

PC鋼棒を用いた台形ケーソンの海上浮遊接合工法の開発

小島 朗史*

1. はじめに

小名浜港では現在、沖防波堤の建設を進めている。沖防波堤は全長3 300 mの計画で、昭和53年に着手し平成3年までに約2 100 mが概成している。構造形式はケーソン式混成堤であり、比較的水深が深いこと、波浪条件が厳しいこと、地盤条件が必ずしも良くないことが主な特徴である。今後整備していく区域はこうした条件が一層厳しくなる部分で、水深が-27 m程度の最深部にさしかかり、地盤条件も軟弱な粘土層が-30 m付近から-60 m付近までにわたっている。

こうした条件下においては、従来の矩形ケーソンでは地盤のすべり破壊を防止するため、幅の広い基礎捨石マウンドが必要とされる。そこで、その対応策として新たに台形型のケーソンの採用が提案された。台形ケーソンは幅広の底面を有し、また作用する波力も一部鉛直下向きに期待できることから、接地圧が小さく安定性も高いという特徴を有している。

しかしながら、台形ケーソンは従来の矩形ケーソンに比べ、底面幅が40 mと広く、小名浜港の既存のケーソン製作ヤードの能力、とくに進水時の能力に限られるため、一体製作は不可能であった。このため、台形ケーソンを港外側、港内側に2分割して製作し、それぞれ海上に引き出した後、浮遊させたまま2函を接合し、PC鋼

棒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「大型台形ケーソン海上浮遊接合工法」が提案された。

この開発に当たり、まず従来の矩形ケーソンを用いて浮遊接合の実験工事を実施し、施工性と接合部の一体性の確認をした¹⁾。

この結果を踏まえ、施工法等についていくつかの改善を加え、このほど台形接合ケーソンの1号函が完成したので、その概要について報告するものである。

2. 台形ケーソンの特徴

(1) 高安定性

台形ケーソンの波力安定性が高いことは古くから知られている。斜面の傾きが20度程度までの台形ケーソンについては、その水理特性が明らかとなっており、つぎのような設計波力算定法が提案されている²⁾ (図-3参照)。

- ① 台形ケーソンに働く波力は合田式による波圧がそのままの大きさを斜面直角に作用するものとして算定する。
- ② 底面に働く揚圧力は合田式で求めた揚圧力に次式で示される係数 λ_u を乗じて低減できる。

$$\lambda_u = \exp[-2.26(7.2\Delta l/L)^3] \quad (\Delta l/L < 0.1)$$

ここに、

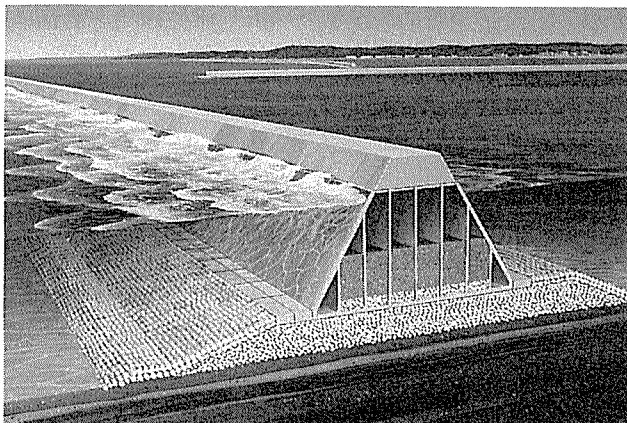


図-1 台形ケーソンのパース

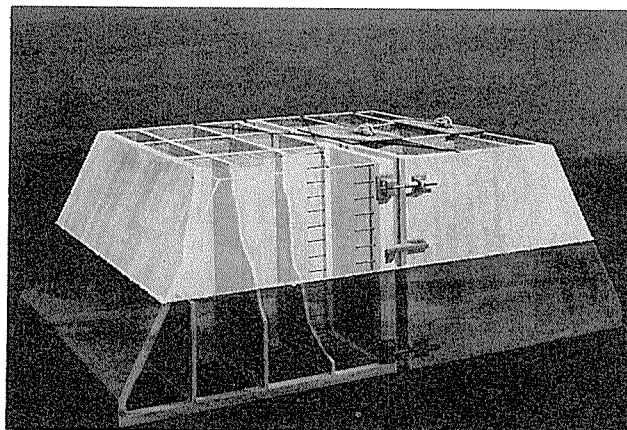


図-2 接合作業のパース

* Roushi OJIMA : 運輸省 第二港湾建設局小名浜港工事事務所長

◇工事報告◇

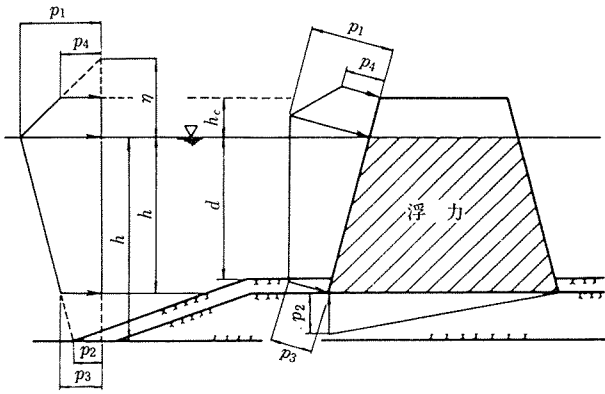


図-3 台形ケーソンの設計波力算定法

Δl : 傾斜壁の静水面との交点と底端との間の水平距離

L : 波長

今回、小名浜港で採用した台形ケーソンは、斜面壁の傾斜角が30度と大きく、改めて水理模型実験を実施した。その結果、前述の提案よりさらに安定性が良いことが明らかとなったため、合田式による波圧の0.9倍の波圧を斜面直角に作用させて良いこととした。なお、揚圧力の低減効果は前述提案と同様に期待できるものとした。

(2) 越波伝達波

台形ケーソンでは、矩形ケーソンに比べ越波伝達波が大きくなる傾向がある。実験結果から、伝達率が直立壁の場合と同程度となるよう天端高さを定めた。すなわち、H. W. L. 上設計波高の0.8倍の高さの天端高とした。

図-4に防波堤の標準断面図を示す。なお、中詰め砂が少なく、端趾圧は矩形ケーソンの場合の半分程度の値となっている。

3. 接合工法とその特徴

(1) ポストテンション工法

台形ケーソンを2分割し、港外側をA函、港内側をB

函とする。この2函の接合は、PC鋼棒99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本当たりの有効緊張力は約65tfで、全体で6400tfあまりの接合力を加えることにより一体化することとした。

緊張力の設計に当たっては、波圧時の底面反力に伴う断面力に抵抗するものとして算定したほか、施工途中の各段階で着底させた場合の地盤の不陸状態を想定して検討を加えた。

PC鋼棒は長さ2.485m、直径36mmのもので、比較的短く、1本当たり約20kgfで取扱いが容易である。また、防食のため塗膜厚200 μ mのエポキシ樹脂塗装を施してある。

(2) マッチキャスト工法

A, B両函に設けられる99本のシース管が精度よく合致してはじめてPC鋼棒の挿入が可能となる。このため、A, B両函の接合面を接触させて製作する「マッチキャスト工法」を採用した。これは接合面について先行して製作したケーソンの面を型枠として製作していくもので、接合面の精度は極めて高い。

(3) 止水ゴムパッキン

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1本ごとのシース管のまわりにゴムパッキンを取り付けてあり、A, B両函を精度よく合致させて、止水ゴムパッキンを圧縮してはじめてPC鋼棒の挿入が可能となる。

止水ゴムパッキンは10mmの凸部リングが設けられており、その裏側には対応して凹部があり、0mmまで圧縮できる。今回の場合、接合作業時に50tf、4基のジャッキを用いており、止水パッキン1個当たりでは約2tfで完全に圧縮できるようになっている。止水ゴムパッキンは使用に先立ち、漏水試験を実施し、1.5kgf/cm²の水圧でも完全な止水性が得られることを確認した(図-5参照)。

なお、シース管の内径は68mm、PC鋼棒の直径は

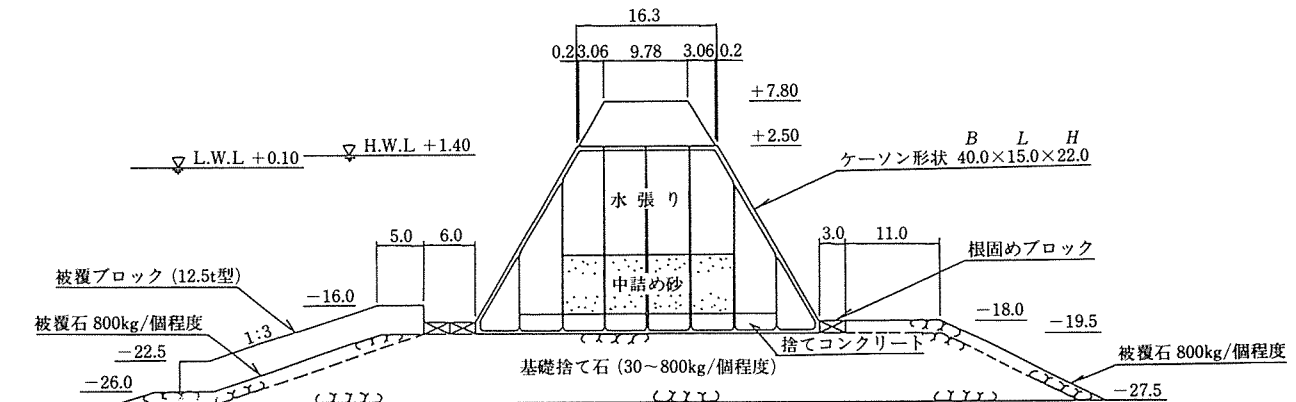


図-4 台形ケーソン防波堤の標準断面図

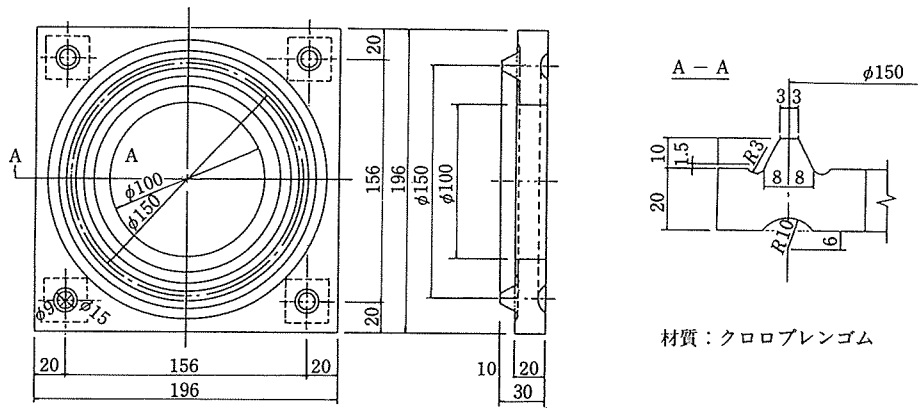


図-5 止水ゴムパッキン詳細図

36 mm であるから、浮遊接合作業はこの差の範囲内の精度が要求される。

4. 台形ケーソン接合工事の概要

(1) 概要

台形ケーソンの諸元は、底面幅 40 m、上面幅 16.328 m、長さ 15 m、高さ 22 m で、カウンターウェイトも含めた最終的な重量は 6 700 t である。また、斜面壁と鉛直とのなす角は 30 度としている（図-6 参照）。

1 つの台形ケーソン製作の作業は 3 段階に分けられる。

まず、① 高さ 13.5 m まで 4 号ふ頭の陸上製作ヤードで製作する。② 半断面ずつ進水さ

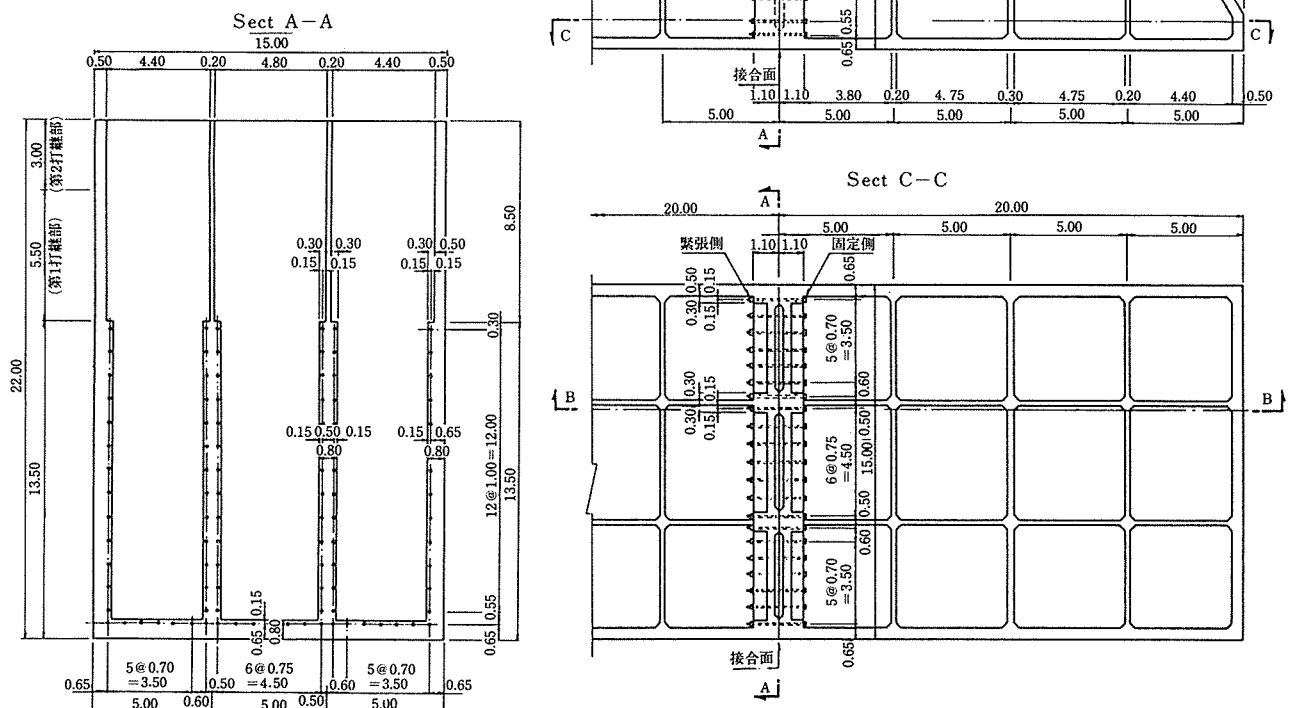


図-6 台形ケーソンの断面諸元

◇工事報告◇

せ、4号ふ頭船溜りで浮遊させたまま接合する。③ 高さ22mまで7号ふ頭継足場で継ぎ足して完成となる。その後、第二西防波堤内側に仮置きし、最終的には沖防波堤に据え付けられる(図-7参照)。

(2) ケーソン陸上製作

A, B両函のシース管の位置を合致させ、また接合面の精度を高めるため、マッチキャスト工法を採用した。これは、接合面部について、先行函(A函)の出来形を型枠としてB函の打設を行うものである。コンクリートの打設順序は図-8に示すとおりとした。A-2段の型枠を脱型してからB-1段のコンクリート打設となるため、2段先行となる。

接合面部の型枠は図-9に示すとおりで、直接、接する幅80cm部分がマッチキャストとなる。この部分には、あらかじめシース管とゴムパッキンベースが配置されている。接合空間部型枠は最上段まで全面張りとなり、ケーソン引離し後脱型することとなる。なお、接合

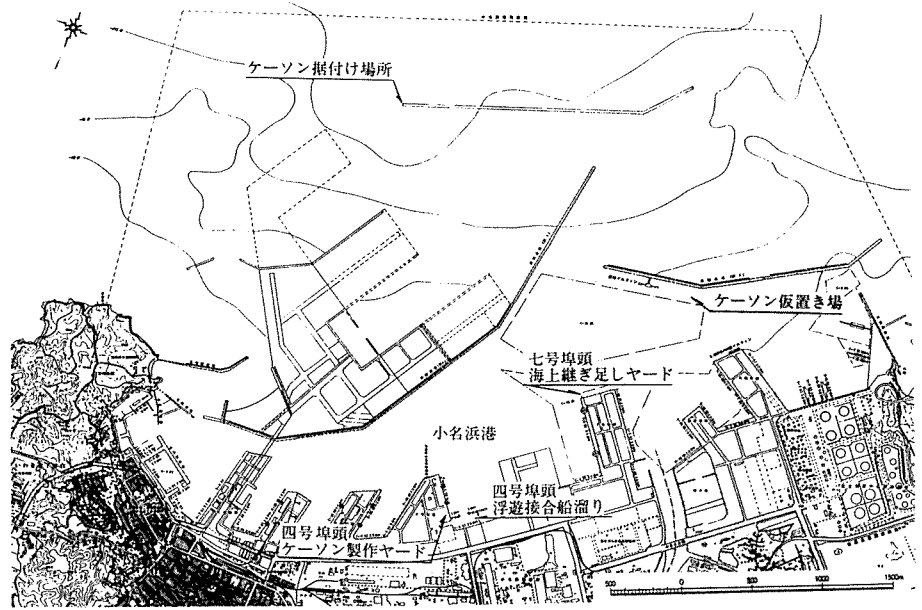


図-7 台形ケーソンの施工位置図

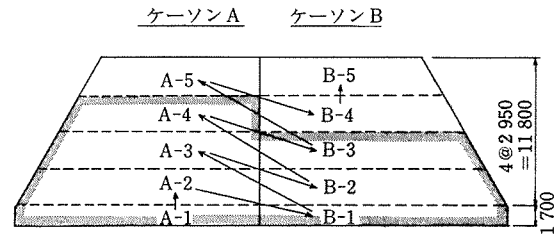


図-8 マッチキャスト工法の打設順序

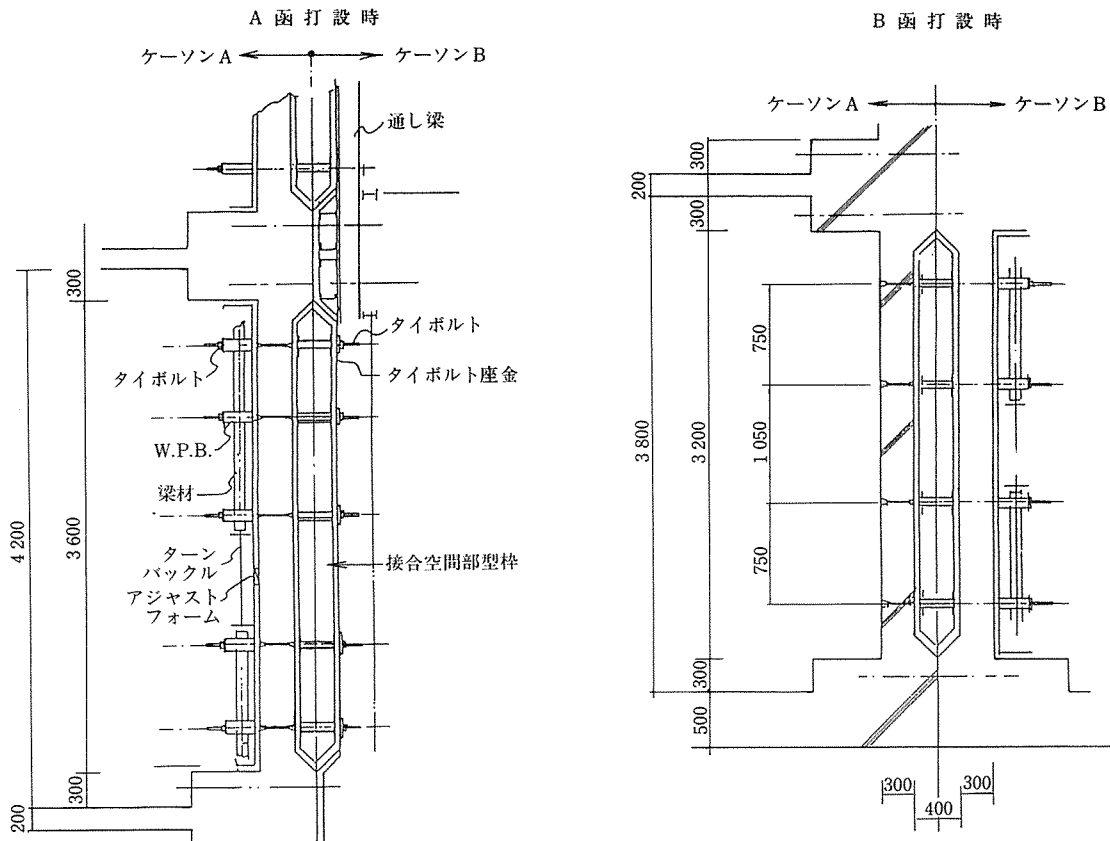


図-9 接合面型枠取合い図

面の剥離剤は通常の型枠に使用するものと同種のものを用いた。

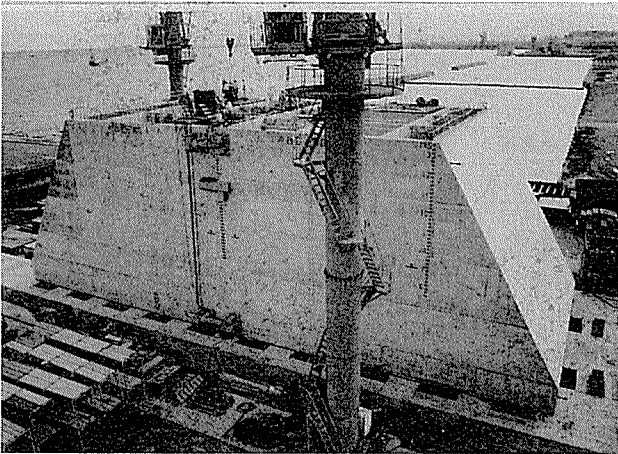


写真-1 台形ケーソン陸上製作の完成

(3) ケーソンの進水

ケーソンの進水作業は図-10に示す手順で行った。通常の進水作業ではケーソンをジャッキアップし、台車を引き込んで台車上にケーソンを載せて行く。このジャッキアップは油圧ポンプを用いているが、この際使用する32基のジャッキが必ずしも均等に作用しない。この点が、A、B函が密着はしているがまだ一体となっていない接合ケーソンの場合問題となる。このため、まず、PC鋼棒66本を用いて仮緊張してA、B函を一体としてジャッキアップする。A函下には台車、B函下には盤木を設けてジャッキダウンし、緊張を解除して分離引き離すこととなる。

ケーソン分離後、接合面の止水ゴムパッキンを取り付ける。

進水そのものは、通常の場合と同様であるが、異形で

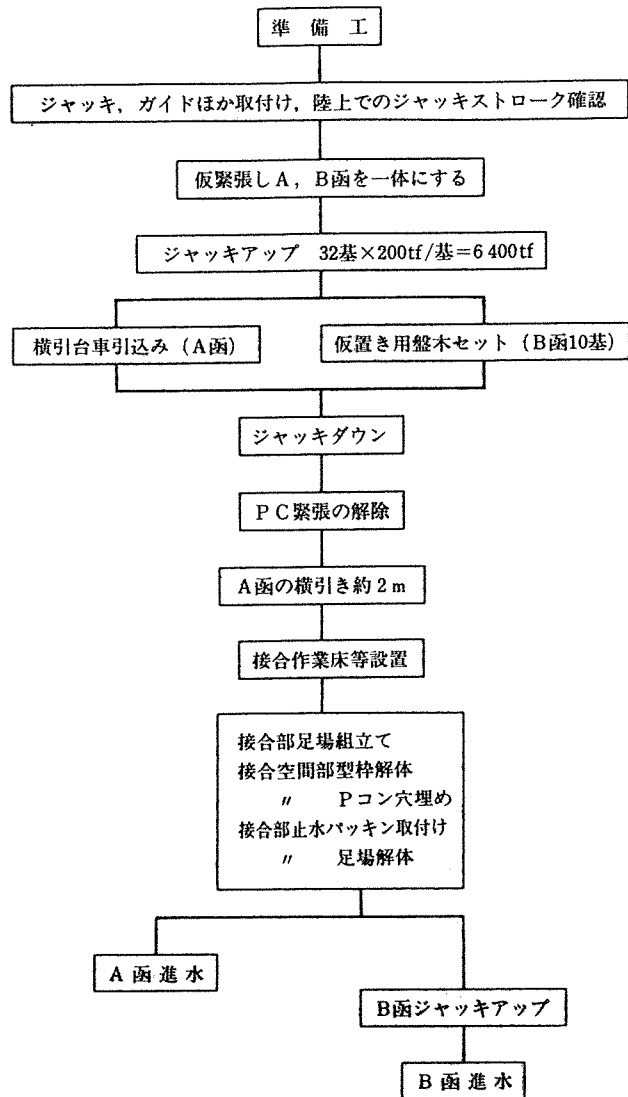
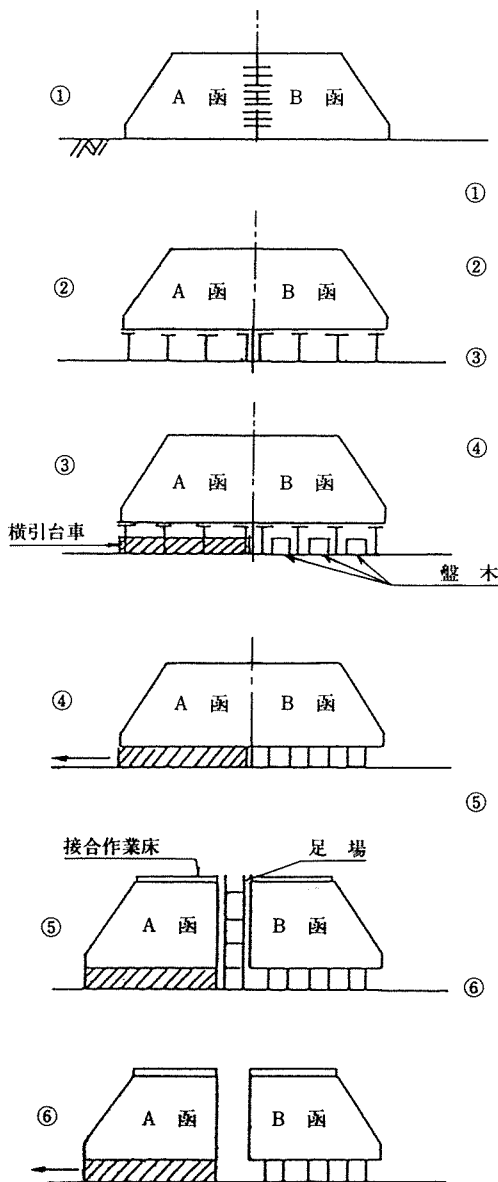


図-10 ケーソン進水作業手順

◇工事報告◇

あるため、重心が台車の中心に位置するよう注意を払っている。

(4) 浮遊接合作業

1) 接合作業場所

海上での浮遊接合作業では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静穏度が高い4号ふ頭船溜りを用いた。ケーソンヤードに隣接しており、作業に適したスペースが確保できる。ケーソンの吃水の関係から-8.0 m の水深を確保した。また、ケーソンの移動用のウィンチ、アンカーブロックをあらかじめ設置した(図-11 参照)。

2) 接合作業に用いた装置

接合作業に用いた装置は表-1 に示すとおりである。引寄せジャッキはジャッキ受台と一対のもので、左右側面の上部と下部に4台を配置した。側面固定用ガイドと高さ固定用受台も一対で動き、側面固定用ガイドの中にB函が誘導されると同時に、側面固定用ガイドが高さ固定用受台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。

表-1 接合作業に用いた装置

| 名 称 | 仕 様 | 数 量 | 備 考 |
|--------------|----------------------------|------|----------|
| 上部引寄せジャッキ | 引力 50 tf ストローク 1 000 mm | 2 台 | Aケーソン上段 |
| 下部引寄せジャッキ | 引力 50 tf ストローク 1 000 mm | 2 台 | Aケーソン下段 |
| 引寄せジャッキ受台 | | 4 台 | Aケーソン |
| 側面固定用ガイド | | 2 基 | Aケーソン |
| 高さ固定用受台 | | 2 基 | Bケーソン |
| 電 動 ウ ィ ン チ | 複胴 5 tf 巻 | 2 基 | Aケーソン |
| 注 排 水 用 ポ ンプ | 高揚程 4 インチ | 16 台 | A, Bケーソン |

両ケーソンの引寄せは5 tf 巻複胴電動ウィンチを用い、ケーソン引寄せ方向に1基(センターワイヤー)、左右位置の調整に1基(クロスワイヤー)とした。

また、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、このため注水用、排水用それぞれ8台計16台のポンプを用いた。注排水量はケーソンの姿勢に応じてあらかじめ計算しておき、陸上部からの測量に基づき、ポンプの稼働時間で注排水量を管理した。

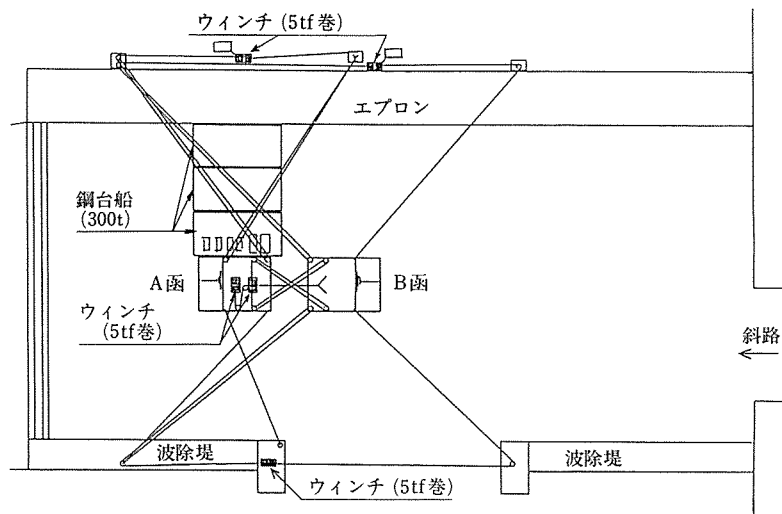


図-11 接合作業場所の段取り

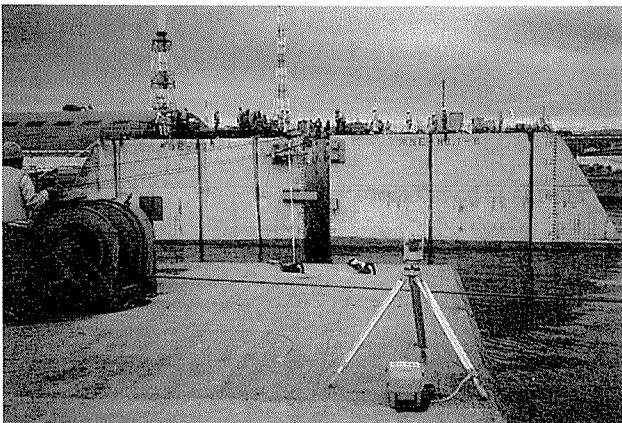


写真-2 浮遊接合作業状況

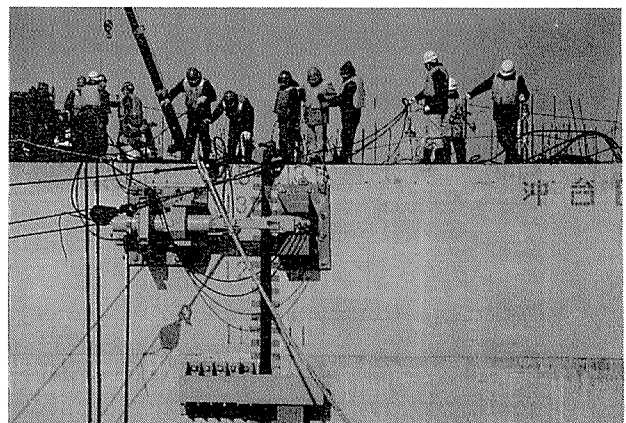


写真-3 引寄せジャッキ作動状況

3) 接合作業の手順と工程

接合作業の施工フロー図を図-12に示す。ケーソンAの進水から撤去片付けまでの工期は8日間である。ケーソンA進水、係留に1日、ケーソンB進水から本緊張までを2日、シース内グラウト注入から定着部防護工まで

2日、撤去片付け3日であった。

図-12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を用いて密着させるまでの手順を図-13(次頁)に示してある。また、この中の最終手順の詳細を示したものが図-14である。この一連の作業のうち、

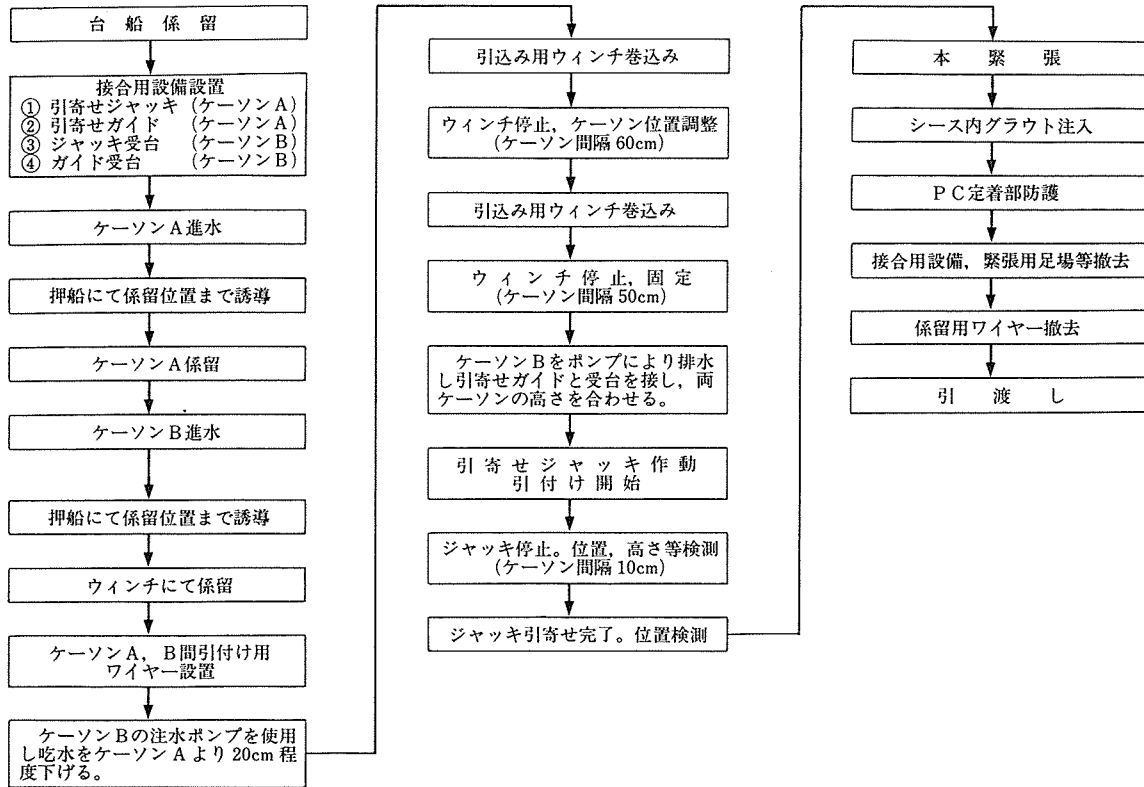


図-12 接合作業の施工フロー図

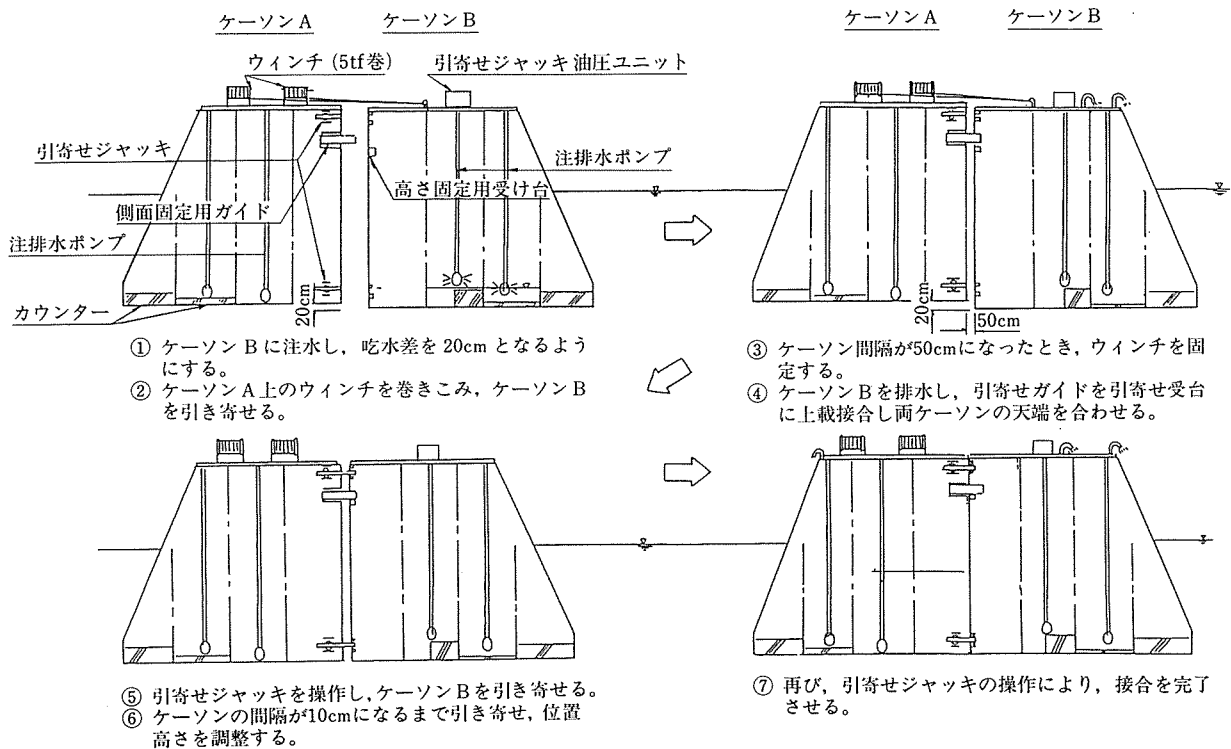


図-14 最終接合作業の詳細

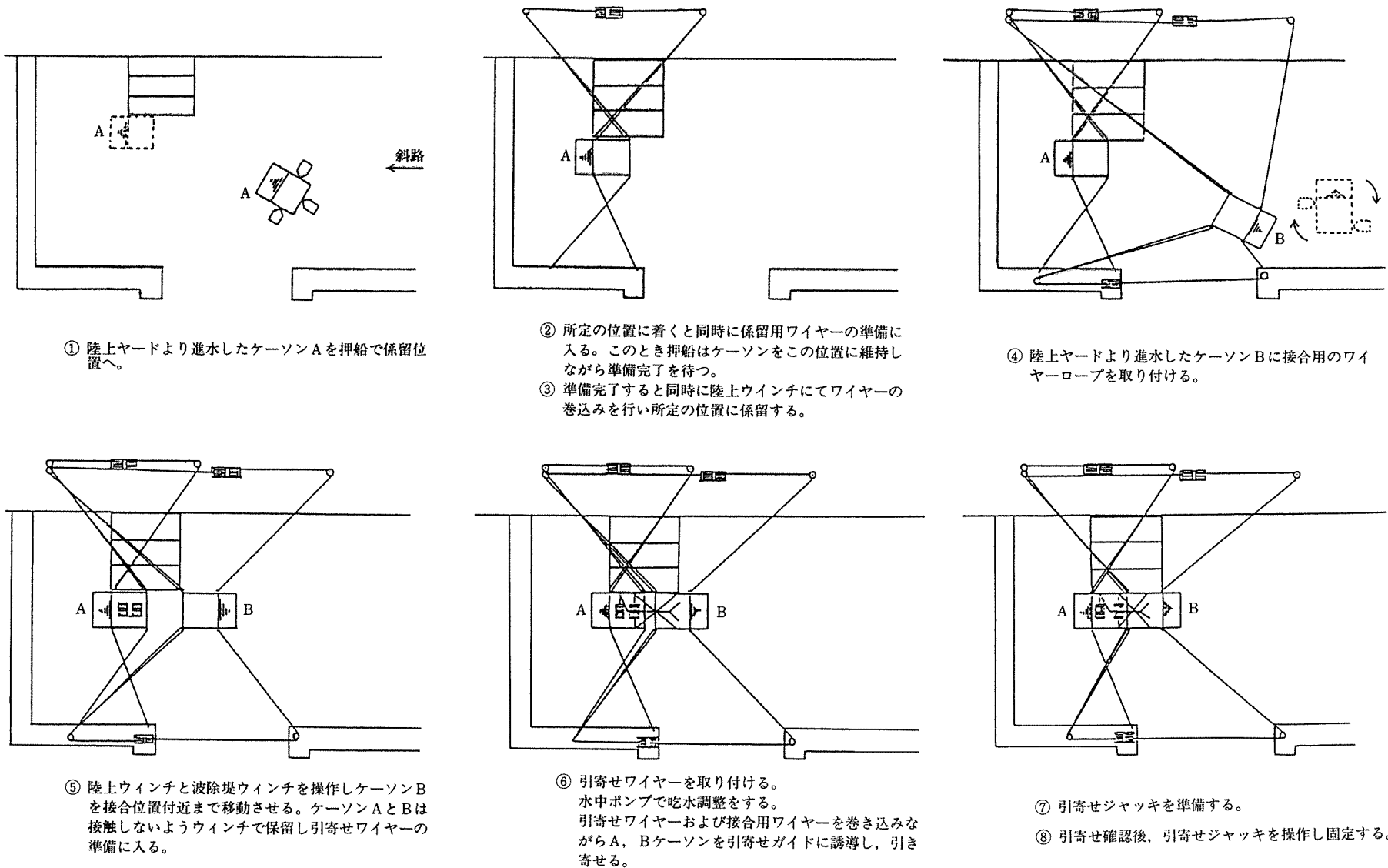


図-13 接合作業の流れ

引寄せガイドをその受台に合致させて載せるまでがウィンチ、ワイヤー操作で行うもので、キーポイントとなる作業のひとつである。引寄せガイドの左右の遊びは 10 mm としてあり、これに合致させて受台に上載させれば、まず所定の精度が確保できる。その後、引寄せジャッキを作動させ、相対位置を計測しながら徐々に引き寄せて接合する。そして最終的には止水パッキンを完全に圧縮してシース管の止水キャップを外す。

PC 鋼棒の緊張はコンクリートのクリープ、乾燥収縮などを考慮し、導入緊張力は 74.3 ㎏ とし、偏心モーメントが生じないように対称に順序を決めて作業を行った。

本緊張完了後、シース内グラウト注入を行い、最後に定着部の防食対策のため、モルタルで防護して接合作業の完了となる。

今回の接合作業では、接合誤差は高低差 1 mm、水平方向の差 4 mm でほぼ完全な一致が得られた。

5. む す び

浮遊接合作業時の多数の機材による複雑な作業を支援するため、ケーソンの位置、動揺等の計測、解析も実施

した。これは、小型ジャイロコンパス、自動追尾式光波位置計を用いパソコンでデータ処理して、ケーソンの状態をリアルタイムで表示するシステムである。今後、改善を要するが、作業の効率化、省力化、安全対策に有効と考えられる。

海上浮遊接合法は、ケーソンの動揺が最大の問題で、今回の作業は波高 20 cm、周期 6 s 程度の好条件で実施できた。この程度の静穏な水域が得られれば、汎用的に十分通用する施工法と考えられる。

接合された台形ケーソンは、海上継足しをした後、平成 4 年 1 月、沖防波堤の所定の位置に据え付けられた。

参 考 文 献

- 1) 小島朗史, 深海正彦: PC 鋼線を用いた大型ケーソンの海上浮遊接合法の開発, プレストレストコンクリート, Vol. 33, No. 3, 1991 年 5 月, pp. 64~73
- 2) 谷本勝利, 木村克俊: 台形ケーソンの水理特性に関する実験的研究, 港湾技研資料, No. 528, 1985 年 9 月, p. 28

【1992 年 4 月 1 日受付】

◀刊行物案内▶

PC 定 着 工 法

(1988 年版)

体 裁 : B 5 判 126 頁

頒布価格 : 3 300 円 (会員特価 3 000 円) (送料 350 円)

内 容 : PC 定着工法総論, 一般ケーブル (総論, 18 工法), 斜張ケーブル (総論, 8 工法), シングルストランドケーブル (総論, 8 工法), アンボンドケーブル (総論, 7 工法), アースアンカーケーブル (総論, 10 工法), プレテンション工法総論, PC 定着工法の評定
