

CHAUFFAGE DES ROUTES A L'AIDE D'ENERGIE NATURELLE

Yoshikazu ISHIDA

Directeur du Koriyama National Highway Work Office, Bureau Régional de Tohoku
Ministère du Territoire, de l'Infrastructure et des Transports
Jyobunai 128-1, Asakamachi Arai, Koriyama, 963-0111, JAPON
Téléphone : + 81-24-946-8165, télécopie : + 81-24-946-5443
E-mail : ishida-y82ac@thr.mlit.go.jp

Résumé

Le Koriyama National Highway Work Office, Bureau Régional de Tohoku, Ministère du Territoire, de l'Infrastructure et des Transports, déploie différents efforts en faveur d'une gestion des routes respectueuse de l'environnement. Eco-Road, projet de développement routier sur la Route Nationale 289, dans la Préfecture de Fukushima, entre la ville d'Iwaki et Nishi-Shirakawa Gun, constitue l'un de ces efforts. Citons comme autres exemples sur la Route Nationale 49 un système de chauffage de la chaussée qui utilise l'électricité produite par une génératrice éolienne installée à l'entrée du Tunnel de Nakayama et un système de chauffage de la chaussée qui utilise l'eau d'un lac comme source de chaleur et devrait être installé au pare-avalanche de Nagurayama.

La Route Nationale 49 est une artère de 245,6 km entre les villes d'Iwaki, dans la Préfecture de Fukushima, et de Niigata ; elle relie le côté Océan Pacifique d'Honshu au côté Mer du Japon. 85 % de cette route sont situés dans des régions froides et enneigées et l'entretien hivernal des routes, qui comprend en particulier le déneigement, doit être pratiqué sur la majeure partie de cette route pour garantir la viabilité hivernale.

Les deux entrées du tunnel de Nakayama, à la limite de Koriyama et d'Inawashiro, sont le théâtre de la plus grave détérioration de la visibilité en raison des rafales de neige et du gel de la chaussée qui sont le résultat de son altitude et des forts vents saisonniers. Des solutions à ces questions s'imposent pour garantir la viabilité hivernale.

La partie de la route située dans la zone de pare-avalanche de Nagurayama connaissait aussi de nombreux accidents de la circulation en hiver. Cette section se caractérise par une altitude élevée, un fort enneigement, une série de virages près du lac Inawashiro, des zones à l'ombre et aucun obstacle aux forts vents saisonniers. Tous ces facteurs provoquent un gel de la chaussée susceptible de causer des accidents par dérapage des véhicules.

Introduction

A titre de contre-mesures à ces questions, le Koriyama Work Office a mis au point des systèmes de chauffage de

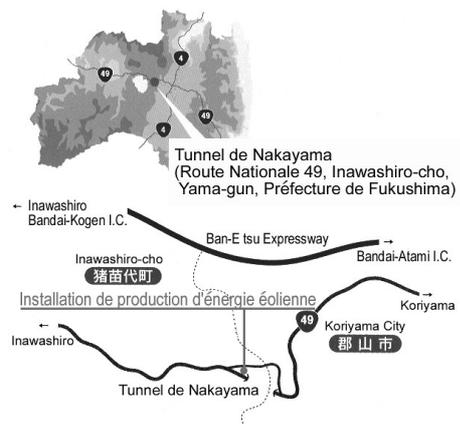


Figure 1 Situation de la génératrice éolienne du tunnel de Nakayama



Photo 1 Site de la turbine éolienne

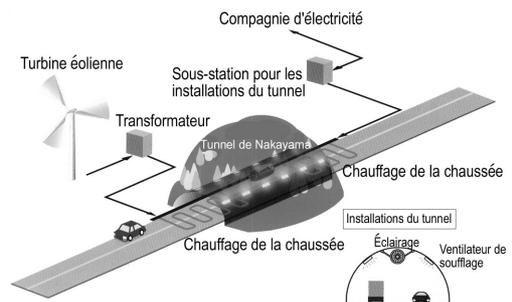


Figure 2 Grandes lignes du système de production d'énergie éolienne

la chaussée qui font appel à une énergie naturelle.

Cet article traite des grandes lignes, des performances et du processus de mise au point des systèmes de chauffage de la chaussée.

I 1. Grandes lignes de l'installation de production d'énergie éolienne pour le chauffage de la chaussée au tunnel de Nakayama

En hiver, l'installation de production d'énergie éolienne alimente en énergie électrique principalement le système de chauffage de la chaussée aux entrées du tunnel. Pendant les autres saisons qui ne nécessitent pas de fonte de la neige sur la route, l'électricité produite par l'installation sert à gérer les systèmes du tunnel de Nakayama comme un ventilateur de soufflage et l'éclairage. L'excédent d'électricité est vendu à une compagnie d'électricité. La turbine éolienne possède une puissance de 250 kW (hélice à trois pales fabriquée en Allemagne).

L'énergie produite par la turbine éolienne dépend de la force du vent, il faut donc concevoir le système de fonte de la neige de manière à éviter les effets de l'instabilité de l'alimentation électrique. Par exemple, il faut concevoir le système de fonte de la neige de manière à ce qu'il puisse continuer à fonctionner même en cas d'arrêt de la turbine éolienne. Afin d'identifier le système de fonte de la neige le plus efficace, des essais de fonctionnement sur site ont été réalisés.

Les capacités de fonte de la neige et la continuité de la fonte de la neige de deux types de système de chauffage de la chaussée (un système de fils chauffants électriques et un système d'accumulation de la chaleur) ont été testées. Bien que les tests aient fait apparaître la supériorité du système d'accumulation de la chaleur par rapport au système de fils chauffants électriques, c'est ce dernier qui a été retenu en raison de son coût inférieur et de sa durée d'installation inférieure. Cette route étant une route à grande circulation (15 000 véhicules par jour), il était difficile d'installer le système en limitant la circulation à une seule voie de manière prolongée. Pour une route qui vient d'être construite, l'adoption du système d'accumulation de la chaleur pourrait constituer une option applicable et il faudrait un examen approfondi pour déterminer le système qui serait le mieux adapté.

(1) Portion de route où a été installé le système de chauffage de la chaussée

A l'intérieur du tunnel, le système de chauffage de la chaussée a été installé sur 120 m de la voie à destination d'Iwaki et 100 m de la voie à destination de Niigata depuis l'entrée côté Inawashiro. Le système de chauffage de la chaussée a été installé également sur la route à l'extérieur du tunnel. La surface couverte par ce système a été déterminée à partir du coût et de la surface des travaux précédents.

(2) Système de régulation

Le système de chauffage de la chaussée a été divisé en plusieurs sections pour permettre de modifier le nombre de sections en service en fonction de l'énergie produite disponible.

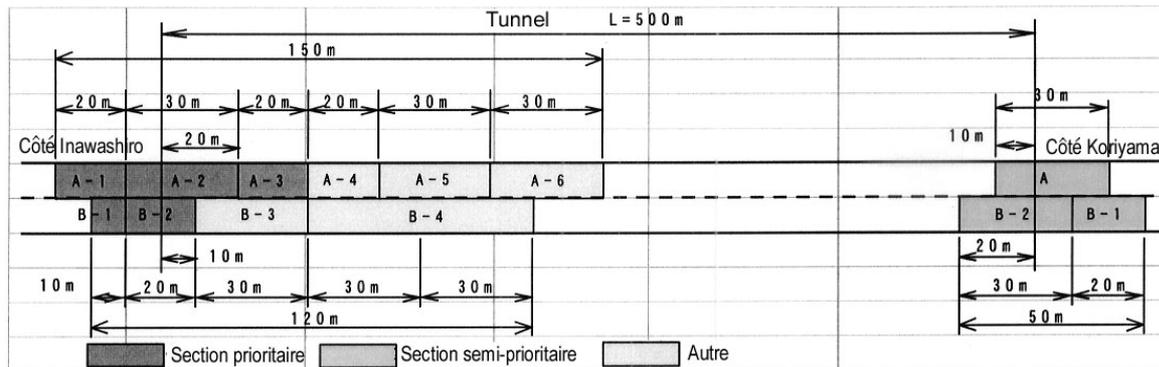


Figure 3 Système de régulation du chauffage de la chaussée par division de la route en sections

(3) Système de chauffage de la chaussée avec fils électriques chauffants

Ce type de système de chauffage de la chaussée est utilisé de manière classique. Toutefois, il y a eu quelques exemples d'installation du système de chauffage de la chaussée sur une route nationale avec maintien de la circulation pendant les travaux d'installation. Pour installer le système, on a choisi le câble de chauffage en tenant compte de sa facilité d'installation. L'élément chauffant est soit un fil électrique (alliage cupro-nickel) qui est utilisé de manière classique soit une fibre (fibre chauffante). Dans ce projet, la fibre a été utilisée pour la section à l'entrée côté Inawashiro et le fil électrique pour la section à l'entrée côté Koriyama.

(4) Structure du revêtement pour le système de chauffage de la chaussée

1) Couche intermédiaire (couche protectrice)

En général, il faut installer une couche protectrice pour protéger le câble de chauffage et faciliter l'installation de la couche de surface. Pour le revêtement de la couche protectrice, on a utilisé un mélange d'asphalte à plus faible teneur en agrégats pour empêcher la rupture de l'enveloppe du câble de chauffage. L'épaisseur de la couche protectrice est généralement de 30 à 40 mm. Le mélange d'asphalte pour la couche protectrice était de l'As13T, asphalte recyclé dense pour indice de circulation C (norme japonaise de volume de circulation : volume quotidien de 1000 à 3000 véhicules) car il n'est pas susceptible de provoquer un fluage du revêtement qui aurait des répercussions sur le revêtement de surface et sa résistance à la chaleur est relativement élevée. Son épaisseur est de 40 mm, valeur dont des tests ont montré qu'elle était correcte.

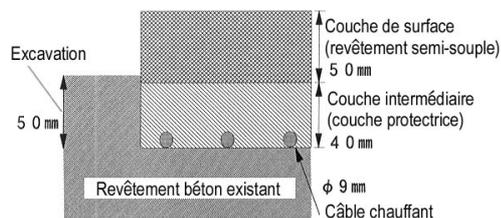


Figure 4 Structure du revêtement

2) Couche de surface (revêtement semi-souple)

Le revêtement semi-souple a été installé comme couche de surface en raison de sa facilité de pose en tunnel. Le revêtement semi-souple se compose d'un béton asphaltique à fort indice de porosité dans lequel on infiltre une pâte de ciment. Dans cet ouvrage, après installation de la couche de surface, il a fallu que la portion de route soit ouverte à la circulation pendant trois à quatre jours avant infiltration de la pâte de ciment dans la couche de surface. Par conséquent, un test a été réalisé pour identifier la variation de l'indice de porosité du revêtement de la couche de surface en fonction du nombre de jours d'ouverture à la circulation avant infiltration de la pâte de ciment. Les échantillons de test étaient deux types d'asphalte ouvert : asphalte développé de Type II (mélangé avec un élastomère thermoplaste et du caoutchouc) et asphalte à forte viscosité. Une machine de

test reproduisant le passage des roues a tourné sur la voie où était placé l'échantillon de test. Le nombre de rotations a été défini pour produire une charge cumulée équivalente au nombre de prévu de gros véhicules empruntant la route pendant les travaux de revêtement. La température de l'air de la salle de test a été maintenue à 20°C qui était la température prévue pour la réalisation des travaux. Après le test, l'indice de porosité de la partie verticale de l'échantillon de test où passait la roue a été mesuré. La vitesse de diminution de l'indice de porosité de l'asphalte à forte viscosité était inférieure à celle de l'asphalte développé de Type II ; par conséquent, on a utilisé l'asphalte à forte viscosité pour le revêtement de la couche de surface.

3) Installation

L'installation du système de chauffage de la chaussée a été réalisée de manière alternée sur chacune des deux voies pendant la nuit. Chaque voie a été ouverte à la circulation après l'installation. Les travaux en série, de l'installation du système de chauffage de la chaussée à l'installation du revêtement de surface, ont été réalisés sur chaque portion de route, ces portions étant divisées pour permettre une réalisation des travaux en continu. L'infiltration de la pâte de ciment dans le revêtement a été effectuée avec la définition d'une portion de 30 m de route comme une unité de travail. Il s'agissait de la plus faible longueur de route possible pour l'infiltration de la pâte de ciment qui était à prise rapide.

2. Etat de la turbine éolienne et de la consommation d'énergie électrique du système de chauffage de la chaussée

L'état de fonctionnement de la turbine éolienne et la consommation d'énergie électrique du système de chauffage de la chaussée au cours des deux années suivant leur installation sont donnés ci-après.

(1) Energie électrique produite par la génératrice sur site, excédent d'électricité vendu à une compagnie d'électricité et électricité achetée pour le système de chauffage de la chaussée (du 1er avril 1999 au 31 mars 2001)

Tableau 1

Point	Production d'énergie (unité : 10 000 kW/an)		Redevance (unité : 1000 yens/an)		Remarques
	2000	1999	2000	1999	
Energie électrique totale produite sur le site	41,6	36,3	6000	5500	
Electricité achetée à Tohoku Electric Power Co., Inc.	22,8	21,4	3400	3200	
Electricité consommée par les installations de gestion du tunnel	26,4	21,9	3900	3000	
Electricité consommée par le système de chauffage de la chaussée	17,2	15,8	2600	2500	de décembre à mars.
Excédent d'électricité vendu à Tohoku Electric Power Co., Inc.	20,8	.0	3100	3000	

Remarque : la figure 5 montre que la production d'électricité sur le site a augmenté lorsque le système de chauffage de la chaussée était utilisé.

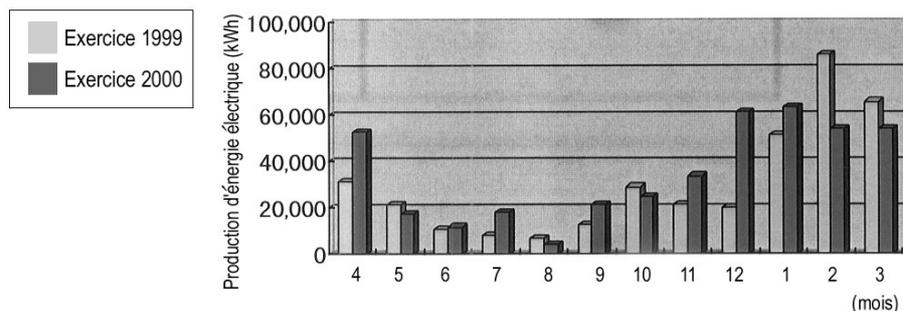


Figure 5 Variation de la production d'énergie électrique sur le site.

(2) Alimentation électrique et consommation d'énergie électrique des installations du tunnel

Le tableau 1 montre que la turbine éolienne a produit une quantité d'énergie électrique suffisante pour fournir la majeure partie de l'électricité consommée par le système de chauffage de la chaussée, l'éclairage de la route et les installations de conditionnement d'air du tunnel. On s'en rend compte du fait que la quantité d'électricité achetée à la compagnie d'électricité est pratiquement identique à la quantité vendue à cette même compagnie (tableau 1). Le système de production d'énergie électrique a réduit efficacement le coût d'exploitation des installations du tunnel.

(3) Avantages de la production d'énergie éolienne pour le système de chauffage de la chaussée

La comparaison de la fourniture et de la consommation d'électricité par mois montre que la consommation du système de chauffage de la chaussée a progressé entre le 2 février et le 3 mars 2000 et que la production d'électricité a augmenté en corrélation avec la consommation. Pendant la période la plus froide, le système de chauffage de la chaussée a souvent fonctionné. La production d'électricité a augmenté simultanément en raison des forts vents qui ont suivi les systèmes climatiques hivernaux qui se sont fréquemment formés. Le temps qui exigeait le fonctionnement à plein rendement du système de chauffage de la chaussée était pratiquement le même que celui qui permettait le fonctionnement de la turbine éolienne. Cette situation permet de penser que ce site convient à l'installation du système de chauffage de la chaussée mû par l'électricité produite par la turbine éolienne.

(4) Etat de la fonte de la neige

Comme le montrent les photos 2 et 3, le système de chauffage de la chaussée a fait fondre efficacement la neige à chaque entrée du tunnel de Nakayama. Toutefois, la neige, à l'entrée ouest côté Inawashiro, n'était pas toujours totalement fondue car l'entrée ouest est plus froide que l'entrée côté Koriyama. Outre les conditions climatiques difficiles et très variables régnant autour du tunnel de Nakayama, dues à la situation du tunnel dans un col, les vents saisonniers qui soufflent de l'ouest dans le tunnel font que le côté Inawashiro est le plus froid. Ainsi, le système de chauffage de la chaussée a eu parfois des difficultés à faire fondre la neige sur la portion de route côté Inawashiro.



Photo 2 Fonte de la neige à l'entrée côté Koriyama



Photo 3 Fonte de la neige à l'entrée côté Inawashiro

(5) Température de la surface de la chaussée au tunnel de Nakayama

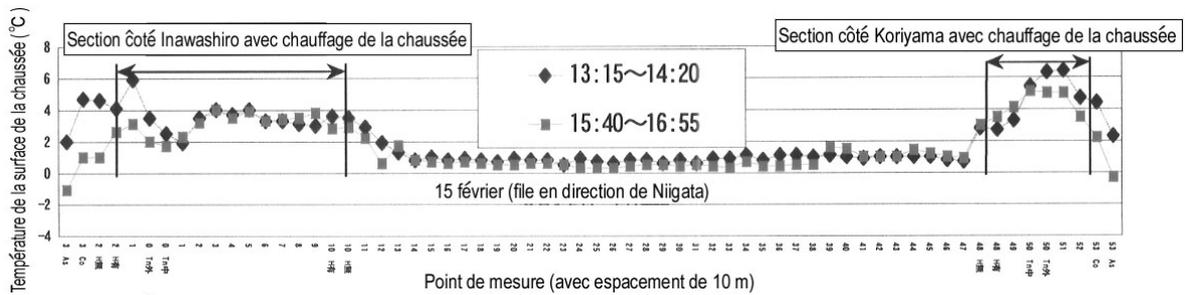


Figure 6 Variation de la température de la surface de la chaussée à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel de Nakayama

Problèmes à résoudre à l'avenir

- 1) Fonte de la neige de la portion de route dépourvue de chauffage de la chaussée.
L'eau fondue provenant du chauffage de la chaussée est parfois amenée dans le tunnel par les véhicules et elle gèle ensuite.
- 2) Garantir une source d'énergie pour le chauffage de la chaussée lorsque le vent est trop faible pour fournir une énergie suffisante au système de chauffage de la chaussée.
- 3) Fonctionnement instable du chauffage de la chaussée en raison des conditions climatiques très variables
- 4) Vent et neige chassés dans le tunnel.

Après installation du système de chauffage de la chaussée, les problèmes à résoudre ont été identifiés. Le temps qui peut provoquer les situations difficiles ci-dessus n'est pas fréquent. Toutefois, il faut développer des systèmes et des mesures permettant d'obtenir un fonctionnement plus efficace car le tunnel de Nakayama joue un rôle important dans la liaison entre la zone métropolitaine de Tokyo et la ville d'Aizuwakamatsu au nord et bon nombre d'automobilistes de la région de Tokyo ne sont pas habitués à la conduite sur route enneigée.

(6) Réduction du dioxyde de carbone

Lorsqu'on compare la quantité de dioxyde de carbone produite par le chauffage de la chaussée avec l'électricité d'origine éolienne et la quantité produite par le chauffage de la chaussée avec l'électricité du commerce, on estime que la première est égale à environ un cinquième de la deuxième (sur la base des données d'exploitation réelle).

II. Grandes lignes du chauffage de la chaussée par la chaleur de l'eau du lac

Ce système utilise la chaleur de l'eau d'un lac absorbée par échange de chaleur entre une solution d'antigel circulant dans des serpentins d'échange thermique en polyéthylène immergés dans le lac et l'eau du lac. La chaleur de l'eau absorbée dans le serpentin d'échange thermique est envoyée à une pompe à chaleur utilisée pour le chauffage de la chaussée .

La pompe à chaleur se compose d'un évaporateur, d'un compresseur, d'un condenseur et d'un détendeur. La chaleur à l'intérieur de la pompe à chaleur est transportée à l'aide d'un réfrigérant. Ce système possède les caractéristiques suivantes :

- 1) Il est respectueux de l'environnement : l'utilisation de l'eau du lac évite les affaissements de terrain dus au pompage des eaux souterraines et elle ne produit pas de dioxyde de carbone car la chaleur utilisée pour faire fondre la neige est obtenue sans brûler de combustibles fossiles.
- 2) Les coûts d'exploitation, y compris le coût de fonctionnement de la pompe à chaleur, sont égaux à un tiers de ceux d'un système de chauffage de la chaussée utilisant des fils chauffants électriques car la source d'énergie est la chaleur naturelle de l'eau du lac.
- 3) L'utilisation de l'eau provenant d'un lac ou d'un réservoir à proximité du site permet un coût d'installation inférieur par rapport à l'utilisation d'eaux souterraines.
- 4) La pompe d'échange thermique et la pompe à chaleur sont peu sujettes à des problèmes comme un dépôt d'impuretés à l'intérieur de la pompe ou une érosion de la pompe car l'antigel utilisé pour l'échange thermique est enfermé dans les pompes.
- 5) L'apport stable de chaleur est possible du fait que la température de l'eau au fond d'un lac ou d'un réservoir est constante, quelle que soit la chute de la température de l'air.

Dioxyde de carbone produit par l'utilisation du système de chauffage de la chaussées (unité : k, valeur estimée pour les 15 années à venir)

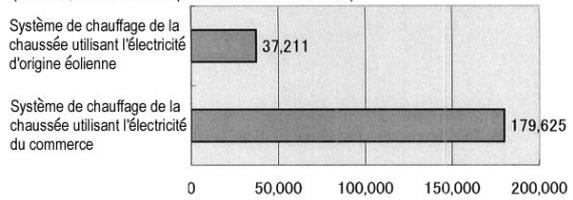


Figure 7 Diminution de la production de dioxyde de carbone du système de chauffage de la chaussée alimenté par l'énergie éolienne



Photo 4 Pare-avalanche de Nagurayama



Figure 8 Carte de répartition de la chaleur de l'eau du lac

- (1) Observation des variations de la température de l'eau du lac et du temps

La température de l'eau du lac, condition la plus importante pour l'application pratique du système de chauffage de la chaussée, a été mesurée de la

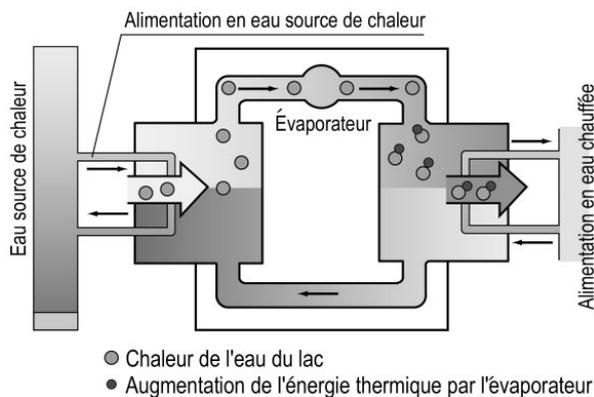


Figure 9 Système de pompe à chaleur (mécanisme d'élévation de la température de l'eau source de chaleur à utiliser pour le chauffage de la chaussée)

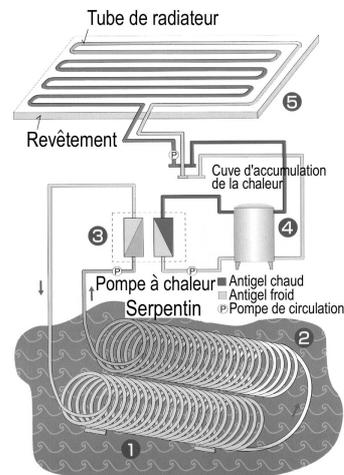


Figure 10 Grandes lignes du système de chauffage de la chaussée utilisant la chaleur de l'eau du lac

mi-décembre 1999 à mars 2000. Les conditions météorologiques ont été également observées au cours de cette période. Pendant ces mois d'observation, la température de l'air autour du pare-avalanche de Nagurayama à 6 h, le moment le plus froid de la journée, était inférieure à zéro presque tous les jours, en dehors de début janvier, bien qu'il y ait eu de légères variations de la température.

Malgré de fortes variations de la température de l'air en fonction des heures du jour, la température de l'eau du lac est restée constante. La température de l'eau du lac Inawashiro, qui ne gèle pas, a varié entre 2°C et 6°C.

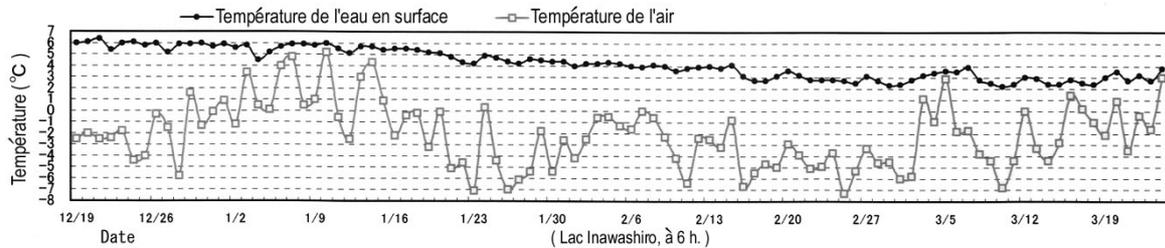


Figure 11 Variation quotidienne de la température de l'eau du lac et de la température de l'air (à 6 h)

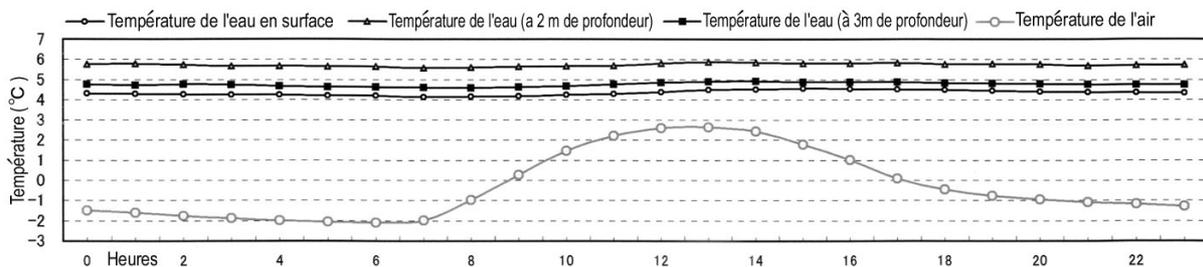


Figure 12 Variation quotidienne de la température de l'eau du lac et de la température de l'air

(2) Grandes lignes du test de capacité

Afin d'identifier la capacité de fonte de la neige du système de chauffage de la chaussée, un serpentin destiné à absorber la chaleur de l'eau du lac a été immergé à 70 m environ de la berge du lac Inawashiro et une portion de revêtement expérimental dans laquelle avaient été noyées des tubes radiateurs a été installée à côté de la route nationale.

On a utilisé trois unités de serpentins d'une longueur unitaire de 100 m. La pompe à chaleur avait une puissance de 2,2 kW. Le système a fonctionné dans les conditions suivantes : température de la cuve d'accumulation de la chaleur 25°C, température de surface du revêtement 2°C au démarrage du système. Pendant le test de capacité, la température de l'eau autour du serpentin, la température de surface et interne du revêtement et la hauteur de neige sur le revêtement sans le système de chauffage ont été également mesurées.

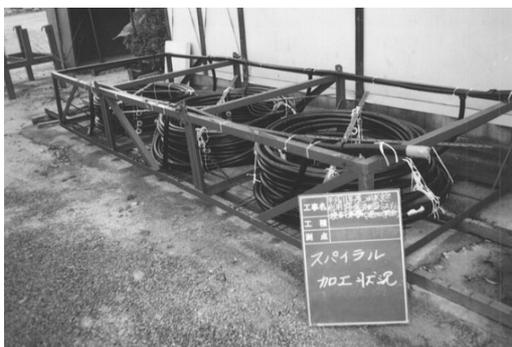


Photo 5 Serpentin d'échange thermique



Photo 6 Revêtement de test

(3) Résultats du test de capacité

Bien que les conditions météorologiques, pendant le test de capacité, aient été parfois de forts vents et d'intenses chutes de neige pendant quelques jours, la température de surface du revêtement a été maintenue à 6 - 8°C et la plupart de la neige a fondu pendant la période de test.

La production de chaleur moyenne par le système de chauffage de la chaussée a atteint 280W/m², la chaleur moyenne de l'eau du lac a été de 210W/m², ce qui montre que 75 % de la chaleur utilisée pour faire fondre la neige provenait de l'eau du lac.

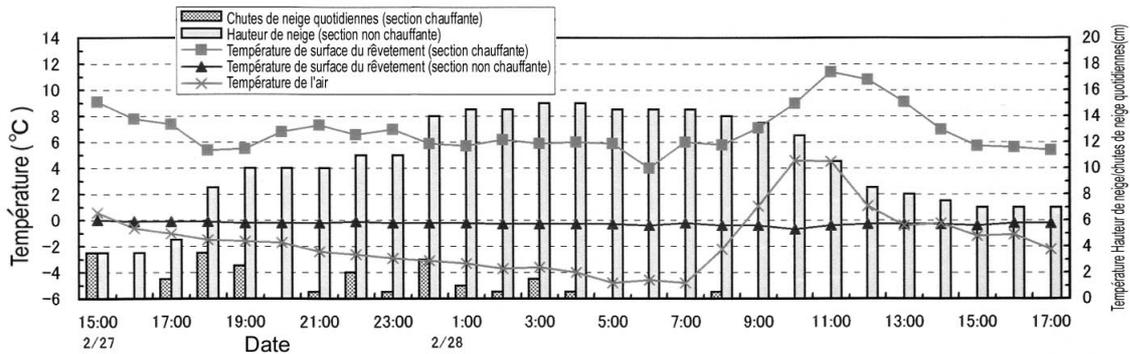


Figure 13 Variation de la température de surface du revêtement

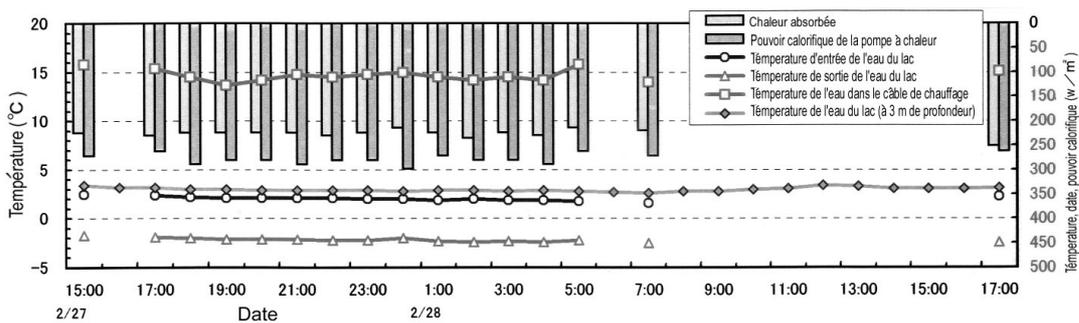


Figure 14 Variation de la valeur d'absorption de la chaleur et du pouvoir calorifique

Les figures 12 et 13 montrent la température de surface du revêtement, la valeur d'absorption de chaleur et le pouvoir calorifique les 27 et 28 février. Si la surface de la route choisie pour la fonte de la neige est de 1500 m², le coût initial du système de chauffage de la chaussée avec la chaleur de l'eau du lac s'élève à 80 000 yens/m², soit 1,5 fois le coût du système électrique de chauffage de la chaussée.

Les frais annuels de maintenance du premier, dépenses d'électricité comprises, s'élèvent à 1000 yens/m², soit 40 % du deuxième ; par conséquent, le coût cumulé du premier devient inférieur à celui du deuxième à partir de la quinzième année.

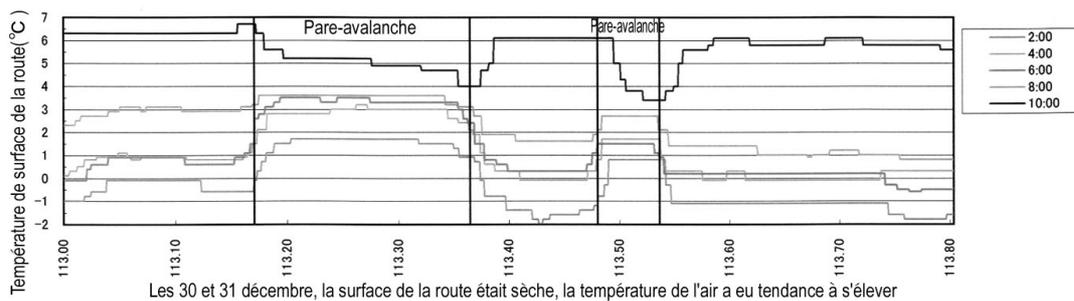


Figure 15 Température de surface de la route dans le temps

(4) Plage de fonte de la neige

La cartographie thermique a été réalisée à l'aide d'un thermomètre à émission infrarouge afin d'identifier les variations de température de la surface de la route à l'intérieur et à l'extérieur du pare-avalanche.

La cartographie thermique a montré que la température à l'intérieur du pare-avalanche est restée basse car le pare-avalanche arrêtaient les rayons du soleil. Une fois que la surface de la route gèle en raison de la faiblesse de la température, elle ne dégage pas même si le temps s'améliore et la différence d'état de la surface de la route à l'intérieur et à l'extérieur du pare-avalanche entraîne un état de la route dangereux. La présence, à Nagurayama, de deux pare-avalanches proches l'un de l'autre augmente le danger qui survient lorsqu'un changement rapide du temps entraîne des variations de l'état de la surface de la route sur la courte portion entre les deux pare-avalanches. La section de fonte de la neige comprenait la section sous et entre les deux pare-avalanches afin de conserver un degré de sécurité de la route égal à celui des autres sections.

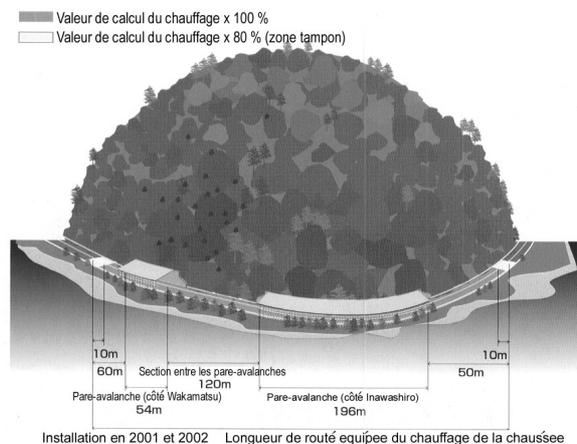


Figure 16 Vue en plan de la section équipée du chauffage de la chaussée

Conclusion

Le développement des équipements routiers exigé par les usagers de la route est incontestablement la mission essentielle des services de voirie. Des mesures efficaces d'entretien des routes adaptées à différents états de la route, comprenant l'amélioration du niveau de déneigement des routes et l'épandage automatique d'agents provoquant la fonte de la neige, sont recherchées. Pour mettre en œuvre ces mesures, il faut les examiner dans le détail en tenant compte des aspects comme le respect de l'environnement et le rapport coût-efficacité.

Les deux exemples présentés dans cet article sont des solutions aux fréquents accidents de la route provoqués par le gel de la surface des routes. Les deux types de systèmes de chauffage de la chaussée étaient des mesures écologiques de lutte contre ce problème. Ils utilisent les avantages naturels du site que sont les forts vents saisonniers et l'eau du lac Inawashiro, qui se trouve dans un parc national.

Le chauffage de la chaussée par l'électricité éolienne a été commandé comme ouvrage public d'après l'analyse de la valeur. Le système de chauffage de la chaussée utilisant la chaleur de l'eau du lac a été discuté par le Comité d'examen du chauffage de la chaussée par l'eau du lac. Lors de l'évaluation de ces projets, les technologies de sociétés privées ont été comparées et des experts ont été consultés.

Les responsables des services de voirie que nous sommes vont continuer à chercher à mettre au point des équipements routiers qui font appel à l'énergie naturelle sur site.

Enfin, nous aimerions saluer les efforts des nombreuses personnes impliquées dans les projets, depuis leur conception jusqu'à leur mise en œuvre.