

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

バーミンガム大学との共同研究

バラスト軌道を構成する重要な軌道部材の一つであるプレストレストコンクリートまくらぎ(PCまくらぎ)を対象に、その余寿命を推定可能な手法を構築するため、英国のバーミンガム大学と共同研究を行っています。本共同研究を効率的に進めるために、筆者は2017年10月から2年間の予定でバーミンガム大学に客員研究員(Visiting Researcher)として出向しています。ここでは、出向先であるバーミンガム大学の概要や現地での研究環境、共同研究の概要、さらに現地での生活について簡単に紹介します。



後藤 恵一
Keiichi Goto
バーミンガム大学出向
(前 鉄道力学研究部
構造力学研究室
副主任研究員)
[専門分野] 車両・軌道・
構造物の動的相互作用
解析, 構造解析, コン
クリートまくらぎ

はじめに

鉄道総研とバーミンガム大学(英国)は、さまざまな分野での共同研究や人材交流を行うことで、鉄道のさらなる発展や学術・技術の発展に貢献することを目的に、2016年9月に共同研究協定を締結しました。私は、この共同研究協定の枠組みの中で「PCまくらぎの破壊解析手法の研究」についての共同研究を進めるため、2017年10月より2年間の予定でバーミンガム大学に出向しています。ここでは、共同研究

の相手先であるバーミンガム大学や研究環境、共同研究の概要、英国での生活について紹介します。

バーミンガム大学の概要

バーミンガム大学のあるバーミンガムは、ロンドンから北西に約160km、鉄道で約1時間半の距離にあります(図1)。バーミンガムは、イングランドのほぼ中央に位置し、運河と鉄道の交差点になったことから、19世紀の産業革命の進展にともない工業都市として発展しました。現在では、人口や都市の規模から英国内では首都ロンドンに次ぐ第二の都市とされています(ロンドンの人口:約886万人、バーミンガムの人口:約114万人)。

バーミンガム大学は、メディカルスクールにルーツを持つ1900年設立の総合大学で、英国内の一流の研究型大学24校により構成される団体であるラッセル・グループの一員です。また、卒業生からは英国首相、卒業生および教員から8人のノーベル賞受賞者を輩出しています。なお、同大学には現在、22000人を超える学部生および約9000人の大学院生が在籍し、その

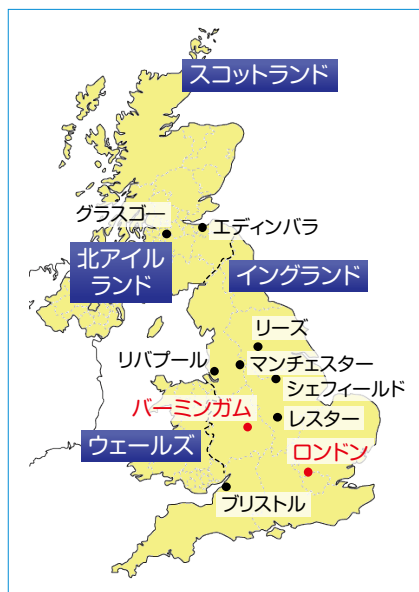


図1 英国の主要都市(人口トップ10)



図2 研究室メンバー(一部)



図3 日英高速鉄道シンポジウム

うちの7000人近くが150か国からの留学生ということで、非常に国際色豊かな大学です。そのため、留学生を対象とした無料の英語教室が大学内で開かれるなど、大学や学生組合からさまざまなサポートが提供されています。

私が所属しているのは、日本の大学では理工学部にあたるCollege of Engineering and Physical Sciences内のBCRRE (Birmingham Centre for Railway Research and Education : バーミンガム大学鉄道研究・教育センター) という組織です。BCRREは2002年に設立され、世界的にも珍しく鉄道の複数分野を専門とする欧州最大の大学研究・教育機関です。現在、145人を超える研究者およびスタッフが在籍しており、土木工学と電気工学を基礎として、車両空力特性、状態モニタリング、列車運行システム、気象防災、地盤工学、エネルギーマネジメント、ビッグデータ、環境、安全など、鉄道に関する非常に幅広い研究が実施されています。なお、BCRREは英国の鉄道技術の発展を目指す産学官

連携プロジェクトUKRRIN (UK Rail Research and Innovation Network) (☞参照) の1つの部門のリーダーを務めており、その資金援助により大学内に敷地面積3000m²の広さを有する新研究・実験センターを2020年に建設完了・使用開始の予定です。

現地での研究環境

私の所属している研究グループは現在、主任講師1名、研究員4名(私を含む)、学生(博士課程)7名の計12名のメンバーから構成されています(図2)。意外なことに、そのメンバーに英国人はおらず、国際色豊かなメンバーがそろっています。これはBCRREのほかの研究グループについても同じことがいえ、とくに学生は大半が留学生となっています。この要因として、鉄道を専門とした大学研究機関が少なく、また、世界的にも鉄道への関心が高いということがあげられるかと思えます。この国際色豊かな環境のおかげで、各国の鉄道事情や文化について知ることができるよい機会となっています。また、前述のようにBCRREには鉄道に関する幅広い分野の研究者が集まっていることから、日本では接することのない研究分野(たとえば高速鉄道の建設効果など)にも触れることができ、刺激になっています。

また、こちらでは大学の内外で鉄道

に関する情報に触れる機会が多いと感じています。というのも、鉄道に関するワークショップやセミナー、学会などのイベントが各地で頻繁に開かれているからです。BCRREにおいても、鉄道を対象としたシンポジウム(図3)や外部講師を招いて鉄道に関するレクチャーがたびたび開催されます。私自身、これらのイベントには積極的に参加していますが、新たな知識を得ることができるのももちろんのこと、他の大学の先生、鉄道事業者、メーカーの方と知り合える絶好の機会となっています。このように、日本にはなかなか知り合うことのできない方々と人脈形成を行えるのも海外で研究を行うことのメリットの一つであると感じています。また、面白いと感じたのは、上記のイベント情報がSNSをはじめとしたソーシャルメディアを通じて広く拡散されているということです。一部のイベントではインターネットを通じてライブ配信されることさえありました。

共同研究

研究の目的

バラスト軌道を構成する重要な軌道部材の一つにまくらぎがあります。まくらぎは、レールを支持し、左右2本のレール間隔を保持するとともに、レールから伝達される列車荷重をバラストなどに分散させる機能を持つ軌

☞ UKRRIN

17の鉄道産業界(SIEMENS, RSSB(英国鉄道安全標準化機構)など)と8つの大学から構成される組織であり、2017年に公的および産業パートナーから92百万ポンドの資金提供を受けて誕生しました。

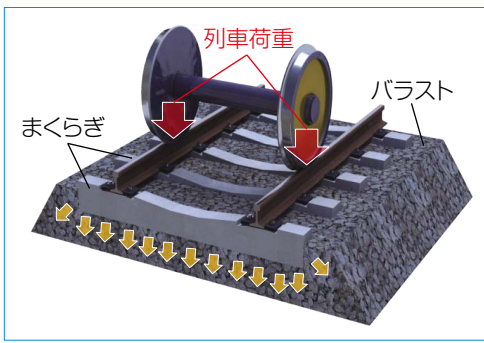


図4 まくらぎの荷重分散機能

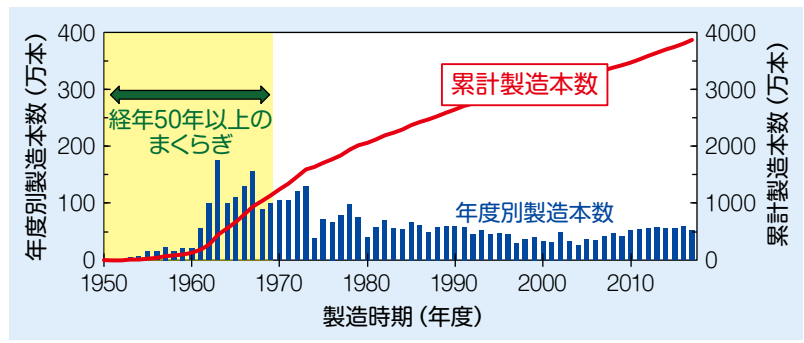


図5 日本のPCまくらぎの年度別製造本数と累計製造本数(民鉄を除く)

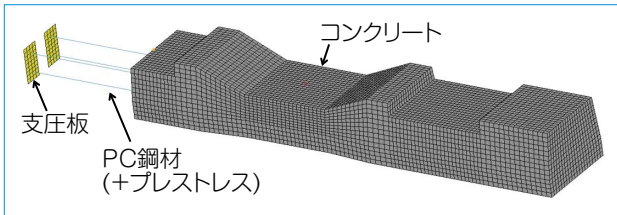


図6 数値解析モデル(一部のコンクリートを非表示)

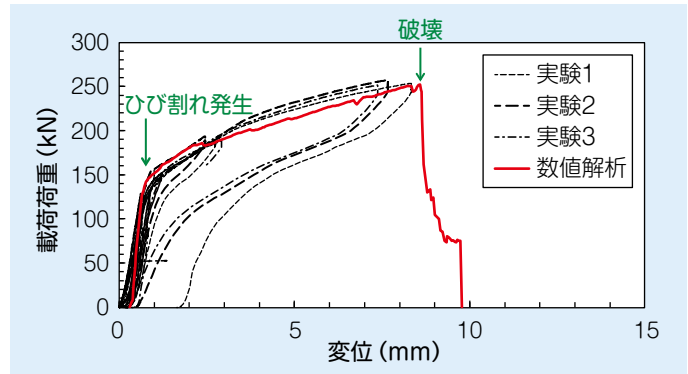


図8 実験結果と解析結果の比較(レール位置断面)

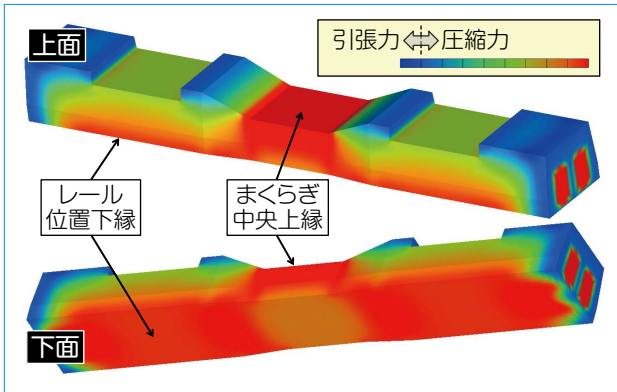


図7 コンクリートに導入された圧縮力の再現

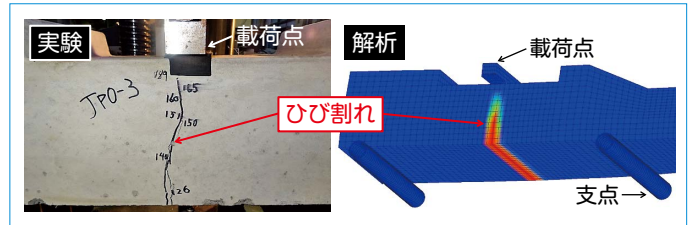


図9 ひび割れの発生状況の比較

道部材¹⁾です(図4)。まくらぎは、使用される材料によっていくつかに分類されますが、コンクリートとPC鋼材から構成されるプレストレストコンクリートまくらぎ(以下、PCまくらぎという)²⁾が世界的に主流です。日本国内においても1951年に試験敷設されて以降、現在までの累計製造本数は国鉄、JRだけでも3500万本を超え、さらに毎年50万本程度が製造され続けています(図5)。

このPCまくらぎについてですが、一般的には、設計上の耐用期間の目安が50年とされています¹⁾。当然のことながら、PCまくらぎの使用環境によって実際の耐用期間と設計上の耐用期間は大きく異なってくるのですが、使用環境と実際の耐用期間の関係につ

いてはそれほど研究が進んでいないのが現状です。しかし、今後、設計上の耐用期間を超える経年50年以上のPCまくらぎが急激に増えることを考慮すると(図5)、PCまくらぎの計画的な維持管理・交換を進めるために、使用環境と実際の耐用期間の関係を把握することが重要になります。

そこで本共同研究では、その基礎的な研究として、PCまくらぎの使用環境(軌道の条件や走行車両の種類などの各種条件)により生じるPCまくらぎの応答差や発生する損傷の程度に加え、発生した損傷や経年がPCまくらぎの力学的性能(ひび割れ発生荷重や破壊荷重)に及ぼす影響を定量的に評価可能な数値解析手法を構築することを目的としています。

本共同研究を進めるにあたり、鉄道総研が有するPCまくらぎの経年変化に関する実験および実測データと、バーミンガム大学が有するPCまくらぎの損傷・破壊に関する数値解析技術とを相互に活用しています。これにより、効率的な研究開発を行えるとともに、私自身が直接的に数値解析に携わることで、この解析技術を習得することも本出向の大きなメリットです。

これまでに得られた研究の成果

PCまくらぎは、コンクリートの引張力に弱いという弱点を補うために、PC鋼材を用いてあらかじめコンクリートに圧縮力(プレストレス)を与えておきます。PCまくらぎの力学的性能を評価するうえでは、この圧縮力を正確に表現する必要があります。



図10 公園での日光浴の様子



図11 電光掲示板の前で待つ乗客たち

そのため、本研究ではまず、実際と同じようにPC鋼材と支圧板を介してコンクリートに導入される圧縮力を表現可能な数値解析モデルを構築しました(図6)。図7にコンクリートに導入される圧縮力を解析した例を示します。図より、列車荷重が作用した際にコンクリートに引張力やひび割れが発生しやすい、レール位置下縁やまくらぎ中央上縁に大きな圧縮力が導入されることがわかります。また、この導入された圧縮力の値が理論値とよく一致することも確認しています。

次に、構築した数値解析モデルが、PCまくらぎのひび割れ発生荷重や耐荷力などの重要な力学的性能をどの程度まで再現可能か、日本工業規格(JIS)³⁾に従った静的曲げ載荷実験結果と比較することで検討しました。その一例として、図8に載荷荷重と変位の関係の比較を示します。図より勾配の変化点が意味するひび割れ発生荷重や、破壊の生じる最大荷重(耐荷力)を精度よく再現できていることがわかります。また、実験では載荷点直下のまくらぎ底面から大きなひび割れが一本発生しましたが、数値解析においてもそれを再現可能であることも確認できます(図9)。

今後の展望

これまではおもにPCまくらぎ単体に着目した数値解析モデルの構築を行ってきました。現在はさらに、レールやバラストなどを考慮したバラスト軌道全体のモデル化や走行車両のモデ

ル化を進めています。今後は、本解析モデルにより、軌道や車両の各種パラメーターがPCまくらぎの応答や損傷発生に及ぼす影響を定量的に評価するとともに、その検討結果を基にPCまくらぎの使用環境に応じた余寿命評価を行っていきたくと考えています。

イギリスでの生活

英国で生活して約1年半が経ちますが、普段の生活の中で日本と英国の違いを感じる事がよくあります。私見も多いですが、いくつか紹介したいと思います。

- 「紳士の国」とよく聞きますが、ドアを開けてくれるのは当然のこと、ベビーカーを押して電車に乗る際には、誰ともなく手を貸してくれ、終わるとサッと去ります。このようなことが一日の中でも頻繁に起こります。
- 緑が豊富で広い公園が多いです。また、夏には日光浴をする人がとても多くみられます(図10)。これは冬の日照時間が短いことに起因していると思われます(冬の期間はPM4時～AM8時で外は真っ暗です)。私も2度の冬を経験しましたが、日光浴をする気持ちがよく理解できました。
- 現金を使う機会が非常に少ないです。ほとんどの支払いはデビットカードや電子マネーで行えて非常に便利です。
- どんなに強い雨が降っても傘を差す人が少ないです。私はぬれたくないの

で折り畳み傘を常に携帯しています。

- 大きい鉄道駅ではどの番線に電車が来るのか直前までわかりません。そのため、電光掲示板の前には多くの人が集まり(図11)、番線が表示されると一斉に移動します。
- 電車が頻繁に遅れます。しかし、30分以上の遅延に対する返金の制度があるためか、それ以上に遅延することはまれです。

おわりに

これまでの出向期間に、研究面ではもちろんのこと、私生活面においても、日本では学ぶことのできないさまざまなことを経験することができて非常にありがたく感じています。公私ともに日々忙しく過ごしているためか、気づけば出向期間も残すところ半年を切りました。本共同研究において、ご協力いただいている関係者の方々に感謝し、共同研究を推進させるべく、また、鉄道総研とバーミンガム大学との技術交流が促進できるように、残りの出向期間も努力して参ります。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説、丸善出版、2012
- 2) 渡辺勉：PCまくらぎ、RRR、Vol.72、No.10、pp.28-31、2015
- 3) JIS E 1202：ポストテンション式PCまくらぎ、1997