2-(1)-3　汐留地区における
雨天時の路面流出水汚濁負荷量等調査その２

計画調整部　技術開発課
平川　正道、成島　道清

１．再生水の利用拡大

東京における再生水利用は、安定した水量、水質が期待できることから新たな利用拡大の可能性を持つ。技術開発課では、再生水の新たな利用拡大を目指して、平成 14 年度から平成 15 年度にかけて西新宿の都庁舎西側都道(特例都道新宿副都心 12 号線)及び汐留土地区画整理事業地区内（都道 481 号線）において再生水の路面散水調査を行い、雨天時の路面堆積物の流出実態把握と都市部におけるヒートアイランド緩和効果の確認および臭気等再生水による様々な影響を把握する実験を実施した。本調査は、「ヒートアイランド対策モデル事業」対象地域のひとつである汐留地区と芝浦水再生センター(場内道路)において、昨年度に引き続き散水実験を行い、路面散水による路面清掃効果及びヒートアイランド緩和効果などの散水効果や、散水による各種影響を確認したものである。

２．調査概要

２．１　目的

実用規模で施工された保水性舗装箇所において、以下の項目を調査する。

(1)路面堆積物の調査、(2)散水によるヒートアイランド緩和効果の確認、(3)実用化を想定した散水手法の調査、(4)散水時の風の影響確認調査（芝浦水再生センター）(5)散水時の熱収支調査（芝浦水再生センター）

２．２　調査概要

主な調査項目は以下のとおりである。

(1)路面堆積物の調査

①再生水散水管による散水調査

散水時の路面清掃効果を確認するため路面堆積物流出水及び再生水原水の水質を調査する。

②散水車による調査

散水車による散水を行い路面堆積物の清掃効果(採水・水質分析)及び路面温度の変化について調査する。

(2)散水によるヒートアイランド緩和効果の確認

散水エリアと非散水エリア舗装表面温度の違いを路面温度センサーと航空写真で確認する。

(3)実用化を想定した散水手法の調査

散水による路面清掃効果､走行車両や歩行者への影響及び安全性等を考慮した適切な散水手法（量、時間、施設等)、水質条件、施設の課題等について検討する。

(4)散水時の風の影響確認調査

①散水時の風の影響確認調査

散水時の水跳ねに関し、現地の風の影響による通行人への付着具合について、送風機を用いて確認する。

(5)散水時の熱収支調査

散水エリアと非散水エリアにおける熱収支を調査し、散水によるヒートアイランド現象

への効果を定量的に評価する。

２．３　散水実験方法

散水実験は汐留地区内の都道 481 号線で行った。本区間は片側 2 車線（6.5m/車線）の保水性舗装となっている。散水配管(φ50mm)は中央分離帯内に設置しており、散水エリアは分離帯の区切りに合わせ第 1～第 3 ブロックと呼んでいる(図１)。ノズルからの散水能力は実験時の再生水圧力にもよるが、約 2～3 リットル/(ﾉｽﾞﾙ・分)である(表１)。ノズルには散水量を微調整できるよう調節つまみがついており(図２)、散水配管の元バルブの開度調節による散水量の調整も可能である。散水配管は 3 ブロック合計で約 673m（散水延長 3 ブロック合計片側 266m）あり、この間に散水ノズルを 1m ピッチで配置し実験を行った(図３)。

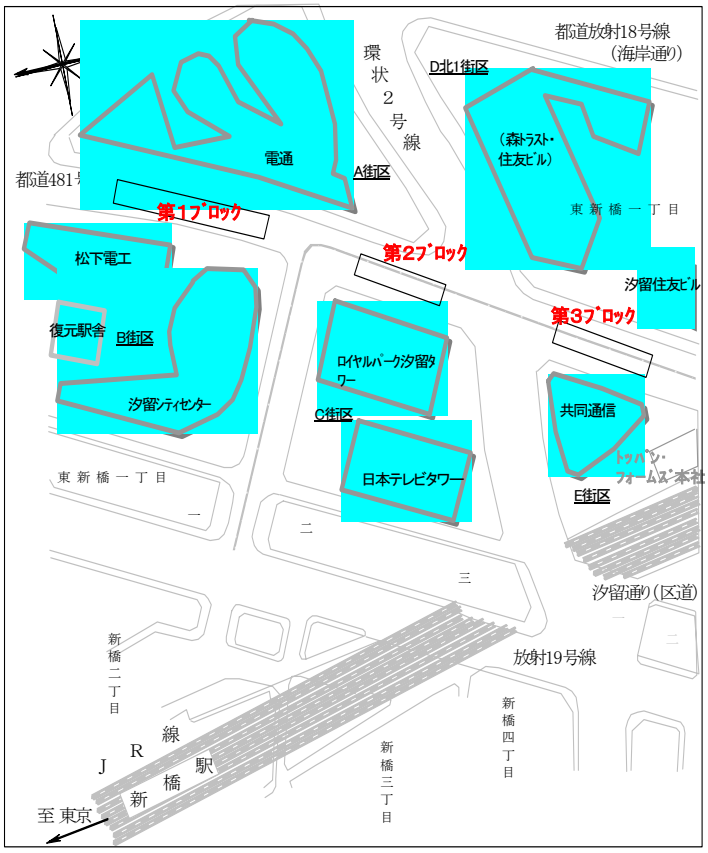


図１　案内図

図２　散水ノズル

図３　散水状況

	散水回数	総散水量	平均散水量	平均ノズル散水量
	回	m^3	L/分	L/ノズル･分
第一ブロック	31	241.53	211	2.2
第二ブロック	31	217.16	191	2.6
第三ブロック	28	218.07	216	2.1

表１　散水実績

３．調査結果

３．１　路面堆積物の調査結果

(１)再生水散水管による散水調査結果

水質調査結果(表２)

①ＢＯＤ、ＣＯＤは再生水に比べ、回収水の値が高い値を示しているが、値のそのものは低濃度であり、特に問題となるようなものではなかった。
②Ｔ-Ｎ、Ｔ-Ｐは再生水と回収水とでは大きな差はなかった。このことから、Ｔ-Ｎ、Ｔ-Ｐは再生水そのものに由来すると考えられる。
③大腸菌群数は、全ての検体について検出されなかった。
④残留塩素は、散水実験中は 0.1(mg/ﾘｯﾄﾙ)未満の値であった。

項目	単位	H16連続散水中					
		再生水			堆積混合		
月日		H16.7.22	H16.8.5	H16.8.12	H16.7.22	H16.8.5	H16.8.12
採水時間		8:25	8:32	9:40	9:10	9:15	10:05
気温	℃	29.3	30.6	30.5	30.0	30.8	32.0
水温	℃	27.7	28.0	28.6	28.4	28.9	30.2
EC	mS/m	167	192	129	178	205	142
濁度	度	<1	<1	<1	50	31	40
pH		7.3	7.6	7.3	7.8	7.9	8.0
pH測定時の水温	℃	24.5	24.3	21.7	24.5	24.3	21.7
ATU-BOD	mg/l	1	1	1	7	4	4
COD	mg/l	7	8	6	20	15	14
SS	mg/l	<1	<1	<1	32	18	26
T-N	mg/l	13	14	11	15	16	15
T-P	mg/l	0.14	0.16	0.16	0.19	0.18	0.19
大腸菌群数(デソ法)	CFU/ml				<30	<30	<30
大腸菌群数(メンブレン法)	CFU/100ml	＜20	<20	<20			
残留塩素	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

表２　再生水散水管によるノズル散水の路面堆積物調査結果

ここで、散水時間を 30 分、60 分とした場合の路面流出負荷量について考察する(表３)。これは、路面の保水性能維持及び路面洗浄のための適切な散水時間を検証するために、昨年度に引き続き調査を行ったものである。この結果から、30 分散水によってＴ－Ｎ,Ｔ－Ｐで散水時間 60 分の約 60%、ＢＯＤ,ＣＯＤ,ＳＳでは約 80%程度の流出負荷量があることが分かる。このことから、散水時間が 30 分でも相当量の路面堆積物の洗浄効果があり、路面清掃の効率性という意味では、散水時間を 30 分程度とすることが現実的と言える。

kg/ha

項目	時間	H15①	H15②	H15③	H15④	H15⑤	H16①	H16②	H16③	平均	30分/60分
ATU-BOD	30分	0.89	1.08	0.89	0.94	1.19	0.51	0.24	0.29	0.75	75%
	60分	1.07	1.24	1.20	1.01	1.41	1.02	0.47	0.58	1.00	
ＣＯＤ	30分	5.23	3.73	3.40	5.85	5.88	1.45	0.88	1.02	3.43	77%
	60分	6.29	4.75	4.25	6.51	7.05	2.90	1.77	2.03	4.44	
ＳＳ	30分	38.31	10.47	17.56	16.52	14.74	2.32	1.06	1.89	12.86	84%
	60分	41.50	14.80	20.02	18.25	17.35	4.64	2.12	3.77	15.30	
T-N	30分	1.30	1.05	1.43	1.55	1.70	1.09	0.94	1.09	1.27	58%
	60分	2.36	1.78	2.09	2.05	2.83	2.18	1.88	2.18	2.17	
T-P	30分	0.03	0.03	0.03	0.03	0.11	0.01	0.01	0.01	0.03	63%
	60分	0.04	0.04	0.04	0.04	0.19	0.03	0.02	0.03	0.05	

表３　散水時間 30 分間、60 分間の流出負荷量

(2)散水車による調査

散水配管を施工できない地域において、保水性舗装に水を供給する手段の一つとして散水車による散水が考えられる。そこで、汐留地区において散水車による散水実験を行い、必要往復回数と散水強度について調査を行った(表４)。

	1回目調査	2回目調査	3回目調査	平均
日時	2004 6 18	2004 9 17	2004 11 5	－
散水開始	9:35	9:26	10:03	－
散水終了	10:15	10:10	10:45	－
総散水時間	0:40	0:44	0:42	0:42
調査時間内平均気温(℃)	30.5	28.3	17.8	－
①散水量	2.0m3	2.0m3	3.0m3	2.3m3
②散水車速度	5km/h	5km/h	5km/h	5km/h
③散水延長	52m	26m	35m	38m
④散水車往復回数	22回	27回	20回	23回
⑤採水マスへ流入していた面積	91㎡	91㎡	91㎡	91㎡
⑥総散水面積	338㎡	169㎡	228㎡	245㎡
⑦単位面積当たり散水量	5.9ﾘｯﾄﾙ/㎡	11.8ﾘｯﾄﾙ/㎡	13.2ﾘｯﾄﾙ/㎡	10.3ﾘｯﾄﾙ/㎡
⑧散水車１往復当たり散水量	90.9ﾘｯﾄﾙ/回	74.1ﾘｯﾄﾙ/回	150.0ﾘｯﾄﾙ/回	105.0ﾘｯﾄﾙ/回
⑨１車線全体に水が行き渡る往復回数	5回	3回	3回	4回
⑩採水マスに到達する往復回数	10回	5回	4回	6回
⑪マスに到達するのに必要な散水量	2.7ﾘｯﾄﾙ/㎡・回	2.2ﾘｯﾄﾙ/㎡・回	2.6ﾘｯﾄﾙ/㎡・回	**2.5ﾘｯﾄﾙ/㎡・回**
⑫マスに到達するのに必要な散水強度	6.1ﾘｯﾄﾙ/秒・ノズル	4.9ﾘｯﾄﾙ/秒・ノズル	6.0ﾘｯﾄﾙ/秒・ノズル	**5.7ﾘｯﾄﾙ/秒・ノズル**

注) ⑪＝(⑧×⑩)／⑥, ⑫＝⑥×⑪／③／②

表４　散水車実験の散水量

・散水量は調査回数ごとに多少変動しているが、平均すると約 100 ﾘｯﾄﾙ/回程度である。

・上記散水量で１車線(6.5m)全体に水が行き渡るためには 3～5 回散水する必要がある。

・2 車線目を越えて雨水ますまで到達するためには、4～10 回散水する必要がある。この回数については保水性舗装の乾燥具合や当日の気温・湿度に影響を受けると考えられる。

・路面清掃に必要な散水量を雨水ますに到達するのに必要な散水量と仮定すると、その値は約 2.5 ﾘｯﾄﾙ/㎡・回(＝2.5mm)であり散水車のノズル数を 2 個とすると 1 つのノズル当たり約 6.0 ﾘｯﾄﾙ/s の強度が必要となる。この値はノズル数を増やすことで小さくすることができる。

３．２　散水によるヒートアイランド緩和効果

汐留地区全体の散水施設により散水し、汐留の散水配管エリアと芝浦水再生センターにおける熱分布状況を航空機搭載の赤外線カメラによりデジタル映像として撮影した(図４)。

1) 撮影日

路面温度が高くなり散水前後の違いが明確に出ることと、航空機から鮮明に撮影可能となるようにするため、日中の最高気温が 30℃以上期待でき、雲の無い日を選定し、2004 年 9 月 8 日(水)に実施した。

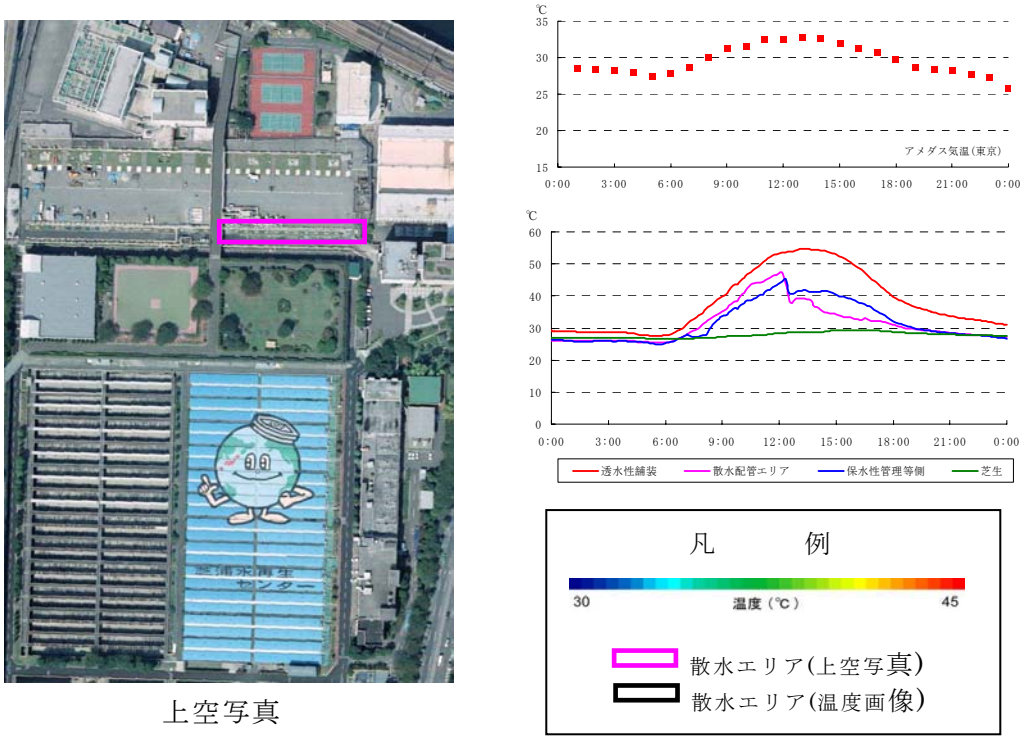
2) 撮影時間

撮影は日中の最も気温が上昇する時間帯の散水前と散水後に実施した。散水前の撮影は上空での飛行規制等の不測の事態を考慮して散水開始の 60 分前､散水後の撮影は路面流出水が完全

に保水性舗装に保水された後の路面温度分布を撮影するため散水 30～90 分後の時間帯を目安とした。

3）撮影高度

本撮影では、日中の最高気温時の撮影・散水前後の撮影といった時間的な制限と特別管制区という飛行の制限がある関係上、複数の高度による撮影は避け、同一高度の撮影として設定した。観測領域と地上分解能について考慮した結果、本撮影における撮影高度は、750m（観測幅約 380m、地上分解能 1.2m）に設定した。



上空写真

散水前　　散水後

図４　撮影結果(芝浦水再生センター)

３．３　実用化を想定した散水手法の調査結果

散水配管による散水方式を実用化することを想定し、タイマーを用いた連続散水を行い、路面清掃及び路面温度低下効果が期待できるか調査した。

（１）濁度調査結果

図５に連続散水時における濁度調査結果の詳細を示す。図から以下のようにいえる。

①連続散水の第１週目は最高値も最低値も毎日低下しているが、その後は大きな減少は見られず、毎週ほぼ同じ動きを示している。

②散水直後は 100～150 程度であり、散水し続けることで濁度は 50 を中心に上下した。

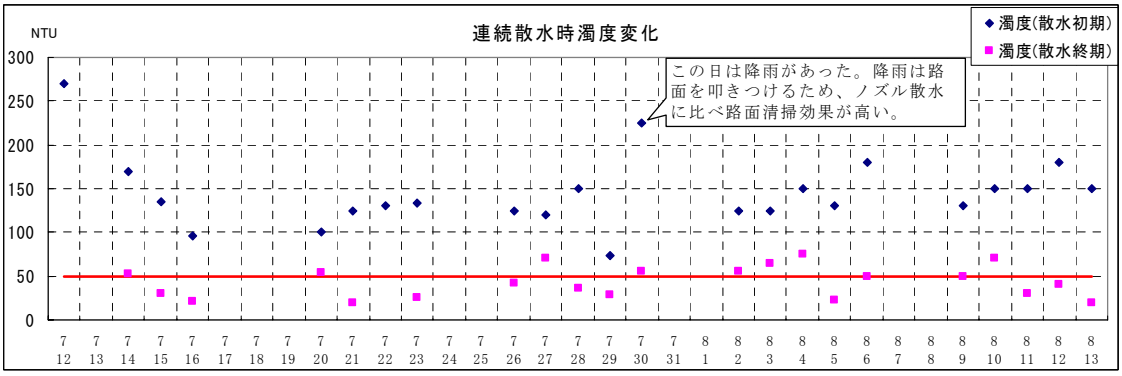


図５　連続散水時の濁度変化

図６に H15 年度及び H16 年度における汐留地区のノズル散水時の濁度変化と散水量・散水時間の関係を示す。H15 年度は第二ブロック、H16 年度は第一ブロックでの実験であったが濁度の経時変化に関してはほぼ同じような傾向を示していることが分かる。散水直後から濁度は低下し始め最低値で 20 程度まで落ちることもあったが、全体的な傾向として、濁度低下の実績下限値は 50 程度であった。図６より、濁度を 50 まで低下させるのに必要な散水量は約 5mm で、散水継続時間は 20～30 分程度であるといえる。

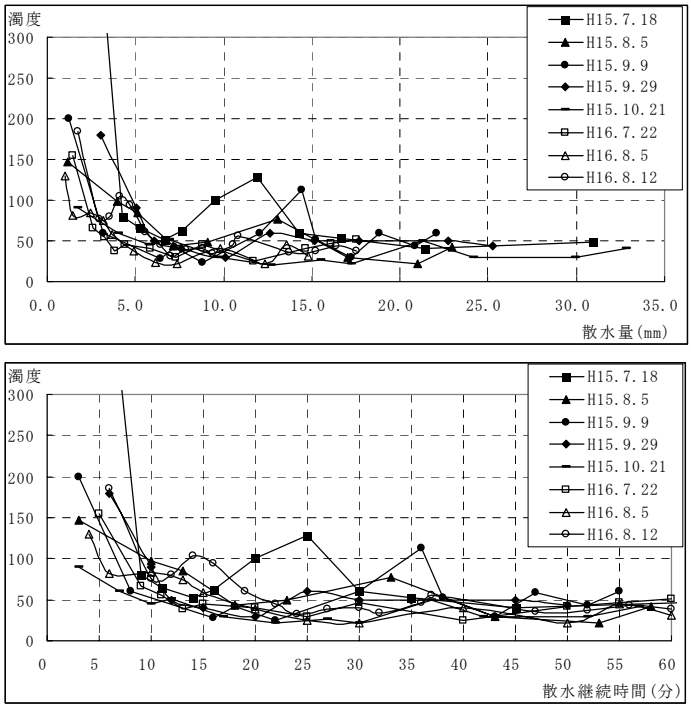


図６　路面清掃に必要な散水量・散水時間

(２)路面温度調査結果

図７に早朝連続散水時(第１週目から５週目）の路面温度変化を示す。

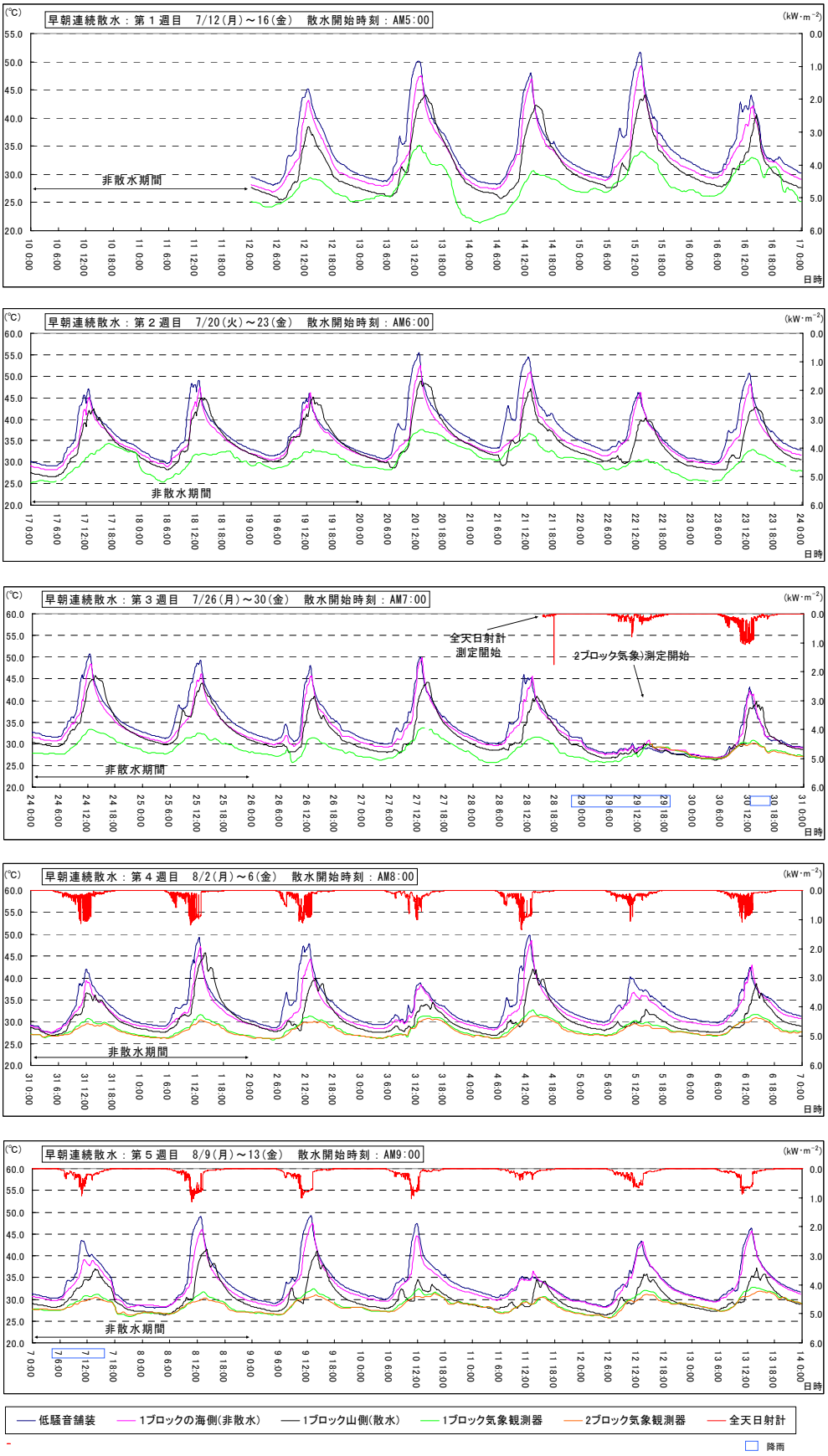


図７　連続散水時の路面温度変化

①非散水路面の温度波形は日射量の波形に同調している。
②散水することにより路面温度のピーク時間が遅れ、ピーク値で5℃～10℃程度低下している。
③早朝散水し路面表面が乾燥しているにも係わらず、昼過ぎの路面温度が非散水車道よりも小さいことから、早朝散水時に保水した水が日中蒸発散することで路面温度上昇を抑制していると考えられる。
④散水車道の路面最低温度が毎日ほぼ同じであることから、毎日散水したからといって路面温度の下がり方が大きくなる訳ではない。
⑤散水車道では、日射量が少なくなる夕方に一度温度が上昇する現象が見られる。この時間帯は日射こそ少ないが気温はまだ30℃程度あり、保水された水が外気で温められていることによる影響と考えられる。

(3)適切な散水手法

舗装厚5cmの保水性舗装の場合(汐留地区)、施工当初の保水能力は5.0mmであるが、一度十分に保水させると、その後は2.5～3.0mm分しか蒸発散による水の出入りが起こらない。また、夏期に毎日連続して散水することを想定すると、ヒートアイランド対策としての保水性能の維持のために2.5～3.0mm散水し、路面清掃のためにさらに2.0mmの合計5.0mm程度散水する必要があり、その時の散水時間は、3.1.(1)「路面堆積物の調査結果」から、20～30分程度必要であるといえる。ここで注意したいのは、散水量5.0mmを一気に瞬間的に流せば良いということではなく、散水初期の保水のための時間、そして、保水後の路面流出による洗浄時間として、20～30分程度必要ということである。言い換えれば、20～30分程度かけて総量で5.0mmの水を散水するということである。

３．４　散水時の風の影響確認調査（於：芝浦水再センター内道路）

再生水散水時おける通行人への安全性及び快適性を把握するため以下の調査を行った。

(1)散水時の水跳ね、通行人への付着

散水時の水跳ねに関し、昨年度までの調査結果から車両の速度が30km/h程度であれば散水強度を強くしても(30mm/hr)ほとんど飛散しないことが分かっている。しかし、現地にある程度の風がある場合には車両通過により、歩道まで水が飛散し通行人に付着することも予想される。そこで、芝浦処理場の散水実験施設を用いて人工的に風を与えた時の水跳ね具合を確認し、散水に適する場所としての風の条件について整理する。

図８、図９に風による飛散水への影響調査結果を示す。水跳ねの原因として、散水中に路面にできる水膜の厚さと車両速度が強く影響していると考えられるが、今回の実験では５ｍｍ程度の水膜厚さになると顕著な水跳ねが生じていたが、それより薄い水膜の時は車両速度が50km/hにならないと顕著な水跳ね(車両から2m程度離れた位置で明確に水しぶきを体感する程度)は確認できなかった。50km/hの時は、肉眼ではっきり確認できるほどの水の粒子が舞い上がっていた。

交通安全面、走行車両による歩行者への水跳ね等を考慮すると、平日の日中よりも通勤時間帯前に実施するのが妥当である。

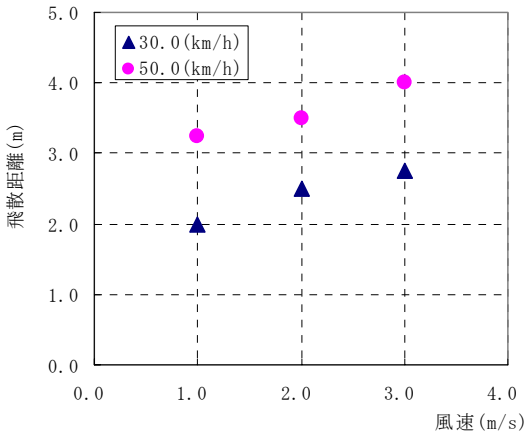


図８　風速-車両速度-飛散距離の関係

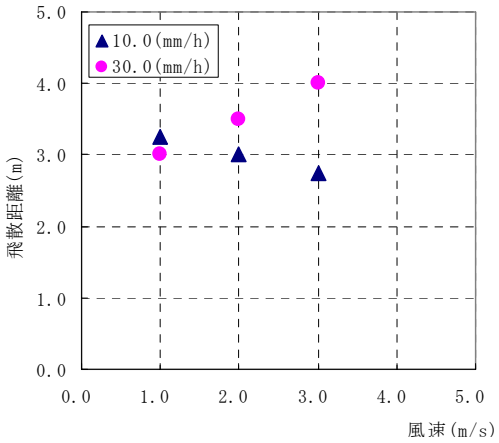


図９　風速-散水強度-飛散距離の関係

(２)飛散水に含まれる大腸菌群数

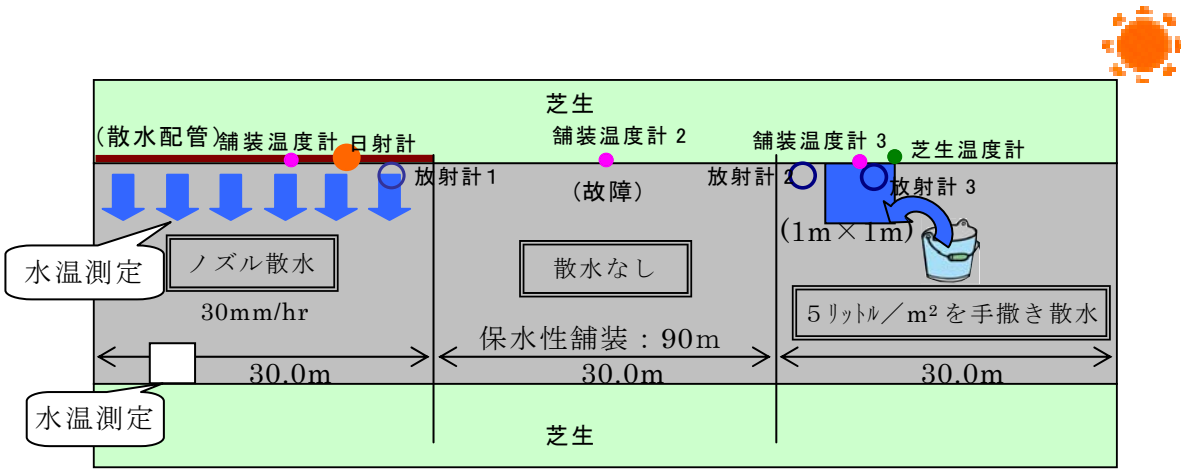
水跳ね実験中に実験車により跳ねた水を培地付きの皿に付着させ、大腸菌郡数の分析(ＭＰＮ法)を行った。なお、ブランクとしての大腸菌群数として、地表面より約 1m付近に培地付き皿を一定時間放置したものを分析した。

結果として、いずれのケースにおいても飛散水中に大腸菌郡数は認められなかった。この結果においては、路面流出水が走行車両により飛散して通行人に付着した場合でも、水質面での危険性は無いと考えられる。

３．５　散水時の熱収支調査結果（於：芝浦水再センター内道路）

(１)散水エリアと非散水エリアにおける熱収支の違い

周辺に建物がなく日射、風向・風速等がほぼ均一と考えられる芝浦水再生センター内の保水性舗装施工区間において、散水エリアと非散水エリアにおける放射量及び熱収支を求め、散水によるヒートアイランド現象への効果を定量的に評価した。図 10 に路面温度センサーを含めた機器の全体配置状況、図 11 に計測機器を示す。



注)舗装温度計２は実験前に故障していたため欠測。
ただし、8/13 11:00 ～ 8/27 19:20 は別途ロガーを用意し観測。

図 10　芝浦水再生センター内実験施設図

図 11　芝浦水再生センター内計測機器

放射量等観測値及び計算による乱流熱輸送量、潜熱輸送量から各実験エリアにおける熱収支計算結果を表５に、放射量等の構成率の違いを図 12 に示す。

w/m^2

	入＋		出－					
	長波量（L↓）	短波量（S↓）	長波放射量（L↑）	反射量（短波refS↑）	乱流熱輸送量（H↑）	蓄熱（G↓）	潜熱輸送（ιE↑）	下水へ
非散水エリア	449	646	597	112	35	352	0	0
手撒き散水エリア			541	70	34	195	256	0
ノズル散水エリア			521	71	13	195	256	39
計	1,095		1,095					

表５　熱収支計算結果(散水継続時間の 11:00～12:30 内の収支)

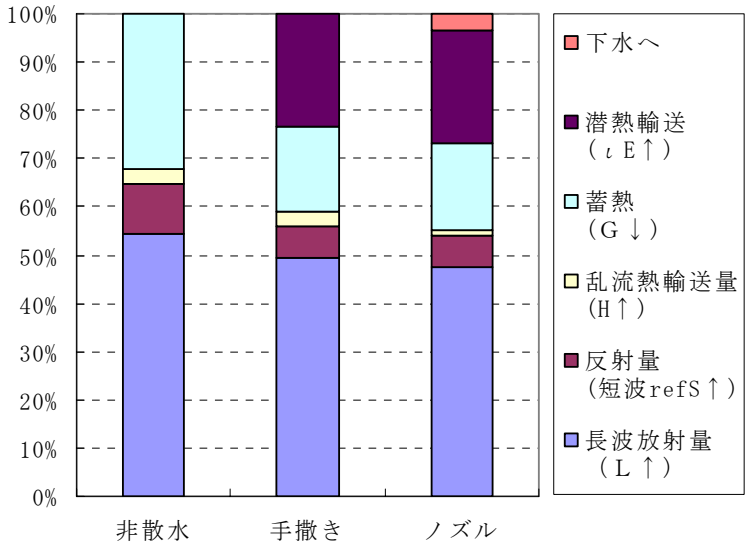


図 12 散水手法の違いによる放射量等の構成率の違い（上記表中の出-の構成）

①散水による効果として最も大きいのは蓄熱量の減少である

②手撒き散水に比べるとノズル散水の方が放射量低減効果がある

③長波放射量(赤外放射量)はコンクリート舗装の一般的な値である 500W/㎡より全体的に高い値であるが、手巻き散水することで約 60W/㎡、ノズル散水することで約 75W/㎡減少している。「水環境の気象学　近藤純正」によると、東京都心部の平均人工熱は 100W/㎡であり、この値

と比較しても効果は十分にあるものと考えられる

(2)散水によるヒートアイランド現象緩和効果

①路面温度上昇抑制効果

熱収支実験期間内の路面温度の変化を図 13 に示す。非散水時の路面温度は日射量に追従する波形となっているが、ノズル散水エリアは散水直後から急激に温度が下がっている。ピーク時の路面温度で、約 10℃程度の温度抑制効果があり、その路面温度抑制効果は少なくとも 1 日継続していることが分かる。

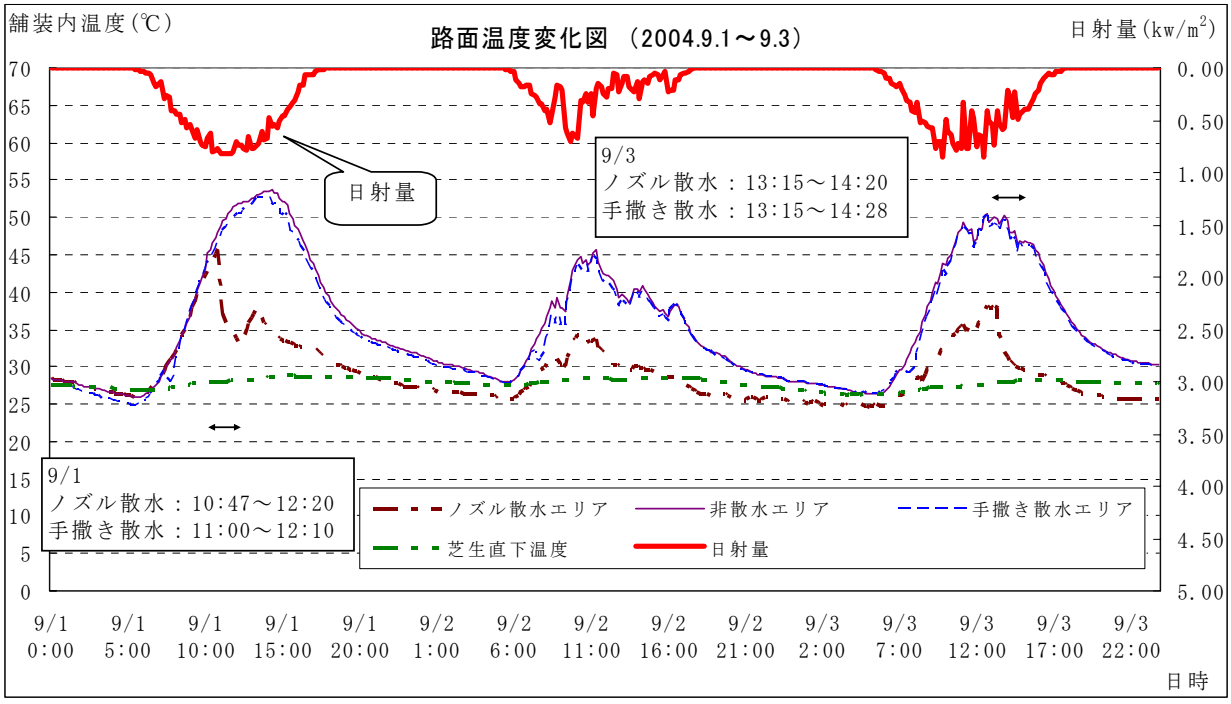


図 13　路面温度の変化(芝浦水再生センター内)

②近傍大気温上昇抑制効果

路面温度が高くなると路面からの放射や対流熱伝達等による路面上部の大気温度が上昇することが考えられる。路面に散水することで路面温度を低下させるができ、気温上昇抑制に効果があると考えられる。

図 14 に日射量が 0.12kw/m² 以上(＝日照時間の定義：「気象観測の手引き」気象庁)における路面温度と 1.5m 気温との関係を示す。路面温度と 1.5m気温は比較的高い相関を示しており、近似式を作成することができる。路面温度が 50℃程度以上ある場合、路面散水すると路面温度が 10℃以上低下することが過年度の実験で確認できている。図から路面温度がほぼ 50℃(図では 48℃)の時と 40℃の時の気温差は約 0.5℃であることが分かる。このことから、路面散水により路面温度を 10℃低下させたとき、地上 1.5m の位置の大気温を 0.5℃低下させる効果が期待できる。

しかし、厳密には大気温度への影響要因は、路面温度以外にも湿度、風、エアロゾル等、数多く考えられるため、路面温度の低下のみで議論することはできない。

よって、今回の調査では路面温度低下が大気温にもたらす影響の可能性のひとつとしての知見に留まった。

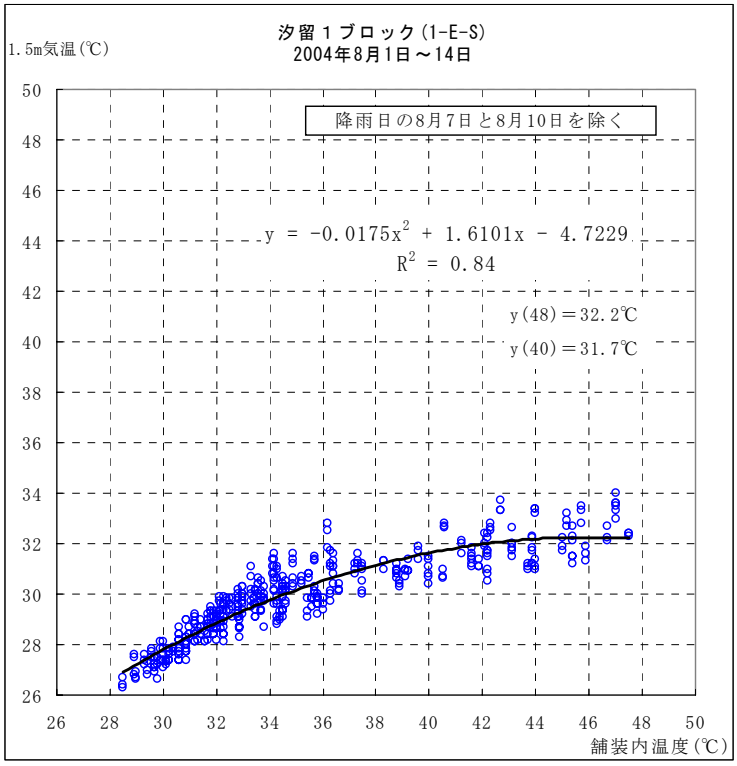


図 14　路面温度と 1.5m 気温との関係

４．まとめ

今回の実験により、再生水の路面散水による合流改善効果およびヒートアイランド緩和効果について確認できた。また、汐留地区における適切な散水量と散水時間、水跳ねによる歩行者への影響についても新たな知見として取りまとめることができた。

路面堆積物量は地域により大きな違いがあるため、路面散水による合流改善効果の検証においては、地域特性の把握がその地域に合った散水量、散水時間を決める重要な要素となる。

供用中道路内での再生水の散水手法は、道路交通への影響、散水効率等から、散水管による散水が望ましいが、散水管の布設が困難な地域については、散水車による散水手法も考えられる。ヒートアイランド緩和対策としての、路面散水需要の高まりを背景に、今後、散水車による散水も想定した、再生水供給設備の整備や散水車の散水効率向上を図っていく必要がある。

引き続き、下水再生水の新たな利用拡大のために、路面散水による合流改善効果、ヒートアイランド緩和効果について、広くお客さまにＰＲしていきたい。