

---

# 長良川河口堰にかかわる 治水計画の技術評価

---

1992年7月

土木学会社会資本問題研究委員会

## 目 次

はじめに	3
第1編 治水計画・その1 現河道の疎通能力	7
治水計画・その2 浚渫による治水計画の妥当性(a)	13
治水計画・その3 浚渫による治水計画の妥当性(b)	21
第2編 高潮計画	35
第3編 下流部の浚渫に伴う塩水化・その1 浚渫に伴う塩水遡上	39
下流部の浚渫に伴う塩水化・その2 地下水・土壌の塩分化	43
下流部の浚渫に伴う塩水化・その3 河口堰による塩水遡上防止手法の妥当性	47
第4編 河口堰の地震時における安定性	51
第5編 河川堤防の地震時における安定性	55
第6編 堰上流水位の上昇による堤防への影響	59
第7編 河口堰上流の河床変動	61
第8編 河口堰の構造とゲート操作	63

## 下流部の浚渫に伴う塩水化・その1 浚渫に伴う塩水遡上

椎 貝 博 美\*

### 1. 論点・設問

河道掘削後、相当量の濃度の塩水が30km 地点にまで到達する可能性があるのは妥当な推論であるか。

### 2. その判定と評価

この推論は妥当である。海水の遡上については、何か単純明快な説明を加えることが望ましい。

### 3. 結論の理由

建設省パンフレット、『長良川河口堰に関する技術報告』中の塩水遡上に関する記述においては、河川の横断面に関するデータは示されていない。また、塩水遡上の計算については、計算結果が示されているのみであって、計算の過程は示されていない。

『長良川河口堰に関する技術報告』は学術書ではないから、これらの詳細なデータや計算過程を詳しく示す必要はない。特に塩水遡上に関する詳細な計算法は市販の河川工学、あるいは水理学の教科書においても記述されていないから、この種のパンフレットに書かれていなくても当然である。

詳細な計算によらなくても、塩水遡上の概略を求めることは多少の知識さえあれば可能であり、それに必要なデータは、既に公開されている資料から入手可能ではあるものの、この『長良川河口堰に関する技術報告』の目的である広報活動の観点からみれば、塩水遡上の機構の簡単な説明と共に、ここに示されていることが望ましい。

例えば、河川流量がゼロになった場合、海水がどこまで侵入するかといえば、それは他の地形図等を見れば、35～36km程度であることは推定できるが、一般の人に地形図等がすぐ手に入るわけでもないから、そのような情報はここに記述しておいたほうがよい。

このことについては、例えば、図5-3の図形に鉛直方向の尺度をもう少し詳しく付け

---

\* 正会員 工博 筑波大学教授 構造工学系

ることによって、容易に解決することができる。

塩水楔を止められるかどうか問題になっているマウンドについても、図から見れば、いかにも二次元的な構造を持っているようであるが、当然長良川の全断面において一様な高さを持っているかどうか疑わしい。もし一部分でも低いところがあれば、そこから塩水は容易に上流部に侵入するわけであるから、マウンドを利用して海水を止めることは出来ない。さらに、このマウンドが時間的に安定なものであるかも疑わしい。

しかし、こういった記述を詳しく書けば、出来上がった資料は一般の人には読むに耐えないものになる。したがって、このような資料の場合、河川工学のかなり詳しい文献以上に詳細な記述を行なう必要はない。

塩水楔の計算は、一部『吉川秀夫：河川工学』によっているので、それに従えば、次のような簡単な説明が可能である。

河川の自流水が全くなくなった場合、海水が35km地点まで侵入するものとする。これは図5-3の水面を延長すれば良い。

これに僅かな河川流量を加えれば、海水は海側に押し戻される。河川流量が濁水量に相当する $30\text{m}^3/\text{s}$ の場合（この数値は技術報告にしばしば引用されている）、海水が数キロメートルほど海側に押し戻されて、海水の先端が30kmあたりに後退することは容易に想像できるから、図4-5の計算結果も納得がいくものである。

本来、河川工学においては、このような常識的判断がもっとも重要なものであり、その意味でこのあたりの記述は妥当なものである。

もう少し踏み込んで計算を行なうためには、次のようにする。

前述の河川工学の教科書には、水平床の一様断面矩形水路における塩水楔の公式がでている。それは、

$$\frac{L}{h_c} = \left[ \frac{\eta^4}{10} - \eta + \frac{3}{2} - \frac{3}{5\eta} \right] \frac{1}{f_i} \quad (1)$$

ここに、L：塩水楔長、 $f_i$ ：境界面の抵抗係数、h：水深、 $\eta = h/h_c$ である。

$$h_c = (q^2 / \varepsilon g)^{1/3} \quad \varepsilon = \Delta\rho / \rho \quad q = Q/B$$

ここに、Q：流量、B：河幅、g：重力の加速度、 $\Delta\rho$ ：密度差、 $\rho$ ：海水密度 である。式(1)を変形すると、

$$L = \left[ \frac{1}{10} \left( \frac{h}{h_c} \right)^3 - 1 + \frac{3}{2} \frac{h_c}{h} - \frac{3}{5} \left( \frac{h_c}{h} \right)^2 \right] \frac{h}{f_i} \quad (2)$$

が得られる。

式(2)の最後の2項は前の2項に比べて小さいから、勾配が緩い場合の塩水楔長は次式を用いて十分である。

$$L = \left[ \frac{1}{10} \left( \frac{h}{h_c} \right)^3 - 1 \right] \frac{h}{f_i} \quad (3)$$

浚渫後の濁水時の平均水深は6mとする。この値は図4-5から推定する。

河口部の海水濃度は標準の $\varepsilon = 0.023$ とする（海水の密度は、 $0.023\text{g}/\text{m}^3$ をとるのが普通であり、これを無次元量の $\varepsilon$ になおすと、0.023である）。

河幅は、航空写真より、平均して500mとする。

$$q = 30/500 = 0.06\text{m}^2/\text{s}$$

$$\varepsilon g = 0.023 \times 9.8 = 0.225\text{m}/\text{s}^2$$

この値は3ケタの精度はないが、計算上残しておく。

$$\begin{aligned}
 h_c &= [(0.06)^2 / 0.225]^{1/3} \\
 &= 0.25 \text{ m} \\
 L &= [(6 / 0.25)^3 / 10 - 1] \frac{6}{f_i} \\
 &= [(24)^3 / 10 - 1] \times 6 / f_i \\
 &= [1,382 - 1] \times 6 / f_i \\
 &= 8,244 / f_i
 \end{aligned}$$

このLは、 $f_i$ が無次元量であるから、このままメートルで表されている。色々な $f_i$ の値に対してLの値を計算する。

ケース	①	②	③	④
$f_i$	0.1	0.01	0.001	0.0001
L	83km	830km	8,300km	83,000km

この値はいずれも『技術報告書』の計算値35kmを上回っている。実際の河川における $f_i$ の値は、ケース③程度のものであるが、室内実験の値程度のケース①においても既に35kmを上回っている。これはもし底勾配がなければ、海水は壁にさえぎられるまで侵入する、という物理的事実によるものである。実際には、長良川には河口部において1/5,000～1/10,000程度の底勾配があり、これによって海水は濁水時でも35km地点で止まるのである。いい換えれば、濁水流量では、塩水の侵入をほとんど阻止できず、海水の比重の塩水については、河川流量が小さいから、強混合になることはまったく期待できず、海水そのものが侵入してくる。つまり35km地点は海になるのである。これらの状況は、模型実験においても容易に確かめられる。

それでは、長良川の現状はどうであろうか。

現在の平均水深は、3m程度であるから、次の条件で計算してみる。

$$\begin{aligned}
 Q &= 100 \text{ m}^3 / \text{s} & h &= 3 \text{ m} \\
 q &= 100 / 500 = 0.2 \text{ m}^2 / \text{s} \\
 h_c &= (0.2^2 / 0.225)^{1/3} \\
 &= (0.04 / 0.225)^{1/3} \\
 &= (0.178)^{1/3} \\
 &= 0.56 \text{ m} \\
 L &= [(3 / 0.56)^3 / 10 - 1] \times 3 / f_i \\
 &= 43 / f_i
 \end{aligned}$$

これは、 $f_i=0.001$ に対して、43kmの塩水楔長を与える。実際この程度になるとかなり詳しい計算を行なう必要が出てくる。例えば、 $f_i=0.002$ に対しては、 $L=22\text{km}$ となるから、これは現状に近い数字である。即ち現状でも塩水は自然の地形にそって河道内に進入しており、濁水時には流水の影響はわずかである。

これらのことを考えれば、精密な計算によらなくとも常識的な手法により、濁水時の塩水楔長は推定できるのであって、より複雑な計算結果も、このような常識的な算定から遠くはずれるものであり得ない。

なお、非常に詳細なデータが公表されれば、計算機を用い、二次元空間で計算すること

はもちろん可能であるが、もし個人で計算を行なうならば、他のことを犠牲にして、データ処理だけで1年は必要である。

三次元の空間においては、現在のところどのような計算も研究段階にあり、実用的な計算はほとんど不可能である。

長良川の水底に存在する複数のマウンドは、濁水時に塩水楔の遡上を防止する能力はほとんどない。それは、マウンドの高さが低いため、濁水時に塩水楔は容易にマウンドを乗り越えるからである。これについても河川流量をゼロにしてみた場合、マウンドはそれが海水面より高くないかぎり、海水の侵入を食い止めることができないことを考えれば明らかである。

#### 4 その他のコメント

塩水遡上の機構については、その細部は依然として未解決であり、将来研究を行なう余地が残されている。しかし、その基本的な機構は簡単なものであるから、説明は可能であると考える。

さらに、このような防災上の問題は、考え得る最悪の事態でなくとも、常にかかなりの程度まで危険側の考え方を取るべきであることについては、もう少し説明を強調する必要がある。

もちろん、塩水遡上の詳細な計算については、例えばデータの拾い方についても個人差が生じるもので、専門書にも記述がないものであるから、その記述を省くのは適当である。

計算の参考文献は、『吉川秀夫：河川工学』、朝倉書店、昭和41年、によった。

## 下流部の浚渫に伴う塩水化・その2 地下水・土壌の塩分化

河野 伊一郎\*

### 1. 論点・設問

河道の掘削後の塩水遡上による堤防内の地下水、土壌の塩分化予測は妥当であるか。

### 2. その判定と評価

地下水と土壌の塩分化が発生する危険性と予測は妥当であり、その対応と対策は十分に図られなければならない。

### 3. 結論を導いた過程と理由

#### 3. 1 地下水の塩分化について

淡水の比重は1.00であるのに対し、海水（塩水）の比重は1.02～1.03で淡水のそれより大きい。したがって、一般に海岸に近い平野部等では、地表に近い地下水の上部は淡水で下部は塩水となっている。地盤の深いところには不透水層が堆積していることが多く、帯状の帯水層の中ではクサビ状に塩水が入り込んでいる（塩水クサビ）。

地下水の塩分化は海岸部のみならず、河川を塩水が遡上して河川水が塩水となっている場合（河口付近）でも同様の現象が発生する。すなわち河川の兩岸の平地部の地下水は、上部は淡水であるが下部には塩水がクサビ状に入り込んでいる。

問題はこの地下水の淡水部の厚さである。すなわち淡水－塩水の境界面の位置である。

この淡水と塩水の境界面の位置は、理想的なモデル状態（後述）では、Gyben－Herzbergの法則によって決定される。海岸平野の地下水の場合には、海水面と平野部の地下水面の位置の相対差によって淡水－塩水の境界面が決まる。河川が塩水となっている場合も同様である。

ある地点で地下水面が海水面より $\Delta H$ 高いとすれば、淡水部の厚さは $40 \cdot \Delta H$ となる。すなわち、地下水面の高さ（海水面を基準として測定）の約40倍の深さのところには淡水－塩水の境界面が位置することになる。

---

\* 正会員 工博 岡山大学教授 工学部土木工学科

$$H \approx 40 \cdot \Delta H$$

$H$ ：淡水－塩水の境界面の深さ

$\Delta H$ ：海水面を基準とした地下水面（地下水位）の高さ

したがって、いわゆるゼロメートル地帯（地下水面の位置が海水面と同じあるいはそれ以下）では地下水はすべて塩水となる。

$$(\Delta H = 0.0\text{m} : H \approx 0.0\text{m})$$

地下水面が海水面より例えば1.0m高いところでは、地下水は深さ40mまで淡水である。

$$(\Delta H = 1.0\text{m} : H \approx 40.0\text{m})$$

このように淡水－塩水の境界面の位置は地下水面の高低、すなわち上昇下降に非常に敏感である。ただし、このGyben－Herzbergの法則は、(1)海水と地下水が連続していること、すなわち帯水層が連続していること、(2)定常状態（時間的な変動がない）であること、(3)地下水の流れは水平方向で鉛直方向の流れがないこと、(4)特定の水ミチなどを考慮しない、(5)塩水と淡水は混合しないことなど、これらの理想的な条件の下で導かれた理論的原理である。

現実の地盤や帯水層の構成と性状、地下水の流れなどはもっと複雑で、地下水は時間的変化を伴うなどのためGyben－Herzbergの法則で求められた淡水－塩水の境界面の位置は実測値と差があることもある。しかし、地下水の塩分化の状態を大局的に把握するという意味からは、Gyben－Herzbergの法則を基準に判断することは大いに意義があるといえる。さらに詳しい解析は、これらの地盤条件、地下水等の条件を考慮してコンピューターを使った有限要素解析などで可能である。

淡水と塩水は混合しうる。すなわち、塩分は淡水のなかで拡散する。したがって、淡水－塩水の境界は面で接しているのではなく、ある幅をもって暫変（遷移ゾーン）している。その遷移ゾーンは塩分の拡散によって生じるのであるから、その幅や分布は地下水の動きや地盤状況によって異なる。

また、降雨浸透などの鉛直方向の流れがあると、それによって境界面が押し下げられる。逆に長期間降雨がないと地下水面が低下したり、蒸発等によって地下水が吸い上げられると境界面は上昇することになる。一度、淡水－塩水の境界面が上昇し、地下水が塩分化した部分については、完全に塩分を取り除くためには長時間に亘って淡水が供給されて洗浄されねばならない。そうした理由によって地下水の塩分化の影響は長時間に及び、慢性的状況を呈することが多い。

地下水の塩分化の弊害は大きく分けて2つである。

一つは、利水の面から井戸水が塩分を多量に含むようになり生活用水、工業用水の取水源として井戸が使えなくなる。また、井戸揚水等によって地下水面が低下すると、その領域で塩水ゾーンが凸状に上昇してくる。全国あるいは世界の各地の、いわゆるゼロメートル地帯で数多く発生し、経験しているところである。

地下水の塩分化を防ぐには原理的には次の2つに限られている。

(1)塩水が地下水に入り込まないように止水壁で地盤中の地下水流を遮断すること、(2)淡水－塩水の境界面を下へ押し下げるべく地下水面を高くすること、である。

上記(1)の方法については、矢板締め切り、地下ダム（筆者発明）等による止水がある。しかし、当該地のみならず、多くの塩害発生地域のように広域に亘って止水壁を構築することは現実的に不可能といわねばならない。



一方(2)の方法は可能である。地下水面を高くするには地表から積極的に淡水を注入（揚水井戸の逆）すること、河川や湖沼の地表水面を高くして自然浸透によって地下水を涵養することが行われる。

### 3. 2 土壌の塩分化について

一般に土といえば、土粒子と間隙から構成されており、その間隙は通常、水と空気であらされている。この水を土中水（広義には地下水）と呼ぶことがある。

この土中水は、自由水、毛管水、吸着水に分類することができる。自由水は重力や水圧（ポテンシャル）の差によって自由に移動する水であり、毛管水は毛細管現象によって保持されている水であり、吸着水は土粒子の表面に電気化学的に強く吸着されている水である。

自由水、毛管水、吸着水の量や性質、とくに移動に要するエネルギーや吸着力の大小は土の性質、とくに土粒子の大きさとその表面性状によって大きく異なる。

地下水（土中水）の塩分化はこれら自由水の移動によってもたらされ、位置と分布、塩分濃度に変化する。自由水が塩分化すると毛管水が塩分化し、さらに吸着水が塩分化する。

塩分化した自由水を淡水によって置き換えることは、砂質土地盤では淡水の注入等によって比較的容易であるが、細粒土では透水性が小さく困難となる。とくに吸着水は電気的に土粒子表面に吸着されているので、単に水を注入しても短時間に塩分を除去することができない。

土粒子表面は一般に負に帯電しており、塩分（NaCl）のNa<sup>+</sup>（ナトリウムイオン）が土粒子表面に電気化学的に吸着され、これを取り除くにはそれ相当のエネルギーが必要である。植物の多くは、この毛管水、吸着水を根部から吸収し育成する。したがって、地下水が一度塩分化し、農作物など食物に悪影響を及ぼす状態に至るとその悪状態は長期化することがあり、特に注意を払う必要がある。

### 3. 3 長良川周辺の地下水、土壌の塩分化について

長良川の河口付近は、もともと低地であるばかりでなく、昭和30年～40年代にかけて地盤沈下が進行した地域である。したがって、下流部は海水面ならびに河川水面より地盤の方が低いいわゆるゼロメートル地帯であり、日本最大のゼロメートル地帯を形成している。

とくに、長島輪中、高須輪中、木曾川左岸、揖斐川右岸にはゼロメートル地帯が広く分布している。地下帯水層は大局的には連続している。すなわち海水ー地下水は連続しており、したがって地下水は海水や河川水の影響を強く受けることになる。これらのゼロメートル地帯では降雨量が小さい異常乾燥気象等によって地下水の塩分化が急激に進行する危険性が高いといわなければならない。

過去において、長良川、木曾川、揖斐川の下流域、すなわち、長島町等においては幾度か地下水が塩分化し、農作物被害が発生したことを経験している。一部用水のための井戸等も塩分化したことが報告されている。このことは長良川等と周辺の地盤が地下帯水層が連続していることの証でもあり、今後も塩分化とその被害を覆ることがあることは間違いない。今後、さらに地盤沈下が進行する、地下水（淡水）の利用が増大することがあれば

地下水の塩分化和植物等への影響はますます深刻となる。

### 3.4 地下水の塩分化的解析と定量的予測について

建設省河川局ほかがまとめられた『長良川河口堰に関する技術報告書』[参考文献1)]では、高須輪中の地下水の塩水化予測が行われている。その手法としては、① 河川水と地下水のCl<sup>-</sup>濃度相関による予測、② 数値解析(F.E.M.)による予測が実施されているが、これらの解析手法は、現在では最高のものであり、その信頼性は高いと判断してよい。それらの結果は、上述の原理的・大局的判断ならびに経験的実情とよく一致しているといえる。したがって、そこで示されたデータをもとに地下水の塩分化的対応と対策が図られるべきである。

### 3.5 対応と対策

長良川の掘削が予定どおり実施されれば、河川の塩水遡上域がさらに上流へ及ぶことは物理的事実であり、それによって河川兩岸のゼロメートル地帯でも地下水の塩分化的発生する危険性を認めざるを得ない。したがって、その対応と対策が十分に図られなければならない。

上述したように、地下水や土壌の塩分化的を防止するためには、現実的には地下水面を上昇させることを考えるべきであり、そのために河口堰によって河川の塩水遡上を防止するとともに、河川水位を常時一定以上に保つことが最も有力な方法であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 建設省河川局ほか；長良川河口堰に関する技術報告、平成4年4月。
- 2) 河野伊一郎ほか；非定常浸透流における塩分拡散の有限要素解析、第17回土質工学研究発表会論文集、昭和51年6月。

## 下流部の浚渫に伴う塩水化・その3 河口堰による塩水遡上防止手法の妥当性

玉井 信行\*

### 1. 論点・設問

河口堰による塩水遡上防止手法は妥当なものであるか。代替案を含めて検討する。

### 2. その判定と評価

塩水遡上の防止策としては、河口堰によることが適当である。治水・利水の両者を満足させるためには、河口堰によることが最適である。

### 3. 結論を導いた過程と理由

#### 3.1 基本的な前提条件

計画高水を安全に流下させるためには、河道の流水断面積を増加させる必要がある。このための対応策としては、河道の浚渫が最も妥当なものとされている。本報告では、これを前提として認め、河道浚渫がおこなわれるものとして議論を進める。

#### 3.2 その他の前提条件

筆者の役割は、塩水遡上防止手法につきいくつかの代替案を評価することである。したがって、塩水遡上の予測法につき評価することは直接の目標ではない。しかし、代替案の中には塩水遡上の予測に基づいて結論を導いているものもあるので、塩水遡上の予測法の基本的なところについては意見を述べる。

長良川の塩水遡上の計算式は、代表的なものが用いられており問題はない。次元の取扱いは、30kmを超えるような長い区間における現象の解析では通常用いられる手法である。小潮の場合に塩水楔として解析し、大潮の場合に強混合として解析するのも妥当なものである。用いられた界面抵抗係数、移流拡散係数の算定式も代表的なものである。

数値解析手法においては用いる手法、距離差分、時間差分などが異なると結果は少しずつ変化するので、基本的事項については記述を加えることが望ましい。さらに、観測された結果と比較するだけでなく、厳密な解析解と比較することにより、数値解析手法自体の

---

\* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

誤差を把握すれば、手法の客観性はさらに増加する。しかしながら、同様な計算はかなり一般的に実施されており、一次元数値計算手法は設計において用いることが出来るほぼ確立された技術である。したがって、このような計算結果に基づいて大局的な判断を下すことには問題はないと考える。

河道の形状は底面が平均河床位置にある長方形断面と考えると、現在の状況の再現および浚渫後の予測が行われている。河道における流れでは、一般的には、水深が変わると水量はそれに応じて変化する。一つの例としては、水深にわたって平均された流速は、水深に比例することが多い。したがって、複雑な断面形を平均化した長方形で近似した影響が塩水遡上の大小を決める主要な因子にどのように現れるかを考えてみる。断面の最深部は浅く見積られるので、上流に向かい塩水を押し上げようとする圧力と下流に向かいこれを押し戻そうとする圧力との差を過小に見積ることになる。すなわち、駆動力を小さ目に見積ることになり、塩水楔の到達距離としては、計算は小さ目の値を与える。一方、深い流れでは河床の抵抗力は大きく、この要素も過小に見積られることになる。すなわち、計算では抵抗力も小さ目に見積られている。この影響は、計算における塩水楔の到達距離を大きくするように作用する。このように断面を浅く見積った影響は、到達距離の大小に関して互いに打ち消し合う方向に作用するので、到達距離の予測の最終結果には大きな影響を与えてはいないと考えられる。実現の観測結果と比較しても予測値はほぼ正しい値を与えているので、通常用いられる定義の中では、どのような河床位置について計算するかによって到達距離には大きな差異は現れないと判断できる。

このように、計画で用いられている計算結果は、現在の工学技術からみて、妥当なものと判断される。

### 3.3 対策の評価

#### (1) 河口堰による方法

河口堰を建設し、塩水遡上を防止することによって、現在使用している用水に被害を及ぼすことなく大規模浚渫が可能となる。また、堰による塩水遡上の防止により、浚渫を行っても、周辺地域での塩害の心配はなくなる。塩水遡上の恐れのない洪水時は、ゲートを全開することにより、洪水を疎通させることができる。

一方、河口堰を建設することにより、河口堰の上流には淡水域が出来るので、水資源の開発が可能となる。

#### (2) マウンドを残して塩水遡上を防ぐ方法

現状の長良川では15km付近に自然のマウンドが存在し、これにより塩水の遡上が止められている。代替案は、このマウンドだけを残して浚渫を行えば、塩水遡上を防ぐことが出来るのではないかと、という点を検討したものである。

資料によれば、現在の形のマウンドを残した場合には、洪水の時には水位が計画高水位を超える。こうした条件下では堤防が危険であり、治水計画上はマウンドを残すことはできないのは当然である。また、マウンドは流水によって移動し、その高さも低くなっていくものと推定されるので、マウンドの安定維持が困難であるとされている。河床材料がルースな細砂および中砂から成っていることを考えれば、これは妥当な見解であろう。

さらに、マウンドを残しその上下流だけを計画通りに浚渫した場合には、強混合の条件では18kmまで200mg/lという塩水が遡上すると予測されている。前提条件のところで

述べたように、予測手法は信頼できるものと考えられる。浚渫により河床が下がるので、塩水層の厚さが増し、塩水を遡上させようとする上流向きの圧力差が従来より大きくなるので、こうした結果は順当と考えられる。

結局のところ、マウンドを残しても所期の目的である塩水遡上の防止には役立たない。さらに、洪水の疎通にも害となるので、この案を採択できないのは当然である。

### (3) 潜り堰（転倒堰等）による方法

自然状態のマウンドはそれを安定的に維持するのが困難であるので、マウンドに代わるような人工的な構造物を水面下に建設し、塩水遡上を防ごうとする案である。マウンド付近に、自然のマウンドよりも高さが0.5m程高い潜り堰（転倒堰等）を設けた場合が検討されている。

塩水の遡上距離の計算では、強混合の時は20kmまで遡上する。このように、潜り堰では塩水の遡上を防ぐことはできない。したがって、この代替案も採択されなくて当然である。強混合の時を考えると、塩水の遡上を完全に防ぐには水面に達する高さの堰が必要であることが分かる。これは結果的には、現存するマウンド付近に河口堰に等しいものを建設することと同じことになる。

### (4) 取水施設を上流に移設する方法

大規模浚渫を行い、河口堰を建設しない場合を考える。塩水の遡上に対しては、取水施設を上流に移すことにより、塩水の混入を避けるという代替案である。

浚渫を行った後では、塩水の遡上は最大30kmに達すると予測されるので、取水施設はこれより上流に設ける必要がある。この区間を考えると、既存の水利権が約 $13\text{m}^3\text{s}^{-1}$ あり、これを安定して取水するためには河口堰と同様の大規模な構造物の建設が必要である。この水量は、東京の水使用のレベルと同じとして、ほぼ220万人分の給水量であり、本格的な堰が必要となるのはうなずける。一方、このように大規模な取水を行うと、これより下流の区間においては流量が大きく減少し、残余の流量だけで従来の河川の正常な機能を維持することが出来るか否かについて疑問となる。

大規模浚渫を行うと塩水の侵入長は現状より増大し、30km程度まで遡上するので、河川に隣接する土地の塩分濃度が上昇する恐れが高い。長島町においては長い間塩害に苦しんだが、木曽川総合用水事業の完成により除塩用水が確保され、また、これと並んで用排水が整備されて初めて作物被害の撲滅に成功した。こうした過去の事例を考えると、増大した塩分による地盤内の塩分上昇を防ぐためには、除塩用水を増強する必要がある、という計画は妥当なものと考えられる。30kmより下流の区間では、河川の正常流量の確保も難しくなるので、除塩用の水量は全く新しい水利開発を行わなければ生み出せない。このため、ダム等の新規の水資源開発施設を建設する必要がある。

なお、河川の隣接地の地下への塩水侵入を矢板の打ち込み（不透水層である下部粘土層に達するまで打つ）に依って防止することは、地下水流動を遮断するので、25kmもの長い距離に施すことは妥当でない、とする資料の見解には賛成である。

このように、取水口を上流に移設し従来の水使用および地盤中の塩分濃度を保持しようとするれば、新たな取水堰の建設、新しい堰から既設の導水路までの導水路の建設、ダムによる除塩のための水源確保が必要となる。これに要する費用は河口堰の建設費を大幅に上回ると予測されている。さらに、この案では取水堰下流は塩水遡上域となるので、下流の水を利用することはできず、新規の水資源開発は不可能となる。

#### (5) アオ取水による方法

アオ取水は筑後川下流域で有名である。しかし、満潮時の限られた時間内に必要な水量を取水しなくてはならないので、次に述べるようないくつかの制約条件がある。海水の上部に乗っている淡水だけを取水したいので、取水量は河川流量より十分に小さいときのみ有効な方法である。また、満潮は夜間にも起こるため、取水管理では農民に多大な負担を強いることになり、近年の農業用水の合理化の対象となっている。さらに、取水した水を一時的に貯留しておく施設のために、貴重な農地を割く必要がある。資料に記されている高須輪中の現状、および工業用水の性格を考えると、アオ取水で対応することは現実的には不可能な状況であると判断できる。

### 3. 4 まとめ

洪水を安全に流下させると共に現状の水利用を確保するためには、塩水の遡上を防止する必要がある。塩水の遡上を防ぐという観点からは、全ての代替案 [(2)、(3)、(4)、(5)] がその目的を果たすことすら出来ず、不適格であることが上記の検討の結果明らかとなった。

代替案(2)は、治水の安全性の確保が出来ず、この面でも不適格である。新規の水資源開発は不可能である。代替案(3)では、潜り堰（転倒堰等）の高さを低く抑えると、塩水を防ぐという所期の目的を果たすことが出来ないことが明らかとなった。また、新規の水資源開発は不可能である。代替案(4)では、治水上の問題はない。しかし、建設費用が大幅に増大する。また、新規の水資源開発は不可能である。代替案(5)では、長良川の流況、農地の状況からして、現状の農業用水あるいは工業用水を確保することが出来ない。さらに、新規の水資源開発は不可能である。

このようにして、治水・利水の両面からの要求を同時に満足させることは、河口堰以外の代替案では不可能である、という結論に達した。