

- 14) Chicago の地下鉄工事に関連した測定でも、plastic clay の主動土圧は静止土圧よりも小さくはなかつたのである。そして Tschebotarioff と P. Brown とは plastic clay の土圧の問題は rupture の問題ではなく stress-strain relation によるべきだと主張し、それが彼の今の課題なのである
- 15) Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills, J. Boston Soc. Civ. Engrs. 1936
- 16) The Dilatancy of Media Composed of Rigid Particles in Contact. Phil. Mag. Dec., 1885.
- 17) Terzaghi 圧密理論
- 18) 'Subsurface Exploration and Sampling of Soils
- 19) Walker, F.C. and W.W. Daehn: Ten Years of Pore Pressure Measurements 2nd. Int. Conf. S.M. & F.E. vol. III
Hilf: Estimating construction Pore Pressure in Rolled Earth Dams, 2nd Int. Conf. S.M. & E.F. vol. III
- 20) Twenhofel: Principles of Sedimentation Trask: Applied Sedimentation
- 21) Harvard その他の諸研究が各所の委託によつて多く行われているのはこの事を物語つている

(昭.26.11.28)

UDC 627.213:627.16 (52)

河口港の諸問題について

正員 渡部 彌作*

ON THE PROBLEMS OF ESTUARY HARBOURS

(JSCE March 1952)

Yasaku Watanabe, C.E. Member

Synopsis This paper is the part of studies on the estuary harbours; The author reported the problems important for dealing with the estuary harbours and the results of improving the harbours along the Japan Sea, and explained the characters and the concepts for treating the estuary harbours in Japan.

要旨 本文は河口港研究の一部であつて、河口港処理上の重要問題、日本海沿岸の河口港改良の結果を述べ、日本における河口港処理上の特性と概念を説明した。

1. 日本海沿岸河口港改良の総合結果

日本海沿岸の主要港、伏木(庄川)、富山(神通川)、新潟(信濃川)、酒田(最上川)、秋田(雄物川)、三國(九頭龍川)の諸港は、何れも河口港として発達して来た。

これ等諸港の古い時代における水深変化については詳細を知るに足る資料はないが、帆船時代には、4~7mの如く相当の水深に保たれていたようである。従つて波浪が荒く良湾に乏しい日本海沿岸においては、河口は上流との水運連絡の便もあり、天然の良港として重視され、米穀の積出や地方産業の中心となり、日本海運は日本海時代を出現し、各港共殷振を極めた時代であつたことは史実に徴して明らかである。しかるに流域は開拓が進むにつれて変貌し、河相も亦変化して河床が次第にたかまり、水深は2~3mに減じて来た

が、一方出入船舶は汽船時代となつて港灣利用上は却つて水深の増加を要求されるようになった。そこで各河口には導流堤、護岸、水制等を設けて河口の位置を定め且つ河状を整理縮流して水流を右岸又は左岸に集中し、碇筋の安定と水深の増加とをはかつたが、かかる程度の改良では自然に維持し得る水深は3~4mが限度であつた。更に近代商港として必要な水深7m以上を得るために根本的改良を企てられたが、河口の改良は主に治水を目的とする河川改修に附帯して施行された。この根本的改良の重点は、流下土砂の軽減又は根絶におかれ、河流と分流し、又は本川河口と港域より完全に分離したが、前者には秋田、新潟、伏木の諸港又後者には酒田、富山の諸港がある。これ等諸港の改良効果は、今後の流域、河相等の変貌によつて多少の変化はあるものと思われるが、現況結果を述べれば次の如くである。

新潟港は、明治40年起工の河口より55km上流、大河津分水によつて本川よりの流入量は270m³/secに調節せられる結果、流域面積は洪水の面においては11.5%に縮少し、最大洪水量は21.5%に、排出土砂量は27.5%(内62%は分水点以下各支川の影響によ

* 運輸省第2港湾建設部長

る)に減少し、既存の門洲は激浪によつて完全に消滅し、年平均 60 万 m^3 の浚渫で航路延長 2.6km を水深 7.5m 以上に維持することが可能となつた。但し分水点以下 55km の河道には年平均 485 000 m^3 の土砂が滞留して河口への排出土砂量を調節し河床の上昇を来していることは、将来の問題として留意すべき事項である。

秋田港は、流域面積 4 080 km^2 の雄物川河口に発達した河口港であるが、大正 6 年起工の雄物川改修において、河口の上約 10km の地点より直接海に通じる放水路を開鑿し、本流は昭和 13 年 4 月これに通航した。その結果、既存の門洲は激浪のため逐次洗掘され沖合の水深は深くなつて来たが、河口附近並びに港内は海底土砂移動のため、本流附替前の水深 3m 程度をも維持することが困難となり、外廓施設の整備はたとえ本流流入当時の水深 3~4m を保つだけでも必要欠くべからざるものとなつた。そこで南北両防波堤による外廓施設の整備は目下急がれているが、これが完成すれば、港外は本流附替の結果土砂補給を断たれ水深増加し、従つて港外より港内に侵入する土砂は極めて僅少なものと認められる。只航路埋没は、主に港内を移動する土砂と支川太平洋川の排出土砂とであつて、仮に太平洋川の排出土砂総量が航路内に流入するとしても、年間最大 50 000~60 000 m^3 の維持浚渫で水深 7.5m、巾員 100m の航路を確保し得るものと推定される。

伏木港は庄川の河口港であつたが、明治 33 年起工の庄川改修において、河口の上約 4km の地点より庄川と附替え、以来支川小矢部川単独の河口港となつた。その結果、河口における流域面積は 35% の 667 km^2 に縮小、排出土砂は 14.3% の 239 000 m^3 に減少し、河口の泊地面積約 280 000 m^2 を水深 8.5~5m に維持する浚渫土量は庄川附替前の約 1/5 で足り水深維持上大きな効果をおさめている。

酒田港は、最上川河口に発達した港である。大正 6 年起工の最上川改修においては、河口に導流堤を出し主として Flush によつて水深 4.5m を得て、河口をそのまま港灣に利用する計画であつたが、後この計画を改め、本流を左側に移し、河川と港域とを分離した。

その結果、港口は最上川河口の風下にあたり排出土砂の影響をうけ、その一部は港口より港内に侵入する。即ち最上川の平均年排出土砂量の約 3.7%、76 500 m^3 が港内に侵入し、巾員 90m、水深 7.5m の航路を維持するためには、年約 58 200 m^3 の浚渫が必要である。もし当初計画通り本流河口を港灣に直接利用していたならば、水深 4.5m では年間約 70 万 m^3 、水深

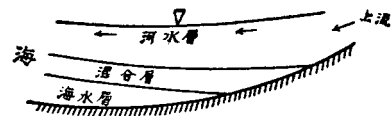
7.5m では年間約 200 万 m^3 に近い莫大なる土砂量を維持浚渫しなければならないものと推定される。

富山港は、神通川の河口に発達した港である。大正 7 年起工の神通川改修においては、河口に導流堤を設け、河道は一応 5m に浚渫し、それ以後は Flush によつて維持しようとしたが、その後計画を改めて本流を左側に移し、河川と港域とを分離した。本川河口は 500m 沖合で既に水深 100m に達し、1/5~1/6 の急傾斜の深海に直面し、多くの排出土砂はこの深海に排出される一方、港口と反対側に移動される故、港内に侵入する土砂はなく、維持浚渫の必要は全くなつた。

2. 河口の流れ

河口の流れは、一般河流と異なり潮汐、波浪、河海水の密度関係等種々の影響をうけるが、特に河口においては海水が河道底層に楔状に透入し、河流はその海水上を層をなして流れ、両者は容易に混合しない。こ

図一 1



の河水層の厚さは、海水の透入量が多い程薄く、結潮潮汐と河水とのもつ energy の関係により左右される。而して河口における流速の垂直分布は、海水層に接する附近において急激に減少し、海底附近は却つて逆流を示すことがある。従つて渦粘性係数が減少し、これがため浮游性土砂の沈降を容易にする。この渦粘性係数の減少は、海水の透入層厚に比例し、この傾向は不自然に浚渫して河道水深を増し海水層が厚く透入する河口においては顕著にあらわれる。例えば信濃川河口新潟港の実例によれば、表一の如く河口は上流の正常河流状態にある箇所 1/10 に低下している。流量は最大洪水量の 1/5 の 480 m^3/sec 、潮位 +0.3m、河道水深 6~8m において、海水は上流 2.4km まで透入し、河水層の厚さは、河口において水深 8m あるにもかかわらず約 3m それより上流に向つて 1/630 の逆勾配で漸増し河底に達し、又河水層の下には 0.5~2.5 m の河海混合水層がある。

表一 1

河口より上流への距離 (m)	0	650	1600	2300	3600
渦粘性係数の割合	10	19	91	98	100

又河流が海に注入する場合、洪水時には水位がたかまり、海水とは容易に混合することなく、その余勢を

かつて海水上を表層の流れとなつて流れ、沖合遠く拡散し、これに随伴する浮游土砂を広く沈降せしめ、門洲の成生発達に大なる影響を与える。例えば、分水前の信濃川は、洪水時に瀾濁は河口より沖合 7.5km に達し、水面積 750 万 m² に及び、又 Rhone 河は濁水が河口より 18~22km 沖合に達し、Mississippi 河は南西水路の沖合において表一2 の如く導流堤端の沖合 7.5 km において表層の流速はなほ 0.528m/sec を示している。*

表一2

導流堤端よりの距離 m	1050	3300	5400	7500
表面流速 m/sec	1.974	1.029	0.592	0.528

* 3. 河口における排出土砂

河口港の水深維持や門洲の問題を論ずる場合、河口に排出される土砂の量及びその流れ方を知ることは極めて肝要である。量は流域の地形、林相、地質、降水量、河相等の支配的要素が殆んど同じ程度に支配力をもっている故、洪水量の推定よりも更に困難であり、実測も亦手数がかかる。筆者が実測資料に基づき推定した数値は表一3 の如くであるが、これ等の資料から Q: 最大洪水量 (m³/sec), V: 年平均排出土砂量(m³) とし両者の関係を求めれば、 $V=312 Q$ であつて排出土砂量は最大洪水量に比例している。

季節的变化は、降水量に支配される故、夏秋の出水期に多いのは当然であるが、北海道や本州北部の日本

表一3

河川名	流域面積 km ²	最大洪水量 m ³ /sec	比流量 m ³ /sec km ²	年平均排出土砂量 m ³			流域1km ² 当年平均排出土砂量 m ³	備 考
				平均	最大	最小		
最上川	7403	6950	0.94	2 157 000	7 827 000	627 000	283	
信濃川	12 254	9000	0.73	2 625 000	4 536 700	1 128 300	214	大河津分水前
"	1427	1950	1.35	721 300			505	分水後、除大河津上
庄川	1253	4500	3.58	1 436 000	3 692 800	318 000	1130	祖山小牧貯水池内(最大最小)
小矢部川	667	1500	2.26	235 300			360	
神通川	2780	5600	2.01	2 154 000			774	

海に注ぐ諸川は、大洪水のない平年には降雪量に大きく影響され、夏期よりも雪融出水時期に却つて多量の土砂を排出することがある。例えば信濃川では通常雪融による排出土砂は、夏期の 60~70 %程度であるが大出水のない年には雪融期の排出土砂量が夏期の 4 倍以上に達することがある。

又日本河川の排出土砂の年変化は特に大きく、日本海沿岸の河川について見るも、最大は平均値の 173~352%, 最小は 38~21%, 最大と最小との比は1/4~1/13 である。

流下土砂の流れ方が、主として掃流であるか、浮流であるかは、河道浚渫区域内堆積土砂の推定、維持浚渫方式の決定、門洲の成生発達などには重要な資料であるが、この流れ方の量的推定は掃流性土砂の捕捉浮游性土砂の重量容積比等頗る不分明なる問題がありその区分を学理的に明確にすることは甚だ困難である。外国の例は、表一4 の如く、浮流性が大部分をしめているが、日本河川は流域急峻、流路短少なるため流下土砂の粒径は大きく、河口に至るまで玉石や礫を

表一4

河 川 名	掃流性	浮流性
Mississippi R. at Mouth	10	90
Rio Grande at San Marcial	14	86
Colorado R. at Yuma	20	80
Coear d'Aleve R. at Rose Lake	51	49

流下するものさえあり、掃流性土砂が頗る多い。例えば大河津分水後の旧信濃川河口においては、掃流性土砂は推定約 40%, 又伏木港の小矢部川河口においては 60~70%をしめているものと推定される。

4. 河口浚渫と水深との関係

河道には、普通安定せる河床勾配があり、水深はこれに制約される。従つて如何に川巾をせばめ縮流し掃流力の強化をはかるにしても、これによつて期待せられる水深増加には自ら限度がある。即ち一定流量に対

し、水深 H_0 、川巾 B_0 で安定している河道を巾 B に縮小する場合得られる水深は概算 $H = H_0 \left(\frac{B_0}{B} \right)^{2/3}$ で川巾を半減しても水深は約 58% 増加するに過ぎない。日本河川は、河口附近平時自然に維持し得る水深は信濃川（分水前）4.5m、最上川 2.5~3.5m、小矢部川 3.5m、神通川 2.0m、九頭龍川 4.0m の如く、概ね 4~3m 程度である。

かくの如く自然に安定した水深以上を河口港として必要な場合は、その安定性に逆つて河床を浚渫しなければならない。浚渫して水深を増加すれば、海水の透入量が多くなり、河流は海水を層をなして流れる関係上、上流より河床附近を流下して来る所謂掃流性土砂は浚渫区域の上流端又は海水層の透入端附近において停滞されて沈澱する。又一方浮流性土砂は浚渫区域において流速激減し、河流の乱れが軽くなる関係上沈降が容易となり沈澱が促進される。

河道の浚渫量が多くなるに従い堆積土量は通増するが、ある限度以上の河積或いは水深に達すれば、浮游土砂中にある粒度以下のものは、河道内における沈降能力を失い河口外に排出される関係上、浚渫区域内の堆積土量は殆んど一定となつて大なる変化はない。この一定限界の堆積土量は、掃流性浮流性の区分、河流の乱れ、浮游土砂の粒度等に関係をもつことは勿論であるが、結局掃流性の全量と浮流性土砂の若干とである。この一定限界の堆積土量は、日本河川の如く掃流性土砂多くしかも潮差の小なる河川においては、その河川の排出土砂全量の 70~80% 程度と考えられる。例えば信濃川河口において、河道内の浚渫工事が余り進捗しない分水前には 91% が河口外に排出されていたが、分水後流量の激減と浚渫工事の進捗に伴い、全排出土砂量の 73% が浚渫区域河道内に堆積している。

5. 門洲の消長

門洲の成消長に最も影響のある事項は、(1) 排出土砂の量、搬送方式、粒度、密度、(2) 河流の速さ、流量とその季節的变化、(3) 波浪の来襲方向、強さ、持続時間、(4) 潮差、潮流の速さ、(5) 海底勾配、深度、(6) 海水の密度等であるが、これ等を個々の河川について分析綜合して門洲の性状を研究することは門洲の処理対策樹立上の根本問題である。

一般に日本河川は

(1) 門洲の位置は、排出土砂の内、掃流性土砂が多くこれが河口近くに沈澱するため比較的河口に接近している。例えば最上川（改修前）は 400~500m、雄物川は 400~600m、信濃川（分水前）は 400~500m の如く、比較的大河川においても概ね河口より 400~500m 沖合である。

(2) 荒海に開放された地方において、激浪は門洲の発達を調節しその拡大を妨げる偉大なる原動力である。分水前の信濃川において、水深 9m 以浅の河口沖合周辺面積 50 万 m^2 内の排出土砂は、春から秋に堆積せる量の内 72.5% がその年の冬に同区域から移動消失し、平均 1.75m 洗掘し、排出土砂の多い年にはその 100% 以上消失し海底は却つて深くなり、結局 11 年間に総排出土砂量の 17% が実際に累積したに過ぎない。又最上川は本流附替前導流堤端附近の水深は 9m あつたが、附替直後排出土砂は堤端近くまで押送され水深 2m に減じた。しかしその後洪水量、排出土砂量の多少によつて消長はあるが、沖合に門洲が果進する傾向は殆んど認められない。河口沖合周辺面積約 340 万 m^2 内の実際累積した土量は、昭和 8~20 年の 13 年間に昭和 19 年 780 万余 m^3 という莫大なる量を排出したにもかかわらず、総排出土量の 29% に過ぎない。

(3) 激浪の海底洗掘能力は、ある限度内の水深では水深の増加に伴い遞減する。例えば分水前の信濃川河口周辺面積約 50 万 m^2 における年間の拡散消失土量 $Q(m^3)$ と平均水深 $d(m)$ との関係は $Q = 138400 - 86900d$ 、又平均水深 $d(m)$ と洗掘厚 $d_0(m)$ との関係は $d_0 = 2.61 - 0.17d$ である。又最上川河口周辺面積約 340 万 m^2 内の洗掘厚は、平均水深 5.5m では 0.83m、4m では 2.28m に達した。

(4) 海底洗掘能力の大きな激浪や潮流がないところでは、富山灣の如く如何に深海と雖も、排出土砂は掃流性土砂が多いため大部分が河口近くに累積し、堆積進度は極めて早い。例えば小矢部川より分離附替えた庄川河口においては、20 年間に深さ 40m に達する深海を埋没し 10m 等深線は 540m、年平均 27m 前進した。

(5) 河流の分流、分離もしくは河道内の大量浚渫は既存の門洲を縮小又は自然消滅せしむるに顕著なる効果を發揮する。例えば大河津分水直後 7 年間に信濃川河口周辺 50 万 m^2 の海面において 9m 以浅の堆積土量は $1/5$ に減少し、現在河口外に排出される土量は総排出土量の約 27% に達するが、激浪の洗掘作用により門洲の発達傾向は全く認められない。

6. 日本河口港の処理問題

(1) 一般に河床高く且つ又沿海は有明海を除いては潮差小なるため河口は水深浅く、これを港灣に利用するためには、外海の門洲のみならず河道内の水深改善をも配慮しなければならない。

(2) 流域単位面積当りの排出土砂量が多く、且つ掃流性土砂が大部分をしめる故、河道を縮流し又導流堤

を設けて掃流力の強化をはかるとしても、安定河床勾配に制約され、得られる水深には自ら限度がある。普通先づ 3~4m 以上に深めることは殆んど不可能である。

(3) 河口港において2川以上を合流その他洪水量を増加せしむることは水深維持上不得策である。洪水量を増加すれば掃流力強化し一時河道内水深は深まるが、自然流による安定河床勾配の限度をこえることは出来ない。しかるに一方排出土砂量も亦洪水量に比例して増加するが、これを拡散せしめる波浪や潮流の原動力には自ら限度がある故この限度をこえるときは土砂累積し沖合に処理上最も困難なる門洲が発達する。

(4) 水深増加のための水理上不自然な河道浚渫は、その浚渫区域に掃流性土砂が堆積するのみならず、浮流性土砂も亦海水の透入により沈降を促進される故、浚渫区域に流入堆積する土量は極めて多く流下総土量の尠なくとも 60~70%は浚渫しなければならない。

(5) 不自然な河道浚渫の場合、ある限度以上の河積即ち水源に達すれば、所要浚渫土量の増減は極めて尠ない。又同一市の浚渫区域を上流に遡及しても、浚渫すべき土量の内、その割合の尠ない浮流性土砂の若干が増加分になるに過ぎない故、所要浚渫土量の増加は比較的小さい。

(6) 河道内の大量浚渫又は分流は、沖合門洲を形成せしむる土砂の補給を尠なくする故、海底を侵蝕する波浪又は潮流がある限り、既存の門洲は自然に消滅し門洲上の水深問題は自ら解決することが出来る。

(7) 日本海沿岸の如く潮差小さくしかも浚渫によつて水深を深めなければならない河口港においては、上流より流量が河道の底層をなす海水上を流れる故、河流には大なる Flush を期待することは出来ない。従つてかかる場合には、只単に水深維持上の自然的環境条件のみからでは、河口を港灣に利用することは得策とはいえない。

(8) しかし外海に直面し波の荒い地方、又は潮差による掃流力の大きな地方において、しかも港灣利用上

自然流によつて得られる水深で支障ない場合ならば、河口は港灣立地上の価値が大きい。

(9) 主として浚渫により水深を維持することは、大型浚渫船の進歩した今日、技術的にはそれ程困難ではない。しかし浚渫経常費が港灣利用上の利益並びに他の分流分離の如き根本的改良による経費より経済的に有利な場合に採用せられるべきである。

(10) 河道の浚渫区域へ流入堆積する土量は、洪水の程度と頻度とにより大きな変動がある故、常時一定の水深に維持するためには、最大限の所要浚渫に対応する設備をもつ必要がある理であるが、この浚渫設備を最小のものとするため、所定浚渫区域の上手にポケット式浚渫をして流泥砂、就中掃流性土砂の収容区域を設定してここに堆積せしめ、この区域を常時浚渫して作業を平均化することが得策である。又尠くして工費低廉なる定置式電動ポンプ船の能率的運転が可能となり従つて維持浚渫費の節減をはかり得る。

(11) 古い時代には、河口は外海より遮蔽され且つ上流方面との水運の便があるため、港灣に利用され河口港として発達して来たのであるが、その後上流の荒廃に伴い水運連絡が尠なくなり、どちらかといえば外海に遮蔽されているという多分に海港に近い性格のみを帯びようになり、欧米の河口港にくらべその価値は小さい。しかし日本においても治水利水を兼ね河口上流の低水工事又は河水統制工事を施し、水深の改善をはかり、上流との水運を開き河口港のもつ特性を活し利用範囲を拡大すべきであり、且つ又その可能性のある河川は尠なくないものと考えられる。

(12) 自然流により維持し得る水深以上を要求される河口港の維持浚渫は立地上の宿命であるとはいえ他の一般海港にくらべ大きな負担である。例えば出入貨物 1t 当り所要浚渫土量は、酒田 0.4 m³、新潟 0.48 m³、伏木 0.38 m³ を課せられていて、港灣の自立経済の面において、その発展上又は運営上尠なからざる障碍となるであろう。

(昭.26.10.4)

2号のUDCについて

2号のUDCは次のように追加致します。

資料	土質基礎工学会の最近の動き	UDC 061.2 (100) :624.131.
抄録	取入水路の除砂装置	UDC 627.886
	コンクリート舗装の耐久性に関する長期試験	UDC 625.84.04
	“Grand Coulee Dam”にある世界最大のポンプ場が運転を始める	UDC 626.83
講座	ダムの溢流について	UDC 627.823.6 :532.533 627.838