

氏名（本籍）	Mohamad Nazieh Jilati（シリア）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 357 号
学位授与日付	平成 21 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	General vs. local reliability based design of geotechnical structures (地盤構造物の一般及び局所信頼性設計)
学位論文審査委員	(主査) 教授 本城 勇 介 (副査) 教授 八 嶋 厚 教授 能 島 暢 呂 准教授 神 谷 浩 二

論文内容の要旨

One of the distinguished features of geotechnical reliability analysis, compared to other structural reliability analysis such as concrete and steel structures is material properties are different from a site to another, which need to be determined based on field investigations and laboratory tests.

In the ordinary structural reliability analysis textbook such as Thoft-Christensen and Baker (1982), the uncertainties in reliability analysis are classified into the following four sources: (a) physical uncertainty, (b) statistical uncertainty, (c) modeling errors and (d) gross error. It goes without saying that physical uncertainties, especially external actions, are the major source of uncertainty in structural reliability analysis.

Since the spatial fluctuations of soil properties are generally large, people tend to think that the physical uncertainty is the major source of uncertainty in geotechnical reliability analysis. However, this is not necessarily true, and the statistical uncertainty would have more contribution to the resulting uncertainty in geotechnical reliability analysis. This is because Aleatory uncertainties (uncertainties due to randomness, i.e. physical uncertainty) tend to average out, however effects of Epistemic uncertainties (uncertainties due to lack of knowledge, i.e. statistical uncertainty and modeling error) do not.

This study actually tries to add some examples to this statement. The statistical uncertainty and the physical uncertainty are quantified through actual site records to see the relative impacts on the resulting uncertainty in geotechnical reliability based design, RBD, taking the RBD of Piles as an example. Two different kinds of RBD schemes are introduced to emphasize the special characteristics of geotechnical design. They are L-RBD and G-RBD, which are defined as follow:

- Local reliability based design (L-RBD): The material uncertainty considered in the design takes into account the relative position of investigation and the structure to be designed. Therefore, there would be considerable reduction in the statistical uncertainty in this approach.
- General reliability based design (G-RBD): The material uncertainty considered in the design is that of general uncertainty and not considering relative position of investigation location and structures to be designed. Thus, in this approach, considerable statistical uncertainty remains in determining material property for design.

The two methods are illustrated by examples in this study.

The intensive CPT investigation results at a site are used to illustrate L-RBD. The spatial variability of soil property is first statistically characterized. Estimations of the parameters are done by the maximum likelihood method, MLM, and the best model for each data is selected by Akaike Information Criterion, AIC, Ordinary Kriging method have been used to Estimate the Soil Properties at the unknown points (out of the CPT bores). Ultimate bearing capacity of piles is evaluated at different points.

On the other hand, G-RBD utilizes only statistical properties of the RF using Monte Carlo Simulation; thus, the relative location of a structure and soil investigations are ignored. Example on piles and shallow foundations are presented for this case.

論文審査結果の要旨

地盤構造物の設計では、個々のサイトで行われる地盤調査に基いて地盤パラメータの特性を決定するという、他の構造物とは著しく異なる事情のため、得られた地盤調査結果と設計がどのように結びついてい

るかの定式化は、常に大きな問題である。

地盤調査を行ったジャストポイント（橋脚建設予定地点の直下）や比較的調査地点近傍で信頼性設計を行う場合と、その調査を行った地盤全体（コンテナヤード建設予定地全体の地盤）の一般的特性に基づいてこれを行う場合には、そのやり方が大きく異なるはずである。この論文の目的は、構造物建設予定地点やその近傍で行う調査により特性値を推定し設計しようとする場合を局所信頼性設計、一般的な地盤特性によりこれを行う場合を一般信頼性設計と呼び、区別するとともに、その違いが地盤工学の信頼性設計に与える影響を定量的に明らかにすることである。

信頼性設計法では、通常①物理的不確実性、②統計的不確実性、③モデル化誤差、及び④ヒューマンエラーの4種類の不確実性を考える。実際に信頼性設計を行う場合、これらの不確実性が相互にどの程度の大きさで設計結果に影響を与えるかを把握することは、極めて重要である。特に地盤構造物の設計では、地盤パラメータの空間的バラツキの程度と、地盤調査などに伴う統計的推定誤差の関係を適切に把握することが必要となり、本研究は、上記の視点でこの点を問題としている。

地質学的に同一と見なされる土層を、統計的にモデル化する場合、地盤の特性（強度、変形特性等）を、トレンド成分とランダム成分に別けて、モデル化するのが標準的である。なお、ランダム成分は定常確率場により記述できると仮定する。

本研究で取り扱っているデータは、江戸川、利根川、名取川、3地点のコーン貫入試験結果である。この試験では、地盤内で連続的に貫入抵抗、側面抵抗、間隙水圧の3成分が得られており、これを解析した。それぞれのサイトの、4本のコーン試験は、半径5m程度の範囲で高密度に行われている。

モデルパラメータの推定は、最尤法で行い、モデル選択にはAICを用いた。この結果、各サイトの平均値関数(トレンド成分)、ランダム成分の分散及び自己相関距離が、安定的に推定された。今回調査した地点では、砂層で $COV \approx 29(\%)$ 、粘土層で $COV \approx 40\%$ 程度で砂層が粘土層に比べ、ばらつきの少ない層であった。他の事例と比較しても、整合する値が得られた。さらに、自己相関関数の推定を行った。どの層どの地盤でも鉛直成分の自己相関距離に対して水平方向の自己相関距離が2倍近くになっており、地盤の生成過程に起因すると類推される。また、細粒分の多い粘土層やシルト層に比べて砂層の自己相関距離が長くなる結果となった。今回の解析で水平方向の自己相関距離が相対的に短く推定されていることの一つは、調査点間の距離が10m未満であることも影響していると考えられる。

利根川サイトの調査結果を元に、空間的バラツキと統計的推定誤差が設計に与える影響を検討するため、杭の支持力を局所推定及び一般推定で行った。地盤調査地点と近傍では、Krigingを応用した推定値に基づく支持力推定値は、それぞれの近傍の地盤調査結果を反映した支持力があられ、その不確実性も小さい。これに比較して、遠隔点の支持力推定結果は、一般信頼性設計法の結果と一致した。結果は、水平自己相関距離の影響を大きく受け、このパラメータの重要性を示した。

一般信頼性設計では、杭の支持力推定の他、有限要素法とモンテカルロ・シミュレーションを組合せ、浅い基礎の絶対沈下量と不同沈下量に地盤の不均質性が与える影響について、調査した。例題として鉛直方向にのみ不均質性を有する地盤上の円形基礎（軸対称問題）と、3次元地盤上の正方形基礎の問題を取上げた。前者では、絶対沈下量の平均値は、不均質性の増大とともに増大し、そこには変動係数との一定の関係があることを見出した。さらに自己相関距離の影響も調べた。後者では、力学的な不同沈下量と、不均質性に起因する沈下量を評価し、不均質性の影響はそれほど支配的でないこと、不同沈下量のレベルはだいたい経験的な値と一致すること等を見出している。

以上のように、本研究は、地盤構造物の信頼性設計に当たり、局所信頼性設計と一般信頼性設計を明確に区別し、それぞれの設計法における不確実性の取り扱いの違いを定式化し、例題を通じてその違いを明確に示した。このような方法論を明確に使い分けた研究はほとんど見出せず、地盤構造物の設計に重要な視点を加えたと考えられる。

最終試験結果の要旨

本城勇介、八嶋厚、能島暢呂及び神谷浩二で構成する審査委員会は、本論文および別刷り（査読審査付き論文2編を含む主要論文3編、参考論文5編、計8編）などを慎重に検討した。本論文は本人により作成され、学位論文として十分完成された内容を有していることを確認した。また最終試験（公聴会）を、平成21年2月17日午後開催し、審査委員会での審査の結果、合格と判定した。