The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	防波堤で遮へいされた水域の擾乱波について
Author(s)	和田, 明
Citation	大阪大学, 1963, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1616
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【2】

氏　名・(本籍)	和　田　　明（わだ　あきら）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	第　452　号
学位授与の日付	昭和38年9月30日
学位授与の要件	工学研究科 構築工学専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	**防波堤で遮へいされた水域の擾乱波について**
論文審査委員	(主　査) 教授 安宅　勝 (副　査) 教授 鷲尾　健三　教授 奥島　正一　教授 足立　孝 教授 伊藤　富雄　教授 千田　香苗　助教授 室田　明

論文の内容の要旨

本論文は，湾口あるいは湾奥に防波堤を設置した場合，その遮へい水域内での擾乱問題についての研究結果を述べたものである。

まず急変断面開水路におけるサージの特性を検討するとともに，湾人部水域内の水面擾乱および港口からの散逸波の性状について論じている。さらに，無限長沿岸の前面にある距離をへだてた半無限長大防波堤に長周期波を侵入せしめたとき沿岸水域および大防波堤遮へい水域内での水位上昇を数値計算し，入射波長（λ）が防波堤と沿岸地帯間の距離（2d）に比して小になる程，遮へい水域内の波高は減少し，$2d/\lambda=0.15\sim0.5$ の程度の波長であれば遮へい水域全体にわたって防波堤効果が現われることを示した。次に阪神都市圏の総合開発計画の一環として計画されている堺港と神戸港を結ぶ延長約 20 km のいわゆる大阪湾大防波堤について台風高潮や津波のような長周期波が来襲した場合の遮へい水域水面の擾乱問題について詳細な模型実験をおこない，防波堤設置によってその遮へい部分では流れに関してきわめて静穏な状態がえられるが堺側の防波堤開口部の影響は遮へい水域のかなりの部分におよび，必ずしも全沿岸の異常潮位を減少せしめうるとは限らず，遮へい水域両端部では副次的な横式モイシュのため，かえって悪い結果が出ている。また，大防波堤内水域を水深が沿岸境界に向かって放物線的に変化する平面状の半円形とみなして，水域の自由振動の周期と振巾分布を求め，堺，神戸での異常潮位がセイシュ運動によるものであることをたしかめた。

一般に港水域は不連続面の結合として考えられるので，その基礎的考察として第2章において急変断面水路でのサージの変形を採りあげている。断面急変部を有する開水路に任意波形の入射波が侵入したとき反射係数を求める問題をまず正弦素波の反射係数を求め，つぎに任意波形を連続的に異なる周期を有する正弦素波の集まりとみなし各素波の成分に関し反射係数を重ね合わせることによって解く方法を示し，周期波と非周期波の反射波の形状におよぼす差異について考察し，サージの反射率を算定する場合，衝撃性

の波を正弦波形の式で求めるとおよそ1割～2割以内の誤差が生じることがわかった。次に，上述の断面変化部分での二次波の発生が拡巾部分への流入，流出の状況によってどのような挙動を示すものか検討を試み，あわせて拡巾部分での出口を閉じた閉水域内での擾乱波についても考察を加えている。

第3章では，まず最初に防波堤を設置しない単純なく形状の湾入部に対して考えることにし，入射波が正弦波形と一般波形の場合について湾入部水域内の水面擾乱を解く方法を示し，また湾口からの散逸波の特性にも手を加えている。次に防波堤を設置した場合の湾水域内の波動を明らかにするための手段を紹介し，これら問題点に言及している。

第4章では，防波堤の長周期波に対する効果に関して基礎的考察を加え，この種の問題の解答を見出す意味で単純な境界を有する一つのモデル水域について考察を加えてみた。

この計算を進めるにあたって Schwinger の解法を適用し特別な境界を有する回折問題を Wiener-Hopf 型積分方程式として式化し，非周期的な入射波に対する厳密解を得ることができた。

第5章では，大防波堤の長周期波に対する効果に的する実験例として，現在計画されている大阪湾大防波堤を採り，遮へい水域水面の擾乱問題について詳細な検討をおこなっている。

論文の審査結果の要旨

この論文は，防波堤で囲まれた港域に台風高潮・津波等の長周期波が入射するときに，その港域水面に励起される擾乱波について，セイシュ・副振動特性等との関連を理論的および実験的に解明し，従来明確でなかった防波堤の長周期波に対する遮へい効果について普遍的な解決を与えようとするものであって，6章18節からなっている。

第1章緒言では近時目ざましい発展をみつつある臨海工業地帯の造成に伴い必然的に高潮等による海岸災害が解決さるべき緊急課題として浮び上ってくるのであるが，高潮来襲時の港域水面状態の解明に問題を限れば，その港域境界の複雑さのために擾乱状態の一般特性を把握することが極めて困難であると述べ著者はそのような擾乱状態は結局，港域内の入射進行波，その反射波，港口からの散逸波および港内閉塞水面の自由振動（セイシュ）の混合状態であるとし，原理的に分離出来て解析可能であとるいう立場を採ることをまず表明している。そのための解析の第1段階として開水路の途中（またはその終端）に長方形の急拡部をもつような，一次元問題として扱いうる最も単純な水域モデルについての擾乱問題をまず解明し，つぎにたとえば直線状海岸に平行に設けられる平行離岸堤で形作られる半無限長帯状の港域について入射波回折を考慮した二次元問題に進むという研究過程のスケジュールを説明している。

第2章は急変断面開水路でのサージの変形についての解析と，その実験による検照について述べたもので後の第4章とともに本論文の理論的骨格をなすものである。

まず任意波形の入射波を Fourier 積分で表示して断面急拡大による反射率を求めることを試み，反射正弦素波の合成波として反射波の一般式を誘導した後，高潮波形に相当する単一峰・長周期の入射波エネルギーの関連に注目しつつ数値計算を行った。得られた結果によると通常の短周期の風波等ににくらべ，このような非周期性長波ではその反射率は前者にくらべ1～2割小さくなるということが確認された。つぎ

に，このような急拡部水域での擾乱波特性を解析すべく微小振幅波の運動方程式に水域の入口，出口での合理的な境界条件を設定して境界値問題をとき，水域内の進行波，反射波，自由振動等の混合状態としての一般式を誘導した。入射後，十分時間が経過した後での純粋のセイシュのみが残るような終極状態はその解析的取り扱いは簡単であるが，入射波効果が残存し現実に大きな擾乱波高がみられる過渡領域はかなり複雑である。著者はこのような領域について前の運動方程式では省略した水路床摩擦の効果をも考慮に入れて計算し，同じく単一峰・非周期性の長波による擾乱波についての一般解をえている。その実験との照合によれば過渡領域でも解析値と実験値はかなりよい一致を示し著者の見解，すなわち擾乱波の成分分離の可能性についてその妥当なことが立証されたとしている。なお，これに関連して遂行された数値計算の結果を要約すると，入射波の周期が急拡部水域の固有振動周期より短いときは前者の周期に敏感に追随し，励記される複雑な擾乱波構造が認められるが，入射波周期が長くなれば水域内の最大波高は入射波高の1.6倍程度にまで増幅はされるが先の場合に較べより単純な擾乱状態がみられると結論している。さらに実験によると急拡部水域に上流側入口しかない場合と，入口と下流側出口がある場合とでは水域振動の減衰係数は前者が後者の約半分程度であるという注目すべき実験結果をえている。

第3章では直線状海岸に湾入したような水域について，その湾口に防波堤がない場合とある場合のおのおのについての擾乱問題の解析法を整理紹介し後の第5章の模型実験の理論的根拠としている。

まず第1節では防波堤がない場合の長方形湾入部についての連続波の解を合成して非周期性長波の擾乱波一般式を導き，さらに擾乱減衰に大きく寄与するはずの湾口からの散逸波を考慮して解の拡張を行なっている。つぎに第2節では湾口に防波堤を設けた場合について考察する。防波堤はもちろん外海の波動を遮断して港域を静穏化するためのものであるが，一方防波堤で人為的に湾口を狭窄するときはそこからの港域内振動のエネルギーの逸散を阻害し振動系が確定するため条件によっては港内波高がむしろ増大することがありうる。これを Harbor paradox と称し近頃ようやく注目を集めつつある港湾工学上の新しい課題である。著者はこのことに関し最近発表された Méhauté の理論，すなわち複雑な港域平面をいくつかの不連続面の結合とみなし，波動を複素数表示で与えるといった解析法を紹介し，とくに深く湾入して湾軸方向の一次元問題として扱えるような場合は湾域の奥行長さと入射波長の比がある限界値に達すると共振状態が起る可能性があり，このことから量的に Harabor paradox の限界を定めている。なお不規則な連続波がこのような水域に入射するときの共振周波数を求める Munk の方法も整理紹介し，最後にこのような港域擾乱波を速やかに減衰せしめるための工学的方法について見解をのべ，考えうる方法として，港内水際線に波動エネルギーの吸収帯，たとえばジグザグ壁等の設置が適当であろうとしている。

第4章は単純化した港域について防波堤端からの回折現象を含んで二次元問題を解析し，この著者の計算によって長周期波に対する防波堤の遮へい効果に関しはじめて理論的根拠が与えられた。

まずモデル水域としては前述のように平行離岸堤と直線海岸で構成される半無限帯状水域とする。運動方程式ではその非線型項を省略して微小振幅波として取り扱い海底勾配とその摩擦を省略し，それと連続方程式からこの場合の基本式として Helmholtz の式がえられる。この基本式を海岸線と防波堤面での境界条件の元で解を求める。著者の計算した境界値問題はすでに A. E. Heins がその音響回折理論で解をえているが，高潮・津波のように非常に波長が長い非周期の波の場合はそのための若干の修正計算が必要であり，ここでも前と同じく対象とする長波を正弦素波の集合とみなし，Heine の方法で求められる各素

波の擾乱量を Fourier 積分で集めて全擾乱波動とする方法を採る。遮へい域，外海等の各領域に分割しおのおのについて上の手続きによる解析を行った後，数値計算例として平均水深 10m の水域に対岸距離 3km の平行離岸堤を設置しこれに波高 1.0 m，波長6km～30km の長波を入射角0°～90°の範囲で入射せしめた場合について詳細な数値計算を行っている。それによれば入射波の波長 λ が対岸距離 2d にくらべ小さくなる程，遮へい効果は増大し 2d/λ が 0.15～0.5 の範囲では良好な防波効果が期待出来るがこの範囲をこえて波長が増加するとその効果は認められず，海岸線が完全反射の直立壁の場合はむしろ反射波が付加されて港域水位は防波堤のないときにくらべ増大するという。また入射波長が短い場合は港内波高におよぼす入射角の影響は敏感であるが，波長が 20km をこすと入射角はあまり問題とはならない。

高潮・津波のような長周期波に対し防波堤はほとんど遮へい効果をもたないだろうことは常識的に予想されるのであるが，種々の入射条件について行なわれたこの数値計算によって量的な見通しをうることが出来たのは港湾工学に，寄与するところが大きいと考える。なお本章の最後で上記解析法の一応用としていくつかの平行離岸堤の組があるときの回折問題についての一般解を紹介している。

第5章は以上の基礎研究を応用し防波堤の対高潮効果を検討するための大規模な模型実験を行ってその成果について述べたものである。すなわち，近畿圏綜合開発計画の一環として堺と神戸を結ぶいわゆる大阪湾大防波堤計画がありこれによって阪神臨海工業地帯を一括して高潮災害から防禦すると共に防波堤を阪神間の高速自動車道路に兼用して当該地域の有機的連繋を意図するものである。しかるに前述の基礎的知見によれば，通常の短周期風波に対しては防波堤の遮へい効果は十分期待出来るが台風高潮のような長周期・大エネルギーの波動に対し現実にどの程度の効果があるのか，さらにまた沿岸各地点でどのような局所的潮位変動があるのかといった諸問題を的確に予測することは現在の解析手段ではまず不可能でありその詳細は模型実験による検討にまたねばならない。

著者はまずその第2節で，模型に使用すべき高潮の規模を確定するため大阪湾に来襲した既往の高潮記録を整理しその結果，想定高潮として沖波高 0.8～2.63m，同周期30分～58分，同波長 26km～45km の範囲のものを採用するとしている。また模型に含まれる海域で高潮長波の折屈図を作図し，波動エネルギーの集中・発散の様相と最高潮位の起時等について予め計算を行なっている。屈折図によると過去しばしば観測されているように堺付近に高潮エネルギーの集中が，神戸側にその分散がみられると述べている。

つぎに3節では模型を製作し，かつえられた成果を実物に換算する際の規準となるべき相似則についてのべ，この場合は重力波の特性に着目して Froude の相似則を用い，水平・鉛直の縮尺をおのおの 3,000 分の1と，100分の1としその結果，模型規模は幅 10m，長さ 30m の扇形実験水槽とし海底地形，水際線等はもちろん上の縮尺によって精巧に製作され，高潮に関する模型実験としては当時の我国最大の規模のものが企画実行された。

26種の実験波を用いて，大防波堤がある場合とない場合について堤内外の主要地点で潮位の連続記録をとり，それ等を比較して防波堤効果の有無を検討した。

実験で確認された主要な問題点は次の如くであると結論している。すなわち，現在計画されているような大防波堤の配置と規模でもって実施された場合は高潮防禦対策が飛躍的に向上するとは考えられず，むしろ神戸と堺，とくに堺では防波堤の構築によって高潮潮位が増大する懸念さえある。ただし防波堤設置によって高潮の水位上昇速度はほぼ半減するが，同時に高潮位の継続時間は長くなり，さらに防波堤開口部

ではかなり大きな流速が観測されるという。ところで，防波堤を設けたために港域両端の神戸と堺で潮位がむしろ増大するのは第3章で述べた Harbor paradox の顕著な一例であってこの場合，沿岸各点での同時潮位記録を検討して見ると，港域両端で腹となるかなり明瞭な単節セイシュが確認され，このセイシュによってパラドックスがもたらされるとしている。

それで第7節では港域形状を妥当な単純形（半円形）と仮定し，水深に関しては実測平均値を用いその固有振動周期の解析計算を行ない，計算周期の40分が模型実験での観測振動周期とほぼ一致することを認め，よって防波堤内擾乱要素の大部分がセイシュによる寄与であることを明らかにした。

以上のように，従来その解明がほとんどなされていなかった長周期波に対する防波堤の遮へい効果について総合的に研究を進め，基本的なモデル水域について詳細な波高分布曲線の解析と計算を行なって量的に防波堤効果を解明し，複雑な港域形状についても計算の一般式を導いてその見通しを確立し，さらにそれ等の成果を大規模な水理模型実験に応用して的確な判断を下し，進捗しつつある大防波堤計画に有益な貢献をなしている。よってこの論文は，博士論文として価値あるものと認める。