

伊勢湾灯標建設工事について

長 崎 作 治*

1. 緒 言

従来は障害標識としてのみ利用されていた灯標は、近年、港湾、海峡、可航河川の入口を明示する認知標識として用いられつつある。最近の海岸工学の飛躍的な発展は、確実性、経済性においてすぐれている基礎工法を用いた灯標を建設することも可能となり、灯船、灯浮標は次第に灯標に置き換えられつつある。

港湾の入口に設置する港湾認知灯標は障害標識と異なり陸上の大型灯台と同様な光達距離を要求されるため、灯塔も大きく、灯高も高い大灯標となる。ここに出入港信号施設パイロットステーション、税関、検疫、港長などの機関を併置することにより、船舶出入港事務の促進に寄与することができる。

今後、灯標の建設はこの大型灯標に向かう勢いがあり、ここに光波、音波標識をそなえ、さらに信号業務を併置しようとする伊勢湾灯標の工事概要を報告するものである。

2. 工事概要

(1) 標識施設

a) 光波標識

灯高 平均水面上 25m
 灯器 90 cm LB 型灯器 (1000 W) 1 000 000 cd
 光達距離 14 カイリ

b) 音波標識 (将来計画)

ダイヤフラム ホーン4 連方式

c) 信号業務 (将来計画)

信号探照灯 20 cm 500 W
 点滅信号灯 100 W
 航行制限信号灯 赤色4灯 緑4灯 各 100 W
 スピーカー 可聴距離1カイリ以上 50 W
 旗設備

(2) 灯塔構造

a) 下部 脚柱鉄骨は高さ約 22 m で、7本の柱をもった六角形構造であり、この柱の中心間隔は、それぞれ 8 m で上・中・下三段のはりて連結してある。現場水深はおおむね -9.4 m で、脚柱鉄骨はここを -12.9 m まで掘り下げた上すえつけたので、天端高は +9 m である。7本の脚柱の外側脚柱6本は $\phi 1.44$ m、真中の脚柱1本は $\phi 1.92$ m である。脚柱構の支持は 43本の Pipe

* 正員 海上保安庁灯台部工務課

Pileで受け、脚柱ならびにはりも一緒にプレバクトコンクリートを打設した。

b) 上部 鉄骨鉄筋コンクリート造、建坪 98 m²、延坪 229 m² で1階は機械室、2階は事務室、3,4階階段室、5階見張室、6階灯室で、1階下には、貯水槽、油タンクを設置した。

(3) 電源施設

常時は、商用電力 (海底ケーブル 3 400 m)、停電時

図-1 建設位置ならびに波浪諸元

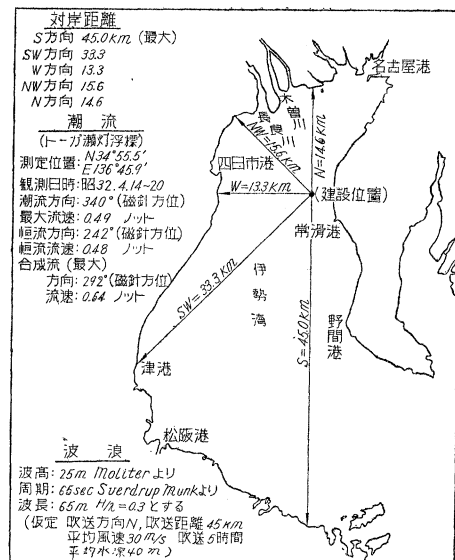
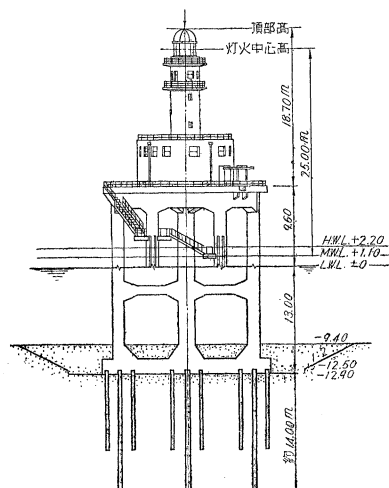


図-2 灯標姿図



には予備電源 (E G) により電源を確保する。

3. 地質調査

弾性波探査の結果より各点のボーリングを行ない、予定地を決定する一方、図-3の地層図を得た。

図-3 ボーリング点位置図

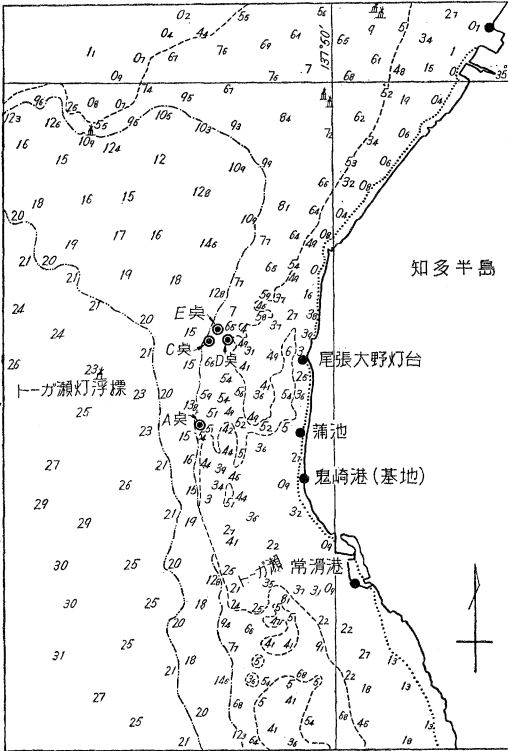
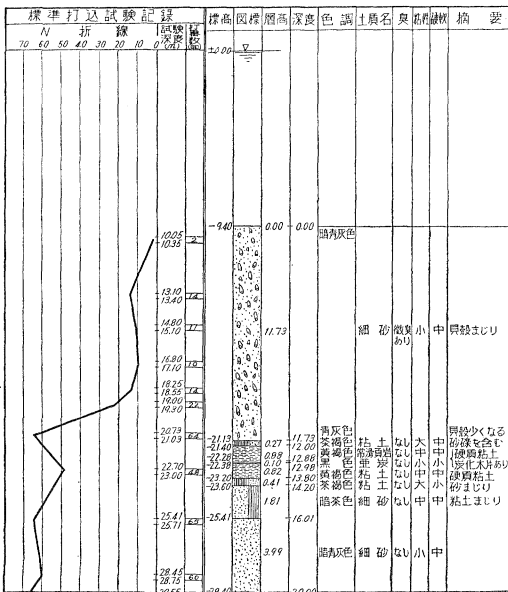


図-4 建設地点地質柱状図
地点 C点 深度 20.00 m 水深 -7.40 m



4. 設計

計算方法は重力式箱形ラーメン構造として計算した。

(1) 震度

基礎本体 $k_h=0.25$ $k_v=0$

塔構造 $k_h=0.30$ $k_v=0$

(2) 安定計算 (地震時)

底面積 $A=264 \text{ m}^2$ 垂直荷重 $V=2.213 \text{ t}$

水平力 $H=774 \text{ t}$

水平力作用位置 $h=9.36 \text{ m}$

合力の作用点 $e = \frac{H \cdot h}{V} = 3.27 \text{ m}$

a) for sliding

$f=0.6$ として

$$S.F = \frac{V \times 0.6}{H} = 1.7$$

b) for overturning

$$S.F = \frac{V \times e/2}{H \times h} = 3.20$$

c) for bearing

$$q = \frac{V}{A} \pm \frac{V \cdot e}{I} x$$

$$q = 21.4 \text{ t/m}^2 \quad q = -4.6 \text{ t/m}^2$$

図-5 安定計算図

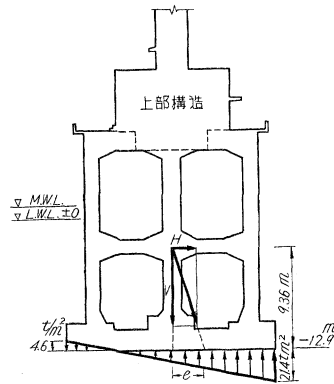


図-6 側構 (地震時)

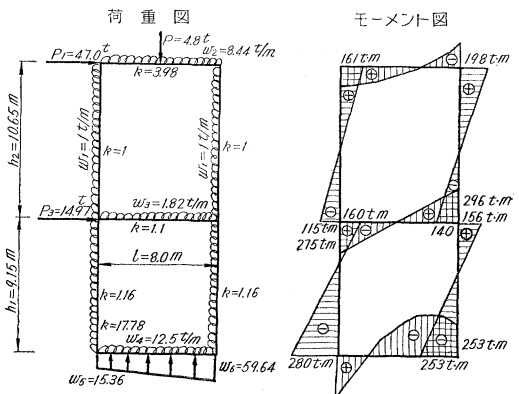
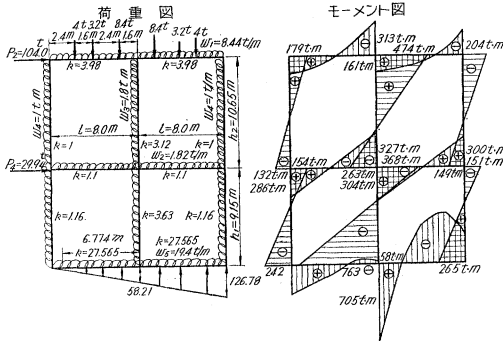


図-7 中央構 (地震時)



5. 基礎掘削, 埋戻し

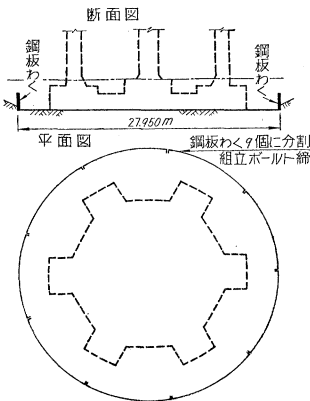
灯塔下部鉄骨脚柱をすえつけるため、厚さ 2.3 mm 鋼板と L 50×50×6 のアングルを組合わせた鋼板わくを製作 φ 28 m にわたりすえつけ、掘削 3 177 m³、整地 307 m³を行なった。なお、埋戻しの 2 517 m³は鉄骨脚柱を据え、プレパクト コンクリート打込後実施された。

掘削工事の計画に当っては、ボーリング調査結果より、地質は細かい貝殻混りの細砂と認定し、ポンプ吸揚式を採用した。ところが貝殻は海底下約 1.0m のところに厚さ 30 cm 程度存在し、中心から東側に特に多く、かつ大きく、径 5~15 cm 程度の「にし貝」および径 10 cm 程度の「かき貝、ほたて貝」などであった。掘削

吸揚げられた貝殻



図-8 掘削および鋼板わく配置図



区域のうち、貝殻の存在する範囲は 1 000 m² で、全貝殻量は約 180 m³ ほどになる。貝殻を吸揚げるときの砂との含有率は 10% 程度と考えられるので、全貝殻を吸揚げするには 1 800 m³ の貝殻混りの砂を吸揚げる必要があった。よってポンプのすぐ前に、貝殻取りのぞき用マンホールを取りつけ、これによりポンプを停止するだけで、貝殻がマンホール内へ落ちるようにし、8', 10' ポンプにより吸揚げた。

6. 下部構製作

製作に入る前に、使用する鋼材 SS 50 の溶接性の試験と溶接棒の決定を目的とした諸試験を行なった。

(1) 材料分析

プレートとアングルについて材料分析を行なった結果 C の量が多く、溶接構造材としては好ましくない。

(2) 硬度試験

上記の分析結果より溶接による硬化およびガス切断面の硬化が心配されるので、両者について硬度測定を行なった。

(3) 高温きれつ性試験

溶接棒選定の一条件にするため、溶接金属の高温きれつ性を調べた。

(4) 衝撃試験

溶着金属部、熱影響部および母材部の衝撃試験も行なった。その結果は、母材部の衝撃値が低く出たことから、これは溶接による熱影響を相当受けていると思われる。

(5) コマレル (Commerell) 試験

溶接部を曲げて微小クラック発生の曲角度およびさらに曲げ角度を大にしていって、微小クラックの進展状況を検査した結果、SS 50 は脆性に関して SS 41 に比べて良くなかった。溶接棒としては LB-55 が良い結果を示した。

(6) タブ (Tab) 試験

母材のはく離性を調べるために、溶接部を完全冷却後ハンマー叩きはがし、破面を検査した結果は、溶着金属内部で破壊が起こっており、はく離性については問題がないようであった。

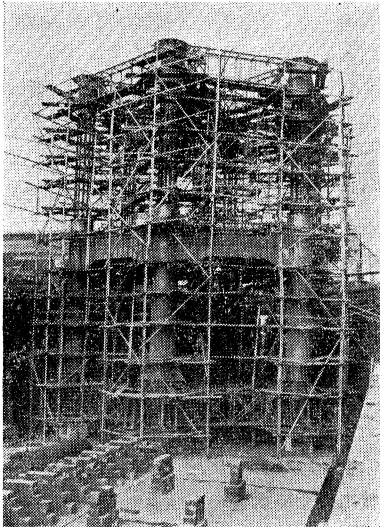
その他、衝合溶接 X 線検査、引張り、曲げ試験、T 型曲げ試験の結果、T 試験片は C の含有量が多く、熱影響を受けた母材部は硬度も相当高く、好ましくない状態である。静的強度、はく離性については、良好な結果を示した。LB-55 の溶接棒は、高温きれつ性、機械的性質 X 線検査などについては良好と思われる。

以上の結果をもとにして下部構造の製作にかかった。鉄骨本体の製作は、柱、はりなどのブロックごとに工場製作し、ドック内にて組立てる。柱は中央柱 1 本、端柱 6 本の計 7 本で、各柱を 3 ブロックに分けて製作し、はりには上・中・下段各 3 本をそれぞれ単体として製作し

た。各ブロック連結用の接続金物、山形鋼、組合せ部材は個々に製作して本体を組立てた。

なお、当初設計の溶接法によれば、中性線が偏心しているため、上弦材は軸方向に弓なりとなり、上部に向かって弯曲する。この弯曲の程度が、当初の予測よりも大きく、このひずみを匡正するためには、各弦材を全面的に高温加熱しなければならない。このため、全溶接構造のうち、各はり弦材の取り合わせおよび上弦材と下弦材との継ぎ材の取り付けガゼットと、各弦材の接合を鉚構造に変更した。

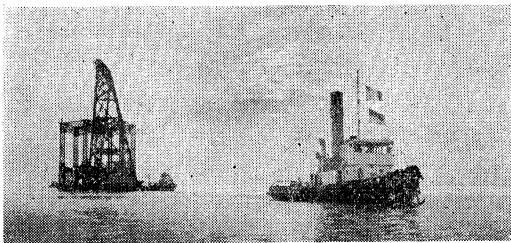
ドック内で製作中の下部構



7. 曳航、すえつけ

1959年7月12日、名古屋造船ドック内において、組立完成した本体に図-9のごとく、曳航用浮力タンクを装着し、ドック内進水を行ない、起重機船で懸吊出渠し、渠外で本体を起重機船に緊結、曳航、索装備、その他各部装備を行ない、一般船舶の航行の少ない翌7月13日午前2時、浮力タンク12個で浮力をつけ、80t起重機船で吊り上げ、さらに両側に曳船2隻、さらにその前に1隻つけ、設置現場まで19.6km時速約2ktで曳航し、途中近くを航行する船舶の横波を受けて横倒しの危険も十分考えられたので、巡視船2隻で警戒した。

曳航中



吊り上げられた下部構

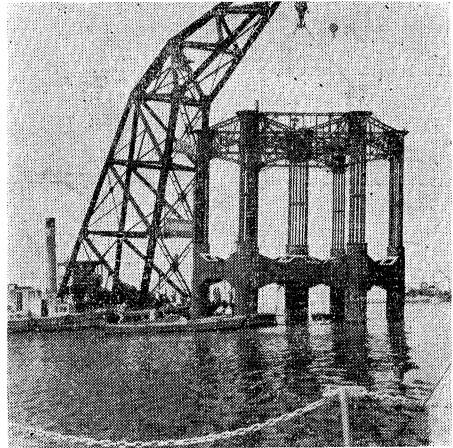
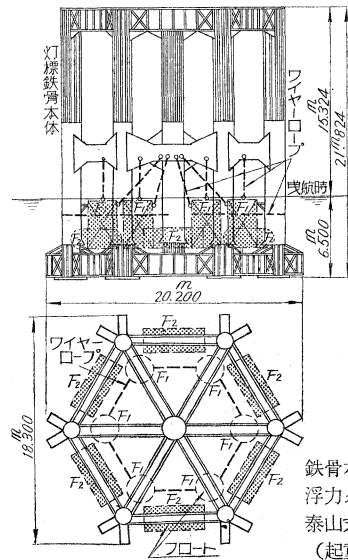
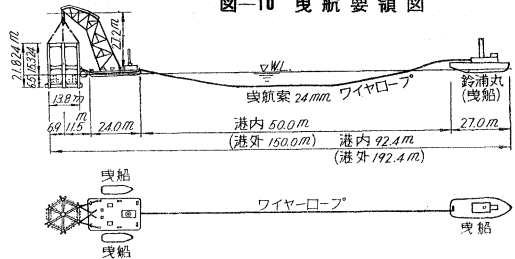


図-9 浮力タンク装備図
S=1/200



鉄骨本体 自重 166 t
浮力タンク 浮力 140 t
泰山丸負担力 26 t
(起重機船)

図-10 曳航要領図



8. 杭打ち工事

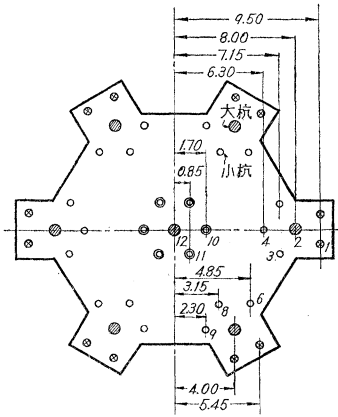
鋼管杭は7本の脚柱、それぞれの中心に1本ずつと中心の柱のまわりに6本、その他の柱のまわりに、各5本ずつ、計43本を脚柱鉄骨を利用して8.23m打ち込んだ。大杭は厚19mm、小杭は厚12mm、補強板は頭部に巾40cm施し、大杭については別に継手と先端に巾

20 cm の補強板を施した。杭長については地質調査の結果より海底下 11.7 m の細砂層を打ち抜き、-21.2m 付近に存在する砂礫混りの硬質粘土層まで打ち込む計画として、小杭の長さを 9.75 m と決定した。大杭については柱の中で打たねばならぬという特殊性と、脚柱自体の断面補強を考慮して、14.63 m とした。

(1) 杭の鉛直反力

a) 杭の配置 杭の配置は 図-11 に示すとおりである。

図-11 杭配置図



b) 杭の断面積

大杭 $\phi=0.588\text{ m}$ $A=\frac{\pi}{4}\phi^2=0.2714\text{ m}^2$

小杭 $\phi=0.394\text{ m}$ $A'=\frac{\pi}{4}\phi'^2=0.1219\text{ m}^2$

杭群の全断面積 $A_0=7A+36A'=6.288\text{ m}^2$

c) 杭群の x-x 軸に対する断面二次モーメント

○杭群 $I_{1x}=A(4\times 4^2+2\times 8^2)=52.1\text{ m}^4$

⊗ " $I_{2x}=4A'(4^2+5.45^2+9.5^2)=66.3\text{ m}^4$

○ " $I_{3x}=4A'(2.3^2+3.15^2+4.85^2+7.15^2)+2A'\times 6.3^2=53.5\text{ m}^4$

◎ " $I_{4x}=4A'\times 0.85^2+2A'\times 1.7^2=1.1\text{ m}^4$

$\Sigma I=I_{1x}+I_{2x}+I_{3x}+I_{4x}=173\text{ m}^4$

d) 地震時荷重 震度 0.25 とした場合、V、H および M は下記のとおりである。

$V=2213\text{ t}$ $H=774\text{ t}$ $h=9.36\text{ m}$

$M=Hh=7.244\text{ t}\cdot\text{m}$

e) 各杭の鉛直反力

$q=\frac{V}{A_0}\pm\frac{Mx}{I}\text{ t/m}^2$

x: x-x 軸より当該杭までの距離

∴ $q=352\pm 42\text{ t/m}^2$

よって、大杭については、最大反力 186.4 t、小杭については 91.4 t となるので、これを設計反力として検討する。なお、最外端の杭には 5.6 t の引張力が働くことを考慮しなければならない。

(2) 施工

杭打ち完了時における杭先端高さは大杭で-6.53m 小杭で-11.45m といずれも水中になるので、ヤットコを使用しなければならないが、作業場が+9m の脚柱先端になる関係から、ヤットコの長さは大杭で 15.53m、小杭で 20.45m 要求される。このような長尺のヤットコを使用したので、打込のさいの衝撃エネルギーの損失が大きく、またヤットコ自体の耐力も問題であるから、キャップにガイドパイプを水密に接続し、この中でハンマーを上下して、杭頭を直接打つ工法によることとした。また杭打ち完了後、これらの杭にプレバクトコンクリートを充填するため、杭中の土砂を排除しなければならない。杭を打ち下げながら、杭中の土砂を排除する方が、打ち込みの能率からも得策であると考え、エアーリフトポンプにより、先端より水を吸揚げることにより、水と一緒に杭内にせん断されながら入って来た土砂を、エアーリフトパイプ内を通した杭上部の吐出口から排出することとした。杭打ちヤグラは高さ 20m の鉄骨旋回ヤグラを使用した。ヤグラはローラー上に乗り前後左右に移動し、方向転換はヤグラのベース上で 360° 回転するので、いかなる方向においても杭打ち可能である。ハンマーは 3.0 t とし、円形のを特別に製作した。ヤグラには 50 IP 腹胴ウィンチをすえつけ、動力は 7.5 kVA の発電機を使用した。杭打ちヤグラ設備一式の重量は約 20 t あり、さらに大杭とガイドパイプを吊り下げた時は合計 30 t 近くの重量が脚柱にかかる。ゼネレーターおよびコンプレッサーは船に設備した。杭建込みに要した時間は、大杭で 2.5 h、小杭で 2.0 h、杭打ち込みに要した時間は、大杭で 3.5 h、小杭で 1.4 h であった。

9. プレバクトコンクリート工事

(1) 型わく

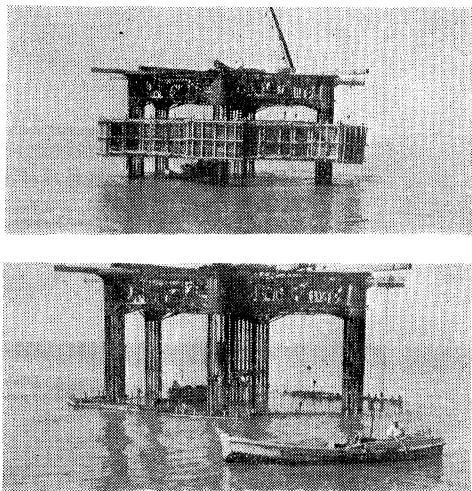
型わくは、鉄骨本体製作時に取りつけてあったものと、新たに取りつけたベースおよび柱型わくとがあり、水中ベース型わくは、メタルフォームに角材を取りつけて補強したものを各ブロックごとに陸上で製作し、現場に運搬、脚柱上で組立てて、手巻ウィンチをもって同時に徐々に沈下すえつけ、アンカーとして古レールを抱かせた。型わくと接地面の空げきは、砂袋を積み、ろう出止めとした。

なお、モルタル注入時によるろう出止としては、粘土セメントを使用した。

(2) 砂利投入

砂利投入は、運搬船を採取場より直行繫留し、ベース部分はベルトコンベアで、柱部分は柱主材アングル間げきに鉄製じょうごを差し込み投入した。ベース型わく取り付け直後より砂利投入を開始したが、伊勢湾台風接近のため、運搬船が搬入せず、伊勢湾台風となり、砂利

型わく沈設



投入してあった部分は、比較的被害をまぬかれたが、投入しない部分の型わくはばらばらに破損した。

(3) モルタル注入

粗骨材空げき率 42%, 1 m³ 当りセメント 245 kg, フライアッシュ 96.6 kg, イントルジョンエイド 2.9 kg, 砂 0.27 m³, 水 163.8 kg, コンシステンシー フロー値 16~22 sec の配合で、モルタル ミキサー 2台で練り注入はグラウトポンプ 2台により、内径 25 mm パイプをもって圧入した。杭中柱など注入量が少なく、しかも、パイプのつけ替えに時間を要したが、一日当り 75~85 m³ 打設し得た。

10. 上部構造

昼間標識としての機能、風雨に対する構造的な制約、脚柱と一体構造とした外力に対する安定などを考慮し、上部構造の姿を決定した。

重心を低くするため、高さを必要とする灯室、見張室以外は下部にまとめ、脚柱の上部面積に制限があるので 2階建とし、事務室、機械室をそれぞれ配置した。1, 2階は鉄骨鉄筋コンクリート造とし、灯室そのものは鉄造とした。

図-12 プラント船機械配置図

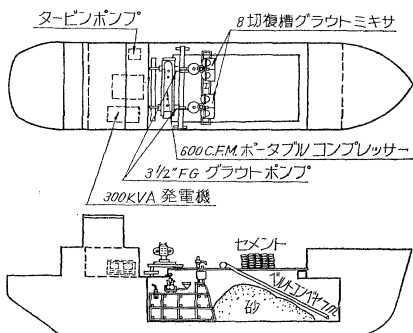


図-13 工程別プレバクトモルタル注入図

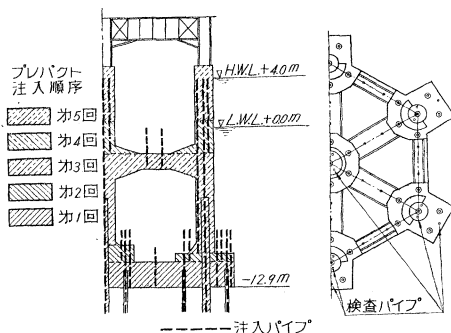
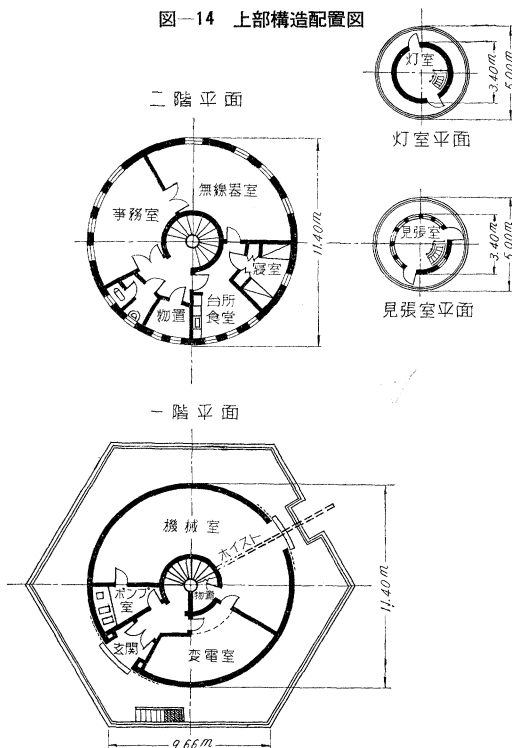


図-14 上部構造配置図



11. 結 言

以上、伊勢湾灯標建設工事概要の報告であるが、33, 34, 35 年の 3 年継続工事として、36 年 3 月末点灯を目指し、現在最後の迫込みにかかっている。

なお、その全工事費は 120 000 万円で、内訳は調査費 320 万、下部脚柱製作すえつけ 2 700 万、基礎掘削埋戻 500 万、鋼杭製作杭打 1 500 万、プレバクト 2 300 万、上部構造 2 250 万、外電引込 1 450 万、灯器 90 万、予備発動発電機 560 万、警報装置 100 万、機械すえつけ 300 万である。軟弱地盤上に 2 200 t の垂直荷重を受け、しかも水深 -13 m という条件下に建設された灯標、ここで学び得た問題点をさらに究明し、今後建設されるこの種の灯標建設の資としたい次第である。

(原稿受付: 1960. 10. 27)