

THE HYDRAULIC RESEARCH FUNCTION IN DISASTER PREVENTION

By *Herman N. C. BREUSERS*

Synopsis

The Netherlands are mostly influenced by storm surges and the occurrence of these surge waves have promoted hydraulic research. Especially, the 1953 storm surge resulted in the decision to close off a number of tidal branches in the South-West of the Netherlands: the DELTAPLAN. The least and most difficult closure of the Oosterschelde in the Deltaplan is presented in this lecture, and a large number of research subjects for the design of the storm surge barrier are explained: design philosophy, boundary conditions, discharge capacity, foundation, wave loads, gate vibrations, sill stability, local scour, bed protection, sedimentation and operations during construction.

オランダにおける水害の研究*

Herman N. C. BREUSERS

1. 結 言

貴研究所の三十周年をお祝いするとともに、デルフト水理実験所の J.E. Prins 所長に代って特別講演の機会を与えられたことを大変光栄に思う。

さて、各種の自然災害の中で、オランダは、高潮による影響が最も大きく、ライン川やマース川の洪水がそれについている。オランダ（ネーデルランド）は、その名の通り「低地国」であって、Fig. 1 に示すように北海に面しており、3~4 m の高さの高潮が北西からの強風によって発生する。こうした高潮の発生が水理学の研究を促進した。すなわち、1916年の洪水災害が契機となって1932年に完成したゾイデル海の締切り計画が実施され、また、1927年にデルフト水理実験所が創設された。ついで、1953年の高潮によって、死者 1850名、氾濫面積 1400km² という大被害を蒙り、その結果、オランダ南西部の数多くの感潮河川を締切る計画、いわゆるデルタ計画の実施が決定された。この計画の実施は、水理学、土質工学および構造工学の分野にわたる広汎な研究の進展をうながすことになり、また実験所の規模、施設および技術の拡充を伴った。



Fig. 1. Map of the Netherlands.

* 講演概要ならびに講演者の紹介は、土屋義人・村本嘉雄が担当した。

2. デルタ計画

Fig. 2 に示すデルタ計画の最初の立案では、各河川の河口の締切堤防の建設が主体となっていた。しかし、船舶運航のため Rotterdamse Waterweg と Westerschelde の航路は開口部にしておく必要があり、これらの河口堤防は嵩上げし、Haringvliet 堤はラインとマース川の水を流すために水門を設けた締切堤とすることになった。

その他の小河川は透過性のコンクリート・ケーソンあるいはケーブルを用いたブロック投入方式によって締切られた。本デルタ計画の最後の工事で最も困難な締切りは Oosterschelde であって、漁業の問題や、その地区の自然資源としての価値について激しい議論が交された。最終的には、通常の潮汐に対して少なくとも 70% の水位変化を許容する可動水門をもつ締切堤を建造することに決った。

本講演の主題は、この Oosterschelde における高潮締切堤の設計とそれに必要な水理学的研究についてである。

3. Oosterschelde 高潮締切堤

この締切堤の設計に際して、つぎのような多くの課題を究明しなければならなかった。

- ・設計の考え方
- ・計画河口水位
- ・計画流量

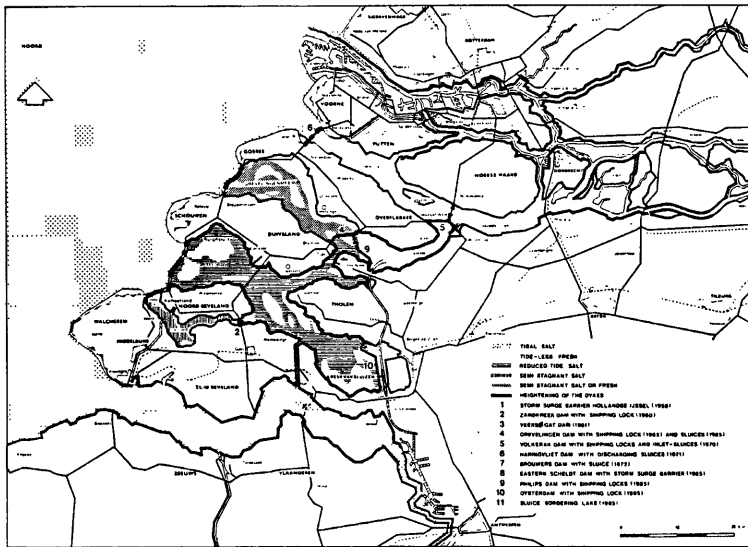


Fig. 2. Map of Delta region and Delta Project.

- ・構造物の基礎
- ・波力
- ・水門の振動
- ・床固めの安定性

- ・局所洗掘と護床工
- ・掘削箇所の土砂堆積
- ・建設機械
- ・生態学的諸問題

設計の考え方

デルタ計画の原案では新たな締切堤が主体であって、その設計に際しては高潮に対する計画潮位が主要な変数である。まず、計画潮位としては、3,000年に1回の超過確率をもつ水位を採用することとし、構造物に対しては $1/10^7$ の破壊確率がとられた。従来の伝統的な方法では、設計荷重が決められ、それに対する安全率を考慮して構造物が設計される。確率的方法では、明らかに荷重と構造物の強度に関してより多くの情報を必要とするが、より合理的でかつ経済的な設計ができる。以上の荷重と構造物の強度に関する超過確率設計法概念図を Fig. 3 に示す。

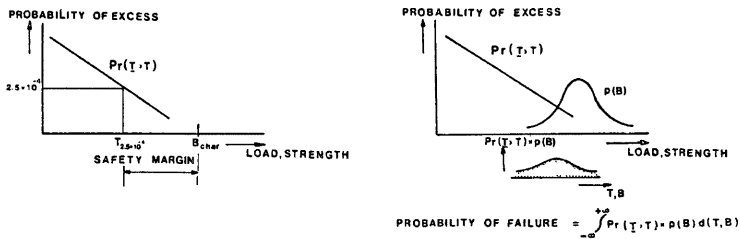


Fig. 3. Probabilistic method for dike design.

計画河口水位

3 m の潮位偏差をもたらした 1953 年の高潮は、再現期間 1/200 年に対するものであった。デルタ計画は、1/3,000 年の超過確率に対して設計され、デルタ地区の平常潮位 +1.5 m に高潮偏差 4 m を加算することになった。また、波浪に対しては、有義波高 5 m および 10~12 sec の周期を用いることになった。

計画流量

漁業や天然資源の観点から最小限の必要条件は、潮位変化を Fig. 4 に示すように元の状態の 70% にとどめることであった。このことは、現在の流積 80,000 m³ に対して最小有効面積を 15,000 m² にすることになる。最大潮汐流量は、現在の 90,000 m³/sec から 60,000 m³/sec になり、流速は 1.1 m/sec から 4 m/sec に

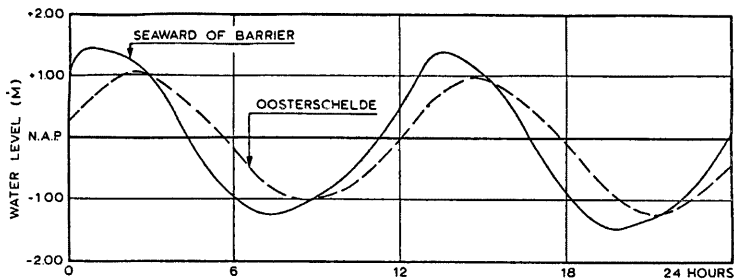


Fig. 4. Tidal water levels at Oosterschelde and seaward of barrier.

増加するであろう。以上の潮位変化を許容する最適解として、Oosterschelde の3つの主潮流水路に合計 65 門の 40 m スパンの水門を設置する設計が採用された。

一方、Oosterschelde や締切堤開口部における水位と流速に及ぼす締切堤の影響が、数値シミュレーションと水理模型実験によって研究された。Rand 協会の協力のもとで開発された最大の数値シミュレーションモデルは 10,000 個の格子点からなり、また、最大の水理模型は水平縮尺 1/500、鉛直縮尺 1/100 で 10,000 m² の面積にも及んだ。

構造物の基礎

この地域の土質条件は悪く、粘土、泥炭およびゆるい砂が多層をなしており、何らの外力なしに地すべりを生じたり、既設堤防の破壊が発生したりしている。したがって、軟弱層を除去したり、ゆるい砂層を転圧するなどの、土質改良を加えねばならなかった。また、水門や堤脚に働く振動する波力は過剰間隙水圧や圧力こう配を生ずるので、それを避けるため透過性のよい基礎構造にした。

最 終 設 計

以上のすべての条件を集約して、透過性地層上で Fig. 5 に示するような床固ビーム (B) で結んだコンクリート製の堤脚構造 (A) を採用することになった。スパン 40 m の鉛直に可動する水門 (D) によって、平常時に所要の流量を流すことになる。設計の限界条件は、水門を閉めるとき水門群のうちの 1 つが破壊する場合である。河口水域で内陸側の水位については危険性はないが、水門が開くとき 10 m/sec 程度に及ぶ非常に高流速の流れが生ずるであろう。したがって、床固めや護床工は、この条件に対応して設計されなければならない。

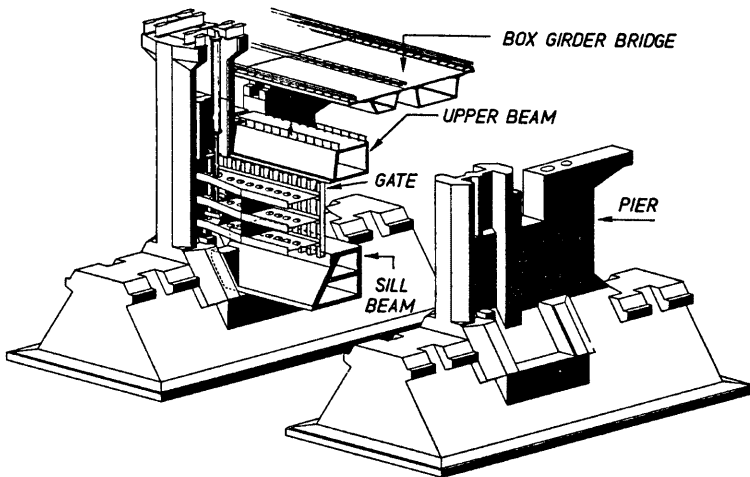


Fig. 5. Elements of the storm surge barrier.

波 力

水門や堤脚に作用する波力は、デルフト水理実験所の不規則波を用いた波浪水槽で縮尺 1/50 の水理実験によって測定された。全波力が波高に比例して増大することがわかったので、それを伝達関数として波力を表すことにした。一方、水門に作用する局所的な衝撃波圧は波圧計を用いて計測された。しかし、測定結果の解釈は難しく、選定するモデルに依存する。すなわち、慣性を考慮したモデルでは、波圧はフルード相似則による長さの縮尺にもとづいて求められ、一方、Bagnold によって提案された砕波波圧のピストン・モデル

ルによれば、長さの縮尺の平方根によって換算されることになる。以上を Fig. 1 を用いて説明すると、波圧の時間的変化が比較的緩やかなピーク (I) は第 1 のモデルに従い、鋭いピーク (II) は第 2 のモデルによるものと仮定された。

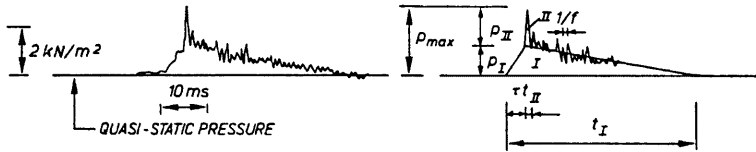


Fig. 6. Typical time history of wave impact type and its schematization.

水門の振動

種々の水位で水門を閉めるとき、流れによって振動が発生することがある。この問題に関しては、縮尺 1/40 の弾性相似模型（ボックス・ガーダー）を用いて研究された。Fig. 7 に例示するように、各種の振動モードが見い出されたが、その力はそれほど大きなものではなく、最終設計には影響しなかった。

床固めの安定性

つぎのような各種の事項について研究しなければならなかった。

- ・床固めビームに作用する流れと波力
- ・床固めビームの上下流側における根固め用の捨石の安定性

水門が破壊するとき 10 m/sec までの流速が予測されたので、捨石ブロックの重量として 10 ton が必要である。

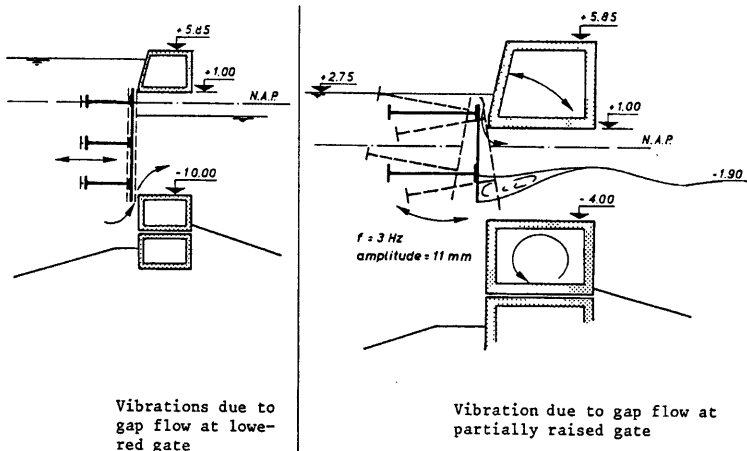


Fig. 7. Gate vibrations.

局所洗掘と護床工

締め固まっていない砂層がある場合には、洗掘されたり、その層ですべりを生じたりする可能性があるの
で、広い範囲の河床防護対策が必要となる。この護床工は延長 650m に及び、捨石・アスファルト・ブ
ロックマットなど各種の材料から作られることになろう。これらの全ての材料の安定性が小縮尺の模型実験
や実物試験によって調べられた。

アスファルトの護床工は、不透透性のために水圧の変化に敏感なので特別の配慮を必要とした。過剰な水圧が加わると Fig. 8 に示すように膨れ上がるが、作用時間が短いときは元に戻るのに、アスファルト層に大きな残留圧力を生ずることはないであろう。

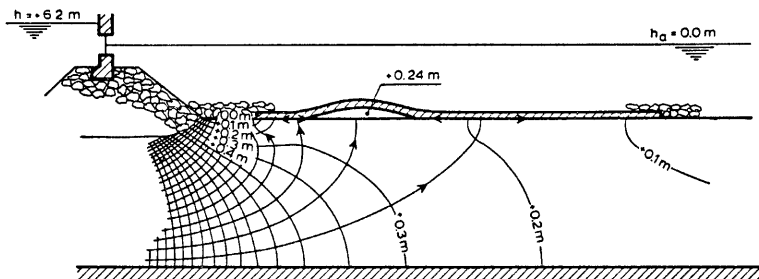


Fig. 8. Behavior of asphalt protection by overpressures.

掘削箇所の土砂堆積

Oosterschelde は砂河床からなり、流砂が著しい。したがって、透水性土層や堤脚を設置するための掘削に際して堆積土砂を排除する必要がある、その作業が大変に面倒である。掘削箇所の土砂堆積を予測するための数値モデルが開発され、Fig. 9 に示すように試験掘削箇所での現地実験によって検証された。数値解析の結果は一般に良好であったが、掘削箇所の上流側における実際の流砂についての適切な知識を必要とする。

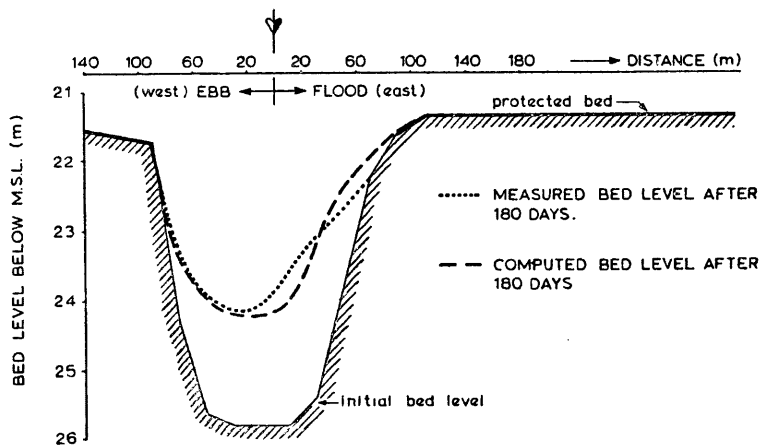


Fig. 9. Prediction of siltation in trench.

建設機械

締切堤の建設に際して、アスファルトやブロックマットなどの護床工の敷設、振動による土質改良、最大重量 18,000 ton の堤脚の設置、堆積土砂の排除および透過層の埋設などのために特別の建設機械が必要となった。一例として、Fig. 10 に吊上げ運搬作業船、別名「牡蠣」を示す。こうした建設機械の全てについて、操作運行や最大稼働条件を決めるために、小縮尺の模型による試験が行われた。

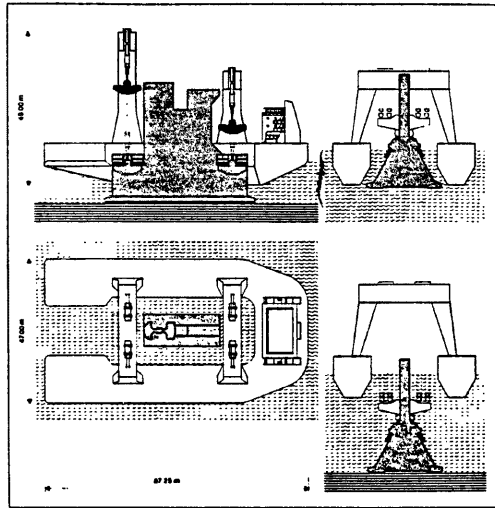


Fig. 10. Lifting vessel "Ostrea".

4. 結 言

オランダにおけるデルタ計画の例は、水理学の研究に対する自然災害のインパクトであるとともに、災害防止に対する水理学研究の役割を示している。本研究の一部はデルタ計画特有のものであるが、得られた結果の多くは同様なプロジェクトに対する研究に有効に利用することができよう。

最後に、国際水理学会会長 J. F. Kennedy 教授より貴研究所 30周年に当ってお祝い申し上げるよう依頼されましたので、ここにお伝えしたい。

講演者の紹介及び滞在中の活動

Breusers 氏は 1959 年デルフト工科大学の土木工学科を卒業後、直ちにデルフト水理実験所に入り、プロジェクト研究員として、主にデルタ計画における各種構造物周辺の局所洗掘に関する研究に従事した。ついで 1968 年～1975 年には、流砂部門および密度流・輸送現象部門の主任として、浚渫や砂・粘土河床の洗掘と護床工などの土砂問題、河口塩水遡上、拡散・分散・成層域の取水などの環境水理の問題およびライン河の汚染に対する経済的、生態学的問題についての研究と技術的情報収集の指導に当たった。

1975 年より研究企画官として、水理実験所における基礎研究の企画・指導に当たるとともに、河川・海岸の流砂と浚渫に関する研究の推進と技術指導を行っている。一方、デルフト工科大学の浚渫技術部門で主任研究官を 10 年勤め、現在、水理学・環境工学国際コースで流砂と乱流に関する講義を行うなど教育面の経験も豊富であり、国際的技術協力にも努めている。Breusers 氏の最近 10 年間に於ける主な研究業績はつぎのようである。

- Experiments on the origin of flaser, lenticular and sand-clay alternating bedding, *Sedimentology*, No 1/2, 1972.
- Computation of velocity profiles in scour holes, *Proc. IAHR-Congress, Sao Paulo*, 2, B-37, 1975.
- Local scour around cylindrical piers, *Journal of Hydraulic Research*, 15, (3), 1977.
- Physical modelling of the Rotterdamse Waterweg Estuary, *Proc. ASCE, J. Hydr. Div.* 1981.

昭和 57 年 2 月 4 日 14 時～17 時, D-562 室で Breusers 氏を囲んで下記のようなセミナーが開かれ, 20 数名が参加した。

テーマ: New Development in Research on Sediment Transport

- 内 容: 1) 掃流砂および浮流砂に関する各種の流砂量式の比較
2) 浅瀬箇所および航路の浮流砂による埋没の予測
3) 非定常流のもとでの砂堆の挙動
4) 河道彎曲部における流れと河床変動
5) 波による砂漣と浮遊砂の濃度分布
6) 水理計測 (光学濃度計・ドップラー流速計・給砂装置)
7) 高波浪による海岸砂丘の侵食とその防禦