

橋梁形状と路面上から飛散した凍結防止剤の飛散・付着特性の関係

松江工業高等専門学校 正会員 ○坪倉 佑太
 松江工業高等専門学校 非会員 中林 弘揮

1. はじめに

我が国の橋梁の多くは高度経済成長期に建設されており、近年ではこれらの維持管理が喫緊の課題となっている。特に、日本は島国であるため、海塩粒子による腐食や塩害が維持管理上重要な問題となる。これに加え、山間部で冬場に路面上に散布される凍結防止剤に起因する鋼材の腐食も報告されており、海塩粒子と同様に注意を払わなければならない。路面上に散布された凍結防止剤は、車両通過に伴う巻き上げによって大気中へ飛散し、橋梁後方に生じる渦に巻き込まれることで主桁部へ付着することが知られている²⁾。しかし、

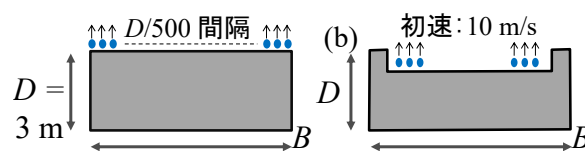


図1 解析対象とする断面

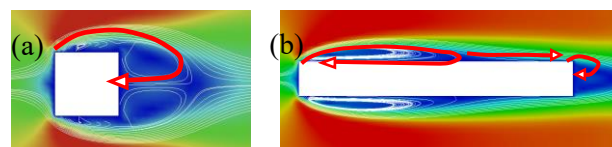


図2 矩形断面における時間平均流線と粒子軌跡
 (a) $B/D = 1$, (b) $B/D = 8$

橋梁形状と凍結防止剤の飛散挙動や主桁への付着特性の関係は十分に検討されていない。そこで本研究では、両者の関係を数値流体解析 (CFD) を用いて明らかにすることを目的とし、検討を行った。なお、橋梁断面での検討に先立って、基礎的検討として橋梁と同様に流れの剥離点が固定される矩形断面周りでの粒子飛散解析を実施し、矩形断面の形状変化が凍結防止剤の飛散・付着特性に及ぼす影響についての検討を行った。

2. 解析条件

本研究では、対象断面周りの非定常流れ場をオープンソースコードである OpenFOAM を用いた RANS ($k-\omega$ SST モデル) により計算し、流れ場中で凍結防止剤を模した球形粒子の運動方程式を解くことで飛散解析を行った。矩形断面周りの流れ場は、断面辺長比に応じて変化することが知られている³⁾ため、図1(a)のように断面流下方向長さ B 、断面高さ $D (= 3 \text{ m})$ で定義される断面辺長比 B/D について、1, 2.5, 5, 6, 8 の5ケースを解析対象とした。また、粒子の飛散挙動に 断面への接近風速 U を 1, 5, 10 m/s の3種類に設定して流れ場解析を行なった。また、橋梁断面として、図1(b)のように高欄を模擬した突起物を矩形断面に取り付け、解析を行なった。橋梁断面周りの流れ場は、矩形断面と同様に、断面辺長比 B/D について5ケースを解析対象とし、接近風速 U を 5 m/s に設定して流れ場解析を行なった。粒子飛散解析の諸条件としては、図1の様に、路面上に $D/500$ 間隔で粒子を配置し、それぞれの粒子について飛散解析を行った。路面上に配置した粒子には、走行車両 (時速 80 km/h) による巻き上げを想定し、鉛直上向きに 10 m/s の初速を与えた。また、粒子の飛散特性は接近風速に加え、粒子径によっても異なると考えられるので、粒子直径を $d = 10 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$, $300 \mu\text{m}$, $600 \mu\text{m}$ の4種類について粒子飛散解析を行なった。なお、これらの条件は既往の研究⁴⁾を参考に設定している。

3. 解析結果および考察

(1) 矩形断面における粒子飛散解析

矩形断面周囲での粒子の挙動について、以下では、流れ場構造が大きく異なる $B/D = 1, 8$ を取り上げ議論する。図2(a), (b)は、 $U = 5 \text{ m/s}$ における $B/D = 1, 8$ の時間平均流線を示している。なお、図中には解析によって明らかになった粒子の背面への輸送経路も示している。 $B/D = 1$ では、(a)の矢印で示すように路面上から

キーワード 凍結防止剤, 維持管理, CFD, 粒子飛散解析

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4

松江工業高等専門学校 TEL0852-36-5269

飛散した粒子が、前縁で剥離した流れに乗って断面後方に移動し、カルマン渦に巻き込まれることで背面に付着する。一方、 $B/D=8$ では、(b)のように剥離流れが上面に再付着するのに伴って、粒子が路面上後方に輸送され、一部の粒子が壁面に沿って流下する。その後、後縁から剥離する渦に巻き込まれることで背面に付着する。このように、 B/D に応じて飛散特性および背面への付着量が大きく異なり、粒子の主桁への輸送過程および付着量は、特に剥離流れの再付着の有無に大きく影響を受けるといえる。

次に、粒径の影響について議論する。図3は、 $U=5$ m/sにおける、 $d=10\text{ }\mu\text{m}$, $300\text{ }\mu\text{m}$ の矩形断面背面と $d=10\text{ }\mu\text{m}$ の橋梁断面背面への粒子付着割合を示している。矩形断面に関して、 $d=10\text{ }\mu\text{m}$ では、全ての B/D で背面に粒子が付着しているが、これは粒径が小さく流れへの追従性が高いため、 $B/D=5, 6, 8$ のような渦による巻き込みの影響が相対的に小さい断面においても渦に巻き込まれ背面に付着していると考えられる。 $d=300\text{ }\mu\text{m}$ は、重量が大きいため、粒子自身の慣性により剥離剪断層を越え、風による大きな抗力を得ることで断面後方に輸送される。そのため、渦の影響を大きく受ける $B/D=1, 2.5$ では粒子が背面に付着している。 $B/D=5, 6, 8$ では重力の影響が支配的かつ背面に向かう流れが弱いいため、背面に付着せずそのまま落下すると考えられる。

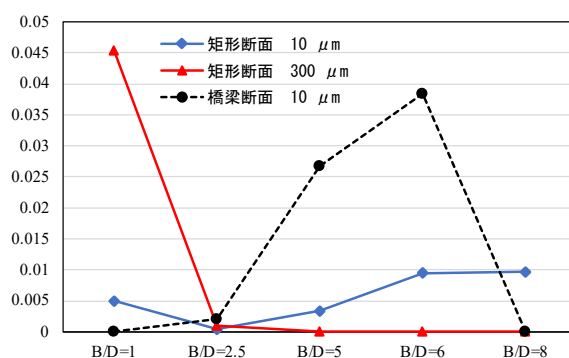


図3 5 m/sにおける背面への粒子の付着割合

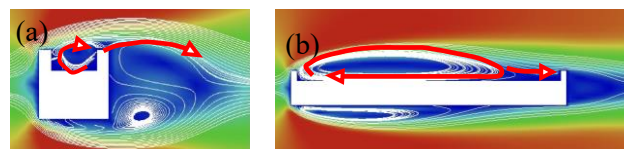


図4 橋梁断面における時間平均流線と粒子軌跡

(a) $B/D=1$, (b) $B/D=8$

(2) 橋梁断面における粒子飛散解析

$B/D=1, 8$ での粒子の挙動および背面への付着量について、矩形断面と比較し考察する。図3に示すように、高欄の影響で路面から剥離剪断層までの距離が大きくなったことで断面後方に飛散する粒子の量が大幅に減少した。これにより、 $d=100\text{ }\mu\text{m}$, $300\text{ }\mu\text{m}$, $600\text{ }\mu\text{m}$ については、粒子が背面に付着することはなかった。 $d=10\text{ }\mu\text{m}$ では、 $B/D=1, 8$ においては矩形断面と異なり、背面に付着しなかった。図5の(a), (b)は、図2と同様に、 $B/D=1, 8$ の時間平均流線と輸送経路を示している。 $B/D=1$ については、高欄により前縁から剥離する流れの影響を受けなくなったため、高欄を超えた粒子の割合が矩形断面と比べ半減し、背面に付着しづらくなったと考えられる。 $B/D=8$ は、完全再付着型断面であり、(b)のように壁面を沿って流下した粒子が高欄に付着することで背部に輸送される量が減少する。 $B/D=5, 6$ においては、矩形断面よりも多くの粒子が背面に付着している。これは、図4の(b)に示すように高欄の影響で、断面上側に発生する循環流れが流下方向に拡大したことにより、矩形断面よりも断面背部に輸送される粒子の割合が増えたことに起因しているといえる。以上のように、 $B/D=1, 8$ のような B/D が極端に小さいまたは大きい場合については、高欄により橋梁断面特有の飛散挙動を示すことが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、矩形および橋梁断面の形状変化が凍結防止剤の飛散・付着特性に及ぼす影響について数値流体解析を用いて考察した。矩形・橋梁断面どちらにおいても、断面辺長比 B/D により飛散・付着特性が大きく変化することがわかった。また、橋梁断面において、 B/D が極端に小さいまたは大きい場合では、橋梁断面特有の飛散挙動を示すことが明らかになった。

謝辞 本研究の一部はJSPS 科研費 22K20453 の助成を受けた。

参考文献 1) 岩崎ら：土木学会論文集 A1, Vol.74, 440-457, 2018. 2) 日本橋梁建設協会：虹橋, 63号, 20-47, 2000. 3) 中口ら：航空学会誌, 第16巻, 第168号, 1968. 4) 野口ら：土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 76(3), 510-522, 2020.