

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：17401
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23656282
 研究課題名（和文） 遠赤外線と高親水性効果を利用した霧除去ネットの開発
 研究課題名（英文） Development of the fog restriction net coated paint with the effect of highly hydrophilic and far-infrared ray
 研究代表者
 山尾 敏孝 (YAMA O TOSHITAKA)
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：40109674

研究成果の概要（和文）：濃霧では通行止めとなる高速道路において、霧除去対策として防霧ネットが用いられているが効果が不十分である。そこで、改良策として、遠赤外線と高親水性を有する塗料をネットに塗布し、これを利用して霧除去実験を試みた。使用する塗料の種類や塗布の有無、ネットの種類を変え、室内実験により霧除去の効果を調べ、開発した。ネットが捕捉した水量の測定や捕捉状況を撮影し、水膜発生メカニズムを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：When the heavy fog was generated on the expressway road, it is impossible to remove the fog using existing fog-restriction nets in the expressway road. Therefore, as an improved measure, the development of the net coating with the effect of highly hydrophilic and far-infrared ray was carried out experimentally. The effects of the type of paints, the presence or absence of the coating and the size of the net square on the fog-restriction net were investigated. The water film generation mechanism on the net was clarified by inspecting the amount of foggy particle on the surface of the net.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：防霧ネット，霧発生装置，高親水性塗料，遠赤外線，ラッセル編みネット，高速道路，遮蔽率

1. 研究開始当初の背景

全国に展開する高速道路の路線上で霧による通行止めは、標高の高い部分を通る大分道をはじめ関越道、上信越道、長崎道等の発生のみならず、通常重要な道路上でも発生している。霧が1度発生すると交通事故防止の観点から速度制限、更に濃霧の場合は完全閉鎖されるので、現在の移動手段の主流である高速道路の通行止めを最小限に抑える対策法は大変重要な課題である。霧対策は主として利用者の安全性と快適性の確保に主眼が置かれており、自発光を利用した視線誘

導や路上照明を工夫し、視認性確保等の対策工が霧の種類（移流霧、滑昇霧等）により取られている。また、霧を除去する対策方法として防霧ネットによる消霧は効果が十分でなく、ハロゲンランプの熱赤外線によって霧粒子を分裂させて粒子を小さくし、霧の遮光性を低下させる防霧対策も非常に高価であり、道路の閉鎖が解消できていない。道路や橋梁等の構造物が太陽光線等による高温化や冬季の路面凍結による交通事故や路面凍結問題に対して遠赤外線効果が発揮できる高性能断熱塗料を用いてこれらの問題解決

表1 実験で使用したネット種類(1)

名称	2a	2b	2c	4a	4b	xa	xb	ya	yb	za	zb
形状											
寸法	2mm×2mm (正方形)			4mm×4mm (正方形)		2mm ラッセル編 み (正三角形)		4mm ラッセル編み (二等辺三角形)			
塗料	無し									GAINA	
向き	縦	横	斜め	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横

を試みて一定の成果をあげたことによる。

2. 研究の目的

高速道路上で霧が一度でも発生すると交通事故防止の観点から速度制限、更に濃霧の場合は完全閉鎖されるので、現在の移動手段の主流である高速道路の通行止めを最小限に抑える対策法は大変重要な課題である。本研究では、既往の研究より、単にネットを用いるのではなく、このネットに遠赤外線効果と高親水性機能を有する塗料を塗布して、霧除去ネットとして開発する計画である。実験は霧の発生する季節、風速や継続時間の影響あるいは、高速道路幅員との関係等については、主に室内実験により霧除去効果を確認した後、問題点を解決しながら霧除去ネットの実用化を目指す。そのために以下の課題を解決する。

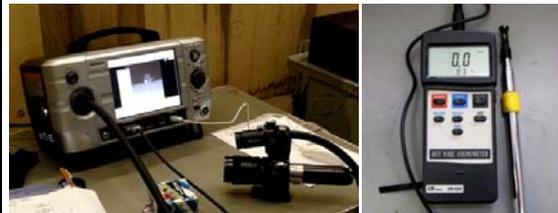
- (1) 塗料を塗布したネットの形状、目や糸のサイズ等を変化させ、塗料による霧水の吸着メカニズムを調べ、最も効果的に霧除去が可能なネットを室内実験で開発する。
- (2) 霧除去ネットを装着した小型霧除去システムを実際に現地に置き、実際に発生する霧に適用して除去効果や風速と遮蔽率（ネットの線面積と全面積の比率）の関係を検証する。室内・野外実験を繰り返して霧除去システムの実用化を目指す。

3. 研究の方法

高速道路の防霧設備の一つに防霧ネットがあり、ある程度の効果が得られることがわかっているが、通行止めを改善するまでには至っていない。最初に、防霧ネットの改良として、セラミック入り断熱塗料と結露防止用塗料をネットに塗布し、霧除去を試みた。この研究結果から、塗料無しのネットでは、霧による水膜がネットに多く生じてネットの通気性が下がり、霧の捕捉率が低下するが、塗料を塗布したネットでは水膜の発生が抑えられることを解明した。次に、防霧ネットへの風速の影響や水膜の発生メカニズムを解明するため、実験装置の改良を行い、風速の変化に伴う、ネットが霧粒子を捕捉する水量を測定した。塗料の有無によるネット毎の捕捉量を比較することで、高親水性塗料が霧



写真1 風洞型実験装置の概観



(a) 動き解析マイクロスコープ (b) 熱線式風速計

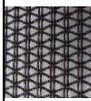
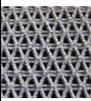
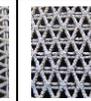
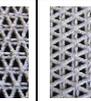
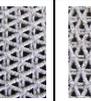
写真2 実験に使用した器具

除去効果に与える影響を解明することを目指した。霧除去効果の高い防霧ネットを開発・実用することによって、視線誘導灯、路上照明などのその他の霧対策工も十分に効果を発揮できることになる。最後に、実際的高速道路に設置している防霧ネットに開発した塗料を塗布し、その効果について既存のネットとの比較を行うことにした。

(1) 風洞型実験装置による検討

写真1に示すような風洞を有する実験装置を製作し、霧水量測定を実施した。装置の風洞寸法は 75cm×120cm で、取替え可能なネットを設置して実験を行った。ネット通過後の霧粒子数をマイクロスコープ（写真2(a)）により観察し、ネット前後の霧粒子数の変化から各ネットの霧除去効果を検証した。また、ネットから落下した霧水量を捕捉量とした。霧を発生させる時間は10分間以上とし、霧を噴射してから1分毎に捕捉量を計測した。風速設定は1(m/s)、3(m/s)とし、写真2(b)に示すような風速計で測定した。風速1(m/s)では、霧粒子が水滴となって落下するまで非常に時間が必要となった。実験に使用したネットを表1に示すが、網目サイズが2mm×2mm

表 2 実験対象のネット種類(2)

ネット	NP-1	NP-2	WGS-1	WGS-2	WGB-1	WGB-2	NGS-1	NGS-2	NGB-1	NGB-2
形状										
塗料	無し		高親水性 GAINA				GAINA			
向き	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横
塗布面			片面		両面		片面		両面	
遮蔽率 (%)	59.0		67.7		69.5		67.7		69.5	

と 4mm×4mm の正方形ネット、実際に大分の高速道路に設置されている強度の大きいラッセル編みネットを 2 種類、このうち網目が大きい方のネット 5 種類に塗料を塗布した。なお、正方形のネットについては太い糸を軸糸方向とした。

(2) 改良した風洞型実験装置による検討

前年度の課題を改良した実験装置の全体図と構成を図 2 に示した。本装置の特徴は、実験装置を風洞ユニット、霧発生ユニットおよび送風ユニットの 3 つのユニットで構成したものである。風洞の大きさは使用するネットの制約から 90cm×90cm とした。実験では、風洞出口に設置したネットで霧粒子を捕捉する仕組みになっている。送風ユニットと風洞ユニット内にはそれぞれ整流格子(写真 3 (a))を設け、送風機(写真 3 (b))の乱流による風速のばらつきを軽減した。

実験には、実際に高速道路で使用されている正三角形のラッセル編みのネットを使用

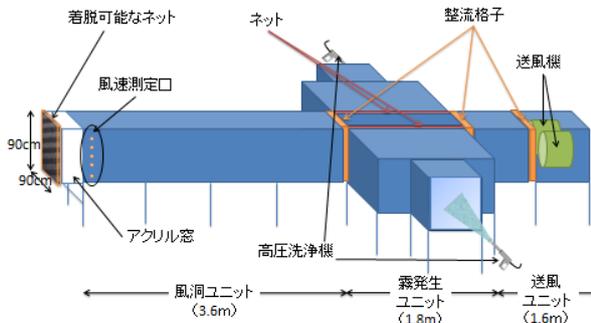


図 2 改良した風洞型実験装置



(a) 整流格子 (b) 送風機

写真 3 実験に使用した器具

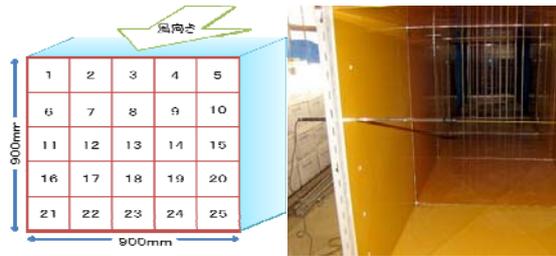


図 3 風速測定点 写真 4 風速測定の様子

した。ネットに塗布する塗料としては、親水性断熱塗料 GAINA に加え、さらに親水性を高めた高親水性 GAINA を使用した。実験のネットは、ネットを張る方向、塗料の有無や種類、塗布する面を組み合わせた表 2 に示す種類のネットで実験した。ネットの軸糸方向が霧除去効果に与える影響を比較するため、塗料なしのネットについて縦方向と横方向で比較した。また、既往の研究からもネット上に水膜が発生しにくいのは、縦軸方向にネットを張ったときであることがわかっており、実際に高速道路で使用されているネットも縦軸方向に張られている。

(3) 風速設定

実験装置は風速を変化することができ、風速測定位置及び測定の様子を図 3 と写真 4 に示す。風速測定には熱線式風速計を用い、風洞を 25 分割して、それぞれの中心点で測定した。設定風速は、既往の研究から得られた結果との比較や実験装置の能力等を考慮し、0.5(m/s)、1(m/s)及び 3(m/s)を目標とした。しかし、観測した結果、風洞断面の平均風速は 2.3(m/s)、1.2(m/s)、0.5(m/s)であった。各測定風速値の分散値は、設定風速が高くなるほど大きくなり、風速を低く設定するほど風速のばらつきが少なくなった。

(4) 塗料を塗布した防霧ネットの現地実験

研究当初は簡易な防霧ネットの開発を行って、現場に設置する計画であった。しかし、研究を進める中で、塗料の塗布効果について検証するには、より大型な実験が良いことや丁度既存のネットの取替え計画があり、直接現場の防霧ネットに塗料を塗布することが可能になった。室内実験と並行して現場のネ

ット (5mx10m) 4 張に塗料を塗布し、研究最後の段階で現場に設置できた。このため、この効果については、今後継続して計測することにより確かめていく必要がある。

4. 研究成果

(1) 風洞型実験装置による検討結果と考察

図4は5分後にネット通過直後の霧粒子数の比較を示した結果である。ネット通過後の霧粒子数が最少となったのは、設定風速 1m/s 時で GAINA を塗布した 4mm ラッセル編みネット za、設定風速 3m/s 時では塗料無しの 2mm 正方形のネット 2a となった。しかし、特定の規則性は得られず、ハイスピードカメラでの撮影も困難であったため、ネットの有用性を判断するまでには至らなかった。また、使用した各ネットの捕捉量の時間変化を示した図5から、総捕捉量が最大となったのは塗料無しの 4mm ラッセル編みネットの ya であり、最小となったのは塗料無しのラッセル編みネットの xb であった。捕捉量が多い順に列挙すると yb, ya, xa, zb, za, xb となった。設定風速 1(m/s) 時は、流れてくる霧粒径が小さいため、水滴が落ちてくるまでに 20~30 分間がかかり、霧発生量が少なかった。捕捉量が少なかったため、設定風速 1(m/s) 時の各ネット捕捉量の比較はできなかった。しかし、塗料を塗布したネットは塗料無しのネットに比べて、早く水滴が落下することがわかった。これは塗料の親水性の効果だと考えられる。

以上のような研究成果より検討すべき課題が判明した。1) 霧水量測定では、温度や湿

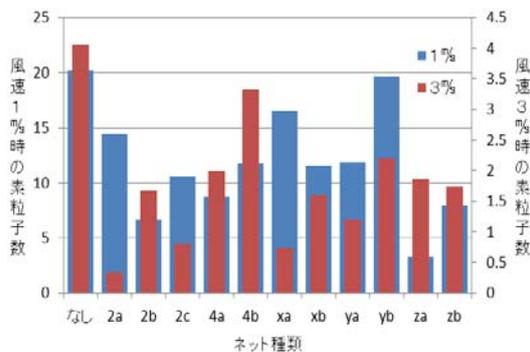


図4 5分後のネット通過後の霧粒子数

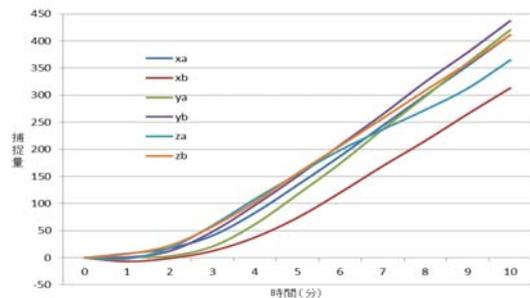


図5 各ネットの霧水捕捉量の変化

度の変化が影響を及ぼす、2) 発生させた霧の粒径を計測できなかった、3) 長時間の霧発生による実験実施等である。これらの課題について次に改良を試みた。



(a) 平均風速 0.5(m/s) (b) 平均風速 2.3(m/s)
写真5 NP-1 通過後の霧の状態

(2) 改良した風洞型装置による実験結果

①各風速設定時における霧の発生状況

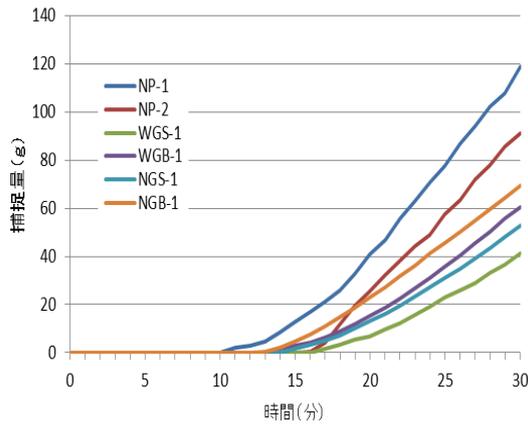
実験装置の性能は、風速を高く設定する程ネットまで届く霧粒径が大きくなった。平均風速 0.5(m/s) 時での風洞付近の霧は、粒径が非常に小さいためなかなか粒子が落下せず、遠くまで飛んだ。平均風速 2.3(m/s) 時では、霧粒径が大きいため風洞付近で粒子が直ぐに落下する現象が見られた。写真5は NP-1 ネットのネット通過後の霧の状態を示した。これらの写真から、ネットを張ることによる霧除去効果が得られることが分かった。平均風速 0.5(m/s) 時に発生する粒径の小さい霧はネットの遮蔽率が上がっても、ネット通過後の霧粒子の大きさの変化はなかった。しかし、平均風速 2.3(m/s) 時に発生する粒径の大きい霧は、ネットの遮蔽率が上がるにつれて、霧除去効果が大きくなった。なお、平均風速 0.5(m/s) 設定時での霧粒子を、動き解析マイクロスコープで簡易的に粒径を測定したところ、高速道路上で測定される霧粒径と同等 (10~30 μm) であった。

②風速を変えた場合の霧水補足量の変化

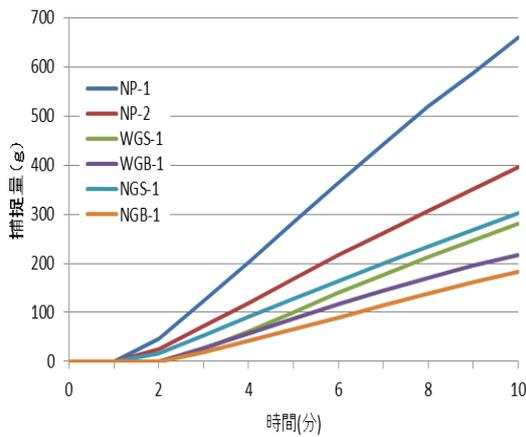
平均風速 0.5(m/s) 時と 2.32(m/s) 時の霧水捕捉量の時間変化を図6に示す。平均風速を変化させても見かけ上の捕捉量が最も大きくなったのは NP-1 となった。また、霧粒子がネットに付着して水滴となり最初に落下するまで、どのネットも 10 分以上かかった。これは、霧粒子の粒径が 30 μm 以下と非常に小さく、霧粒子がネットに付着して水滴となるまでに時間を要したためと考えられる。既往の塗料を塗布したネットの捕捉量が多くなる結果と比較すると逆の実験結果となった。

③塗料の効果について

高親水性 GAINA よりも GAINA を塗布したネットの捕捉量が大きくなることや塗料を片面に塗布したネットよりも両面に塗布したネットの捕捉量が大きくなることがわかった。



(a) 平均風速 0.5 (m/s) 時

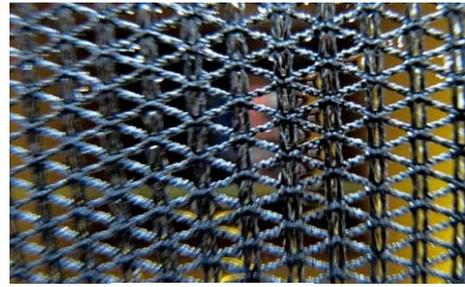


(b) 平均風速 2.3 (m/s) 時

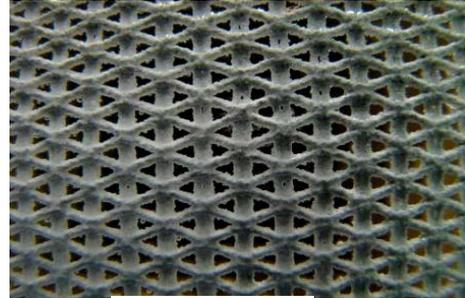
図 6 各ネットの霧水補足量の変化

しかしながら、これらの結果から、単に塗料を塗布しないネットの霧除去効果が大いであると判断することは難しい。親水性塗料を塗布したネットは、塗料を塗布しないネットに比べて格段に水膜を形成しにくく、水滴として付着するのではなく浸み込むように吸水されることが判明した。これは、写真 6 に示す実験終了後の塗料有りネットと塗料無しネットの比較から、塗料を塗布したネットは殆ど水膜を形成しないことがわかった。また、塗料の親水性がネットに付着する霧水吸収力を高めるため、落下する水が少なくなり、霧水捕捉量が大きく減ったと推定できる。よって、ネットの性能を正確に比較するためにはネットから落下した水滴の量だけでなく、ネットの吸水・付着した水量も計測する必要がある。

また、塗料の種類での捕捉量の変化は殆どなく、塗料を両面に塗布したネットよりも片面に塗布したネットの方が捕捉量は大きくなった。塗料の効果を比較すると、高親水性 GAINA よりも GAINA を塗布したネットの捕捉量が大きくなることがわかった。さらに、平均風速 2.3 (m/s) 時と平均風速 0.5 (m/s) 時を比較すると、平均風速が 0.5 (m/s) 時において大幅に捕捉量が少なくなった。



(a) NP-1



(b) WGB-1

写真 6 実験終了後のネットの様子

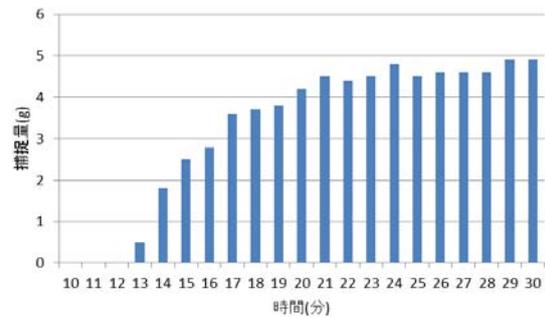


図 7 NGB-1 の時間別捕捉量

図 7 には、平均風速 0.5 (m/s) 時の NGB-1 ネットの時間別捕捉量(10~30 分)を一例としてした。図からわかるように、ある時間を超えると毎分の捕捉量はほとんど差がなくなることが分かった。

④湿度の影響について

湿度が捕捉量に与える影響を検証した。湿度は、ネット付近と実験装置横の机の上で計測した。湿度が捕捉量に与える影響を NP-1 ネットについて検証した結果、実験中の湿度が高いほどネットから水滴が落下するのが早く、捕捉量も大きくなることが分かった。また、1 分間ごとの捕捉量も大きくなった。つまり、湿度が高い方が捕捉量が大きくなっており、霧粒子がネットに浸み込むまでの時間や霧粒子がネットに付着して水滴になるまでの時間が短くなることが挙げられる。毎分の捕捉量が大きくなる原因については解明できていないが、どのネットも塗料の有無にかかわらず、湿度が高いほど効果を発揮することができた。

⑤塗料を塗布した防霧ネットの現地実験

高速道路で使用している防霧ネット(5mx10m)4張に塗料を塗布し終えたが、防霧ネットの霧除去効果や性能の持続性等の評価を確認する実用化実験はこれからである。霧の発生状況に関係するので、霧発生に合わせて現地観測もすることにより、防霧ネットの問題点や課題等を把握する必要がある。

研究期間内に屋内実験の霧発生装置の開発を中心に実施してきたが、まだ十分な成果を得ることはできなかった。そのため、屋外実験での計測を行いながら、霧除去システムの効果・性能を検証し、実用化に向けての新たな課題を把握する必要があると思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

梅津圭祐、戸田善統、山尾敏孝、友田祐一、高親水性を有する塗料を利用した霧除去ネットの開発実験、平成24年度土木学会西部支部研究発表会、2013.3.9、熊本大学(熊本)

[その他]

ホームページ

<http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/str/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山尾 敏孝 (YAMAO TOSHITAKA)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：40109674

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

戸田 善統 (TODA YOSHINORI)
熊本大学・工学部・技術専門職員
研究者番号：なし

友田 祐一 (TOMODA YUUICHI)
熊本大学・工学部・技術専門職員
研究者番号：90418830

石子 達次郎 (ISHIKO TATSUJIRO)
株式会社 日進産業・代表取締役
研究者番号：なし