

31. 河川施設のヒートアイランド対策に関する考察

ーコンクリート護岸の温度低減実験

Study on the Heat Island Effect of the River Institutions

From the View point of the Experiment on the Temperature Decrease of the Concrete Revetments

岩屋隆夫*・佐藤俊彦**・杉原大介***・石原成幸*・高崎忠勝*

Takao IWAYA*, Toshihiko SATOU**, Daisuke SUGIHARA***,

Shigeyuki ISHIHARA*, Tadakatu TAKASAKI*

ABSTRACT; The concrete revetments are changed to hottest condition in the summer on the Tokyo Metropolitan. The peak of the temperature reaches 50 deg. on the concrete revetments. This paper is the study on the heat island effect of the river institutions, from the mitigation of gradual decrease to the heat of the riverside land on the Naka River by the revetment sprinkling and the revetment planting. The results are summarized into 2 points as follows. 1) The covering on the concrete revetments by the green this case, the surface temperature of the revetments decreases 2.3 deg. on the average of the experiment term. 2) The sprinkling on the concrete revetments by the pump-up of the stream this case, the surface temperature of the revetments decreases from 4 to 6 deg. on the under 1 hour.

KEYWORDS: heat island, revetment sprinkling, revetment planting, temperature decrease

1 はじめに

大都市の活動に起因する諸問題の一つにヒートアイランド現象がある。このヒートアイランド対策を考える場合、河川の冷気を市街地へと誘導するような方策などは、既に幾つかの研究成果が発表されている^{1)~4)}。その一方で、河川施設、特にコンクリート護岸の表面温度は、夏期暑熱時に日中 50℃を超過するほど高温化し、しかも表面温度は夜間になっても容易に低下しない状態に置かれている。加えて、護岸材料を変更出来ないような河川が多々存在するが、既存のコンクリート護岸を対象にした温度低減の実験はこの間、試みられたことが無いようである。従って、河川施設のなかで、ヒートアイランド対策の実験調査を求められるのがこのコンクリート護岸、ということになる。そこで、東京都土木技術センター（旧名・土木技術研究所）では、都の河川部からの要請を受け 2005 年夏期、高温化するコンクリート護岸を対象に、護岸緑化と護岸散水という 2 つの温度低減方策を用いた実験調査を行った。本論はこの 2005 年の実験調査で得られた実測データをもとにして、護岸表面温度の低減手法とその効果を整理して述べるものである。

*東京都土木技術センター Civil Engineering Center of Tokyo Metropolitan Government, Shinsuna 1-9-15, koutou-ku, Tokyo, Japan 136-0075, **東京都南多摩東部建設事務所 Minamitama Tobu Construction Office of Tokyo Metropolitan Government, Nakamati 1-31-12, Matida-shi, Tokyo, Japan 194-0021, ***東京都河川部 River Division of Tokyo Metropolitan Government, Nishishinzyuku 2-8-1, Shinzyuku-ku, Tokyo, Japan 163-8001.

2 2005 年の実験仕様

東京都の管理河川のなかで、利根荒川低地を南北に流れ東京湾へと流出する中川には、全日に亘り直射日光の下にあって、このため夏期暑熱期ともなれば、歩行者を見かけることがないような状態に置かれた遊歩道がある。**写真-1**に見る中川下流左岸堤の堤外地の遊歩道である。この左岸堤に対し荒川放水路と中川を分ける中川右岸堤（背割堤）は、堤防上に首都高速葛飾・江戸川線が走り、これが堤防上で陰影部を形成するため、夏期暑熱期の日中であっても常に数人の歩行者を見ることが出来る。中川左岸堤の堤外地の歩道部は、川風を直接受ける環境にあるにもかかわらず、このように直射日光の下にあって、暑さを実感するような状態にあり、しかも、中川左岸の在来の護岸は、護岸材料を容易に変更できない状況にある。

2005 年の実験調査は、この中川左岸堤、つまり**図-1**に示す江戸川区松島二丁目地先の堤外地のコンクリート護岸を対象にして実施した。測定項目、測定機器は**表-1**に示すところであるが、各測定仕様の詳細は以下述べるとおりである。

まず、在来のコンクリート護岸で測定を開始するに当たり、護岸の垂直方向の中央部が護岸温度を代表すると考え、測定ポイントは護岸高の半分の高さの場所に設定した。そして、当該ポイントのコンクリート部に深さ 20mm ほどの小孔を穿ち、そこに温度センサーの先端部を挿入、固定して護岸表面温度を計測した。他方、護岸上 50cm の温度は、護岸表面温度の計測箇所の直近に、護岸表面から高さ 50cm の位置までアングルを組み上げ、そこで温度センサーを用いて計測した。但し、護岸上 50cm の温度は、外気温の測定を目的にしているため、温度計のセンサー部は直射日光の影響を受けて温度が上昇しないよう、百葉箱と同等の機能を持つラジエーションシールドに格納している。また、護岸表面温度の測定ポイントは、護岸の傾斜部であるから、ここには別途、水平調整台を設け、この調整台の上に全天日射計を設置して護岸の日射量を計測した。

一方、河川の水面上の温度測定は、中川の水面上に架設された下水道局西小松川ポンプ所水門の堤外管理通路を利用して行うこととし、ここでは中川の満潮位から 1.5m の位置にラジエーションシールドに格納した温度センサーを、また風向風速を計測するため、ウェザーステーションを満潮位から 2m 高の位置に各々、設置した。他方、在来護岸の下端の犬走り箇所は、**写真-1**に見るように、狭長な緑地帯を形成し、ここにツタ類が植栽されている。ただ、この既存のツタ類はコンクリート護岸を覆うようなかたちで護岸上を匍匐するに至っていなかったため、ここでは、既に伸張したツタ類を入手して緑地帯に新植し、これをコンクリート護岸の上へと導いて護岸を覆うようにしている。用いた植物は、イングリッシュアイビー、カロライナジャスミン、テイカカズラの 3 種のツタ類の混植で、**写真-2**が新植後の護岸緑化の測定箇所の状況である。そして、このツタ類で遮蔽されたコンクリート護岸の上に、前記と同じ手法で温度センサーならびに全天日射計を設置して、護岸緑化場所の護岸温度と護岸日射量を計測した（葉面温度の測定仕様と測定結果は紙面の関係から略する）。従って、護岸緑化に関係する今回の実験調査の条件を正確に表現すれば、コンクリート護岸の一部を遮蔽するに過ぎない状態にある護岸緑化の検証、ということになる。

次に、護岸散水は、水平延長 10m（斜面長 4m）のコンクリート護岸を散水エリアとして設定し、この散水エリアを対象に 5.5 $\text{L}/\text{min}/\text{m}$ を散水し、水が一様に護岸全面を流れるようにしている。水源は中川表流水に

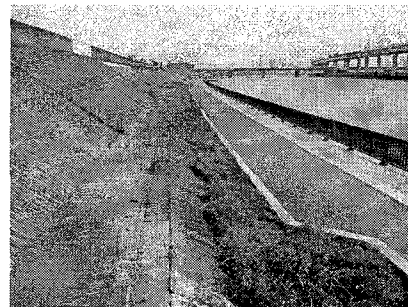


写真-1 中川左岸堤の現況



図-1 2005 年実験場所の位置図

表-1 測定項目と測定機器

測定項目	測定機器
護岸表面温度、護岸緑化の護岸温度	温度計／TR-52
護岸日射量、護岸緑化の護岸日射量	全天日射計／KDC-S11
護岸緑化場所の葉表の温度	温度計／TR-52
護岸上 50cm の温度、水面上の温度	ラジエーションシールド+温度計／TR-52
水面上の風向風速	ウェザーステーション／WIZARDⅢ
河川表流水の水温	自記水温計／C104
河川表流水の塩分濃度	塩分濃度計／U-10
データ収録	温度計、電圧計、10 分間連続観測



写真-2 護岸緑化場所の状況

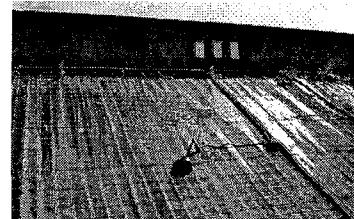


写真-3 護岸散水の状況

表-2 護岸散水の散水スケジュール

10 分散水／日	30 分散水／日	1 時間散水×3 回／日	10 分散水／日	30 分散水／日	1 時間散水×3 回／日
8.1 ～ 8.10	8.11 ～ 8.20	8.21 ～ 8.30	8.31 ～ 9.9	9.10 ～ 9.19	9.20 ～ 9.29

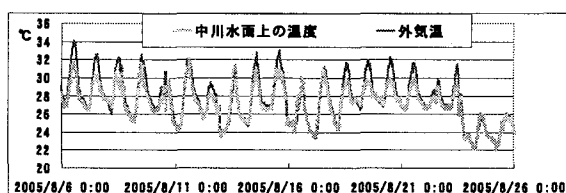


図-2 中川の水面上の空間温度と外気温の推移

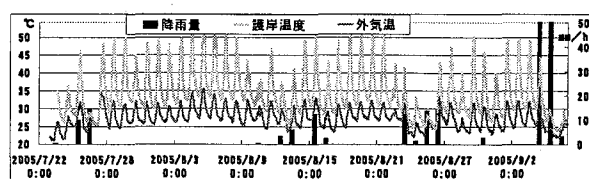


図-3 護岸の表面温度、外気温、降雨量の推移

求め、水中ポンプ (0.15m³/min) には浮袋を付けて水面下 30cm の位置で取水出来るようにし、また当該位置で水温と塩分濃度を連続計測した。なお、散水時間、言い換えれば表流水の揚水時間は、塩分濃度の高低に配慮し、表-2 に示す散水スケジュールに沿って、間断的に行っている。写真-3 が散水中の状況である。2005 年の実験調査は、以上のような条件で、7 月 22 日に測定を開始し、10 月 3 日に測定を終了している。

ところで、実験期間における気象条件は、実験結果を評価する際に必要な指標の一つである。そこで、実験年の 2005 年の気象条件を気象庁の大手町観測点における過去データ、つまり過去 45 年間 (1961～2005 年) の夏期気温データを通して考えてみると、6 月から 9 月までの 4 ヶ月間にあって、日最高気温 30℃以上が記録された日 (真夏日) の延べ日数、多年平均 46 日に対して、実験年の 2005 年は 56 日、同期間にあって日最低気温 25℃以上が記録された日 (熱帯夜) の延べ日数、多年平均 20 日に対して、2005 年は 31 日である。従って、2005 年の実験年は、例年に比べて極めて暑い夏であったことになる。換言すれば、本論で以下述べる 2005 年の実験調査は、ヒートアイランド対策の実験を行うに適した期間であった、と評価されるのである。

3 2005 年の実験結果を通して見たコンクリート護岸の温度低減効果

2005 年の実験調査は、前記のとおり、極めて暑い夏を中心に行った。では、この夏期暑熱期にあって、各測定結果はどのような値を示し、またこれはどのように評価されるかという視点で、以下、測定項目ごとに述べることにする。

3. 1 河川水面上部の空間温度

実験結果の冒頭に挙げるのは図-2、すなわち実験期間の 8 月中旬における中川の水面上の空間の温度変化である。グラフのなかで外気温とあるのは、江戸川区西一之江小学校 (江戸川区松江 7-17-1) の気温を指し、

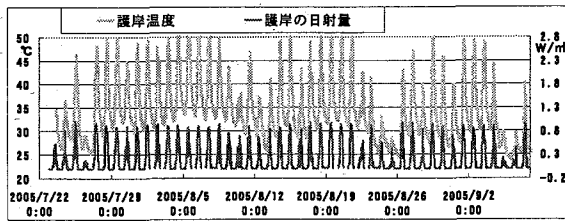


図-4 護岸の表面温度と日射量との相関図

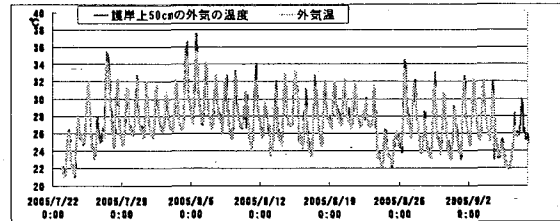


図-5 護岸上 50cm の温度と市街地の外気温との相関図

中川と新中川に囲まれた市街地の中央部、つまり江戸川区の既成市街地を代表する場所における外気の温度データで（当該場所は中川の実験場所から直線距離で 1km 離れた位置に当たり、以下、この気温は単に「外気温」と言う。）、実験場所の近傍の住民が、毎日、体感する温度と同義である。

ここで図-2を見ると、河川の水面上の温度は、連日、外気温より低いことが判る。例えば、8月15日、外気温は14:30に日最高気温33.1℃を記録しているが、その時の水面上の温度は30.9℃と外気温より2℃強低く、8月20日、外気温が12:40分に32.1℃を記録した時、水面上の温度は29.8℃と外気温より2℃強低い。河川の水面上を流れる外気の温度は、このように既成市街地の外気より低い。河川がクールスポットと呼ばれる理由がここから判る。なお河川表流水の水温は降雨時を除き大きな変化が無く、実験期間平均で26℃である。

3. 2 在来コンクリート護岸の温度

さて、図-3に挙げるのは、在来コンクリート護岸の表面温度、外気温、降雨量の推移で、図-4に示すのはコンクリート護岸の表面温度と日射量との相関図である。なお、降雨量は気象庁の大手町観測データである。在来コンクリート護岸の表面温度は、図-3のとおり、外気温よりはるかに高く、最高温度はほぼ連日50℃に達している。しかも、コンクリート護岸の表面温度は、常時、外気温より高く、夜間も30℃以上の高温状態が連日、持続し、図-3を見る限り、護岸の夜間温度が30℃を下回るのは降雨日に限定されている。護岸の夜間温度の低下は、降雨と関係がある、とみられる。

一方、コンクリート護岸が受ける日射量を図-4を見ると、日射量と護岸の表面温度は、相関が高いことが判る。例えば、日中晴天であった8月5日5:00の護岸日射量が0W/m²であった時、護岸温度は33.4℃で、その後、護岸表面が日射を受けて7:30に0.12W/m²の護岸日射量を示した時、護岸温度は34.3℃と僅かに上がり、12:50に日射量が0.84W/m²と日最高値近くに達した時、護岸温度は50.4℃まで急騰している。コンクリート護岸の表面温度は、このように日射を受けて急騰する傾向にある。つまり、実験対象の中川左岸堤のコンクリート護岸は、直射日光から遮るものが無いため、直射日光を受けて、日中50℃という高温の状態になっているのである。しかも、前記の8月5日に日射量が0W/m²となるのは18:40であるけれども、この時の護岸温度は42.1℃と依然として高い。当日、護岸温度が30.0℃まで低下するのは、日射量が0W/m²となった2時間後の20:40のことである。コンクリート護岸は、一旦、高温の状態になると、温度減少が日射量の減少に直結せずに、温度が容易に低下しない、ということが判る。

他方、護岸温度と護岸上50cmの外気の温度、市街地の外気温との相関が図-5である。図-5を見て判ることは、護岸上50cmの外気の温度は、市街地の外気温より必ずしも高く無い、ということで、護岸上50cmの外気の温度と外気温の各曲線は、殆ど重なり合っている。しかし、測定データを詳細に見ると、護岸上50cmの外気の温度が市街地の外気温より高くなったり、低くなったりする時間帯が幾度かある。例えば、8月15日に市街地の外気温が33.4℃の日最高値を記録した14:40、護岸表面温度は49.3℃と高温であったけれども、護岸上50cmの外気の温度は31.9℃と市街地の外気温より1.5℃低い。これとは逆に、8月5日は、11:10に市街地の外気温が33.3℃を記録したのに対して、護岸上50cmの外気の温度は35.9℃と市街地の外気温より2.6℃高い。護岸上50cmの外気の温度が、このように市街地の外気温より高くなったり、低くなったりする原因の一つには、中川の水面上を流れる風の影響があったと考えている。例えば、風速が4m/sec以上の時、護岸上50cmの外気の温度は市街地の外気温より低くなり、風速が2m/sec以下の時、護岸上50cmの外気の温度

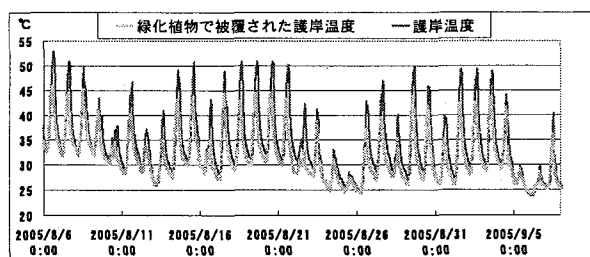


図-6 護岸緑化の護岸温度と在来護岸温度の相関

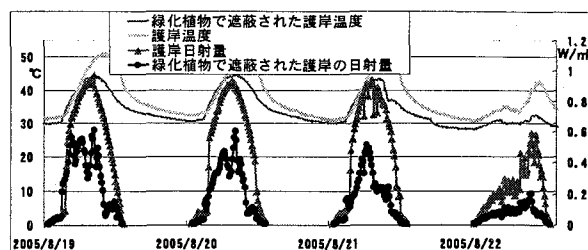


図-7 護岸緑化の護岸日射量と在来護岸の日射量

は市街地の外気温より高くなるような傾向が実測値から読み取れる。つまり、護岸上 50cm の外気は、風が有る時は水面上の外気、つまり冷気の影響を受けて、温度が下がり、風が無い時は高温化した護岸の影響を受けて温度が上がっているように考えられる。ただし、この点の詳細な説明は今後の課題としたい。

3. 3 護岸緑化による護岸の温度低減効果

高温化したコンクリート護岸を緑化植物で覆った場合、護岸温度はどのように変化するか。本論で言う護岸の温度低減方策の一つである。護岸植物によって遮蔽された護岸の表面温度は、図-6 に見るように、在来の護岸の表面温度より連日、確実に低い。実験期間における全時間帯平均の低減値は 2.3°C である。10°C 以上の低減値は、実験期間にあって数回記録されるが、こうした大きな低減値は昼間に生じ、夜間における低減値は小さい。しかし、夜間にあっても、低減値は常に 1~2°C 記録される。従って、護岸緑化による護岸温度の低減効果は、ほぼ全時間帯にわたって示されていると言える。

護岸緑化によるこうした温度低減効果は、緑化植物による日射の遮蔽が主因にあると考えられ、ここで、8 月 19 日から 22 日の 4 日間における日射量を図-7 に見ると、緑化植物によって遮蔽された護岸の日射量は、在来の護岸の日射量より常時小さいのである。すなわち、緑化植物が日射を遮ることによって護岸に入射する日射量が減少し、この結果として護岸温度が低減していると考えられる。但し、緑化植物によって遮蔽された護岸温度と市街地の外気温の相関を図ると、護岸緑化による温度低減は、期待するような数値を示さない。護岸緑化場所の護岸温度は、全日にわたって常に外気温より高く且つ夜間も 25°C 以下に低下しないのである。熱帯夜というヒートアイランド現象を考える場合に重要な指標が、この夜間温度 25°C である。

そこで、緑化を伴うヒートアイランド対策の事例を屋上緑化に見ると、屋上緑化では、土壤水分が維持される限り、緑化システム表面の夜間温度は常時 25°C 以下に下がることが確認される⁵⁾。つまり、護岸緑化とは異なる夜間温度を示すのである。こうした温度低減効果の差異は、緑化で用いた植物の違い、そしてこれに規定された植物の働きの違い、更に土壤層の有無にあるとみている。つまり、屋上緑化で用いた植物、芝は、土壤水分を吸収し気化させ、この過程のなかで外気熱が消費されるのに対し、護岸緑化で用いたツタ類はこうした働きが貧弱で、むしろ護岸を日射から遮蔽するという働きに特化していると考えられるからであり、加えてコンクリート護岸そのものは土壤層に比べて保水能力が格段に劣るからである。そういう意味で考えれば、護岸緑化による温度低減効果をより確実な方策へと向上させるには、植物の気化現象を補完する方法として、例えば護岸緑化の植物の葉面などに適宜、散水して葉面に水分を付着させ、この付着した水分の蒸発、気化による温度低減に期待するような手法が考えられる。今後の検討課題である。

3. 4 護岸散水による護岸の温度低減効果

では、高温化した護岸に散水を行った場合、護岸温度はどのように変化するか。本論で言う護岸温度低減方策の二点目である。

さて、在来のコンクリート護岸に 10 分間の散水をした場合、護岸温度は図-8 に見るように、散水直後に温度低下が始まり、以降、散水後 40 分で 4°C 強まで低下した後、温度上昇に転じている。他方、30 分散水また 1 時間散水では、散水後 40 分から 1 時間で 6°C 弱の護岸温度の低下を確認している。散水による護岸温度の低減は、このように散水時間の長さに規定されるような傾向がみられる。しかし、温度低下の持続時間は

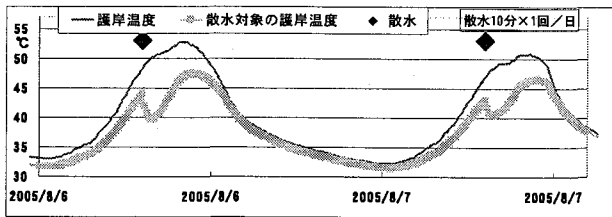


図-8 護岸散水による護岸温度の低下状況

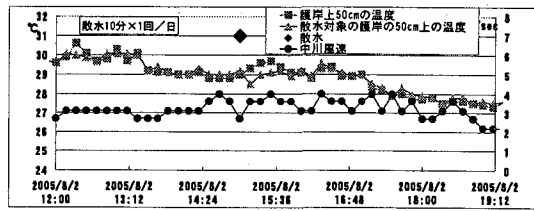


図-9 護岸散水と護岸上 50cm 温度との関係

長い場合であっても 30 分ほどしかない。つまり、10 分から 1 時間という短時間の散水は、散水時間帯とその後数 10 分ほどの効果を発現するに止まっていることになる。このため、温度低減効果をより確かなものするには、3 時間、4 時間といった連続散水が求められる。

ところで、護岸散水による温度低下は、(散水直前の護岸温度) - (水温) という温度差の発現としての冷却、そして散水後の蒸発気化という二つの作用から構成される、と考えている。そこで、実験期間にあって、12:00 の日射量が 0.9W/m^2 を示す連続 4 日間、すなわち 8 月 17 日から 20 日の間に実施した測定データを対象にして、河川水の冷却効果を考えると、その冷却効率、つまり $\{ \text{低下温度} / (\text{散水直前の護岸温度} - \text{水温}) \}$ は 0.5 から 0.4 の範囲にある。河川水を用いた護岸散水は、40～50% の効率で温度低減に作用していたことが判る。

他方、護岸上の外気温は前述したように風速に規定される所があるので、ここでは実験期間にあって、風速 3/m 未満の時に散水したケースにおける護岸上 50cm の外気温との関係を図-9 に示す。つまり、8 月 2 日 15:00 に行った 10 分間の散水で、この時の護岸上 50cm の外気温の低下が 1°C 弱である。僅か 1°C 弱ではあるけれども、護岸散水による外気温の低減がここに確認されたと判断している。

4 おわりに

コンクリート護岸という河川施設を対象に実施した 2005 年のヒートアイランド対策実験では、以上のように河川上部の空間温度や護岸温度の特性を確認し、また護岸緑化と護岸散水という 2 つの方策を用いた護岸温度の低減効果を明示することが出来た。しかし、護岸緑化また護岸散水には前述したように、一定の効果限界があるから、以降、新たな手法を検討するなかで、実験調査を継続していきたいと考えている。

謝 辞

2005 年の実験調査を進めるに当たり、建設局第五建設事務所、下水道局東部第二管理事務所にはお世話になった。また、本論で外気温として使用した江戸川区西一之江小学校の温度データは、東京都環境科学研究所および首都大学東京より提供を受けた METROS データである。関係各位には、ここに記して謝辞を表する。

参考文献

- 1) 島谷幸宏、萱場祐一、「ヒートアイランド現象に果たす都市河川の役割」、土木技術資料 vol.36-8、建設省土木研究所、pp.26-29、1994.
- 2) 一ノ瀬俊明、「都市における河川のヒートアイランド抑制効果」、河川、vol.8、pp.18-22、河川協会、2001.
- 3) 建設省河川局、「都市における熱環境改善を考慮した河川改修等のための調査・研究」、建設省技術研究会報告 vol.49、pp.6:1-6:22、1995.
- 4) 城戸聡、浅利修一、本田隆秀、「護岸素材と河川植生による温度の低減効果に関する調査」、土木学会第 58 回年次学術講演会、pp.979-980、2003.
- 5) 岩屋隆夫、竹垣敏郎、「屋上緑化の熱環境と流出抑制の特徴」、平成 17 年東京都土木技術研究所年報、pp.143-154、2005.