

海岸工学研究発表會論文集

海岸工学の現況

京都大学教授 工学博士 石原 藤次郎

1. 総論

海岸は人類の重要な生活圏であり、人類はその生活圏を維持発展させるために、自然力と苦しい闘争をつゞけてきた。このことは、海岸に波の過程を経て莫大なエネルギーが到達し、海岸が実に地球上で最も活動的な場所となつてゐることを意味し、変化に富んだ美しい海岸の風景は、このエネルギーの所産に外ならないのである。それではこのエネルギーの起源は何かということが問題であるが、いうまでもなくその大部分は、太陽から絶えず供給される莫大なエネルギーによつて起る風によるものであり、風のエネルギーが海面における摩擦の過程を経て、波の発生として表現されてくるわけである。

このようにしてまず問題になるのは、風による波の発生であるが、その機構については有名な Helmholtz の理論がある。しかし風波の発達については、従来は Stevenson や Börgen の簡単な実験式が与えられていた程度である。この機構を理論的に究明し、必要な関係式を出したのは、漸く 1947 年の Sverdrup 及び Munk の研究⁽¹⁾であり、さらに改良せられて波の予報や追算⁽²⁾に広く用いられるようになったのであつて、こゝに新たな海洋学が発せし、現在の海岸の波や流れに関する研究が漸く体系化し、海岸工学として一つの新分野ができたともいえる。

風によつて深海で発生し発達した深海波は、波長と波高とによつて定まる波速をもつて伝わっていくが、海岸に近接すれば、水深の減少ととも海底の摩擦が水粒子の運動に影響し、波長が短く波高が高くなつて、浅海波の様相を呈してくる。こうして波形勾配が増大し、遂には砕波の現象を起すが、同時に水深変化に伴う波の進行方向の屈折及び障害物の蔭の部分への回折のような波の平面的な変化を生じ、防波堤などに当つては反射の現象を呈する。このような沖から海岸への一連の現象はきわめて複雑であつて、従来多くの理論では充分な説明がとて困難であつた。ところが最近数年の間に、沖波と浅海波との関係や砕波の特性などが、漸く体系的に解明されてきたのは、Fol-

som⁽³⁾の水圧式波高計の完成その他各種の観測ないし実験計器の発達と⁽⁴⁾、カリフォルニア大学を中心とする詳細な観測及び実験⁽⁵⁾⁽⁶⁾とにまつものがきわめて多い。一方波の屈折図や回折図の実用化は⁽⁷⁾⁻⁽¹⁰⁾、防波堤の位置選定その他海岸施設の合理化に、大いに役立つようになった。

しかし実際の海の波は、普通峰の短い切れ波であつて、種々の波長及び周期をもつた種々の起源の波から合成されている。従つて波の記録を調和分析してスペクトルを求め、それによつて波の特性を把握しようという研究が進められ⁽¹¹⁾、波の予報や屈折などの問題がさらに適確に解明されつゝあるが⁽¹²⁾、これらは波のエネルギーと関連して有義波高と有義周期とを用いた実際の波の従来への解析法に、再検討を促すものといえよう。

われわれの海岸工学で特に問題になるのは、海岸に押しよせる波の過程を経て到達するエネルギーの消長である。この場合深海波のもつエネルギーが海岸に到達すれば、1. 深海から磯波帯に至る間の摩擦損失、2. 砕波のときの渦乱損失、3. 砕波後の打上げ波における摩擦損失、4. 外浜における水位上昇による位置のエネルギー、5. もどり流における摩擦損失、6. 反射波のエネルギー、以上六つのエネルギーとして分散消費されるはずである⁽¹³⁾。これらのエネルギーの分散消費のしかたは、深海波の特性や沿岸の地形、地質などゝ密接な関係があり、こうした関連をさらに適確に究明することによつて、沿岸近くの波の実態が一層正確に把握されることと思われる。

緩傾斜の海浜では、入射エネルギーの大部分は砕波のときの渦乱損失として消費され、海浜のエネルギーの吸収性、従つてその反射係数は、沖波の波形勾配と海浜の傾斜によつて大きく支配され、海浜の摩擦にも影響せられる⁽¹³⁾。この場合、砕波帯とその附近において波のために生ずる海浜流、特に沿岸流は、沿岸漂砂の消長を支配する重要な要素である⁽¹⁴⁾。この意味から漂砂の実態を、沿岸流、それを起す波、さらにその原因となる風との関連において解明しようとする研

究が次第に発展してきた⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。こうして沿岸過程の体系的な理解に基づいて⁽¹⁷⁾、海浜浸食とそれに対する沿岸工作物の影響などの実態が把握され、防砂堤、防潮堤その他の沿岸防護並びに改良の諸施策が漸く合理化されてきたようである⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。

一方、防波堤や防潮堤のような急斜面では、反射波のエネルギーが大きい問題であつて、波の屈折及び回折とも関連して、港内の静穏さと波高分布に大きい影響を与える。上述の波に関する最近の研究は、これらの問題を次第に解明し、模型実験の進歩と相まつて⁽²⁰⁾、實際上相当の見通しをつけられるようになった。しかし波が防波堤などに当つて重複波、跳波、砕波のいずれかとなる様相は、波の特性、前面の水深及び堤体の型式などと関連して、きわめて複雑な現象であり、特に堤体に及ぼす波力については、古くからの多くの実験的、理論的研究にかゝわらず、明確な欠点があり、きわめて多い⁽²¹⁾。米国やソ連における最近の精密な波力の実測は、波の複雑な分布に対するスペクトル分析及び推計学的应用などと相まつて、波力の究明に多くの期待をもたせるものであり、防波堤などの型式、構造、安定性その他がさらに明確に論ぜられるであろう。ことにスペイン、米国などにおける捨石堤構造に対する詳細な実験的研究は、波力と堤体の形状、捨石の大きさ及び重さなどとの関係を次第に明らかにしており⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾、波による被害をも実験的に推定して、その復旧維持の計画を立て、工費と維持費との関連において最も経済的な設計をしているようである⁽²¹⁾⁽²⁴⁾。

以上は主として波の立場から海岸に関する工学上の諸問題をとりあげて、研究の現状と将来についてごく概括的な説明を行ったものである。もちろんこの外にもとりあげるべき問題があると思われるが、米国の Beach Erosion Board において、海浜浸食問題の理解と解決に有意義な役割を果たすと思われる要因を分類列挙したものは、つぎのように9種目、36標題からなっている⁽²⁵⁾。

- 1) 深海波；1. 内部運動機構，2. 起源，伝わり及び大きさ，3. 波に対する要因の影響。
- 2) 浅海波；1. 内部運動機構，2. エネルギー損失を伴わない変形，3. エネルギー損失を伴う変形，4. 起源，伝わり，大きさ。
- 3) 浅海の流れ；1. 内部波流れ，2. 長周期流れ。
- 4) 海浜帯に対する物質の供給及び移動に影響する要因；1. 物質の供給源，2. 海浜帯へ出入する物質の輸送割合，3. 移動に影響する物質の物理的特性，4. 長周期の水位変動。

5) 天然累層の有義性；1. 周囲より高い海底累層，2. 周囲より低い海底累層，3. 汀線累層，4. 種々の累層。

6) 海浜過程；1. 海浜帯における物質輸送の機構，2. 沖と外浜間の物質移動の割合と結果，3. 沿岸漂砂の割合と結果，4. 沿岸流の生成と変化，5. 海浜物質の風による輸送の割合と結果。

7) 人工構造物の機能設計と効果；1. 岸に直角な構造物，2. 岸に平行な構造物，3. 航路，4. 人工盛土，5. 砂をバイパスさせる施設。

8) 人工構造物の構造設計；1. 岸に直角な構造物，2. 岸に平行な構造物，3. 砂をバイパスさせる施設，4. 構造材料の抵抗性。

9) 調査活動をたずけるもの；1. 新計器の発達，2. 新試験の効用，3. 新試験法または改良試験法とその実施方法，4. 文献と参考資料の準備。

なお、以上の標題はさらに細分されて、99の副標題になっているが、われわれが特に関心をもっている浅海波に関するものを、つぎのようにとりまとめている。

1. 内部運動機構；a. 深海と砕波帯との間，b. 砕波するとき，c. 砕波後，d. 波の合成と干渉。
2. エネルギー損失を伴わない変形；a. 水深変化によるもの，b. 屈折によるもの，c. 回折によるもの，d. 流れによるもの。
3. エネルギー損失を伴う変形；a. 砕波するとき，b. 海底摩擦によるもの，c. 海底の透水性によるもの，d. 粘性と乱れによるもの，e. 反射によるもの。
4. 起源，伝わり，大きさ；a. 発生，b. 減衰を含めての予測，c. 波向い風と横風，d. 波向い波列と横波列，e. 統計記録の集積，f. 統計記録の解析。

以上の研究問題の類別は、Beach Erosion Board の仕事のガイドとして実用上から作製されたもので、われわれの問題のすべてを体系的に配列したとはいえないであろうが、始めに説明した最近の諸問題とあわせて考察するとき、自らそこにわれわれの海岸工学の進むべき道が展開されてくるはずである。もちろん土木技術者だけではとても満足な発展を望むことができず、気象学、海洋学、地質学、水文学、農学などの関係者の全面的な協力にまつべきであるが、海岸工学なる新分野の体系的な発展に対し、われわれ土木工学関係者のもつ責任はきわめて大きいといわねばならない。以下にわが国及び米国における海岸工学の研究の現状を述べて、上述の論旨をさらに裏づけたいと思う。

2. わが国における海岸工学の研究

山地の多いわが国では、海岸沿いの狭長な平野が産業、文化上に占める役割はきわめて大きい、強烈な

季節風による風浪のために、海浜が各所で浸食され、漂砂のために埋没した港湾もあるくらいである。従つて古くから海浜防護工事が実施されてきたが、浸食機構に関する知識を欠いたために、計画及び設計が合理的に行われたものはほとんどなく、多くは失敗に終わっている⁽²⁶⁾。広井博士はその名著「港湾」において既に日本及び外国の港湾における浸食と埋没を論じ、岡田博士⁽²⁷⁾は日本の太平洋岸において南向きの海浜が遠浅になるのは、北西の冬の季節風で運ばれた細かい粘土が沈澱するためであると指摘されたが、磯浜港は昭和5年に完成して間もなく漂砂のためにほとんど埋没している。寺田博士⁽²⁸⁾はこの埋没対策を研究して、季節風で漂砂が運ばれ、沈澱は北西からの冬の季節風のためであり、浸食は南東からの夏の季節風によることを明らかにした。ついで中野博士⁽²⁹⁾は北海道、九州、佐渡などにおける海浜の浸食と堆積を論じ、本間博士⁽³⁰⁾は日本の重要港湾における漂砂について報告している。特に荒木博士⁽³¹⁾や山本将雄⁽³²⁾の研究は、漂砂と港湾修築との関係を深く検討したものとして注目され、豊原博士⁽³³⁾は汀渚帯の砂粒分布や傾斜につき地球物理学的に詳細な研究を行っている。

しかし以上の研究においては地球物理学者と技術者との連繋を欠き、一般の関心を高めるには至らなかった。ところが昭和10年には新潟測候所が波に洗われ、信濃川河口の西側海岸における顕著な汀線後退は、新潟港の著しい埋没とともに、大いに一般の注目をひくことになり、富山県、鳥取県その他においても、海岸浸食が重大な問題となつてきた。こうした事態に対処するために、昭和22年に資源調査会ではその水部会に海岸浸食小委員会を設け、大学その他の各研究者と密接な連絡をとつて、海岸浸食について検討を開始した。同時に新潟、富山及び鳥取の3県には委員会または協議会ができて、海洋学、気象学、地質学、河海工学などの研究者、技術者が全面的に協力して、浸食現象の解明とその対策の確立に努めるようになったことは、新たな海岸工学の発展のために誠に喜ばしいことであつた。その後大阪府泉南海岸や徳島県においても同様に調査研究が行われ、それらの成果には見るべきものがきわめて多いようである。これらの成果の内容は、各府県の報告書^{(34)~(40)}に詳しく載っているので省略するが、京大防災研究所において担当した調査研究の結果⁽⁴¹⁾だけを略述すればつぎのようである。

1. 富山湾及び津市附近の伊勢湾の沿岸における波浪観測によると、観測した砕波の波高は屈折の影響として説明できるが、なお津の海岸での観測では波の平均のエネルギーは砕波する瞬間の砕波高に比例するこ

とが確かめられた。

2. 砕波高の分布を支配する屈折以外の要素として、対岸距離の影響を大阪湾の東海岸の南部で検討したが、この地方の海浜浸食に対岸距離の影響が重大であることがわかつた。

3. 大阪湾の東海岸の海浜に沿つて、海浜土砂の粒径分布と海浜断面との関係を調べたところによると、沖の砂堆から岸に至る海浜の断面勾配は明らかに二つの部分に分かれていて、それぞれ磯波帯と砕波後の打上げ波帯に対応する。そして土砂の粒径は、磯波帯では岸に向つて漸増するが、打上げ波帯では急激に大きくなり、これらの両地帯における水理機構を別に考えるべきことが確かめられた。

4. 泉佐野市の海浜で波形と水粒子の速度とを同時に測定した結果、砕波型式が二つに分けられるという注目すべき事実がわかつた。その一つは流れ型といわれ、水粒子の最大速度が波の前面で起り、砕波後はポーアとなるが、他の一つは波型といわれ、水粒子の最大速度が波の峰で起り、砕波後すつかり波形がくだけるものであつて、これらの関係は水槽実験でも確かめた。

5. 泉佐野市の海浜では打上げ波帯における土砂の移動をも観測したが、その結果によると流れ型の砕波では土砂の正味の移動は岸向きになつて汀線堆積を生じ、波型の砕波では同じく冲向きになつて汀線浸食が起ることがわかつた。

なお以上の各府県の調査研究に対する基礎的部門は、建設省⁽⁴²⁾⁽⁵²⁾及び運輸省⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾の所属研究所における広汎な実験的理論的研究の外に、科学試験研究費による「海岸浸蝕の研究（代表者、安芸岐一；昭. 24~26年度）」⁽⁴⁵⁾及び「河口港修築に関する研究（代表者、池田芳郎；昭. 26~28年度）」⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾によつて、各研究者の相互の理解と協力のもとに相当進展されたのであつて、戦後において最も進歩した部門の一つともいえるようである。

海岸浸食とその対策を目的とした上記の一連の研究は、さらに風、波浪、波圧、沿岸流などから、防波堤、海岸堤防、防砂堤などに及ぶ海岸工学上の重要な諸問題の研究へと発展し^{(49)~(53)}、諸外国、特に米国における最近の顕著な発達と相まつて、漸く学問的な体系を整えようとする段階に至つている。わが国の多くの海岸や港湾において、きわめて詳細な調査研究が行われ、諸施設の計画設計に科学的な裏づけをしつゝあることは⁽³⁵⁾⁽⁴³⁾⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾、最近の海岸工学の発達によるものといわねばならない。

本年度から始まつた科学研究費による総合研究「海

岸工学の基礎的研究(代表者, 石原藤次郎)は, わが国における上記の諸研究と諸外国におけるそれらを再検討して, 新しい立場から海岸工学の確立を目指したものであつて, この研究発表会における講演の多くはそれぞれの分担課題に関するものである。大別して, 海岸波浪, 海岸変形と漂砂, 河口維持及び海岸構造物の設計方針とすることができ, 今後数年間関係者の協力の下に満足すべき成果が得られることと期待されている。なお現在特に問題となつている海岸堤防については, 建設省建設技術研究補助金による「海岸堤防の理論的設計基準(代表者, 鈴木雅次)」の研究が, 大学関係者を中心として進められており, 海岸工学の具体的問題への適用例として注目すべきものがある。

3. 米国における海岸工学の研究

総論で説明した海岸工学上の多くの成果は, 米国における研究活動にまつものがきわめて多いが, 基礎的な部門の中心はカリフォルニア大学であるともいえるようである。すなわち, Scripps Institution of Oceanography では H. U. Sverdrup⁽¹⁾ を始めとし, J. A. Putnam⁽⁹⁾⁽¹⁵⁾, W. H. Munk⁽¹⁵⁾, M. A. Traylor⁽¹⁵⁾, F. P. Shepard⁽¹⁴⁾, R. S. Arthur⁽²⁾⁽⁹⁾, D. L. Inman⁽¹⁴⁾ などが, 波の発生及び発達とか海浜流などについて輝かしい業績をあげて, その予報及び追算の方法を提示し, また Institute of Engg. Research や機械工学教室では J. W. Johnson⁽⁷⁾ を中心として R. L. Wiegel, F. E. Snodgrass⁽⁴⁾, H. W. Iversen⁽⁶⁾, H. A. Einstein, P. D. Trask. などが, 波の詳細な実験と理論の発展につとめて, 砕波, 波の屈折及び回折, 漂砂などの諸問題に大きい貢献をしている。なお C. I. T. の R. T. Knapp, V. A. Vanoni, J. A. Carr; M. I. T. の J. W. Daily; ニュー・ヨーク大学の G. Neumann, W. J. Pierson, Jr.⁽¹¹⁾⁽¹²⁾, J. J. Tuttle⁽¹²⁾ などの研究も注目され, テキサスの農業・機械大学における実用的諸研究やウッド・ホール海洋学研究所における H. G. Farmer, G. W. Morgan, B. H. Ketchum などの河口循環流の研究もあげておかねばならない。これらの大学や研究所では, 海軍研究本部や陸軍工兵隊の Beach Erosion Board などから契約研究または援助研究としてかなりの研究費がでゝおり, カリフォルニア大学では本年リッチモンドに大規模な波浪実験施設が完成したはずである。

一方官庁関係としては, 才一にあげねばならないのはワシントンの Beach Erosion Board であり, ピックスバーグの Waterways Experiment Station とともに, 大規模な実験施設をもつて, 大学などで行つた基礎的研究の成果を海岸や港湾における諸工事の設計

施工に具体的に應用していくための研究, 従つて水理模型実験が主として行われている。Waterways Experiment Station では, H. B. Simmons の漂砂及び塩分混合の模型実験, R. Y. Hudson⁽²⁰⁾ 及び L. F. Moore⁽²⁰⁾ の防波堤設計の模型実験が注目され, Beach Erosion Board では J. M. Caldwell⁽²⁵⁾, M. A. Mason⁽⁵⁾, T. Saville⁽⁸⁾, J. V. Hall, Jr.⁽¹⁹⁾, D. F. Horton などが模型実験または現地観測によつて多くの具体的な問題の解決に努力している。工兵隊の現地機関においても, Beach Erosion Board と緊密な連繫のもとに, 実際の問題の調査研究につとめ, J. W. Dunham⁽¹⁰⁾, K. Kaplan⁽⁸⁾⁽²¹⁾, R. O. Eaton⁽¹⁷⁾ を始め多くの人々の立派な業績がある。なお, 海軍水路部, 沿岸陸地測量部, 気象台などにおいては, それぞれの行政業務に関連した問題を研究し, 海岸工学の発展に寄与しているようである。

以上のようにして, 大学や各官庁の研究所及び現地機関が, それぞれの担当分野に応じた研究を能率よく実施し, 基礎から応用まで一貫した無駄のない研究が進められ, 海岸工学の研究が実際の設計施工に役立つように行われていることは特に注目すべき点である⁽⁵⁶⁾。この点に関連して, アメリカ技術財団に設けられた Council on Wave Research はきわめて大きい意義をもつものといえよう。その才1回の会議は1950年10月に汙線問題に関心のある技術者, 科学者の地方的な会合として, カリフォルニア大学後援の下にロング・ビーチで行われる予定であつたが, 広く関係方面の注目するところとなつたので, その規模を拡大し, 海岸工事の計画設計に関する科学技術の現況をとりまとめて報告し, 技術者の役にたつてよということになつた。そして各権威者にそれぞれ海岸問題の特定の課題の報告を要請したところ, いずれも与えられた課題の取扱いに大いに協力して互いに重複を避けた研究発表が行われたのであつて, その議事録が海岸工学という新たな名称の下に刊行され⁽⁵⁷⁾, 海岸問題の近代的処理に大きい指針を与えることになつた。ついで才2回会議はテキサス州のハウズトン, 才3回会議はマサチューセット州のケンブリッジというように, 毎年1回開催され, 貴重な研究成果の発表と相まつて, 海岸工学の進歩発展に非常に貢献をしており⁽⁵⁷⁾, 次才に国際的な性格をおびて, 本年9月には仏国のグルノーブルで才5回会議があつたはずである。

これらの会議で発表された論文をみると⁽⁵⁷⁾, 海洋学, 特に波動の基本原理, 海岸土砂の問題, 海岸施設地点の特性, 海岸構造物の設計と寿命, 各地の海岸工事の沿革といったことに大別されるが, これらの調査

研究の具体的目標を例示したものともいうべきものとして、Beach Erosion Board における1952年度の優先研究課題⁽²⁵⁾を列挙するとつぎのようである。

1. 沿岸漂砂の割合と結果, 2. 海岸と連絡した構造物の機能設計(防砂堤とその長さ, 高さ及び間隔を含めた防砂堤域), 3. 特に天端高設定の基準からみた, 平均海面近く岸に平行な構造物(隔壁及び防潮壁)の機能設計, 4. 埋立の高さ及び巾に関する機能設計, 5. 砂をバイパスさせる施設の機能設計, 6. 沿岸過程における州の切れ目の有義性, 7. 特に漂砂の仕切りからみた, 汀線の水平切れ目(海岸突出を含む)の有義性, 8. 沿岸物質の風による輸送の割合と結果, 9. 人工構造物の構造設計, 10. 沖の構造物(特に潜堤)の沿岸過程に対する影響。

Beach Erosion Board⁽⁵⁸⁾ は 1930 年の創立当時は各地方における海浜浸食問題の研究に協力し報告書を作製するだけであったが, 1945年にその機能が拡大され, 自ら一般的な調査研究を行つて必要な技術情報を出すとともに, 公有沿岸の防護工事に政府が費用を分担することゝ関連して, 工事計画の審査, 検査などを行う広汎な責任をもつことになつたであつて, 海岸工学の発展のために大きい役割を果しているわけである。

4. 結 語

海岸工学は最近における米国の活躍を中心として, 大いに新しい発展をしている。海岸工事の設計施工の合理化のために誠に喜ばしいことであるが, 一般の土木工学に含まれないような多くの問題点があり, 海洋学, 気象学, 流体力学, 電子工学, 地質学, 構造力学などの関係者の協力にまつものがきわめて多い。世界各国の沿岸には, 無数の構造物が破壊されており, 海の破壊力があまりにも恐いことを如実に物語っている。汀線過程を無視して沿岸構造物を造つた場合, その構造物の破壊はともかくとして, それに隣接した汀線の被害はとりかえしがつかないであろう。こうした恐るべき災害を除くために, われわれは海岸工学の一層の発展を望むものであるが, 問題はきわめて複雑多岐にわたっている。昨年ミネアポリスで開催された万国水理学会においても, 波, 海浜浸食及び海岸構造物の流体力学が重要な課題としてとりあげられ, 米国以外に仏国の F. Sequet 及び A. Wallet⁽⁵⁹⁾, J. Valemboi⁽⁶⁰⁾, 英国の R. C. H. Russel 及び Sir C. Inglis⁽⁶¹⁾, スウェーデンの P. A. Hedär⁽²²⁾, ユーゴスラビアの L. Levin 及び M. Voyinovic⁽⁶²⁾, 日本の安芸⁽²⁶⁾などの注目すべき発表があり, 世界各国における関心が一段と高まっていることを有力に物語っているが,

問題の解決には前途の多難を感じざるを得ないようである。関係方面の技術者, 科学者の一層の努力と一般の協力を切に望んでやまない次第である。

文 献

- (1) H. U. Sverdrup and W. H. Munk: Wind, sea, and swell; Theory of relation for forecasting; Hydrographic Office, U. S. Navy, Publ. No. 601, 1947.
- (2) R. S. Arthur: Wave forecasting and hindcasting; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 82-87.
- (3) R. G. Folsom: Measurement of ocean waves; Trans. AGU, Vol. 30, 1949, pp. 691-699.
- (4) F. E. Snodgrass: Wave recorder; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., pp. 69-81.
- (5) M. A. Mason: The transformation of waves in shallow water; Ditto, pp. 22-32.
- (6) H. W. Iversen: Waves and breakers in shoaling water; Proc. of the Third Conf. on Coastal Engg., 1952, pp. 1-12.
- (7) J. W. Johnson, M. P. O'Brien and J. D. Isaacs: Graphical construction of wave refraction diagrams; Hydrographic Office, U. S. Navy, Publ. No. 605, 1947.
- (8) T. Saville and K. Kaplan: A new method for the graphical calculation of wave refraction diagrams; Bulletin of the Beach Erosion Board, Vol. 6, 1952.
- (9) J. A. Putnam and R. S. Arthur: Diffraction of water waves by breakwaters; Trans. A GU, Vol. 29, 1948, pp. 481-490.
- (10) J. W. Dunham: Refraction and diffraction diagrams; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 33-49.
- (11) W. J. Pierson, Jr. and W. Marks: The power spectrum analysis of ocean wave records; Trans. AGU, Vol. 33, 1952, pp. 834-844.
- (12) W. J. Pierson, Jr. and J. J. Tuttel: The theory of the refraction of a short crested Gaussian sea surface with application to the northern New Jersey Coast; Proc. of the Third Conf. on Coastal Engg., 1952, pp. 86-108.
- (13) John H. Healy: Wave damping effect of beaches; Proc. of Minn. Int. Hyd. Convention, 1953, pp. 213-220.
- (14) F. P. Shepard and D. L. Inman: Nearshore circulation; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 50-59.
- (15) J. A. Putnam, W. H. Munk and M. A. Traylor: The prediction of longshore currents; Trans. AGU, Vol. 30, 1949, pp. 337-345.
- (16) J. W. Johnson: Sand transport by littoral currents; Proc. of the Fifth Hydraulics Conf., 1953, pp. 89-109.

- (17) R. O. Eaton: Littoral processes on sandy coast; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 140-154.
- (18) Per Brunn: Measures against erosion at groins and jetties; Proc. of the Third Conf. on Coastal Engg., 1952, pp. 137-164.
- (19) J. V. Hall, Jr.: Artificially nourished and constructed beaches; Ditto, pp. 119-136.
- (20) R. Y. Hudson and L. F. Moore: The hydraulic model as an aid in breakwater design; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 205-212.
- (21) K. Kaplan and H. E. Pape, Jr.: Design of breakwaters; Ditto, pp. 213-222.
- (22) P. A. Hedar: Design of rock-fill breakwaters; Proc. of Minn. Int. Hyd. Convention, 1953, pp. 241-249.
- (23) R. Iribarren: A formula for the calculation of rock-fill dikes (A translation); Bulletin of the Beach Erosion Board, Vol. 3, 1949, pp. 1-16.
- (24) R. E. Hickerson and F. W. Rodolf: Design and construction of jetties; Proc. of the First Conf. on Coastal Engg., 1950, pp. 227-245.
- (25) J. M. Caldwell: Research activities of the Beach Erosion Board; Proc. of the Second Conf. on Coastal Engg., 1951, pp. 187-194.
- (26) K. Aki: Beach erosion in Japan; Proc. of Minn. Int. Hyd. Convention, 1953, pp. 227-230.
- (27) 岡田武松: 港の位置と主風の方向の關係に就き; 気象集誌, 創刊40年号第10号, 大正11.10, pp. 462-466.
- (28) 寺田寅彦: 海底の砂及粘土の移動について; 東洋学芸雑誌, 第38巻第475号, 昭. 4.
- (29) M. Nakano: Investigation on the effect of prevailing winds upon the depth of bays; Japanese Geophysical Magazine, Vol. 9, 1935; Vol. 10, 1936; Vol. 11, 1936.
- (30) 本間 仁: 日本海岸の漂砂に就いて, 土木試験所報告, 第64号, 昭. 17.2, pp. 59-83; 我が國沿岸の漂砂に関する調査報告, 同73号, 昭. 18. 11, pp. 11-18.
- (31) 荒本文四郎: 砂浜に於ける港湾の修築と漂砂との關係に就て; 土木学会誌, 第12巻第6号, 大正15.12, pp. 1155-1199.
- (32) 山本將雄: 浦戸港口漂砂問題研究及港湾計画論; 土木学会誌, 第22巻第4号, 昭. 11. 4, pp. 411-448.
- (33) 豊原義一: 夜見ヶ浜に於ける砂粒の配列に就て; 日本學術協会誌, 第11巻第2号, 昭. 11, pp. 177-182; 九十九里浜に於ける汀線傾斜に就て; 同, 第12巻第2号, 昭. 12, pp. 178-181; 砂浜海岸に於ける汀渚帯の傾斜に関する研究 (第3報); 同, 第14巻第3号, 昭. 14, pp. 391-395.
- (34) 新潟港技術調査委員会: 新潟港技術調査報告第1報, 新潟港の埋没並びに海岸欠損について, 昭. 23. 12; 同第2報, 新潟海岸の欠損について (浜田, 井島, 大久保), 昭. 24. 5; 同第3報, 同, 昭. 26. 12; 同第4報, 新潟港の埋没並びに海岸の欠損について, 昭. 27. 7.
- (35) 新潟縣: 新潟港技術調査委員会報告, 新潟港の改良について (埋没対策), 昭. 29. 8.
- (36) 富山縣海岸対策協議会: 富山湾海岸浸蝕調査報告書, 昭. 27. 2.
- (37) 富山縣土木部河港課: 同上, 昭和27年度第1報, 昭. 28. 2.
- (38) 鳥取縣漂砂対策調査委員会: 漂砂対策調査報告書, 昭. 25. 4.
- (39) 大阪湾泉南海岸浸蝕調査会: 泉南海岸浸蝕調査報告書, 第1報, 昭. 26. 4; 同第2報, 昭. 27. 10; 同第3報, 昭. 29. 1.
- (40) 徳島縣土木部河川課: 坂野海岸浸蝕調査報告書第1報, 現地調査の概要, 昭. 28. 1; 同第2報, 理論及び実験的考察, 昭. 29. 3.
- (41) S. Hayami, T. Ishihara and Y. Iwagaki: Some studies on beach erosion; Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., No. 5, 1953, pp. 1-29.
- (42) 佐藤清一: 漂砂に関する研究; 第1報, 沖波, 岸波, 砕波, 土木研究所報告第79号, 昭. 25. 3, pp. 109-141; 第2報, 砕け波と陸岸浸蝕に関する実験 (吉川と共著), 同, pp. 143-163; 第3報, 弓ヶ浜 (夜見ヶ浜) の漂砂について (細井と共著), 同第81号の5, 昭. 26. 3, pp. 1-44; 第4報, 浅水表面波について, 第82号の5, 昭. 27. 3, pp. 1-28; 第5報, 海岸防砂堤の長さとの間隔について, 同第83号の4, 昭. 27. 3, pp. 1-19; 第6報, 風と波との關係について, 同第85号, 昭. 27. 7; 第7報, 波動による海底剪断力と底質の移動 (岸と共著), 同第85号の6, 昭. 27. 7.
- (43) 浜田徳一: 河口港としての石巻港の研究; 運輸省港湾局技術研究課, 昭. 25. 3, pp. 1-121.
浜田徳一, 大久保喜市, 長谷直樹: 石巻港および渡波港技術調査報告; 運輸省港湾物象部, 昭. 26. 3, pp. 1-95.
- (44) T. Hamada: Breakers and beach erosions; Report of Transportation Technical Research Institute, No. 1, 1951, pp. 1-165.
- (45) 安藝皎一: 昭和25年度科学試験研究費補助金報告, 「海岸浸蝕」及び「洪水対策」に関する報告, 昭. 26. 3.
日本學術振興会: 昭和25年度文部省科学試験研究費研究報告集録 (土木建築編), 昭. 27. 3; 昭和26年度同上, 昭. 27. 9, pp. 40-45.
- (46) 日本學術振興会: 昭和26年度同上, pp. 36-39; 昭和27年度同上, 昭. 28. 9.
- (47) Y. Ikeda: On the movement of sand along the model of breakwater, on the seawall, and so on; The Memoires of the Faculty of Engg., Hokkaido Univ., Vol. 9, No. 1,

- 1952; etc.
- (48) 池田芳郎: 昭和25年度昭和26年度苫小牧海岸調査報告書; 北海道土木試験所彙報, 第5号, 昭. 27.3, pp. 1-89; その他.
- 眞嶋恭雄: フロートによる沿岸流測定法について; 土木学会誌, 第38巻第10号, 昭. 28.10; 港湾における沿岸流及び最大波高の推定について; 同第39巻第8号, 昭. 29.8; その他.
- その他, 池田芳郎, 眞嶋恭雄, 溝口 裕など多くの北海道大学関係者の論文が, 北海道大学工学部紀要, 同理学部紀要, 北海道土木試験所報告などに多数発表されている.
- (49) 市栄 啓; 神戸港における風による潮位偏差; 中央気象台海洋報告, 第3巻第1~2号, 昭. 28.6, pp. 13-16.
- 市栄 啓, 森安茂雄, 北村弘行: 川口附近の海況について; 同上, 第2巻第4号, 昭. 28; その他.
- 市栄 啓; 台風高潮および港湾の水理について; 土木学会水工学論文集, 昭. 28.3, pp. 55-76.
- T. Ichie: Some remarks on the non-linear theory of shallow water waves on a sloping beach; *Oceano. Magazine*, Vol. 4, No. 4, 1953; etc.
- (50) 田中 清: 防波堤の水理; 土木学会水工学論文集, 昭. 28.3, pp. 99-116.
- K. Tanaka: On the sea-waves; *Techn. Reports of the Osaka Univ.*, Vol. 3, No. 65, 1953, pp. 113-123; On the distribution of waves in harbour; Ditto, Vol. 3, No. 81, pp. 275-282.
- (51) 永井莊七郎: 水工学の立場から見た最近における波の研究; 土木学会水工学論文集, 昭. 28.3, pp. 77-97.
- (52) S. Sato and T. Kishi: Experimental study on the height of seawall; *Jour. of Research of the Public Works Research Institute*, Vol. 1, July 1954, pp. 45-55; etc.
- (53) T. Ishihara and Y. Iwagaki: On the effect of sand storm in controlling the mouth of the Kiku River; *Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.*, No. 2, 1952, pp. 1-32; etc.
- (54) 秋田港技術調査委員会: 秋田港改良計画について, 昭. 29.4, pp. 1-109.
- (55) 運輸省京浜港工事事務所, 運輸技術研究所港湾物象部: 京浜港附近の風と波, 昭. 28.9, pp. 1-34.
- (56) 石原藤次郎: アメリカの大学, 研究所を訪ねて; 土木学会誌, 第39巻第4号, 昭. 29.4, pp. 173-177.
- (57) Council on Wave Research, The Engineering Foundation: *Proc. of the First Conf. on Coastal Engineering*, 1950, pp. 1-334.
- Ditto: *Proc. of the Second Conf. on Coastal Engg.*, 1951, pp. 1-393.
- Ditto: *Proc. of the Third Conf. on Coastal Engg.*, 1952, pp. 1-343.
- Ditto; *Proc. of the Fourth Conf. on Coastal Engg.*, 1953, pp. 1-398.
- (58) D. O. Elliott: The Beach Erosion Board; *Proc. of the First Conf. on Coastal Engg.*, 1950, pp. 126-131.
- (59) F. Sequet and A. Wallet: Basic experimental wave research; *Proc. of Minn. Int. Hyd. Convention*, 1953, pp. 173-191.
- (60) J. Valembois: Investigation of the effect of resonant structures on the wave propagation; Ditto, pp. 193-199.
- (61) R. C. H. Russel and Sir C. Inglis: The influence of a vertical wall on a beach in front of it; Ditto, pp. 221-226.
- (62) L. Levin and M. Voyinovic: Effect of distortion on sea-hydraulic models with movable bed; Ditto, pp. 235-240.