

## 設計モデルのバイアス解析に基づく部分安全係数の算定法と ICT の活用

補強土壁 計測 ICT

防衛大学校 国際 ○宮田喜壽 国際 平川大貴 多田 毅  
岡三リビック 国際 小浪岳治 正 小林悟史  
Royal Military College of Canada R.J. Bathurst

## 1.はじめに

地盤構造物の設計は部分安全係数を用いる信頼性設計法に移行している。その合理的な設定が技術的課題になっている。本文では、実測結果をもとに部分安全係数を算定する方法を示し、ICT を導入することで操作性の向上と低コスト化を図ったモニタリングシステムの概要と現場での適用例を報告する。

## 2. 設計モデルのバイアス解析に基づく部分安全係数の算定法

補強土壁の設計は、補強領域内部の安定性（内的安定性）照査と、補強土壁全体の安定性（外的・全体安定性）の照査から構成される。このうち内的安定性照査では、土中に敷設した補強材に生じる引張り力（補強材力） $T_{max}$  に対し、補強材が引抜けられない、そして破断しないよう補強材の選定と配置を行う。現在設計の照査式を荷重・抵抗係数を用いる限界状態設計法フォーマットで書き直せば、以下のとおりとなる。

$$\phi_R R > \gamma_Q T_{max} \quad (1)$$

$R$ ：補強材の引張り強度あるいは引抜き強度， $\phi_R$ ：抵抗に関する部分安全係数（抵抗係数）， $\gamma_Q$ ：荷重に関する部分安全係数（荷重係数）である。この2種類の係数を合理的に定めるのが技術的課題になっている。

部分安全係数の算定にはいくつかの方法があるが、荷重・抵抗側とも実測値が準備できる限界状態の照査については、実測ベースの部分安全係数算定<sup>1),2)</sup>が合理的と考えられる。著者らは補強土壁を対象に、既往の研究で報告されている補強材力の現場計測結果、引抜き試験結果をデータベース化し、部分安全係数を算定する取り組みを行っている<sup>3)~5)</sup>。その方法では実際の荷重・抵抗値の設計モデル予測値に対する比をバイアスとし、次式で部分安全係数を算定する<sup>1),2)</sup>。

$$\gamma_Q = \mu_Q (1 + n_\sigma \text{COV}_Q) \quad (2) \quad \phi_R = \frac{\gamma_Q M \sqrt{V}}{\exp(\beta_T \sqrt{\ln V})} \quad (3)$$

ここで、 $\mu_Q$ ,  $\mu_R$ ：荷重側・抵抗側それぞれのバイアスの平均， $\text{COV}_Q$ ,  $\text{COV}_R$ ：同じく変動係数， $M$ ,  $V$ ：式(4), (5)で定義される変数， $\beta_T$ ：目標信頼性指標， $n_\sigma$ は荷重をどの程度安全側に見るかの定数である。

$$M = \frac{\mu_R}{\mu_Q} \quad (4) \quad V = (1 + \text{COV}_Q^2)(1 + \text{COV}_R^2) \quad (5)$$

部分安全係数の算定における一連の統計解析では、数多くのデータが必要になる。高い操作性と低コスト化を図った汎用的なモニタリングシステムを開発する必要がある。

## 3. 開発した ICT 活用型計測システムの概要と現場計測事例

ICT を導入することで開発した計測システムの概要を図-1 に示す。将来的に計測データを一元管理することを念頭に開発した。センサー毎に個別の感度調整を行うことが可能で、サンプリング間隔等の設定を遠隔で変更可能である。

今回このシステムを道路構造物として建設された多数アンカー式補強土壁に設置した。盛土材は再生地盤材料で、三軸圧縮試験(CD)によると $\phi=48^\circ$ ,  $c=0$ であった。設計は土研センターマニュアルでなされた。計測の概要を図-2 に示す。A1~F2 までの14点で補強材力を計測した。施工中はデータ送信のためのアンテナが施工の障害となることを考え、ノートパソコンと計測ボックスを耐候ボックスに設置して計測を行い、補強土壁完成後、アンテナを設置して遠隔地でデータを取得した。その後、無線計測の精度確認のため、再度ノートパソコンを計測ボックス内に設置する計測も行った。

計測結果の一例として、補強土壁本体の上端からの深さ  $z=3.5\text{m}$ 、6か所で計測された補強材力の経時変化を図-3 に示す。計測値は上載盛土終了時(EOS)で最も高く、その後ゆるやかに減少して一定値に収束する傾向を示している。設置深さが同じなので、本来計測される補強材力は一定の値となるはずであるが、 $7\text{kN/m}$  から  $15\text{kN/m}$  の間でばらついている。この挙動から、設計でばらつきを扱う必要とできるだけ多くのデータを取得する必要性が明らかである。

施工終了時(EOC)の計測値と著者らによる提案モデル<sup>3)</sup>による推定値の関係を図-4 に示す。ここで著者らの提案モデルは、7つの実物大補強土壁の実測結果を用いて、バイアスの平均が1.0、変動係数が最小になるように係数を定めた経験モデルである。このモデルのキャリブレーション時のバイアス統計量は、 $\mu_Q=1.00$ ,  $\text{COV}_Q=50\%$ であった。今回の計測結果は、当初想定したモデルのばらつきの範囲内といえ、今回計測した補強土壁の挙動をうまく説明できているといえる。現行の設計安全率を参照しながら、このような計測と前章に示したバイアス解析を組み合わせることでより合理的な部分安全係数の算定が可能になるといえる。

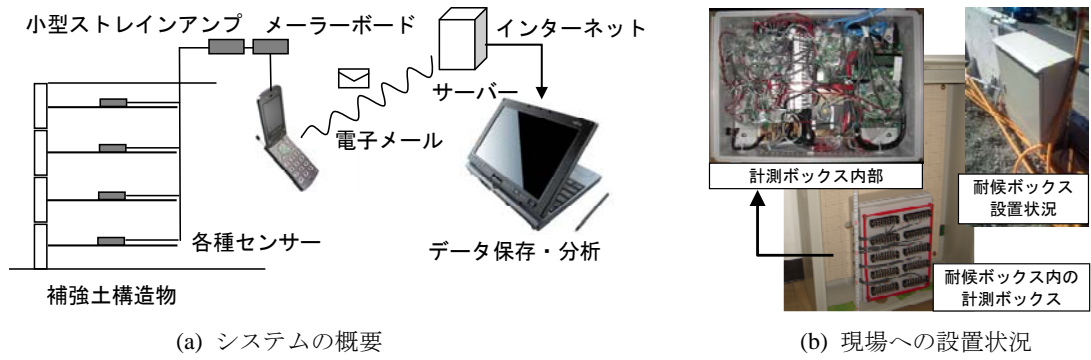


図-1 開発した ICT 活用型計測システム

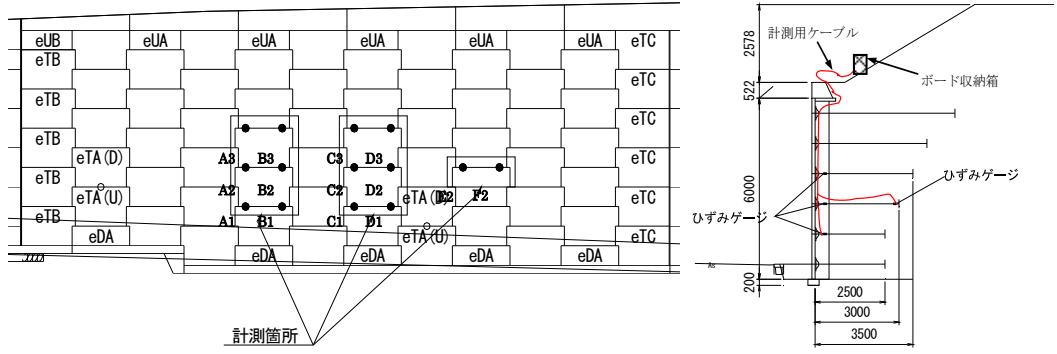


図-2 計測を行った多数アンカー補強土壁の概要

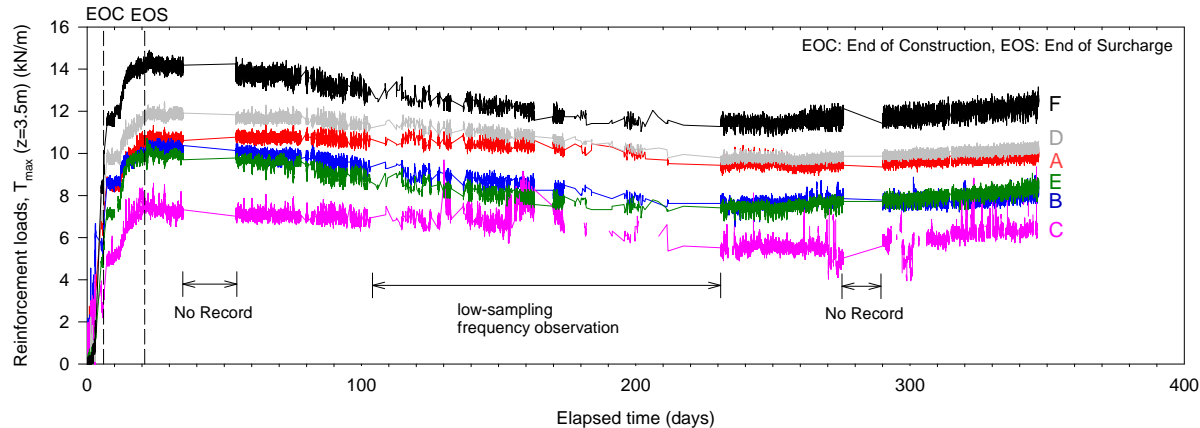


図-3 補強材力の計測結果 (計測位置: 図-2 中 A2, B2, C2, D2, E2, F2)

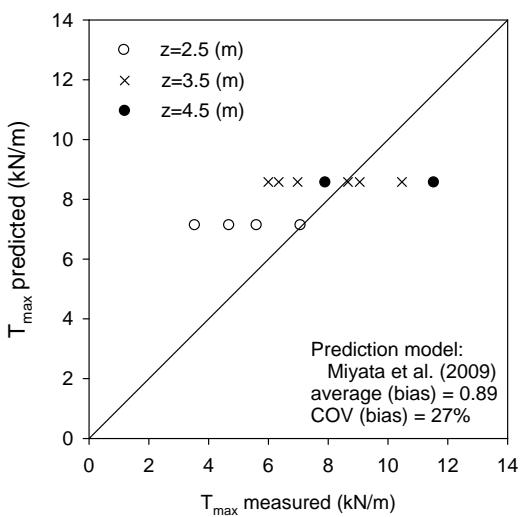


図-4 提案モデルによる推定結果

謝辞: 本研究の実施には文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)21360229の助成を受けました。本計測システムの構築にあたり、東京大学 内村太郎先生と中央開発 王林様には小型ストレインアンプ、九州大学 岡安崇史先生にはメーラーボードに関する技術提供をいただきました。現地計測は、防衛省南関東防衛局と防衛大学校関係者のご理解のもと実施されました。現場では馬淵建設の担当者にご協力をいただきました。以上について文末ながら記して感謝の意を表します。

参考文献: 1) Allen TM, Nowak AS and Bathurst RJ. 2005. Calibration to Determine Load and Resistance Factors for Geotechnical and Structural Design. Transportation Research Board, Circular E-C079. 2) Bathurst RJ, Allen TM and Nowak AS. 2008. Calibration concepts for load and resistance factor design (LRFD) of reinforced soil walls, *Canadian Geotechnical Journal*, 45-10, 1377-1392. 3) Miyata Y, Bathurst RJ and Konami T. 2009. Measured and predicted loads in multi-anchor reinforced soil walls in Japan, *Soils and Foundations*, 49-1, 1-10. 4) Miyata Y, Bathurst RJ, Konami T and Dobashi K. 2010. Influence of transient flooding on multi-anchor walls, *Soils and Foundations*, 50-3, 371-382. 5) 宮田喜壽, Bathurst RJ, 小浪岳治. 2010. 多数アンカー補強土壁の設計における荷重・抵抗モデルの不確定性, 第9回地盤改良シンポジウム発表論文集, 265-270.