

海浜変形実験用大型造波水路の建設と計測システム

中村 宏*・鹿島 遼一**・斉藤 昭三***
丸山 康樹**・清水 隆夫**

1. はじめに

本論文は、実規模に近い波浪条件のもとで、砕波帯近傍の海浜縦断地形の変化を測定するために新たに建設した、プロトタイプ水路施設の概要を報告するものである。

2. 施設の概要

造波水路は鉄筋コンクリート製で延長 205 m、幅 3.40 m で造波機側 115 m は 6.0 m の一様水深部、さらに岸側は勾配 1/15 の斜面部で、上部 1.5 m が地上に出る構造となっている（図-1 参照）。水路端部の斜路を通じて直接資材運搬用ダンプトラックの水路への進入が可能である。造波機は図-2 に示すようにピストン型で、側面および底面沿いに設けた止水装置により造波板背後は浸水しない構造となっており、370 kW のモータ 2 機で駆動する油圧ポンプを油圧源とする電気・油圧サーボ機構によって制御され、最大 2 m の波高が発生可能である。造波板実重量 10 t 強と装置が大きく、急激な運転は危険なため緩起動・緩停止装置を有すると共に、地震・漏水・油圧低下・油温上昇・負荷過大等を感じると自動的に緩停止し、油圧ユニット室内および操作計測室の操作盤上に表示される（図-3 参照）。通常

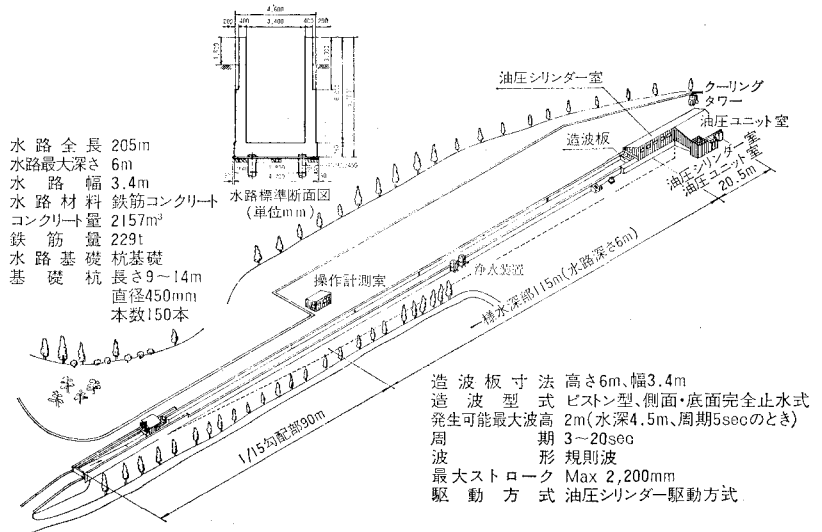


図-1 海浜変形実験用大型造波路仕様

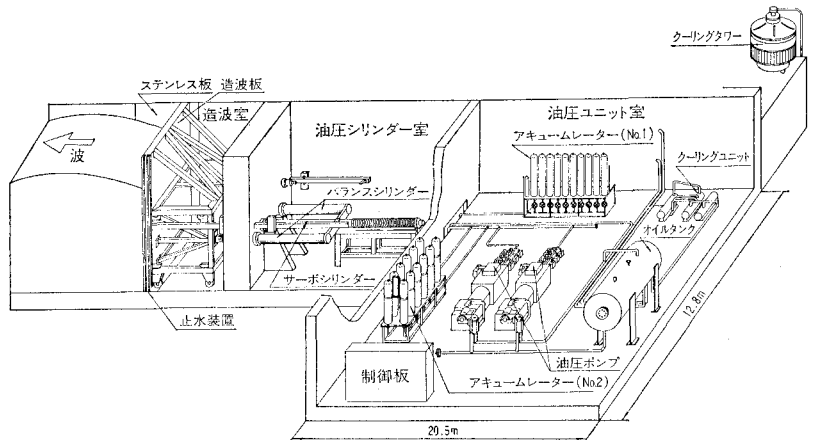


図-2 造波設備概略図

の運転操作は水路中央部付近の操作計測室において行う。その他に付帯設備として、計測用走行台車および浄水装置（最大処理能力 120 m³/時）を有する。

3. 造波水路の建設

水路底面にかかる設計荷重は、水、模型、波力、運搬車等を考慮して、最大 14 t/m² とし、水路各部の使用状

* 正会員 電力中央研究所 企画部
** 正会員 工修 電力中央研究所 土木技術研究所 海岸水理研究室
*** 電力中央研究所 土木技術研究所 海岸水理研究室

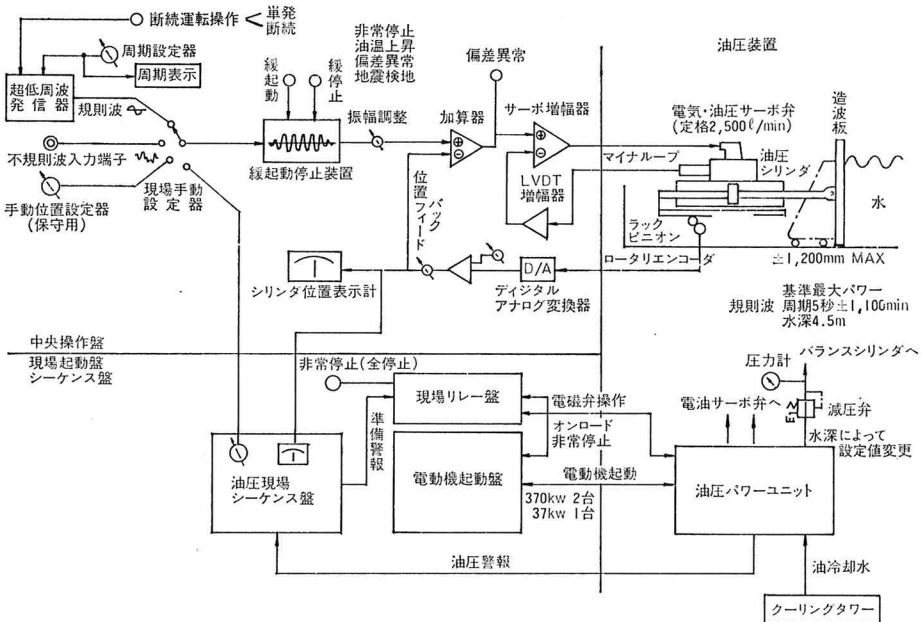


図-3 造波機制御系統図

況を想定して変化させた。水路建設地点の土質条件は地表から 4.3 m が関東ローム層で、その下に砂質土があり、 N 値 40 の支持層上面は地表から 9.6~10.5 m に位置する。水路躯体と設計荷重を支持するため、直径 450 mm の PC 杭を 2 列打設し、杭先端部 N 値は 50、支持力は杭 1 本につき 92~97 t (安全率=3.0) とした。水路底板厚 75 cm、側壁厚は上部で 40 cm、下部で 60 cm であり、これを長さ 25 m のブロック毎にコンクリートを打設して製作した。写真-1, 2 に基礎杭打設およ

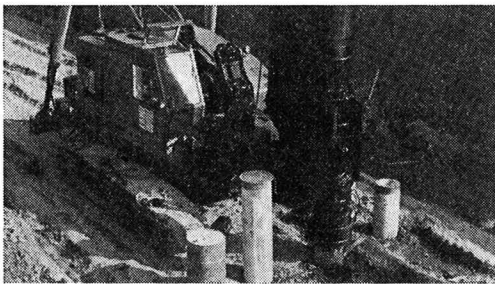


写真-1 水路基礎杭打設状況

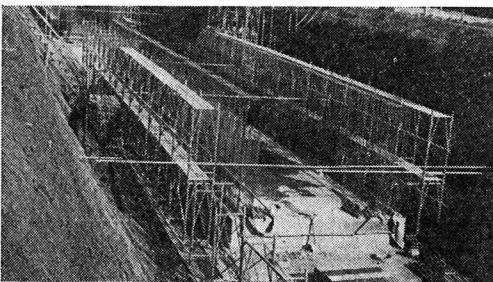


写真-2 水路本体の製作工事

び水路製作工事の状況を示す。造波推力の反力は、造波室・油圧シリンダ室間の厚さ 1 m の隔壁で受けることとし、3 本の油圧シリンダを隔壁に固定するフランジは鉄筋組立時に隔壁と控壁および底版の鉄筋と一体化した。使用水量が 2000 m³ に達するため、6 ケ所にゲート溝を設けて、模型製作時等に部分的排水ができるようにした。油圧ユニット室および油圧シリンダ室は延長 20.5 m、幅 12.8 m で、上載荷重として機器 300 kg/m²、群衆 100 kg/m² を考慮した。これらに使用したコンクリート量は 2157 m³、鉄筋重量 229 t、杭数 150 本で、土木工事に約半年を要した。

4. 造波装置の設計

砂の移動が顕著に見られる水深の目安として、碎波帯近傍の凹型地形断面の大きさを表わす Swart (1974)¹⁾ の D-profile の深さ h_m を、代表的波浪および底質粒径に対して算定して表-1 に示した。この結果から見て、水深 4.5~5.0 m、周期 5~10 sec の実験を行える規模が必要である。

本水路造波装置は水路敷地条件と費用比較の結果、水深 4.5 m において周期 5 s、波高 2.0 m の最大波を発

表-1 Swart (1974)¹⁾ の D-profile の深さ

波 条 件	周 期	沖波波高	中 央 粒 径		
			100 μ	300 μ	500 μ
3 sec	1.5 m	9.2 m	5.9 m	4.5	
5	2.0	7.1	5.2	4.5	
7	2.0	5.8	4.6	4.1	
10	1.0	3.6	3.2	3.0	

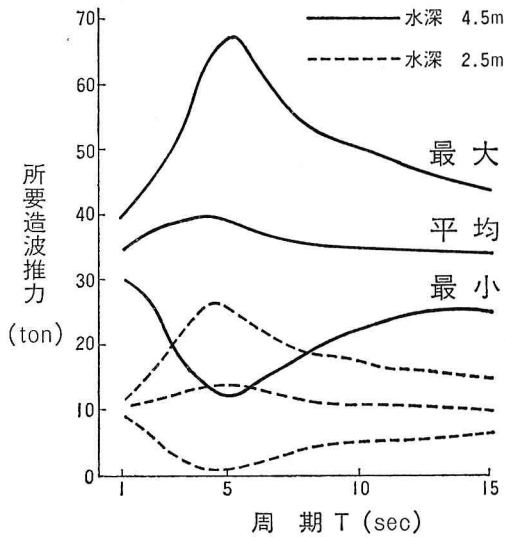


図-4 周期別所要造波推力計算値

生し得る規模とした。発生波は規則波として、Biesel et Suquet (1951) の造波理論を基に周期別に最大造波推力を算定した結果を図-4 に示す。ただし、造波移動全振幅(ストローク: $2R$)は理論値より 20% 多く見積ると、周期 5s で 2200mm を要し、5s 以上ではこれを上限とし、5s 以下では砕波するため所要ストロークは小さくなる。この結果、造波力は最大で静水圧分 40.3t、動的推力 ± 27.6 t となる。さらに機械的摩擦係数 1t、造波板重量(設計時想定で 15t)を考慮した最大速度 138 cm/s、最大加速度 174 cm/s^2 を発生し得る油圧装置として、水深に応じた静水圧分を 2 基のバランスシリンダーが分担し、動的造波推力を 1 基の加振用サーボシリンダーで発生させる方式を採用した。バランスシリンダーのストローク変動に伴う容積変化およびサーボ弁供給圧力変動の補償はアキュムレータで行う。サーボシリンダーの最大変位量は $\pm 100 \text{ mm}$ の余裕を見込んで全長 2400mm に及ぶため、位置検出機構はラックピニオンとロータリーエンコーダを用いた。位置情報等の制御系の信号および警報は中央操作盤に連絡され、主電源投入以外は全て操作室で作動監視できるようにした(図-3 参照)。造波板周縁の止水装置の摺動部材は幅 24mm の低摩擦係数の耐摩耗性高分子物質のテープである。このテープを耐水ウレタンゴムを介して空気チューブにより圧力 1.5 kg/cm^2 で水路摺動部に押し付けている。水路摺動部は厚さ 12mm の SS41 の鋼板部材を水路と一体化し、その表面に厚さ 5mm の SUS304 ステンレス鋼板を貼り付けた構造である。写真-3 は造波板背面の構造を示すものである。図-5 は周期毎に発生波高と造波板ストロークの比を示したもので、図中の $\bigcirc \Delta \square$ は一様水深部波高がそれぞれ 0.5m、1.0m、1.5m のテスト結果であ

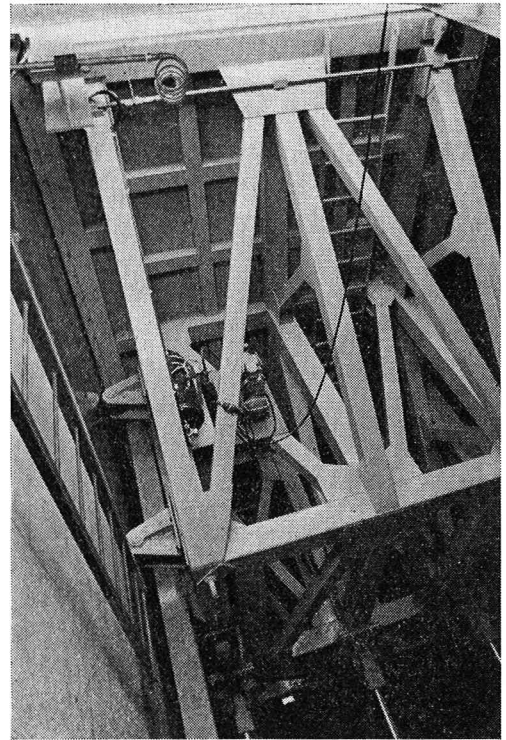


写真-3 造波板

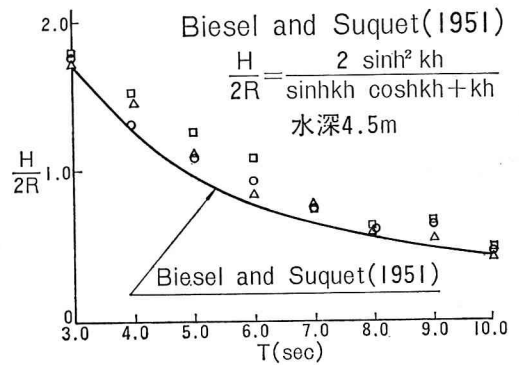


図-5 造波板ストローク・波高比の実測値

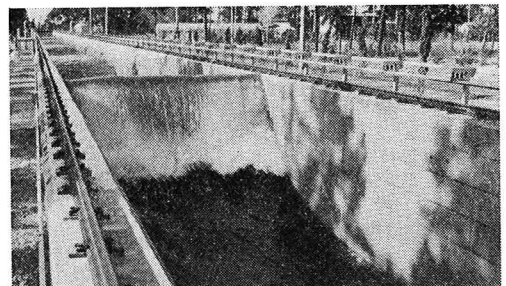


写真-4 発生波の状況

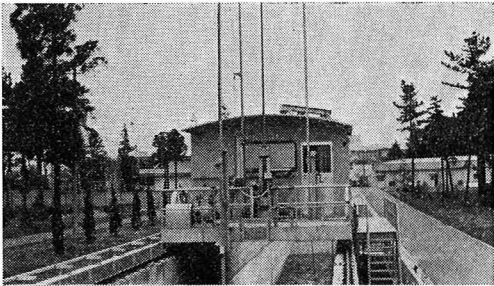
る。微小振幅波による理論曲線より波高はやや上まわるが傾向は良く一致している。写真-4 に波の発生状況を示す。テストの結果、造波装置は波高 2m の波を発生

することが可能であり、サーボ制御系の動作も所期の精度を実現できることが確認された。

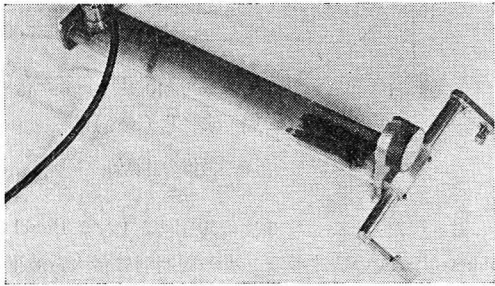
5. 計測システム

本水路は計測用走行台車（重量 5 t、最大走行速度 45 cm/s）を備え、各種計器の支持・移動に供している（写真—5）。測定器は現場用に開発された機種を用いるため、測定精度および操作性の比較検討を行う必要があった。特に波高計については 6 方式 7 機種の試験を行い、大型水路実験用としての特性比較をした。精度の比較対象は波高計設置位置における VTR による水位記録であ

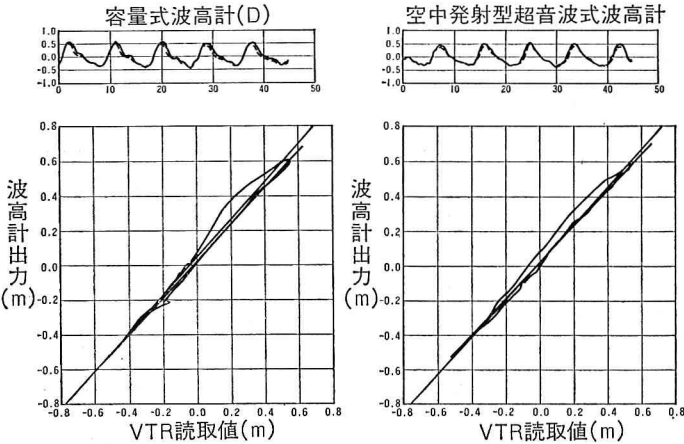
る。図—6 は結果の一例であり、表—2 に集約した。結局、波高計としては容量式と空中発射型超音波式を併用し、流速計は電磁式を採用した。測深器としては、水中部は校正用送受信部（校正距離 200 mm）を有する超音波式を、また陸上部は接触式砂面計を用いた。台車位置と支持器鉛直位置はエンコーダにより検出し、測深器出力を監視しつつ台車移動とともに支持器を上下させることにより、水平距離 50 mm 毎に水深データのサンプリングを実行するシステムとした。写真—6 に測深器を示す。砂漣のような微地形計測にも同様の方式を採用しているが、サンプリング間隔は 1 mm である。測深を含



写真—5 計測用走行台車



写真—6 超音波型測深器 (A型)



図—6 波高計出力と VTR 読取水位の比較例——容量式波高計 (D) と空中発射型超音波式波高計

めて、測定は容量 20 KB のマイクロコンピュータで制御するデータ集録システムを計測台車に搭載して行っている。データの 1 次処理以降の複雑な処理にはオフラインで大型計算機 (FACOM M200 および M160F) を用いている。

謝辞: 造波装置を設計するに際し、東京大学堀川清司教授および中央大学服部昌太郎教授より、オレゴン州立大学の造波装置に関する情報を頂いた。また、同大学 Nath 教授からは懇切に同装置を見せて頂いた。ここに表記して、謝意を表します。

表—2 大型水路用波高計の特性比較

参 考 文 献

1) Swart, D. H.: A schematization of onshore-offshore transport, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 884~900, 1974.
2) Biesel, F. et F. Suquet: Les appareils générateurs de houle en laboratoire, La Houille Blanche, No. 2, pp. 147~165, 1951.

波 高 計	比較項目	波高の精度	零 点 不 変 動 性	追 従 性	波 形 記 録 の 安 定 性	据 付 ・ 移 動 の 容 易 性	極 浅 水 域 で の 使 用
水 中 発 射 型 超 音 波 式		良	良	良	やや良	不 良	不 可
空 中 発 射 型 超 音 波 式		良	良	良	やや不良	良	可
抵 抗 線 式		やや良	良	良	良	やや良	不 可
容 量 式 (K)		やや良	やや良	不 良	良	やや良	不 可
容 量 式 (D)		良	良	やや良	良	やや良	不 可
ブ イ 式		やや良	やや良	不 良	良	良	不 可
ストレインゲージ型水压式		やや良	良	良	良	やや良	不 可