

粒子の「転がり」と「すべり」が決める土の「強さ」

社会基盤工学・計算科学分野・教授 菊本 統

はじめに

地盤の変形や破壊をどのように予測するか。私たちが用いる解析法は、大きく二つに分けられます。一つは、個々の土粒子を一つずつ直接モデル化する手法で、個別要素法が代表的です。粒子レベルの運動を詳細に再現できる反面、実際の工学的問題において全ての粒子をモデル化するのは煩雑で、主としてメカニズムの理解に用いられます。もう一つは、土粒子の集合を連続体として近似する手法で、有限要素法などがこれに当たります。こちらは実務まで広く用いられますが、本来は離散体である地盤の応答を連続体の範疇で適切に表現できるモデル、すなわち構成則の巧みな定式化が鍵になります。

離散体ならではの現象を記述する連続体のモデル

私は、土粒子群の離散体らしい挙動を連続体の構成則で記述することに関心を持ち、モデルの開発を進めてきました。具体的な取組みの一例として、土粒子の破碎や乾湿風化（スレーキング）によって変化する粒子特性を、連続体の枠組みの中で表現するモデルの開発を行いました。ここでは、粒度（粒径とその配合）を媒介変数として取り入れることで、粒子破碎やスレーキングを生じる土の特徴的な力学応答をある程度、再現しました¹⁾。しかし、粒子破碎や乾湿風化を受ける土の様子を丁寧に観察すると、変わるのは粒度だけではありません。図1、2に示すように粒子の形状、たとえば角張り具合や偏平度²⁾³⁾、さらには表面の粗さも刻々と変化し、それらが土の力学特性に影響を及ぼします。

全粒子のマイクロ応答を捕捉する二軸せん断試験：丸い粒子と角張った粒子のマイクロ・マクロ応答の違い

粒子形状に着目した従来研究の多くは、粒子特性の異なる試料で要素試験を行い、マクロな応力ひずみ関係の違いを比較するにとどまっていた。しかし、マクロな応答を本当に支配しているのは粒子レベルのマイクロな挙動、すなわちひとつひとつの粒子の移動や接触、回転であり、それらを直接捉えなければメカニズムの理解は進みません。

この課題に対して、私のグループでは思い切り単純化した実験を実施してきました。具体的には、様々な断面を持つアルミ棒を積み重ねた二次元粒状体の二軸せん断試験（図3）を行い、全ての粒子の試験中の移動・接触・回転を完全に捕捉できる実験・分析技術を整備しました。これによって、粒子形状がマイクロな応答にどのように影響し、その積み重ねとしてマクロな応力ひずみ特性がどのように決定づけられるのかを、同

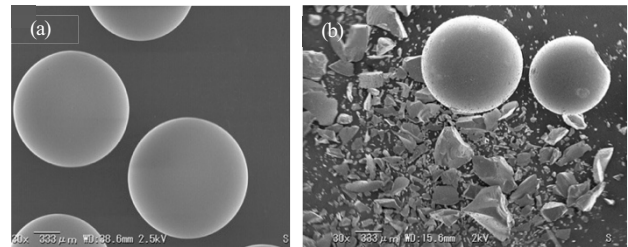


図1 破碎による粒状体の粒子形状の変化の例²⁾

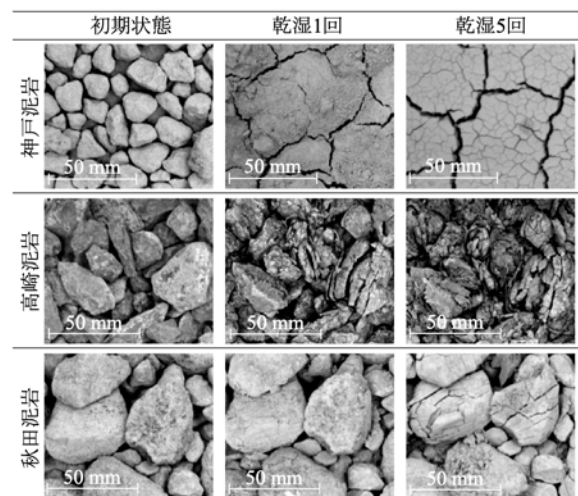


図2 泥岩由来の盛土材の乾湿繰返しによる多様な細粒化

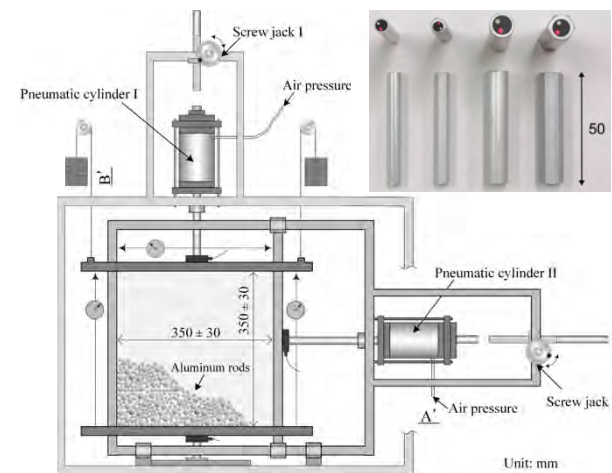
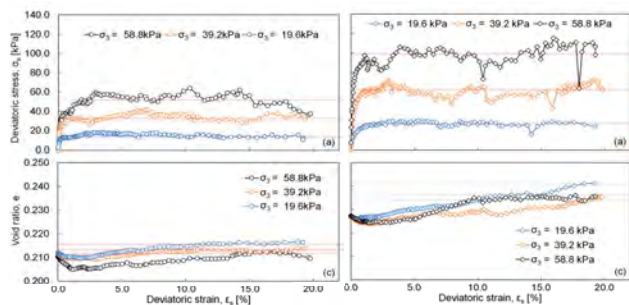
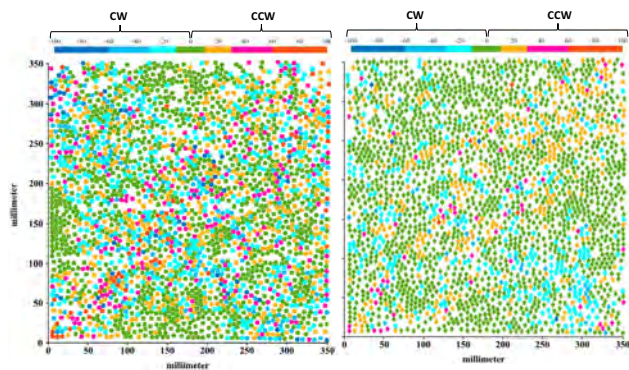


図3 粒子特性が異なる2次元粒状体の二軸せん断試験⁴⁾

一の試験の中で観察できるようになりました。さらに、近年は粒径に加えて形状や表面特性が粒状体の応答に与える影響を、実験と解析を組み合わせることで系統的に調査しています。

実験結果の一例を紹介します。材質・表面特性・粒度分布はまったく同じで、粒子形状だけ真円と六角形に変えた粒状体の二軸せん断試験を行いました⁴⁾。摩擦係数が同じ材料であっても、得られる応答は大きく異なり、六角形の粒状体は真円の

図4 円形粒子（左）と六角形粒子（右）の応力 - ひずみ関係⁴⁾図5 円形粒子（左）と六角形粒子（右）の回転量分布⁴⁾

粒状体に比べて、限界状態において41%高いせん断強度を示しました（図4）。一方、ミクロな粒子レベルで運動を分析すると、真円粒子はせん断時により顕著に回転（転がり）しており、平均的な絶対回転量は六角形粒子に比べて48%大きくなることがわかりました（図5）。

転がりとすべりが支配する摩擦エネルギー消散と限界強度

この差を生むメカニズムは直観的です。丸い粒子は回転しやすく、粒子間の相対移動は“すべり”よりも抵抗の小さい“転がり”で起こりやすくなります。転がりによって相対移動しやすい粒子間では摩擦エネルギーの消散が小さく、粒状体全体としては少ないエネルギーで変形できてしまう、言い換えれば見かけの強度が低くなります。一方で角張った粒子は回転が抑制されるため、相対移動には摩擦を伴う“すべり”が必要で、エネルギーが多く消費されます。結果として、外力はより多くの仕事を粒状体に与えなければならず、強度が高く現れるのです。これは図6のような自転車のブレーキに喩えると分かりやすいでしょう。ブレーキをかければ車輪の回転（転がり）が抑制されて、タイヤと地面の間で“すべり”の摩擦が強くなり、運動エネルギーが大きく消散するために自転車は止まります。土にブレーキはありませんが、角張った粒子は回転が抑えることで摩擦すべりが増え、エネルギー消散が増して強度が高まるというわけです。私たちは、このメカニズムを粒子レベルのデータに基づいて実験的に確認しました。

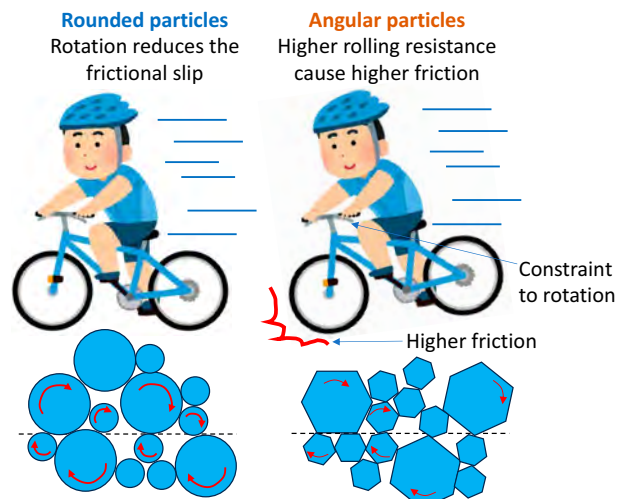


図6 自転車のブレーキと粒子形状：回転の拘束効果

おわりに

私のグループで最も基礎的な研究テーマをご紹介しました。最近では、扁平な楕円断面の粒子や、表面が粗い粒子など、形状と表面の多様性を広げて実験を進めています。こうした基礎的な観察と分析を一つずつ積み重ね、粒の世界での現象を連続体のモデル、すなわち構成則に丁寧に落とし込むことで、実務で使える予測力の高いモデルの実現を目指しています。並行して数値シミュレーションも用い、実験で見えたメカニズムの力学的な意味付けを進めています。地味にも見える作業ですが、現象の筋道の一つずつ確かめ、説明できるようにすることが、最終的に信頼できる設計や評価につながると信じて、学生や共同研究者と日々楽しく研究に取り組んでいます。

最後に、本研究は前任校から継続してきたテーマであり、横浜国立大学の崔 瑛 准教授、JSPS 外国人特別研究員の Usman Ali 博士、そして横浜国立大学の卒業生諸君の協力によって実現してきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Kikumoto, Muir Wood and Russell. 2010. Particle crushing and deformation behaviour. *Soils Found.* 50(4), 547-563.
- 2) Allaev and Kikumoto. 2024. Investigating crushing-induced particle shape change in granular material, *Proc. 7th Int. Conf. on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, 083.
- 3) Kikumoto, Putra and Fukuda. 2016. Slaking and deformation behavior. *Géotechnique* 66(9), 771-785, 2016.
- 4) Ali, Kikumoto, Ciantia, Previtali and Cui. 2023. Experimental micro-macromechanics: particle shape effect on the biaxial shear response of particulate systems, *Géotechnique* 74(13), 1609-1621.
- 5) Ali and Kikumoto. 2025. Role of particle shape in sheared granular media: roundness and elongation. *Powder Technology* 449, 120436.

Particle Methods - Merits, Challenges and Future Perspectives

社会基盤工学・応用力学講座分野・准教授 Khayer Abbas

Introduction

The Lagrangian meshfree or so-called particle methods are recognised as new generation computational methods due to their flexibility and potential robustness in reproducing natural phenomena including those linked to extreme events such as violent fluid-structure interactions during typhoons, earthquakes, landslides, floods, etc. This class of computational methods consider governing equations describing the physics of a continuum in the Lagrangian framework and use moving calculation points, i.e., particles, to discretise the continuous differential equations into algebraic ones. Collocated particle methods such as SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) or MPS (Moving Particle Semi-implicit) methods consider local kernel-based interpolations to solve for the physical fields and their variations at the computational points¹⁾. In this brief article the *merits, challenges, the state-of-the-art and future perspectives* corresponding to particle methods, specifically SPH and MPS methods, are briefly discussed.

Merits

The merits of SPH and MPS mainly correspond to their Lagrangian and meshfree features, as well as their rigorous mathematical-physical backgrounds. Both methods can be used to discretise and solve the Partial Differential Equations (PDEs) describing physics of different continua such as fluid, structure and soil as well as their interactions. These methods are, in particular, well-suited for problems involving largely moving interfaces (such as fluid-structure interactions), free-surfaces (as in case of violent free-surface fluid flows), and large deformations (as in case of highly deformed structures experiencing plastic deformations and possibly cracks and failures). Specifically, if entirely SPH or MPS-based coupled solvers are developed to reproduce fluid-structure, fluid-soil or fluid-structure-soil interactions, the reliability and efficiency of computations can be better ensured due to integration of methods of the same class, effective enforcement of interface compatibility conditions, accurate multi-resolution schemes, effective parallelisation and GPU-based implementations. Certainly, in such cases multi-phase flows, such as fluids comprising air-water flows as in case of aerated wave impact on coastal structures or wave impacts with air entrapment, can also be reliably modelled. Concurrently, Fluid-Structure Interaction (FSI)

solvers established in the context of particle methods can potentially model detailed structural responses comprising elastic and inelastic ones including fracture/damages in a physically consistent and precise manner. Therefore, the particle methods, including SPH and MPS have substantial potential to reproduce physical phenomena including those considered in design conditions, e.g., extreme events, for reliable and resilient designs of, e.g., coastal/ocean structures.

Challenges

The challenges related to particle methods including SPH and MPS can be categorised into several distinct categories. One category of the challenges corresponds to numerical instabilities, some solely attributed to these methods, e.g., the so-called tensile instability, characterised by growth of unphysical perturbations in tensile stress states. The collocated nature of SPH and MPS may also bring about the so-called zero-energy modes or rank deficiency, characterised by spurious energy modes and accordingly inaccuracies/instabilities in dynamics and kinematics of the system. As a result, during the past two decades continued efforts have been made by research groups worldwide to effectively eliminate or mitigate such instabilities. The state-of-the-art of particle methods clearly shows great enhancements in this regard and nowadays effective stabilisation schemes, including Riemann-based ones²⁾, have been developed to stabilise the system with minimum required numerical dissipation to unconditionally ensure stability.

Another category of the challenges is linked to computational efficiency of SPH or MPS simulations. Specifically, for MPS and Incompressible SPH (ISPH), the rigorous mathematical decomposition (Helmholtz-Leray decomposition)¹⁾ and resulting projection-based background of these two methods, necessitates the solution to a set of global simultaneous linear equations which is computationally demanding and also affects the parallelisation efficiency.

Another category of challenges corresponds to precise imposition or numerical resolution of specific physical boundary conditions or compatibility conditions. For instance, numerical resolution of the dynamic free-surface boundary condition, fluid-structure interface compatibility conditions or the traction-free solid boundary condition may seem to be trivial, yet, in reality, they can be challenging and require precise insights.

State-of-the-art and Future Perspectives

We have witnessed rapid advancements for both SPH and MPS methods in the past two decades. Such advancements are mainly due to rigorous academic research by many research groups in the world. Fortunately, international scientific and engineering communities such as SPHERIC (SPH rEsearch and engineeRing International Community) have had clear contributions in this regard through earnest and effective communications including annual conferences or workshops.

Upon their development both SPH and MPS methods encountered challenges with regard to stability, accuracy, convergence, conservation, computational efficiency, etc. However, considerable advancements have been made such that both methods are currently known as promising computational methods with great potentials of providing accurate reproductions of flow field, structural dynamics, soil dynamics and multi-physics problems such as wave-structure-soil interactions, for a wide range of cases including extreme ones. Several recent review articles portray these achieved advances in a concise and informative manner^{3,4,5}.

Fig. 1 portrays a few typical snapshots corresponding to SPH-based computational methods for several FSI applications corresponding to water slamming including homogeneous (a) and composite (c) structures, wave impact on an elastic plate (b) and wave interaction with a submerged porous breakwater (d). These results correspond to computational methods developed by our research team, PMR-Kyoto (Particle Method Research team-Kyoto University).

The future perspectives of SPH and MPS methods mainly correspond to continuation of rigorous academic research especially with regard to the so-called SPHERIC grand challenges and at the same time devoting efforts to extend the practical applications of these methods, especially in cases that the conventional computational methods may face difficulties in providing reliable and efficient results, e.g., extreme events (typhoons, tsunamis, earthquakes, etc.) characterised by violent fluid flows, intense structure/soil responses in presence of considerable kinematical and material discontinuities such as fractures in advanced composite structures in extreme FSIs. Consistent coupling of SPH or MPS with other advanced methods such as state-of-the-art mesh-based methods is also among future research directions.

Certainly, every single advancement and development must be accompanied by rigorous scientific validations through consideration of reliable reference solutions and accompanied by comprehensive qualitative and quantitative verifications.

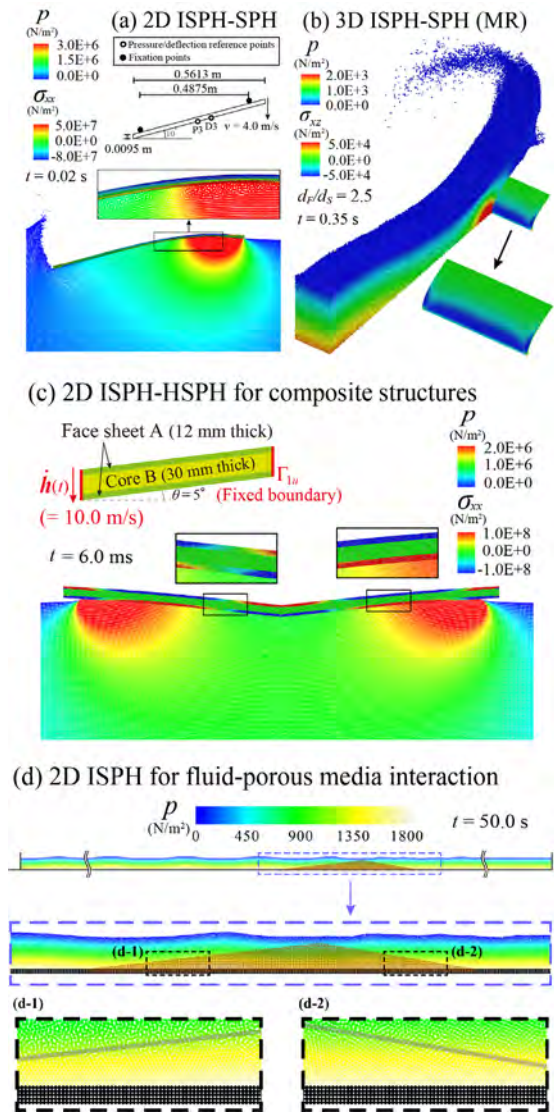


Fig. 1. A set of snapshots illustrating typical results by entirely SPH-based FSI solvers for water slamming (a,c) and wave-structure interactions (b,d) – HSPH stands for Hamiltonian SPH, MR denotes multi-resolution solver.

References

- 1) Gotoh, H. and Khayyer, A.: Advanced Particle Methods, ISBN 978-981-97-7932-1, 285 pp, Springer Singapore, 2025.
- 2) Gotoh, T., Sakoda, D., Khayyer, A., Lee, C.H., Gil, A., Gotoh, H. and Bonet, J.: An enhanced total Lagrangian SPH for non-linear and finite strain elastic structural dynamics, *Computational Mechanics*, 76, 147-179, 2025.
- 3) Meng, Z.F., Sun, P.N., Wang, P.P., Khoo, B.C. and Zhang A.-M.: High-order SPH: A Review of the Method and Applications, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11831-025-10346-0>
- 4) Le Touzé, D. and Colagrossi, A., Smoothed particle hydrodynamics for free-surface and multiphase flows: a review, *Reports on Progress in Physics*, 88, 037001, 2025.
- 5) Khayyer, A., Gotoh, H. and Shimizu, Y.: On systematic development of FSI solvers in the context of particle methods, *Journal of Hydrodynamics*, 34, 395-407, 2022.

腐食進行過程で生成する保護性さびの特性と形成メカニズム

社会基盤工学・構造材料学分野・准教授 高谷 哲

はじめに

近年、社会基盤構造物の老朽化が社会問題のひとつとなっています。中でも、四方を海に囲まれていて冬季に凍結防止剤を散布する山間部の多い我が国において、鉄筋腐食はコンクリート構造物の抱える深刻な劣化要因のひとつになっています。コンクリート中の鉄筋が腐食すると、腐食生成物の体積が元の鉄筋より大きいため、かぶりコンクリートに膨張圧が作用し、ひび割れが生じます。このひび割れが進展すると、かぶりコンクリートの剥落や構造耐荷力の低下につながる危険性があるため、鉄筋の腐食抑制対策は重要な課題となっています。適切な鉄筋の腐食抑制対策を実施するためには、鉄筋腐食のメカニズムを十分理解することが必要です。鉄筋腐食のメカニズムを明らかにするために、これまで様々なコンクリート構造物において鉄筋の腐食調査を行ってきました。その結果、腐食環境は水と酸素の作用の仕方により 4 種類に分類できることや、乾湿繰返しが鉄筋腐食の進行の主要因となっていることなどが明らかになってきました¹⁾。一方で、乾湿繰返しによる腐食の進行過程で鉄筋表面に保護性さびが形成し、すでに腐食の進展が抑制されている箇所があることも分かりました²⁾。この保護性さびの形成メカニズムが明らかになれば、新たな腐食抑制手法の開発につながると期待されます。

保護性さびの特徴

素地表面に保護性さびが形成した鉄筋（以下、保護性さび鉄筋）と、黒皮付の異形鉄筋（以下、ブランク鉄筋）に対して、5%の塩水噴霧試験（JIS Z 2371）を実施した後に、超音波洗浄によりさび層を除去した結果を図 1 に示します。図を見ると、保護性さび鉄筋の質量減少率はブランク鉄筋の約 7 分の 1 程

度に抑制されており、耐食性が高いことが分かります。

次に、保護性さび鉄筋の断面の SEM 画像を図 2 (a) に示します。鉄筋素地に近い平滑なさび層を内層（inner layer）と呼び、粗い外側のさび層を外層（outer layer）と呼び、区別することにします。内層の厚みは 100 μm 以上あり、何れかさび層も同じイオンミリングによる研磨を受けたにも関わらず、研磨面の平滑さに大きな違いが見られることが分かります。外層においては、ひび割れなどの欠陥も観察されています。外層や鉄筋地に見られる凹凸は、化学結合力の弱い結晶粒界や結晶欠陥などに由来すると考えられますが、内層にはそのような凹凸が見られず、ひび割れなどの欠陥も見られません。このことから、内層のさび構造は、緻密で化学結合力が強く局部的に化学結合が弱い箇所も見当たらないということが言えます。

さらに、図 2 (a) 中の枠囲いの箇所を対象にラマン分光分析を実施した結果を図 2 (b) に示します。さび外層では 670 cm^{-1} 付近に標準的な Fe_3O_4 （マグネタイ）で見られるピークが確認できますが、内層では 800 cm^{-1} 付近にピークが見られます。別途行った分析により内層の主成分も外層と同じマグネタイ

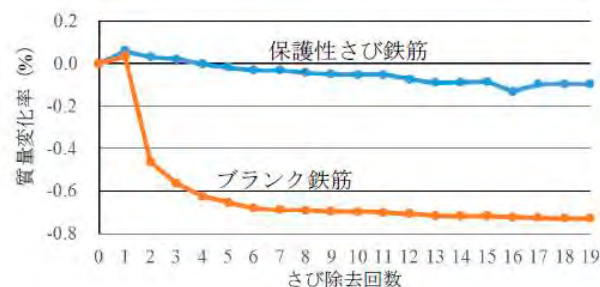
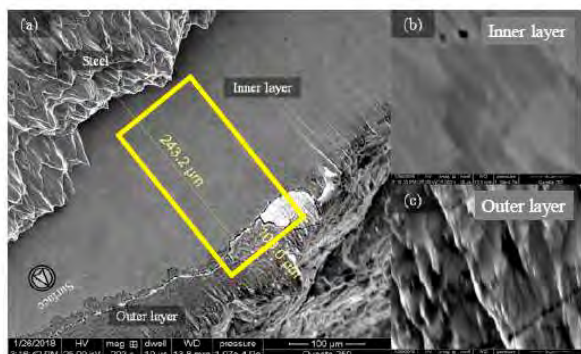
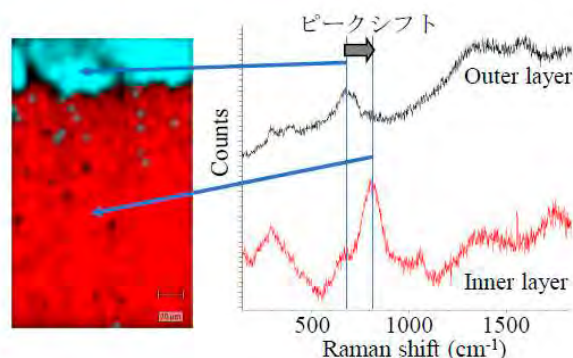


図 1 腐食試験後の質量変化率



(a) SEM 画像



(b) ラマンスペクトル

図 2 保護性さびの微細構造

トであることが分かっており、外層で見られる標準的なマグネタイトのピーク（ 670 cm^{-1} 付近）より 100 cm^{-1} 以上高波数側にシフトしていることになります。ラマンスペクトルのピークが高波数側にシフトするということは、より大きな振動エネルギーを有することを表しており、このことは、さび内層が一般的なマグネタイトからなるさび層よりも緻密であることを意味しています。

保護性さびの形成メカニズム

保護性さびの形成メカニズムを検討するために、保護性さびが形成しやすかった箇所と形成しにくかった箇所の環境条件を比較結果、比較的乾燥しにくい箇所で保護性さびが形成されやすかったことが分かってきました。

以上のことから、保護性さびが形成したメカニズムは図3に示すようなモデルで説明できると考えられます。乾湿繰返しで黒さびの層状さびが形成するメカニズムは次のように説明することができます。湿潤（高湿度）状態では酸素欠乏になりやすいため、表面に Fe_3O_4 （マグネタイト）が形成され、乾燥（低湿度）環境になると黒さびの表面が空気酸化で $\gamma\text{-FeOOH}$ になります。再び湿潤（高湿度）環境になった時に赤さびが溶解し、マグネタイトに変化するのですが、この反応が還元反応であるため、対の酸化反応として鉄の腐食が促進され、鉄筋素地表面（以下、鉄筋表面とする）に新たなマグネタイト層を形成します。これを繰り返すことで黒さびの層状さびが成長していきます。

新たに形成されるさび層は層状さびの最下層にできるため、それまでに形成していた層状さびを押し上げる形になり、層状さびには膨張圧が作用してクラックが生じます。腐食の進行に伴い生じた層状さびの隙間やクラックを通じて鉄筋表面やさび層間に浸入した水分が抜けにくくなると（図3の③で示される）最下層の Fe_3O_4 （マグネタイト）層の表層部で酸素欠乏状態となり、最下層のマグネタイト層が結晶性の良いマグネタイト層に変化したと考えられます。酸素欠乏状態で、最下層で結晶性の良いマグネタイト層が形成したメカニズムは図4に示すように、最下層のさび層表面からゆっくりと供給される O_2 の還元反応に伴い、鉄筋表面からは Fe^{2+} がゆっくりと既存のマグネタイト微結晶層へ供給されることでマグネタイト中の Fe^{2+} と Fe^{3+} のペアの組替えを起こすように緻密なマグネタイトの結晶相を形成したと考えられます。

おわりに

乾湿繰返しによる腐食の進行過程で形成する保護性さびは、緻密な微細構造を持っているために高い耐食性を有することが分かりました。また、酸素欠乏状態でゆっくりとさび層の組換えが生じることで緻密なマグネタイト層を形成した可能性

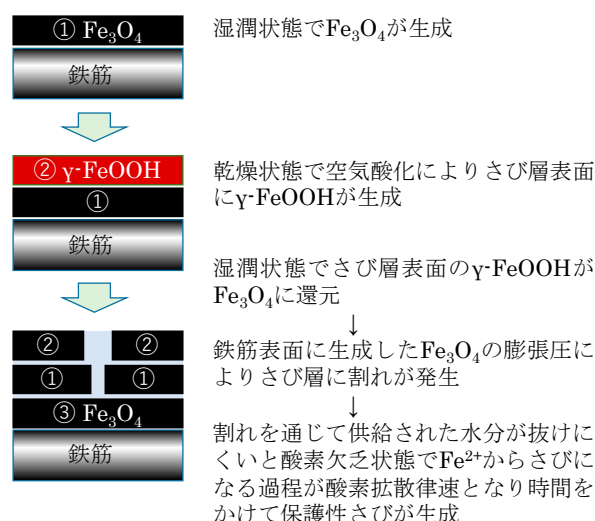


図3 保護性さびの形成メカニズム

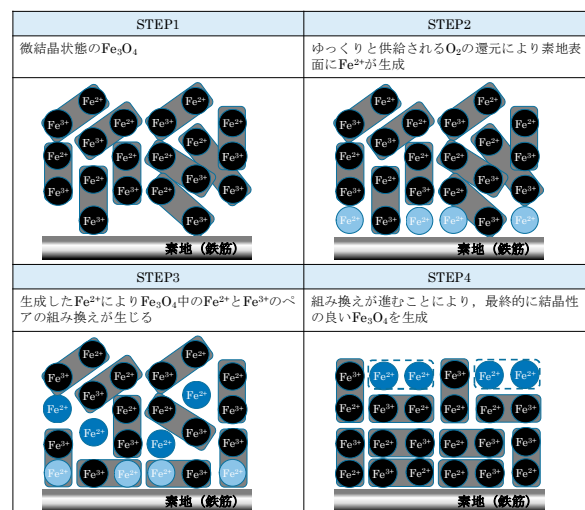


図4 微結晶状態のマグネタイトが緻密なマグネタイト層に変化するメカニズム

があることも分かってきました。現在は、鉄筋表面を酸素欠乏状態にすることができる技術として電気防食工法に着目し、コンクリート中の鉄筋のさび層を人工的に改質し、腐食を抑制する技術の開発に取り組んでいるところです。

参考文献

- 1) 高谷哲, 奥野翔矢, 本田正和, 川上圭司, 左藤眞市, 羽村陽平, 山本貴士, 宮川豊章: アルカリ環境下における鉄系腐食生成物の生成プロセスおよびコンクリート中における鉄筋の腐食環境, 材料, Vol.66, No.8, pp.545 - 552, 2017.
- 2) 高谷哲, 羽村陽平, 土井康太郎, 左藤眞一, 野口貴文: 軍艦島（端島）における鉄筋腐食の進展メカニズム, コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.19 - 24, 2017.

高齢者の免許返納ジレンマの解消に向けた モビリティ・マネジメントの提案

都市社会工学・計画マネジメント論分野・准教授 中尾 聡 史

免許返納ジレンマ

平成31年に池袋で起きた高齢ドライバーによる死亡事故は、大きな社会問題となり、高齢者に対して運転免許証の自主返納を迫るような意見がSNS等で数多く見受けられるようになりました。全国の自治体でも、免許を返納した高齢者にバスや電車のチケットを配るなど、様々な高齢者運転免許証自主返納施策が行われています。一方で、免許を返納すると、うつ病になったり、介護が必要になったり、健康を害する可能性が高まることも、近年の研究で分かっています。

つまり、高齢者は「免許を返納することによって健康を損ねるリスク（健康リスク）」と「運転を続けて交通事故を起こすリスク（事故リスク）」のどちらかを選ばなければならない、難しい状況に置かれているのです。では、このような「免許返納ジレンマ」をどうすれば解決できるのでしょうか。

健康リスクの増加の原因

この問題を考えるときに大切なのは、「なぜ運転免許を返したあとに健康リスクが高まるのか」という点です。既往研究によると、免許を返納した高齢者の中には、公共交通が使える地域に住んでいても、これまで公共交通を利用する習慣がなかったためにうまく使えず、外出の機会が減っ

てしまうケースが数多く報告されています。また、年齢を重ねるほど新しい交通手段に慣れるのは難しくなることや、運転免許を返す前に車をよく運転していた人ほど、返納後の移動に困る傾向があることも分かっています。

こうしたことを総合すると、これまで車に依存した生活をしてきた高齢者は、運転免許を返納したあとに公共交通を使いこなせず、外出の機会が減ることで健康リスクが高まってしまう、という状況が見えてきます。

移動手段の多様性の確保

つまり、この免許返納後の健康リスクを低減するには、マイカーだけに依存するのではなく、多様な移動手段に早い段階から慣れておくことが大切です。運転免許を自主返納するケースもありますが、認知機能検査にパスできずに予期せぬ形で突然、運転免許を手放さなければならないケースもあります。いざという時のために、今から移動手段の多様性を確保し、移動のレジリエンスを高めておくことが重要と言えます（図1）。

そのことはまさに、「過度に自動車に頼る状態」から「公共交通や徒歩などを含めた多様な交通手段を適度に（＝かしくく）利用する状態」へと自発的に転換することを促すモビリティ・マネジメントそのものです。運転免許返納ジレンマの解消に向けて、「危険だから返納しよう」というよ

マイカー依存の場合



移動手段の多様性がある場合



図1 免許返納の問題構造

うな恐怖喚起型のコミュニケーションではなく、「将来の自分のためにも今から“準備運動”しておきましょう」という新しいコミュニケーションへの転換を図っていくことが重要であると言えます。

研究から実践への展開

私の研究では、このように高齢者が直面する事故リスクと健康リスクのジレンマ構造を明示化し、免許返納の問題を理解するための枠組みをつくっています。そして、その枠組みを高齢者に情報として伝えることで、意識や行動にどのような変化が生まれるのかを調べています。具体的には、Web アンケート調査を行い、免許を返すことにより要介護のリスクが高まることや、返納後に交通手段を切り替えるのが難しいことから多様な移動手段の習慣化が重要であることについての情報を提示しました。その結果、高齢者の「免許返納後の生活への不安」をやわらげたり、「公共交通や徒歩で移動しよう」という前向きな気持ちを高めたりする効果があることが明らかになりました。

さらに、こうした調査結果を踏まえて、研究の成果を現場に還元する実践的な取り組みにも力を入れています。その一例が、高齢者向けのワークショップでの情報提供です。参加者が自らの暮らしを振り返り、移動手段の多様性の大切さを実感できるような工夫を行っています。また、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部と連携し、高齢者向けのマンガ冊子「今からはじめる！おでかけの準備運動のススメ」を制作しました（図2）。この冊子では、自動車に依存した生活を続けた場合と、多様な移動手段を確保して暮らした場合とで、どのように将来が変わっていくのかをマンガ形式で分かりやすく描いています。この冊子は札幌市で配布された後、Web 上で公開され、現在では全国の自治体

でも広く活用されています。研究を通じて得られた知見を社会に還元し、政策や地域活動に役立てていくことこそが、土木計画における学術研究の重要な役割であると考えています。

移動手段の多様性がもたらす暮らしの豊かさ

これまでは、運転免許を返納した後の生活に注目し、高齢者が直面する課題やその解決策について研究を進めてきました。しかし、免許返納後だけでなく、その前の日常生活においても「移動手段の多様性を確保すること」が重要であると考えられます。自動車は便利で、どこにでも行けるように思えますが、実際には駐車場がある場所にしか行けないという制約があります。そのため、車に過度に依存した生活は、移動の自由を逆に狭めてしまう面もあります。一方で、徒歩や公共交通も利用することによって、地域の人々とのちょっとした挨拶や偶然の出会いが生まれ、地域社会とのつながりが自然に深まります。こうした日常的な関わりは、災害などの有事において地域コミュニティが機能するためにも欠かせません。つまり、移動手段の選択は単に利便性の問題にとどまらず、地域コミュニティの形成や維持にも深く関わっていることが考えられます。

このように交通計画や土木計画を、効率性の観点からだけでなく、人々が安心や充実を感じながら暮らせる「充足性」の観点からも捉え直す必要があります。今後も、現場に出て人々の声に耳を傾け、日常の小さな困りごとや課題を丁寧に掘り起こしながら、移動と暮らしの関係を多角的に研究していきたいと考えています。免許返納の問題をきっかけに、移動の多様性と地域コミュニティとの結びつきを解明し、誰もが安心して暮らせる社会づくりに貢献していきたいと思います。



図2 作成した冊子