

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

ドイツの鉄道事情とドイツ鉄道システム技術会社(DBST)との共同研究

鉄道総研とドイツのDB Systemtechnik (ドイツ鉄道システム技術会社) は、トンネル微気圧波の予測・評価手法について、2014年より共同研究を実施しています。この共同研究では、新幹線技術の海外展開を見据え、日本の微気圧波予測技術の海外トンネルへの適用性の確認や、海外での微気圧波アセスメント手法の把握などを目的としています。鉄道総研としても、DB Systemtechnikとの共同研究ははじめての試みとなります。ここでは、この共同研究を実施するために一年間赴任したドイツ・ミュンヘンで見聞きしてきた内容や共同研究の進捗状況などを紹介します。



宮地 徳蔵
Tokuzo Miyachi
環境工学研究部
熱・空気流動研究室
主任研究員
[専門分野] トンネル微気圧波、圧縮性流体力学

DB Systemtechnik

1990年の東西ドイツ統一後、1994年、ドイツ統一政府は、それまでの東西のドイツ国鉄を統合したうえで民営化しました。これがいわゆるドイツ鉄道、DB (Deutsche Bahn AG) です。その後、DBは持株会社制となり、分社化された複数の子会社が実際の鉄道運行业務を行っています。この子会社のうち、DBグループの研究所に相当するのがDB Systemtechnik GmbH (以下DBST, 2011年独立) です。DBST技術部門では、約700名のスタッフが技術コンサルタントサービスを提供しています。なお、DBの株は100%政府保有です。

DBSTのドイツ国内の事業所を図1に示します (DBST提供)。DBSTの大きな事業所はドイツのミンデン (Minden)、キルヒメサー (Kirchmöser)、そしてミュンヘン (München, Munich) にあります。

ドイツでのトンネル微気圧波

列車が高速でトンネルに突入する際、トンネル出口から小さなパルス状の圧力波が放射されます (図2)。この圧力波のことを微気圧波とよんでいま

す。微気圧波は、その振幅が大きくなると発破音を生じたり、家屋の建具を揺らしてガタンと音をさせたりするなど環境問題の原因となります。日本では、このような問題が生じないように、列車先頭部やトンネル緩衝工などの延伸と最適化といった微気圧波低減対策が実施されています。

2005年12月、ドイツの新高速線のスラブ軌道トンネルであるEuerwangtunnel (約8km) で実施された営業前試験走行において、深刻な微気圧波問題が発生しました¹⁾。2006年6月に迫るFIFAワールドカップドイツ大会に対応するため、この新高速線の開通はDBにとって避けられない状況にありました。ところが、当時のDBには微気圧波対策の経験がありませんでした。なぜなら、これまでバラスト軌道であったドイツの高速鉄道では、通常の営業運転で微気圧波が問題になることがなかったからです。そこで、DBはJR東日本や鉄道総研と微気圧波低減に関する技術交流をはじめました。その結果、DBは、Euerwangtunnelでの微気圧波問題を解決しました。さらに、DBは、その後、独自の微気圧波



図1 ドイツ鉄道システム技術会社 (DBST) 各事業所の所在地 (DBST 提供)

の環境基準を設定し、新高速線の微気圧波アセスメントと対策設計にこれを適用しています²⁾。

DBSTとの共同研究

世界の高速鉄道において、トンネル微気圧波は特殊な現象であり、日本以外で微気圧波が大きな問題になった例はあまりありませんでした。そのため、鉄道総研の微気圧波に関する技術開発はほぼ日本の状況のみを想定してきました。しかし、微気圧波に関する技術を海外展開するためには、微気圧波の低減対策の設計に必要な予測手法の海外のトンネルへの適用や低減目標値を定める微気圧波の環境基準値の新規設定など、これまで経験がない状況を想定して技術開発を行う必要があります。

先述のように、DBグループは、日本に続いて微気圧波の問題について基準(後述)を運用し、実際に緩衝工などの対策工事を始めました。また、DBSTの空力グループは欧州において発言力があり、ドイツの微気圧波アセスメント手法が欧州で一般化される可能性もでてきました。そこで、鉄道総研は微気圧波技術の海外展開を考え、微気圧

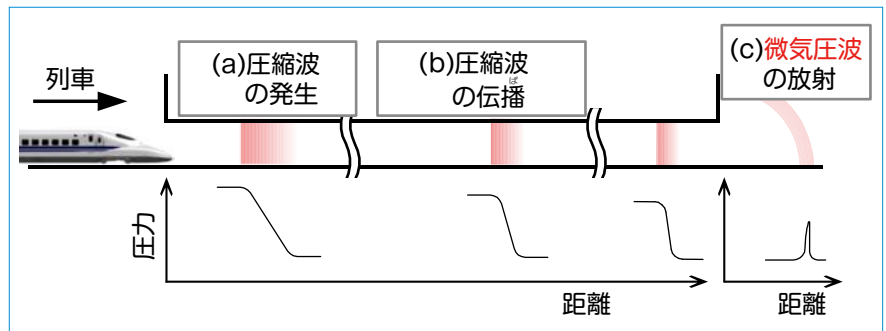


図2 トンネル微気圧波

波予測手法とアセスメント手法の比較に関する共同研究をDBSTと実施し、職員を1名派遣することにしました。

私が出向した2014年当時、DBSTは5つの研究セクションからなっていました。私は、第3セクション第2研究部第2研究室にVisiting Researcher(客員研究員)として配属となりました。この研究部は鉄道総研の環境工学研究部に相当し、騒音(第1)、空力・

空調(第2)、テスト(第3)の3研究室から構成されています。空力・空調とテストの両研究室からなる空力グループは合計7名体制で、実験と解析を分担しながら空力問題に関するコンサルティングサービスを提供しています。

第3セクションのほぼすべての研究室はミュンヘン支部にありましたので、私は家族とミュンヘン(☞参照)に1年間滞在しました。

☞ ミュンヘン (München, Munich)

ミュンヘンはドイツ第3の都市です。人口約150万人、面積約300km²は、ともに福岡市とほぼ同じ規模になります。気温は札幌と似ていますが、降雪量は札幌の1/5くらいになります。夏の日中でも25度以下で過ごしやすいといえます。ただし、近年は異常気象のため、たびたび30度を超す日があり、部屋に冷房や扇風機などがないことが多いので、こういう日は、どこでも冷房完備の東京の方が涼しいと感じます。

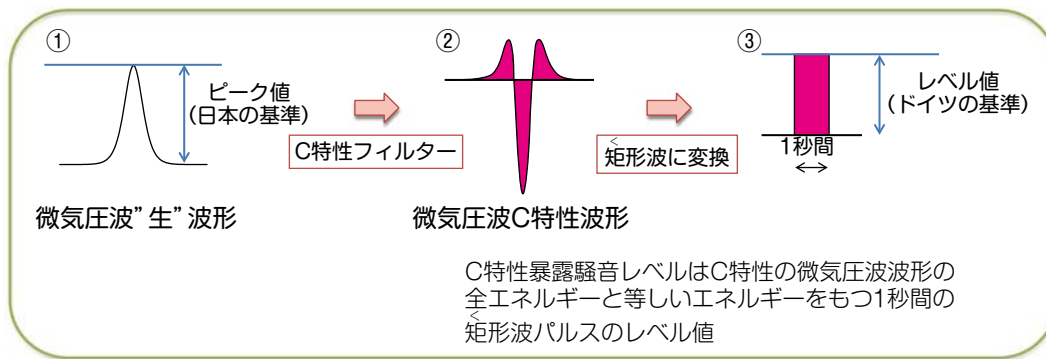


図3 日本とドイツの微気圧波の基準

ドイツでの微気圧波評価基準と微気圧波対策の設計

日本では、微気圧波の時間波形のピーク値を評価し、各鉄道事業者が基準値を設定しています。たとえば、民家における微気圧波ピーク値として20Paを指標とする例³⁾があります。そして、通常の営業運転において、“実際に”この値を下回るなど、実情を勘案した対策が必要となります。この時間波形には、フィルターをかけない、生波形が用いられています(図3)。一方、ドイツの場合、微気圧波のアセスメントに基準があります。民家においてC特性単発騒音暴露レベルが70dB(C)以下となると“予想される”対策をすることが決められています。C特性単発騒音暴露レベルというのは、遮断周波数30Hz程度のローパスフィルターを通した微気圧波と等しい全エネルギーをもつ1秒間の矩形パルス型微気圧波のピークレベルに相当します(図3)。

ドイツの微気圧波基準は、ミュンヘン～ベルリンを結ぶために建設中の新高速線(VDE8⁴⁾)にも適用されました。その結果、予定最高速度300km/h、先頭部長さ約5mの列車(ICE)、最長スラブ軌道トンネル10km以下のこの線区に対して、微気圧波対策として20～70mの緩衝工が建設されました(図4)。日本の新幹線の場合、民家の分布状況も含めて同じ条件なら、列車先頭部は10～15mで緩衝工は20～

40m程度となります。したがって、ドイツでは、日本に比べて、列車の先頭部は短く、緩衝工は長大となっています。また、ドイツの緩衝工は側面開口部が高さ方向(縦方向)に大きいのが特徴です。

日本では、現在の営業最高速度である320km/hまで、微気圧波のピーク値のみに着目

した微気圧波の基準が問題になることはありませんでした。しかし、新幹線列車がさらに高速化した場合、微気圧波の波形がさらに複雑化するため、現在の基準を満たすにも関わらず発破音が聞こえるといった、新しい問題が生じる可能性もあります(図5)。そのような場合、ドイツのアセスメントのように、微気圧波の周波数特性を考慮した評価・基準が求められることも予想されます。

微気圧波のような衝撃性・単発の現象の適切な評価手法については、議論が続いており結論はでていませんし、ドイツの基準も絶対的なものではありません。海外で受け入れられる基準というものをさらに調査しながら、良い点は日本に取り入れていく必要があります。

共同研究概要

鉄道総研では、現場からの問い合わせに対するクイックレスポンスを重視し、音響理論を駆使した微気圧波



図4 ドイツの70m緩衝工

高速計算法(High-speed simulation of Micro-pressure wave and Compression wave, 以下、HIMICOとよぶ)の開発をつづけています。一方、DBSTでは、商用流体数値計算ソフト(以下、CFDとよぶ)を使用し、緩衝工などの概略設計を含めた微気圧波予測を行っています。

本共同研究では、ドイツで得られた現地試験結果をもとに、仮想のベンチマークを設定し、微気圧波予測手法の比較を行いました。CFDでは数日かかる計算が、HIMICOでは数秒から数分で結果が得られました。それにもかかわらず、日本のトンネルと同じような条件の場合、HIMICOとCFDの予測結果はほぼ同等であることが確認できました。一方、日本にはないような条件は、HIMICOに用いられている理論で想定していないため、予測精度が低下する傾向があることもわかりました。今後、海外における微気圧波を予測するためには、このような想定外の条件を減らしていかなければなりません。

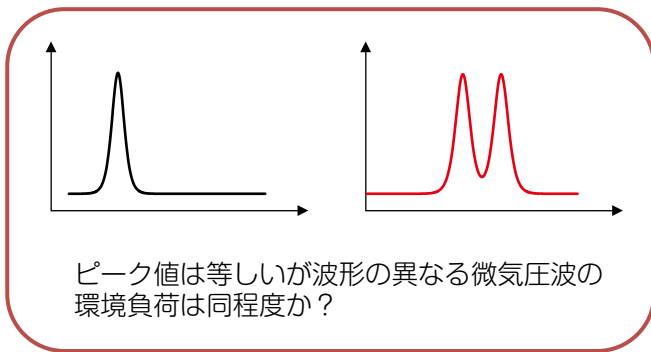


図5 波形の異なる微気圧波



図6 ドイツの鉄道トンネル (Euerwang) の現地視察

DBSTでの労働環境

次に、DBSTでの労働環境について述べます。

DBSTでは残業というものが存在しません。1か月あるいは1年単位で、勤務日数×約8時間労働します。一日どの時間に勤務してもかまいません。8時間以上越えた労働時間がたまると、一日休み(スライド勤務とよばれる)にすることができます(完全フレックスマズ)。

有給休暇に関しては、病気の場合の取り扱いが日本と大きく異なります。日本では、体調不良で職場に出られない場合、有給休暇を使用するのが一般的ですが、DBSTでは有給休暇を使用する必要はありません。体調不良による休暇が別途認められます。

このため、有給休暇を心おきなく使いきれるので、有給消化率は非常に高くなります。有給休暇と先のスライド勤務を組み合わせ、1か月近くのサマーバケーションをとるなどして余暇を楽しみます。

DBSTで働く人の特徴として、朝型勤務の人が多く印象を受けました。家族との夕食や会話を楽しむということでしょうか。

DBSTで働くうえで、あるいは共同研究をすすめていくうえで、一番苦労したのは組織の壁です(言葉の壁はいうまでもありませんが・・・)。鉄道総研では微気圧波の問題を図2(a)～(c)のように3つのステー

ジにわけて、同じ研究室に所属するメンバーが現象理解に努めています。一方、DBSTでは第4ステージとして(d)微気圧波のアセスメントをあげています。そしてDBSTでは、ステージ(a)(b)は空力、ステージ(d)は騒音、ステージ(c)は空力と騒音の両研究室の共同の担当になります。また、現地試験では、(a)～(d)すべてのステージはテスト研究室の担当になります。このように、DBSTでは、微気圧波の問題は、空力、騒音、テストの3研究室で横断的に担当しています。皆でランチをとるなど風通しのよい組織でしたが、やはり研究室の壁は高く、データや知識の共有といったことについての調整には苦労しました。

微気圧波シンポジウムと今後

派遣期間の最後である2015年9月、本共同研究のプロジェクトの一環として、欧州と日本における微気圧波の最新の研究に関する情報を交換するシンポジウムをDBSTミュンヘン支部で開催し、日本を含む世界8カ国以上の国から50名以上の方に参加いただきました。鉄道総研とDBSTの共同研究の一年間の成果をこのシンポジウムで発表し、世界各国の研究者と議論することで、今後の課題などを整理しました。

今後、鉄道総研では、DBSTとの協力のもと、CFDによる微気圧波予測技術の開発も行っていく予定です。

おわりに

日本以外で微気圧波の基準を公開したのはドイツがはじめてとなります。この基準や微気圧波対策は、日本の技術を参考にしながら、ドイツの事情にあわせて決定されています。このような事例は、今後、新幹線技術を海外展開していくうえで大変参考となるものです。日本の新幹線技術のガラパゴス化を避けるため、このような海外での動向に注目していく必要があります。

DBST滞在中は、共同研究以外にも、ドイツ各地の鉄道トンネルを視察したり、欧州の鉄道研究者を訪問したりしました(図6)。これらの活動をサポートしていただいた、DBSTのDr. Tielkes部長、Mr. Hieke、Mr. Gerbig、Ms. Lasanskeをはじめとする同僚たちや本稿執筆のための資料をご提供いただいた方々など、DBSTの関係各位に感謝いたします。また、本共同研究にご協力いただいているJR東日本の皆様にお礼申し上げます。RRR

文献

- 1) T.Tielkes, et.al. : Proc.9th IWRN, Springer, pp.40-47, 2008
- 2) C.Gerbig, M.Hieke : Proc.9th IWRN, Springer, pp.389-396, 2012
- 3) 鉄道運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説, p.119, 2008
- 4) German Unity Transport Project 8 : http://www.vde8.de/---_site_index.ls_dir_function.set_lang_lang.en_likecms.html 389-396