

日本学士院賞 受賞者 村上 章



略歴	生年	専攻学 科目	受賞者
昭和三十一年四月	昭和三十一年四月	農業農村工学・地盤工学	村上 章
昭和五三年三月	昭和五三年三月	京都大学農学部農業工学科卒業	
昭和五五年三月	昭和五五年三月	京都大学大学院工学研究科修士課程修了	
同五五年四月	同五五年四月	兵庫県庁入庁	
同五七年四月	同五七年四月	京都大学農学部助手	
平成三年五月	平成三年五月	農学博士	
同四年四月	同四年四月	米国コロラド大学ボルダー校客員研究員（平成四年一〇月まで）	
同六年一〇月	同六年一〇月	京都大学農学部助教授	
同一年一〇月	同一年一〇月	岡山大学環境理工学部教授	
同二一年一〇月	同二一年一〇月	京都大学大学院農学研究科教授（令和三年三月まで）	
同二八年六月	同二八年六月	（公社）地盤工学会会長（平成三〇年六月まで）	
同三〇年五月	同三〇年五月	（公社）農業農村工学会会長（令和二年五月まで）	
同三一年四月	同三一年四月	京都大学大学院農学研究科長・農学部長（令和二年九月まで）	
令和二年一〇月	令和二年一〇月	京都大学理事・副学長（現在に至る）	
同三年四月	同三年四月	京都大学名誉教授	

農学博士村上 章氏の「カルマンフィルタによる逆解析法の展開と地盤工学への応用に関する研究」に対する授賞審査

要旨

作物の正常な生育を保証するためには灌漑排水が必要であり、このためには、ダム・ため池・水路・堤防・トンネル・ポンプ場などの水利施設は欠かせない。これらの水利施設を正常に機能させるためには、施設が立地する地盤の工学的知見、とくに、水利施設築造に伴う地盤変形の予測と安全性の確保が大切である。

地盤は土骨格・間隙水・空気の三相から成る多孔質混合体である。地盤工学の分野では、地盤の基本的モデルとして、空隙が間隙水で満たされた飽和土の「応力の釣り合い」と「土中水の流れ」を記述する連立偏微分方程式（数理モデル）が採用されている。この連立偏微分方程式の解析解が得られないため、有限要素法により偏微分方程式を境界条件のもとで数値的に解くことにより、地盤の挙動を予測している。したがって、実際の土構造物は、実験によらず数値モデルを用いたシミュレーションによる変形予測に基づいて設

計される。

ここで問題となるのは、この数値モデルに含まれる地盤定数や、初期条件・境界条件の不確定性である。土構造物の構築は計画・設計・施工の三段階で実施され、通常の計画・設計段階において地盤定数は地盤中から採取したボーリング試料を用いた室内試験により決定される。地盤は、本来極めて不均質・複雑であり、限られた場所の地盤定数による施工後の予測が、実際の挙動を反映しない場合も少なくない。基礎式の緻密さに対して、室内試験による地盤定数の精度がバランスしていない。

村上 章氏は、約四〇年前、施工中の観測値を入力とした逆解析により不確定な地盤定数や初期条件・境界条件を設定し直し、その値を用いて将来予測を行う「カルマンフィルタ・有限要素法」を提案した。カルマンフィルタによる逆解析が正則化という統計量を含むことにより、観測点数より多い複数の定数が同定できることに着目したものである。同氏が発案したこの方法は、ある時点までに得られた観測値を再現（内挿）する地盤定数や初期条件・境界条件を同定し、この同定値を用いたシミュレーションにより、将来の値（外挿）の推定精度とその尤度（尤もらしさ）を飛躍的に向上させた。すなわち、これまで実務者間では地盤定数は定数と考えられ、

研究者間では定数の変化は予測されたものの具体的な値は明らかにされていなかったが、同氏は地盤定数の時間的変化を明らかにすることに初めて成功した。

村上氏の発案した方法は、地盤沈下のみでなく、ダム漏水量の予測（異常と判断される場合にはあらかじめ放水して堤体にかかる圧力を減少）、高水圧化のトンネルの掘削速度の調整、地盤中の空洞の有無・場所・形状等の推定法など、地盤災害予知に多くの道を拓いた。同氏の発案した有限要素法を組み込んだ非線形カルマンフィルタによる逆解析は近年では「データ同化」と呼ばれ、広範な分野で発展し、利用されている。

村上氏の開発した手法は幾多の実際問題で利用されている。農林水産省では全国ダム安全性評価事業（再現解析）に用いられ、近畿農政局東播用水事業（吞吐ダム）の安全管理プログラムに用いられた。東北農政局かんがい用貯水池（沖富調整池）基礎地盤における真空圧密工法の設計・施工管理に応用し、その有効性を確認した。また、九州農政局軟弱地盤におけるパイプラインの埋設施工や中国四国農政局開水路開削等による近接施工を対象に、背後地盤パラメータのデータ同化による新たな管理基準値・リスク評価手法を考案し、沈下量評価に有効であることを立証した。その他フィルダ

ム（福岡県）、JRRリニア中央新幹線（山梨工区トンネル切羽）、掘削・山留め施工など多くの事業の設計と施工管理に用いられている。

特に、神戸空港人工島基礎地層について、旧海底面の沈下計で記録された観測値をもとに、人工島直下にあるサンドドレーン改良域の圧縮指数および透水係数の同定に適用しそのパラメータを用いて有限要素法による将来予測を行い、当初設計値から予測精度が大幅に向上することを明らかにした。また、この手法を用いた長期予測にも成功を収め、管理主体である神戸市の施工管理に利用されている。さらに、変形観測から構成モデルと物性パラメータを同時に同定する新手法を考案するとともに、従来の解析法では困難であった側方変形の解明を可能にした。

以上のように、村上氏は、一九八〇年代半ばに、世界に先駆けて「カルマンフィルタ・有限要素法」を発案し、地盤定数の推定精度を飛躍的に向上させ、地盤変形の予測精度を格段に向上させた。一方、この手法を地盤変動の予知問題に適用し、災害回避に貢献できることも提案した。これらの方法は単に研究にとどまることなく、幾多の実際問題に適用され社会に貢献している。さらに、上述した数々の研究業績は、農学・工学における逆解析に新たな道を拓くとともに、関係諸学会でも高く評価され多くのハンドブックなどに引

用されている。

これらの研究成果は誠に顕著であり、国の内外で高い評価を受け、土木学会論文賞、地盤工学会研究業績賞、農業農村工学会優秀論文賞、地盤工学会論文賞（四回）、日本農業工学会賞、土木学会応用力学功績賞、International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Excellent Contributions Awardなどが授与されている。

主要な著書・論文の目録

【著書】

1. 村上 章編（2000）土木工学における逆問題入門、丸善。
2. 村上 章・登坂宣好・堀 宗朗・鈴木 誠（2002）有限要素法・境界要素法による逆問題解析―カルマンフィルタと等価介在物法の応用―、コロナ社。

【論文】

1. Murakami, A. and Hasegawa, T. (1985) Observational prediction of settlement using Kalman filter theory, *Numerical Methods in Geomechanics* (Kawamoto, T. and Ishikawa, Y. eds.), **3**, 1637-1643.
2. 村上 章・長谷川高士（1985）Kalman フィルタを用いた圧密沈下量の観測的予測、農業土木学会論文集、**1110**、六一―六七。
3. 長谷川高士・村上 章（1986）Kalman フィルタによるダム漏水量の予測―ダムの安全管理―、農業土木学会論文集、**1116**、一一八。
4. 村上 章・長谷川高士（1987）Kalman フィルタ有限要素法による逆解

析と観測節点配置、土木学会論文集、**388**、一二七―一二五。

5. 長谷川高士・村上 章（1989）ダム安全管理のための挙動把握方法とその適用、大ダム、**117**、四八―五四。
6. 長谷川高士・村上 章（1989）盛土の安全管理に係わる逆解析、大ダム、**110**、四五―四八。
7. 村上 章・長谷川高士（1990）逆解析結果による盛土基礎の安全管理、土木学会論文集、**4114**、一二三―一二四。
8. 村上 章・長谷川高士（1992）構造工学・地盤工学におけるKalman フィルタの適用、農業土木学会論文集、**158**、一二九―一二八。
9. 長谷川高士・村上 章（1992）ダム挙動解析における逆解析手法の適用、ダム工学、**5**、一二―二一。
10. Murakami, A. and Hasegawa, T. (1993) Application of Kalman filtering to inverse problems, *Theoretical & Applied Mechanics*, **42**, 3-14.
11. 長谷川高士・村上 章・浜口俊雄（1994）拡張Kalman フィルタによる地下水モデルのパラメータ同定と地下水位変動量評価による揚水量決定、土木学会論文集、**505**、一九七―三〇五。
12. Hamaguchi, T., Hasegawa, T. and Murakami, A. (1995) Inverse analysis method for groundwater flow model with variable boundary, *Theoretical & Applied Mechanics*, **44**, 231-236.
13. 村上 章（1996）地盤工学における逆問題解析、計算工学、**1**、二八一―三三五。
14. Elshazly, H., Hasegawa, T. and Murakami, A. (1997) An engineering identification for curvilinear hysteretic systems excited by varying amplitude dynamic loading, *Inverse Problems in Engineering*, **4**, 177-208.
15. 浜口俊雄・村上 章・長谷川高士（1997）平面解析で移動境界を考慮した地下水モデルと逆解析への応用、土木学会論文集、**568**、一三三―一四五。
16. 浜口俊雄・村上 章・長谷川高士（1997）固定要素網内に移動境界を考

- 慮した単相問題逆解析、構造工学論文集、四三A、四六一―四六八。
17. Elshazly, H., Hasegawa, T. and Murakami, A. (1997) Response prediction of earth structures to future earthquake based on nonlinear system identification by the VAI method, *Inverse Problems in Engineering*, **5**, 113–144.
18. Murakami, A. (1997) Application of inverse analyses to engineering problems, *Theoretical & Applied Mechanics*, **46**, 25–38.
19. 西村直志・村上 章 (1997) 最近の逆解析の話題—ひまわりとあまのこ逆解析—、土木学会誌、八二、一一一―一四。
20. Murakami, A. (2002) The role of Kalman filtering in an inverse analysis of elastoplastic material, *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, **78**, 250–255.
21. 小林範之・村上 章・菊池喜昭・古武美孝 (2002) 杭の水平載荷試験による多層地盤の横方向地盤反力係数の逆解析、農業土木学会論文集、一一三、五五―六一。
22. Nishimura, S., Nishiyama, T. and Murakami, A. (2005) Inverse analysis of soft grounds considering non-linearity and anisotropy, *Soils and Foundations*, **45**, 87–96.
23. Kobayashi, N., Shibata, T., Kikuchi, Y. and Murakami, A. (2008) Estimation of horizontal subgrade reaction coefficient by inverse analysis, *Computers and Geotechnics*, **35**, 616–626.
24. Hommel, A., Murakami, A. and Nishimura, S. (2009) A comparison of the Ensemble Kalman filter with the unscented Kalman filter: Application to the construction of a road embankment, *GEO International*, Jan. 2009, 52–54.
25. 村上 章・西村伸一・藤澤和謙・中村和幸・樋口知之 (2009) 粒子フィルタによる地盤解析のデータ同化、応用力学論文集、二二、九九―一〇五。
26. 珠玖隆行・村上 章・西村伸一・藤澤和謙・中村和幸 (2010) 粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化、応用力学論文集、二二、六七―七七。
27. Murakami, A., Wakai, A. and Fujisawa, K. (2010) Numerical methods, *Soils and Foundations*, **50**, 877–892.
28. 珠玖隆行・西村伸一・村上 章・西村有希・藤澤和謙 (2011) データ同化に基づいた信頼性解析法による土構造物の性能照査、地盤工学ジャーナル、六、四一五―四二六。
29. 珠玖隆行・村上 章・藤澤和謙・西村伸一 (2011) 地盤解析におけるデータ同化、地盤工学会誌、五九、八―一。
30. Shuku, T., Murakami, A., Nishimura, S., Fujisawa, K. and Nakamura, K. (2012) Parameter identification for Cam-clay model in partially loading tests using the particle filter, *Soils and Foundations*, **52**, 279–298.
31. Murakami, A., Shuku, T., Nishimura, S., Fujisawa, K. and Nakamura, K. (2013) Data assimilation using the particle filter for identifying the elasto-plastic material properties of geomaterials, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **37**, 1642–1669.
32. 西村伸一・珠玖隆行・西村友希・藤澤和謙・村上 章 (2012) 粒子フィルタを用いた軟弱地盤の残留沈下予測、土木学会論文集、六八、一〇三―一〇四。
33. 新村隼人・片岡資晴・村上 章・大野進太郎・藤澤和謙 (2012) 粒子フィルタによる土の弾塑性モデルパラメータ同定、土木学会論文集、六八、一〇三―一〇四。
34. 若林 孝・村上 章・珠玖隆行 (2012) データ同化による近接施工のリスク評価、農業農村工学会論文集、二八、五一―六一。
35. 若林 孝・珠玖隆行・村上 章・田口清隆 (2013) 小規模工事を対象にした残留沈下対策の意思決定、農業農村工学会論文集、二八、八一―九一。
36. Shibata, T., Murakami, A. and Fujii, M. (2014) Prediction of embankment behavior of regulating reservoir with foundation improved by vacuum consolidation

- tion method, *Soils and Foundations*, **54**, 938–954.
37. 中畑和之・辻田篤史・藤澤和謙・村上 章 (2018) 粒子フィルタによる欠陥の位置と大きさの推定のための弾性散乱振幅の導入, 土木学会論文集A二(応用力学)『ヤ図』1_75-1_84°.
38. Murakami, A., Shimamura, H., Ohno, S. and Fujisawa, K. (2018) Model identification and parameter estimation of elasto-plastic constitutive model by data assimilation using the particle filter, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **42**, 110–131.
39. Shibata, T., Shuku, T., Murakami, A., Nishimura, S., Fujisawa, K., Hasegawa, N. and Nonami, S. (2018) Prediction of long-term settlement and evaluation of pore water pressure using particle filter, *Soils and Foundations*, **59**, 67–83.
40. Koch, M., Fujisawa, K. and Murakami, A. (2019) Adjoint Hamiltonian Monte Carlo algorithm for the estimation of elastic modulus through the inversion of elastic wave propagation data, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Engineering*, **121**, 1037–1067.
41. Takamatsu, R., Fujisawa, K., Nakahata, K. and Murakami, A. (2020) Shape detection of multiple subsurface cavities by particle filtering with elastic wave propagation, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **44**, 2025–2041.
42. Koch, M., Fujisawa, K. and Murakami, A. (2020) Novel parameter update for a gradient based MCMC method for solid-void interface detection through elastodynamic inversion, *Probabilistic Engineering Mechanics*, **62**, 103097.
43. Tanenaga, E., Fujisawa, K. and Murakami, A. (2021) Identification of material parameters by particle filter using observation data obtained during construction of rock-fill dam, *International Journal of Geotechnical Case Histories*, **6**, 76–94.