

中国東北部興安嶺地域における林道の凍害について

1. 涎流水の概要と防止工法の適用例

艾 軍・張 雪華・張 海濤・竹内 典之

Studies on frost damage for forest roads in Xing An Ling

1. Outlines of Xianliuping and Blind Trench applied to prevent it

Jun AI, Xuehua ZHANG, Haitao ZHANG and Michiyuki TAKEUCHI

要 旨

興安嶺地域（永久凍土地域）における林道凍害の大きな要因の一つである涎流水の概略について述べ、当地域の大規模な涎流水への適用の可能性を調べるために採用した保温式盲暗渠による防止工法について報告する。

- 1) 涎流水は、冬季に河川から溢れ出した水や湧水が積層凍結して形成される水で、米国アラスカ州では Aufeis、フィンランドでは Crusty Ice と呼ばれ、永久凍土地域ではよくみられる現象である。
- 2) 涎流水は大興安嶺林区における林道凍害の主要要因の一つであり、1983年の調査によると総延長3,863kmの林道において272カ所で涎流水の発生がみられ、その除去作業に85.1万円の費用が投入されている。
- 3) 試験地における涎流水は、林道開設にあたって地下水層が掘削されたため地下水が湧出して形成されたものであった。
- 4) 当試験地では、
 - ① 地下水の流量は大きい透水断面が小さいので地下水を遮断しやすいこと
 - ② 地形が川に向かって傾斜しているため排水が容易なこと
 - ③ 地下水位が低く、路盤も比較的低いことから、保温式盲暗渠を採用し、地下水を河川に導水した。
- 5) 1984～1986年の2冬季の観測および1992年の現場調査では、試験地での涎流水の発生はみられなかった。

はじめに

中国東北部興安嶺地域は永久凍土地域の南限に位置する。この地域では、活動層が0.5～2.5 m と厚く、活動層の凍結と融解の繰り返しが地形や自然環境に与える影響も、また、活動層の凍結速度、融解速度、厚さなどが自然環境とくに地被条件の変化によって受ける影響も極めて大きい。その結果、道路、橋梁、建築物などに発生する凍害も多岐にわたり、その被害も大きい。

興安嶺地域は丘陵地と低地（湿地）からなり、丘陵地に広大な湿地が縦横に入り組んで地形が形成されている。夏季にも地中に厚い凍土層が残存するため（地下0.5～2.5 m より下部）地下

水位が高い。とくに、低地部では、融解期には融雪融氷水の氾濫原となり、夏期から秋期にかけての降水も停滞する。そのため、土の含水量が極めて多く、また、地下水位も高く、地表水として停滞して湿地を形成しているところも多い。したがって、活動層の凍結と融解に伴って発生するさまざまな現象により、また、地下水や地上水が凍結することにより発生する涎流水 (Xian Liu Ping)、氷椎 (Ping Zhui) や氷丘 (Ping Qiu) といった永久凍土地域に特有な現象により道路や構造物が著しい凍害を受け、路面の破壊、路体の破壊、橋梁の破壊などの被害が発生する。

興安嶺地域 (永久凍土地域) における道路、橋梁、建築物などの凍害は、(1)永久凍土地域に特有の地表水、地下水の凍結による巨大な氷塊 (涎流水など) の生成と融解によるもの、(2)活動層の凍結——(凍上)——融解の過程で発生するさまざまな現象によるもの、(3)地被条件などの人的あるいは自然的な攪乱による活動層厚の増大によるものに大別できるようである。ここでは、興安嶺地域 (永久凍土地域) における林道凍害の大きな要因の一つである涎流水の概略について述べ、現地において実際に適用試験を試みた防止工法の一例について報告する。

1. 涎流水による林道凍害の概況

永久凍土地域では、冬季に河川から溢れ出した水や湧水が積層凍結して巨大な氷塊を形成する現象がみられる。この現象は、中国では涎流水 (Xian Liu Ping)、米国アラスカ州では Aufeis、フィンランドでは Crusty Ice²⁾ と呼ばれ、永久凍土地域ではよくみられる現象である。また、原田は旧ソ連における永久凍土の紹介の中で「水上滲出水」として涎流水の一種と考えられる現象を紹介している³⁾。

涎流水の形成・成長過程は、次のように考えられる。すなわち、負の温度下で活動層は地表面から地中に向かって凍結を開始し、活動層中の地下水は凍結層上水から凍結層間水に変わる。活動層の凍結が進むにしたがって有効含水層が縮小され、封じ込められた地下水に圧力が加わるようになる。地表部に弱いところがあると、加圧された地下水が溢出して氷が形成される。氷の粒界三叉交線が融けてできた水脈や水路を通して水が表面に供給され⁴⁾、水は表面上を広がりながら一部は凍って氷の厚さを増す。

涎流水は、森林地域では林道路面上に達して厚い氷となって路面を覆い、大きなものでは厚さ1 m 以上になることもある。涎流水による障害としては、道路交通の障害となるほか、橋梁などの構造物に損傷を与え、洪水の原因ともなることなどが挙げられる。大興安嶺地域の8林業局における1983年度の調査によると、総延長3,863kmの林道において272箇所で涎流水の発生がみられ、その除去作業にのべ67,500人の作業員と6,660台の車両が動員され、85.1万円の費用が費やされている。特に呼中林業局管内では121箇所において涎流水が発生し、その除去には20万円が投入されている。このように、涎流水は、大興安嶺林区における林道凍害の主要な要因の一つである。

2. 涎流水防止工法の適用例

大興安嶺呼中林業局管内林道第31支線に試験地を設定し、涎流水防止工法として保温式の盲暗渠 (Blind trench) の適用試験を行ったので、その結果について報告する。

a. 試験地の概況

当地方の気象台の1981～1985年の資料によると年平均気温は -4.2°C 、最低気温の極値は -47.4°C 、最大積雪深は42cmである。活動層の厚さは0.8～2.5 m である。試験地は谷地形の緩斜面の

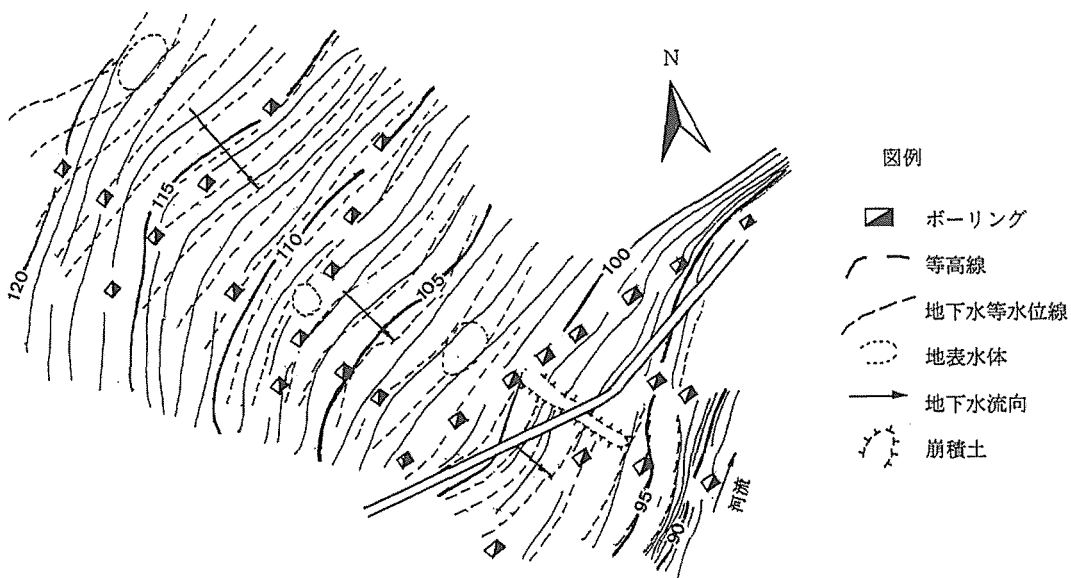


図-1 地下水等水位線図

脚部（図-1）に位置し、林道は低い盛土によって建設され、山側には含水層に達する側溝が掘られている。路面には砂利が敷かれ、縦断勾配は8.7%であり、表面流は横断排水溝によって処理されている。図-1には実測による地下水等水位線を示した。地下水勾配と斜面勾配とはほぼ一致して5～7%で、含水層の厚さは0.5～1.5mで平均は約1mである。土質は砂混じりの礫で、透水性は良好である。

冬季には、側溝内の流水が次第に凍結するようになり、側溝が氷で充満すると路面を氷が覆い始め、次第に氷が三方向に広がる。このようにして、毎年、延長約250m、幅5～10m、最大厚さ3m、平均厚さ0.3～0.4mの大規模な涎流水が形成されていた。

b. 保温式盲暗渠の設置方法

当試験地では、

- ① 地下水の流量は大きい透水面積が小さいので地下水を遮断しやすいこと
- ② 地形が川に向かって傾斜しているため排水が容易なこと
- ③ 地下水位が低く、路盤も比較的低いこと

から、保温式盲暗渠を採用し、地下水を河川に導水するのが適当であろうと判断した。

設置した保温式盲暗渠は、集水溝、排水溝、出水口で構成し、適宜測定用の測定孔を設けた。集水溝で捕捉した地下水を排水溝によって出水口に導水する。また、冬季における集水溝、排水溝内での凍結を防止するため保温層を設けた。

なお、設置にあたっては以下の点に留意した。

- ① 当試験地において涎流水が形成される主原因は側溝への湧水であるので、林道との距離も考慮にいれて、集水溝は地下水層が厚く、透水量の大きい地点を通過させ、地下水の主流向と鉛直に近い角度で交わるようにした。
- ② 経費面、効率面からできるだけ地形勾配と永久凍土層上面の勾配を利用した。

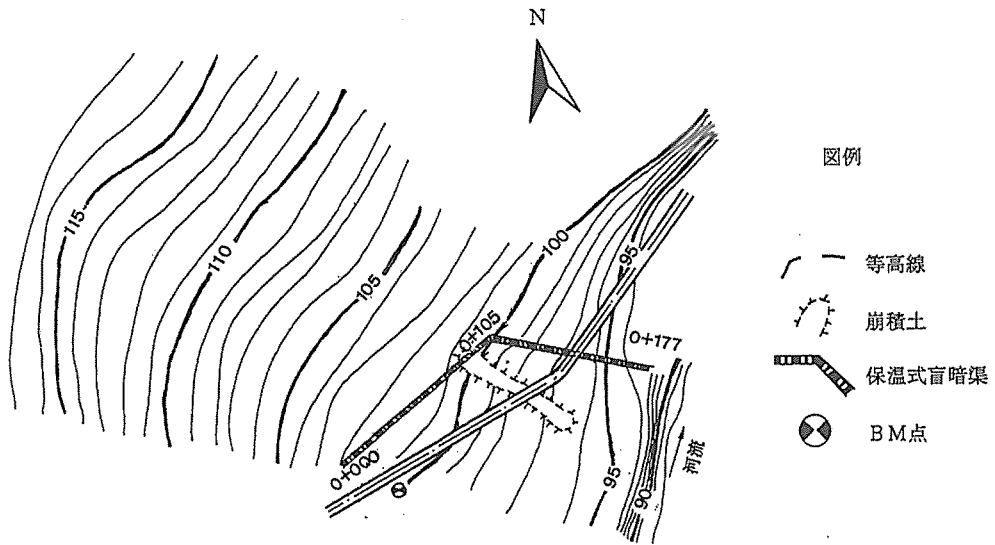


図-2 保温式盲暗渠位置図

集水溝（区間0+000～0+105）付近の地形勾配は5.9%，排水溝（区間0+105～0+177）付近の地形勾配は7%であり、また、地下水勾配が5～7%であることから、集水溝の縦断勾配を5%、排水溝の縦断勾配を6%とした。

③ 排水効率から出水口は河川付近に設けた。

その結果、集水溝と林道の距離は20～30mとなり、集水溝と排水溝は125度で結合した。集水溝の最大深さは3.47m、排水溝の最大深さは2.94m、平均深さは2.56mとなった（図-2）。

c. 保温式盲暗渠の構造と機能

保温式盲暗渠は主に排水層、フィルター層、保温層によって構成される（図-3）。

① 排水層

主要部分であり、底面より地下40～50cmまでをこの層が占めるが、透水性が高くなければならない。そのため粒径20～30cmの礫を用いた。透水能力は500～600m³/日であった。

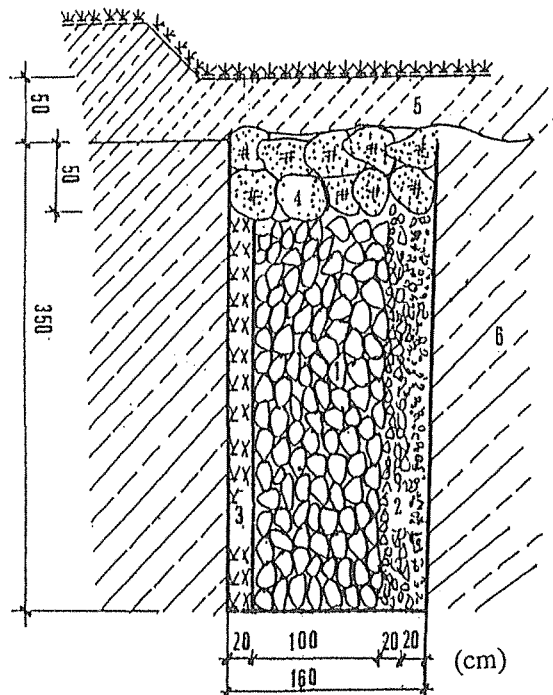


図-3 保温式盲暗渠横断面図

- 1. 排水層； 2. フィルター層；
- 3. 3mmのプラスチック板；
- 4. 鋸屑入りビニール袋；
- 5. 粘土層； 6. 含水層

② フィルター層

地下水中の細粒土などを取り除くものであり、詰まりやすいので多孔質のものを材料とすることが望ましいが、ここでは内側には粒径20～30mmの礫を、外側にはできるだけ小粒径のものをを用いた。この2層は互いに混ざらないように地面と鉛直に設けた。ただし、排水溝にはフィルター層は設けなかった。

③ 不透水層

集水溝の谷側側面に設け、材料には厚さ3mmのプラスチック板を用いた。

④ 保温層

冬季における集水溝、排水溝内での水の凍結を防止するために、2層からなる保温層を設けた。下層にはビニール袋にオガクズを入れたものを40～50cmの厚さに敷きならべ、上層は40～60cmの粘土層とした。

⑤ 出水口

河川より5～8mの位置に深さ6～8mの穴を掘り、砂で置換した。排水性能を高めるためできる限り河床勾配の急なところに設置し、頂部には保温層を設けた。

d. 結果と検討

1984～1986年の2冬季の観測および1992年冬季の現場調査では、試験地での涎流水の発生はみられなかった。これは、厳寒期の調査によって確認されたように気温が -32°C の条件下でも溝内の水温は $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ に保たれ、集水溝、排水溝とも順調に集水、排水がおこなわれ、十分な排水能力が保持されたことによるものであろう。

本工法の設計、施工は簡単で、コストも比較的低い。本試験地の保温式盲暗渠の設置に要した費用は約1.5万元であった。毎年発生する涎流水の防除費として約1.3万元が投入されていたことを考えると、地下水流が多く、集中する場所では、大規模涎流水にも本工法は防止工法として有効であろう。

おわりに

涎流水による災害の防止対策を構築することは緊急の課題であるが、涎流水の形成機構や形成過程については不明な点が多い。また、涎流水の防止工法として保温式盲暗渠の適用試験を行ったが、初めての経験であり設計・施工にまだまだ不十分な点も多いと考える。今後はさらに地下水の流動・溝内の水理・涎流水の形成機構や形成過程に関する調査・研究を進め、より合理的な防止対策を構築したいと考えている。

引用文献

- 1) 竹内典之・酒井徹朗・楊 潤田 (1991) 中国東北部興安嶺地域における凍土研究 1. 興安嶺地域における永久凍土の分布概況. 京大演報. 63. 218-225.
- 2) 秋田谷英次・小林俊一・柴 鵬飛 (1994) 中国東北部の道路雪氷災害と対策. 寒地技術論文・報告集. VOL. 10.
- 3) 原田千三 (1943) 雪・氷・凍土. 丸善.
- 4) 東海林明雄 (1979) 氷の融点に於ける粒界三叉交線での水脈の発達. 雪氷. VOL. 41. No. 2.

Résumé

This paper describes the outlines of Xianliuping which causes the great damage for forest roads in Xing An Ling and the blind trench applied to prevent its formation.

- 1) Xianliuping is called Aueis in Alaska and Crusty Ice in Finland and formed frequently in permafrost areas.
- 2) The blind trench applied to prevent the formation of Xianliuping is constructed easily and less expensively.
- 3) Xianliuping has not been formed in this place after the blind trench is constructed.