Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2024-06-03

On-Site Visualization の手法に基づく計測システムの性能評価の方法

野村, 貢

(Degree)
博士 (工学)
(Date of Degree)
2018-09-07
(Date of Publication)
2019-09-01
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
乙第3355号
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003355

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

（別紙様式３）

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　　野　村　　貢

論文題目（外国語の場合は，その和訳を併記すること。）

On-Site Visualization の手法に基づく計測システムの性能評価の方法

論文枚数　156 枚

要　旨

本論文は，さまざまな土木分野において実施されている現場計測について，その性能を規定あるいは評価する具体的で簡便な方法論がないことを問題意識として，計測システムを性能規定化するために具備するべき要件から説き起こし，性能評価の方法論を提案したものである．

まず第１章では，社会インフラの状況，計測システムの現状から問題となっている事項を明確化し，計測システムを性能評価する方法論の必要性について論じた．合わせて本研究の目的，方法論と構成を説明し，論文全体のガイドとした．

第２章では，具体的に計測システムを性能規定化することを試みた．まず計測システムをその構造から「測定」「判断」「現地での結果表現」の３つのプロセスとそのプロセス間のコミュニケーションであることを説明し，そのコミュニケーション構造から狭義の計測システムと広義の計測システムに分類できることを示した．

本論文では，広義の計測システムを対象とすることを定義し，計測システムの性能規定についての正統性およびその担保，アカウンタビリティの必要性と具体的な要件について，既存の公的アカウンタビリティの研究から説き起こした．さらに，各種設計コードの性能規定化の事例を参照し，３つのプロセスからなる計測システムのシステム階層構造，性能規定および照査アプローチを示し，機能分化した計測システムの各プロセスにおける基本要求性能を明らかにした．

第３章では，具体的に計測システムを性能評価する方法を提案した．ここでは，計測システムの性能評価を行うための構成式を提案し，３つのプロセスが独立して設計できる場合において評点法により各プロセスとその細部項目について評価点を与える方法を提案，それを総合して計測システム全体の性能を表現

する方法について示した．

３つのプロセスのうち，「測定」プロセスにおいては，管理すべき工事現場や斜面などを安全管理の観点から不測の事態が発生する可能性のある独立した最小単位の集合体ととらえ，この最小単位をユニットと呼ぶことを提案した．すなわち，計測機器の配置計画や機器選定などのプロフェッショナルで総合的な行為について，対象物をユニットに分割し，個々のユニットに対して適切な測定が実施されているかをもって評価することを提案した．この方法を用いることにより，プロフェッショナルで総合的な行為であった測定計画について性能表現をもって評価することが可能となった．また，このユニットの考え方が斜面工事や開削トンネル工事などの幅広い対象に対して適用可能であることを説明した．

さらに「測定」プロセスを，適切な対象（ユニット）が抽出されていることの性能，適切な計器が選定されていることの性能，適切な測定時間で計測していることの性能に細分化し，性能呼称をもって評点化することを提案した．

つぎに「判断」プロセスでは，計測値判断を性能評価するための状況レンジを提案した．

最後に「結果表現」プロセスでは，本方法を On-Site Visualization(OSV) の現場で適用することも意識し，情報の最終受領者である避難すべき人への情報提供の質において性能評価を行うことを提案した．これらの評点の区分および合算方法については，製造業や医療分野においてシステムの故障を分析し，改善する手法である FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) を用いて具体的な評価表を提案した．

第４章では，本論文が主に扱う On-Site Visualization(OSV) について，概念とともに従来法との相違，先進性について説明し，簡便な手法を用いた多数計測や組み込みロジックによる待ち時間ゼロの計測結果表現のもつ価値が本方法の可能性としてあることを示した．

第５章では，これまで論じた方法を用いて実際斜面での事例から実用性の確認を行った．この事例では，隣接する仮設斜面において，一方では計測システムの性能が低いために崩壊を引き起こしたことを性能評価の観点から説明した．それを受けて改善されたシステムでは，変状は発生したものの崩壊まで至らせずに問題解決できたことを示し，両斜面の性能の違いを再現設計により評点で示した．合わせて専門家を対象としたケーススタディを実施し，アウトカムなどにより計測システムの総合性能評価を表現するための閾値の提案を行った．

第６章では，トンネル照明器具の落下事故に着目し，OSV において有望なセンサーである MEMS センサーを活用する開発を実施し，その基礎実験から実用化実験に至る過程の説明およびその成果を用いた新しい計測システムの提案を

行った．ここで用いたMEMSセンサーは車両搭載用の汎用センサーである．

まず供用中の道路トンネル坑内に設置された照明器具に，検出可能な振動が発生しているのかを確認するため，現場計測を実施しMEMSセンサー導入の可能性を確認した．その結果，100Mhz程度の低周波数域において，トンネル照明器具は通過車両等による振動を受けて共振しており，この状態を記録し，変化を観察することにより器具の落下前兆を把握することが可能であることを示した．

つぎに，具体的な変状を把握しつつセンサーの検知性能を確認するため，照明器具を実装する専用の実験装置を製作し，制御された強制変位を与えつつ状況変化を観察する方法および照明器具の実稼働解析，FEM解析を実施することで，センサー取付位置の最適化などの実用化試験を実施した．

実験結果としては，MEMSセンサーは十分に実用的であり，4本の照明器具取付けボルトのうち，どのボルトが変状したのかを概ね予測可能であることが知見として得られた．

この実験結果を用いて，トンネル照明器具に計測システムを導入するためのグレード設計，OSVを用いた計測システムにおける各プロセスの試設計を行った．

第7章では，ここまでの議論と実験結果を総括し，第3章において提案した性能評価の方法を用いて計測システムを設計する具体的な方法について示した．また，計測システムを設計，実装していくにあたり，問題解決する方法としてFTA(Fault Tree Analysis)の活用を提案し，参考事例を示した．

また本章では，計測システムの経済性能を評価する方法の提案を行い，パラメータスタディにより経済分析が可能であることを示した．なお，この方法を用いるに当たり，センサーの感度や耐久性，測定後の復帰機能などを総合的に評価するパラメータとして「カバー率」という考え方を提案し，カバー率の変化により計測システムの経済性能が左右されることを示した．

第8章は、第7章までの結論として，計測システムの性能評価方法が確立されたことを説明し，結びとした．

以上

（別紙１）　　　　論文審査の結果の要旨

氏名	野村　貢
論文題目	On-Site Visualization の手法に基づく計測システムの性能評価の方法

審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	教授	芥川　真一
	副　査	教授	澁谷　啓
	副　査	教授	森川　英典
	副　査		
	副　査		印

要　　旨

本論文は，さまざまな土木分野において実施されている現場計測について，その性能を規定あるいは評価する具体的で簡便な方法論がないことを問題意識として，計測システムを性能規定化するために具備するべき要件から説き起こし，性能評価の方法論を提案したものである．

まず第１章では，社会インフラの状況，計測システムの現状から問題となっている事項を明確化し，計測システムを性能評価する方法論の必要性について論じた．合わせて本研究の目的，方法論と構成を説明し，論文全体のガイドとした．

第２章では，具体的に計測システムを性能規定化することを試みた．まず計測システムをその構造から「測定」「判断」「現地での結果表現」の３つのプロセスとそのプロセス間のコミュニケーションであることを説明し，そのコミュニケーション構造から狭義の計測システムと広義の計測システムに分類できることを示した．

本論文では，広義の計測システムを対象とすることを定義し，計測システムの性能規定についての正統性およびその担保，アカウンタビリティの必要性と具体的な要件について，既存の公的アカウンタビリティの研究から説き起こした．さらに，各種設計コードの性能規定化の事例を参照し，３つのプロセスからなる計測システムのシステム階層構造，性能規定および照査アプローチを示し，機能分化した計測システムの各プロセスにおける基本要求性能を明らかにした．

第３章では，具体的に計測システムを性能評価する方法を提案した．ここでは，計測システムの性能評価を行うための構成式を提案し，３つのプロセスが独立して設計できる場合において評点法により各プロセスとその細部項目について評価点を与える方法を提案，それを総合して計測システム全体の性能を表現する方法について示した．３つのプロセスのうち，「測定」プロセスにおいては，管理すべき工事現場や斜面などを安全管理の観点から不測の事態が発生する可能性のある独立した最小単位の集合体ととらえ，この最小単位をユニットと呼ぶことを提案した．すなわち，計測機器の配置計画や機器選定などのプロフェッショナルで総合的な行為について，対象物をユニットに分割し，個々のユニットに対して適切な測定が実施されているかをもって評価することを提案した．この方法を用いることにより，プロフェッショナルで総合的な行為であった測定計画について性能表現をもって評価することが可能となった．また，このユニットの考え方が斜面工事や開削トンネル工事などの幅広い対象に対して適用可能であることを説明した．

氏名	野村　貢

さらに「測定」プロセスを，適切な対象（ユニット）が抽出されていることの性能，適切な計器が選定されていることの性能，適切な測定時間で計測していることの性能に細分化し，性能呼称をもって評点化することを提案した．

つぎに「判断」プロセスでは，計測値判断を性能評価するための状況レンジを提案した．最後に「結果表現」プロセスでは，本方法を On-Site Visualization(OSV) の現場で適用することも意識し，情報の最終受領者である避難すべき人への情報提供の質において性能評価を行うことを提案した．これらの評点の区分および合算方法については，製造業や医療分野においてシステムの故障を分析し，改善する手法である FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) を用いて具体的な評価表を提案した．

第４章では，本論文が主に扱う On-Site Visualization(OSV) について，概念とともに従来法との相違，先進性について説明し，簡便な手法を用いた多数計測や組み込みロジックによる待ち時間ゼロの計測結果表現のもつ価値が本方法の可能性としてあることを示した．

第５章では，これまで論じた方法を用いて実際斜面での事例から実用性の確認を行った．この事例では，隣接する仮設斜面において，一方では計測システムの性能が低いために崩壊を引き起こしたことを性能評価の観点から説明した．それを受けて改善されたシステムでは変状は発生したものの崩壊まで至らせずに問題解決できたことを示し，両斜面の性能の違いを再現設計により評点で示した．合わせて専門家を対象としたケーススタディを実施し，計測システムの総合性能評価を行うための閾値の提案を行った．

第６章では，トンネル照明器具の落下事故に着目し，OSV において有望なセンサーである MEMS センサーを活用する開発を実施し，その基礎実験から実用化実験に至る過程の説明およびその成果を用いた新しい計測システムの提案を行った．ここで用いた MEMS センサーは車両搭載用の汎用センサーである．まず供用中の道路トンネル坑内に設置された照明器具に，検出可能な振動が発生しているのか現場計測を実施し，MEMS センサー導入の可能性を確認した．その結果，100Mhz 程度の低周波数域において，トンネル照明器具は通過車両等による振動を受けて共振しており，この状態を記録し，変化を観察することにより器具の落下前兆を把握することの可能性を示した．具体的な変状を把握しつつセンサーの検知性能を確認するため，照明器具を実装する専用の実験装置を製作し，強制変位を与えつつ状況変化を観察する方法および照明器具の実稼働解析，FEM 解析を実施することで，センサー取付位置の最適化などの実用化試験を実施した．実験結果としては，MEMS センサーは十分に実用的であり，４本の照明器具取付けボルトのうち，どのボルトが変状したのかを概ね予測可能であることが知見として得られた．この実験結果を用いて，トンネル照明器具に計測システムを導入するためのグレード設計，OSV を用いた各プロセスの試設計を行った．

第７章では，ここまでの議論と実験結果を総括し，第３章において提案した性能評価の方法を用いて計測システムを設計する方法について説明した．また，計測システムを設計，実装していくにあたり，問題解決する方法として FTA(Fault Tree Analysis) の活用を提案し，参考事例を示した．また本章では，計測システムの経済性能を評価する方法の提案を行い，パラメータスタディにより経済分析が可能であることを示した．なお，この方法を用いるに当たり，センサーの感度や耐久性，測定後の復帰機能などを総合的に評価するパラメータとして「カバー率」という考え方を提案し，カバー率の変化により計測システムの経済性能が左右されることを示した．

第８章は，第７章までの結論として，計測システムの性能評価方法が確立されたことを説明し，結びとした．

以上のような構成からなる本論文によって，On-Site Visualization のコンセプトに基づくモニタリングシステムの戦略的設計論の基礎が提示され，要求する安全性の度合い，コスト，システムの信頼性，期待できるリスク低減の定量的評価などを議論する土台が構築された．これによって，これまで単発的に実施されてきた工事現場，供用中のインフラや自然斜面などの性能評価，安全性評価，リアルタイム情報共有のシステム設計がプロのレベルで実務的に展開可能となることが示され，これは我国の国土保全，国民の安全，安心向上に多大に寄与するばかりでなく，国際的なフィールドにおいても大いに貢献できることができる．提出された論文は工学研究科学位論文評価基準を満たしており，学位申請者の野村貢は，博士（工学）の学位を得る資格があると認める．