

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成25年度採択)
研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No.25-4	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－	新潟大学 自然科学系 准教授 大竹 雄

本研究は平成28年度に改定が予定される道路橋示方書における性能設計概念の徹底と、合理的な部分係数の決定方法について検討を行い、提案を行ったものである。その成果の主要部分は、改定される道路橋示方書への反映が提案されている。研究内容の概要は以下の通りである。

- 国内外の動向調査に基づいて、部分係数法導入の意義の再確認と、問題点の明確化を行った。
- 耐力計算に比べて相対的に精度が低い変位・変形照査を改善し、性能設計実現のために、土研が蓄積してきた膨大な地盤調査データベースを解析し、地盤変形係数と杭の水平地盤反力係数の新しい推定法を提案した。
- 下部構造物独特の問題について、抵抗係数設定方法を信頼性理論に基づき提案した。具体的には、地盤調査の点数や載荷試験の実施数に応じた部分係数設定方法の提案した。
- 設計実務者が自分で信頼性解析を行うことができるように、マニュアルと例題を作成した。

1. 研究の背景・目的

道路橋示方書は、平成 23 年度改定に引き続き、平成 28 年度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、道路構造物への要求の高度化と多様化への対応、建設や維持補修のコストの縮減等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速やかに発揮されることを目的としている。

2. 研究内容

本研究では、具体的に以下の 4 項目について研究を行った。

- ① 国内外の動向調査に基づく部分係数法導入の意義の再確認と問題点抽出
- ② 地盤変形係数 E と地盤反力係数 kH の推定方法の開発
- ③ 信頼性理論に基付いた下部構造物独特の抵抗係数設定方法
- ④ 信頼性解析のためのマニュアルと例題の作成

3. 研究成果

国内外の動向調査に基づく部分係数法導入の意義の再確認と問題点抽出：

初年度には、米国の AASHTO 道路橋示方書が 1990 年代に荷重抵抗係数法(LRFD)に移行したとき、主導的な役割を果たした Kulicki 博士と、現在 AASHTO 道路橋示方書の地盤構造物関連のコードライターであるワシントン州道路局の Allen 氏を日本に招待し、土研での討論、日米橋梁ワークショップへの参加、学会関連の関係委員会メンバーとの意見交換、道路会議や学会主催の講演会等で、幅広く米国の経験を聞き、意見交換を行った。Kulicki 博士からは、次の諸点を学んだ。

- (1) 橋梁建設全体に投じられる資源量は、LRFD の導入前後でそれほど変化していない。しかしそれらの資源は、異なる橋梁間で、より適切に配分されるようになった。
- (2) 橋梁全体に統一的な安全性に関する尺度を得たので、これを元に、橋梁全体の安全性の昇降を制御できるようになった。これは、橋梁の維持管理・補修において重要な基礎を与えている。その一つの方向性は、LRFR(Load and Resistance Factor Rating)である。

Allen 氏からは、地盤構造物の抵抗係数の決定方法について、米国でも日本と同じ問題に悩んでいること、また米国でそれらの問題をどのようにアプローチし、解決しているかを学んだ。

地盤変形係数 E と地盤反力係数 kH の推定方法の開発：

橋梁基礎の設計では、弾性理論に基づく等価線形解析により基礎の変位が計算される。この等価線形解析の最重要地盤パラメータは E である。 E は、軸差応力-歪関係の割線勾配として定義される指標であり、設計照査で着目する基礎の変位量、地盤のひずみレベルに応じて、本来変化させるべきである。しかしながら、従来の地盤変形係数の推定方法は、それぞれの地盤調査で発生する地盤の歪レベルに無頓着で、着目する地盤のひずみレベルが不明確であり、このことが地盤変形係数の推定ならびに基礎の変位照査の精度を低下させている。そこで、本研究では、各種地盤調査法間関係を理論的に考察した上で、日本全国の橋梁建設地点約六千箇所の地盤調査データに基づいて、地盤変形係数 E の歪レベル依存性について考察した。これらの考察から、各地盤調査からそれぞれ E を汎用的かつ精度良く推定する方法を提案した。

さらに、橋梁基礎の設計では、地盤を地盤反力係数 kH でモデル化し、弾性理論に基づく等価線形解析により基礎変位が計算される。この計算を汎用的かつ精度良く行うためには、着目する変位が基礎に生じたとき、地盤を等価線形弾性体モデルに適切に置き換える必要がある。本研究は、上記の E 推定法の成果を踏まえ、着目する対象基礎の変位レベルと地盤のひずみレベルを関係づける方法を提案する。これにより要求される様々な変位の制限値(照査の対象値)に対して、着目する変位と地盤のひずみの関係から適切な E の推定を経由して、構造物基礎の変位を汎用的

かつ精度よく計算するための kH の設定方法を提示した。

以上のようにして得られた E や kH を用いた場合、現行の方法により推定された場合に比較して、変位の推定精度がどの程度向上するかについても検討し、結果を示した。推定精度は、地盤調査法・土質試験法により異なり、これらを提示することにより、構造物の変位・変形を照査の対象とする場合は、より適切な地盤調査法・土質試験法が選択されるための情報を提示した。

以上の成果は、今年度改定される道路橋示方書への反映が既に提案されている。さらに、下記の2編の論文として土木学会論文集に投稿済である。

- 1) 大竹雄・七澤利明・本城勇介・河野哲也・田辺晶規，地盤調査法とひずみレベルを考慮した設計用地盤変形係数の推定法，土木学会論文集【2016年7月投稿済】
- 2) 大竹雄・七澤利明・本城勇介・河野哲也・田辺晶規，基礎の変位レベルと地盤のひずみレベルを考慮した設計用地盤反力係数の推定法，土木学会論文集【2016年7月投稿済】

信頼性理論に基いた下部構造物独特の抵抗係数設定方法：

下部構造物の部分係数法による設計では、地盤調査の位置と数、載荷試験の実施数等により抵抗係数の設定を適切に行うと言う独特の問題があり、その方法論は確立されているとは言えない。これに対して、次のような検討を行った。

- 既に部分係数が確定している、非常に多く（100例近く）の載荷試験結果が存在する杭工法のデータから、その中の任意数のデータを無作為に抽出する（ブートストラップ法）ことにより、どの程度の試験数があれば、現在設定されている抵抗係数と同程度の値が、安定的に得られるかを調べることにより検討した。
- 実務者に使い易い、モンテカルロ法により信頼性解析と部分係数の値を決定する方法を、例題を含めて示した。
- 当該サイトで、載荷試験が行われた場合の、部分係数の再設定法について、ベイズ統計学の手法を用いて提案した。

信頼性解析のためのマニュアルと例題の作成：

道示改定により性能規定化が進展することを見据えて、実務者が信頼性解析を自分で実施できるように、マニュアルとステップバイステップで計算方法を示した例題を作成した。例題は、橋梁基礎でもっとも頻度の高い、橋脚杭基礎と浅い基礎について作成した。

4. 主な発表論文（研究代表者はゴシック、研究分担者は下線）

本城勇介・七澤利明 (2014)： 米国内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.

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.

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, pp.157-160.

5. 今後の展望

本研究成果を踏まえ、道路橋示方書関連の研究では、次の諸点が重要であると考えられる。

- 平成28年度に道示が改定されると、部分係数設計法の根本的な理解を実務者に促す必要がある。このために、本研究で示した信頼性解析のためのマニュアルや設計例題を最終的な改定内容に帝王させるとともに、ソフトウェアの供給を含めて促進してゆく必要がある。
- 本研究の主要成果である、地盤変位・変形に関連する地盤パラメータの推定方法の提案と、その道示への導入は、その端緒に付いたばかりであり、今後実務者の理解を促し、この提案

が真に有効に機能するような広報活動が必要である。学術誌への論文投稿，土研資料としての公開の他，他の研究者との交流による改善等も視野に入れる必要がある。

- 本研究は一部を除いて，新設構造物を対象としている。北米で荷重抵抗係数法が，既設構造物の維持管理・補修に適用できる荷重抵抗係数評点法(Load and Resistance Factor Rating)に進展したように，改定される道示の部分係数法，しいてはその背後にある信頼性設計法が，既設構造物の維持管理・補修にフレキシブルに適用できる形に，発展させる研究が不可欠であると考えられる。
- 信頼性解析の実務者への普及も，重要な課題である。このための計算例題を含むよい参考図書が必要である。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

本研究の主要部分は，平成 28 年度に大幅な改定が予定されている道路橋示方書の下部構造編への反映が既に提案されている。

橋梁設計においても，従来の外力と抵抗力を比較した終局限界状態の照査に加えて，変位や変形に着目した使用限界状態，あるいは修復限界状態に関する照査を，社会の要求の高度化，多様化に基づいて実施してゆく方向にある。所謂，性能設計の導入である。

従来地盤に関連した設計では，力に基づく終局限界状態の照査が主流で，杭の水平抵抗の照査等，一見変位に基づく照査も存在したが，それは結局，最終的には終局限界状態を照査するものである。従ってそこで設定される地盤反力係数も，発生応力を求めるための便宜であり，真に変位を照査するという意図を持って設定されたものではなかったと考えられる。

本研究は，社会が要求する構造物の性能を出来る限り直接照査の対象として構造物を設計する，と言う性能設計の考え方を具現化するため，道示で 40 年以上基本的な変更の無かった地盤調査結果に基づく地盤変形係数や地盤反力係数の推定法を，抜本的に変更したものである。このような変更により，設計者は，変位をより意識した橋梁下部構造の設計を行うようになり，これは橋梁に対する社会の要求の高度化，多様化への対応に結びつくと考えている。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

特になし