても、線路上空空間を有効利用するケースでは、スパンが大きいため押込み力が大きい場合や階高が高いため引抜き力が大きい場合がある。そこで、節付き場所打ちコンクリート杭の土木分野、特に、鉄道分野への適用を想定し、鉄道構造物設計標準（以下、鉄道標準）に準拠した支持力評価を試みた。この評価により、節付き場所打ちコンクリート杭の支持力におけるばらつきの程度や

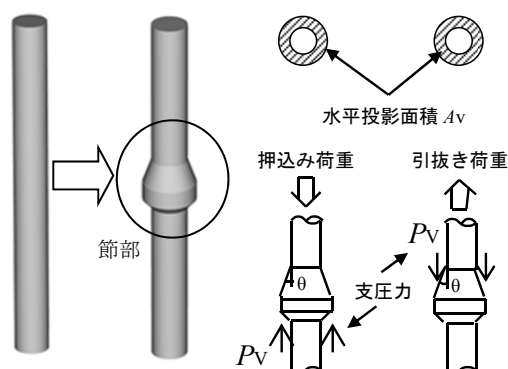


Fig. 1 節付き場所打ちコンクリート杭  
Nodular Cast-in-place Concrete Pile

変位レベル別の反力の発現程度の違いが考慮され、基準先端支持力比に応じて先端・節部抵抗と周面抵抗それぞれ

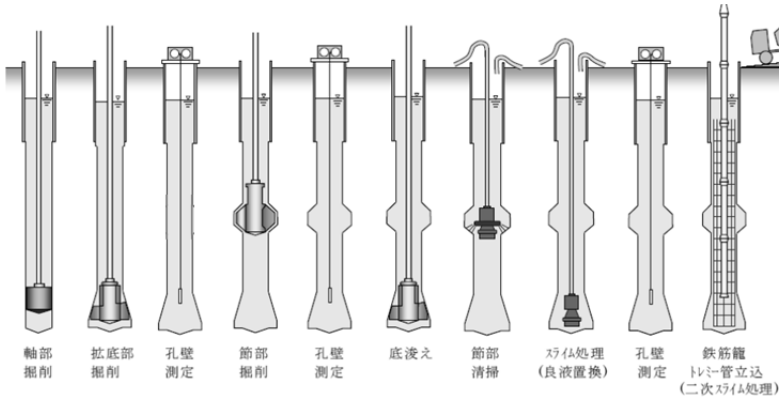


Fig. 2 節付き場所打ちコンクリート杭の施工手順  
Construction Procedure of Cast-in-place Concrete Pile

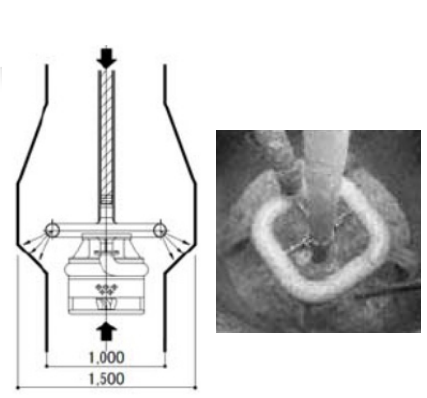


Fig.3 節部専用スライムクリーナー  
Slime Cleaner for Nodular Part

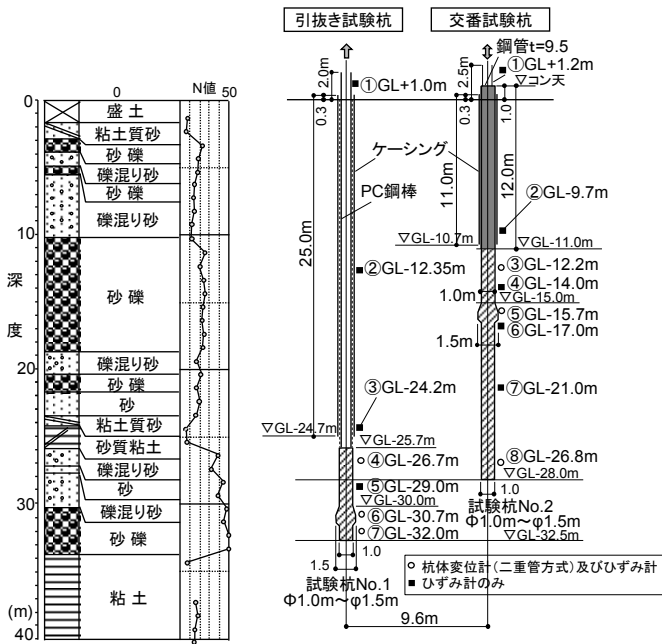
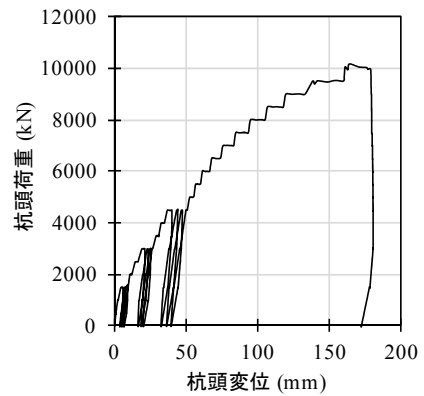


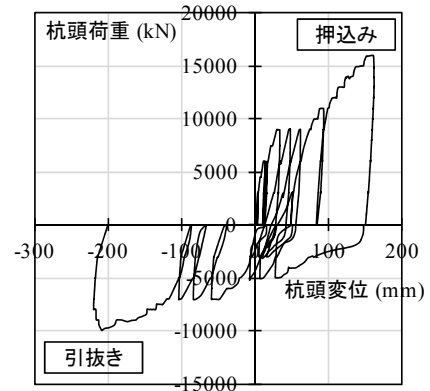
Fig. 4 試験杭概要と地盤条件 (载荷試験A)  
Summary of Test Piles and Ground Condition (Load Test A)

Table 1 試験杭諸元 (载荷試験A)  
Specifications of Test Piles (Load Test A)

载荷試験	杭長 (m)	杭頭深度 (GL-m)	軸部径 (mm)	節部径 (mm)
引抜き試験	6.8	25.7	1000	1500
交番载荷試験	17.0	11.0	1000	1500



(a) 引抜き試験



(b) 交番载荷試験

Fig. 5 杭頭荷重-変位関係 (载荷試験A)  
Relationships between Load and Displacement at Pile Head (Load Test A)

れに上記の特徴が反映されることとなる。また、本評価法を確立することにより、節付き場所打ちコンクリート杭を鉄道構造物に適用することが可能となる。本報告では、評価に用いた载荷試験の概要を示すとともに、载荷試験データに基づく基準支持力度の検討結果について述べる。さらに、設計支持力の算定に用いる地盤抵抗係数の検討結果に関して報告する。

## 2. 節付き場所打ちコンクリート杭の施工法

節付き場所打ちコンクリート杭の施工手順をFig. 2に

示す。まず、アースドリル工法を用いて軸部の掘削を行ない、必要に応じて拡底部の掘削を行なう。次に、節部専用バケットを用いて、節部の掘削を行なう。掘削終了後、節部および杭先端部のスライム処理を行ない、孔内の安定液を良液に置換する。ここで、節部のスライム処理には、Fig. 3に示す節部専用のスライムクリーナーを用いる。その後、鉄筋籠を挿入し、トレー管を設置してコンクリートを打設する。節部の形状の確認は、超音波測定により実施する。

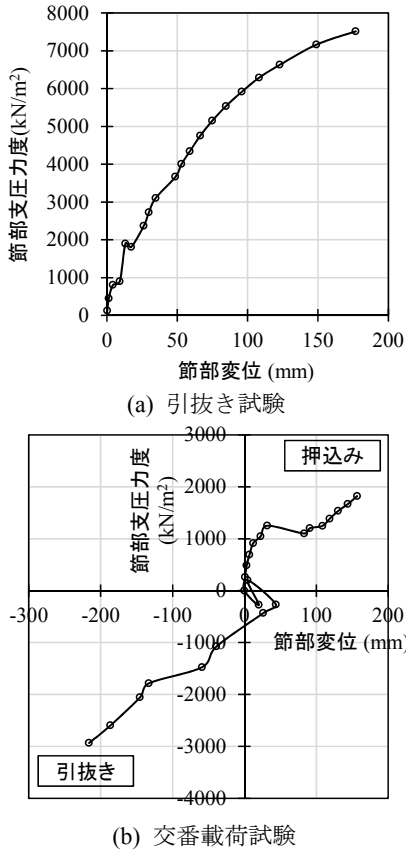


Fig. 6 節部支圧力度-節部変位関係 (载荷試験A)  
Relationships between Bearing Pressure and Displacement at Nodular Part (Load Test A)

### 3. 実大鉛直载荷試験の概要

評価に用いた载荷試験データは2現場である。いずれの载荷試験も地盤工学会基準「杭の鉛直载荷試験方法・同解説」<sup>5)</sup>に準拠し、杭先端変位量が軸部径の10%を越えるまで载荷している。ここで、载荷試験A、Bともに節部支圧力度は節部上下の軸力差を節部の水平投影面積で除して算出し、節部変位は節部中間で測定した変位の値とした。

#### 3.1 载荷試験A

载荷試験Aの概要をFig. 4, Table 1に示す。試験杭は2本とし、それぞれ大阪地区の代表的な支持層である沖積砂礫層、洪積砂礫層に節部を設けた。引抜き試験杭は、GL-25.7m以浅に引抜き用のPC鋼棒を設置した。一方、交番試験杭は、GL-10.7mまで二重管方式によるフリクションカットを行った。Fig. 5に载荷試験Aにおける杭頭荷重-変位関係を示す。引き抜き試験の最大荷重は、10,000kNで、その際の杭頭変位180mm程度である。一方、交番载荷試験の最大荷重は、押し込み側で16,000kN、引き抜き側で10,000kNであり、その際の変位量は押し込み側で180mm程度、引き抜き側で200mm程度である。载荷試験Aにおける節部支圧力度-節部変位関係をFig. 6に示す。引抜き試験における節部極限支圧力度は約7,000kN/m<sup>2</sup>となった。

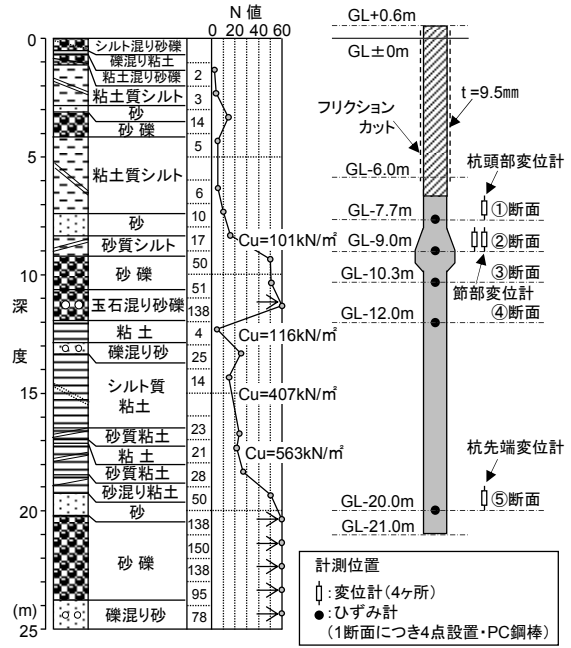


Fig. 7 試験杭概要と地盤条件 (载荷試験B)  
Summary of Test Piles and Ground Condition (Load Test B)

Table 2 試験杭諸元 (载荷試験B)  
Specifications of Test Piles (Load Test B)

载荷試験	杭長 (m)	杭頭深度 (GL- m)	軸部径 (mm)	節部径 (mm)
押し込み試験	15.0	6.0	1000	1500
引抜き試験				

一方、交番载荷試験における節部極限支圧力度は、押し込み側・引抜き側で約2,000kN/m<sup>2</sup>を示した。ここで、極限支圧力度はいずれも節部径の10% (=150mm)における値である。

#### 3.2 载荷試験B

载荷試験Bの概要をFig. 7, Table 2に示す。試験杭は1本とし、節部および杭先端部は、洪積砂礫層に根入れした。また、地表面から6m付近までは、二重管方式によるフリクションカットを行った。試験は、同一の試験杭に対して押し込み試験と引抜き試験を実施した。载荷試験Bにおける杭頭荷重-変位関係をFig. 8に示す。ここで、载荷試験Bは押し込み試験と引抜き試験を別々に実施したが、杭頭荷重-変位関係は同一の図に整理した。Fig. 8によれば、押し込み時の最大荷重は28,000kNで、その際の変位量は180mm程度である。一方、引抜き時の最大荷重は、6,000kNで、その際の変位量は270mm程度である。しかしながら、押し込み時の残留変位を考慮すると、440mm程度引抜きを実施したことになる。Fig. 9に、载荷試験Bにおける節部支圧力度-節部変位関係を示す。節部極限支圧力度は、押し込み時で6,500kN/m<sup>2</sup>程度、引抜き時で700kN/m<sup>2</sup>程度となった。ここで、極限支圧力度はいずれも節部径の10% (=150mm)における値である。

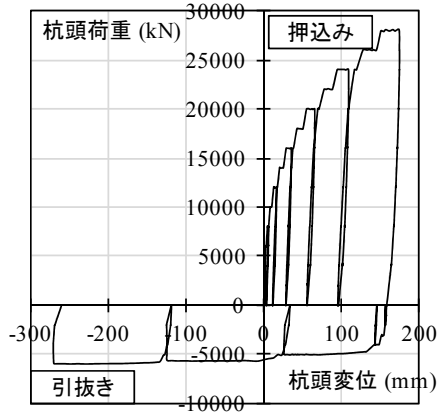
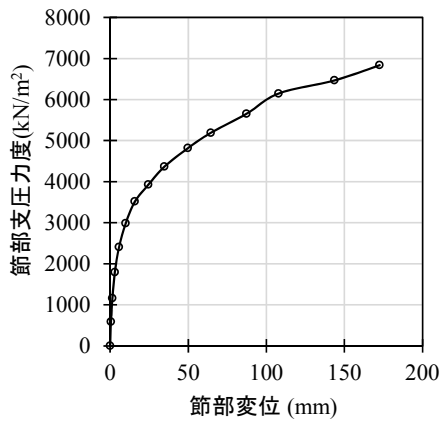
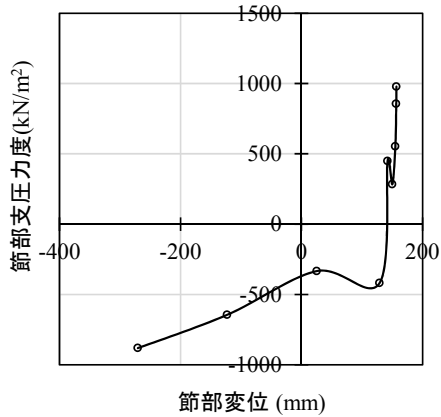


Fig. 8 杭頭荷重-変位関係 (載荷試験B)  
Relationships between Load and Displacement at Pile Head (Load Test B)



(a) 押込み試験

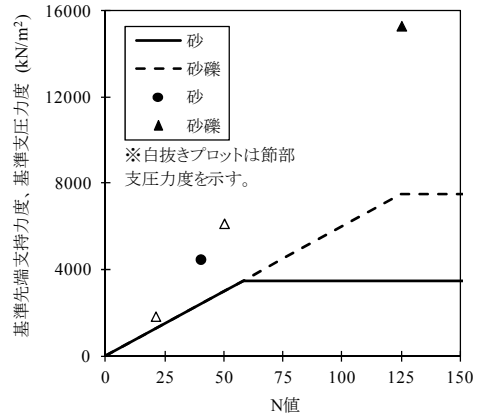


(b) 引抜き試験

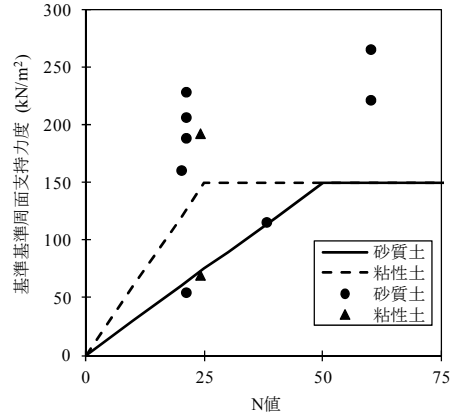
Fig. 9 節部支圧力度-節部変位関係 (載荷試験B)  
Relationships between Bearing Pressure and Displacement at Nodular Part (Load Test B)

#### 4. 基準支持力の検討結果

基準支持力の検討は鉄道標準<sup>6)</sup>の考え方に準拠し、基準支持力は杭先端変位量が軸径の10%に至るまでの最大荷重と定義した。基準支持力の検討結果をFig. 10に示す。なお、検討に用いたデータは、十分な変位量(杭径の10%



(a) 先端支持力度・節部支圧力度-N値関係



(b) 周面支持力度-N値関係

Fig. 10 基準支持力の検討結果  
Results of Design and Tested Bearing Capacity

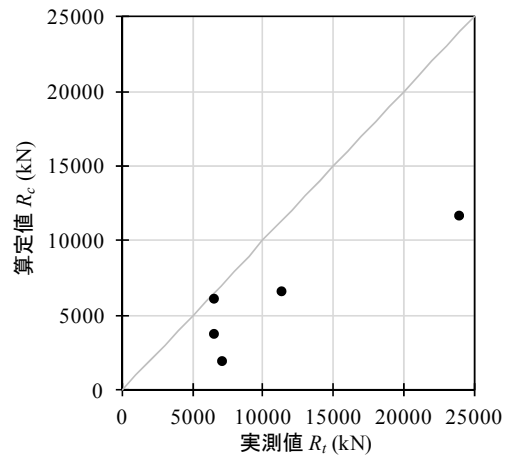


Fig. 11 基準支持力の算定値と実測値の関係  
Relationships between Calculated Values of Design Bearing Capacity and Observed Values

以上)まで載荷した事例のみである。ここで、基準支持力は先端支持力度・節部支圧力度と周面支持力度に分けて検討している。また、先端支持力度は杭先端到達軸力を杭先端面積で除して、節部支圧力度は節部上下の軸力差を節部水平投影面積で除して算出した。周面支持力度

は、各区間の軸力差を当該区間の周面積で除して算出した。鉄道標準によると、場所打ちコンクリート杭の基準支持力の推定式は、式(1)および式(2-a, 2-b)に示す通りである。

$$\text{基準先端支持力度} : q_{tk}=60N \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1)$$

(ただし、砂質土  $q_{tk} \leq 3500$ , 砂礫  $q_{tk} \leq 7500$ )

基準周面支持力度 (砂質土) :

$$\gamma_{fk}=3N \text{ (} \leq 150\text{) (kN/m}^2\text{)} \quad (2-a)$$

基準周面支持力度 (粘性土) :

$$\gamma_{fk}=6N \text{ (} \leq 150\text{) (kN/m}^2\text{)} \quad (2-b)$$

ここで、 $N$  : 標準貫入試験から得られる  $N$  値

Fig. 10(a) に、先端支持力度および節部支圧力度と  $N$  値の関係を示す。Fig. 10(a) には鉄道標準に示されている場所打ちコンクリート杭の基準先端支持力度ラインも合わせて示した。Fig. 10(a) から、節付き場所打ちコンクリート杭の載荷試験より得られた先端支持力度および節部支圧力度は、概ね鉄道標準における基準支持力度と同等以上の関係にあることがわかる。次に、周面支持力度と  $N$  値の関係を Fig. 10(b) に示す。周面支持力度に関しても、鉄道標準における場所打ちコンクリート杭の基準周面支持力度ラインを合わせて示した。周面支持力度に関しても、鉄道標準による算定式の値を概ね上回ることがわかる。ここで、粘性土の周面支持力度において基準周面支持力度を大きく下回っている理由は、押込み試験を実施した後の引抜き試験結果から得られたデータであり、大変形による影響を受けているためである。さらに、Fig. 11 に基準支持力の実測値と推定値の比較を示す。Fig. 11 より、基準支持力の実測値は算定値を上回っていることがわかる。

## 5. 地盤抵抗係数の算出

### 5.1 地盤抵抗係数の算出方法

鉄道標準における杭の設計鉛直支持力  $R_{vd}$  は式(3)~(5)で算出される。

$$R_{vd} = f_r R_k = f_{rt} R_{tk} + f_{rf} R_{fk} \quad (3)$$

$$R_{tk} = q_{tk} A_t \quad (4)$$

$$R_{fk} = \gamma_{fk} U \Delta l \quad (5)$$

ここで、 $f_r$ : 地盤抵抗係数、 $R_k$ : 基準支持力、 $f_{rt}$ : 先端に関する地盤抵抗係数、 $R_{tk}$ : 基準先端支持力、 $f_{rf}$ : 周面に関する地盤抵抗係数、 $R_{fk}$ : 基準周面支持力、 $q_{tk}$ : 基準先端支持力度、 $A_t$ : 杭先端面積、 $\gamma_{fk}$ : 各土層の基準周面支持力度、 $U$ : 杭の周長、 $\Delta l$ : 各土層の厚さ

式(3)~(5)で示される設計鉛直支持力を算出するには、基準支持力の他に地盤抵抗係数の評価が必要となる。地盤抵抗係数は、要求性能ごとに所定の信頼性を確保するように定められる。

単杭の鉛直載荷試験において、ある限界状態（沈下量がある基準変位に達した状態）となった状態の杭の先端抵抗力および周面抵抗力の実測値を  $R_t^l$ 、 $R_f^l$  とすると、杭頭荷重  $S$  が作用した場合の性能関数  $Z$  は、 $R_t^l$ 、 $R_f^l$ 、 $S$  を確率変数として式(6)のように表すことができる。なお、添え字  $l$  は実測値であることを示す。

$$Z = R_t^l + R_f^l - S \quad (6)$$

一般に性能関数  $Z$  は複雑な関数となり限界状態超過確率を容易に求めることは困難となる。そこで、一次近似信頼性設計法 (First Order Reliability Method, FORM) を用いて確率変数を正規分布関数で近似し、性能関数がゼロとなる点（設計点）まわりでテーラー展開して級数を一次の項で打ち切って線形化を行い、限界状態超過確率を算定する。本手法を用いることで性能関数が正規分布関数の線形和で表わされる場合には、収束計算を行わずに限界状態超過確率を算定できる。

まず、確率変数  $R_t^l$ 、 $R_f^l$ 、 $S$  をそれぞれ基準支持力の特性値  $R_{tk}$ 、 $R_{fk}$  および杭頭作用荷重の特性値  $S_k$  で正規化し、互いに独立な正規分布をもった確率変数と仮定する。そして、それぞれの平均値が0、標準偏差が1となる正規分布をもった確率変数  $Y_t$ 、 $Y_f$ 、 $Y_s$  を用いると式(6)に示した性能関数  $Z$  は式(7)のように表すことができる。

$$Z = R_{tk}\mu_t + R_{fk}\mu_f - S_k\mu_s + R_{tk}\sigma_t Y_t + R_{fk}\sigma_f Y_f - S_k\sigma_s Y_s \quad (7)$$

ここで、 $\mu_t$ 、 $\mu_f$ 、 $\mu_s$  および  $\sigma_t$ 、 $\sigma_f$ 、 $\sigma_s$  は、確率変数の平均値および標準偏差である。この変換の結果、正規化した座標 ( $Y_t$ 、 $Y_f$ 、 $Y_s$ ) における原点から式(7)で表わされる面への最短距離にある点が設計点となり、安全性指標  $\beta$  は原点から設計点までの最短距離と定義すると、式(8)により求められる。

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{R_{tk}\mu_t + R_{fk}\mu_f - S_k\mu_s}{\sqrt{(R_{tk}\sigma_t)^2 + (R_{fk}\sigma_f)^2 + (S_k\sigma_s)^2}} \quad (8)$$

なお、基本確率変数が互いに独立で正規分布関数に従い、性能関数が基本確率変数の線形関数で表される場合には、安全性指標と限界状態超過確率  $P_f$  ( $Z \leq 0$ ) には、式(9)に示す関係がある。

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (9)$$

ここで、 $\Phi$  は標準正規確率分布関数であり、安全性指標  $\beta$  は限界状態に至る点 ( $Z=0$ ) から平均値  $\mu_z$  が相対的にどの程度離れているかを標準偏差  $\sigma_z$  に対する倍率として表した尺度である。

文献<sup>7)</sup> に示される手法に従い抵抗側の部分安全係数に相当する地盤抵抗係数を導出する。式(6)に示した性能関数式を地盤抵抗係数  $f_{rt}$ 、 $f_{rf}$  および作用係数  $\gamma_s$  を用いた変換をすると式(10)のように示される。

$$Z^d = f_{rt} R_{tk} + f_{rf} R_{fk} - \gamma_s S_k \quad (10)$$

式(10)は目標安全性指標  $\beta_a$  となる設計点で  $Z^d=0$  を満足することから地盤抵抗係数は式(11-a, 11-b)で表される。

$$f_{rt} = \mu_t - \beta_a \alpha_t \sigma_t \quad (11-a)$$

$$f_{rf} = \mu_f - \beta_a \alpha_f \sigma_f \quad (11-b)$$

ここで、 $\mu_i, \mu_f$ : 確率変数の平均値、 $\sigma_i, \sigma_f$ : 確率変数の標準偏差、 $\beta_a$ : 目標安全性指標、 $\alpha_i, \alpha_f$ : 感度係数

目標安全性指標 $\beta_a$ は、各限界状態に対する安全余裕度を表している。また、感度係数 $\alpha_i, \alpha_f$ は、基準先端支持力比 $p_i$ に応じて変化するため、設計する杭が摩擦杭か支持杭かという特徴を反映した地盤抵抗係数が算出される。感度係数 $\alpha_i, \alpha_f$ および基準先端支持力比 $p_i$ を式(12)~(14)に示す。

$$\alpha_i = p_i \sigma_i / \sqrt{p_i^2 \sigma_i^2 + (1-p_i)^2 \sigma_f^2} \quad (12)$$

$$\alpha_f = (1-p_i) \sigma_f / \sqrt{p_i^2 \sigma_i^2 + (1-p_i)^2 \sigma_f^2} \quad (13)$$

$$p_i = R_{ik} / (R_{ik} + R_{fk}) \quad (14)$$

式(11-a, 11-b)における平均値 $\mu_i, \mu_f$ は、少数標本からの推定となるため、データ数 $n$ に応じて信頼水準0.75の下限値となる式(15)により推定される。

$$\bar{\mu} = \mu - k_s \sigma \quad (15)$$

ここで、 $\mu$ : 推定した平均値、 $\bar{\mu}$ : 載荷試験データの平均値、 $\sigma$ : 載荷試験データの標準偏差、 $k_s$ : データ数 $n$ に応じた係数でFig. 12に示す値

地盤抵抗係数を算出する際に必要となる要求性能と限界状態をTable 3に示す。これらの要求性能と限界状態は鉄道標準に準拠したものであり、統計処理は5種類の性能項目について行った。

### 5.2 地盤抵抗係数の算定結果

統計処理の結果得られた平均値と変動係数をTable 4に示す。Table 4には鉄道標準に示されている場所打ちコンクリート杭に関する統計処理の結果を合わせて示している。ここで、周面に関する有効データ数のカッコ内は、4. で示した基準支持力の検討に用いた全データ数であり、統計処理にはカッコ外のデータ数を採用した。これは、交番載荷試験の引抜き側や大変形の押込み試験後に実施した引抜き試験データなど載荷履歴の影響を大きく含んでいるデータを除外するためである。Table 4より、場所打ちコンクリート杭は、基準変位の小さい長期使用限界状態で杭先端の変動係数が大きい。一方、節付き場所打ちコンクリート杭は、基準変位の小さい長期使用限界状態および短期使用限界状態で、杭先端および節部の変動係数が小さくなる傾向を示した。これは、従来、バラツキが大きいとされる場所打ちコンクリート杭の杭先端部における支持力とは異なる傾向であり、節付き場所

Table 3 要求性能および限界状態<sup>6)</sup>  
Required Performance and Limit State<sup>6)</sup>

(a) 地震時以外				
要求性能	性能項目	基準変位量 (mm)	目標安全性指標 $\beta_a$ 基準変位量の超過確率 $P_f$	限界状態
使用性	長期支持性能	20(13.3) <sup>※1</sup>	$\beta_a=1.6, P_f=5\%$	不同沈下によるひび割れ
	短期支持性能	20	$\beta_a=1.3, P_f=10\%$	
安全性	安定	min(50 or 0.05D) <sup>※2</sup>	$\beta_a=1.0, P_f=16\%$	顕著な軌道変位

※1: 統計処理時は、長期載荷試験における変位の増加を考慮してカッコ内の値を用いた<sup>8)</sup>  
 ※2: Dは杭径を表す

(b) 地震時				
要求性能	性能項目	基準変位量 (mm)	目標安全性指標 $\beta_a$ 基準変位量の超過確率 $P_f$	限界状態
復旧性性能レベル1	残留	50 or 0.05D	$\beta_a=0.85, P_f=20\%$	残留沈下による軌道補修
復旧性性能レベル2	変位	0.1D	$\beta_a=0.5, P_f=30\%$	残留沈下による構造物補修

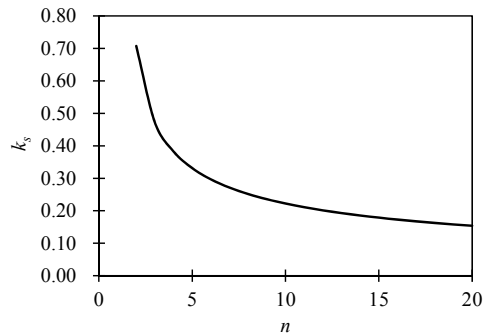


Fig. 12 データ数 $n$ に応じた係数 $k_s$  (信頼水準0.75)  
Coefficient  $k_s$  for Data Numbers  
(Confidence Level 0.75)

打ちコンクリート杭の節部および杭先端部における支持力のバラツキが小さいことを示唆している。このような傾向を示した理由として、節部専用のスライムクリーナーを用いたスライム処理やスライム処理後の安定液を良液置換していることが挙げられる。さらに、周面に関する変動係数も、場所打ちコンクリート杭より小さな値を示していることから、周面に関しては場所打ちコンクリート杭と同一の評価を準用することで安全側の評価になると考えられる。次に、5.1に示す手法により、Table 3に示す目標安全性指標、Table 4に示す統計値および杭の基準先端支持力比を用いて地盤抵抗係数を算出した。ここで、Table 4の統計値のうち変動係数が小さい(30%未満)ものに関しても、実際の設計では地盤調査の不確実性を考慮する必要がある。そこで、本報告では、鉄道標準との比較を行うため、鉄道標準の考え方を踏襲し、変動係数が30%未満のケースでも30%と仮定した。Fig. 13に、地盤抵抗係数と基準先端支持力比の関係を示す。各ラインは、下から順に使用性・長期支持性能、使用性・短期支持性能、安全性・地震時以外、復旧性・性能レベル1、復旧性・性能レベル2の各要求性能に対する地盤抵抗係数を示している。また、Fig. 13には、比較のために鉄道構造物設計標準<sup>9)</sup>に示されている場所打ちコンクリート杭の地盤抵抗係数を点線で示している。Fig. 13より、いずれの要求性能についても、基準先端支持力比が大きい場合に地盤抵抗係数が低下する傾向となる。全般に、



Table 4 節付き場所打ちコンクリート杭の地盤抵抗係数の検討結果  
Results of Resistance Factors for Nodular Cast-in-place Concrete Pile

	要求性能	周面				先端 or 先端+節部(節付き場所打ちコンクリート杭)				
		使用性	使用性	安全性 復旧性能レベル1	復旧性能レベル2	使用性	使用性	安全性 復旧性能レベル1	復旧性能レベル2	
		性能項目	長期支持性能	短期支持性能	安定 残留変位	残留変位	長期支持性能	短期支持性能	安定 残留変位	残留変位
		基準変位	長期20mm	20mm	min (50mm, 5%D)	10%D	長期20mm	20mm	min (50mm, 5%D)	10%D
場所打ち コンクリート杭 <sup>6)</sup>	有効データ数 $n$	7	6	6	6	9	8	8	8	
	平均値 $\mu$	1.16	1.16	1.31	1.37	0.5	0.56	0.85	1.39	
	変動係数 $V$	38%	38%	40%	33%	60%	46%	44%	49%	
節付き場所打ち コンクリート杭	有効データ数 $n$	3 (5)	3 (5)	3 (5)	3 (5)	2	2	2	2	
	平均値 $\mu$	1.06	1.22	1.62	1.74	0.63	0.73	1.06	1.35	
	変動係数 $V$	21%	16%	25%	65%	22%	27%	41%	65%	

場所打ちコンクリート杭に比して、平均値が大きく、かつ標準偏差が小さいため、地盤抵抗係数の値が場所打ちコンクリート杭よりも大きくなった。復旧性能レベル2では、場所打ちコンクリート杭に比して、周面の平均値は十分に大きかったが変動係数が大きかったため、基準先端支持力比の小さい領域では地盤抵抗係数は同程度となった。さらに、先端および節部の平均値は場所打ちコンクリート杭と同程度にも関わらず変動係数が大きかったために基準先端支持力比の大きな領域では、場所打ちコンクリート杭を下回った。節付き場所打ちコンクリート杭の地盤抵抗係数は、節部専用のスライムクリーナーを用いたスライム処理やスライム処理後の良液置換を行わなかった場合には、場所打ちコンクリート杭と同程度になると推察される。しかしながら、上記の施工工程を実施することにより、地盤抵抗係数が節部の支圧抵抗分だけ上昇したと考えられる。

6. まとめ

節付き場所打ちコンクリート杭の実大載荷試験データに基づき、節付き場所打ちコンクリート杭の設計支持力の評価に必要な周面と先端・節部の支持力および地盤抵抗係数の評価を行なった。以下に、得られた知見をまとめる。

- 1) 鉄道標準に示される場所打ちコンクリート杭の基準支持力算定式と節付き場所打ちコンクリート杭の載荷試験データとの比較を行い、節付き場所打ちコンクリート杭の支持力は鉄道標準に示される場所打ちコンクリート杭の基準支持力算定式と同等以上に評価できることがわかった。
- 2) 鉄道標準に準拠して節付き場所打ちコンクリート杭の地盤抵抗係数の算出を試みた。その結果、全般に場所打ちコンクリート杭の地盤抵抗係数を上回る傾向が得られた。

謝辞

節付き場所打ちコンクリート杭を鉄道構造物に適用するに当たり、その支持力評価に関して御指導頂きました(公財)鉄道技術総合研究所の神田政幸室長および西岡英俊主任研究員に深謝致します。

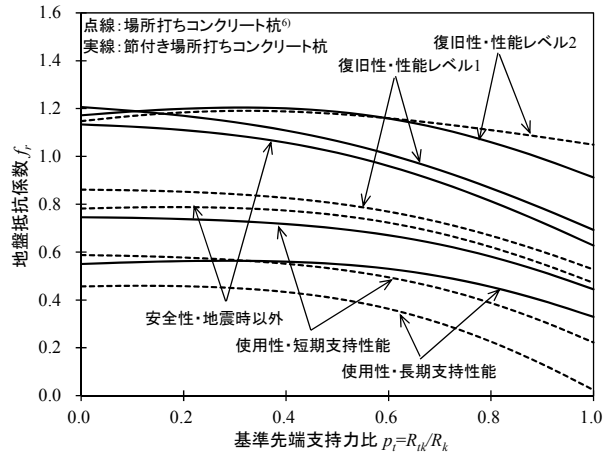


Fig. 13 地盤抵抗係数の算定結果  
Results of Resistance Factor for Nodular Cast-in-place Concrete Pile

参考文献

- 1) 渡邊康司, 他: 場所打ち節付き場所打ちコンクリート杭の鉛直交番載荷試験および引抜き試験 (その1~その4), 日本建築学会大会講演概要集, pp.545-552, 2008.9
- 2) 渡邊康司, 他: 超高層タワーを支持する節付き壁杭の引抜き試験および押込み試験 (その1~その5), 日本建築学会大会講演概要集, pp.545-554, 2009.9
- 3) 渡邊康司, 他: 場所打ち節付き場所打ちコンクリート杭の押込み試験および引抜き試験 (その1~その4), 日本建築学会大会講演概要集, pp.545-552, 2010.9
- 4) Watanabe, K. et al.: Static load tests of nodular cast-in-place concrete pile and estimation on resistance of nodular part, Proceedings of IS-Kanazawa, pp. 749-756, 2012
- 5) 地盤工学会: 地盤工学会基準“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”, 2002
- 6) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説(基礎構造物編), 2012
- 7) 西岡英俊, 他: 載荷試験データの統計的処理による杭工法別の支持力算定, 鉄道総研報告, Vol. 22, No. 10, pp. 41-46, 2008
- 8) 青木一二三, 他: 杭の設計に用いる地盤反力係数, 構造物設計資料, No. 83, pp. 20-25, 1985.9