

COMMENT PREVENIR L'ACCUMULATION DE NEIGE ET DE GLACE SUR LES OUVRAGES ROUTIERS

Hideto Takemoto, Yasunori Hayasaka, Hiroyasu Ikeda and Masaru Matsuzawa

Road Division, Civil Engineering Research Institute of Hokkaido
1-34, Hiragishi 1-3, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido 062-8602
TEL: +81-11-841-1747 / FAX: +81-11-841-9747
E-mail: h.ikeda@ceri.go.jp

1. Objectifs de l'étude

Les ouvrages routiers sont constitués d'éléments qui s'étendent sur toute la largeur de la route ou couvrent les voies de circulation, tels que les membrures supérieures des ponts en arcs/treillis, et les entrées d'abris et de tunnels. A Hokkaido par temps froid et neigeux, la neige et la glace peuvent s'accumuler sur ces éléments puis tomber en raison de vibrations dues au trafic et/ou d'un réchauffement de la température, ce qui peut causer d'éventuels accidents. Ces dernières années, différentes mesures ont été adoptées dans la conception des ouvrages routiers pour éviter de tels accidents. Même si des opérations de déneigement sont entreprises, il est très difficile d'enlever la neige accumulée dans les parties supérieures d'un pont par exemple.

Cette communication présente les résultats de nos observations sur l'accumulation de neige et de glace sur les ponts. Des exemples de mesures prises par le passé et visant à éviter une telle accumulation et les résultats obtenus sont analysés. En outre, à partir des résultats de nos essais en extérieur sur l'accumulation/chute de la neige pratiqués sur des éléments porteurs, nous proposons des mesures importantes de prévention dans ce domaine.

2. Accumulation type de neige et de glace sur les ponts d'Hokkaido

Les données obtenues lors d'une précédente étude indiquent qu'à Hokkaido, la neige s'accumule et persiste sur les éléments de structure tels que les arcs à âme pleine, les tirants, les contreventements horizontaux supérieurs, et les toits. Dans certains cas la neige peut geler à l'interface neige - élément porteur.

3. Etudes et mesures anti-accumulation

Les études et les mesures anti-accumulation doivent s'attacher à minimiser les facteurs qui favorisent toute accumulation. Cet objectif peut être atteint en adoptant des conceptions et des structures appropriées (tant au niveau de la forme que des matériaux) et en faisant appel à la chaleur.

(1) Mesure structurelle

Il n'existe aucune conception ou structure qui permette de prévenir l'accumulation de neige et de glace quelles que soient les conditions météorologiques. En conséquence, la conception et les mesures structurelles doivent s'efforcer de réduire l'accumulation de neige et de glace.

1) Il est possible de réduire la quantité de neige accumulée en faisant appel à des ouvrages de forme adaptée. Il convient également de prendre en compte le vent qui est un élément clé dans l'accumulation de neige lors du calcul de la forme des ouvrages.

2) On peut réduire l'accumulation de neige et de glace en recouvrant les éléments d'une peinture hautement hydrophobante et en utilisant des matériaux appropriés pour les éléments porteurs. Cependant, on ne sait pas combien de temps ces mesures seront efficaces.

(2) Utilisation de la chaleur

Ce procédé fait appel à des lampes infrarouges, des éléments de chauffage, et un fil chauffant pour réchauffer la surface des éléments porteurs et ainsi faire fondre la neige déposée. Un tel système de chauffage entraînerait des coûts initiaux et de fonctionnement relativement élevés. Il serait également nécessaire de s'assurer que la mise en route et l'arrêt de ces dispositifs seraient correctement programmés.

4. Observation sur le terrain d'accumulation de neige et de glace et résultats

Nous avons procédé à une observation sur le terrain d'accumulation de neige et de glace sur les ponts routiers.

(1) Observation sur le terrain

L'observation sur le terrain comportait l'enregistrement des conditions météorologiques et de l'accumulation de neige. Un film a été réalisé sur les quatre ponts (Figure 1). Les résultats sont ensuite donnés. La neige et la glace sont restés longtemps sur les ponts de Shikotsu et Fukusui, alors que l'accumulation de neige et le déneigement ont été répétés sur le pont de Ryumon. Comme l'indique la Figure 2, plus l'élément porteur est épais, plus la couche de neige accumulée tend à être épaisse. (L'épaisseur de neige accumulée en Figure 2 est l'épaisseur maximale observée.) On a étudié en tout sept cas de chute de neige. Dans cinq cas sur sept, la température du pont au moment de la chute de la neige était de 0° ou plus car ce dernier avait été chauffé par le soleil. A partir de cette observation, on peut estimer qu'une température de pont de 0° peut être considérée comme un facteur déterminant pour que la neige tombe. La figure 3 indique qu'un pont conserve une température qui se situe entre -3 et +5°C par rapport à la température de l'air. Ceci peut expliquer le gel, la fonte puis de la chute de la neige accumulée. La figure 4 illustre la relation entre la vitesse moyenne du vent pendant la période d'observation et la vitesse du vent au moment où la neige tombe de l'élément porteur. Il semblerait qu'on ne peut déduire aucune relation à partir de cette figure. Un phénomène type observé est que la neige qui s'est accumulée sur les arches commencent à glisser lentement tout en craquant dans le sens latéral peu de temps avant de tomber (Photographie 1).

D'après les résultats ci-dessus, les facteurs qui favorisent l'accumulation de la neige et sa chute sont résumés dans le tableau 1. Plus les conditions d'accumulation de la neige, de gel de la neige accumulée, et de chute de la neige et de la glace accumulées sont importantes, plus le risque que la neige et la glace qui tombent viennent heurter des passants et des véhicules est grand. Dans la mesure où n'avons aucune prise sur les conditions météorologiques, la conception des futurs ponts devra prendre en compte les moyens d'éviter toute accumulation de neige et, en cas d'accumulation, les moyens de l'enlever dans des délais appropriés. Ceci est également vrai pour les ponts existants.

5. Tentatives passées pour éviter l'accumulation de neige et de glace sur les ponts, et résultats obtenus

Tentatives pour éviter toute accumulation sur les ponts des routes nationales

(1) Pont de Toyokoro Ohashi (pont Nielsen-Lohse), route 38, Toyokoro (Photographie 2)

Longueur du pont: 140 m (arche)

Hauteur des éléments porteurs au-dessus de la surface de la route: 22,5 m

Procédé anti-accumulation: Peinture (les surfaces supérieures des arches et des tirants sont recouvertes d'une peinture à base de résine fluorée hautement hydrophobante)

Revêtement appliqué en 1999.

Observation des performances anti-accumulation entre janvier 2000 et mars 2001.

On a comparé les taux d'accumulation de la neige (surface de neige accumulée divisée par la surface supérieure totale des arches et tirants) au cours du premier et du deuxième hiver après l'application du revêtement afin de contrôler la permanence de l'effet hydrophobant (Tableau 3). Pour chaque hiver, l'observation a porté sur six jours, chacun d'entre eux suivait un jour ayant connu une chute de neige. Le tableau 2 donne les conditions météorologiques pendant l'observation. Le tableau 3 donne un taux moyen d'accumulation de neige faible (présence d'un effet hydrophobant) six heures après le début d'une faible chute de neige le premier hiver, alors que le tableau ne suggère aucun effet hydrophobant apparent, quelle que soit la quantité de neige accumulée, au cours du second hiver. Le tableau 4 indique clairement l'encrassement et la dégradation du film de revêtement au bout de 12 mois, ce qui pourrait expliquer l'augmentation des taux d'accumulation de la neige (au cours du second hiver).

(2) Pont de Katsurazawa Ohashi (pont Lohse), route 452, Mikasa (Photographie 3)

Longueur du pont: 111,5 m (arche)

Hauteur des éléments porteurs au-dessus de la surface de la route: 18 m

Procédé anti-accumulation: habillage (les contreventements, les goussets des contreventements horizontaux supérieurs, et les points d'intersection des contreventements horizontaux supérieurs et des arches sont recouverts de protections en aluminium et de protections en acier enduites de résine fluorée hautement hydrophobante inclinées à 60 degrés).

Peinture (les surfaces supérieures des arches latérales côté droit sont revêtues d'une peinture à base résine fluorée hautement hydrophobante).

Protection et revêtement réalisés en 1999 et 2000.

L'observation des performances anti-accumulation s'est déroulée de janvier 2000 à mars 2001.

L'observation s'est déroulée sur dix jours, chacun d'entre eux suivait un jour ayant connu une chute de neige, afin de déterminer les différences de performances anti-accumulation observées entre les protections en aluminium et celles en acier, ainsi qu'entre les peintures à base de résine fluorée et les peintures standard. Le tableau 5 donne les taux moyens d'accumulation de la neige (surface de neige accumulée divisée par la surface de la protection) pendant les six premières heures et au bout de six heures. Alors que les performances anti-accumulation initiales des protections en aluminium et en acier étaient sensiblement égales, au bout de six heures les protections en aluminium se sont révélées légèrement plus performantes que celles en acier. Ceci peut s'expliquer par le fait que les protections en aluminium peuvent être facilement réchauffées par le soleil (figure 5: variation horaire de la température en surface de l'élément porteur). On note une faible différence dans les taux d'accumulation de neige entre les surfaces supérieures des

arches revêtues d'une peinture standard et celles revêtues d'une peinture à base de résine fluorée hautement hydrophobante (Figure 6). Ce résultat peut être influencé par le fait qu'il y a eu 60 jours de neige au cours de l'hiver (Tableau 6).

(3) Autres tentatives anti-accumulation

1) Des pare-neige en treillis se sont révélés efficaces pour éviter que des corniches ne se forment sur le toit d'un abri (Photographie 4).

2) Une protection réduit l'accumulation de la neige et de la glace sur les joints des éléments porteurs, dont les surfaces irrégulières favorisent l'accumulation. Cependant, dans ce cas, la protection forme des rigoles d'évacuation, ce qui a pour résultat que l'eau gèle en colonne de glace (Photographie 5).

3) Des panneaux chauffants installés sur les contreventements latéraux d'un pont à arcs, domaine prioritaire en terme de mesure anti-accumulation, sont réputés efficaces pour éviter toute accumulation de neige et de glace à cet endroit. On devra veiller à ce que l'eau fondue ne gèle pas pour former des colonnes de glace (Photographie 6).

6. Essais en extérieur sur l'accumulation de neige

La forme d'un élément porteur et son traitement de surface sont considérés comme des facteurs clés contribuant à l'accumulation de la neige et de la glace sur les ouvrages routiers. Selon cette hypothèse, les essais en extérieur sur l'accumulation de neige ont été réalisés sur des éléments de formes différentes et ayant subi des traitements de surface différents afin de collecter des données qui permettraient de développer des formes et des matériaux anti-accumulation pour les éléments porteurs.

(1) Essais sur les formes

Les éléments de pont en acier en forme de H, de forme ronde ou en losange ont été installés à l'extérieur. Pour faciliter la comparaison, les faces supérieures avant de tous ces éléments présentaient la même surface projetée (400 cm²). En filmant l'accumulation de neige et en mesurant la vitesse du vent, on s'est efforcé de trouver une relation entre les éléments porteurs et les différents facteurs étudiés. L'accumulation de neige était exprimée en taux d'accumulation de la neige en surface (surface projetée d'un élément où la neige s'était accumulée divisée par la surface projetée d'un élément) et taux d'accumulation de la neige en volume (volume de neige accumulée divisé par la surface projetée de l'élément). La vitesse du vent a été divisée en trois catégories: brise légère (0 –0,5 m/s, brise (0,5 –4,0 m/s) et vent fort (plus de 4,0 m/s). La figure 7 montre qu'en cas de vent fort les éléments porteurs en forme de H présentent les taux les plus élevés en surface et en volume, qu'en cas de brise les éléments en forme de losange présentent les taux les plus élevés et qu'en cas de brise légère, les éléments de toutes formes présentent des taux pratiquement également élevés.

(2) Essais sur les revêtements de surface

Cinq ensembles de deux éléments de pont en acier chacun, mesurant 20 cm x 20 cm et ayant subi chacun un traitement de surface différent (propriétés physiques) ont été installés à l'extérieur. Tous les éléments ont été enduits d'une résine alkyde, peinture généralement utilisée sur les ponts en acier. Le revêtement en résine alkyde a subi les traitements suivants: les éléments de l'ensemble A ont été recouverts d'un produit hydrophobant; les éléments de l'ensemble B ont été recouverts

d'une cire liquide; les éléments de l'ensemble C n'ont reçu aucun traitement; les éléments de l'ensemble D ont été rendus rugueux par ponçage unidirectionnel au papier émeri; et les éléments de l'ensemble E ont été rendus rugueux par ponçage au papier émeri dans des directions aléatoires. Les essais en extérieur comprenaient le tournage d'un film sur les éléments porteurs et des mesures de vitesse du vent. Des mesures en intérieur ont également été effectuées pour évaluer les propriétés de surface telles que l'angle de contact, la rugosité de la surface, le coefficient de frottement dynamique, et le brillant. On a alors comparé les données relevées en intérieur et en extérieur afin de déterminer une relation entre la chute de la neige et les propriétés de surface. Pour chacun des éléments étudiés, l'intervalle moyen entre les chutes de neige a été obtenu en moyennant le temps écoulé entre la première et la deuxième chute et pour les cinq intervalles de temps suivants. La figure 8 donne l'intervalle entre deux chutes de neige pour chacun des éléments. Les éléments "d'origine" ont été utilisés douze mois avant les essais, alors que les éléments "lavés" ont été lavés à l'eau avant les essais. Les éléments "lavés" tendent à présenter des intervalles entre les chutes de neige plus courts que les éléments "d'origine". Les figures 9 à 12 illustrent la relation entre les différentes propriétés de surface et les intervalles moyens entre les chutes de neige. Plus la rugosité de la surface (R_z) et le coefficient de frottement dynamique sont faibles, plus l'intervalle entre les chutes de neige est faible. Ainsi, plus le brillant est important, plus l'intervalle entre les chutes de neige est faible. On note une faible corrélation éventuelle entre l'angle de contact et l'intervalle entre les chutes de neige. La comparaison "d'origine" / "lavé" révèle que le lavage permet de retrouver les différentes propriétés de surface, ce qui indique que des éléments plus propres et moins détériorés peuvent présenter des intervalles entre les chutes plus faibles.

7. Conclusion

Les caractéristiques de conception et les opérations d'entretien suivantes se révèlent efficaces pour prévenir l'accumulation de neige et de glace et doivent donc être prises en compte dans les mesures de prévention futures.

Conception :

- L'accumulation de neige par vent fort peut être minimisée en réduisant au maximum la surface des éléments verticaux. De même, l'accumulation de neige par brise légère peut être minimisée en réduisant au maximum la surface des éléments horizontaux. Globalement, les éléments ronds sont les moins exposés à l'accumulation de neige.
- Les éléments de petites dimensions risquent de moins bien supporter l'accumulation de neige.
- Il semble que les éléments qui présentent des surfaces plus lisses, des coefficients de frottement dynamique plus faibles et un brillant plus important présentent des intervalles entre les chutes de neige plus faibles.

Entretien :

- Il conviendra de maintenir propres les surfaces traitées par lavage ou tout autre procédé pour conserver les propriétés anti-accumulation qui se dégradent en permanence.
- La neige accumulée doit être enlevée, et ce très rapidement si le soleil brille, si des colonnes de glace commencent à se former ou si la neige accumulée commence à glisser lentement.

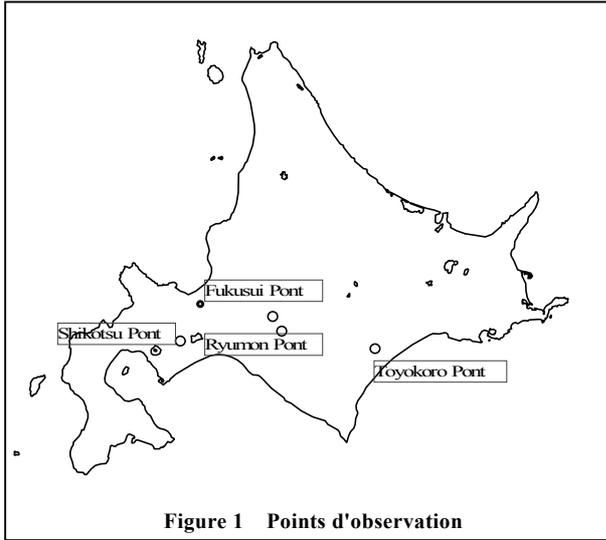


Figure 1 Points d'observation

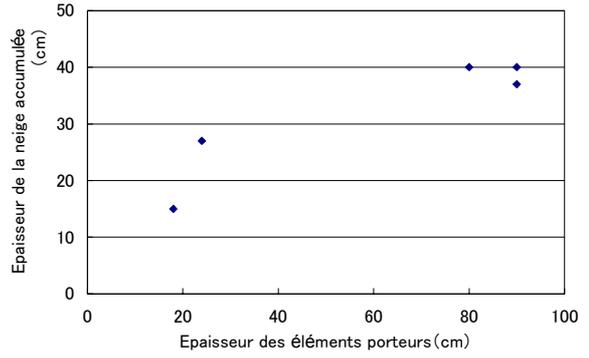


Figure 2 Relation entre l'épaisseur des éléments porteurs et l'épaisseur de la neige accumulée

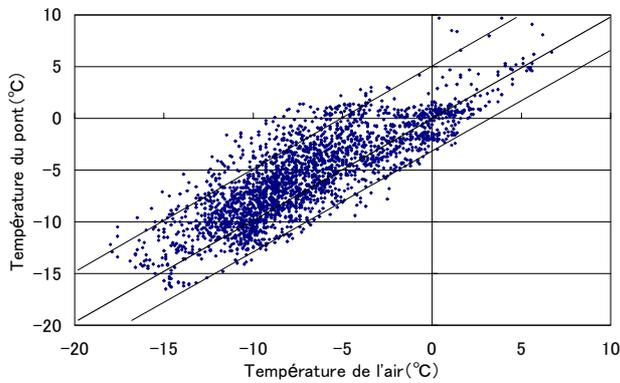


Figure 3 Relation entre la température de l'air et la température du pont

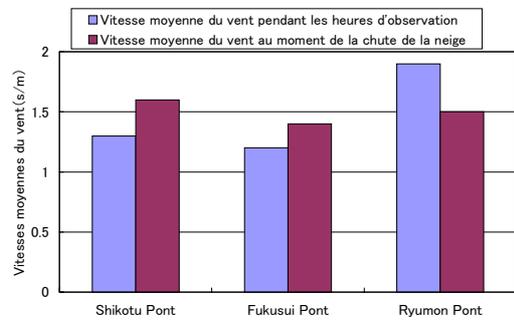


Figure 4 Vitesses moyennes du vent

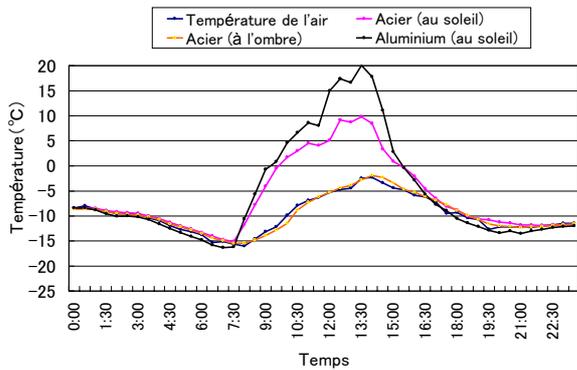


Figure 5 Variation horaire de la température en surface de l'élément porteur

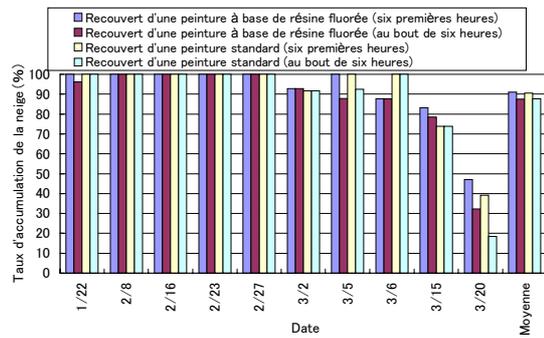


Figure 6 Taux d'accumulation de la neige sur les surfaces supérieures de l'arche

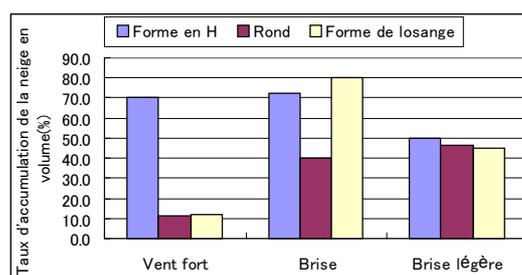
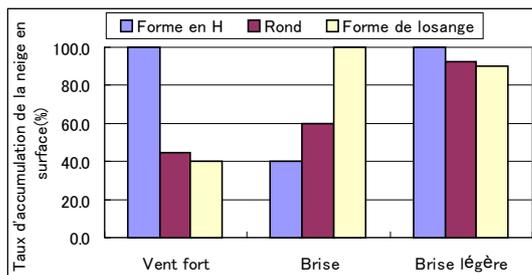


Figure 7 Relation entre la vitesse du vent et les taux d'accumulation de la neige en surface/volume

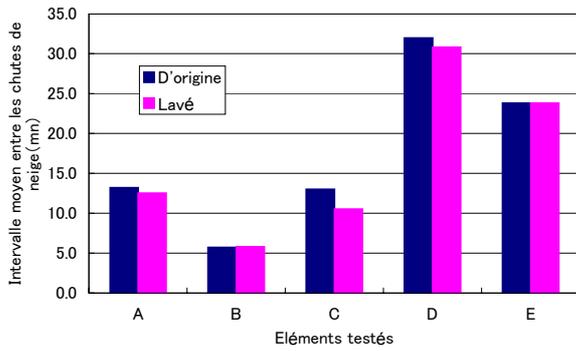


Figure 8 Éléments testés et intervalles moyens entre les chutes de neige

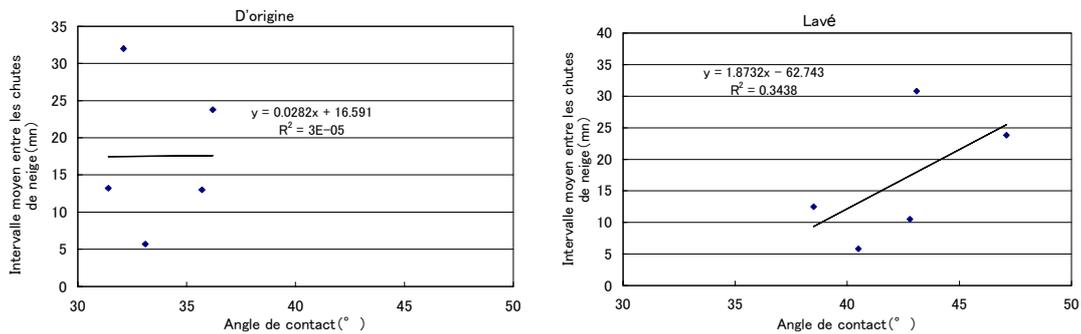


Figure 9 Relation entre les angles de contact et les intervalles moyens entre les chutes de neige

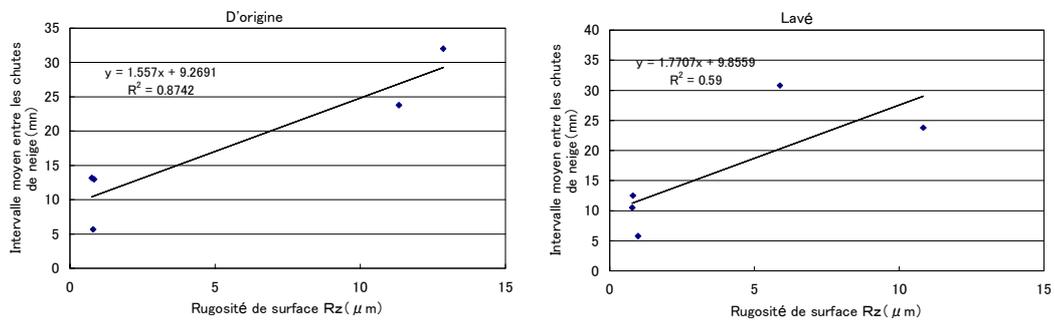


Figure 10 Relation entre la rugosité de la surface (Rz) et les intervalles moyens entre les chutes de neige

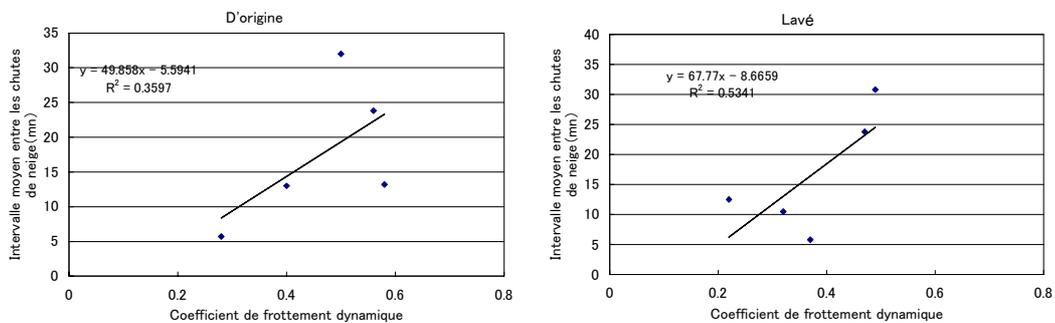


Figure 11 Relation entre les coefficients de frottement dynamique et les intervalles moyens entre les chutes de neige

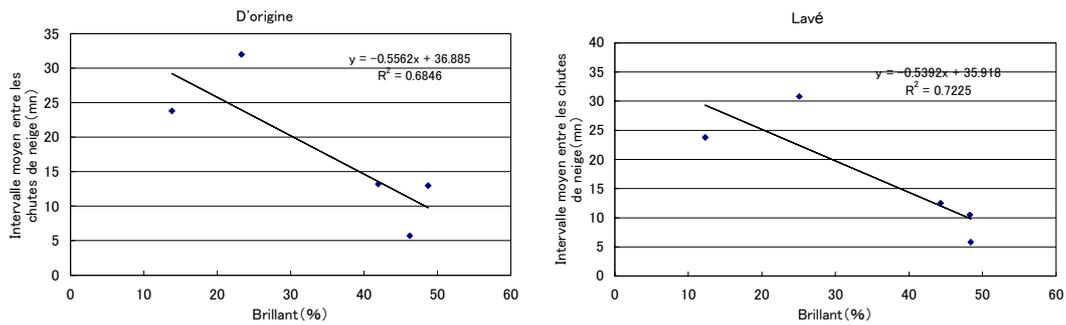


Figure 12 Relation entre le brillant et les intervalles moyens entre les chutes de neige

Tableau 1 Facteurs qui contribuent à l'accumulation de neige et de glace

Élément	Facteur	Contribue à l'accumulation de neige	Contribue à la chute de la neige
Conditions	Température de l'air	△	○
	Direction du vent	○	×
	Vitesse du vent	○	△
	Chute de neige	○	△
	Soleil	×	○
Structure	Épaisseur des éléments porteurs	○	△
	Inclination de l'élément porteur	○	○
	Joint	○	○
	Température de l'élément	△	○

○ : Impact important △ : Impact faible × : Pas d'impact

Tableau 2 Conditions météorologiques à Toyokoro

Élément	1999	2000
Précipitation (mm)	15	19
Vitesse maximale du vent (s/m)	0.5	6.8
Durée d'ensoleillement (temps)	0	2.8

※ Les chiffres correspondent aux moyennes journalières

Tableau 3 Taux moyens d'accumulation de la neige sur les surfaces supérieures des éléments

		Taux d'accumulation de la neige (%)	
		1999	2000
Faible chute de neige	six premières heures	46	27
	au bout de six heures	2	16
Chute de neige importante	six premières heures	12	82
	au bout de six heures	12	82

※ Neige légère qui entraîne une accumulation inférieure à 5 cm. Neige lourde qui entraîne une accumulation supérieure à 5 cm ou plus.

Tableau 4 Encrassement et dégradation du film de revêtement

Élément testé	12 premières mois	Au bout de 7 mois	Au bout de 12 mois	Après essuyage avec un chiffon sec
Différence de couleur (ΔE)	—	2.05	2.85	1.14
		Détérioré	Détérioré	Légèrement récupéré
Hydrofugation	97	75.8	53.9	95.4
Angle de contact (°)		Détérioré	Détérioré	Récupéré
Brillant	54.4	59.8	47	64.2
		Identique	Détérioré	Récupéré

Tableau 5 Taux moyens d'accumulation de la neige sur les protections

	Taux d'accumulation de la neige (%)		
	six premières heures	au bout de six heures	Différence
Aluminium	57	39	18
Acier	58	43	15

Tableau 6 Conditions météorologiques pendant la période d'observation

Élément	2000
Chutes de neige cumulées (m)	15
Nombre de jours neigeux (Jour)	60
Température moyenne de l'air (°C)	3.2

※ Données collectées entre décembre 2000 et mars 2001.



Photographie 1 Accumulation de la neige



Photographie 2 Toyokoro Pont



Photographie 3 Katurazawa Pont



Photographie 4 Autres procédés anti-accumulation: Cas 1



Photographie 5 Autres procédés anti-accumulation: Cas 2



Photographie 6 Autres procédés anti-accumulation: Cas 3