

PREVENTION DE L'ACCUMULATION DE NEIGE ET DE GLACE SUR LES PANNEAUX ET AUTRES ELEMENTS DE SIGNALISATION ROUTIERE

Koji Fumoto*, Hideaki Yamagishi* and Fumihiro Hara**

*Kushiro National College of Technology.
Department of Mechanical Engineering
West 2-32-1, Otanoshike, Kushiro, Hokkaido
TEL +81-154-57-7299/FAX +81-154-57-5360
E-mail address: fumoto@mech.kushro-ct.ac.jp

**Hokkaido Development Engineering Center.
#11, South-1, East-2, Chuoku, Sapporo, Hokkaido.
TEL +81-11-271-3028/FAX +81-11-271-5115
E-mail address: hara@decnet.or.jp

1. Abrégé

Dans les régions froides, on sait que l'accumulation de neige et de glace sur la signalisation routière provoque de sérieux dégâts. Plus particulièrement, les conducteurs ne reçoivent pas certaines informations indispensables à la sécurité routière lorsqu'il y a de la neige ou de la glace sur les panneaux de signalisation. Pour la sécurité des usagers de la route en hiver, il est donc important d'empêcher une telle accumulation voire d'enlever toute neige ou glace déjà accumulée. Au cours des dernières années, différents procédés ont été proposés pour empêcher l'accumulation de neige ou de glace sur les panneaux de signalisation. Ces procédés concernent notamment le déplacement des points de stagnation (dynamique des fluides) ou la mise en oeuvre de matières qui retardent l'accumulation de glace à l'aide de silicone hydrofuge ou de résine de fluor. Cependant, aucun de ces procédés n'a complètement réussi à limiter l'accumulation de neige et/ou de glace. De plus, les matières hydrofuges comportent de nombreux inconvénients dont leur coût et leur durabilité, et des études sont actuellement en cours de réalisation pour y remédier.

En vue de la présentation d'un nouveau procédé dont la mise en oeuvre et le suivi sont peu coûteux, les auteurs ont soumis des panneaux routiers à des essais en plein air dont les résultats sont indiqués ci-après. Cette communication propose les procédés suivants :

- (1) un procédé consistant à revêtir des panneaux routiers de certaines matières (par exemple des feuilles de caoutchouc silicone) qui sont perméables tout en ayant une faible conductivité thermique ; et
- (2) un procédé de modification des propriétés de surface des panneaux routiers.

Ces procédés visent les objectifs suivants en termes de prévention de l'accumulation de neige et/ou de glace :

Le procédé (1) vise à réduire le pouvoir adhérent de la neige et de la glace par une sélection des revêtements selon des critères thermiques.

Le procédé (2) consiste à empêcher la neige d'adhérer par la formation d'un film liquide très mince à même la surface, et par l'utilisation de matières hydrophiles produisant des effets contraires à ceux des matières hydrofuges (c'est-à-dire des revêtements en TiO_2 à photocatalyse).

2. Introduction

L'accumulation de neige et de glace sur les éléments de signalisation routière perturbe considérablement la circulation en hiver dans les régions froides et enneigées. Lorsqu'ils sont recouverts de beaucoup de neige ou de

glace, les conducteurs ne peuvent recevoir des informations nécessaires à une bonne compréhension des conditions de circulation du moment et ne peuvent anticiper les situations à venir. Par tempête de neige, les éléments de signalisation recouverts de neige se fondent dans le paysage pour produire le phénomène dit de "temps laiteux", réduisant ainsi le rôle important que jouent les éléments de signalisation en matière de repérage visuel. Cet état de fait provoque des bouchons et des accidents en hiver, d'où le besoin urgent de mesures de limitation de l'accumulation de neige et de glace.

Dans le domaine de la prévention de l'accumulation de neige et/ou de glace sur les panneaux et autres éléments de signalisation, les efforts ont été concentrés sur la modification des formes, des emplacements et des propriétés des surfaces susceptibles de geler. Par exemple, il y a une façon d'incliner les panneaux qui permet de déplacer les points de stagnation vers le bas et de contrôler ainsi, du point de vue de la dynamique des fluides, les endroits où la neige s'accumule. En ce qui concerne les modifications des propriétés de surface, on étudie actuellement des matières qui empêchent l'accumulation de neige grâce à des revêtements en résine de fluor hydrofuge. Cependant, les matières en résine fortement polymérisée sont susceptibles de voir leur surface détériorée par les effets des radiations ultraviolettes et des pluies acides, et leur résistance aux intempéries est faible en raison de la présence de chlorures dans les agents de dégivrage. La surface de ces panneaux routiers n'est pas très résistante, et accentue l'adhérence de poussières et de carbures en provenance des gaz d'échappements. D'après certaines sources, ces matières ne conviennent pas à la prévention de l'accumulation de neige et/ou de glace en raison de leur prix élevé.

Compte tenu de la compréhension des problèmes et des conditions sur le terrain, ce rapport propose de nouveaux panneaux routiers ayant un revêtement de surface hydrophile. Il présente les données recueillies lors d'essais d'exposition aux intempéries réalisés pour déterminer les performances des méthodes de prévention de l'accumulation de neige. Le caractère hydrophile des surfaces est obtenu par un revêtement en TiO_2 à photocatalyse qui aide à maintenir cette propriété malgré la radiation ultraviolette due au soleil ou à la lumière fluorescente. L'objectif est de former un film par hydrophilie, de manière à réduire l'adhérence des flocons de neige aux panneaux routiers, pour que la neige et la glace glissent sur les panneaux sans s'y accrocher.

3. Méthodologie de l'étude

3-1. Echantillons étudiés

Le tableau n° 1 indique les conditions et caractéristiques de l'essai et la figure 1 montre les conditions de l'essai d'exposition. Ce sont des panneaux routiers (de limitation de vitesse) en aluminium polyvalent, ronds, de 600 mm de diamètre et de 2 mm d'épaisseur. Pour pouvoir les comparer aux panneaux existants, certains d'entre eux n'ont pas été traités en surface (tableau n° 1-iii). Les paramètres de l'essai sont l'angle de contact des gouttelettes (θ), la présence/absence de revêtement de surface et l'angle de fixation (ϕ). La surface est recouverte de dioxyde de titane (TiO_2) qui produit une photocatalyse lorsque l'angle de contact est modifié. Le revêtement est appliqué de la façon suivante : la surface est d'abord traitée avec une première couche de fond disponible dans le commerce, avant d'être séchée, puis recouverte par vaporisation d'une solution de TiO_2 . Le même traitement a été appliqué aux panneaux dont la surface a été recouverte d'une plaque de polycarbonate (transparent) de 5mm d'épaisseur ou d'un film de vinyle (transparent) de 1 mm d'épaisseur. Comme le montre la figure 1, étant donné les

limitations de l'essai dans l'espace, les panneaux sont placés à un angle de 90° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport à la verticale et fixés à une barre horizontale, sauf pour ceux fixés droit (à un angle de 0°).

Table1. Conditions de l'examen

	Model	Cover	Average of contact angle [θ]	Attachment angle [ϕ]	Note
i	NNF1	Non-cover	24.0°	+5°	
ii	NMH2		49.7°	0°	
iii	NSB3		80.3°	-5°	
iv	SNF4	Sheet	61.0°	0°	Sheet thickness 5mm
v	SMB5		65.2°	-5°	
vi	SSF6		38.2°	+5°	
vii	BNB7	Plate	81.0°	-5°	Plate thickness 5mm
viii	BMF8		69.1°	+5°	
ix	BSH9		34.1°	0°	



Fig1. Situation expérimentale

3-2. Rugosité de la surface et angle de contact des gouttelettes

Les études montrent que le pouvoir d'adhérence des flocons de neige est étroitement lié à la rugosité de la surface. La plupart des études antérieures s'appuyaient sur une méthode de prévention par affaiblissement de la capacité d'adhérence des flocons entre eux, grâce au caractère hydrophobe de la surface. Or, comme il a été mentionné précédemment, les surfaces hydrophobes ne résistent pas longtemps aux diverses conditions météorologiques. Elles posent de nombreux problèmes notamment parce que les gouttelettes évaporées sur la surface hydrofuge y déposent des impuretés résiduelles en taches sèches (ou mouillées), lesquelles forment des creux ou bosses microscopiques qui retiennent la neige et la glace. Au contraire, parce que l'hydrophilie étudiée ici permet la *formation* d'une pellicule d'eau à la surface du panneau routier, cette surface devient extrêmement plate et lisse. La figure 2 illustre les différents angles de contact des gouttelettes appliqués à la surface des échantillons de l'essai. L'échantillon I montre une gouttelette placée sur un panneau routier existant. Dans l'échantillon III, une gouttelette est placée sur la surface recouverte par le TiO₂ à photocatalyse et soumise auparavant à un radiation ultraviolette. La comparaison entre les deux échantillons révèle que la surface du III est nettement plus hydrophobe. L'essai porte sur la mesure de l'angle de contact d'une seule gouttelette, mais il faut remarquer que, sur les panneaux routiers réels, les gouttelettes s'agglutinent pour former une pellicule d'eau. Les études antérieures ont généralement indiqué des mesures du pouvoir de solidification ou du pouvoir d'adhérence qui agissent entre une

surface hydrophobe et/ou des flocons de neige. Toutefois, dans cette étude, comme il était supposé que la glace et la neige glisseraient avant de geler, le pouvoir de solidification sur la surface hydrophile n'a pas été mesuré.

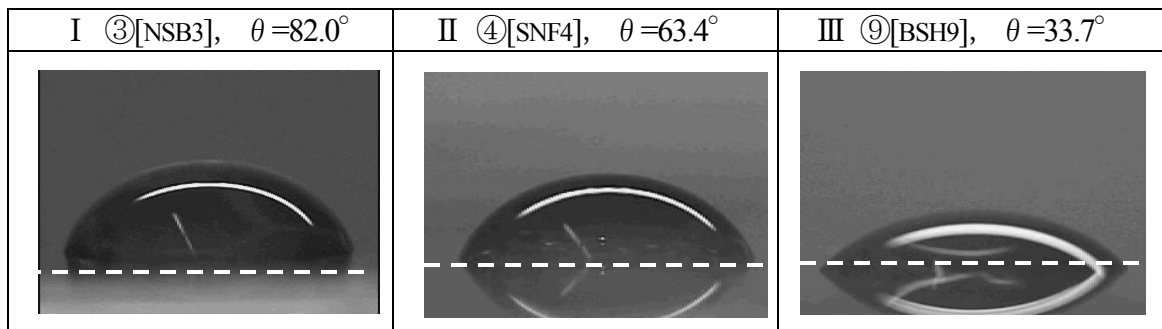


Fig2. Angle du contact de gouttelette de l'eau

3-3 Catalyseur optique et TiO₂ à photocatalyse

Les effets photocatalytiques du TiO₂ évoqués dans cette étude ont été découverts en 1995. Depuis lors, on étudie leur utilisation pratique dans différents domaines scientifiques et pour des applications diverses. Ces effets sont brièvement expliqués ci-après. La figure 3 montre les effets hydrophiles et les autres effets de la pellicule de TiO₂ formée sur un objet lorsque l'objet est exposé à une radiation ultraviolette à la lumière du soleil et à une lumière fluorescente. On sait que l'application d'une radiation ultraviolette provoque l'apparition de radicaux d'hydroxyle et d'ions d'oxyde à la surface de la pellicule, ce qui crée les conditions d'une très forte oxydation et d'une hydrophilie très élevée. Parmi les autres effets on constate une meilleure résistance aux intempéries, une auto-purification et l'absorption de NO_x. La grande valeur ajoutée du TiO₂ à photocatalyse est également démontrée par la stabilité durable des propriétés de surface même lorsque des produits chimiques (comme des agents dégivrants) y adhèrent. Cependant, il ne semble pas y avoir d'études sur l'utilisation du TiO₂ à photocatalyse dans la prévention de l'accumulation de la neige et de la glace.

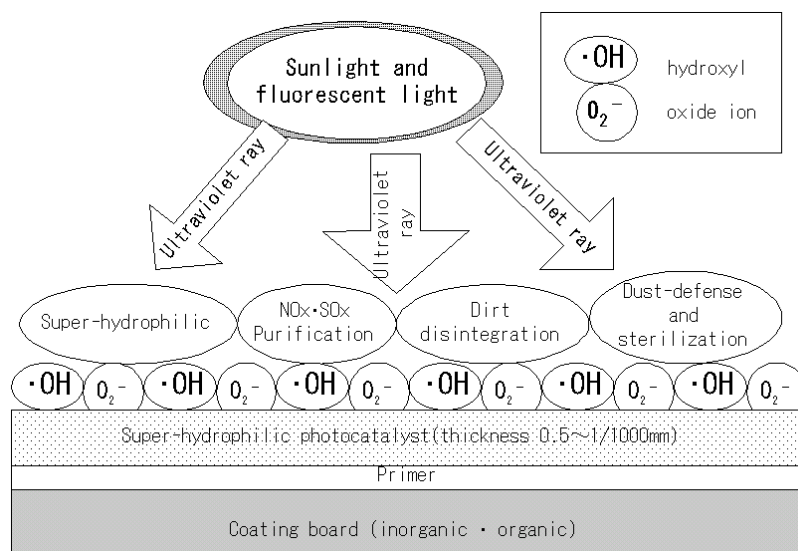


Fig3. Croquis de l'effet du catalyseur optique

4. Résultats et commentaires

4-1 Conditions de l'étude sur le terrain

Les échantillons placés à l'extérieur entre le 20 février et le 24 mars 2001 ont été observés. Ils avaient été placés à une hauteur de 4 m pour éviter l'influence des turbulences de l'air provoquées par les bâtiments avoisinants. Les images de neige accumulée ont été recueillies par caméra numérique à intervalles réguliers à partir du moment où la neige a commencé à adhérer aux panneaux routiers. Les données météorologiques ont été collectées en continu 24 heures sur 24 (température de l'air, direction du vent, vitesse du vent, chutes de neige). A certaines périodes, les images ont été enregistrées en continu sur film vidéo pendant 24 heures. La figure 4 montre la distribution de fréquence de la direction du vent au site des échantillons pendant la durée du test. Comme indiqué dans la figure, les vents du nord-ouest et du sud-est prédominaient, et les panneaux ont été exposés à un vent perpendiculaire à leur surface puisqu'ils avaient été orientés au nord-ouest.

Sites des échantillons: Kita-Okadama, Higashi-ku, Sapporo, Hokkaido

Orientation des échantillons : nord-ouest ($42,5^\circ$ ouest par rapport au plein nord)

Point de mesure de la température de l'air et du vent : à proximité des échantillons

Fréquence des relevés de mesure : toutes les 10 minutes

Vitesse moyenne du vent pendant la durée du test : 2,9 m/s

Température moyenne pendant la durée du test : $-1,2^\circ\text{C}$

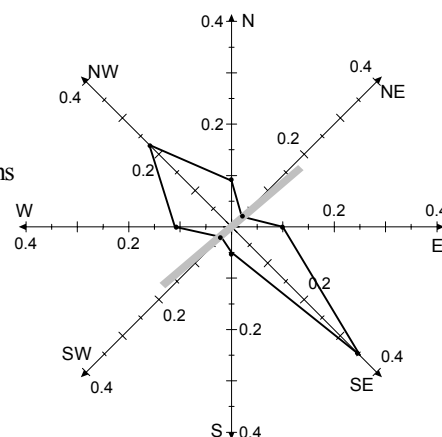


Fig4. Enroulez distribution de terme de l'examen

La figure 5 montre la température moyenne journalière et la vitesse moyenne journalière du vent pendant la durée du test. La température et la vitesse du vent mesurées au moment des chutes de neige (qui ont été observées par un dispositif de mesure de chute de neige par impulsions) sont exprimées par des traits. La température

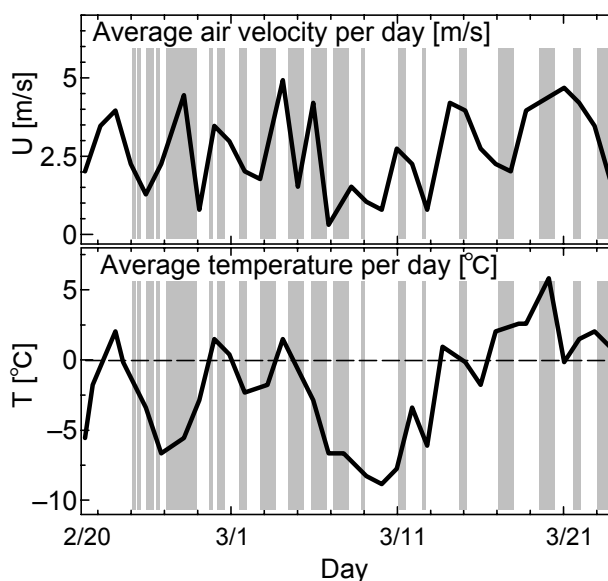


Fig5. Température, vélocité de l'air, et chute de neige d'un terme de l'examen

moyenne durant cette période est plus élevée que celle de la saison la plus froide et la vitesse moyenne du vent fluctue essentiellement dans la fourchette des faibles vitesses en-dessous de 4 m/s. Compte tenu de ces résultats, on en déduit que le mécanisme d'adhérence de la neige pendant la période de l'essai est typique du mécanisme dit de "neige mouillée". Cette neige est une neige dont la tension de surface des minuscules gouttelettes d'eau dans les flocons provoquent l'adhérence à un objet, et c'est la neige que l'on trouve dans la région d'Hokuriku et, au début du printemps, à Hokkaido. Il n'a pas été possible d'effectuer des essais similaires sur l'adhérence de la neige lorsque la vitesse du vent est élevée, pendant les tempêtes de neige, ni quand la température est basse et la neige moins mouillée. (Pour ce dernier cas, il semblerait que l'énergie cinétique des flocons soit convertie en énergie thermique au moment de la collision avec la surface, et que la neige fonde partiellement pour former une pellicule liquide qui adhère à la surface).

4-2. Méthode d'évaluation de l'essai

Les propriétés de la neige et de la glace ont été évaluées de la façon suivante. Quoiqu'il soit impossible d'examiner en détail tous les paramètres puisque les tests d'exposition ont été effectués dans des conditions naturelles, l'accumulation de neige et de glace a été observée sous forme d'images pour chaque type de panneau routier (c'est-à-dire angle de fixation, surface traitée ou non traitée, présence/absence de revêtement de surface). L'évaluation a consisté à inspecter visuellement les panneaux puis à les classer en trois catégories selon le taux de couverture par la neige et les conditions d'adhérence. La partie couverte par de la neige a été exprimée en pourcentage, calculé par traitement des données d'image.

Taux de couverture par la neige (%) = surface recouverte de neige / surface totale du panneau x 100

Evaluation de la lisibilité des panneaux : 1 = absence de neige (facile à identifier), 2 = 50% recouvert de neige (difficile à identifier), et 3 = 100% recouvert de neige (impossible à identifier).

4-2-1. Relation entre l'angle de contact des gouttelettes et l'adhérence de la neige

La figure 6 montre un exemple des caractéristiques d'adhérence de neige observées au cours des tests. Les paramètres sont la présence/absence de revêtement de surface (c'est-à-dire les modifications d'angle de contact de la gouttelette (θ) sur la surface) et l'angle de fixation (ϕ) d'un panneau routier.

Commençant en haut de l'axe vertical de la figure, les angles de fixation des panneaux routiers sont (a) inclinés vers l'avant ($\phi = -5^\circ$), (b) perpendiculaire ($\phi = 0^\circ$), et (c) inclinés vers l'arrière ($\phi = +5^\circ$) ; l'axe horizontal représente le taux de couverture du panneau par la neige (en %). Les résultats sont indiqués pour une plaque de polycarbonate (ci-après "plaque") et pour une pellicule de vinyle silicone ("pellicule") qui sont des matériaux de revêtement de surface possédant des qualités analogues. Le cas de (a) dans cette figure montre que la zone couverte par de la neige se réduit lorsque l'angle de contact est réduit ou que l'effet hydrophile augmente. Les résultats en (b) contrastent avec ceux de (a), probablement dû à l'influence des fixations métalliques sur la plaque ainsi qu'à l'insuffisance de traitement des bords de la plaque. Néanmoins, il ressort clairement que le taux de couverture par la neige en (b), où l'angle de contact est grand, ne représente que 40% environ du taux de couverture en (c). On pouvait penser que la couverture de neige serait limitée par l'inclinaison vers l'arrière du

panneau (c), mais en réalité, l'adhérence de neige a été accélérée. La figure 7 montre les panneaux de la figure 6 ayant la plus grande zone couverte par de la neige (n°7) et la plus petite (n°6). Alors que la neige couvre uniformément la partie supérieure du panneau n°7, elle n'adhère qu'irrégulièrement dans certaines parties supérieures du panneau n°6. Il n'est certainement pas facile d'interpréter les mécanismes à l'œuvre dans ces différents phénomènes d'adhérence de neige, mais les résultats ci-dessus suggèrent que l'hydrophilie produit des effets suffisants pour empêcher la neige d'adhérer.

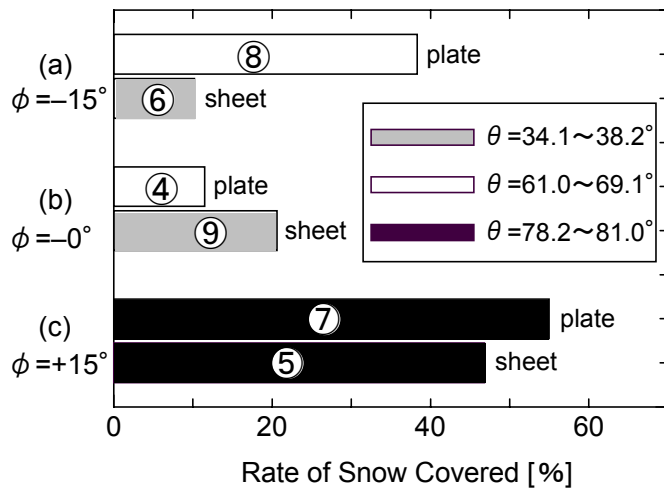


Fig6. Taux de région par la différence dans l'angle du contact de gouttelette Fig7. Photographie neigeuse dans un examen

4-2-2. Relation entre surface couverte et adhérence de neige

En ce qui concerne le gel des gouttelettes et des pellicules d'eau, l'art antérieur nous apprend que l'application en surface de matériaux à faible conductivité thermique et faible diffusion thermique réduit l'absorption de chaleur latente de coagulation et, par conséquent, donne un pouvoir adhérent moindre que sur les matériaux à surface métallique. Dans cette étude, pour examiner les propriétés thermiques, la surface des panneaux routiers a été recouverte d'une plaque ou d'un film, puis rendue hydrophile avant de procéder à l'examen des effets de la

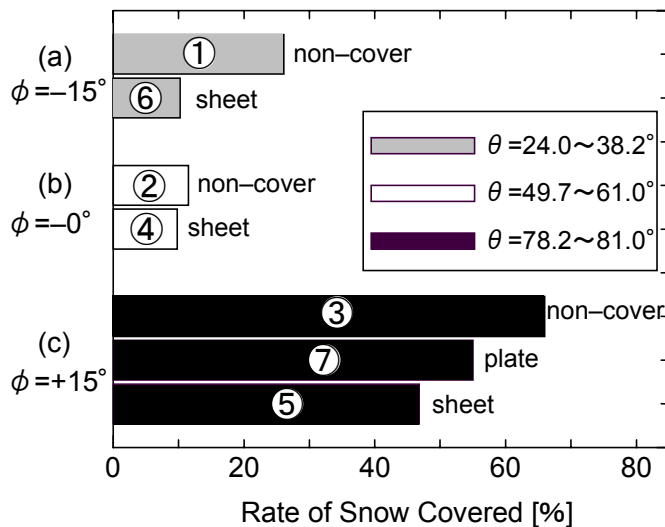


Fig8. Taux de région par la différence dans un abri

prévention / limitation de l'adhérence de neige. Partant du haut de l'axe vertical de la figure 8, les panneaux routiers dans (a) sont inclinés vers l'avant ($\phi = -5^\circ$) avec un petit angle de contact des gouttelettes, dans (b) perpendiculaires ($\phi = 0^\circ$) avec un angle de contact moyen, et dans (c), inclinés vers l'arrière ($\phi = +5^\circ$) avec un grand angle de contact. Dans (a), le taux de couverture par la neige sur un panneau recouvert d'un film est inférieur à la moitié du taux de couverture sur une surface en aluminium sans revêtement, lorsque l'angle de contact des gouttelettes est petit pour les deux types de panneaux. Lorsque les panneaux sont placés perpendiculairement avec un angle de contact moyen dans (b), cela réduit la différence entre les panneaux avec et sans revêtement. Toutefois, dans (c), le taux de couverture augmente en général parce que les panneaux sont inclinés vers l'arrière et l'angle de contact des gouttelettes est élevé. En même temps, on voit que le taux de couverture par la neige diminue au fur et à mesure que les propriétés de résistance à la chaleur augmentent, ou lorsque les panneaux sont recouverts d'une plaque ou d'un film (n° 7 et 5). Ces résultats semblent indiquer que l'on prévient mieux l'adhérence de neige lorsque le revêtement de surface ou le corps d'un panneau est constitué de matériaux provoquant de l'hydrophilie. Ce mécanisme de prévention de l'adhérence de la neige provient de l'eau produite par les flocons adhérents, sur-refroidis et glissant le long de la surface en raison de l'hydrophilie.

4-2-3. Relation entre l'angle de fixation des panneaux et l'adhérence de neige

En plus de l'adhérence de neige et glace à la surface du panneau, il peut y avoir de la neige au sommet du panneau ou une accumulation de neige dans la partie supérieure qui augmente la difficulté à identifier les panneaux routiers. La neige s'accumule en général au sommet lorsque la température est relativement élevée et la vitesse du vent est faible. Dans ce cas, la neige qui tombe verticalement se dépose sur les panneaux routiers ou les bords d'autres éléments de signalisation routière, et continue de s'accumuler. Pour trouver une solution au problème, l'étude a inclus des tests sur des panneaux routiers placés dans la direction opposée aux panneaux normaux. En d'autres termes, les panneaux ont été orientés vers le haut (n° 3, 5 et 7) pour améliorer l'efficacité des rayons UV sur la surface, augmenter les effets photocatalytiques sur la surface et empêcher la neige de s'accumuler au dos du panneau. Cependant, comme le montrent clairement les figures 6 et 8, il a été impossible d'obtenir les résultats désirés dans le cadre de cette étude, parce que, avec l'inclinaison vers le haut, les effets photocatalytiques et hydrophiles qui auraient dû augmenter sur la surface, n'ont non seulement pas été suffisants pour prévenir

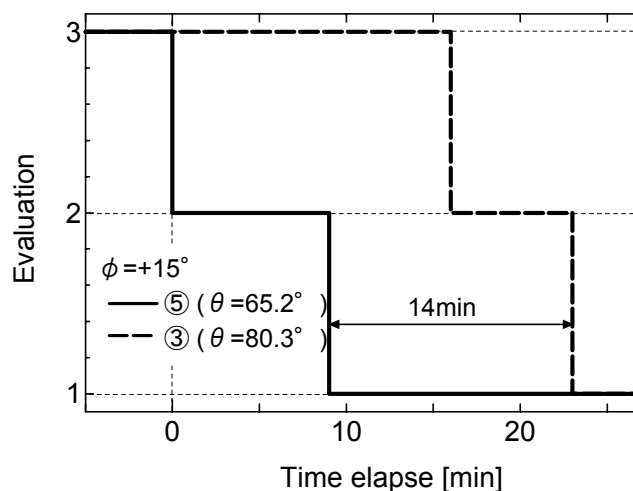


Fig9. Morceau qui glisse vers le bas de neige par la différence dans un angle du contact

l'adhérence de neige, mais ont plutôt renforcé l'accumulation. Par contraste, les effets expliqués ci-après ont été confirmés dans les tests sur les panneaux inclinés vers l'arrière. La figure 9 montre que les flocons glissent le long de la surface au bout d'un laps de temps suffisant après l'adhérence de neige sur toute la surface d'un panneau incliné vers l'arrière. L'axe vertical indique les valeurs d'évaluation visuelle fondées sur l'identification visuelle des panneaux (1 - 3) comme expliqué précédemment, et l'axe horizontal montre le temps écoulé à partir du moment où le panneau n° 5 est redevenu identifiable, les couches de neige accumulées à sa surface ayant glissé. Dans cette figure, il y a un décalage de plus de 10 minutes entre le moment où le panneau n° 5 (petit angle de contact des gouttelettes) est évalué à 1, toute la neige étant tombée de la surface par glissement, et le moment où la même chose se produit pour le panneau n° 3 (grand angle de contact). Il est apparent que le caractère hydrophile de la surface fait glisser plus rapidement la neige de la surface du panneau.

5. Conclusion

Compte tenu des résultats des essais pratiqués sur des panneaux routiers en vue de prévenir l'accumulation de neige et de glace, les auteurs de cette étude ont conclu que :

- (1) L'effet hydrophile du photocatalyseur au TiO_2 aide, dans une certaine mesure, à prévenir l'accumulation de neige et de glace sur la surface des panneaux routiers.
- (2) Lorsque l'on applique des matériaux à faible conductivité thermique et faible diffusion thermique à la surface, le pouvoir adhérent est réduit et provoque un glissement de la neige. La prévention de l'accumulation de la neige est plus efficace lorsque l'hydrophilie de la surface est élevée.
- (3) Lorsqu'un panneau est incliné vers le haut pour réduire le taux de couverture par la neige, les résultats espérés ne peuvent être atteints car le pouvoir adhérent est supérieur au pouvoir de glissement produit par l'hydrophilie. Cependant, en créant de l'hydrophilie, on provoque un glissement plus rapide de la neige ayant adhéré et s'étant accumulée à la surface.

Les auteurs continueront leurs essais expérimentaux à la lumière des résultats de cette étude. Afin d'étudier des panneaux routiers fonctionnels, la quantité minimale de chaleur sera appliquée à une partie (la partie la plus efficace) d'un panneau, pour empêcher l'adhérence de neige et de glace (comme l'ont proposé les auteurs), et la surface sera rendue hydrophile.

Pour conclure, les auteurs souhaitent exprimer toute leur gratitude à Iwao Satou et Tatsuya Noda de Soritoncom Co., Ltd, qui les ont aidés en leur permettant d'utiliser leur station et leurs matériels d'essai.