

ETUDE SUR LA DISPERSION ET LE BILAN D'ÉCOULEMENT DU SEL DE DÉGLAÇAGE

Katsunori KADOYU*, Hirofumi ONISHI*, Yoshiharu NAMIKAWA*, Tomofumi NOZAKI**,
Et Shigeyuki NAKAMAE**

*National Institute for Land and
Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and
Transport
1, Ooazaasahi, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken,
305-0804 Japan
TEL +81-298-64-2211/FAX +81-298-64-7183

**Road Emergency Management Office
Road Bureau,
Ministry of Land, Infrastructure and
Transport
2-1-3, Kasumigaseki, Chiyodaku, Tokyo,
100-8944 Japan
TEL+81-3-3580-4311/FAX+81-3-5251-1949

1. Introduction

La distribution du sel de déglacement sur la route est indispensable pour assurer la sécurité de la circulation hivernale. Suite à l'interdiction d'utiliser les pneus à crampons, le volume du sel épandu augmente d'année en année, ce qui soulève le souci d'impact sur l'environnement naturel. Une distribution du sel de déglacement permettant d'assurer la sécurité de la circulation sans perturber l'environnement naturel est donc demandée.

Suivant l'expérimentation et l'étude sur le terrain, la présente étude a mis en évidence l'état de la dispersion et le bilan d'écoulement hors voie du sel de déglacement épandu sur la route, afin d'élucider le mécanisme de l'impact du sel de déglacement sur l'environnement naturel. Les résultats montrent que parmi le sel distribué, à peu près 10% sont dispersés hors de la route, et environ 50% se sont écoulés dans les caniveaux, etc. Par ailleurs, le volume de sel atteignant le sol hors de la route diminue rapidement suivant la distance à partir de la route, ce qui peut être simulé par une fonction exponentielle de la distance à partir de l'extrémité de la chaussée. Plus de 50% de sel dispersé ainsi retombent dans les 5 m de la chaussée.

2. Mécanisme de l'impact du sel de déglacement sur l'environnement naturel

La figure 1 montre le processus de dispersion et d'écoulement du sel distribué sur la chaussée. Le bilan d'écoulement du sel distribué sur la chaussée peut être représenté par la formule suivante:

$$\text{(Volume total distribué)} = \text{(Volume dispersé)} + \text{(Volume écoulé)} + \text{(Volume restant sur la chaussée)} + \text{(Volume attaché sur les véhicules)}.$$

Ici, le (volume restant sur la chaussée) revient finalement au (volume dispersé), au (volume écoulé) et au (volume attaché sur les véhicules).

La figure 2 schématise les divers impacts que pourront provoquer la dispersion et l'écoulement du sel. On peut penser que le sel de déglacement épandu sur la chaussée, en se

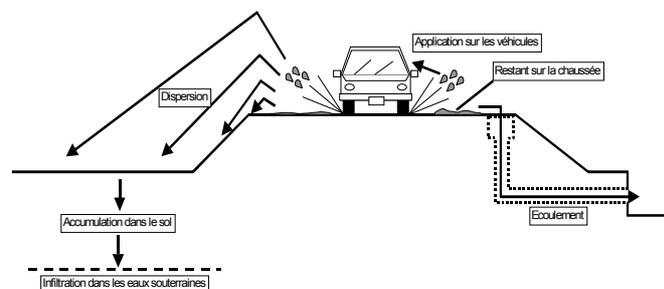


Figure 1 Schéma du processus de dispersion et d'écoulement du sel de déglacement

dispersant par la circulation des véhicules, s'accumule dans le sol, ce qui, par exemple, empêchera la croissance des végétaux.

Afin d'élucider le mécanisme de l'impact du sel de déglçage sur l'environnement naturel, il faut évaluer l'état de dispersion du sel à partir de la chaussée, et saisir comment les ions de chlore provenant du sel dispersé s'accumulent dans le sol, pour voir si une telle concentration d'ions de chlore empêche la croissance des végétaux. Et une fois que ce mécanisme est déchiffré, on pourra proposer des limites écologiques de distribution du sel de déglçage telles que le volume admissible du sel ou bien la fréquence admissible de sa distribution, des limites différentes de celles du point de vue de la maintenance routière.

Par conséquent, la présente étude vise à élucider l'état de dispersion et le bilan d'écoulement du sel de déglçage distribué sur la chaussée, ce qui constituera le premier stade d'éclaircissement du mécanisme de l'impact du sel de déglçage sur l'environnement naturel.

3. Aperçu des expérimentations et études

La présente étude tend à cerner l'état de dispersion et le bilan d'écoulement du sel de déglçage par des expérimentations et des études sur le terrain.

Les expérimentations visent à saisir les influences que le type de véhicule roulant sur la route, le nombre de véhicules, et la vitesse du véhicule exercent sur la dispersion du sel de déglçage distribué sur la chaussée. L'étude sur le terrain, par contre, a pour but d'éclaircir l'état de dispersion du sel de déglçage et le bilan d'écoulement du sel de déglçage distribué sur la chaussée dans des conditions de circulation réelles.

Dans le cadre des expérimentations menées sur la "route expérimentale de zone froide de Tomakomai" située dans la ville de Tomakomai à Hokkaido, les mesures (du volume de sel dispersé) ont été effectuées sur les 10 cas au total durant 10 jours, du 4 au 13 février 2001, avec les 2 sortes de collecteurs.

L'étude sur le terrain s'est déroulée sur la route nationale ordinaire de la région de Hokuriku, du 11 janvier au 21 mars 2001, permettant de mesurer les volumes de sel dispersé et de sel écoulé avec des collecteurs et des capteurs divers installés sur le terrain.

Par ailleurs, la mesure du volume de sel attaché sur les véhicules a été exclus de la présente étude en raison de la difficulté de sa réalisation.

4. Expérimentation sur la dispersion du sel de déglçage

4.1 Méthode

Le sel de déglçage distribué sur la chaussée s'envole en l'air dû à la circulation des véhicules ou au vent, se disperse et atteint le sol. Dans la présente expérimentation, le sel flottant en l'air est capturé par des gazes appliquées sur les cadres installés sur les tours de fer, et celui atteignant le sol est collecté avec des récipients installés le long de la route. Les conditions météorologiques telles que

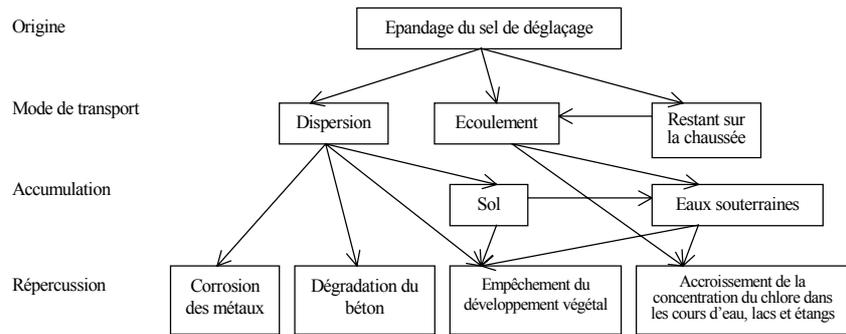


Figure 2 Répercussions diverses possibles de la dispersion et l'écoulement du sel de déglçage

la direction et vitesse du vent, la température ont été mesurées également.

L'expérimentation a été effectuée de manière suivante : 1) arroser la section concernée de la route expérimentale indiquée sur la figure 3 durant la veille du jour d'expérimentation pour éliminer le sel de la chaussée, et aménager une chaussée gelée; 2) installer les récipients collecteurs et les gazes le long de la route expérimentale au jour même d'expérimentation, et distribuer le sel de déglacage (chlorure de sodium) sur la section indiquée dans la figure 3; 3) faire circuler les véhicules sur la section d'expérimentation de la route d'essai; 4) récupérer les récipients collecteurs et les gazes.

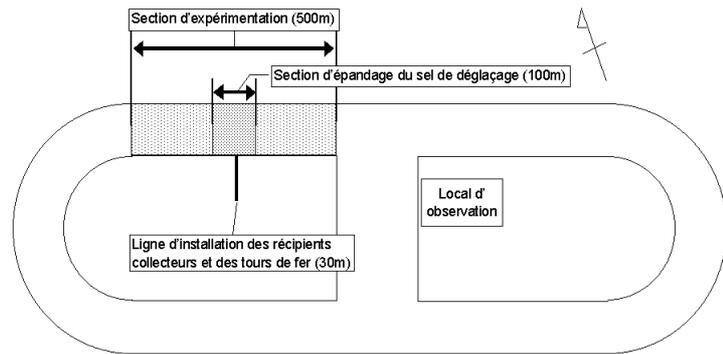


Figure 3 Route d'essai et section d'expérimentation de la dispersion du sel de déglacage

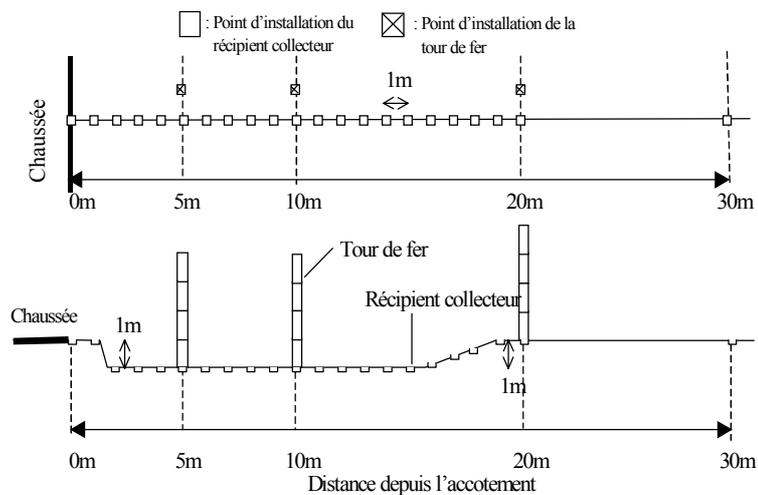


Figure 4 Points d'installation des récipients collecteurs et des tours de fer pour le sel de déglacage dispersé

4.2 Site de mesure

L'expérimentation a été menée sur la "route d'essai de zone froide de Tomakomai" gérée par l'Institut de génie civil de développement de la Direction du développement de Hokkaido, une route qui ne sera pas perturbée par la circulation ordinaire, et où on peut reproduire la dispersion du sel de déglacage de la chaussée gelée causée par la seule circulation des véhicules d'expérimentation. Les récipients collecteurs et les tours de fer ont été placés au côté sous le vent dominant de la période d'expérimentation comme indiqué dans la figure 3. Les récipients collecteurs placés au sol sont installés à chaque mètre de 0 à 20 m depuis l'extrémité de la chaussée, et à 30 de l'extrémité de la chaussée. Par contre, les tours de fer sont installées à 5, 10 et 20 m de l'extrémité de la chaussée, et les gazes appliquées sur les cadres en bois placés sur les tours de fer ont été installées à chaque mètre jusqu'à 4 m du sol comme indiqué dans la figure 4.

4.3 Cas expérimentaux

Les cas expérimentaux figurent sur le tableau-1. En fixant les cas 1 et 2 avec des véhicules de petite taille roulant à 40 km/h à une cadence de 40 véhicules/h comme cas de base, nous avons effectué les cas 3 et 4 avec une cadence de 60 véhicules/h, les cas 5, 6, 7, 8 avec une vitesse de 60 km/h, ainsi que les cas 9 et 10 avec des véhicules de grande taille roulant à une cadence de 60 véhicules/h, soit au total 10 cas.

La vitesse de véhicule a été fixée en tenant compte de la faible mobilité sur la chaussée hivernale gelée, et le volume de sel distribué a été fixé à 30 g/m² pour le cas de base compte tenu de la norme

de distribution, ainsi qu'à 60 g/m² et à 120 g/m² soit le double et le quadruple du cas de base.

Dans les discussions développées ci-après, les résultats ont été rendus adimensionnels en les divisant par le volume de sel distribué pour supprimer l'influence due au volume de celui-ci.

Tableau-1 Cas expérimentaux du sel de déglacement

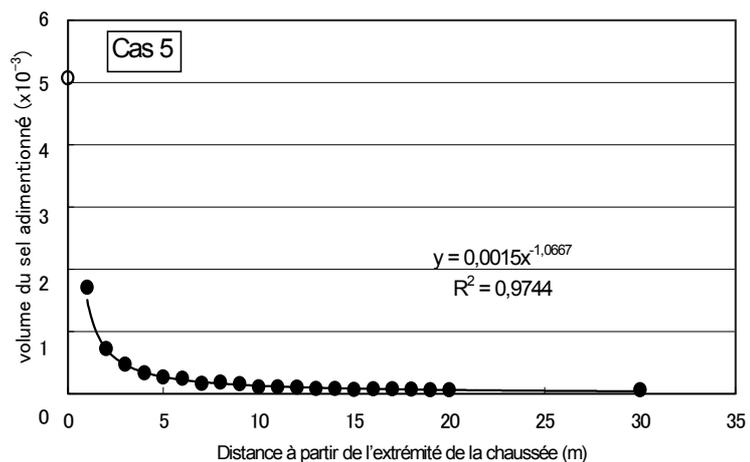
Cas	Conditions de circulation		Nombre de véhicules circulés	Volume de sel de déglacement	Conditions météorologiques	
	Type	Vitesse			Vitesse du vent	Direction dominante du vent
1	Petite taille	40km/h	40 véhicules/h	30g/m ²	4,4m/s	Ouest
2	Petite taille	40km/h	40 véhicules/h	60g/m ²	1,5m/s	Est-sud-est, Nord-nord-est
3	Petite taille	40km/h	60 véhicules/h	60g/m ²	1,6m/s	Ouest-nord-ouest
4	Petite taille	40km/h	60 véhicules/h	120g/m ²	1,2m/s	Nord-nord-est
5	Petite taille	60km/h	60 véhicules/h	60g/m ²	1,6m/s	Nord, nord-nord-ouest, ouest-nord-ouest
6	Petite taille	60km/h	60 véhicules/h	60g/m ²	3,4m/s	Ouest-nord-ouest
7	Petite taille	60km/h	60 véhicules/h	120g/m ²	0,9m/s	Nord, nord-nord-ouest
8	Petite taille	60km/h	60 véhicules/h	120g/m ²	2,2m/s	Ouest-nord-ouest
9	Grande taille	40km/h	60 véhicules/h	60g/m ²	1,3m/s	Nord-ouest
10	Grande taille	40km/h	60 véhicules/h	120g/m ²	1,1m/s	Nord

4.4 Résultats et discussions

4.4.1 Volume de sel atteignant le sol

La figure 5 indique un exemple de la relation entre le volume de sel de déglacement atteignant le sol après avoir été dispersé de la chaussée où il a été distribué et la distance à partir de l'extrémité de la chaussée. Comme le montre la figure 5, le volume de sel atteignant le sol tend à diminuer brusquement à mesure de la distance à partir de l'extrémité de la chaussée, et le volume de sel atteignant le sol situé à 5 m de l'extrémité de la chaussée était à peu près inférieur ou égal à 5% de celui de 0 m. Par ailleurs, le volume total de sel atteignant le sol situé de 5 à 30 m était de 5 à 50% environ par rapport à celui de 0 à 5 m.

Le tableau 2 montre les résultats d'approximation de la relation entre la distance depuis l'extrémité de la chaussée et le volume de sel atteignant le sol. L'approximation du volume de sel atteignant le sol par l'indice de la distance à partir de l'extrémité de la chaussée a été la meilleure façon pour les données de la présente expérimentation. Ici, le coefficient "a" de la formule d'approximation représente l'importance du volume de sel atteignant le sol, et l'indice "b" le degré de diminution par la distance. Les cas 1 et 6 n'ont pas été pris en considération en



Nota 1) Le volume du sel adimensionné a été obtenu en divisant le volume du sel (mg/m²) par le volume épandu (mg/m²).

Nota 2) Le point 0 m (O) a été exclu de l'approximation.

Figure 5 Exemple de la relation entre le volume du sel adimensionné atteignant le sol et la distance à partir de l'extrémité de la chaussée

raison de la dispersion de données importante due au vent fort soufflant parallèlement à la route, par rapport aux autres cas.

Les lignes suivantes expliquent la relation entre la grandeur du coefficient et de l'indice, et le nombre de véhicules circulés, la vitesse du véhicule et le type de véhicule.

(1) Relation avec le nombre de véhicules

Suivant la comparaison entre le cas 2 qui est le cas de base et les cas 3, 4 où seulement le nombre de véhicules augmente, l'indice diminue, autrement dit la diminution par la distance devient importante, à mesure que le nombre de véhicules s'accroît (voir figure 6 et 8). La fréquence de dispersion par l'éclaboussement d'eau augmente suivant l'accroissement du nombre de véhicules circulant sur la chaussée, ce qui résulte une augmentation de la diminution par la distance.

(2) Relation avec la vitesse du véhicule

En comparant les cas 3, 4 et les cas 5, 7, 8 où la vitesse du véhicule s'accroît, on peut dire que plus la vitesse du véhicule augmente, plus l'indice diminue et la valeur du coefficient s'accroît (voir figure 6, 7, 8). C'est-à-dire que l'augmentation de la vitesse du véhicule entraîne un accroissement du volume de sel atteignant l'extrémité de la chaussée, tandis que le volume de sel atteignant le sol au-delà de la chaussée diminue brusquement en se convergeant à une valeur constante à un endroit éloigné de l'extrémité de la chaussée. Ceci peut être expliqué par l'accroissement du volume de sel atteignant le sol par la dispersion due à l'éclaboussement d'eau suivant l'augmentation de vitesse du véhicule, dont l'influence atteint une étendue plus ou moins éloignée de l'extrémité de la chaussée (voir figure 6).

Tableau 2 Relation entre le coefficient et l'indice de la formule d'approximation du volume du sel adimensionné

Cas	$y = ax^b$		
	x: Distance à partir de l'extrémité de la chaussée (m)		
	y: volume du sel adimensionné		
	Coefficient "a"	Indice "b"	Valeur de r^2
2	0,00011	-0,2688	0,5476
3	0,00021	-0,7169	0,4982
4	0,00007	-0,5459	0,7878
5	0,00151	-1,0667	0,9744
7	0,11626	-2,661	0,8914
8	0,00034	-0,4957	0,2919
9	0,01034	-1,544	0,9844
10	0,00976	-1,5031	0,9578

Nota 1) Le point 0 m (○) a été exclu de l'approximation.

Nota 2) Le volume du sel adimensionné a été obtenu en divisant le volume du sel mesuré (mg/m^2) par le

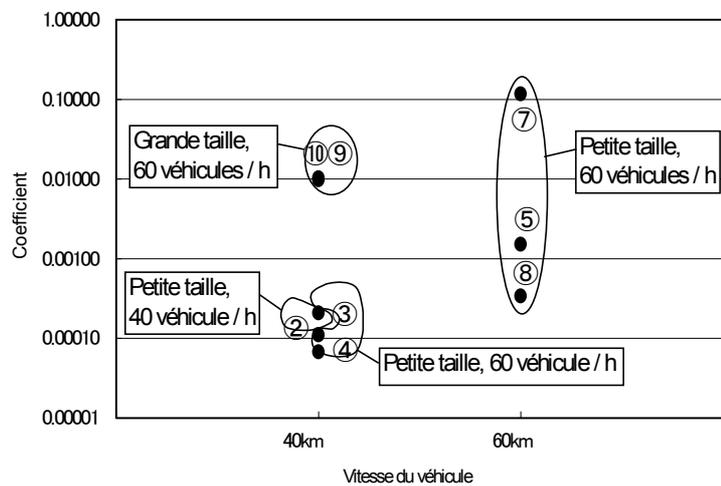


Figure 6 Relation entre le coefficient "a" et les conditions de circulation ainsi que le nombre de véhicules

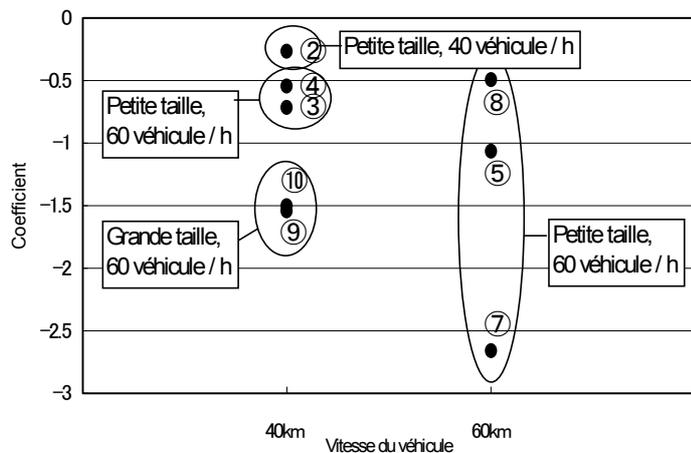
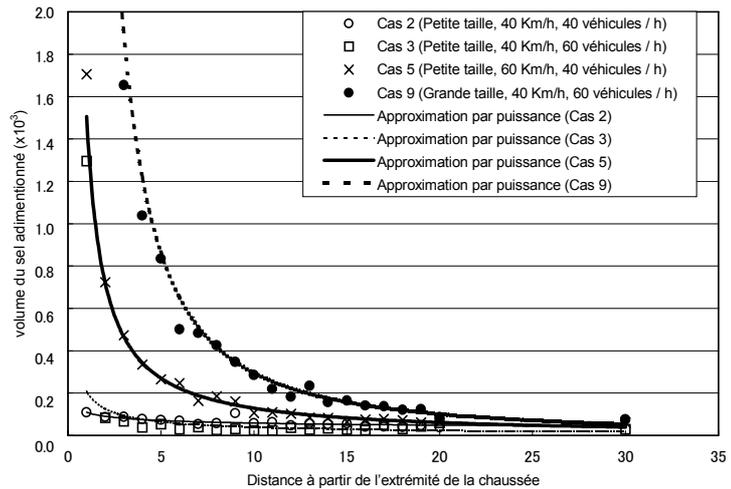


Figure 7 Relation entre l'indice "b" et les conditions de circulation ainsi que le nombre de véhicules

(3) Relation avec le type de véhicule

D'après la comparaison entre les cas 9, 10 où on a fait circuler des véhicules de grande taille et les cas 3, 4 dont les conditions de circulation et de nombre de véhicules sont pareilles aux cas 9, 10, il s'avère que dans les cas avec les véhicules de grande taille, l'indice devient minime et la valeur du coefficient s'accroît (voir figure 6, 7, 8). On peut penser que l'augmentation de la taille du véhicule entraîne un accroissement du volume de sel atteignant le sol par la dispersion, dont l'effet s'étend à une certaine distance de l'extrémité de la chaussée.



Nota 1) Le point 0 m (O) a été exclu de l'approximation.

Nota 2) Le volume de sel adimentonné a été obtenu en divisant le volume du sel mesuré (mg/m²) par le volume épandu (mg/m²).

Figure 8 Relation entre le volume du sel adimentonné et la distance à partir de l'extrémité de la chaussée (exemple représentatif)

5. Etude sur le terrain

5.1 Méthode

Le sel de déglacage distribué sur la chaussée, soit atteindra le sol en se dispersant à l'aide de la circulation des véhicules ou bien du vent, soit s'écoulera du caniveau de la route en se mêlant dans les flux de déneigement, etc.

Dans la présente étude, le volume de sel atteignant le sol a été mesuré avec des récipients collecteurs placés le long de la chaussée, et celui du sel qui s'écoule dans le caniveau avec un capteur de conductivité électrique et un capteur de niveau d'eau placés dans un obstacle triangulaire installé dans le caniveau. Les conditions météorologiques telles que la direction et la vitesse du vent, ainsi que la température ont été également mesurées.

La mesure s'est déroulée durant environ 70 jours, du 11 janvier au 21 mars 2001. Les récipients collecteurs ont été récupérés chaque 7 jours pour analyser dans le laboratoire la concentration d'ions de chlore. Les données obtenues par le capteur de conductivité électrique et le capteur de niveau d'eau ont été enregistrées automatiquement chaque heure à l'aide de collecteur de données. Par ailleurs, lors de la récupération des récipients collecteurs, les eaux du caniveau ont été collectées pour mesurer le volume d'écoulement du sel, la concentration d'ions de chlore, la conductivité électrique et le pH.

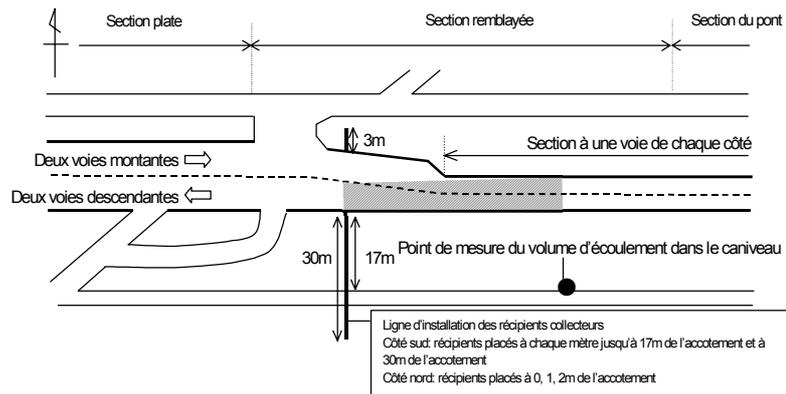
Le volume de sel de déglacage (chlorure de sodium) distribué a été calculé suivant le registre de distribution de sel de déglacage du bureau (local) de la Direction des routes qui gère la chaussée concernée.

5.2 Site d'étude

Une route nationale ordinaire sur laquelle est distribué le sel de déglacage pendant l'hiver, et où il est possible de placer des récipients collecteurs dans une étendue d'environ 30 m de l'extrémité de la chaussée au côté sous le vent dominant durant la période d'étude a été

sélectionné comme site d'étude.

Les récipients collecteurs ont été placés à chaque mètre de 0 à 17 m et à 30 m de l'extrémité de la chaussée du côté montant, ainsi qu'à chaque mètre de 0 à 2 m de l'extrémité de la chaussée du côté descendant comme indiqué dans la figure 9.



Nota 1) Section d'épandage du sel de déglacage: environ 1,6 Km pour les voies montantes et descendantes (volume d'épandage: 20g/m², largeur d'épandage: 12m pour l'ensemble des voies montantes et descendantes)

Nota 2) La partie hachurée représente la surface réceptrice du drainage de la chaussée (environ 200m)

Figure 9 Site d'étude sur le terrain

Tenant compte de la dispersion selon l'endroit placé, deux récipients ont été installés à la même distance.

Le capteur de conductivité électrique et le capteur de niveau d'eau ont été placés dans un endroit du caniveau où les eaux s'écoulant de la chaussée se concentrent, comme le montre la figure 10.

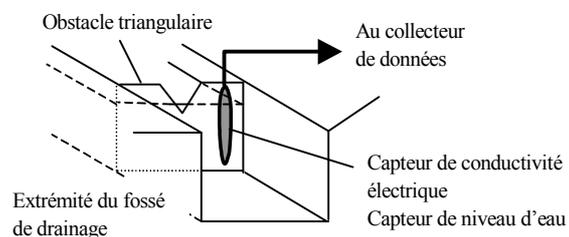


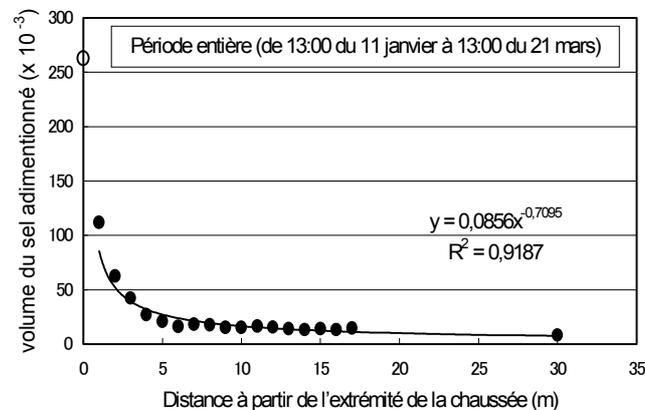
Figure 10 Etat de mise en place des capteurs

5.3 Résultats et discussions

5.3.1 Volume du sel atteignant le sol

La figure 11 montre la relation entre le volume du sel de déglacage atteignant le sol en se dispersant de la chaussée où il a été distribué (volume du sel atteignant le sol) et la distance depuis l'extrémité de la chaussée. L'ordonnée de la figure 11 indique la valeur obtenue en divisant le total du volume du sel atteignant le sol de l'ensemble de jours de mesure

par le volume total de sel distribué par mètre carré. Comme le montre la figure 11, le volume du sel atteignant le sol tend à diminuer suivant la distance depuis l'extrémité de la chaussée, et le volume atteignant le sol à 5 m de l'extrémité de la chaussée était d'environ 8 % de celui à 0 m. Par ailleurs, le volume total du sel atteignant le sol de 5 à 30 m de l'extrémité de la chaussée était d'environ 90 % de celui de 0 à 5 m. Pour la figure 11, le coefficient "a" est de 0,0856 et l'indice "b" de -0,71. Nous allons mentionner ci-après les facteurs influençant le coefficient "a" et l'indice "b".



Nota 1) Le volume du sel adimentonné a été obtenu en divisant le volume du sel mesuré (mg/m²) par le volume épandu (mg/m²)

Nota 2) Le point 0 m (O) a été exclu de l'approximation.

Figure 11 Relation entre la distance à partir de l'extrémité de la chaussée et le volume du sel adimentonné

(1) Coefficient “a”

Concernant l'étude sur le terrain, le coefficient “a” représentant l'importance du volume du sel atteignant le sol, est supérieur à celui de l'expérimentation sur la route d'essai. Ceci sera dû à la différence du trafic et de la vitesse des véhicules des cas d'expérimentation par rapport à ceux de la route réelle, comme le montre le tableau 3. Pour les véhicules de petite taille, le coefficient “a” de la route réelle est plus de 100 fois le coefficient de l'expérimentation, mais le trafic de la route réelle (240 à 360 véhicules / 6 h) est d'environ 31 à 46 fois le trafic d'expérimentation. Tandis que pour les véhicules de grande taille, le coefficient “a” de la route réelle est d'environ 8 fois le coefficient de l'expérimentation, mais le trafic de la route réelle (360 véhicules / 6 h) est d'environ 10 fois le trafic d'expérimentation.

Si le volume du sel atteignant le sol dépend de la dispersion causée par l'éclaboussement de la circulation répétée des véhicules, il est difficile d'imaginer que le coefficient “a” de la route réelle dépasse la valeur obtenue en multipliant le coefficient “a” de l'expérimentation par le rapport du trafic de l'expérimentation à celui de la route réelle. Compte tenu de ce fait, le coefficient “a” de la route réelle est fortement influencé par le trafic et la vitesse des véhicules de grande taille.

Tableau 3 Conditions de circulation du site d'étude sur le terrain

Côté descendant			Côté montant			Total	
Trafic		Vitesse des véhicules (km/h)	Trafic		Vitesse des véhicules (km/h)	Trafic	
Véhicules de petite taille (véhicules / jour)	Véhicules de grande taille (véhicules / jour)		Véhicules de petite taille (véhicules / jour)	Véhicules de grande taille (véhicules / jour)		Véhicules de petite taille (véhicules / jour)	Véhicules de grande taille (véhicules / jour)
5.669	1.753	57,7	5.439	1.672	55,8	11.108	3.425

(2) Indice “b”

L'indice “b” qui représente le degré de la diminution du volume du sel atteignant le sol, est pareil pour l'étude sur le terrain et pour l'expérimentation. Ici, l'indice “b” de la route réelle est supérieur à celui des véhicules de grande taille obtenu lors de l'expérimentation, ce qui dit que la diminution par la distance est inférieure pour la route réelle. On peut penser que la vitesse des véhicules de grande taille sur la route réelle étant supérieure à celle de l'expérimentation, le volume du sel atteignant le sol par la dispersion due à l'éclaboussement de l'eau s'accroît, et cet effet touche une étendue plus ou moins éloignée de l'extrémité de la chaussée.

Par conséquent, le volume du sel atteignant le sol sur la route réelle serait fortement influencé par le trafic et la vitesse des véhicules de grande taille.

Tableau 4 Relation entre le volume distribué et le volume du sel atteignant le sol ainsi que le volume du sel écoulé

Ecoulement par dispersion			Ecoulement dans le caniveau		
Volume distribué (g/m)	Volume du sel atteignant le sol (g/m)	Pourcentage (%)	Volume distribué (g/m)	Volume du sel écoulé dans le caniveau (g/m)	Pourcentage (%)
14.400	871	6,0	10.566	5.629	53,3

Nota 1) La différence du volume de distribution entre l'écoulement par dispersion et l'écoulement dans le caniveau résulte de l'exclusion du volume du sel distribué lorsque la mesure du volume d'écoulement dans le caniveau n'a pas été effectuée.

Nota 2) Le volume du sel atteignant le sol représente le volume du sel atteignant une étendue de 30 m depuis l'extrémité de la chaussée du côté montant.

Nota 3) Le volume distribué dans la rubrique “écoulement dans le caniveau” est obtenu en divisant le volume du sel distribué sur la surface réceptrice du caniveau par la longueur de la route.

5.3.2 Bilan du sel de déglacage

Le tableau 4 montre la relation entre le volume total du sel atteignant le sol et le volume écoulé par le caniveau de la route en se mêlant dans les neiges déneigées (volume du sel écoulé), et le volume total du sel distribué. Selon ce tableau, il apparaît qu'environ 6 % du sel distribué atteignent le bord de la chaussée et qu'environ 53 % s'écoule dans le caniveau.

6. Relation entre le volume du sel atteignant le sol et le coefficient "a" ainsi que l'indice "b"

Le volume total du sel atteignant le sol jusqu'à une distance voulue peut être calculé en intégrant par la distance le volume du sel atteignant le sol qui est une fonction de la distance depuis l'extrémité de la chaussée ($Y = aX^b$). La valeur

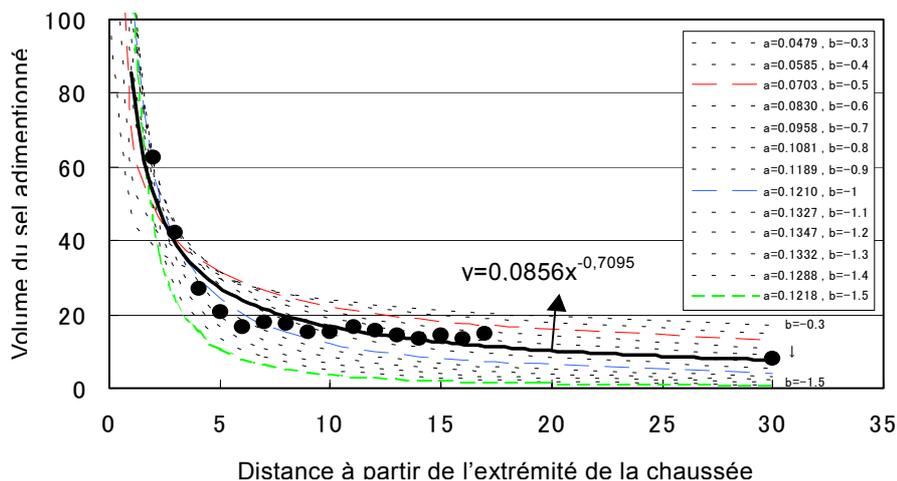


Figure 12 Relation entre le volume du sel adimensionné et le coefficient "a" ainsi que l'indice "b"

obtenue en intégrant par la distance le volume du sel atteignant le sol rendu adimensionnel par le volume du sel distribué (ci-après "volume du sel adimensionné atteignant le sol") représente le rapport du volume total du sel atteignant le sol sur le volume total du sel distribué (ci-après "rapport du volume atteignant le sol").

Selon les résultats de la présente expérimentation et l'étude sur le terrain, le rapport du volume atteignant le sol est d'environ 6 % et l'indice "b" de -1,5 à -0,3, d'où résulte la figure 12 indiquant la relation entre la distance depuis l'extrémité de la chaussée et le volume du sel adimensionné atteignant le sol. Le volume du sel atteignant le sol d'un endroit précis peut être obtenu en multipliant le volume du sel adimensionné atteignant le sol de cet endroit par le volume du sel distribué.

Par ailleurs, en élucidant le volume du sel nécessaire à accumuler une concentration d'ions de chlore nuisible à la croissance des végétaux, etc. (ci-après "volume du sel nuisible à la croissance"), on peut prévoir si un empêchement de la croissance des végétaux se provoque en comparant le volume du sel nuisible à la croissance et le volume du sel atteignant le sol.

Et une fois que le volume du sel nuisible à la croissance est obtenu, on peut proposer la fréquence admissible de distribution du sel de déglacage qui n'empêche pas la croissance des végétaux en comparant le volume du sel adimensionné atteignant le sol de chaque distance et la norme de distribution du sel de déglacage par distribution (voir formule ci-après).

$$aX_1^b \times N \times S_{d_{std}} \leq I_{g_{crt}}$$

aX_1^b : volume du sel adimensionné atteignant le point X1 depuis l'extrémité de la chaussée,

N: Nombre de distribution du sel de déglacage,

$S_{d_{std}}$: Norme de distribution du sel de déglacage par distribution,

$I_{g_{crt}}$: Volume du sel nuisible à la croissance

Cependant, pour obtenir un volume précis du sel atteignant le sol, il faut élucider la relation entre le rapport du volume atteignant le sol, les conditions de circulation, les conditions météorologiques et l'indice "b", en accumulant les expérimentations et les études sur le terrain.

7. Conclusion

L'expérience et l'étude sur le terrain ont mis en évidence les points suivants:

- l'approximation de la relation entre le volume du sel de déglacage distribué et le volume du sel atteignant le sol peut être fait par une fonction exponentielle de la distance depuis l'extrémité de la chaussée ($Y = aX^b$),
- selon l'expérimentation, le coefficient "a" et l'indice "b" de la fonction exponentielle dépend du nombre de véhicule circulant, la vitesse du véhicule, le type de véhicule et la vitesse du vent,
- concrètement dit, plus le nombre de véhicules augmente, plus l'indice "b" s'amointrit, plus la vitesse du véhicule s'accroît, plus l'indice "b" diminue et plus le coefficient "a" s'agrandit, l'indice "b" s'amointrit et le coefficient "a" s'agrandit pour les véhicules de grande taille, et dans une vitesse du vent importante, l'indice "b" s'approche à 0,
- selon l'étude sur le terrain, le coefficient "a" et l'indice "b" de la fonction exponentielle est plus fortement influencés par le trafic et la vitesse des véhicules de grande taille que ceux de petite taille,
- une fois que la relation entre le coefficient "a" et l'indice "b" de la fonction exponentielle, et les conditions de circulation ainsi que celles météorologiques est élucidé, en accumulant désormais les expérimentations et les études sur le terrain, on peut définir clairement le volume du sel atteignant le sol selon la distance depuis l'extrémité de la chaussée.

8. Devoir

La présente étude a permis d'éclaircir par l'étude sur le terrain et l'expérimentation le bilan d'écoulement et l'état de dispersion du sel de déglacage épandu sur la chaussée. Cependant, étant donné que les données de l'étude sur le terrain ne concernent qu'une saison hivernale de l'année dernière, et que l'expérimentation n'a rassemblé qu'une dizaine de cas, il est nécessaire d'accumuler les données des cas où les conditions routières, de la circulation, météorologiques, etc., sont différentes. Par ailleurs, pour élucider le mécanisme de la répercussion à l'environnement naturel, il faut accumuler les données en effectuant des études sur la résistance contre le sel des végétaux, etc.

Désormais, nos efforts porteront sur l'accumulation des données afin d'établir une méthode d'épandage du sel de déglacage qui ne nuit pas à l'environnement naturel.

Remerciement

L'étude sur le terrain ainsi que l'expérimentation mentionnées dans le présent document ont été réalisées sous les auspices de la Direction du développement de Hokkaido, de l'Institut du génie civil de développement de la Direction du développement de Hokkaido, de la Direction de l'aménagement régional de Hokuriku, ainsi que du Bureau technique de Hokuriku de la Direction de l'aménagement régional de Hokuriku. Nous présentons nos remerciements aux personnes qui ont dirigé la présente étude.