

東京大学工学部 正員 工博 嶋 祐之

1. 序言

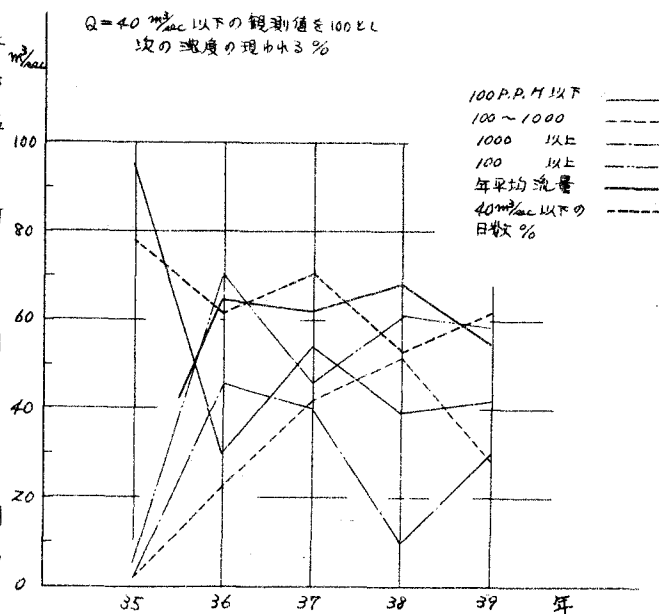
大分臨海工業地帯の造成にともない、県営工業用水道の第一期工事（ $12.5 \text{ m}^3/\text{day}$ ）は昭和36年に完成し、現在さらに $12.5 \text{ m}^3/\text{day}$ の拡張工事が実施中である。取水地点は大野川河口8.75 km上流の左岸に位置している。しかし同地帯の完成時必要水量は80万 m^3/day と推定されるので、工業用水道も第二期、第三期および第四期と計画され、造成地の完成と歩調を合わせ逐次実施に移されるものと考えられる。そこで問題となるのは、揚水量180万 m^3/day の大野川において上述の如き大量取水を行う場合、果して塩分の混入しない安定な表流取水が可能であろうか、また取水地点はどこ迄上流にさかのぼる必要があるか、あるいは同川の塩分遡上高が全国の諸河川に見られるように経年的に増加している傾向にあるがそれほどの程度迄進行するであろうか等と云う事である。このような問題点を解決する糸口を見出すため、大分県新産業都市建設局では昨年末大野川で塩分濃度に関する大規模な実測を行うと共に、ここ数年来の河床変動や塩分に関する調査資料を整備した。筆者はこれらの実測結果並びに資料の解析と委託されたものであるが、以下現在迄に判明した同川の塩分遡上機構について報告する。

2 塩分遡上の経年変化

上記については、河口より約4 kmに設置されていた住友化学の昭和35年より39年に亘る5年間の取水実績を対象として検討を行った。この取水施設は集水埋渠によるものであるが、原水の塩分濃度は殆ど毎日測定されているので、これと流量年表、潮位表および河床断面図等と対比させることにより、つぎのような特性が明らかになった。

① 同地点の日最高塩分濃度は、河川流量に最も大きく支配され、1,000 P.P.m以上の濃度の現われるのは殆ど $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の場合である。このことより流量 $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下のその年度の観測回数を100とした場合、各濃度の現われる percentage を経年的に表わしたものが図-1である。この図より、昭和35年には $40 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下であっても塩分

図-1



濃度が100 P.P.m.を超えることが少かったが、昭和36年には急激に塩分濃度が上昇し、とくに1,000 P.P.m.以上となる場合が46%にも達している。昭和37年には一時少塩状態を保ったが、以後昭和38、39年とそれぞれ1,000 P.P.m.を超える場合が10%、30%としだいに増加する傾向にある。この間、年平均流量および河川流量が40 m³/sec以上となる日数の%の推移を調べてみると、流量はむしろ上昇気味であって上述のような塩分濃度の経年的上昇を裏付けるものではない。さらに潮位に関しては、残念ながら昭和36年度が検潮儀の故障のため欠測ではあるが、その他の年度の潮位記録と検討すれば、流量と同様にとくに上述の経年的上昇を裏付けるようなものが見えない。しかし、ここ数年來の大野川の河床低下はかなり著しく、場所によっては4mを超える所も少なくない。また第一期工事の取水地点でこの影響が現われ、河川水位の低下のため現状では拡張工事に伴う取水量の表流取水が困難となりつつある。これは上流のダム建設による逆流土砂の減少もさることながら、新座都市の建設のための膨大な砂礫採取が最近の急激な河床低下に拍車をかけているものと思はれる。その他、河口に面した一号埋立地の造成により、埋立地が導流堤の役目と果すようになったため大野川の河口流況が変化し、これに伴って塩分の遡上も活発になったと云う事も充分考えられることであるが、しかし河口附近の詳細な深淺測量の結果がないのでこの事を強く主張する訳には行かない。

(2) 5年間の毎日の最高塩分濃度、潮位および月齢、河川流量を同一のグラフにプロットし、相互の相関性を調べれば、流量による相関性が最も強い事は前述の通りである。しかし、潮位および月齢に伴う相関性は、筆者が行った湯水期の長良川における解析結果(昭和39年、年次講演会発表)と比較すれば強と認め難いと云って良い程である。わづかに上弦時に塩分濃度の高い傾向が幾分認められる程度に過ぎない。このことは、大野川が長良川に比べると流域面積も少く、流域の降雨状況も異なりまた上流側のダムによる放流が常時行われる事などから、湯水期でも河川流量が安定せず塩分遡上についての二次的な要素である潮汐効果は一次的な要素である流量効果にのみかされてしまうためと考えられる。

3 塩分の遡上機構

昭和40年7月12日～30日、および8月27日～30日二回に亘り、大野川感潮域の各断面における塩素イオン濃度の24時間観測が行はれた。才1回は河口より4、5、6、7、8 kmの断面、才2回は河口より0、1、2、3、4、5、6 kmの断面を選び、流心において1時間毎に鉛直方向1mおきの河水を採水し硝酸銀滴定法によって塩素イオン濃度を検出したものである。このような大規模な観測は凡そ前例のないものと思はれる。以下観測結果より、大野川における塩分の遡上状況の概要について述べる。

(1) 塩分濃度の横断分布； 図-2(a)および(b)は、それぞれ高潮時および低潮時における等濃度曲線の一例を示したものである。これらの図から先づ注目されることは、高潮時には等濃度曲線が直つて来て相互の間隔も広がり、典型的な強混合型の分布を呈するが、低潮時には等濃度曲線は傾斜すると共に相互の間隔が密になり、いわゆる塩水楔に近い分布状態となる。このことは、順流時は河口の或る地点より下流側では淡水は密度差のため河床より剥離し、海水からなる下層上を加速流となって流下し、塩水楔の生成条件に適した状態となるためと考えられる。しかし逆流時は海面の

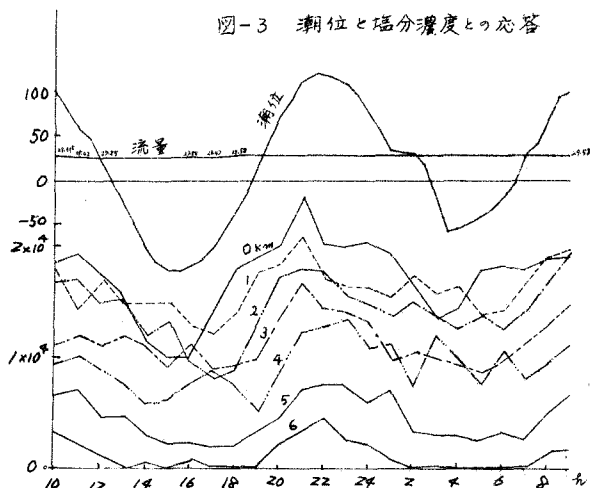
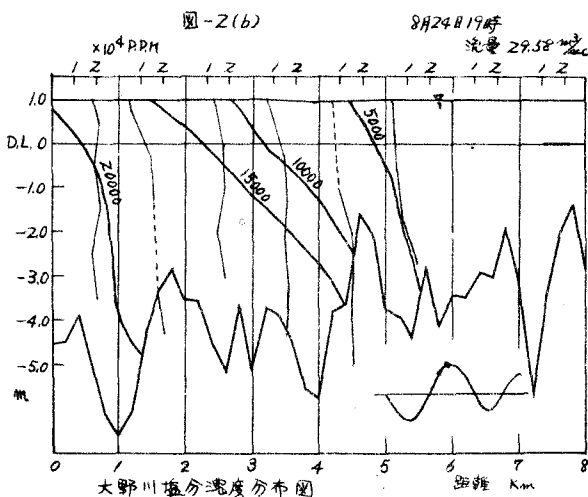
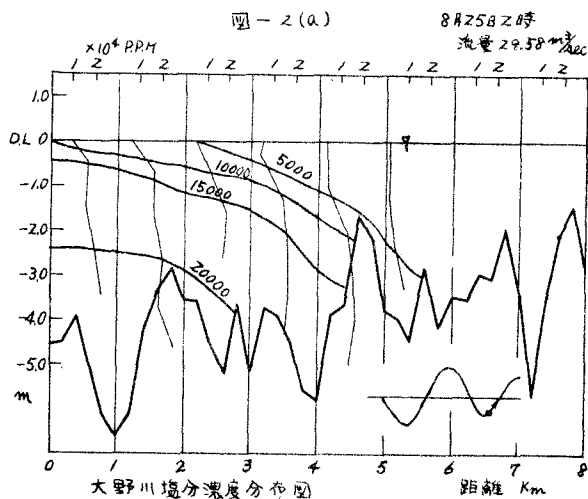
上昇速度がかなり激しいので、塩水楔の境界面に生ずる内部波は直ちに碎けてしまいと共に、海面の上昇高が大きいため河川水位は逆勾配状を呈して大量の海水が河道内に侵入して来る。

これと上流側より流下して来た淡水とが合流した結果、両者の混合が混濁となり、強混合型の濃度分布を示すものと考えられる。この際、10,000 PPMの等濃度曲線が河床を切る地点は一回の干満ではそれ程大きく移動せず、それ以下の濃度分布が河道の上層部で大きく変動する事が認められる。

また同図より干満に伴う水平混合の領域は3~4 Km程度と見られる。

さらに図-2以外の一連の等濃度曲線図を検討すれば、河床の局部的凹凸が塩分の浸入や停滞に關し比較的大きな影響を持つ事、また潮汐の変化とあいまって河道内にスケールの大きい乱れを起させる事などが認められる。

② 各断面における平均濃度と潮汐との応答； 前述の二回の観測の中で、8月に行ったものは観測期間中の河川流量がほぼ一定しており、また観測断面の選定も濃度変動を検討する上で適当である。図-3は各断面における観測値を鉛直方向に平均した平均濃度と潮位とを各時刻毎にプロットし相互の相関状態を検討したものの一例である。このような図から、潮差の大きい場合の潮汐と塩分濃度との応答は非常にはっきりしたものである事が認められる。大野川河口部の潮位特性は図-4に示されるように、朔望時以外は日潮不等の傾向が著しい。そこ



で、各潮汐毎に期間aにおける潮差と塩分濃度の上昇高とを對比させれば両者の相関性は極めて明瞭であり、かつ測定断面が上流側に移る程上昇高と潮差との比率が小さくなることが認められる。しかし期間bにおいては前者程はきりした傾向は認められないが、それでも上述の比率は同一断面ではかなり高くなることが認められる。

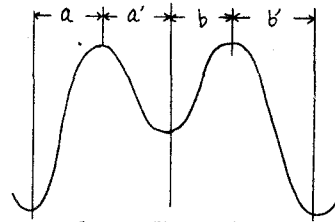


図-4 潮位特性

この事は、期間aにおける潮位低下が小さく、かつ期間a'およびb'の平均潮位が上昇している事から河道内に高濃度の塩分が停滞し易くなるため、期間bでの小さい潮位上昇でも比較的大きい濃度上昇を示すものと見られる。またこの傾向は長良川の観測結果とは反対の傾向にあるが、実在河川の塩分遡上機構が余りにも複雑のためその相違の理由についてはつまびらかではない。図-4を変形し各時刻の塩分濃度の縦断分布を調べれば、河道内の水平拡散の程度や潮汐の一周毎に特定濃度の断面などのように前進或は後退するかも知ることが出来る。前者について云えば、河口から約4 km地点で2万 P.P.mより1万 P.P.mに低下し、さらに5 km, 6 km地点となったものが平均値として5,000 P.P.m および1,000 P.P.m 程度に低下する。後者では鉛直平均濃度として約1~2 km程度の潮汐による移動距離が認められる。

図-5 潮位と塩分濃度のサイクル

③ 潮位と塩分濃度のサイクル；

図-5は潮位を横軸に、1地点の塩分濃度を縦軸にとり、一日に二回行われる潮汐の干満に伴ってどのようなサイクルが画かれるかを模式的に表わしたものである。観測地点が上流側にある場合、潮差の大きい朔望時付近では主として(a)の状態が現われ易い。即ち図-4の期間aの前半では塩分の遡上は見られず、後半になって塩分が急激に上昇する。これは潮汐に対し相当の位相遅れのあることを示すものであり、期間a, bおよびb'の初期にやや扁平なサイクルを画き、bの後半で急激な塩分濃度の低下が起きて初期の状態に戻る。一方潮差の小さい上下弦時においては、日潮不等もそれ程激しくないで或る平均濃度をはさんで二つの扁平なサイクルが(c)のように画かれる。また朔望時あるいは上下弦時以外では(b)のような、一々は扁平他の一々は厚味のあるサイクルが形成される。当然の事であるが、河川流量が増加すればサイクルの中心濃度は低下する。この図から、河道内の塩分は或る程度潮差の大きい引き潮時にflushされるが、潮差の小さい場合には平均潮位の増加と相まって河道内に停滞し易く、その影響が数日間に亘って蓄積され次第に塩分濃度の増加となって現われる可能性の強い事を示している。従って感潮域の塩分濃度の解析には、流量および潮位の絶対値は勿論、それらの或る期間に亘る推移状況も併せて考慮する必要があると思はれる。

