

III-4-2 土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究 (2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
研究期間：平 12～平 16
担当チーム：構造物研究グループ基礎チーム
研究担当者：福井 次郎、白戸 真大、
野々村 佳哲

【要旨】

国際化の流れの中で、土木構造物に対する耐震性能の評価手法も ISO 規格への提案を視野に入れて開発していくことが必要となっている。そこで、本研究では、杭基礎の耐震性能評価に関し、地盤調査手法、地盤調査数量に応じた部分安全係数の設定方法について研究した。また、杭基礎の耐震性能に最も影響を与える杭の鉛直支持力を対象に、地盤調査方法や載荷試験データ数量を考慮して一定の信頼度を有する設計支持力推定式を作成する標準的な手法を開発した。さらに、国際共同研究や国際地盤工学会 TC23 における活動を通じて基礎の耐震性能評価について国際的な情報交換を行うと共に性能設計の考えを取り入れて道路橋示方書の国際的な周知活動を行った。

キーワード：基礎、地盤定数、支持力、部分安全係数（設計法）、耐震性能

1. はじめに

国際化の流れの中で、ISO 規格への提案も視野に入れた土木構造物の耐震性能評価手法を開発していくことが必要とされている。日本の優れた耐震設計技術が世界的に認知されることは、日本の国際競争力を向上させる。この場合、国際標準の設計法として位置付けられる信頼性に基づく部分安全係数設計法の枠組みに収まる耐震性能の評価法として提案できれば ISO 規格への提案において一層有利である。

杭基礎は、世界的に見ても最も一般的な基礎形式の一つである。そして、我が国において、基礎の中で最も新技術の開発が活発であるのが杭である。道路橋示方書¹⁾²⁾に基礎の降伏の目安としても示されているように、杭基礎の耐震性能は、主として杭の鉛直支持力および杭の構造部材としての耐力・変形性能の2つの要因により決定される。そこで、本研究では、杭の鉛直支持力を取り上げた。支持性能を載荷試験により検証し、一定の信頼度を有する支持力推定式を作成する標準的な手法を開発した。本報告はその成果を中心に述べる。なお、構造部材一般の耐震性能の評価方法は本研究課題を共同で担当した耐震チームが行っている。

2. 杭の支持力推定式の（標準的な）作成方法³⁾

杭の支持力は、地盤条件だけではなく地盤調査の質や施工方法に大きく依存する。塑性論に基づく理論的

な支持力推定式もあるが、支持力の杭施工法依存性を考慮できない点などの理由により、道路橋示方書をはじめとする各機関の基準類の支持力推定式には用いられていない。このため、道路橋示方書では、載荷試験結果に基づくか、もしくは半経験的支持力式から推定するものとしている。半経験的支持力推定式とは、過去の載荷試験データと地盤調査の結果得られた地盤パラメーターの相関式に基づき設定された推定式のことである。載荷試験を行うには新たな費用がかかることや、どのような判断を行って載荷試験結果から支持力の特性値を設定するのかが必ずしも明確ではないことから、実務においてはほとんどの場合半経験的支持力が用いられる。ここに、支持力の特性値とは極限支持力の推定値であり、設計計算において安全率で除す前の値である。以下、半経験的支持力推定式を単に支持力推定式と呼ぶ。また、その他の用語も信頼性に基づく限界状態設計法において用いられる一般的なものを⁴⁾を用いる。

これまでの道路橋示方書では、代表的な工法別に支持力推定式が規定されているがこれらが、どのような載荷試験データを用いてどのような統計処理を行って決定したかという点については明確ではなかった。そこで、透明性を確保し、かつ設計基準が想定している信頼度を有する支持力の特性値が得られるような支持力推定式を作成するためには、必要な載荷試験データの量、質およびそれらの処理手順をある程度標準化す

る必要がある。

支持力推定式は、一般に、施工法別、土質別に作成される。一定の信頼度を確保するためには、

1) 載荷試験データの数

2) 基となった載荷試験データのばらつき

を考慮して設定する必要がある。しかし、このような要因を定量的に評価して行う方法は確立されていない。したがって、両者を定量的に評価して支持力推定式を作成する方法を開発した。

2.1 載荷試験データの数が相関式の信頼度に与える影響

最大周面摩擦力度の推定を例に説明する。杭の最大周面摩擦力度の推定式は次式で表される。

$$f = ax \quad (1)$$

ここに、 f が最大周面摩擦力度、 x が地盤調査から得られる地盤パラメータの特性値、 a が両者を関係づける比例係数である。 x は一般に標準貫入試験の N 値や一軸圧縮強度 q_u 値である。前述のように、杭の支持力は地盤条件だけではなく地盤調査の質および施工方法にも依存するので、比例係数 a の値も土質別、工法別に決定される。また、載荷試験データ数によっても、この比例係数の値と信頼度は異なる。載荷試験数が増えれば増えるほどその値は一定値に近づくと考えられるが、少ない場合には用いるデータの偏りの影響を受ける。そこで、載荷試験データが多数有り、かつ施工法が確立され、道路橋示方書が想定しているような施工品質が確保されると考えられている代表的な既存工法のデータを用いて、載荷試験データの数が比例係数 a のばらつきに与える影響を調べた。

ここでは、例として砂質土中の打込み鋼管杭について杭の最大周面摩擦力度と N 値の関係の結果を示す。図-1 に載荷試験データの分布（載荷試験データ数 $m=49$ ）を示す。また、図-1 中の実線は載荷試験から求まる単純な線形回帰式

$$f = a_0 N \quad (2)$$

を表している。

解析手順は以下のとおりである。

- 1) 母集団の確率分布を f と x の 2 変量正規確率分布とみなし、 m 個の載荷試験データから最尤法を用いて確率モデルを設定する。
- 2) 1) で得た確率モデルより、任意に (f, N) の組み合わせを z 個得る。言い換えれば、疑似的に z 個の載荷試験データ群を得る。
- 3) 2) で得た z 個の疑似載荷試験データ群より回帰式 $f = a'_z N$ を算定する。ここに、 a'_z は z 個の

(f, N) サンプルから得られる一個の回帰係数を表す。

4) 2), 3) を n 回繰り返し、 n 個の回帰係数 a'_z を得る。本研究では $n=1000$ とした。

5) n 個の回帰係数 a'_z の統計解析を行う。

図-2 が求まった $n=1000$ 個の回帰係数 a'_z の頻度分布である。疑似載荷試験データサンプル数 z が大きいほど a'_z の分布幅が小さくなる。すなわち、回帰係数のばらつきが小さくなる。これは母集団の回帰係数の推定値の信頼性が載荷試験結果数に応じて向上している様子を表している。

$z=3, 5, 10$ のときに、それぞれ回帰係数 a'_z の片側 95% 信頼区間に対応する a''_z を求め、 $f = a''_z N$ として図-1 に重ね書きした。データ数が多ければ平均値（実線）に近づき、少なければ平均値から離れる。

以上より、回帰係数を信頼区間を考慮して決定すれば、載荷試験データ数に依存した信頼性が考慮された支持力推定式が得られることが示された。すなわち、載荷試験データ数が m 個あるときは $m=z$ として上記の手順 1) から 5) に従って $f-x$ 関係の回帰式の信頼性を検討し、回帰係数の分布の中から片側 90% や 95% などの安全側の回帰係数 a_m'' を用いて支持力推定式を設定すればよい。結局、最大周面摩擦力度の推定式は次式により与えられる。

$$f_k = f / \gamma_0 \quad (3)$$

$$\gamma_0 = a_0 / a_m'' \quad (4)$$

ここに、 f は式(2)で与えられるデータの単純な相関式、 γ_0 がデータの数に応じた補正係数でありデータ数が多くなれば 1 に近づく。さらに設計値は

$$f_d = f_k / \gamma_f \quad (5)$$

となる。 γ_f は部分安全係数である。

なお、以上の検討は、 $f-x$ 関係の回帰係数（平均値）の信頼性を検討しているものであり、 $f-x$ 関係や載荷試験データそのものの信頼区間を検討しているものではないことに注意する。

2.2 地盤調査の質の反映（データのばらつき）

x のばらつきが少ない地盤調査方法を用いることにより、式(3), (4)の γ_0 の値は小さくなる。

例を示す。鋼管ソイルセメント杭の載荷試験データのうち、同じ粘性土層において標準貫入試験の N 値と一軸圧縮強度 q_u の両者が得られているデータがあった。それらの粘性土層における $f-N$ 、 $f-q_u$ 関係を図-3 に示す ($m=14$)。回帰係数 a の変動係数 V の値は、 N 値による場合は 0.182、 q_u 値による場合は 0.105 である。そして、片側信頼区間 95% に対応する

γ_0 を 2.1 に従い算出すると、 N 値による場合は 1.41、 q_u 値による場合は 1.19 になる。したがって、 γ_f の値が調査方法によらず同一である場合であっても、 q_u 値による場合は N 値による場合よりも f_d がおよそ 2 割大きくなる。

信頼性に基づく部分安全係数設計法を導入することで、ばらつきの少ない地盤調査方法を用いることがさらに経済的な設計結果に結びつくようになる。FORM (First-Order Reliability Method) による信頼性解析⁹⁾を用いて設計値法により安全係数を設定する場合、基本変数 X_i の安全係数 γ_i は次式により算出される。

$$\gamma_i = \frac{1}{1 - \alpha_i \beta_i V_i} \quad (6)$$

ここに、 V_i は基本変数 X_i の変動係数、 α_i は感度係数または分離係数と呼ばれるもの、 β_i は構造物の目標信頼性指標である。なお、式(6)では基本変数 X_i の確率分布を正規分布であると仮定している。実際の設計基準においては、基本変数 X_i に関する部分安全係数 γ_i の値は、コードキャリブレーションにより決定される。

たとえば、感度係数 α_i を 0.5、目標信頼性指標 β_i を 2.0 と仮定したときに求まる γ_f は、 q_u 値による場合は 1.12、 N 値による場合は 1.22 になり、やはりばらつきの小さい地盤調査方法を用いた方が有利な設計支持力が得られるという結果になる。それぞれの地盤調査法における γ_0 と γ_f の両者の値を用いて式(5)より f_d の値を求めると、 q_u 値を用いる場合は N 値を用いる場合に比べておよそ 3 割程度大きくなる。

この結論の重要な点は、より合理的な調査を行うことにより、調査コストが増加したとしても、より大きな設計支持力を設定することができ、設計された基礎の諸元が減らせ、結果として調査、設計、施工の合計としての建設コストの削減につながる道筋が示されたことである。 N 値を用いた既往の支持力推定式を提案法に基づいて設定し直すことで、建設コスト削減につながることを期待される。

2.3 実用化

新工法は、開発された当初は、載荷試験データは少なく、支持力推定式は存在しない。そこで、載荷試験を行い、当該現場の極限支持力の特性値を設定する必要がある。しかし、載荷試験データの数が少ないことの影響を考慮した上で、いくつかの載荷試験結果から支持力推定式が設定できれば、設計段階で載荷試験を行う手間が省けるために新工法の普及スピードが大幅に向上する。そのためには、2.1 で検討したデータ数に応じた安全側の回帰係数を用いる提案法を用いれば

よい。

しかし、設計実務として広く用いることを考えると、2.1 で示した信頼性解析を行うのは煩雑である。たとえば設計便覧などに式(3)の γ_0 の値と載荷試験数 m との関係が表形式などで示されていると、実務での適用上の混乱を減らすことができる。

そこで、いくつかの既存工法の載荷試験データベースに基づいて式(3)の γ_0 を評価してみたところ、図-4 に示すように載荷試験数 m と γ_0 の値との関係は土質ごとにはほぼ一意な関係を有しそうなことが分かった。しかし、2.2 で見たように、 γ_0 は地盤調査方法によっても値が異なる。したがって、土質別、地盤調査方法別にひとつの $m \cdot \gamma_0$ 関係を明示できると考えられる。そして、新工法に関しても、公的機関の技術審査証明事業等でその施工品質が既存工法と同等以上のものであると確認できれば、既存工法の載荷試験データベースに基づき決定された $m \cdot \gamma_0$ 関係を適用できると考えられる。

このように、本手法を導入することにより、これまで不明確であった杭の支持力推定式の設定法が明らかになり、設計基準の透明性が確保される。しかし、既存工法と類似する新しい施工法については以下の問題がある。類似の工法について支持力推定式が既に存在するにも関わらず新工法に関する支持力推定式が新たに作成されることは、細かな工法の選択と設計計算とがリンクしてしまい、設計作業に混乱を引き起こす。したがって、類似工法のグループで一つの支持力推定式を設定するのがよい。たとえば、新規に支持力推定式を作成するのではなく、既往の支持力推定式を適用可能であるかどうかを検討されるべきである。

一方で、少数の載荷試験結果から支持力推定式が認定された既存工法について、その後、類似工法を含めた、ある施工法グループ全体として載荷試験データが累積された場合、本手法を再度適用して支持力推定式を見直すことができる。ただし、この場合、後から類似工法を開発した開発者は、最初に工法を開発した開発者のデータを利用できることになる。したがって、最初に工法を開発した開発者に利益が与えられるような制度が今後検討されねばならない。類似している、していないを判断する基準についても今後検討する必要がある。

3. 載荷試験に基づく設計支持力の評価方法

原位置の載荷試験は、当該施工法で施工された杭の、載荷試験を行ったまさにその地点における支持力の真

値を得たとみなされるだろう。しかし、同じ現場地盤であっても、載荷地点が若干でも変われば支持力も変化する。支持力推定式は全国の多数の鉛直載荷試験に基づいて作成された、全国の種々の地盤に対して平均的な値を算出するものである。したがって、現場間のばらつきも反映されており、当該現場での最良の支持力推定法ではない。実際、ある現場地盤の土層の支持力のばらつきは、全国の地盤に対するばらつきよりも小さいだろう。その結果、原位置において載荷試験を実施し、そこから得られる情報を支持力推定に反映させることによって支持力の不確定性は著しく低減することになる。この不確実性の低減効果を定量評価した研究の一つに松井・落合の研究⁹⁾がある。松井・落合の研究に基づき、道路橋示方書では、実績のある工法(支持力推定式が既に存在する工法)について当該現場にて載荷試験を行った場合には、その結果を用いて極限支持力を設定し、かつ補正係数を用いて安全率を補正してよいことにしている。

しかし、技術的課題を解決するため、支持力推定式がまだ設定されていないような新工法をいち早く現場に導入したい場合もあるだろう。

2.で示したように、支持力推定式は、ある地盤条件にて発揮される極限支持力の平均値の推定値を与えるものである。これと同様に、載荷試験結果のみから極限支持力を推定する場合には、空間的な地盤の支持力のばらつきを考慮して当該地盤の発揮し得る平均的な極限支持力を推定し、それを極限支持力の特性値とすればよい。

新工法の場合、特定の施工管理手法によれば常に一定の支持力が発揮されることが確認されなければならない。したがって、載荷試験は複数本に対して行うことが望ましい。建設現場にて複数の載荷試験が行われれば、当該杭基礎付近の地盤にて平均的に期待できる支持力の値の推定精度が向上する。信頼性理論に基づけば、利用可能なサンプル数 m が増えるとき、平均値に関するばらつきは $(1/\sqrt{m})$ に比例する (Benjamin and Cornell)⁷⁾。そして、当該地盤が本質的に有する支持力のばらつきの値を仮定できれば、載荷試験の結果得られた最大荷重に基づき当該地盤の杭の鉛直支持力を推定することができる。

統計量の信頼性水準を考慮すれば⁸⁾、載荷試験数に応じた平均値の推定値は載荷試験結果の単純な平均値を次式で求まる値で除すことにより得られる。当該現場における分散 V が未知であることを前提に、 V を仮定して与える場合：

$$1/(1-V \cdot t_{\alpha; m-1} \sqrt{1/m}) \quad (7)$$

当該現場における分散が既知である場合：

$$1/(1-V \cdot \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{1/m}) \quad (8)$$

ここで、 m は載荷試験数、 $t_{\alpha; m-1}$ は自由度 $(m-1)$ の t 分布、 Φ は標準正規分布関数、 V は当該現場固有の支持力の分散である。また、 m 個のテストデータ X が $N(\mu, \sigma^2)$ の正規確率変数に従うと仮定すれば、統計量 X の平均値 X_{mean} と最小値 X_{min} の関係は次式で与えられる。

$$\frac{X_{\text{min}}}{X_{\text{mean}}} = 1 - V \cdot \frac{\eta}{2}, \quad \eta = 2 \cdot \Phi^{-1}(0.5^{1/m}) \quad (9)$$

載荷試験数が 2~5 本程度のときは、当該施工法の当該サイトでの分散を評価することが可能かどうかはわからない。しかし、過去の支持力推定式の作成に用いたデータ(支持力と N 値の関係)のばらつきは、全国の砂質土、粘性土に対して $V = 0.1 \sim 0.15$ 程度になるようである⁹⁾。そこで、 $V = 0.15$ と便宜的に仮定した。

以上より、補正係数を求めると表-1 のようになる。現場載荷試験結果の平均値または最小値に対して、載荷試験数に応じて表-1 のそれぞれのケースの値で除した結果を比較し、最も小さい値をもって現場における極限支持力の特性値とする。ここで、載荷試験数が 6 以上あれば補正係数の変化は小さい。すなわち、平均値の推定の精度にデータ数が与える影響は問題とならないと考えられ、実務上はデータの平均値を持って平均値の推定値としてよいものと考えられる。

なお、ここで用いた手法は 1 つの統計量(極限支持力)を扱うことを仮定している手法であるが、2.で扱っているのは回帰係数であり、それは 2 つの独立した統計量、すなわち極限支持力度と地盤パラメータの影響が同時に現れるものである。したがって、2.では、2 つの統計量を同時に扱うのに適した手法を用いて検討している。

4. 設計基準の国際化における成果

本研究では、世界各国・各地域の設計基準の開発状況を把握するための調査を行うと共に、我が国の設計技術の積極的な発信を行ったことが成果として上げられる。ここに、この点について簡単に総括をする。

まず、国際地盤工学会第 23 専門委員会(基礎の限界状態設計法)の活動に積極的に参加し、同専門委員会と共同で基礎の設計法の現状と理想に関する国際アンケート調査を実務者に対して行った^{9),10)}。その積極的な活動は高く評価され、国際地盤工学会の活動報告¹¹⁾にも記載された。さらに、いくつかのアンケート項目の回答は道路橋示方書の改訂¹⁾において反映された。

また、同専門委員会が主催する基礎の限界状態設計基準に関する国際会議や、国際地盤工学会のアジア会議において、同専門委員会担当のセッションにおいて、道路橋示方書で規定している性能規定化、耐震性能照査法等について解説し、特に性能設計の観点からアピールした^{12,13}。

専門委員会でのこれらの活動と平行して、道路橋示方書下部構造編の内容、および根拠となる研究成果をまとめた英文冊子を作成し、アジア、欧州、北米地域のコードライター等に広く配布した¹⁴。

また、耐震設計法の国際化を強化するために、ミラノ工科大学の地盤・耐震グループと基礎の耐震設計に関する共同研究を行った。同グループは、EUの耐震設計基準 Eurocode 8¹⁵における基礎の耐震設計法の開発において重要な役割を果たしてきている。この共同研究では、研究の実施だけでなく、両国の耐震設計法と耐震設計基準に関する情報の交換と共有の促進、および共同研究の成果をそれぞれの国の耐震設計基準に反映させることも目的としその内容を協定書に明記した。

この共同研究は、日伊政府間で締結されている日伊科学技術協力協定における Executive Program (2002-2006) の一つにも選ばれている^{16,17}。その枠組みの下、両国の政府からの助成を受け、日伊両国にて両機関の基礎の耐震設計に関する研究成果および両国の耐震設計基準の改訂状況について技術交流を行ってきた。たとえば、当チームで平成15年度から開始した研究課題「地震荷重を受ける浅い基礎の支持力に関する調査」の研究内容に情報交換の成果が反映されている。

その他、諸外国の性能設計、限界状態設計、耐震設計の現状に関する調査も行っており、たとえば文献18),19),20)において報告している。

5. まとめ

本研究では、杭基礎の耐震性能に最も大きな影響を与える要因の一つである鉛直支持力に着目し、信頼性を考慮した部分安全係数を検討した。まず、載荷試験データの数が支持力推定式の信頼性に与える影響を検討し、データ数に応じた部分安全係数の設定方法を提案した。次に、地盤調査の質に着目し、調査手法の精度に応じた部分安全係数の設定方法を提案した。さらに、原位置で載荷試験を実施した場合の信頼性に着目し、載荷試験数に応じた部分安全係数を提案した。

これらの成果を海外に向けて発表し、各国のコード

ライターと議論を行った。また、提案した手法のうち、データ数に応じた部分安全係数の設定方法の考え方は日本建築センターの“建築基準法施行規則第1条の3第1項の認定に関わる性能評価業務方法書”²¹において既に引用、導入されている²²。

各種基礎形式の中で、新しい施工法の技術開発が最も活発であるのが杭である。提案手法を用いることにより、平均値の推定値に関する信頼性が考慮された杭の鉛直支持力の特性値を評価できる。また、本手法は、新しく開発された施工法による杭の支持力評価を、ある一定の手順に従うことにより誰でも行うことができるようにするものであることに価値がある。本研究で示した標準的な手法が確立されれば、新工法が導入されやすくなると考えられ、今後、本研究の成果を道路橋示方書などの技術基準等に反映させて行きたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会. “道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編” 2002.
- 2) 日本道路協会. “道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編” 2002.
- 3) Shirato, M., Suzuki, M., Matsui, K., and Fukui, J. “Design formula for the shaft resistance of a pile considering both the number and variability of load test data”, Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (Eds. Der Kiureghian, Madanat, and Pestana), ICASP 9, California, pp. 1385-1392, Millpress, Rotterdam, 2003.
- 4) 地盤工学会. “地盤工学会基準(案)性能設計概念に基づいた基礎設計等に関する設計原則”, 2004.
- 5) Thoft-Christensen, P. and Baker M. J. “Structural Reliability Theory and Its Applications”, Springer-Verlag, 1982.
- 6) 松井謙二, 落合英俊. “地盤の不確実性を考慮した摩擦杭基礎の支持力評価” 土木学会論文集, 第445号/III-18, pp. 83-92, 1992.
- 7) Benjamin, J.R. and Cornell, C.A. “Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers”, McGraw-Hill, 1970.
- 8) 鈴木誠, 本城勇介. “杭基礎の設計における不確実性の評価法(その2)”, 講座 杭基礎の鉛直荷重～変位特性の評価法入門, 土と基礎, Vol. 48, No. 8, pp. 35-38, 2000.
- 9) Shirato, M., Matsui, K., and Fukui, J. “Present situation regarding ground investigations and the determination of geotechnical parameters in Japan”, Proc. of IWS Kamakura 2002 (eds. Honjo et al.), Tokyo, Balkema, pp. 237-243, 2002.
- 10) Orr, T. L. L., Matsui, K., and Day, P. “Survey of geotechnical investigation methods and determination of parameter values”, Proc. of IWS Kamakura 2002 (eds. Honjo et al.), Tokyo, Balkema, pp. 227-235, 2002.
- 11) Day, P. “Administrative report of TC 23-Limit state design in geotechnical engineering”, Proc. of the 15th ICSMGE, Istanbul, pp. 2943-2944, 2001.
- 12) Shirato, M., Fukui, J., Unjoh, S., and Hoshikuma, J. “Japanese seismic design specifications for highway

bridges”, LSD2003: International Workshop on Limit State design in Geotechnical Engineering practice (eds. Phoon et al.), Cambridge, Massachusetts, CD-ROM, ISSMGE TC23, World Scientific, Singapore, 2003.

- 13) Okahara, M., Fukui, J., Shirato, M., Matsui, K., and Honjo, Y. “National Report on Geotechnical codes in Japan”, Asian regional conference of ISSMGE, Singapore, Proc. of the Twelfth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, (Eds. Leung et al.), Vol. 2, World Scientific, Singapore, pp. 1363-1370, 2003.
- 14) Fukui, J., Shirato, M., and Matsui, K. “Design of highway bridge foundations in Japan (Compiled on October 8, 2003)”, Technical memorandum from the Foundation Engineering Research Team, PWRI, No. 01-2003, 2003.
- 15) CEN “Eurocode 8, Design provisions for earthquake resistance structures – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects”, ENV 1998-5, 1994.
- 16) http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/nikoku/j_a_it.html (外務省ホームページ)
- 17) <http://www.esteri.it/eng/archives/accordi/index.htm> (イタリア外務省ホームページ)
- 18) 福井次郎, 白戸真大, 松井謙二, 井上雅夫. “英国道路庁における設計認証システム”, 橋梁と基礎, Vol.38, No. 9, pp. 35-42, 2004.9
- 19) 松井謙二, 奥村文直, 白戸真大, 木幡行宏. “Eurocode7 (地盤・基礎設計)の現状と課題”, 第45回地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, pp. 175-180, 2000.10.
- 20) 松井謙二, 白戸真大, 福井次郎. “日米欧の耐震基準による道路橋基礎の比較設計”, 第5回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp. 387-394, 2002.
- 21) 日本建築センター. “建築基準法施行規則第1条の3第1項の認定に関わる性能評価業務方法書”, <<http://www.bcj.or.jp/src/hyotei12.html>>
- 22) 桑原文夫. “日本建築センターにおける杭の支持力性能評価方法”, 基礎工, Vol. 31, No. 9, pp. 6-10, 2003.

表-1 載荷試験結果からの極限支持力の推定

データ数	載荷試験データの平均値を除く補正係数	載荷試験データの最小値を除く補正係数
2	3.03	2.77
3	1.34	1.17
4	1.21	1.03
5	1.17	0.96
6	1.11	0.90
7	1.10	0.88

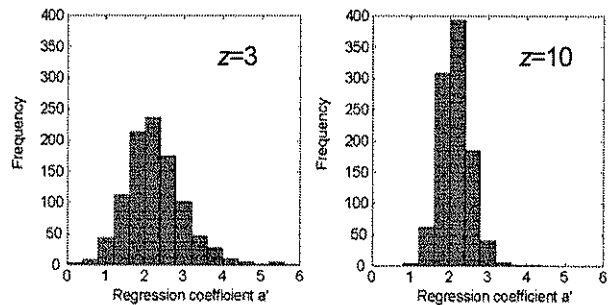


図-2 回帰係数 a' の発生頻度

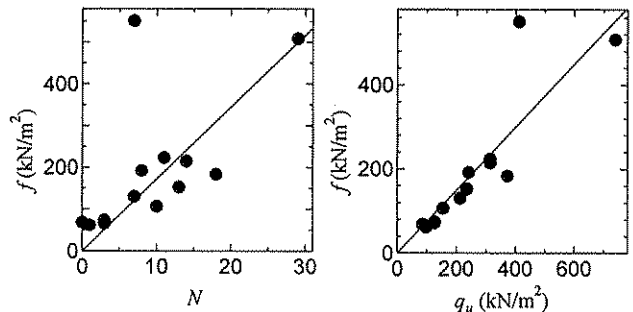


図-3 地盤調査法の違いが載荷試験データ群のばらつきの違いに与える影響

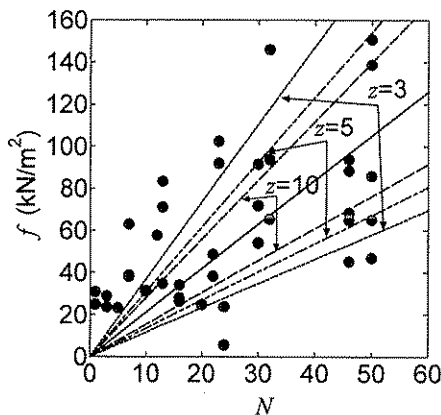


図-1 載荷試験データと回帰係数の95%信頼区間の比較 (鋼管杭, 砂地盤)

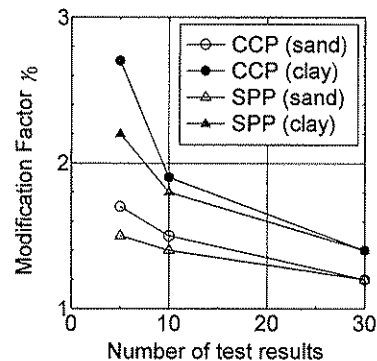


図-4 載荷試験データ数 m と γ_0 の関係 (CCP は場所打ち杭, SPP は鋼管杭を指す)