

積雪寒冷地における地盤工学の歩みと展望

History and Vision of Geotechnical Engineering in Snowy Cold Region

池 田 憲 二 (いけだ けんじ)

国立研究開発法人土木研究所 理事 寒地土木研究所長

1. はじめに

国立研究開発法人土木研究所は、土木技術に関する研究開発、技術指導、成果の普及等を行うことにより、土木技術の向上を図り、良質な社会資本の効率的な整備および北海道開発の推進に資することを目的としている。寒地土木研究には積雪寒冷地における土木技術の向上に努めてきたという長い歴史があり、ここでは特に地盤関係について、当研究所や道内大学の諸先生の功績について述べたい。具体的には、道路の話題を中心とし北海道開発の歴史や先達の業績を紹介し、北海道が長年抱えてきている凍上問題や泥炭地盤問題に着目し話題を進める。

2. 北海道開発の歴史

2.1 昭和以前

明治以前は和人の定住地は道南の一部のみで、和人にとって以北はほぼ未開の地であった。明治になり和人が広く北海道に入ってみると、湿地帯ばかりの原野が広がり、馬車の通れる道がなく、堤防も港もなかった。明治2年、開拓使庁が開設され、その後明治4年に札幌に開拓使庁が移されたところから、本格的な北海道開拓が始まり、明治4年には、開拓使10年計画が黒田清隆により立案された。そこでは、道路や鉄道、港湾などのインフラ整備も明示されたが、過酷な気象条件や特殊な地盤条件のため、インフラ整備は困難を極め、特に道路の本格的な整備は昭和(戦後)を待つことになる。

2.2 昭和以降

港湾の分野では廣井勇、治水の分野では岡崎文吉、といった偉人の活躍により整備が進められたが、近代的な道路に関してはほぼ未整備のまま昭和を迎えた。

そのような中、特筆すべき事項として、昭和10年に横道英雄(後の初代北海道土木試験所長、初代北海道開発局土木試験所長)が設計し、東洋一と称された十勝大橋(1940年～1995年)が挙げられる。この橋は、昭和期のコンクリート橋の指針とも言うべき位置付けとなった。

その後、昭和12年には内務省北海道庁土木部試験室(図-1参照)が発足し、初代室長の高橋敏五郎は「日本の産業を発展させるためには舗装を伸ばす必要がある」と考え、試験室では道路を中心に研究を進めた。しかし当時は陸軍の意向により十分な道路整備は行えず、蓄積された研究成果は戦後に日の目を見ることになる。

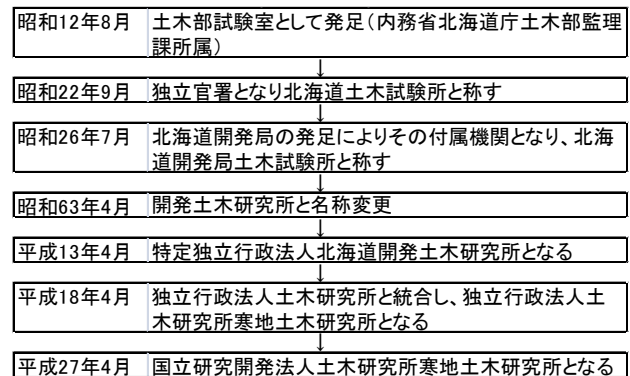


図-1 寒地土木研究所の沿革

戦後の昭和27年8月、当時北海道開発局札幌開発建設部長であった高橋敏五郎は、米軍の要請であった札幌千歳間道路(現 国道36号)の建設を承諾した。この工事は同年10月に着工し、翌昭和28年11月に完成(延長は34.5km)した。ここでの舗装は、当時主流であったコンクリート舗装ではなくアスファルト舗装を採用し、その後のアスファルト舗装の普及に多大なる貢献をした。この道路で用いられた「弾丸道路」の名称は、軍事色の強い道路であることからその名が付いたようだが、わずか1年余りで施工されたこと、当時では珍しく時速60kmで走行可能であることも相まって、「弾丸道路」の愛称が広く使用されたようである。なお、この「弾丸道路」建設に際しては、日本初の凍上対策が施されている。

3. 凍上

3.1 凍上とは

凍上とは、地中でアイスレンズという氷の層が成長し、地盤が隆起する現象で、水が凍る際にその体積が膨張する現象とは異なることに注意されたい。地表で観察される霜柱が地中で幾層にも発達したものと捉えた方が理解し易いかと思う。この凍上により北海道の路面は冬を越すたびに破壊され、道路整備の大きな支障となっていた。

3.2 凍上研究の歴史

凍上に関する研究は鉄道の分野が先行しており、満鉄中央試験所で凍上研究に従事していた宮川勇(後の土木試験所初代土質研究室長、秋田大学教授)が昭和23年に北海道土木試験所に入所し、戦前の土木部試験室時代の研究成果と合わせて調査・対策手法の検討が進められた。また、昭和26年には北海道土木技術会に「道路凍上防止対策研究委員会」(委員長に真井耕象北海道大学教授、委

員に高橋敏五郎、横道英雄、伊福部宗夫（後の土木試験所長）、宮川勇ら）が設置され、凍上問題が北海道の道路整備における喫緊の課題として取り組まれた。

これらの成果は先述した「弾丸道路」の建設時に生かされ、同道路の置換率（理論最大凍結深に対する路面からの凍上抑制層厚（舗装含む）の割合）は 80%と設定され、その後の北海道の道路建設における標準の仕様となった。

昭和 37 年 3 月、土木試験所長であった伊福部宗夫は「北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究（土木試験所報告 第 26 号）」を発表し、80%の置換率に対し、統計的・理論的に解析を進め、より合理的な置換率として 70%を提案した。この置換率は今日においても北海道開発局の道路設計要領で記されている。

なお近年においては、切土斜面の凍上やカルバート等構造物周りの凍上など、社会環境の変化に対応すべく種々の条件下の凍上に関する研究が継続されている。

4. 泥炭地盤

4.1 泥炭とは

凍上の他、積雪寒冷地における社会資本整備の妨げとなっているものとして、泥炭地盤が挙げられる。泥炭とは枯死した湿性植物が長年にわたり分解が不十分なまま堆積したもので、有機物を多く含み、その含水比は 1000%を超えるものも珍しくない。泥炭地盤は軟弱粘土地盤と比較しても強度が低く、圧縮性は極めて高いため、その地盤上に盛土等を構築すると、基礎地盤の破壊や想定外の沈下を引き起こすなどし、技術者を悩ませてきた。

4.2 泥炭研究の歴史

泥炭地盤に関する本格的な工学的研究は戦後から始まる。昭和 20 年代から北海道泥炭の物理・力学的性質やその調査法に関して研究が進められ、北海道大学の真井耕象教授、北郷繁教授、また先述した宮川勇秋田大学教授などが代表的な研究者として挙げられる。昭和 50 年代以降は、北海道大学の三田地利之教授や北海道工業大学（現 北海道科学大学）の神谷光彦教授、土木試験所の能登繁幸氏らの活躍により、泥炭地盤においても良質な構造物の構築が可能となった。特に能登繁幸氏は、簡便な土質定数で泥炭地盤の沈下を正確に予測可能な式（通称、能登式）を提案するなど、実務における貢献は大きい。

4.3 泥炭地盤対策工法の変遷

戦前までは、泥炭地盤の改良といえば、木杭を打ち、丸太を敷設することであった。戦後になり、サンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法、パイルネット工法、深層混合処理工法、軽量盛土工法などが用いられてきた。変わり種では、昭和 32 年に北海道幌延付近で試験的に行われた爆破置換工法が挙げられる。これは地盤（ここでは泥炭地盤）に盛土を施工後、盛土下部に装填した爆薬を爆発させ、空洞となった盛土直下に盛土が置き換わる、といった工法である。日本国内での本工法の実施例はこの一件のみのである。

なお、寒地土木研究所では深層混合処理工法の長期安定性を確認するために、昭和 59 年に泥炭地盤で DJM 工

法により施工された杭式改良地盤に対して現在も追跡調査を行っている。

平成に入ると、社会的背景もあり、より合理的な対策工法が望まれた。その回答の一つが真空圧密工法である。本工法の原型は 1940 年代にスウェーデンで考案され、1960 年代に日本に技術導入された（当時は大気圧工法と呼ばれた）。導入時は技術的問題も多く余り普及しなかったが、改善を経て、平成 9 年に北海道において先駆的に採用された。現在、本工法は一般的な軟弱地盤対策の一つとなっている。その他、寒地土木研究所が開発した技術で、「複合地盤杭基礎工法」がある。これは、泥炭地盤のような超軟弱地盤において、杭周辺に地盤改良を施すことで複合地盤を形成し、杭の水平抵抗や支持力を増加させ、コストの削減および耐震化も図れる工法である。本工法は平成 21 年に設立された「北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関する技術検討委員会（委員長：三浦清一北海道大学教授（当時））」で検討され、平成 27 年現在、海外も含め 22 件の施工実績を有している。

泥炭地盤に関する研究成果は寒地土木研究所が発刊する「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」に反映することで普及を図っている。本マニュアルは昭和 56 年に北海道開発局の内部資料として取りまとめられた「泥炭性軟弱地盤対策工指針（案）」から 3 回の改訂を経たもので、現在も北海道開発局の設計要領において準拠すべき指針として採用されている。

5. 今後の展望

泥炭地盤は寒冷地だけではなく、熱帯地方にも広く分布している。これらはトロピカルピートとも呼ばれ、生成過程は異なるが、植物が未分解で堆積している点は同じである。寒地土木研究所は、平成 26 年 10 月 15 日、インドネシア道路工学研究所と研究協力協定を締結した。今後は、泥炭地盤に関する最新の知見・研究成果をインドネシアの技術基準類に反映し、さらには同様の問題を抱える国々への技術支援へと発展させるべきと考える。

また、北海道において融雪期の土砂災害が近年増加傾向にあり、大規模化している（例えば平成 24 年 4 月の霧立峠、平成 24 年 5 月、平成 25 年 4 月の中山峠、平成 27 年 4 月の羅臼など）。寒地土木研究所では、平成 26 年度から本件に関連する研究テーマを立ち上げ、また、日本気象協会、北海道立総合研究機構地質研究所、北海道大学、室蘭工業大学の協力を得て、「北海道の土砂災害に関する緊急セミナー（平成 26 年 12 月 4 日開催）」を主催するなど、精力的にこの問題に取り組んでいる。

6. おわりに

筆者自身、地盤工学の視点から北海道開発の歴史を改めて紐解いてみて、過酷な条件に立ち向かう技術者の多大なる功績を再認識することができた。今後も北海道発の土木に関する種々の技術が日本全国ひいては世界に貢献することを期待している。

（原稿受理 2015.9.29）