

八郎潟干拓放水路の河口処理に関する実験的研究

中村 充*・白石英彦**・佐々木泰雄**

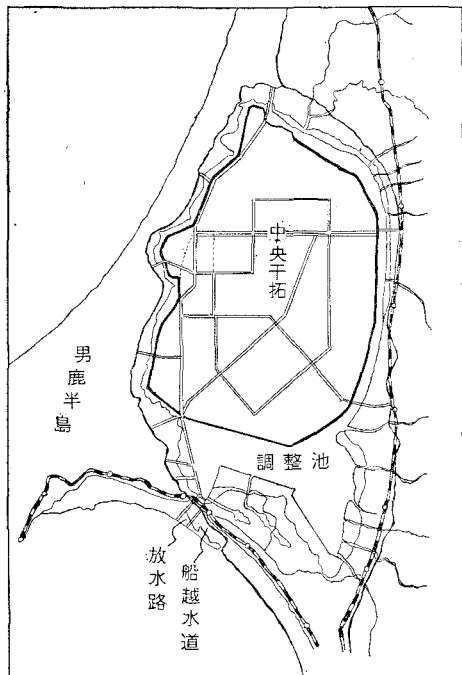
1. ま え が き

八郎潟干拓計画にともなう高水の処理は周辺地域および干拓地の保全、防災上、もっとも重要な事項の一つである。干拓前においては海岸沿いにダ行した延長約 4 km の船越水道をもって潟と日本海が連絡していた。潟の干陸にともなう高水調節能力の減少を補うためには同水道の流下容量を大にする必要にせまれ、他方、潟水の用水利用計画は水道流量皆無期間を相当の頻度で起こすことになり、河口閉塞を助長する。このような水理現象に対処するために土木学会内に八郎潟干拓水理特別委員会が東大本間教授を委員長としてつくられ船越水道の総合的研究が行われてきた。筆者らはその水理実験部分を担当してきたので、その大要を報告する。

2. 八郎潟干拓計画の概要と河口問題

八郎潟は秋田市北方約 20 km に位置し、総面積 22 173 ha の半カン湖で日本海に通じている。八郎潟は琵琶湖につぐ第二番目の湖である。潟は男鹿島とつながって形成された海跡湖で、現在の男鹿半島は地殻変動によってでき、潟は船越水道によって日本海と通じている。日本海の潮位差は小さく、大潮で約 0.6 m、平均潮位差はわずかに 0.33 m 程度である。潟は非常に浅く、最深部の水深は 5.0 m である。潟内の波高は約 1.0 m で冬期間は凍結し翌年 3 月に溶け始める。湖底は平坦で比較的肥ヨクな土でできていて、潟内の土質は潟周辺より約 700 m の範囲は砂、これにつぐ 300 m 以内は砂壤土、そして潟中央には一般に植壤土が現われている。南東部の土質はかなり複雑で、特に馬場目川の南方ははなはだしく、いわゆるへどろ層といわれる軟弱地盤が広く、この層厚は最大 50 m にもおよんでいる。潟流域面積はおおよそ 688 km² で、潟面積の約 3 倍である。流入河川のうち大きい（準用河川）のはわずかに 5 河川で他は 16 の小河川または耕地からの排水路などである。潟に流入した水は船越水道を通じて日本海に流出していた。この広大な潟水面はこれまで高水調節の機能をもっていた。しかし、なおかつ周辺地区は高水被害を受けており、今度の干拓計画によって同時にこれも解決しようとするもの

図一 八郎潟干拓全図



である。八郎潟は干拓によって、17 430 ha が干陸され、残存水面積は従来の約 1/5 に縮小され、高水調節の機能はいちじるしく低下するにいたった。したがって、高水は十分な通水断面積をもつ放水路によって日本海に、排出しなければならない。このため、従来の船越水道をショートカットし、新しく放水路を開削した。一方、かんがい期間中に防潮水門によってせき止められ調整池（残存水域）の水はほとんど排出されないことになる。そのため河口は日本海の漂砂、または飛砂によって、しだいに閉塞されてゆくことは十分予想される。もし河口に滞砂している状態で高水がきた場合には、高水の安全流下は不可能となる。このように放水路、とくにその河口処理は八郎潟干拓事業のもっとも重要な、もっとも困難なことのひとつといわなければならない。

3. 実験装置

実験装置は図一2に示すような平面水槽を用い、この水槽に 1/40 および 1/30 模型を作った。八郎潟河口付近の海底勾配は 1/120 程度できわめて遠浅であり、このた

* 正会員 農博 農林省農業土木試験場

** 正会員 農林省農業土木試験場

め模型における実験波がきわめて小さく、かつ粘性逸散などによる減衰がはなはだしく、1/40模型では砂の移動に関する位置的な強度分布が異なり汀線付近での砂移動はきわめて微弱なものとなる。このため河口に対する相対的海域模型の広さが不足するが最終的には1/30模型を採用した。波高計、波長計は 図-2

中に示した位置に置きペンオシロに記録した。波長計は 50 cm 間の定距離を波峰が通過する時間をオシロの記録から読み、その位置の水深から波速を求めて波長に換算した。他に波長・波速については目測観測を随時にそう入した。漂砂移動については全実験水域に設けた 2 m 間隔の格子点を基準として位置を確定し、水深は静水面を制御して水ざわ観測を行なって所定時間間隔の漂砂移動による水深変化を記録した。使用した造波機はプランジャー型造波機 6 台で 1 台の造波幅 6 m, 周期 0.5 ~ 3.2 sec, 波高 30 cm の造波能力をもっている。これらは

写真-1 模型全景

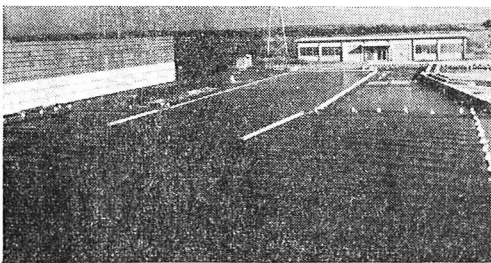


写真-2 波高・波長計

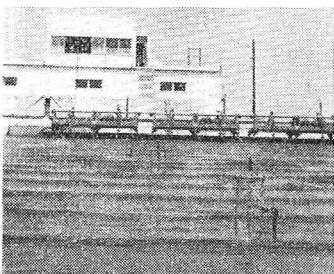


図-2 実験装置 (1/30 模型)

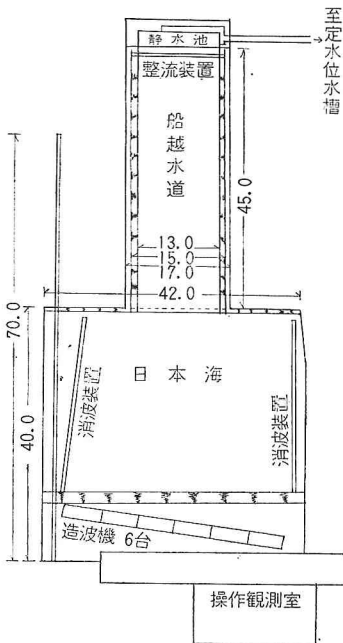


写真-3 記録装置



フレキシブルジョイントで連結され一体駆動が可能である。海域模型の両側には消波装置および循環水路を設けた。水道の上流端には河川流発生用定水位水槽と流量測定水路が設けてある。沿岸潮流は海域模型両側の循環水路を用いる予定であったが、これについては現地の調査が確定しないままになっているため考慮しなかった。

4. 現地資料と実験条件

実験を行なうに必要な現地資料とその解析、および実験条件として用いた諸元について略記する。

(1) 地形について

海底深浅は季節および経年変化によって 1~2 m 局所的には 3 m 程度の変化があるが、だいたいの海底地形は 図-3 のようであり汀線より 250 m 区間は 1/100, 250 ~ 600 m 区間は 1/120, 600 m 以遠は 1/230 となっており、きわめて平坦遠浅な海岸である。その漂砂移動の激しい地帯を知るために 図-3 に示す 2 断面について経年変化の様子を示せば 図-4 のようである。これによれば比較的沖合の水深 10 m 地点まで漂砂移動はあるが特に変化のはげしい、また Bar や Trough の不安定な地帯は汀線より 350 m 付近までの水深 3 m 地帯までである。

図-3 河口付近海域

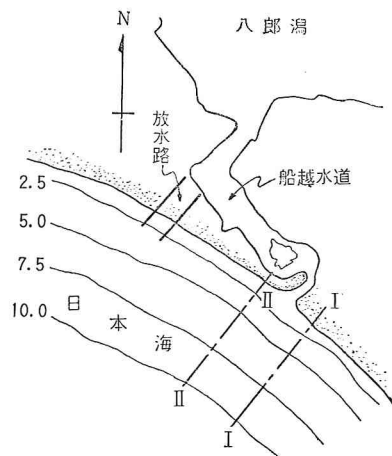
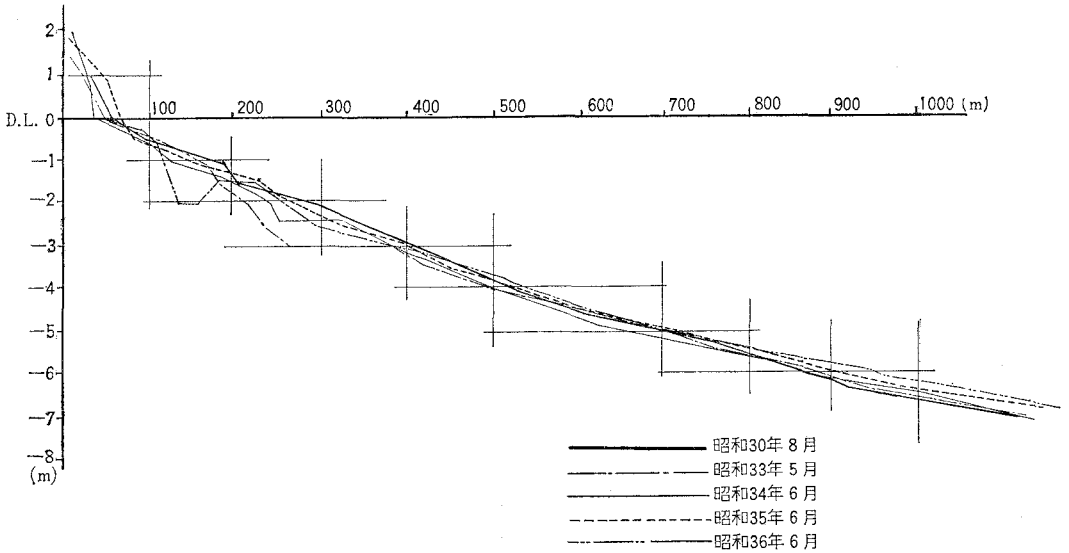
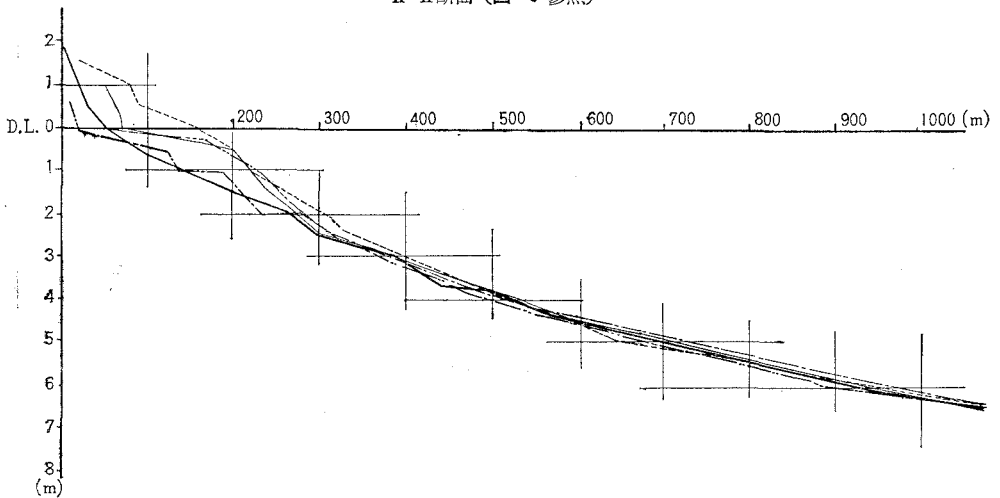


図-4 海底断面の経年変化

I-I断面 (図-3 参照)



II-II断面 (図-3 参照)



(2) 風について

秋田港における4年間(S31~34)の資料を平均して季節別海風風量図を示すと図-5のようになる。これは5 m/sec以上の海風について5~10 m/sec, 10~15 m/sec, 15~20 m/sec, 20 m/sec以上の4つに風力階段を分け、これと頻度とを掛けて風量に表現したものである。このことは後述する実験波の考察にのべるように河口漂砂に関与する波は、この海底のようにきわめて遠浅な地形では最大の沖波によって必ずしももっとも大きな影響を受けるとはいえず、むしろ頻度高い周期6~9 sec程度の影響をもっとも受けやすい点を考慮し、それに対応せしめる意味で図-5のような風量表示を行なった。

(3) 波について

波についての検討は現地観測資料および計算によ

た、この海岸のような緩勾配海岸では波の考え方として最大沖波が汀線に向かって進行するにしたがい数次の砕波を経過して汀線付近に到達するものと、最大沖波ではないが非砕波で汀線近くまで進行し大きなエネルギーを輸送するものと考えられる。図-6はB.E.Bによる砕波指標をもとに、各水深位置に到達する波高を、その周期の関数として表現した。これによると水深3 m位置で生じる最大波は周期8 secのとき波高2.8 mであり2 m位置では周期6.5 sec, 波高1.8 m程度である。つぎに現地の波の観測資料をのべる。水深10 m地点での観測(石油資源開発KK, 白竜号による)を示せば図-7のようになる。図中には周期の生起頻度および最多頻度7~8 secの周期の波について、有義波高の生起頻度を示した。これによれば秋田沖の最多頻度周期の

波 (7~8 sec) における最多頻度の波高は 1.1m ($H_{1/3}$) である。この波は水深 3m 地点で 1.4m に水深 2m 地点で 1.6m の波高となる。ここで 図-5,6 を関連して考えると本問題でもっとも重要と思われる水深 2~4 m 地点におけるもっとも大きなエネルギーを有する波の頻度が秋田沖でもっとも高いということである。つぎに沖波の最大波浪について有義波高 4.6m, 最大波浪 5.8m が観測されている。その他、酒田港、田後港などの記録を参考にして船越水道沖合 10m 水深位置の最大

波浪は波高 6m, 周期 10~14 sec と推定され、この波は水深 3m 位置に到達するまでにほぼ 2 回砕波して波高はだいたい 2.5~3.0m となる。以上の波の資料は先にのべた漂砂による海底地形変化の様子を理由づけることができる。波向については屈折図、現地観測、航空写真などによって推定され沖波の波向・周期によって異なるが、海底がきわめて緩勾配であるため、ほとんどの場合屈折して汀線に直角に入射し、NW の季節風については汀線法線に対し約 5° N 寄りに入射する。なお秋田港の観測による波高、周期別生起回数表は 表-1, 2 のとおりである。

図-5 秋田海岸の風

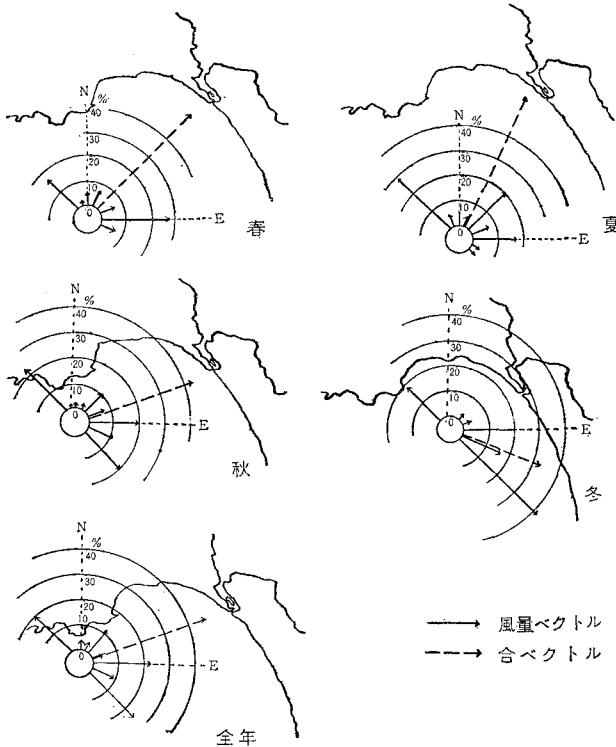


図-6 各水深位置で起こりうる最大波 (B.E.B. 砕波指標による)

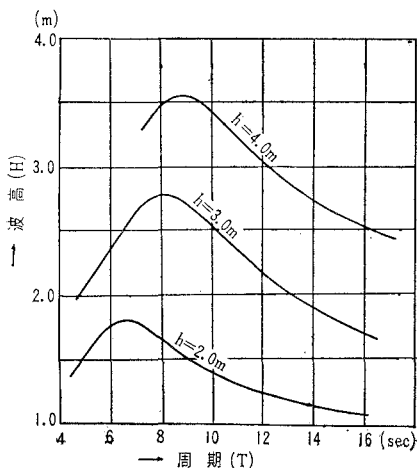


表-1

波 高	生起回数	波 高	生起回数
0.4 未満	141日	2.6~2.8 未満	2日
0.4~0.6 "	32	2.8~3.0 "	2
0.6~0.8 "	15	3.0~3.2 "	5
0.8~1.0 "	14	3.2~3.4 "	6
1.0~1.2 "	16	3.4~3.6 "	4
1.2~1.4 "	20	3.6~3.8 "	3
1.4~1.6 "	12	3.8~4.0 "	2
1.6~1.8 "	13	4.0~4.2 "	2
1.8~2.0 "	11	4.2~4.4 "	2
2.0~2.2 "	9	4.4~4.6 "	2
2.2~2.4 "	6	4.6~4.8 "	1
2.4~2.6 "	3		

表-2

周 期	生起回数	周 期	生起回数
6 sec 未満	158日	10~11 未満	15日
6~7 "	23	11~12 "	5
7~8 "	37	12~13 "	4
8~9 "	48	13~14 "	0
9~10 "	31	14~15 "	2

(4) 湧水流量について

水道の湧水流量については、流域および湧への直接の降雨量・用水量・排水量など総合的水収支にもとづく計算結果はかんがい期間を中心として 図-8 のように流量皆無期間の生ずることが予測される。

図-7 秋田港における波の周期頻度と最多周期 (7~8 sec) 波の波高頻度

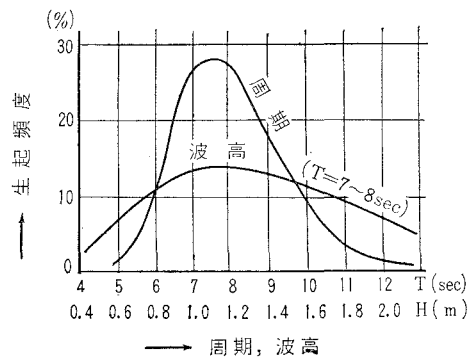
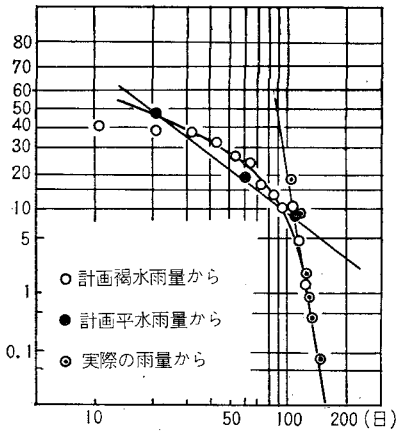


図-8 水道流量皆無期間頻度分布図



(5) 実験条件

前述の諸現地資料をもとに行なった実験の条件はつぎのとおりである。

模型縮尺 1/30, 1/40
 実験境界 汀線方向 1.2km 沖方向 0.9km
 水道長 汀線より 1.3km 上流まで
 海底底質 現地砂 0.230 mm (平均粒径)
 模型砂 0.186 mm (")

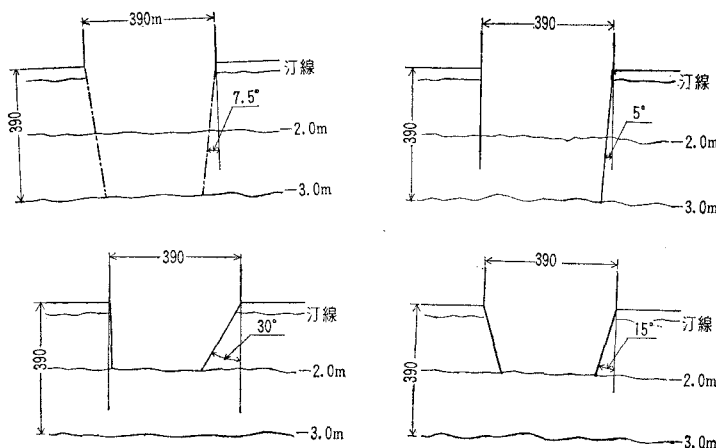
表-3 実験に用いた波

	模 型		波高 0.4m 以上の波の年間平均値	最多周期における最多波
	実 験 波	実物換算値		
平均波高	4.7 cm	1.4 m	1.6 m	1.4 m
平均波長	218 cm	65 m		
周 期	1.4 sec	7.7 sec	8.6 sec	7~8 sec
波 向	汀線法線に対し 5°N 寄り			

(6) 導流堤設置の種類

導流堤の効果については図-9に示すような導流堤形状および無導流堤の場合について比較検討した。この導流堤案については、水道底高が E.L.-3m であること、および過去の海底プロファイルの経年変化より見ていちじ

図-9 導流堤配置の種類



るしい漂砂帯が E.L.-3m 以浅のように判断される（スケールの大きい漂砂移動は沖合まで観測されている）ことより導流堤の先端を E.L.-3m の場合と -2m の場合について行なった。

5. 実験結果とその考察

河口漂砂実験は 前述の実験条件を用いて 1/30 模型、1/40 模型、周期 8 sec の波、および 6 sec の波について検討した。模型縮尺は実験境界を可及的大に、しかも漂砂移動強度の活発に起こることを条件に両縮尺を比較したが、その結果は 1/40 模型では汀線付近の砂移動がちじいるしく弱いため 1/30 模型とした。周期は前述のように現地における最多頻度で、かつ水深 3m 付近に最大波高をもたらすような 8 sec のものを主体に用いたが、この波が 3m 付近以浅の漂砂帯のもっとも危険波であることをたしかめる意味で周期 6 sec の波についても実験した。導流堤の設置案は図-9に示す場合について行なった。

図-10 河口付近に輸送される砂の量の比較

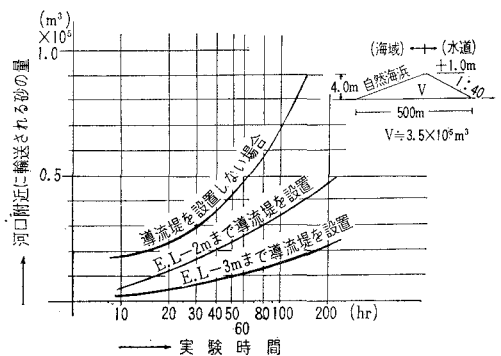


図-10はそれぞれの導流堤の場合の比較を示す。この図の縦軸は河口付近に輸送される砂の量を横軸に波を与えた実験時間を示す。導流堤先端の絞り方による相違はあまり顕著に表われてないため同図は先端位置のみで区別した。漂砂実験についてはその定量的評価は問題が多いが、図-10は同一相似律の支配下における数値であるから導流堤の効果の比率はいえる。これによると河口部に滞積する砂の量は無導流堤にくらべ E.L.-3.00m のとき約 1/5, E.L.-2.00m のとき 1/2, また同一堆砂量になる時間は E.L.-3.00m のとき 12~15 倍, E.L.-2.00m のとき 3~4 倍を要する。この図について若干の考察を加える。まず同じ水深位置まで導流堤を作った場合の河口漂砂量が導流堤設置の角度によってあまり相違がなく、観測値のバラツキの中

より顕著に表われてないため同図は先端位置のみで区別した。漂砂実験についてはその定量的評価は問題が多いが、図-10は同一相似律の支配下における数値であるから導流堤の効果の比率はいえる。これによると河口部に滞積する砂の量は無導流堤にくらべ E.L.-3.00m のとき約 1/5, E.L.-2.00m のとき 1/2, また同一堆砂量になる時間は E.L.-3.00m のとき 12~15 倍, E.L.-2.00m のとき 3~4 倍を要する。この図について若干の考察を加える。まず同じ水深位置まで導流堤を作った場合の河口漂砂量が導流堤設置の角度によってあまり相違がなく、観測値のバラツキの中

に入ってしまうことは、この海岸が非常に遠浅であるため波の汀線入射角がほぼ直角に近く水深3m以浅の漂砂帯では汀線方向の漂砂移動は卓越せず沖方向の漂砂移動が大きいと見られる点に原因すると思われる。この場合、導流堤の長さは300~400mで水道河口幅390mに對し短かく開放型で先端の若干の絞り量の変化があまり河口漂砂に影響しないためであろう。つぎにこの図(図一10)中の曲線は凹形で受波時間の増加とともに河口漂砂の堆積は激しくなることを示しているが、堆砂が自然海浜に等しくなれば堆砂の増大はなくなるはずであるから、これら曲線は自然海浜形の堆砂量($3 \times 10^5 \text{m}^3$)に漸近する性質をもつ、横軸造波時間の現地読みかえは現地観測資料と對比して時間縮尺を定めなければならない。現地観測は放水路開削後の河口変化について実施中であるが、きわめて大まかな推測をすれば、船越旧河口は新河口の開通と同時に閉塞に近づき約2カ月の間に $3 \times 10^5 \text{m}^3$ 程度の砂が河口に搬入堆砂し、図一10と對比すれば時間縮尺はほぼ1/3のオーダーとなるが、この点については詳細な現地観測資料の完了をまって再検討する予定である。ちなみに完全閉塞の1/10の河口堆砂を起こすに要する日数は導流堤を設置しない場合4日、-2mまで導流堤をつけた場合10日、-3mまでとしたとき40日である。このことより見れば掃砂との関係において堆砂の蓄積ということを考慮しても-3m位置まで導流堤を施工することがのぞましいといえる。

以上に考察した本実験における相似律について考える

と、多くの問題を含んでいる。波に関しては Froud の相似によったが、波と漂砂移動との関係は不明確で最終的には、現地と模型での地形変化を比較して相似律を確定しなければならない。このことについては今後の研究課題として取りあげる予定でいる。

6. 結 び

以上八郎潟干拓事業における河口処理について実験的に検討した結果をのべた。河口漂砂について実験値より現地量の定量的評価にまで言及したのはいくぶん大胆にすぎると、本実験の目的よりあえてこれを行なったしだいである。これを要約すると導流堤の延長は水深3m位置まで施工することがのぞましく、かつこれでほとんど十分であると思われる。波の選択については台風や非常に大きな季節風のときの最大波浪によるものと、頻度高く、しかも汀線付近まで非碎波のまま到達する波浪によるものとに分けて考えられるが、この場合には地形的な特殊性より頻度の高い活発な漂砂帯として水深-3m以浅を対象として考え後者の波を中心に実験した。すでにのべたように相似律については多くの問題を含んでいるので今後の解析にまつことにする。

以上、八郎潟干拓船越水道の河口処理に関する実験の概要を報告したが、本実験を実施するにあたり多大の御助言、御便宜をいただいた八郎潟水利委員会本間委員長をはじめ委員、幹事各位ならびに八郎潟干拓事務所の各位に對しあつく御礼申上げる。