

信頼性解析に基づく回転杭の性能評価

岐阜大学 学生会員 ○草野友宏
岐阜大学 正会員 本城勇介
岐阜大学 正会員 大竹 雄

1. 研究目的

現在、構造物設計は、性能規定化と信頼性設計法の導入に進みつつある。杭工法においても、新たな工法が開発される中で、その杭の品質や特性をどのようにして設計に反映するかが一つの課題となっている。

このような背景を踏まえて、本報告では、新工法である回転杭(以後、SWP)と既存の杭(場所打ち杭(以後、CCP)、鋼管杭(以後、SPP))について、現行設計、信頼性設計の両面から比較考察を行うことが目的である。

2. 研究方法

2.1 設計手順

図1は、杭基礎の信頼性解析の手順と不確実性の発生段階を模式的に示した図である。まず、これらの不確実性の定量化を行い、次にその不確実性情報に基づいて単純なモンテカルロシミュレーション(MCS)により、破壊確率を求める。

2.2 問題設定

対象構造物は、図2に示す連続高架梁橋脚の杭基礎を対象とし、対象地点には標準貫入試験が行われた。支持地盤は、砂礫土層(Dg)であり、杭長は支持地盤へ1m根入れすることを考え21mに設定した。

なお、既往の設計では、基礎形式が場所打ち杭、杭径が1m、杭長が15~18mで計画された。また、これらの構造寸法はL1地震時における鉛直支持力の照査により決定された。ここでは、地震時における杭基礎の安定照査のみを示す。

3. 不確実性解析

表1は、杭基礎の安定照査における不確実性要素の一覧表であり、それらの定量化方法を以下に述べる。

3.1 モデル化誤差

(a) 鉛直押し込み支持力(q_d , f_i)

道路橋示方書における杭基礎の安定照査は、次の極限支持力推定式に基づいて計算される。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i \quad (1)$$

ここで、 R_u :地盤から決まる杭の極限支持力(kN), A :杭先端面積(m^2), q_d :杭先端における単位面積当たりの極限支持力度(kN/m^2), U :杭の周長(m), L_i :周面摩擦力を考慮する層の層厚(m), f_i :周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度(kN/m^2)である。

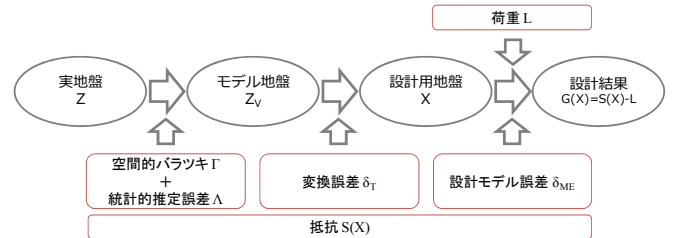


図1 信頼性解析の手順と考慮すべき不確実性

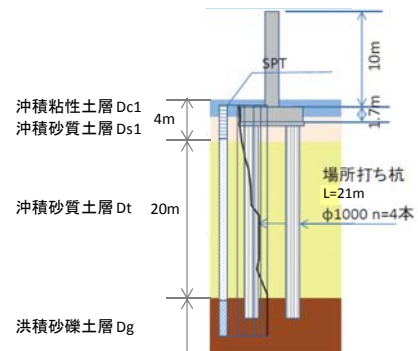


図2 計算基礎の状況図

この設計式のモデル化誤差についても、SWP による載荷試験データ¹⁾²⁾³⁾より収集整理を行い、表1に示す結果が得られた。図3は、杭先端支持力のモデル化誤差の散布図を示しており、ばらつきが比較的小さいことが読み取れる。また、CCP と SPP は、岡原(1990)⁴⁾⁵⁾が整理された結果を活用する。ここで、 $\text{bias} = (\text{真値} ; \text{載荷試験値}) / (\text{道示の推定値})$ である。

(b) 変位法における地盤バネ (K_v , k_H)

変位法で用いられる杭軸方向のバネ定数 K_v は、SWP による載荷試験データ¹⁾²⁾³⁾より収集整理を行い、表1に示す結果が得られた。CCP と SPP は、岡原(1990)⁴⁾⁵⁾、中谷(2009)⁶⁾で整理された結果を活用する。

水平方向地盤反力係数 k_H のモデル化誤差は、収集した載荷試験データの数が少なかったため、岡原(1990)⁴⁾⁵⁾、中谷(2009)⁶⁾で整理された結果を活用する。CCP と SPP についても、SWP と同様の整理結果を活用する。ここで、 $\text{bias} = (\text{真値} ; \text{載荷試験値}) / (\text{道示の推定値})$ である。

3.2 その他の不確実性解析

地盤の空間的ばらつきと統計的推定誤差については、本城・大竹・加藤(2012)⁷⁾の理論に基づいて定量化を行った。また、地震荷重の不確実性については、Honjo and Amatya(2005)⁸⁾の研究成果を活用し定量化を行った。これらについては紙面の都合上、結果のみを表1に示す。

4. 信頼性解析

ここでは、MCSを1万回試行した評価結果を示す。図4は、各杭における超過確率を示しており、図5は既往の設計で計画されたCCPと同等の信頼性を有しているSPP、SWPの杭径、つまり、信頼性設計により採用されるSPP、SWPの杭径の不確実性の寄与度分布を示している。また、図6は、当該現場において現行設計と信頼性設計で決定された各杭の費用を示している。

図4より、SPPは、対象地盤において信頼性解析を行うとCCPと同じ杭径が採用される。SWPについては、CCPやSPPと比べ細い杭径が採用される結果となった。

図5より、SWPは不確実性を表す分散が他の杭と比べ小さい結果となった。また、SWPの先端および周面支持力に関する寄与の割合に着目すると、CCPとSPPより小さい結果となった。

図6より、当該現場の場合、信頼性設計でもCCPが選定される結果となった。しかし、SWPの費用に着目すると、費用は信頼性設計を行うことで少なくなっていることから、SWPの構造的な優位性が設計に反映されていることが考えられる。

5. まとめ

- 1) モデル化誤差の定量化より、回転杭は、杭先端の極限支持力 q_a の不確実性が他杭と比べて小さい特徴を有している。
- 2) 信頼性設計法により、SWPの構造的な優位性が設計に反映されることを示した。
- 3) 今後は、変形照査や杭体に生じる断面応力度の照査を行うとともに、不確実性分析から杭基礎設計における課題を明確にしていきたい。

参考文献

- 1) 財団法人 国土技術研究センター：建設技術審査証明事業（一般土木工法）報告書 NS エコパイル工法（回転圧入鋼管杭工法），2004
- 2) 財団法人 土木研究センター：建設技術審査証明報告書 先端翼付き回転貫入鋼管杭「ジオウイング・パイルⅡ」，2009
- 3) 財団法人 土木研究センター：建設技術審査証明報告書 先端翼付き回転貫入鋼管杭「つばさ杭」，2001
- 4) 岡原美智夫，木章次：道路橋示方書下部構造編の改訂概要-弾性体基礎の水平方向挙動を中心に-，土木技術資料，Vol.32，No.6，pp.41-48，1990
- 5) 岡原美智夫，中谷昌一，田口啓二，松井謙二：軸方向押し込み力に対する杭の支持力特性に関する研究，土木学会論文集，第418号/Ⅲ-13，1990
- 6) 中谷昌一：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，京都大学学位論文，2002
- 7) 本城勇介，大竹雄，加藤栄和：地盤パラメータ局所平均の空間的ばらつきと統計的推定誤差の簡易評価理論，Vol.68，No.1，2012
- 8) Honjo, Y. and Amatya, S. : Partial factors calibration based on reliability analyses for square footings on granular soils, Geotechnique, Vol.55, No. 6, pp.479-491, 2005

表1 各基本変数

	場所打ち杭 CCP	鋼管杭 SPP	回転杭 SWP
空間的バラツキ	杭先端 : bias = 1.0, COV = 0.09 杭周面 : bias = 1.0, COV = 0.06	bias = 1.0, COV = 0.09 bias = 1.0, COV = 0.06	
統計的推定誤差 (一般推定)	杭先端 : bias = 1.0, COV = 0.06 杭周面 : bias = 1.0, COV = 0.03	bias = 1.0, COV = 0.06 bias = 1.0, COV = 0.03	
モデル化誤差 (先端)	bias = 1.12 COV = 0.63	bias = 1.03 COV = 0.53	bias = 1.40 COV = 0.20
モデル化誤差 (周面)	bias = 1.07 COV = 0.46	bias = 1.17 COV = 0.36	bias = 1.22 COV = 0.41
地震荷重	COV = 0.30		

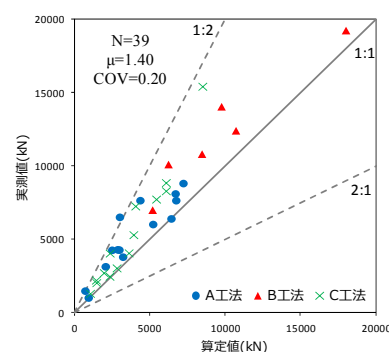


図3 杭先端支持力のモデル化誤差(SWP)

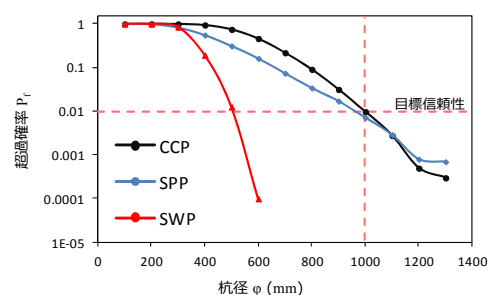


図4 超過確率

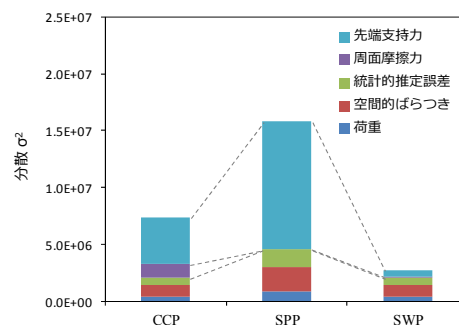


図5 各不確実性の寄与度分布

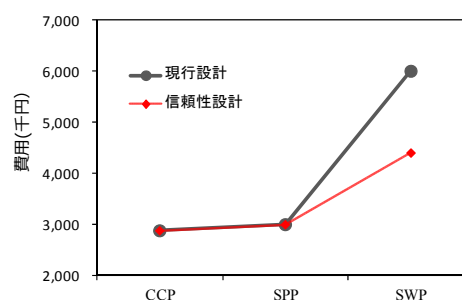


図6 各杭の費用比較