

第II部門 河川舟運による鉛直混合効果に関する検討

大阪大学工学部 学生会員 ○石野謙介
大阪大学大学院工学研究科 正 会 員 中谷祐介

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 石橋春佳
大阪大学大学院工学研究科 正 会 員 西田修三

1. はじめに

本研究の対象領域である道頓堀川のように流動が弱く閉鎖性の強い水域では、鉛直方向の酸素供給が乏しいために、底泥による DO 消費などにより底層水の貧酸素化が生じている。一方、大阪都心部を流れる道頓堀川では観光船などの舟運が活発であり、船舶航行時に発生する波や擾乱が貧酸素化の軽減や解消に寄与している可能性が考えられる。本研究では、河川舟運による河川水の鉛直混合効果を定量的に評価することを目的に、流動と水質の現地調査および水理模型実験を実施した。

2. 船舶航行時の流動・水質変動調査

船舶航行時における道頓堀川の流動・水質変動を把握するために、図 1 に示す大黒橋付近において定点連続調査を行った。この付近では兩岸に遊歩道が整備されており、日中には 30 分間隔で観光船が往来する他に、数種類の船舶が往来している。河道の兩岸は直立護岸で整備されており、川幅は約 12m である。道頓堀川は上下流端に水門が設置されており、普段は閉鎖されているため流動はほとんどなく、水深は約 3.5m に調節維持されている。調査は 2016 年 10 月 31 日に実施し、複数水深における塩分、DO、濁度、および水位、船速の測定を行った。調査時には 3 種類の船舶（ここでは A、B、C と記す）が通過した。船速の平均は約 2.5m/s であり、船 C は他の船舶に比べて大きな船体を有していた。



図1 調査地点

図 2 に河床上 0.6m における濁度の変動と船舶通過時刻を示す。船舶航行時に濁度の急激な上昇が起きており、底泥を巻き上げる鉛直擾乱が生じていると推察され、特に船体や船速が大きい場合に顕著であった。

図 3 に船 B 通過時の中層、底層、河床付近(河床上 1.2m, 0.6m, 0.3m) における塩分と水位の変動を示す。船舶通過後の経過時間 50 秒から 150 秒では、中層と底層の塩分が大きく変動し、擾乱によって混合が生じている。また、150 秒以降は中層と底層の塩分は上昇する一方、河床付近の塩分は上昇し、250 秒後にはほぼ同じ値と示し、ほぼ鉛直一様化している様子が確認できる。船舶通過後の水位変動についてフーリエ解析を行ったところ、1.6 秒と 10 秒の卓越した周期成分が抽出された。船舶通過時には波が発生し、兩岸の反射波と複雑に重なっている様子が目視より確認された。

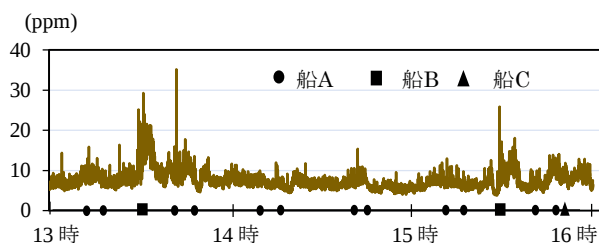


図2 底層における濁度の変動と船舶通過時刻

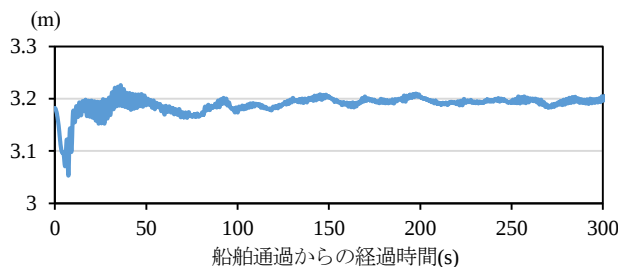
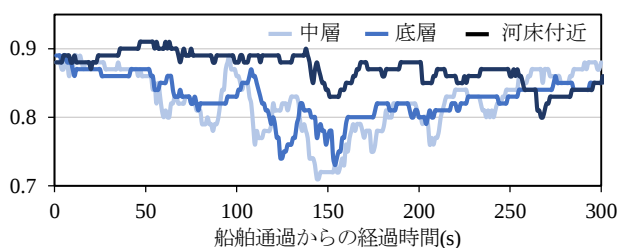


図3 塩分と水位の変動

3. 水理模型実験

現地調査で確認された鉛直擾乱のメカニズムについて検討を行うために、水理模型を用いた室内実験を行った。縮尺は 1/18 とし、道頓堀川を模した矩形水路に直方体の模型船を走らせ、その時に発生する横断面の擾乱をスリット光とアルミ粉により可視化した。PIV 解析により横断面の水平流速 U_x 、鉛直流速 U_y を算出し、乱れエネルギーにより鉛直擾乱の大きさを評価した。船速や喫水による鉛直擾乱の差異を調べるために、表 1 に示す条件により比較実験を行った。case1 では重力波の影響を現地と合わせるために、フルード相似則に従って現地の船速より模型船速を決定した。ここで、 h は水路水深、 h_m は船の喫水、 U_m は模型船速である。

図 4 に case1 における時間平均流速の横断面分布を示す。a)、b)を見ると、船舶の通過により水面に発生した擾乱が時間の経過とともに下層へ広がっている様子が確認できる。この傾向は同様の条件で複数回の実験を行ったところ、結果の再現性が認められた。一方、c)では横断面全体で複雑な流れが生じているが、この流速分布には再現性は認め

表 1 実験条件

	h_m/h	$U_m(\text{m/s})$
case1	1/11	0.6
case2	1/20	0.6
case3	1/7	0.6
case4	1/11	0.4
case5	1/11	0.9

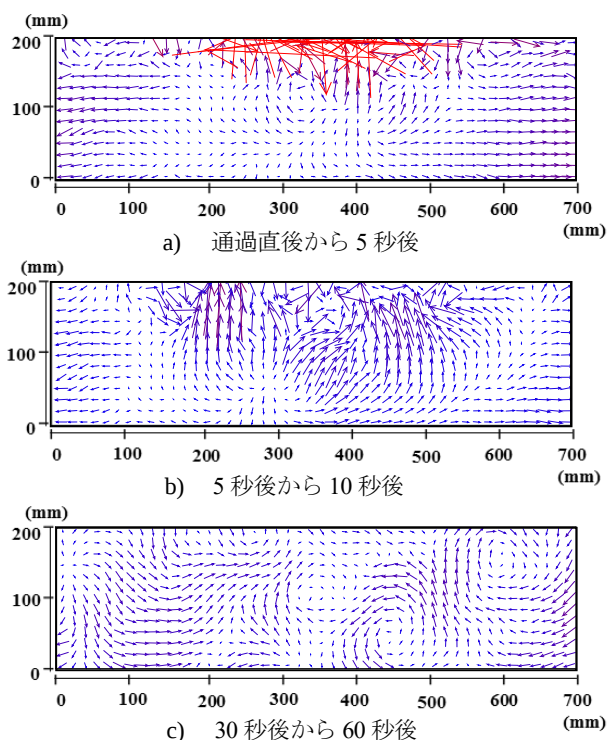


図 4 時間平均流速の横断面分布

られなかった。時間経過とともに組織的な流動構造が消滅し、複雑な乱流場が卓越するためと考えられる。

各時刻において横断方向に平均化した乱れエネルギーの鉛直分布の時系列を図 5 に示す。通過直後に上層で大きな乱れエネルギーが発生し、その後徐々に下層へ伝播していることがわかる。

比較実験での case 毎の底層の乱れエネルギー (0mm～50mm の断面平均値) の時系列を図 6 に示す。a)より一定時間経過すると、底層における乱れエネルギーに差が見られ、鉛直擾乱の大きさは喫水に依存していると考えられる。b)では、船舶通過直後の底層の乱れエネルギーの大きさには違いが見られるが、一定時間が経過してからは大きな違いがなく、ほぼ一様化していることが確認できる。このことより、図 4 の c)でみられた複雑な流れは船速に依存せず起きていると考えられる。

今後、さらなる調査や実験によるデータの蓄積により現象の定量化を進めるとともに、舟運による効率的な水質改善効果について数値シミュレーションにより検討を行う予定である。

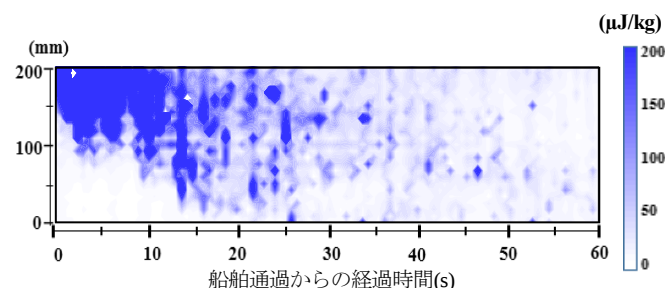
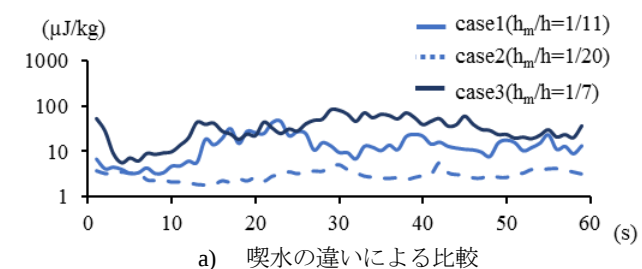
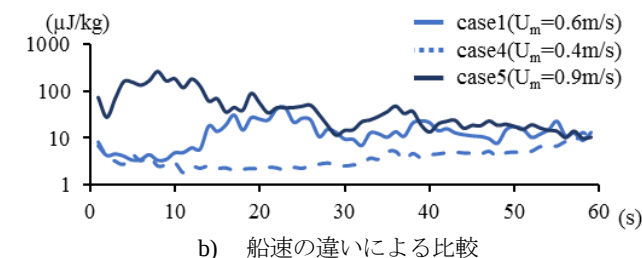


図 5 乱れエネルギーの鉛直分布の時系列



a) 喫水の違いによる比較



b) 船速の違いによる比較

図 6 底層の断面平均エネルギーの時系列