

PC鋼線を用いた大型ケーソンの海上浮遊接合工法の開発

小島 朗史*¹・深海 正彦*²

1. はじめに

近年、港湾の外港展開への要請により、防波堤設置位置の大水深化、波浪条件の過酷化が進行している。また、軟弱地盤上での防波堤建設工事も増加している。このような設計条件の過酷化に対し、ケーソン形状で対応した場合、防波堤の滑動、転倒安定性を確保するためには、防波堤本体となるケーソンの大型化が必要とされる。

小名浜港の沖防波堤においても、上記の理由によりケーソンが大型化しているほか、すべり破壊防止のために幅の広い基礎捨石マウンドが必要とされ、工費の高いものとなっている。そこで、その対応策として、台形型のケーソンが提案された。台形ケーソンは、作用する波力の一部を鉛直下向きに利用できることから、従来型の矩形ケーソンに比べ、滑動、転倒安定上有利であるほか、接地圧が小さいことからすべり破壊に対しても有利であり、基礎捨石マウンド幅の縮小による工費削減も期待できる構造形式である。

しかし、当該ケーソンは従来型の矩形ケーソンより底面幅が広く、既存のケーソンヤードの能力の制約から製作は不可能であった。この問題の解決策として提案されたのが、半断面のケーソンを2函製作し、1函ずつ海上に引き出した後、浮遊状態にある2函を接合し、PC鋼線を用いて緊結することにより1函の大型台形ケーソンとする過去に実施例のない「大型ケーソン海上浮遊接合

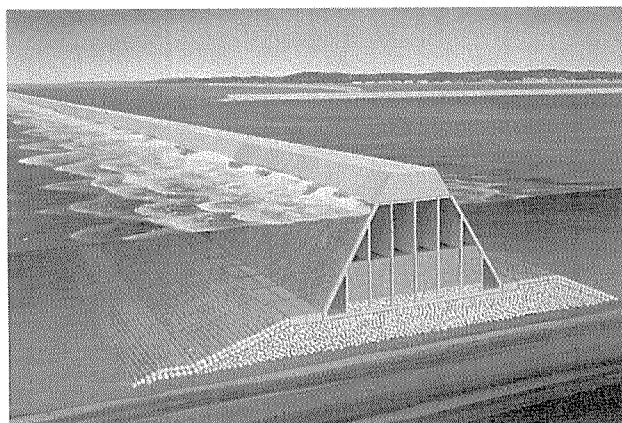


図-1 台形ケーソンのパース

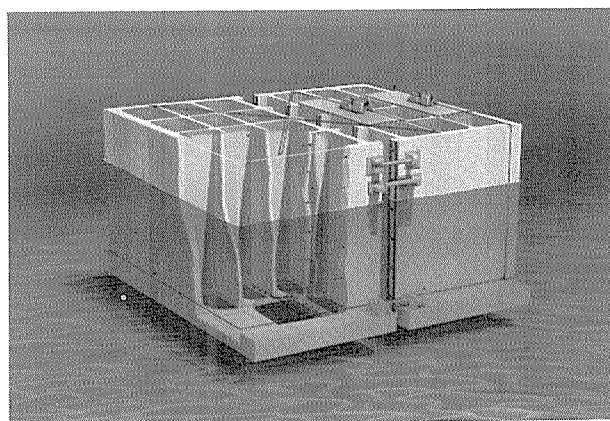


図-2 現地実物大試験のパース

工法」である。

本報告は、当該工法の紹介と工法の本施工に先立ち、施工技術の確立と2函接合部における一体性の確認を目的として実施された現地実物大試験の結果を報告するものである。

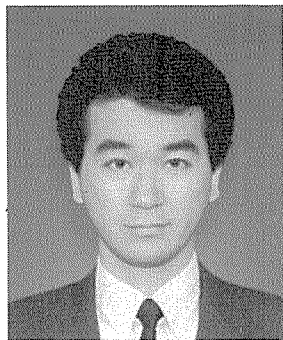
2. 接合工法とその特徴

ケーソン2函の接合は、PC鋼より線50本を緊張して行うポストテンション工法により実施した。1本当たりの緊張力は約20tfで、全体で約1000tfの接合力を加え一体化することとした。

このため、2函のケーソンに設けた50本のシース管がすべて合致してPC鋼より線の挿入が可能となるわけ



*¹ Rousi OJIMA
運輸省第二港湾建設局
小名浜港工事事務所所長



*² Masahiko FUKAMI
運輸省第二港湾建設局横浜
調査設計事務所建設専門官

で、高い接合精度が要求される。また、シース管は水中部にも設けてあるので、そのままではケーソン進水時に海水が浸入することとなる。このため接合面にはシース管を取り囲むように支圧板ならびに止水用ガスケットを取り付けてある（図-5参照）。したがって、両ケーソンを浮遊状態で精度よく合致させ、さらに接合面の支圧板とガスケットを所定の止水効果が得られるまで圧縮してはじめてPC鋼より線の挿入が可能となる。シース管の内径は一般部 32 mm、接合面部は接合精度を考慮して 105 mm とした。PC鋼より線はφ17.8 mm であるから、ケーソン製作上、および接合上の誤差は計算上 80 mm 程度までが許容されるが、25 mm 程度を目標とした。

こうした特徴から接合の施工法は、主としてケーソン2函の動揺を抑制する観点から検討が加えられ、今回の試験工事では接岸浮遊接合工法を選定することとした。

3. 接合試験工事の概要

3.1 概要

接合試験工事全体の流れを図-3に示す。

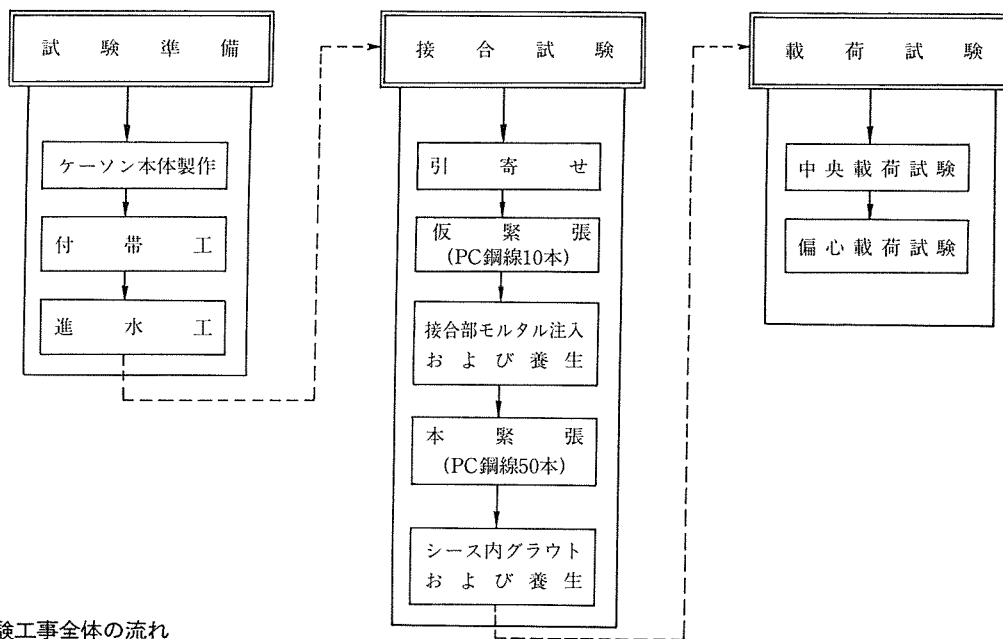


図-3 接合試験工事全体の流れ

試験工事は大きく3つの段階に分かれ、各々の段階を「試験準備」、「接合試験」、「載荷試験」とした。

第一段階の「試験準備」は、その名のとおり準備工であるが、それに続く2つの試験の概略内容と目的は以下のとおりである。

第二段階の「接合試験」は、2函別々に浮遊した状態のケーソンが、ウィンチと引寄せジャッキにより一体化され、PC鋼線により緊結されるまでであり、主に引寄せ接合時の施工性の確認と引寄せジャッキ等付帯設備の問題点の抽出を目的としている。

第三段階の「載荷試験」は、ケーソン接合後、一体化したケーソンの接合面に強制的に断面力を発生させ、その際の挙動観測を行うことにより、2函一体性の確認と設計法の確認を行うことを目的としている。

試験工事は平成元年11月から同2年3月までの工期で実施された。全体の施工場所は図-4に示すとおりであり、ケーソン2函の陸上製作は4号ふ頭にあるケーソンヤードで実施し、2函を進水した後「接合試験」は4号ふ頭前面の船溜りで行った。その後7号ふ頭前面の海上で「載荷試験」を実施したうえ海上打継を行い、第二西

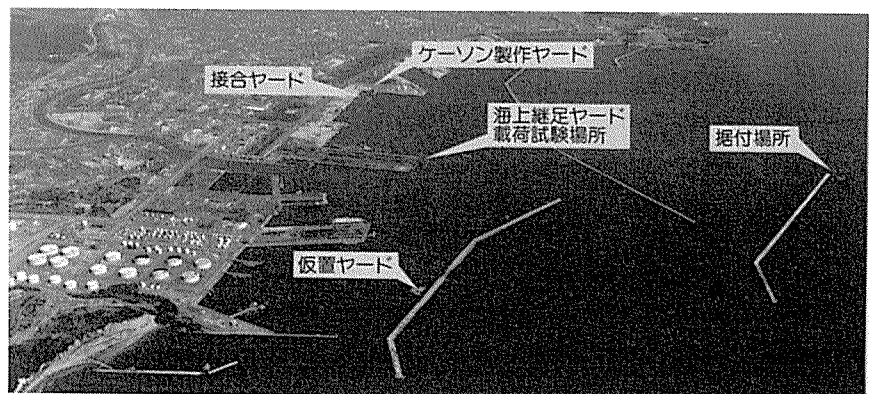


図-4 小名浜港接合試験工事位置図

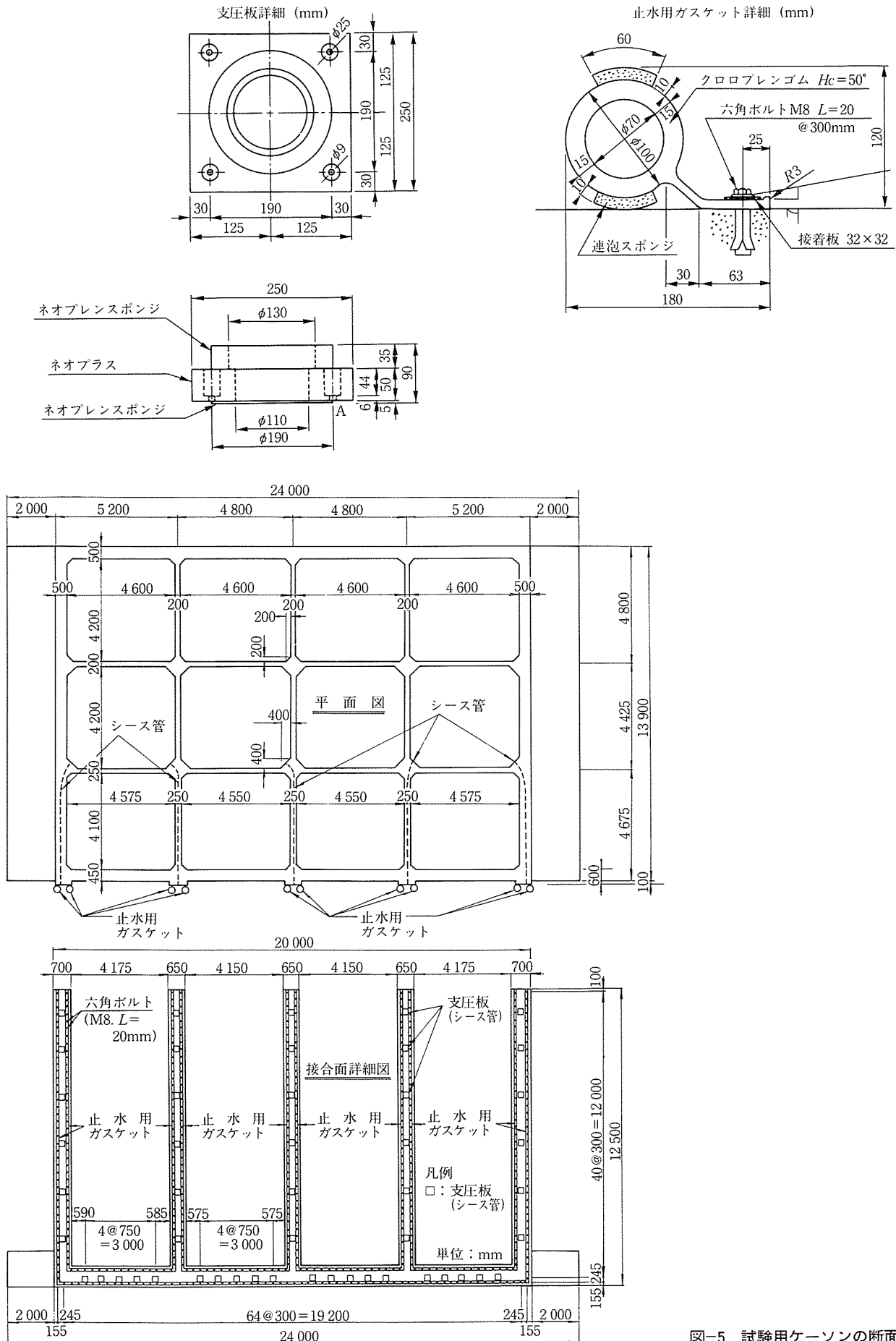


図-5 試験用ケーソンの断面諸元

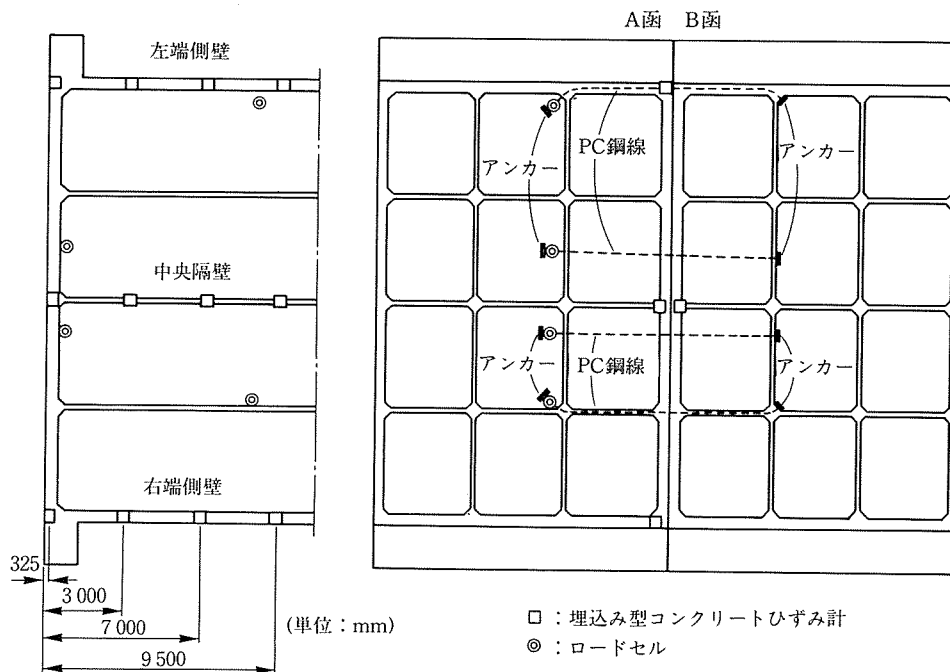


図-6 計器の配置

表-1 計器の諸元

計器名	計測内容	規格
埋込み型コンクリートひずみ計	コンクリート内部に発生するひずみ	容量 $\pm 5000 \times 10^{-6}$ 、測温機能付き 見かけの弾性係数： 約 10000 kgf/cm^2
ロードセル	PC鋼線の緊張力	センターホール型 容量 30 tf

防波堤内側へ仮置きした。

ケーソン製作では長さ 14.0 m、幅 20.0 m (フーチング部幅 24.0 m)、高さ 12.5 m、重量約 2100 tf のケーソン 2 函を製作し、海上で接合した後さらに 6.5 m の海上継足の結果、長さ 28.05 m、高さ 19 m、重量 5780 tf のケーソン 1 函が完成した。

試験用ケーソンの断面詳細諸元については図-5 に示すとおりである。

なお、載荷試験時に接合部付近に発生するひずみや、変位等の観測を目的として各種の計器を配置した。その詳細については図-6 および表-1 に示すとおりである。

3.2 ケーソン製作

ケーソン製作は A、B 両函をそれぞれ単独に通常の製作方法で実施したが、製作精度とくに接合面の鉛直性、平面性の確保には細心の注意を払った。また、シース管の位置精度についても綿密な測量を行った。

図-7 は A、B 両函の接合面について凹凸を計測した結果を表したものである。それぞれ 74 点で計測したが、平均で A 函 3.6 mm、B 函 4.5 mm、凸側になっている。最大値は凸側 16 mm、凹側で 3 mm であり高い精度で施工できたと考えられる。また、図-8 はシース管の相対位置の誤差を表したものである。A、B 両函で

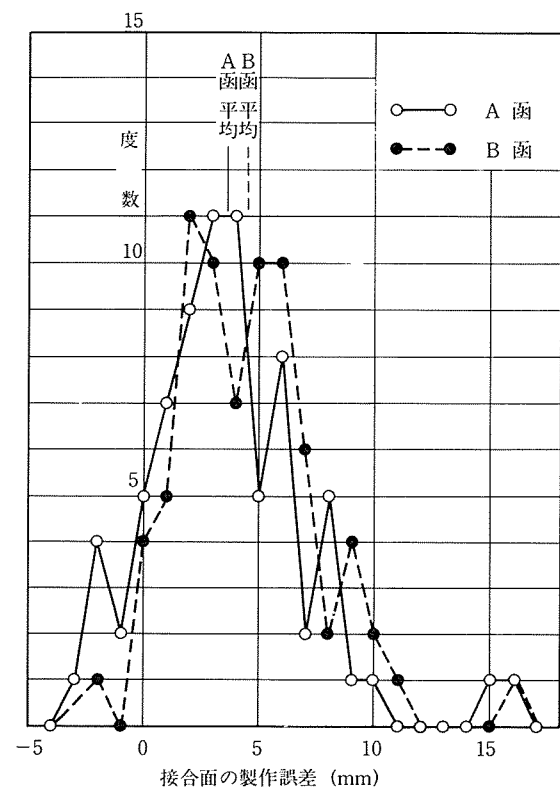


図-7 ケーソン接合面の製作精度

1 対となるシース管の位置の差を水平、鉛直方向別に求め、50 組すべてについて示してある。結果は鉛直方向では +10 mm、-14 mm、水平方向では +24 mm、 ± 0 mm の範囲であり、目標とする精度で製作することができた。

また、シース管の長さは片側で 5 m であるが、変形

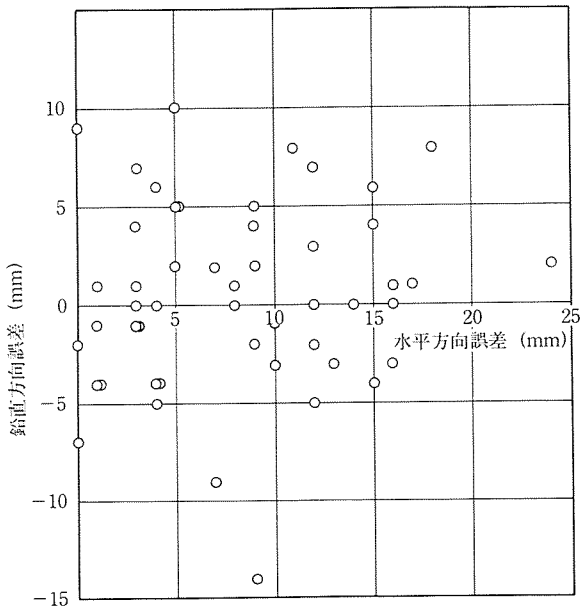


図-8 シース管の相対誤差

しないように固定するとともに、内部に塩化ビニルパイプを挿入してシース管の万一のつぶれに備えた。

3.3 接合試験

(1) 接合試験場所の選定

海上での浮遊接合法では、2 函のケーソンの動揺が最大の課題である。接合作業場所は、小名浜港内で比較的静穏度が高い4号船溜りを選定した。ケーソンの吃水の関係から -7.5 m までの浚渫を行い作業スペースを確保した。一方、船溜りでの波高観測を6か月にわたり実施し港外波高との相関を求めるなど、波浪状況の把握につとめた。

ケーソンの動揺解析から接合作業が可能な波浪条件は、 $H_{1/3}=30\text{ cm}$ 、 $T_{1/3}=6.0\text{ sec}$ を目安とした。

(2) 接合作業に用いた装置

接合作業に当たっては、あらかじめ台船3隻を配置し接合位置のガイドとしたほか、陸上にはケーソン A 固定用のウィンチとアンカーブロック、ケーソン B を移動させるクレーン搭載台船用のアンカーブロックを配置

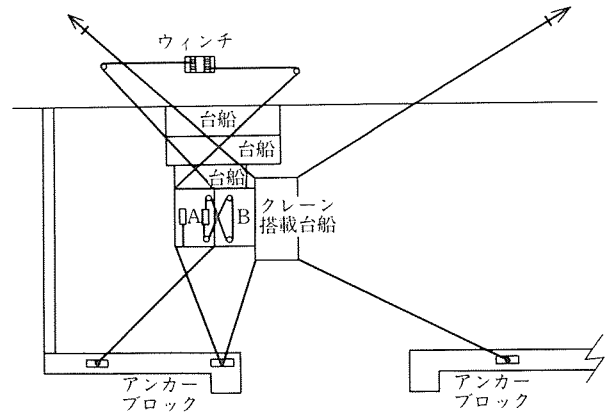


図-9 接合作業の段取り

した(図-9 参照)。

ケーソン2 函の海上接合作業に用いた装置は次のとおりである(図-10 参照)。

- ① ケーソン引付け用ジャッキ (ケーソン A)
- ② ジャッキ受台 (ケーソン B)
- ③ ケーソン側面固定用ガイド (ケーソン A)
- ④ 高さ固定用受台 (ケーソン B)
- ⑤ 下部接合ガイド (ケーソン A, B)
- ⑥ 引付け用ウィンチ (ケーソン A)
- ⑦ 排水用ポンプ (ケーソン A, B)

ケーソン引付け用ジャッキは、ジャッキ受台と一対のもので、1 基 50 tf の能力でケーソン上部側面にそれぞれ1 基ずつ2 基設置した。

ケーソン側面固定用ガイドと高さ固定用ガイドも一対のもので、側面固定用ガイドの中にケーソン B が誘導されると同時に、側面固定用ガイドが高さ固定用ガイドの上に乗って両ケーソンの高さが合致できるようにしてある。

下部接合ガイドはケーソン下部の水平方向の位置を合致させるためのもので、フーチング上に左右それぞれ1 基を設置した。

両ケーソンの引寄せはウィンチ、ワイヤーを主とし、ケーソン引寄せ方向に1 基、左右位置の調整に2 基(ク

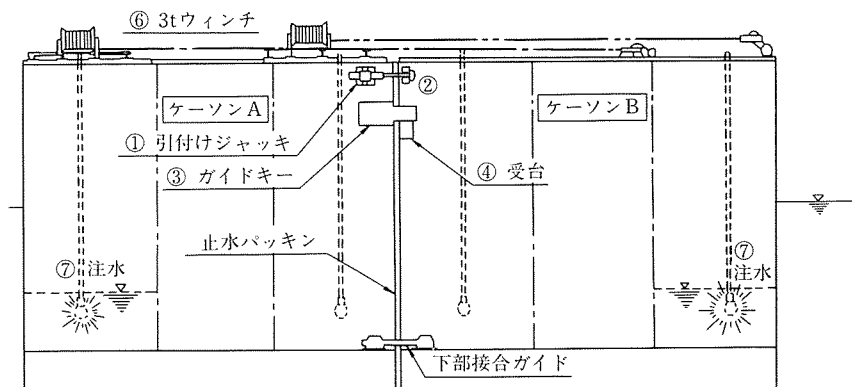


図-10 接合作業に用いた装置

ロスワイヤー),そしてケーソン下部の引寄せに大回しワイヤー1基の計4基を用いた。

ケーソンの姿勢制御および高低調整は,ケーソン隔室への注排水によって行ったが,注水は注水バルブ,排水はポンプを用いた。

(3) 接合試験の手順と工程

接合試験の施工詳細フローを図-11に示す。ケーソンAの進水からシース内グラウト注入までの工期は12日間である。ケーソンA進水,係留1日,ケーソンB進水から水中部PC鋼より線仮緊張までを2日,止水パッキン部への無収縮モルタルの打設,養生に4日,PC鋼より線の本緊張,シース内グラウト完了に5日であった。

図-11の施工手順のうち,ケーソン引出しから,引寄せジャッキ等により,2函密着させるまでの手順を図で示したのが図-12である。また,この中の最終手順の詳細を示したものが図-13である。

これらの作業終了後,あらかじめケーソン側壁,隔

壁,底版に設置してあるシース管にPC鋼線を挿入し,仮緊張(10本,10tf/本)を行うことにより,2函の一体性をおおむね確保した。その後,接合部のガスケットに囲まれた櫛歯状の空隙(図-5参照)モルタルを充填養生し,剛性の高い櫛歯状の接合面を形成した後,PC鋼線の本緊張(50本,20tf/本)を行い,最終的な2函の一体化を図った。

(4) 接合試験の結果と考察

1) ケーソンの動揺と引寄せ機材の施工性

接合試験当日の波浪条件は $H_{1/3}=15\text{ cm}$, $T_{1/3}=7\text{ sec}$ 程度と比較的静穏であったが,周期がやや大きかったためか,ケーソンの動揺は接合前で20cm~30cmであった。このため,単独浮遊時における2函の上下方向相対変位量は吃水差も含めると最大で60cm程度であったが,ウィンチによる引寄せ作業が開始されると,さらに回転(ピッチング)が促進され,動揺の形態が複雑になると同時に,接合面の相対変位量の最大値も,やや大きくなる傾向があった。(写真-1参照)。

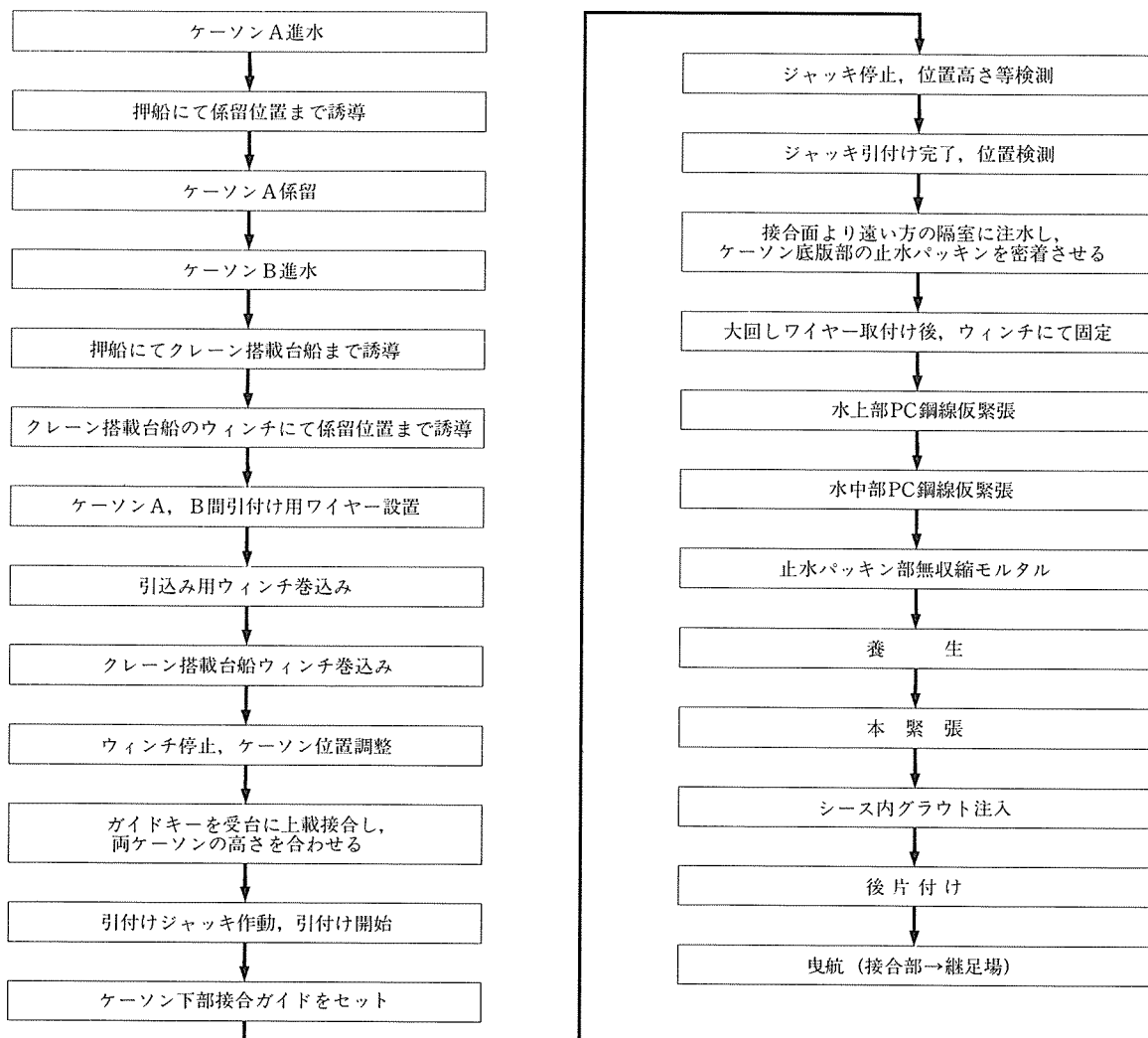
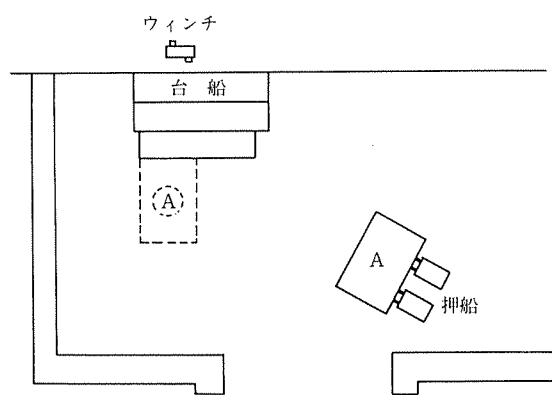
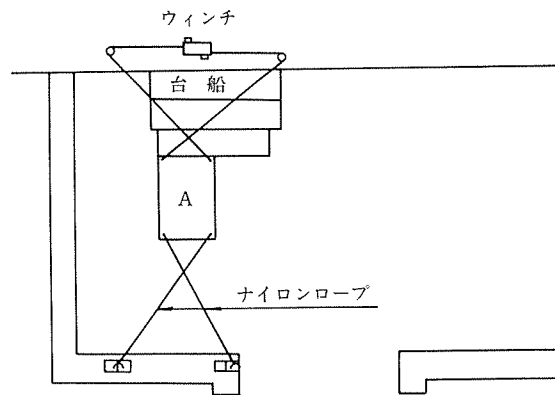


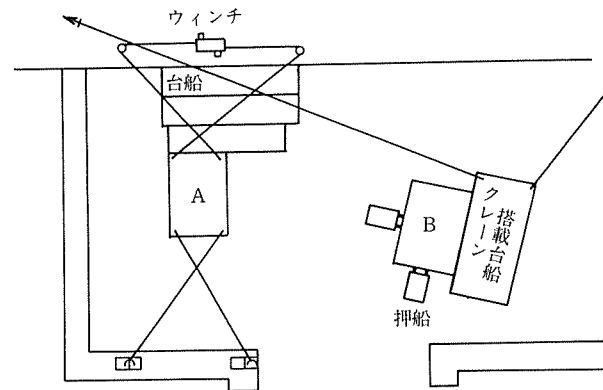
図-11 接合試験施工詳細フロー



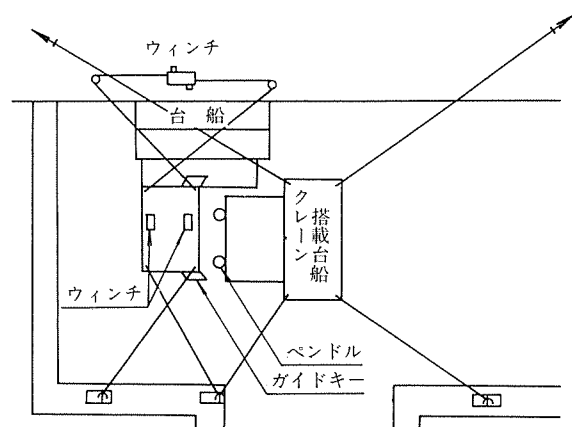
① 陸上ヤードより進水したケーソンAを押船で係留位置へ。



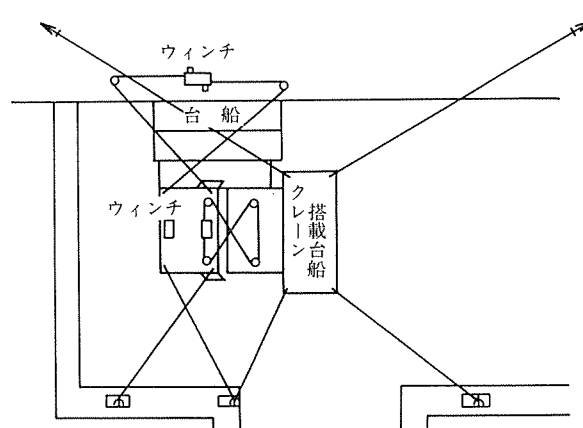
② 所定位置に着くと同時に係留用ワイヤー準備に入る。このとき押船はケーソンが移動しないよう調節しながら準備完了を待つ(ナイロンロープで仮係留)。
③ 準備完了すると同時にワイヤー引込みを行いケーソンを所定の係留位置に係留する。



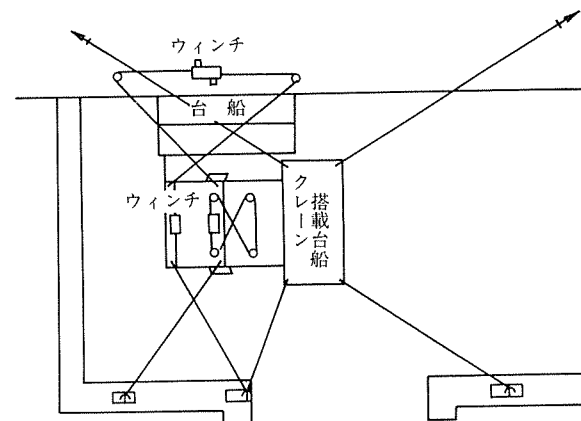
④ 陸上ヤードより進水したケーソンBを押船で待機しているクレーン搭載台船にセットする。



⑤ 係留位置に着くと同時にケーソンAとBが接触しないようナイロンロープで保留する。また、押船で接触しないよう調節しながら引寄せワイヤー準備に入る(ペンドルはガスカート保護のため)。

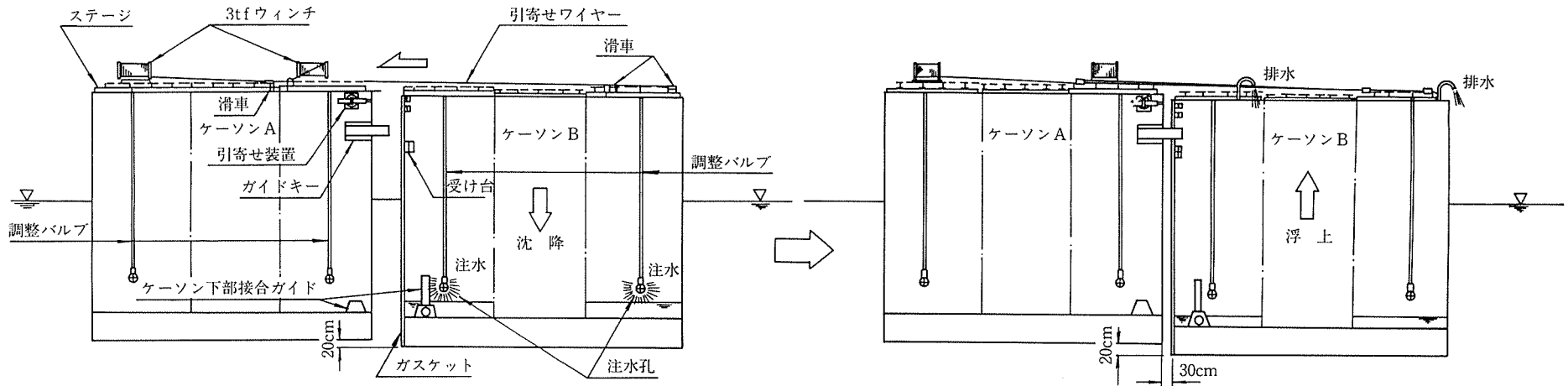


⑥ 引寄せワイヤー準備完了後、A・Bのケーソンが接触しないようクレーン搭載台船のウインチにて調節する。
⑦ A・Bを回す大回しワイヤーを準備する。



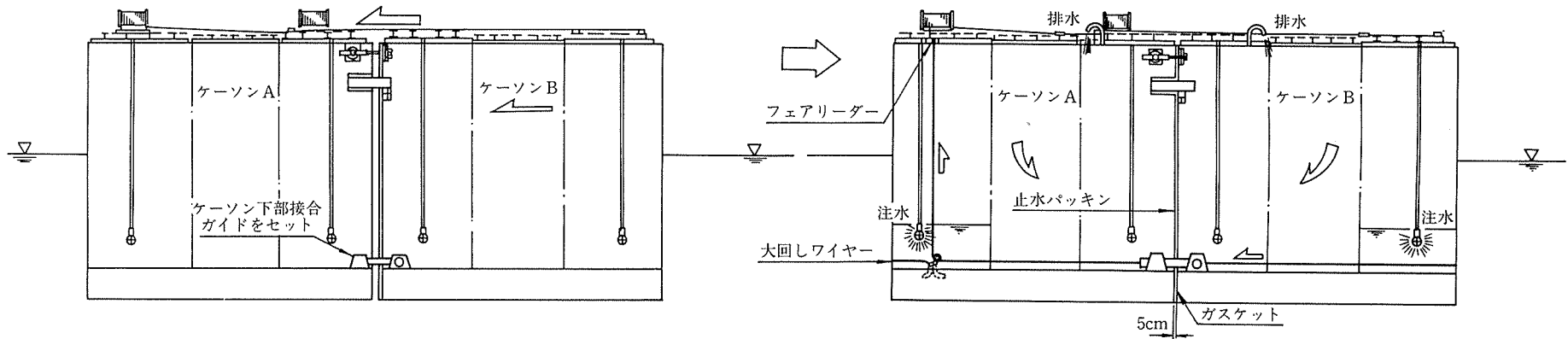
⑧ 引寄せワイヤーおよびクレーン搭載台船のウインチ操作によりガイドキーに誘導し、A・Bケーソンを引寄せせる。
⑨ A・Bケーソンを引寄せた後、大回しワイヤーの締付けを行いA・Bケーソンが離れないようにする。
⑩ 完全に引寄せ確認後、引寄せジャッキの操作を行う。

図-12 接合試験の流れ



- ① ケーソンBの注水バルブより注水し吃水差を20cmとなるようにする。
- ② ケーソンA上のウィンチを巻き込みケーソンBを引き付ける。

- ③ ケーソン間隔が30cmになったとき、ウィンチを固定する。
- ④ ケーソンBを排水し、ガイドキーを受台に上載接合し、両ケーソンの天端を合わせる。



- ⑤ 引寄せジャッキを用いケーソンBを引き寄せる。
- ⑥ ケーソン下部接合ガイドをセットする。
- ⑦ ケーソン離間10cmまで引き寄せ、位置高さを検測する。

- ⑧ ケーソンBを引き付け接合面のガスケットを5cmまで圧縮後、ケーソン内のバラスト水を注排水にて調整し、ケーソン底版のガスケットを密着させる。
- ⑨ 大回しワイヤーを取り付け、巻き込み後固定する。

図-13 最終接合作業の詳細



写真-1 試験時のケーソン動揺状況



写真-2 試験時の引寄せジャッキの状況

以上のような動揺状態のなかでの接合作業ではあったが、図-12に示したような手順に従い、ケーソンへの注排水による喫水調整と、ガイドキーの利用により、徐々に両ケーソンの動揺の位相を一致させ、相対変位量を小さく抑えることができた。したがって、今回採用した接合手順の有効性が確認できたものと考えられる。

ただし、2函密着作業の最終段階において、引寄せジャッキを用いた作業が行われたが、その際、ケーソンのピッチング等に起因するジャッキピストン部への応力集中の危惧と、若干の作業性の悪さが指摘された。今後これらの点に対する検討の余地が残されたものと考えられる(写真-2参照)。

2) PC鋼線の挿入および緊張作業

シース管にPC鋼より線を挿入できる許容誤差約80mmと前述したが、ケーソン製作時に25mm程度の誤差が生じており、接合作業の位置精度は25mmを目標とした。その結果、鉛直方向に最大28mm、水平方向に最大10mm程度の差異であり、PC鋼より線50本の挿入は極めて円滑に実施できた。

また、支圧板、止水用ガスケットの圧着は、ケーソン上部については2基の引付けジャッキにより、下部についてはA、Bケーソンの接合面とは反対側の隔室に注水してモーメントを発生させることにより実施した。これにより、止水用ガスケットの厚さを53~65mm程度に圧縮することができた。

PC鋼より線の仮緊張は50本のうち10本を抽出して、1本当たり10tfの緊張力を作用させた。接合目地部への無収縮モルタルの注入はケーソン製作時に設置したパイプを用いて行った。

本緊張は35tfジャッキ4台を用い、偏心荷重が作用しないよう順番を決めて実施した。その際、緊張力の管理は、緊張ジャッキの指示値とPC鋼線の伸び量により行った。また、今回4本のPC鋼線において、ロードセルにより、実際の導入緊張力を計測した結果、所要の値が確認できた。

3.4 接合ケーソンの載荷試験

(1) 載荷試験の目的

接合ケーソンの一体性の確認および設計法の妥当性を検討するため、2種類の載荷試験を実施した。ひとつは中央載荷試験であり、浮遊状態のまま接合ケーソンの接合面に隣接した隔室に注水することにより接合面下部を開こうとするモーメントを発生させるものである。

設計ではケーソン設置後のマウンド不陸や不同沈下による曲げモーメントからプレストレス力を設定しており、載荷試験では設計値に近いモーメントが発生するよう考慮した。

もうひとつは偏心載荷試験であり、接合ケーソンを着底させた後、Bケーソンの水を段階的に排水し、接合面にせん断力と曲げモーメントを発生させるものである。これにより、設計時に仮定した接合面の摩擦係数の妥当

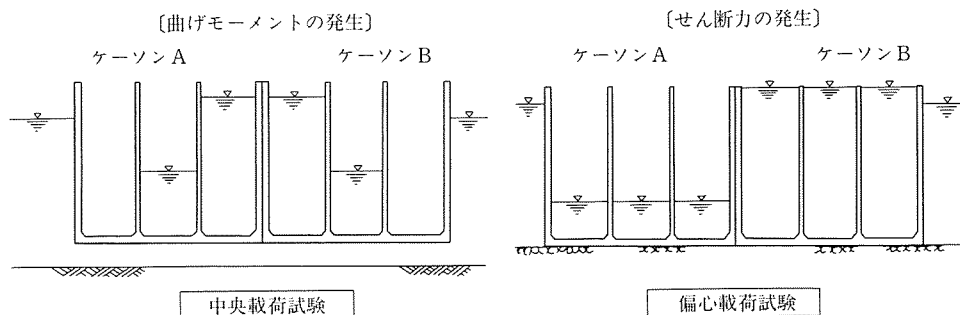


図-14 載荷試験の概要図

性を検討することとした。

(2) 計測項目

計測項目はコンクリートの応力状態、PC鋼材の応力状態およびケーソン目地部の変位状態である。コンクリートの応力は、埋込み型のコンクリートひずみゲージを用いて計測した。PC鋼材の応力はアンボンドの状態ロードセルを取り付けて計測し、ケーソン目地部の変位の計測は継目計をXYZの3方向に設置して実施した。両載荷試験の概要は図-14に示すとおりである。

(3) 載荷試験結果

一連の計測により概ね所定の成果を得ることができ、今後の設計に資することができると思われる。たとえば、図-15は中央載荷試験の結果を示したものである。図中の実測値は接合面におけるコンクリートひずみ量で、左右の側壁および中央隔壁の3点で計測したものの平均値である。また、梁理論により求めたひずみの計算

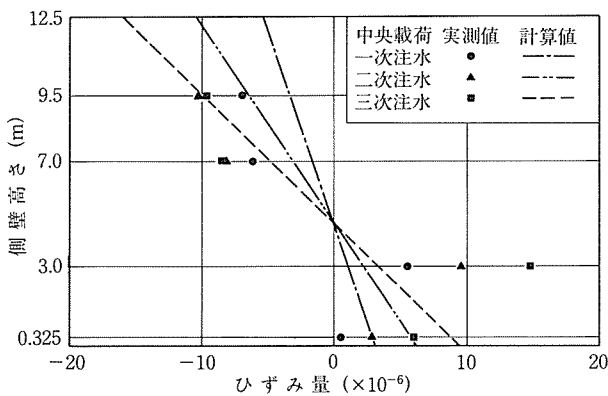


図-15 中央載荷試験による実測ひずみと計測値

値も載荷段階に応じて一点鎖線などで示してある。両者は比較的良く一致しており、接合部応力の算定に接合面全断面を有効とする梁理論を用いることの妥当性が確認できた。

このほか、PC鋼線の緊張によるコンクリート応力の変化もほぼ所定の値を示すことが確認できた。また、接合面のせん断抵抗力は、全プレストレス力に対し摩擦係数 $\mu=0.5$ を期待できるものと想定して算定したが、偏心載荷試験結果によれば、算定したせん断抵抗力とほぼ同等のせん断力に対して接合面での相対変位が見られなかったことから、摩擦係数が0.5以上であったことが確認された。

4. むすび

今回の浮遊接合法は、比較的静穏な港内が利用できること、初期設備投資が比較的少なくてすむことなどから選定されたものである。当初考えていた接岸施設も必ずしも必要ではないことがわかった。1函2100tfという大型ケーソンを対象とした2函接合作業でも、今回の実物大試験によって日常の作業としても十分可能であることが確認できた。今後、この施工実験の経験を生かし、接合装置、補助装置の完全、施工手順の確立、工期の短縮化などさらに洗練された施工法とするため検討していく必要がある。また、台形ケーソンの接合のためにはさらに固有の課題があり、この検討も深めていく予定である。

【1991年2月9日受付】