

中型実験水槽および造波機について

鴻上雄三* 佐藤 功** 杉本義昭***

目 次	
1. ま え が き	6
2. 設 計 条 件	6
(1) 水槽の規模	6
(2) 模型波の諸元	6
(3) 設 計 条 件	8
3. 水槽の構造	8
4. 造 波 機	9
(1) 造波方式	9
(2) 所要出力	9
(3) 一般構造	11
5. その他の部分構造	11
(1) 造波板	11
(2) 移動装置	11
(3) 消波装置	12
6. あとがき	12
参 考 文 献	

1. ま え が き

水理模型実験は、複雑な水理現象を実物と相似の模型により実証的に解決しようとするもので、港湾計画策定の1つの有力な手段となっている。しかし、港湾の大規模化、広域化や、港湾、海岸水理実験における精度の向上化は、必然的に模型を大型化、大縮尺化させ、大がかりな設備を要求する。

この報文は、このような要請に応じるため、また、第3期北海道総合開発計画の策定により建設が具体化した石狩新港の施設配置計画を検討する模型実験のために、46年度当所構内に新設した中型水槽および造波機について、その規模、方式、機構、構造の概略を述べたものである。

2. 設 計 条 件

(1) 水槽の規模

この実験水槽は、さし当たり石狩新港の波浪遮閉効果および漂砂による埋没防止の実験を行なうために計画されたものであるから、規模はその目的に見合ったものでなければならない。

第3期計画における石狩新港の完成形は、距岸400m、現水深4m線に、沖方向延長400m 2バース埠頭5基を櫛状に並べ、この埠頭群を被覆する島堤4,500mを距岸1,200m、水深9m線に配置し、さらに埠頭群の両端に外港部を形成する南、北防波堤1,200mずつを突堤式に延長し、港内を9,12mに浚渫する計画となっている。

通常、遮閉実験の場合には、防波堤および側壁の反射波による初期条件とは異なる好ましくない擾乱を防ぐた

めに、水槽は、港の縦横寸法の2~3倍の大きさを必要とし、一方、模型の縮尺は、水深にもよるが1/100~1/150が限界とされる。

したがって縮尺を1/150としても、石狩新港の実験のための水槽は、縦20~30m、横60~90mの非常に大きなものとなる。しかし、港の形が突堤式で左右対称であること、等深線に起伏がなく海底勾配がほぼ一様であること、波の来襲方向が海岸線に直角であることなどに注目すれば、水槽には港域全体を収容する必要のないことがわかるので、既設建物に囲まれている敷地の制限に合わせて有効面積18×30mを確保することに決めた。

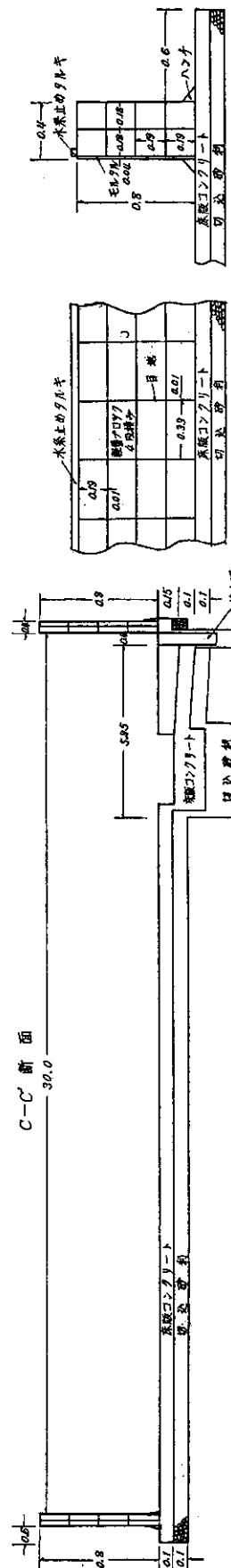
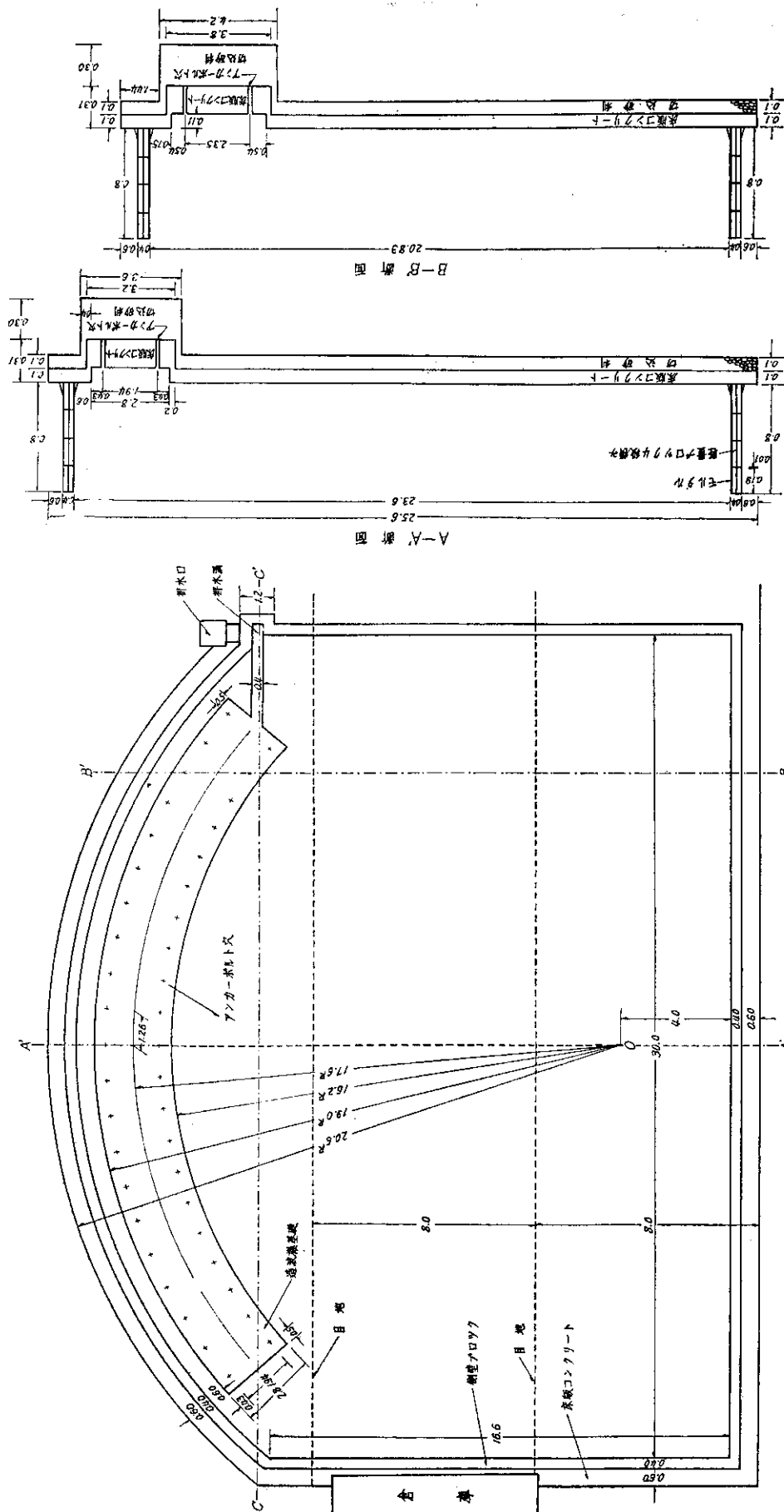
深さは、遮閉実験のためには50cmで十分であるが、将来、有効水深50cmの3次元実験が行なえるよう80cmをとることとした。

(2) 模型波の諸元

造波機の設計のための基本要素は模型波の諸元である。また、この実験設備は前記のとおり3次元実験に備えた機能を持たせておかなければならない。

いま、模型の縮尺を1/20~1/200とした場合、模型波の波高、周期はFroudeの相似律より表-1のとおり計算される。この表から、模型波として波高15cmまで、周期2.1secまでをとれば、縮尺1/30（この場合、周期10sec以上の波を除く）までの実験が可能であることがわかる。

また波向は、通常外海に直面する港ではほぼ±60°の来襲範囲を持つので、この範囲を任意に選べるような設備としておくのが望ましい。しかし、波の屈折現象、模型実験の目的を考慮すれば、かなりの範囲に波向を狭め



図一 中型水槽構造図

表-1 Froude 相似律による換算

縮尺 $1/n$	30×18m水槽 収容範囲(km)	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	周 期 (sec)		波 高 (cm)	
			模 型	現 地	模 型	現 地
1/ 20	0.6×0.36	$\frac{1}{4.47}$	2.1	9.39	35.0	700
			1.0	4.47	25.0	500
			0.5	2.24	15.0	300
			0.35	1.56	5.0	100
1/ 30	0.9×0.54	$\frac{1}{5.48}$	2.1	11.51	23.3	700
			1.0	5.48	16.7	500
			0.5	2.74	10.0	300
			0.35	1.92	3.3	100
1/ 50	1.5×0.9	$\frac{1}{7.07}$	2.1	14.85	14.0	700
			1.0	7.07	10.0	500
			0.5	3.54	6.0	300
			0.35	2.47	2.0	100
1/100	3.0×1.8	$\frac{1}{10}$	2.1	21.0	7.0	700
			1.0	10.0	5.0	500
			0.5	5.0	3.0	300
			0.35	3.5	1.0	100
1/150	4.5×2.7	$\frac{1}{12.25}$	2.1	25.73	4.7	700
			1.0	12.25	3.3	500
			0.5	6.13	2.0	300
			0.35	4.29	0.7	100
1/200	6.0×3.6	$\frac{1}{14.14}$	2.1	29.69	3.5	700
			1.0	14.14	2.5	500
			0.5	7.07	1.5	300
			0.35	4.95	0.5	100

ることができる。また石狩新港の場合は、港の形、地形の特徴を考えれば、通常の半分以下にとることができる。さらに、この水槽では幅員が既設建物に制限されるという条件があるので、波向の可変範囲はそれによって決められた。

したがって、所要模型波の諸元としては次のように決定した。

1. 実験可能最大波高：15cm
2. 実験波周期：0.35～2.1sec
3. 波向：造波板設置地点において±22.5°の範囲

(3) 設 計 条 件

ここで設計条件をまとめて列記すれば次のとおりである。

1. 実験可能最大波高15cm、周期 0.35～2.1sec、波向±22.5°の範囲とする。
2. 波高、周期、波向は連続的に可変である。
3. 長時間の連続運転が可能である。

4. 施設の操作、維持管理が容易である。
5. 施設は屋外に作られ、仮設的なものである。
3. 水槽の構造

水槽は上屋を持つ永久構造ではないので、床盤を浅く置換したコンクリート舗装面に建築用軽量ブロックを重ね積みして、内壁をモルタル仕上げる簡易構造をとった。水槽の一般構造を図-1に示す。

構造の概略および施工に当たって注意すべき事項を列記すれば次のとおりである。

1. 床版は、地盤を20cm厚さに掘削し、砕石を10cm厚さに敷き均し、表面10cmをコンクリート舗装する構造とした。目地は8m間隔に厚さ10mmのエラストイト板を挿入したが、コンクリートの収縮、膨張により空隙ができて若干の漏水があったので、今後は表面3cm程度をアスファルト仕上げる事が望ましいと考える。
2. 造波機はレール上を移動する方式を採用し、敷地の都合でこれを水槽内に設置することとした。この部分

の床版は、厚さ30cmの碎石層上に厚さ20cmのコンクリート舗装する構造とした。

3. 側壁は39×19×18cmの建築用軽量ブロックを2列4段積みとしたが、ブロック目地は上下、左右とも1cm厚さとするほか、空洞部分にはコンクリート填充して重量と強度とを持たせた。ブロック壁面からの透水を

完全に防止するためには、側壁内面を2～3cm厚さにモルタル仕上げする必要がある。

4. 造波機

(1) 造波方式

造波機構として現在考えられている方式は、表—2¹⁾に示すとおり各種のものがある。われわれの選定条件と

表—2 造波型式の比較

型 式	建設費	慣性	反射性	調整	維持	可搬性	運動	波高の計算
フラッター型	やや低廉	小	強	容易	低廉	やや容易	深海波に適す	可
ピストン型	低廉	小	強	容易	低廉	やや容易	浅海波に適す	可
ベンジュラム型	やや低廉	普通	強	やや複雑	ごく低廉	難	各種の波に適す	可
空気式	低廉	なし	弱	やや複雑	低廉	容易	長周期波に適す	難
プランジャー型	やや高価	大	やや強	容易	低廉	容易	表面波に適す	難
サーベント型	高価	普通	強	複雑	高価	難	浅海波に適す	不明
偏心ローラー型	低廉	やや大	やや弱	複雑	低廉	容易	長周期波に適す	難

しては建設費、調整、維持費、可搬性が上げられ、この表からフラッター型、ピストン型、プランジャー型が選ばれるが、運転中に波高、周期を任意に変えられる機能を持たせておくのが便利である。

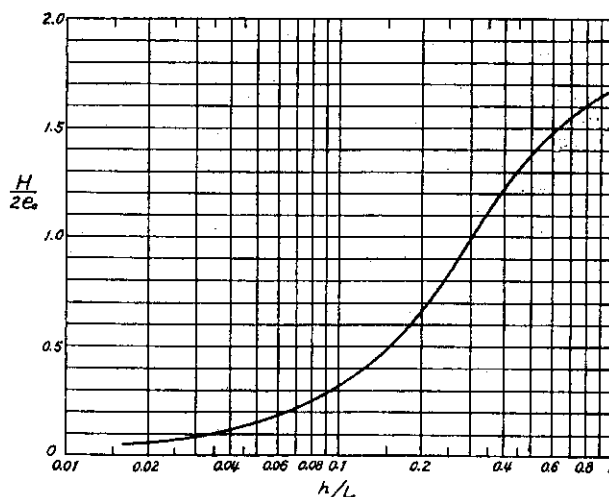
後者の要求を充たすものとして、われわれはすでに10数年来、フラッター機構に組み入れた特殊の偏心機構を持つ製品を使用しているため、その方式を採用することにした。

フラッター方式による発生波高の理論値¹⁾は、水面における造波板の振幅を e_0 とすれば、

$$H = 8e_0 \frac{1 - \cosh kh + kh \sinh kh}{\sinh 2kh + 2kh} \cdot \frac{\sinh kh}{kh} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $k = 2\pi/L$ 、 L ：波長、 h ：水深。

図—2に式(2)による理論曲線を示す。



図—2 フラッター方式による発生波高

表—3 フラッター方式における最大所要出力

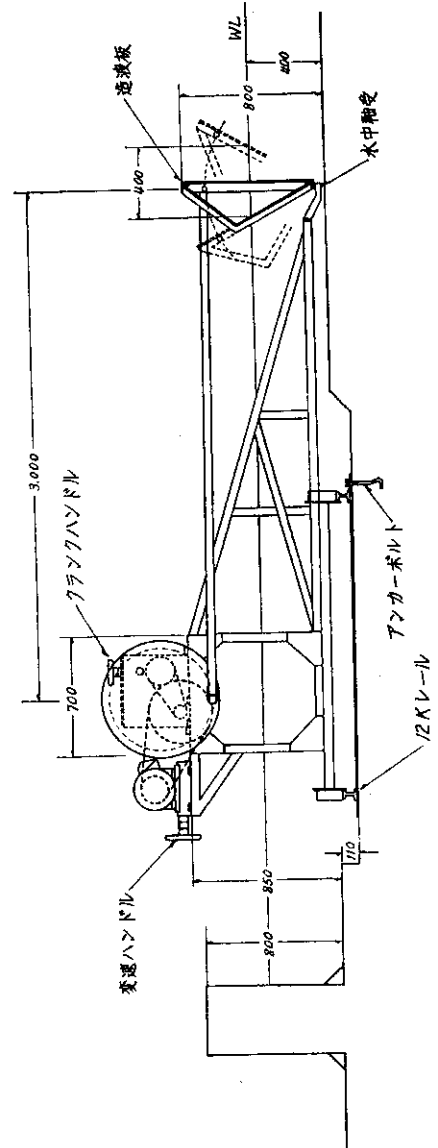
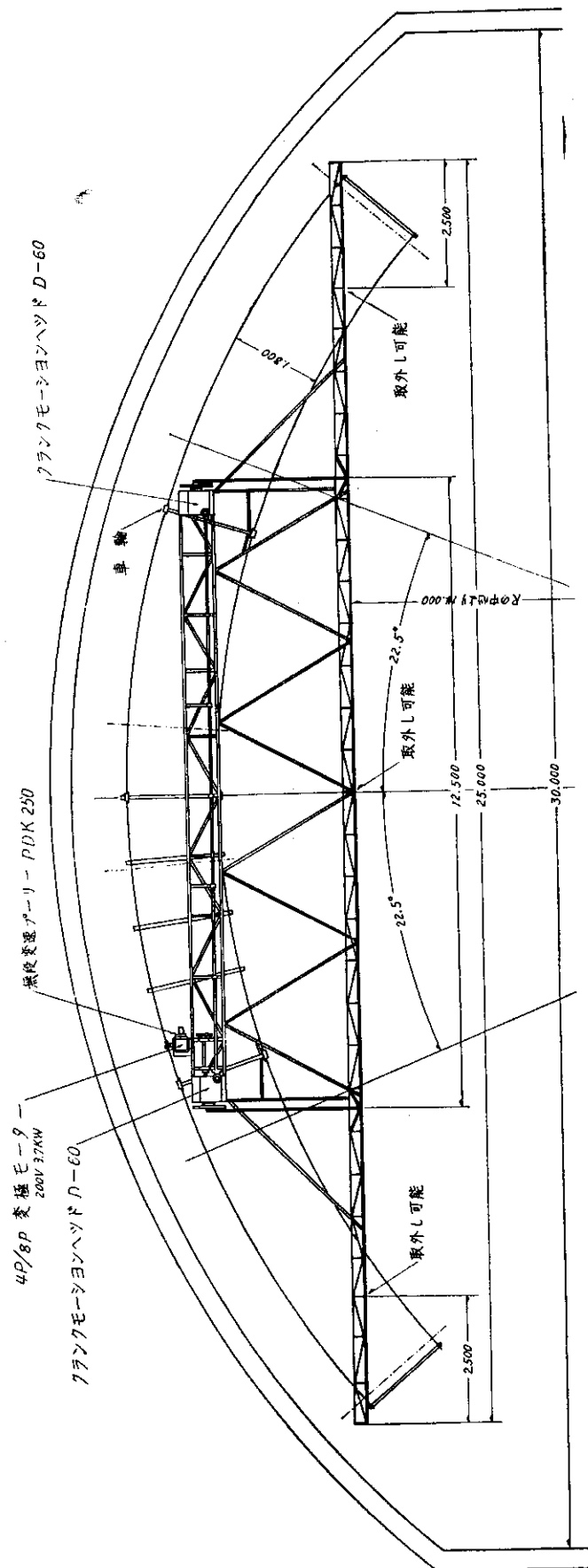
h (m)	T (sec)	L (m)	$\frac{h}{L}$	$2kh$	$\sinh 2kh$	$\frac{kh}{\sinh 2kh}$	$\frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh 2kh}$	W (HP)		
								H=0.1 (m)	H=0.15 (m)	H=0.2 (m)
0.3	0.4	0.25		15.072	∞	0	0.50	0.74	1.67	2.96
	1.0	1.37	0.219	2.750	7.789	0.18	0.68	2.22	5.00	8.88
	2.0	3.26	0.092	1.156	1.428	0.40	0.90	3.49	7.85	13.96
0.4	0.4	0.25		20.096	∞	0	0.50	0.74	1.67	2.96
	1.0	1.46	0.274	3.442	15.64	0.11	0.61	2.12	4.77	8.48
	2.0	3.69	0.109	1.362	1.824	0.37	0.87	3.83	8.62	15.32
0.5	0.4	0.25		25.120	∞	0	0.50	0.74	1.67	2.96
	1.0	1.51	0.331	4.158	31.90	0.07	0.57	2.05	4.61	8.20
	2.0	4.05	0.123	1.550	2.250	0.34	0.84	4.05	9.11	16.20

(2) 所要出力

フラッター型造波機の原動機の所要最大出力は、発生波のエネルギー伝播から求められる式(2)によって得られる²⁾。

$$W = \frac{6.67H^2LB}{\eta T} \left(\frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh 2kh} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 W ：所要最大出力(HP)、 H ：波高(m)、 L ：波長(m)、 B ：造波板幅員(m)、 T ：周期(sec)、 η ：機械



図一-3 造波機構造図

効率 ≈ 0.7 。

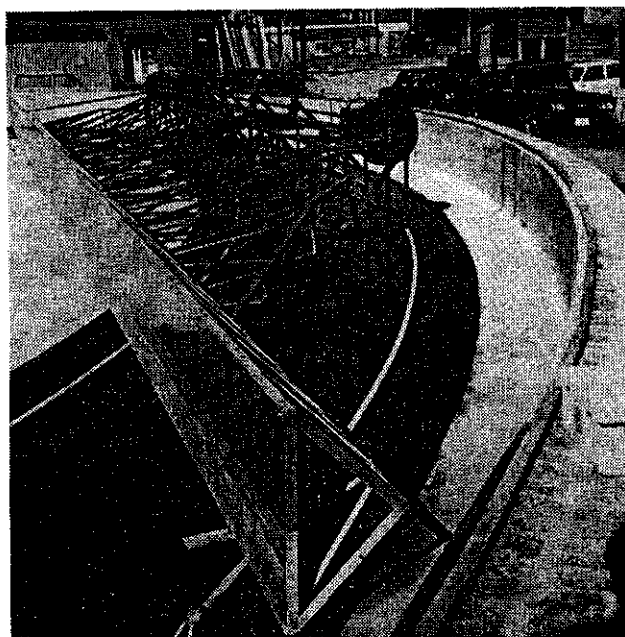
式(2)を計算すると表—3が得られる。この造波機の設計条件は、全周期について実験可能最大高波が15cmであるから、この表によりほぼ10HPの出力を要することがわかる。しかし、造波板幅員25m全体について15cmの波高を造った場合、水槽の奥行に対し波長がかなり長くなり、所定の波数を得ることが困難なので実際にはこのような使い方はできない。波高15cmを必要とする場合は造波板幅員を12.5mに折半して、水槽を縦長の方向に使

用する予定であるので、所要出力は1/2の5HPで十分と考えた。

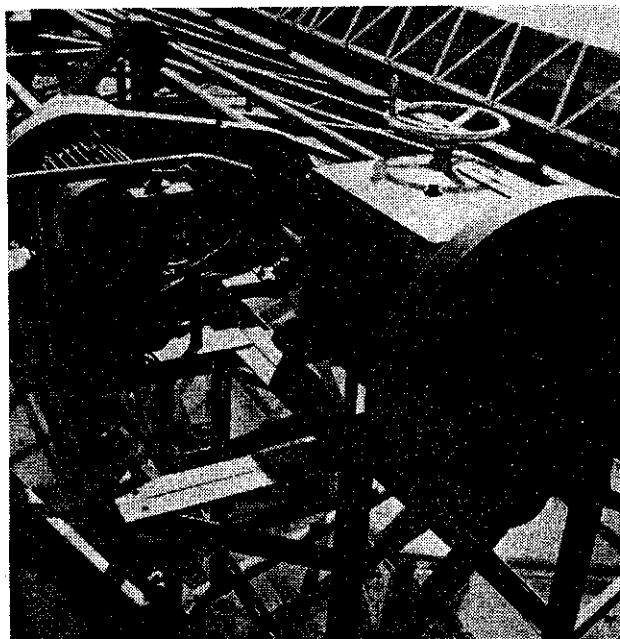
(3) 一般構造

造波機の構造を図—3、写真—1、2に示す。

造波板を含めて一連の造波機は、L型鋼で作られた架台に組み立てられており、6個の車輪により半径16.2、19.0mのレール上を $\pm 22.5^\circ$ の範囲で所要の位置に移動され、車輪とレールとを緊結するブレーキにより固定される。



写真—1 造波機の全景



写真—2 動力の伝達機構

4P/8P変極モーター(5HP)により高速、低速に減速された回転は、無段変速プーリーによりさらに減速され、周期0.35~1.0sec、0.7~2.1secの2段階で、架台の両端に置かれた2台のクランクモーションヘッドD—60型に伝達される。

クランクモーションヘッドには2個1組みのヘリカルギヤーが内蔵され、クランクハンドルを回転することによって1個が他の1個の軸方向へ移動する。そのときの噛み合いの変化を利用してクランク板に偏心を起こさせ、そのクランク板に接続しているロッドの振幅を、0~60cmの範囲で作動中に連続的に変換できる機構になっている。

2台のクランクモーションヘッドはギヤーがそれぞれ中間軸によって連結され、1台の作動によるクランクの偏心量に対して他が同調するようになっている。このような機構で幅広い造波板を双軸のロッドで押すことは、造波板の好ましくない横振動を防止することにも役立つ。

5. その他の部分構造

(1) 造波板

造波板は幅12.5m、高さ80cmのアルミ製トラス構造のもの2枚を、中央でボルト止めして幅25mを与え、架台と一体に組むことによって可動性を持たせている。また、水槽幅員が狭いため造波機を移動すると水槽壁に衝突するので、両端2.5mずつをボルトにより着脱式とすることによってこれを防いでいる。

(2) 移動装置

波浪遮閉実験では波向が重要な要素であるから、任意の方向の波が与えられるよう造波機を可動式にしておくことが必要である。われわれは4.(3)で述べたようにレール上を走行させる方法をとったが、レールは敷地の都合で水槽内周に敷設した。また、一連の造波機の総重量は約1.5tで、数人の力で容易に移動できる重量であるが、車輪とレールとの接点における錆び、ゴミ屑の付着などで摩擦力が大きくなるので、自走式とする必要がある。

(3) 消波装置

この水槽は、かまぼこ型平面形をとっているのので、造波板背後からの波が円周部分に集中するおそれがある。その防止のため、ステンレス切削屑を充填した丸鋼棒、金網張りの台形消波装置で円周部分を囲んでいる（表紙の写真参照）。

6. あとがき

以上、最近完成した当所の中型実験水槽と造波機の概略について述べた。設計、施工に当たって特に新機構を取り入れたとか、技術的に困難を伴ったという点は少な

いが、この種の計画に参考になれば幸いである。終わりに、工事費、施工者を付記する。

水 槽：2,845千円，KK坂井工業（札幌市）

造波機：3,445千円，KK早坂機械製作所（札幌市）

参 考 文 献

- 1) 鶴田，久田：大型造波水路の設計について，運輸技術研究所報告 vol. 7, No. 11, 1957.11.
- 2) 合田：水理模型実験施設，港湾技術要報 No. 44 1965. 1.

寄 贈 交 換 技 術 誌 一 覧 （和雑誌）

日 立 評 論

三 菱 重 工 技 報

神 戸 製 鋼

富 士 鉄 技 報

小 松

カ ラ ム

小野田研究報告

アスファルト

日 本 製 鋼 技 報

日 本 鋼 管 技 報

鹿 島 建 設 月 報

鹿島建設技術研究所年報

フジスチールデザイン

鉄道技術研究資料

調査研究（拓銀）

北海道農業試験場（報告）（集報）（土性調査報告）

調査研究報告（道寒建）

地下資源調査所報告

林業試験場北海道支場年報

北 水 試 月 報

水産庁北海道区水産研究所研究報告

北海道さけ・ますふ化場研究報告

北海道立水産試験場報告

日本の科学と技術

科学技術庁月報

科学技術庁年報

科学技術調査

東京工業試験場報告

東京工業試験場年報

石川島播磨技報

島 津 評 論

藤田組技術研究所報

技術研究所年報（北電）

労働衛生研究所研究報告

日本学術会議月報

防災科学技術総合研究報告

セメント工業

情 報 管 理

技術文献ニュース

Taisei Quaterly

研究の資料と記録（東大農学部）

北海道工業開発試験所報告

ビルディングレター

日本道路公団高速道路試験所報告

農業技術研究所報告

総合開発新報

神奈川温水研究所報告

北海道立工業試験報告

農業機械化研究所年報

東京大学地震研究所彙報

早稲田大学理学部紀要

早稲田大学院工学研究彙報

北海道大学理学部紀要

東京都立大学工学部報告

立命館大学理工学研究所紀要

高知大学学術研究報告（農学）