

- 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

IFSTTARとの共同研究

フランス運輸・整備・ネットワーク科学技術研究所（以下、IFSTTAR）は交通分野に関係するさまざまな研究開発を行っています。鉄道総研は2017年にIFSTTARと共同研究に関する協定を締結しました。本協定に基づき、(1) 河川橋脚基礎の洗堀現象および土壌の耐侵食特性の解明を目的とした調査研究、(2) 基礎構造物および土構造物に関する日仏の技術基準の比較、(3) 地盤ならびに動的相互作用問題の解析的手法に関する情報交換を実施しています。ここでは、共同研究・情報交換の内容や得られた成果について簡単に紹介します。



高柳 剛
Tsuyoshi Takayanagi
防災技術研究部
地盤防災研究室
副主任研究員
[専門分野] 斜面防災



佐名川 太亮
Taisuke Sanagawa
構造物技術研究部
基礎・土構造物研究室
副主任研究員
[専門分野] 基礎構造物
の設計・維持管理



井澤 淳
Jun Izawa
鉄道地震工学研究センター
地震動力学研究室
主任研究員
[専門分野] 地盤工学

はじめに

鉄道総研は2017年にIFSTTARと共同研究、情報交換および人材交流を通じて鉄道技術および学術分野の発展に資することを目的に共同研究協定(2年間)を締結しました。ここでは本共同研究協定に基づいてIFSTTARと実施した共同研究および情報交換の内容を概説します。

IFSTTARの組織の概要

IFSTTARの研究部門の概要図を図1に示します。IFSTTARは5つの科学技術部門を有しており、これらの研究分野は鉄道総研の取り組んでいる研究分野とも共通しています。

IFSTTARの事業内容は、①基礎・応用研究の実施、②専門家による技術

的評価および助言、③科学技術の指針や技術標準の制定、④科学技術に関する業績評価、⑤将来の研究者の育成、⑥専門家に対する支援および国際展開支援などがあげられます。

IFSTTARの本部(図2)はフランス、パリの“Marne-la-Vallée”に置かれており、そのほか、フランス全土に複数の研究施設を有し、幅広い研究活動に取り組んでいます。



図2 IFSTTAR本部の様子

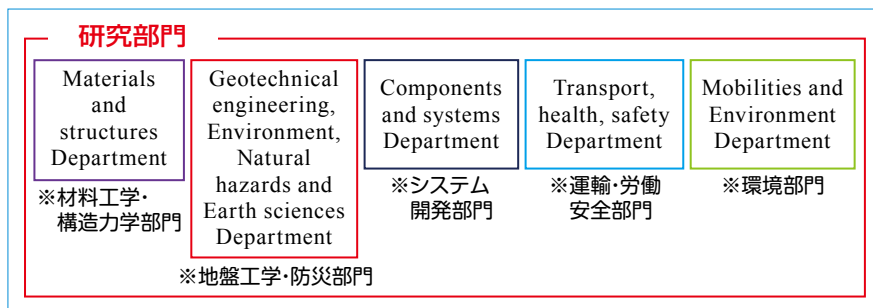


図1 IFSTTARの研究部門

表1 鉄道総研の洗堀採点表項目¹⁾

	要因	要素
河川の環境条件	地形	平野, 谷底地形, 扇状地, 山間地
	河川幅の狭さくの有無	あり, なし
	河床材料	砂, れき, 露岩, 巨れき
橋りょう・橋脚の構造条件	全体河床の低下の有無	あり, なし
	河川の湾曲に対する橋脚の位置	直接および曲線内側 曲線外側
	河川敷に対する橋脚の位置	流水中, 陸地
	下流方落差	高さ, 変状有無, 施工範囲
	根入れ比	L/B
防護条件	岩着の有無	あり, なし
	防護工の有無	なし, 不明
	かご	変状の有無
	ブロック, ハカマ, シートパイル	根入れ位置 変状の有無

表2 CEREMAの採点表項目²⁾

	要因	要素
Hazard	河川条件	緩流, 急流, 渓流
	河床材料	岩着, れき, 砂, 粘性土質
	河川幅の狭さく率	15%未満, 15~40%, 40%以上
	河積を阻害する基礎の幅	2m 未満, 2~4m, 4m 以上
	橋脚の形状	円形, 長方形, その他
	河床の変化	高水敷なし, 高さ1m 以上の高水敷
Vulnerability	建設年代	1976以降, 1951~1975, 1950以前
	基礎形式	直接基礎, 杭基礎, その他
	維持管理・監視履歴	最近の検査結果の有無
	橋脚の構成材料	コンクリート, 石積み, 鋼
	橋脚の断面形状(上流側)	鋭角, 円形, 矩形
	橋りょうの構造形式	コンクリートカルバート, トラス橋

共同研究協定の実施事項

本共同研究協定では、共同研究プロジェクト、情報交換プロジェクト、研究員による相互訪問、技術セミナー・シンポジウム・ワークショップの共催研究などの活動を通じて、双方にとって有益な協力プログラムを推進することを目指しています。共同研究テーマとして(1)河川橋脚基礎の洗堀現象および土壌の耐侵食特性の解明を目的とした調査研究、また、情報交換プロジェクトとして(2)基礎構造物および土構造物に関する日仏の技術基準の比較、(3)地盤ならびに動的相互作用問題の解析的手法に関する情報交換を実施しています。

橋脚基礎の洗堀現象の研究

洗堀現象について

河川の流れの中に橋脚のような構造物がある場合、そのまわりでは河川の

流れに乱れが生じます。こうした局所的な流れによって構造物のまわりが局部的に河床低下する現象を「洗堀」といいます。洗堀が進行すると橋脚が不安定となり、場合によっては橋脚が傾斜する、または転倒するなどの災害が生じることがあります。これを洗堀災害といえます。

洗堀採点表の比較検討

洗堀災害は河川増水時に河川を横断する橋りょうなどで発生します。橋りょうの維持管理においては、洗堀災害の要注意箇所を把握することが重要です。そこで、鉄道総研では、洗堀災害の要注意箇所を抽出するための採点表を提案しています(以下、洗堀採点表とよぶ)。表1に同洗堀採点表に採用されている評価項目を示します。このような、おもに目視調査や資料調査から入手できる簡易な評価項目に基づいて橋脚ごとに評価点をつけ、評価点が一定



図3 日仏ワークショップの様子

表3 両洗堀採点表の施行の一例

橋脚	13P	19P	21P
被災	なし	あり	あり
鉄道総研	健全	危険	危険
AROSA	非常に高い危険度 (5段階中5番目)		

のしきい値を下回る場合には要注意橋りょうとして判断します。洗堀採点表の詳細は、「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)基礎構造物・抗土圧構造物」¹⁾に記載されています。

フランスで洗堀災害は交通インフラの維持管理において重要な課題となっており、IFSTTARはCEREMAおよびフランス国鉄(SNCF)などのフランス国内の各機関と共同で洗堀採点表(AROSA)を開発しています。表2にフランスの洗堀採点表(AROSA)で採用されている評価項目の一例を示します。

本共同研究では双方の洗堀採点表の特徴や違いについて、技術会合の場で議論するとともに、具体的な洗堀被災事例を対象に、双方の洗堀採点表を用いて評価を行うなどして同採点表の妥当性に関する検証作業を共同で進めています。

2018年11月には鉄道総研とIFSTTARで「日仏洗堀及び基礎構造技術基準ワークショップ」を開催しました。日本からはJR東日本、JR東海の参加があり、また、フランス側からはCEREMAおよびフランス国鉄などの参加があり、活発な意見交換がなされました(図3)。一例として、日本の鉄道橋りょうで過去に発生した洗堀災害事例³⁾を対象に、両採点表を用いて評価した結果を表3に示します。この被災事例では、両採

点表でも橋りょうの洗堀危険度が高く評価されています。なおAROSAは橋りょう単位で評価します。このような妥当性の検証や採点表の項目の比較検討は、それぞれの洗堀採点表の高度化に貢献するものと考えています。

基礎構造物および土構造物に関する日仏の技術基準の比較

日本の鉄道構造物は、一般的に「鉄道構造物等設計標準」(たとえば図4)を用いて設計されます。一方、フランスではEurocode (欧州基準) ならびにNational Annex (国家付属書) にしたがって設計が行われます。Eurocodeの動向は、本共同研究においては、基礎構造物および土構造物に関する日仏の技術基準の比較を行いました。基礎構造物では杭の設計鉛直支持力の推定法や載荷試験方法について、土構物では盛土や補強土工法の設計・施工法などについて比較を行いました。具体的には、定期的にお互いの施設を訪問して技術交流会を開催や設備・現場見学を行ったほか、学会などを通じた情報交換も実施しました。

以下では、基礎構造物に関する日仏基準の比較について示します。

杭の鉛直載荷試験に関する技術基準

本共同研究のプログラムの中で、IFSTTAR Soil rocks and Geotechnical structures lab.のFabien Szymkiewicz博士が2017年の6月から10月の間鉄道総研に滞在されました(図5)。博士の専門の一つが杭の載荷試験の実施・分析ならびに設計鉛直支持力の評価(図6)であったため、基礎構造物に関する技術基準の中でも、とくにこの分野について日仏の比較検討を実施しました。

滞在の間にディスカッションを重ねた結果、杭基礎の設計法自体ならびに設計コード策定における背景や概念については多くの共通点が見受けられる



図4 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)の表紙



図6 フランスでの杭の鉛直載荷試験の様子



図5 Szymkiewicz博士の発表

ことがわかりました。ただし、フランスでは大地震の影響を考慮しないため、地震時の考え方については差がみられました。

一方で、設計支持力の推定の根拠として非常に重要である実杭の載荷試験方法や地盤調査法については、技術的背景を含めて差がみられました。そこで、とくに載荷試験方法の基準に関する比較を試みました。杭の載荷試験の基準については、日本では地盤工学会が作成しています。この杭の鉛直載荷試験基準の改訂作業が行われていることから、改訂委員の方々を交えた情報交換会を行いました。

今後の取り組み

今回の共同研究の目的の一つは日仏の技術基準の比較でしたが、技術基準の内容だけでなく、技術基準の制定に至った技術的・文化的背景について相互理解を深めることが非常に重要で

あることを認識しました。今後も引き続き交流を行い、技術基準の改訂に向けた有用な情報交換を行いたいと思います。

地盤と構造物の動的相互作用問題の解析的手法

地盤と動的相互作用問題

地震時の構造物の被害は、構造物が位置する地盤の条件に大きく依存します。図7は、関東大震災における木造建物と土蔵建物の被害率を、東京の地域別に示しています。一般的に、木造建物は柔らかく壊れやすい建物、土蔵建物は堅くて壊れにくい建物です。一方、下町は荒川や江戸川などの大きな河川に囲まれた柔らかい地盤になっており、山手は比較的硬い高台に位置しています。これらを考慮して図7をみると、地盤の柔らかい下町では木造建物の被害が大きいのに対

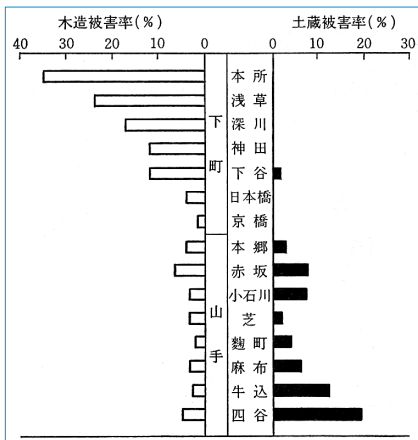


図7 建物被害と地盤の関係の例
(出典：地震と建築⁴⁾)

して、地盤の固い山手では一般的には壊れにくいとされている土蔵建物の被害率が高かったことがわかります。これは固い地盤の上に硬い建物を作ったため、土蔵が大きく揺らされたことが原因と考えられています。このように構造物の耐震設計を行う際には、構造物と地盤がそれぞれにどのような影響を及ぼし合うかを検討する必要があります。このような問題を「地盤と構造物の動的相互作用問題」といいます。

地震災害などに関する意見交換会

鉄道総研では、地盤と構造物の動的相互作用問題を重要課題として取り組み、構造物の耐震設計などに反映してきました。IFSTTARにおいても地震に対するさまざまな研究が実施されていることから、2018年10月26日に鉄道総研で開催されたマネジメント会議に合わせ、地震災害などに関する両機関の意見交換会を開催しました。表4に意見交換会のプログラムを、図8に会議の様子を示します。

IFSTTARからは、Department for Geotechnics, Environment, Natural hazards and Earth sciencesのDirectorであるDr. Eric Gaumeより、地震災害とリスクに関して取り組んでいる研究トピックを紹介していただきました。IFSTTARでも地盤と構造物



図8 意見交換会の様子

の動的相互作用を適切に考慮する必要性を認識しており、FEM解析という手法を用いて解析的に動的相互作用を求めるとともに、実験や解析結果との比較を行っている事例が紹介されました。また、地盤の液化化問題も取り組まれており、IFSTTAR中心として活動されているフランス国内の液化化判定の高度化に向けた研究委員会の紹介がありました。なお、地震を発生させる可能性のある断層に水を注入し、地震の発生を抑制しようという奇抜な工法に関する研究開発事例も紹介され、自由な発想で研究を行うIFSTTARの研究スタンスが感じられました。

鉄道総研からは、鉄道地震工学研究センターで取り組んでいる二つの話題を紹介しました。一つは構造物の地震時の揺れを小さくする減衰という特性の話題、もう一つは地盤の揺れを計算する際に土がどのように変形するかを設定する方法に関する話題です。これらについて、IFSTTAR側から多くのご質問、ご意見をいただき、有意義なディスカッションができました。また、地震のほか、人間科学、バラスト軌道、防災に関する研究の意見交換もあわせて行われ、活発な議論が行われました。

表4 地震災害などに関する意見交換会プログラム

地震災害に関する話題
Seismic hazard and risk (地震発生危険度とリスク) Dr. Eric Gaume
Seismic damping of structure (構造物の地震時減衰特性) 豊岡亮洋 (鉄道地震工学研究センター)
Nonlinear Seismic Ground Motion (地盤の非線形動的挙動) 井澤淳 (鉄道地震工学研究センター)
人間科学に関する話題
Human factors in the rail system (鉄道システムのヒューマンファクター) Dr. Jean-Marie Burkhat
Safety on the platform: safety measures with TWSIs for visually impaired passengers (駅ホームの安全性: 視覚障害者誘導用ブロックによる安全対策) 大野央人 (人間科学研究部)
軌道に関する話題
Ballastless track (バラストレス軌道) Dr. Thierry Sedran
Ballastless track (バラストレス軌道) 桃谷尚嗣 (軌道技術研究部)
防災に関する話題
Construction management of earthstructure for disaster retrofitting (土構造物の災害復旧施工管理) 中島進 (構造物技術研究部)
Flood forecasting (洪水予測) 渡辺諭 (防災技術研究部)

今後の取り組み

地盤と構造物の動的相互作用問題については具体的な共同研究を実施していませんが、今回の意見交換会を通してその可能性を探ることができました。両機関の特色を活かしたコラボレーションを今後も継続していきたいと思っています。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(基礎構造物・杭土圧構造物)，丸善出版，2007
- 2) E. Durand, D. Davi & J.L. Delgado: A new French guideline for scour at bridges risk-based analysis, ICSE2018, 2018
- 3) 長谷川雅志, 小西康人, 白川富規, 新宮康弘: JR日高本線厚別川橋りょうにおける台風被害と対策(その1: 被害調査), 土木学会第59回年次学術講演会, 2004
- 4) 大崎順彦: 地震と建築, 岩波書店, 1983