

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

① 研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	本城 勇介		岐阜大学 工学部		特任教授(予定) (名誉教授)
② 研究 テーマ	名称	道路橋示方書の改定を踏まえた性能設計概念に基づく設計照査手法についての研究開発—特に下部構造物を中心として—			
	政策 領域	[主領域] 【領域4】コスト構造改革	公募	タイプII	
		[副領域] 【領域8】道路資産の保	タイプ		
③ 研究経費 (単位:万円)	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総合計	
※H25は精算金額、H26は受託金額、H27は計画額を記入。端数切り捨て。	814	800	770	2384	
④ 研究者氏名	(研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏名	所属・役職				
大竹 雄	新潟大学 自然科学系 (工学部) 建設学科・准教授				
七澤 利明	(独)土木研究所・上席研究員				
河野 哲也	(独)土木研究所・研究員				
飯島 翔一	(独)土木研究所・研究員				
⑤ 研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。)				
<p>道路橋示方書は、H.23年度改定に引き続き、数年以内に性能設計概念の徹底と、部分係数法による設計照査を全面的に導入した大幅改定が予定されている。本研究はこの改定に備え、この概念と手法を全面的に取り入れた、道路構造物の建設や維持補修のコストの縮減や、合理化を目指した設計照査手法を廻る諸問題に、具体的な解を示すことにより、性能設計の導入の効果が発揮されることを目的としている。</p>					

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでに得られた研究成果や目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。)

本研究では、3つの課題に取り組んでいる。それぞれの課題につき、初年度の研究成果に基づき、2年目(平成26年度)計画策定時に、国総研(カウンターパート)及び共同研究者間で協議し実施を定めたのは、それぞれの課題について、それぞれの表題の下に記した、具体的な内容である。

課題-A: 改定道示の性能設計概念に基づく種々の状況下における下部構造の性能照査

基礎の変位推定精度に着目した、信頼性解析法と部分係数の開発

- (1) 土研が保有する、全国各地で地盤調査データ、原位置試験データ、室内試験データ等を分析し、地盤のひずみレベルに応じた変形係数と、これに基づいた基礎の変位レベルに応じた地盤反力係数の推定式を開発するとともに、地盤調査法等に応じた推定誤差について明らかにする。
- (2) 橋の設計に用いる荷重係数や基礎の安定照査や部材照査に用いる抵抗係数が与えられているという条件下で、(1)で得られた結果に応じて抵抗係数を更新する手法として受託者が提案するモンテカルロシミュレーションに基づく信頼性解析の理論背景及び手順を示すマニュアルを作成する。

課題-B: 既設構造物への性能設計概念に基づく性能照査法の拡張

基礎の設計信頼性が橋の性能に与える影響評価法の検討

基礎の変位の推定精度に応じた信頼性が橋の性能に与える影響の評価法について検討を行う。杭基礎や直接基礎など単純な基礎形式を有する道路橋2橋程度について、L1地震時の設計を念頭に、基礎の変位の不確実性が橋全体系の信頼性に与える影響の評価方法を開発する。

課題-C: 実務者が利用可能な信頼性設計法による改定道示の概念に基づく性能照査法の提示

信頼性設計法により、要求の多様化・高度化に対応した設計例の提示

課題AとBの検討を踏まえて、信頼性解析に基づく部分係数設計法による要求の多様化・高度化に対応した設計法を実務者が自学できるような設計計算例を作成する。

この内課題Aは、その研究成果が道路橋示方書次期改定に直接関係する(道路橋示方書に取り入れられる可能性が高い)ので、もっともプライオリティーの高い研究テーマであると、研究チームは認識しており、道示改定のスケジュールも見据えたタイムリーな結果が必要であるため、本年度(H.26年度)もっとも力を注いだ研究課題である。

最終的な研究成果は、国総研とも協議の結果、課題Aの(1)については、報告書でその研究成果を示す、課題A(2)とCについては、実務技術者学習用テキスト(案)を作成し、報告書に掲載する。課題Bは、その成果を報告書で報告することとしている。なお、報告書で報告した研究成果は、関係者協議の上、出来る限り学会誌等に公表してゆきたいというのが、研究チームの希望である。

以下説明の便宜上、課題A,B及びCを、課題A(1)、課題A(2)とC、及び課題Bに分けて説明する。

⑥これまでの研究経過（前頁から続き）

課題A(1)： 次期道示改定では、信頼性評価に基づく部分係数設計法の導入がメインテーマとなっている。下部構造の設計では、従来地盤の不確実性、特に変形に係る不確実性が極めて大きいことから、大きな安全率を用いて設計を行い、また構築された構造物の信頼性も地盤条件により大きなばらつきがあった。ここで最大のネックとなるのは、標準貫入試験（N値）一辺倒の地盤調査である。既往の研究では、N値は砂地盤の内部摩擦角推定にはある程度の精度を持っているが、ヤング率など変形に関する地盤パラメータの推定には、不向きであることが分かっている。構造物の信頼性を向上させるためには、変形係数を求めるのに適した地盤調査法が多用されるよう、推定精度に応じて定量的に差別化された設計手法の開発が求められる。本研究では土研が有する過去約30年間の道路工事に関する地盤調査結果のデータベースから、設計で用いる変形に関する係数（具体的目標は、ヤング率と杭の水平地盤反力係数）の、地盤調査種別のより精度の高い推定法を、その推定精度を含めて統計解析を主要なツールとして検討した。

ここに今年度までに得られている結果を簡単にまとめる。この結果は、来年度計画を述べる中でさらに詳しく説明されるので、詳細はそちらを参照されたい。

解析の対象となったデータベースは2種類存在する。一つは、同じサイトでN値、一軸試験、三軸試験、LLT(孔内載荷試験)、PS検層が行われたデータベース(DB-A)である。もう一つは、13本の杭の水平載荷試験データである(DB-B)。DB-Bでは、N値とLLTが全てのサイトで得られているが、他の土質試験はなされていない。

解析は2段階で、まず第一段階ではDB-Aに基づき、出来る限り精度の高いヤング率Eの推定方法を検討した。その結果、Eはその歪の-0.5乗に従って低減することを見出し、 $E=A\varepsilon^{0.5}$ という推定式を導入し、当該土層の1%歪に対応するEの値であるA（ E_0 と表記することもある）を精度よく予測できれば、その土層の任意歪に対応するEを推定できるようにした。

$A(=E_0)$ はまた、N値に基づき推定することもでき、この場合砂質土では現行道示のEの推定式($E=700N$)と比較的よく一致するが、粘性土では、現行式の推定精度は非常に低いことも確認している。

この推定された $A(=E_0)$ に基づき、DB-Bを用いて、 $k_H = \alpha E_0 D^{-3/4} (y/(D \times 0.01))^{-0.5}$ により杭の地盤反力係数 k_H を推定することを試みた。ここで杭径の-3/4乗により、杭径の効果を考慮するのは現行道示の式と同様である。本提案では、この他に地盤の影響は E_0 で評価し、さらに杭頭の水平変位 y を杭径の1%で除し、 k_H がヤング率と同様に、-1/2乗の低減則に従って減少すると仮定した。この式の α により、観測値へのこの式のフィッティングを計った。

その結果の詳細は、来年度計画の中に示したが、このアプローチにより地盤調査法別に $A(=E_0)$ の推定精度が異なるので、地盤反力係数もそれぞれに差別化された精度で推定できるようになった。

⑥これまでの研究経過（前頁から続き）

課題A(2)とC：今年度は、表に示すような目次に従うテキストを作成した。その概要は、まえがきにつき、従来信頼性設計法レベル2で実施されてきた部分係数決定法の概要を述べる。ここでの特徴は、従来余り触れられていない、LRFDと材料係数法の設計者にとっての工学的な意味づけを議論している点である。

3章と4章が、本テキスト(案)の本論である。3章では、MCSの基本と、特に実務者にとって重要な、必要計算回数について指針を示している。さらに、効率的にMCSを実施するための工夫が述べられている。4章では、MCSにより設計値法により部分係数を決定する方法が述べられている。従来のFORMよりはるかに簡単で、理解しやすいと思う。

5章では、新しい情報が加わった時の、部分係数更新の方法が述べられている。統計学的には、ベイズ定理に基づき更新を行うのが本筋であると思われるが、この方法は、事前情報や事後情報の精度の設定に未解決の問題も残されているので、本テキストではベイズ法に加えて、全く作業を新しいデータに基づいてやり直すという方法も加えている。

「MCS法を用いた部分係数決定法と更新法(案)」目次

1. はじめに
 - 1.1. 本テキストの目的と要旨
 - 1.2. 部分係数設計法と信頼性設計法
 - 1.3. 荷重抵抗係数法と材料係数法
2. FORMと設計値法
 - 2.1. 設計値法による部分係数の決定
3. MCSによる信頼性解析
 - 3.1. MCSによる破壊確率の評価
 - 3.2. 効率的なMCSの工夫
4. MCSによる部分係数の決定
 - 4.1. MCSによる設計値法に基づく部分係数の決定
 - 4.2. さらに効率的な方法
 - 4.3. 例題
 - (1) $M=R-S$,
 - (2) 道路橋杭基礎の鉛直支持力
 - (3) 抗土圧構造物の例題（作業中）
5. 新しい情報が加わった時の部分係数の更新
 - 5.1. 基本的な考え方：再設定とベイズ更新
 - 5.2. MCSによるベイズ更新
 - 5.3. 例題
 - (1) 載荷試験が実施された場合の杭の支持力推定の更新
 - (2) 新しい杭工法の抵抗係数の再設定
 - 5.4. むすび

課題B： 次の2種類の橋梁を取り上げ、基礎の変位と上部構造物の不具合発生との関係を応答関数で表現することを試みた。

橋梁A：PC3径間連続箱桁ラーメン橋 地盤種別；I種地盤

橋梁B：鋼複合ポータルラーメン橋 地盤種別；II種地盤

応答関数とは、基礎を変位させたとき、上部構造物で照査の対象となる変位や曲げモーメントの応答を、基礎の変位を幾通りかに変化させて求めた計算結果より回帰分析により求めた関数のことである。今年度は上記2橋について、この応答関数を求めることを試みた。

⑦研究成果の発表状況

1. 本城勇介・七澤利明 (2014): 米国道路橋設計基準における荷重抵抗係数設計法(LRFD)の策定経緯と評価, 橋梁と基礎, Vol.48, No.12, pp.26-31.
2. 本城勇介(2015):道路橋の部分係数設計法:欧州と北米の動向(上), 土木施工, Vol.56, No.2, pp.117-120.
3. 本城勇介(2015):道路橋の部分係数設計法:欧州と北米の動向(下), 土木施工, Vol.56, No.3. (印刷中).
4. Honjo, Y. and Y. Otake (2014): Consideration of Major Uncertainty Sources in Geotechnical Design, Proc. of Vulnerability, Uncertainty, and Risk, M. Beer, S. K. Au, and J.W. Hall eds, pp.2488-2497.

関連する発表

5. Otake, Y. and Y. Honjo (2014): A simplified procedure to evaluate the effect of soil variability on geotechnical structures, Proc. of Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, Oka, Murakami, Uzuoka and Kimoto eds, pp.1265-1270,2014.
6. Honjo, Y., and Y. Otake (2014): Is soil spatial variability the most important source of uncertainty in geotechnical design?, Proc. of Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, Oka, Murakami, Uzuoka and Kimoto eds, pp.1271-1276, 2014.
7. 大竹雄, 本城勇介 (2014): 地盤構造物設計におけるモデル化誤差の定量化, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.70, No.2,170-185.
8. 大竹雄・本城勇介 (2014): 地盤構造物設計における変換誤差の定量化, 土木学会論文集(C),Vol.70, No.2,186-198.
9. 本城勇介・大竹雄(2014): 簡易な地盤構造物信頼性解析法の開発と浅い基礎の設計問題への適用, 土木学会論文集C, Vol.70, No.4, 372-388.

⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等を記入。また、研究期間終了後における、研究の継続性や成果活用の展開等をどのように確保するのかについて記述。)

本研究のもっとも勢力を注いでいる主要部分は、次期道路橋示方書改定に当たり、その改定の中で活用されると考えている。それは、信頼性評価に基づく部分係数設計法の導入に当たり、地盤変位(変形)の推定精度が構造物の信頼性に大きく影響することから、精度の高い推定式の開発とともに、地盤調査法の精度に応じて差別化された部分係数の設定方法を提案することである。

⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト、研究としての新規性、アピールポイント等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

本研究が完成した際の最大のインパクトは、本研究成果の主要部分が次期道示改定で採用されれば、地盤調査から地盤の変形(変位)を評価する変換式が道示で変わるという事である。道示のこの変換式(例えば、(ヤング率)=700(N値)(kN/m²)で代表される)は、昭和30年代からの開発の歴史のある式で、我が国では典型的な土質力学の教科書にも登場するほど普及した式である。これを、土研が蓄積してきた道路工事関連の大量の地盤調査結果データベースに基づく解析の結果として提案するので、そのインパクトは大きい。地盤調査から設計で用いるべき地盤定数の値を決定することは、地盤工学の主要課題の一つであり、また性能設計の普及で、変形(変位)が設計で重視されるようになってきている今日、時代の要請に適合した提案であると自負している。さらにこの提案では、先にも述べたように、地盤の変形(変位)を推定するのによりふさわしい地盤調査法への誘導と言う、政策的な仕組みも意識されている。それは異なる地盤調査法を用いたときの部分係数の差別化として具体的に表れる。

また、従来、新たな杭工法を開発し、支持力推定式などの設計式を提案する際に、どの程度の載荷試験が必要で、それによりどの程度の信頼性を有する設計式となるのか、明確に定められた方法がなかった。本研究により提案した方法により、信頼性の概念に基づいて設計式や部分係数を提案することが可能となるため、新工法の開発にも役立つこととなる。