

# カーテン式防波堤の施工

木村 普<sup>1</sup>・森井 定和<sup>1</sup>・織田 幸伸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大成建設株式会社 関西支店 広島土木部（〒160-0041 広島市中区小町2-30）

<sup>2</sup>正会員 大成建設株式会社 関西支店 広島土木部（〒160-0041 広島市中区小町2-30）

中国地方の港湾施設において総延長1170mのカーテン式防波堤を建設した。斜めに打設した鋼管杭にカーテン版を設置し、上部工を構築するものである。大型のカーテン版を据付けるため、カーテン版の施工方法とともに鋼管杭打設精度の確保が重要であった。また上部工についても施工延長が長い為、波浪に対して安定した施工が確保できるような施工方法を選択する必要があった。これら一連の海上工事を通して、現場施工条件としての問題点を解決する施工方法を立案し、実施した。

本論文では、鋼管杭打設からカーテン版据付、上部工施工までの一連の施工方法について実施例を紹介する。

**キーワード:** カーテン式防波堤, 大型カーテン版, プレキャスト化, 斜杭打設, 施工

## 1. はじめに

防波堤の構造形式としては傾斜堤、直立堤、混成堤等様々な形式があり、それらはケーソン、捨石、消波ブロック等により多種多様な形式で建設されている。防波堤形式の採用に当たっては波浪条件、透過性、消波の必要性、要求される静穏度、地盤条件、コスト面等を考慮し、様々な形式から所要の条件を満たす適切な形式が選定される。

本論文では、上記のような一般的な構造とは異なる形式である斜杭基礎のカーテン式防波堤の施工について、実施事例を紹介する。

### 【本工事の特徴】

- ・大型カーテン版の据付
- ・厳しい施工精度が要求される斜杭の鋼管杭打設
- ・約1.2kmにおよぶ長い施工延長
- ・3.5mと大きい干満差での海上施工

上記条件を踏まえて品質、安全性、施工性およびコスト等を総合的に考慮した施工方法を立案した。

## 2. 工事概要

### (1) 構造概要

全体平面図を図-1に、標準断面図を図-2に示す。施工延長は陸から沖に向けて911m、直角に折れて260mの合計約1.2kmの防波堤を建設するものである。

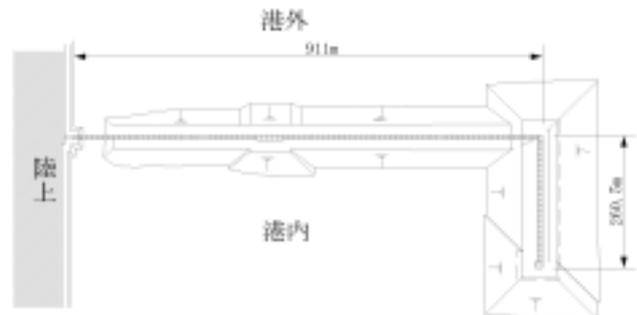


図-1 全体平面図

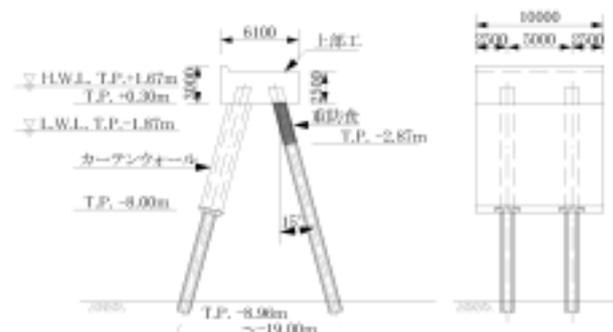


図-2 標準断面図

構造は標準断面図に示すように鋼管杭を基礎としたカーテン式防波堤形式である。15度に傾斜した鋼管杭の前杭2本、控え杭2本の計4本を1組として1ブロ

ックを構成し、前杭2本にプレキャストのカーテン版を設置した後、上部工を構築するものである。

## (2) カーテン版の構造

カーテン版は、その下端を鋼管杭天端から鋼棒で吊下げられたカーテン版受台により支持される構造となっている。鋼管杭とカーテン版挿入部とのクリアランス100mmの中に鋼棒が配置され、特にカーテン版下端でクリアランスが50mmと狭くなっている(図-3)。また隣り合うカーテン版間のクリアランスは50mmである。

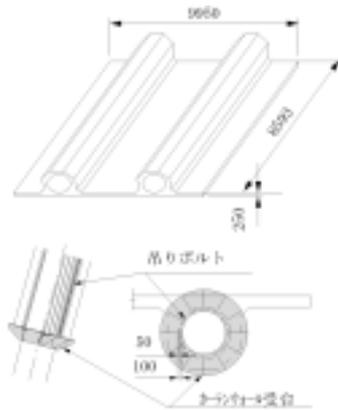


図-3 カーテン版挿入部詳細図

## 3. 全体施工計画

### (1) 施工上の留意点

本工事ではカーテン版重量の軽減から版厚、鋼管杭挿入部とも最小限の構造となっており、施工上以下の点に留意する必要がある。

#### 鋼管杭打設精度の重要性

カーテン版挿入部と鋼管杭とのクリアランスが狭く、しかも杭上端からカーテン版下端までの約10m間この中に収まる精度の杭打ちを行う必要がある。

#### カーテン版の取り扱い

カーテン版は大きさ、重量の点で取り扱いが難しい上に版厚が25cmと薄い。しかも高さが高いため、建てたままでの製作、運搬が難しく、製作ヤードからは横になった状態で海上運搬される。現地で建起こしを行う必要があるが、カーテン版を損傷せず据付ける施工方法の検討が必要である。

#### 波浪に対し安全な上部工の施工

上部工下部の施工高さが干満帯にかかり、施工延長も長いことから、桁材を使用した支保工による現場打設では、波浪時の型枠支保工の倒壊リスクが大きいと予想され、品質、安全性、施工性に優れた工法を選択する必要がある。

### (2) 施工フロー

全体施工フロー図を図-4に示す。

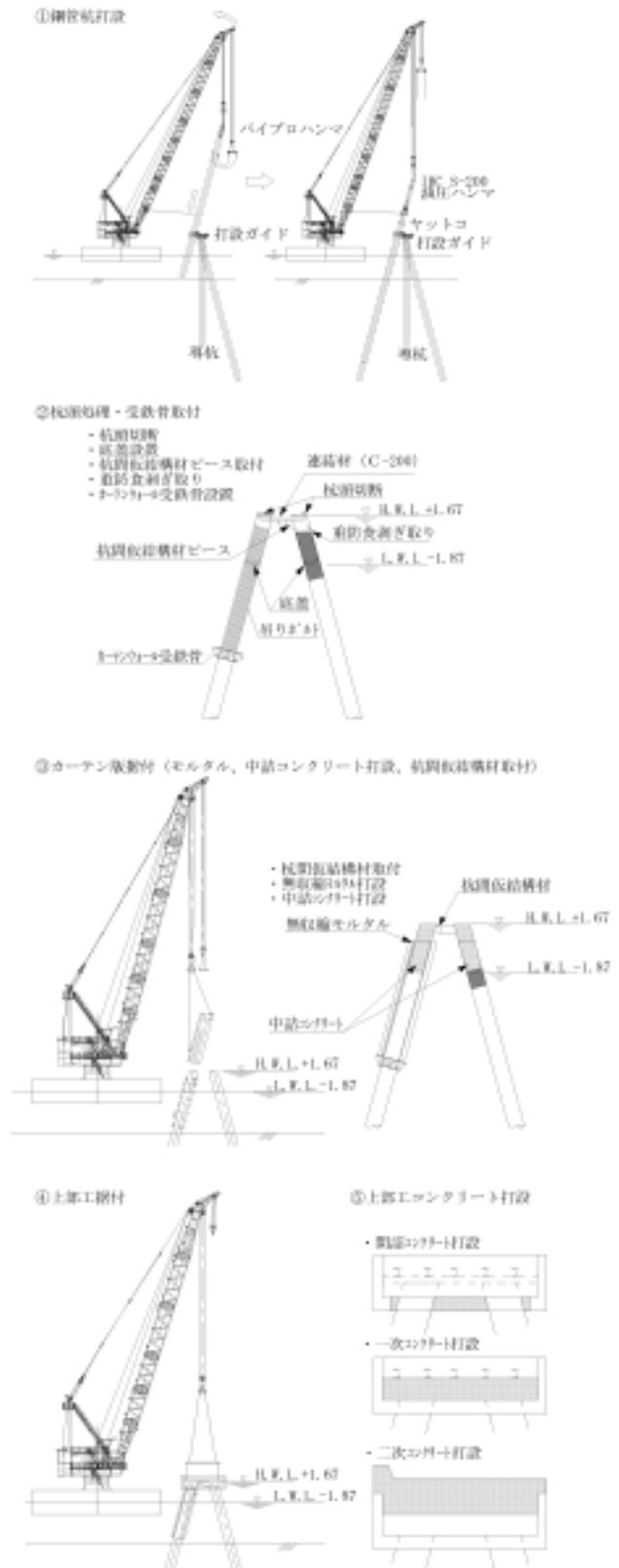


図-4 全体施工フロー図

## 4. 鋼管杭打設工

1016～1800鋼管杭合計473本を15度の傾斜で八の字に打設するものであり、前述のように厳しい打設精度が要求されるものである。

### (1) 施工条件

#### 作業船配置スペース

施工エリア周辺は、港外側に汚濁防止膜が離隔約200mで防波堤に平行に設置されており、作業船を防波堤直角方向には配置不可能である。さらに港内側では隣接工区と作業船が近接するため、港外側から防波堤と平行に作業船を配置し、90度回転して横打ちする方法以外選択の余地がない。

#### 目標打設精度

港内側のカーテン版が設置されない控え杭（以下後杭）は、後述する上部工プレキャストボックスが設置可能であれば問題なく、通常の施工精度の偏芯量10cm以内を目標とした。

港外側のカーテン版設置杭（以下前杭）については、カーテン版挿入に支障がないように杭上端、カーテン版下端ともに偏芯量5cm以内とした。ただし隣り合うカーテン版間のクリアランスが50mmあるため、この間で調整可能な杭配置であるという条件で、防波堤延長方向に+を許容した。

### (2) 施工方法

杭径、必要打設精度、施工時期に応じて3種類の杭打船を使用した。その内、通常のリーダー打設によらず導材使用のフライング打設により実施した前杭の施工方法について以下に示す。

杭打ち作業においては船首側からのリーダー打設とするのが最も安定した方法であり、施工精度も高い。しかし本工事の場合、船首側からの打設が不可能なため、90度回転しての斜杭の横打ち作業となった。このため以下の点に留意する必要がある。

測量により所定の位置に杭を誘導しても、杭およびハンマー重量を地盤にあずけた瞬間に船体クレーンの荷重が抜け、リーダー打設では杭を起こして位置がずれてしまう。

導材を用いたフライング打設では、斜杭のため導材に杭重量をあずけることになる。この荷重に対して、動かない導材を設置することは不可能であり、その分打設精度が低下する。

これらの問題を解決するため、以下のような施工方法を採用した。

荷重により船体バランスが変化しても杭を動かさないよう、起重機船によるフライング打設とした。杭の打止め3m手前までパイロハンマーを使用して杭を建込み、残りを油圧ハンマーにより支持力を確認して打ち下げた（写真-1）。

荷重により導材が後方に変位した分、油圧ジャッキにて押し戻し、所定の位置を保持できる導材を採用した（写真-1、図-5）。



写真-1 フライング打設（手前パイロハンマー使用）



写真-2 導材

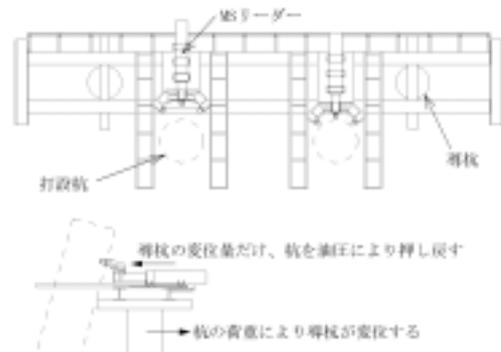


図-5 導材構造図

### (3) 施工結果

打設後に施工精度の測量を行い、カーテン版挿入に問題のない精度であることが確認できた。他に使用した杭打船による打設結果と比較すると、以下のようなことが整理できる。

- ・リーダー打設による横打ちでは船体バランスの影響が少なからず発生する。この場合船体の大きな起重機船を使用すればその影響は無視できる範囲となる。
- ・導材を使用した斜杭のフライング打設の場合、荷重を導材にあずけることになるため、固定式の導材では杭が変位する。施工精度に応じて変位を戻す方法を検討する必要がある。

## 5. カーテン版据付工

これまで、同様な形式で建設された例としては、カーテン版の大きさは幅10m×高さ5m程度が標準的である。本工事の場合、高さが8.6m～11.7mと高い。したがって製作方法、運搬方法は横にした状態となり、これを損傷なくいかに建起して挿入するかが重要となる。ここではRCカーテン版の建起しおよび挿入について示す。

### (1) 施工条件

#### 施工サイクル

カーテン版の製作数量が多く、これだけの数量を一度に製作できるスペースは確保できなかった。また、一度に全てのカーテン版を据えて長期間放置することは、波浪による損傷のリスクが大きい。そのため製作、積込、据付の施工サイクルを何回かに分ける必要がある。

#### 作業船

RCカーテン版の最大重量は118tfである。横になっているカーテン版を建起すには、主フック、補助フックの2点吊りにより図-6のように施工するのが一般的な施工方法である。この場合、400tf吊級前後で補助フックは60tf以上の旋回式起重機船が必要となる。このクラスで補助フック吊荷重60tf以上となると、作業船がごくわずかに限定される。本工事の場合、連続で全ての作業ができず何回かに工程が分断されるため、作業船が限定されれば工程コストに影響することが懸念される。

#### カーテン版への施工時作用荷重

建起しの際、特にカーテン版下端に過大な荷重を作用させないような施工方法とする必要がある。

#### 挿入時の鋼管杭との接触

カーテン版の高さが高いため、鋼管杭への挿入時に挿入部内側が鋼管杭上端に接触することで、カーテン版を損傷させる可能性がある。

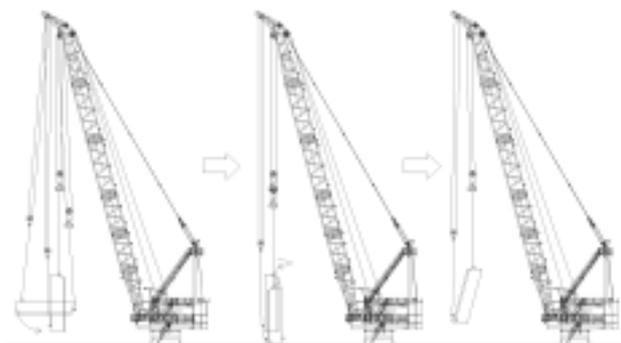


図-6 一般的なカーテン版の建起し方法

### (2) 施工方法

施工条件に示したような問題点を解決するため以下のような施工方法を採用した。

カーテン版を運搬台船の敷材上で直接建起した場合、カーテン版下端が損傷する可能性がある。このため、回転架台を使用して主フックのみの1

点吊で施工できる工法を提案した。これにより作業船が限定されず、400tf吊起重機船であればどの作業船でも施工可能なようにした(図-7、写真-3, 4, 5)。

回転架台の回転支点について、建起し角度に合わせ第1支点、第2支点の2つの支点を設けることで版自体に過大な曲げ荷重が作用しないようにした(図-9)。

主フック1点吊りでの作業のため、据付時にはすでに15度の角度になるように吊り上げられている。このまま鋼管杭に挿入し、クレーンブームを起こしながらカーテン版を下ろしていくため、接触は多少あっても過度な荷重が挿入部に作用することはない(写真-5)。

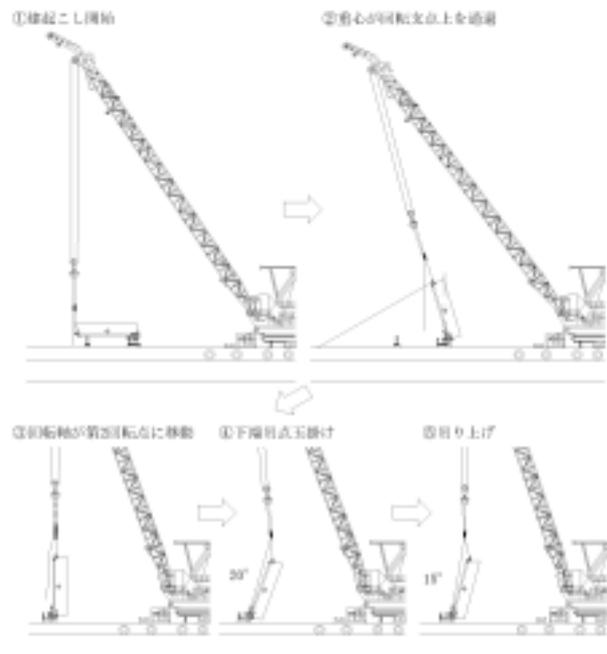


図-7 施工フロー図

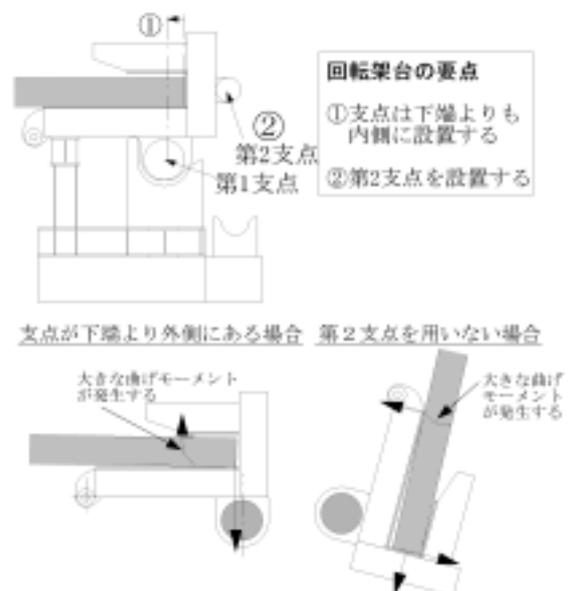


図-8 回転架台概要図

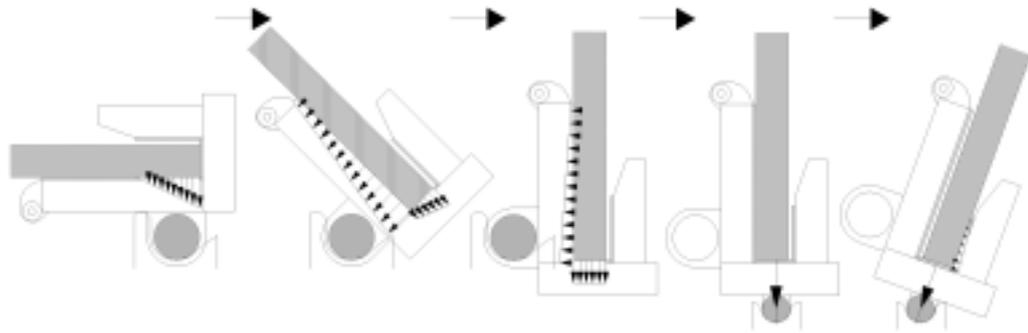


図-9 建起こし時作用荷重

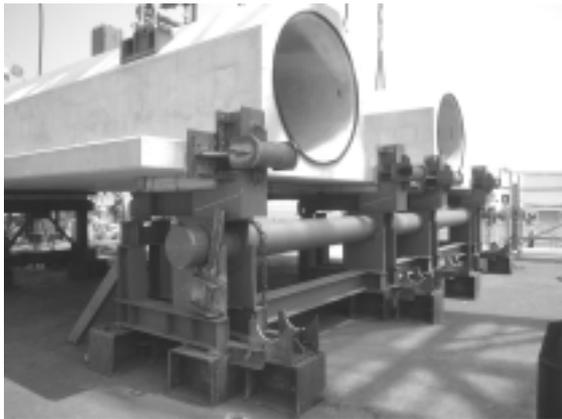


写真-3 回転架台

### (3) 施工結果

上記の施工方法により実施した結果、以下のことが整理できる。

- ・主フックのみの1点吊りによる施工方法は、カーテン版を損傷しないよう、回転架台の支点の工夫により施工可能である。
- ・1点吊りにより主フック、補助フックの操作がないため、建起こし、据付ともスムーズに実施できる。特に据付では据付角度のままの挿入となり、2点吊りと比較して非常に作業性が良い。

## 6. 上部工

従来工法では、桁材を使用した支保工上に現場施工で躯体を構築する方法が用いられる。本工事では躯体構築部分が干満帯にかかること、施工延長が長いことから、施工性、波浪による施工時の被災リスク、品質等を考慮した施工方法の検討が必要であった。これらの対策のため実施した上部工の一部プレキャスト化について以下に示す。



写真-4 建起こし状況

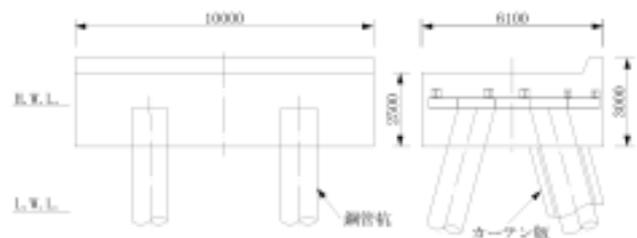


図-10 上部工標準断面図



写真-5 吊上げ状況

### (1) 施工条件

#### 施工高さ

この地域は干満差が3.5mあり、標準断面図(図-10)に示すように上部工の下側半分以上が干満帯にかかるため、施工性が悪い上に品質、安全上の問題も懸念される。また、波浪の影響を大きく受けるため、従来工法を採用する場合、支保工倒壊のリスクが非常に大きい。

#### 施工延長

総延長約1.2kmにおよぶ防波堤の建設であり、

施工も長期に渡ることから、台風シーズンにも施工を進める必要がある。上記のような支保工倒壊について、しかもそれが複数回発生することが懸念され、安定した施工方法が望まれた。

## (2) 施工方法

上記の問題点を解決するため上部工の一部をプレキャスト化することとした。以下にプレキャスト構造のポイントについて示す。

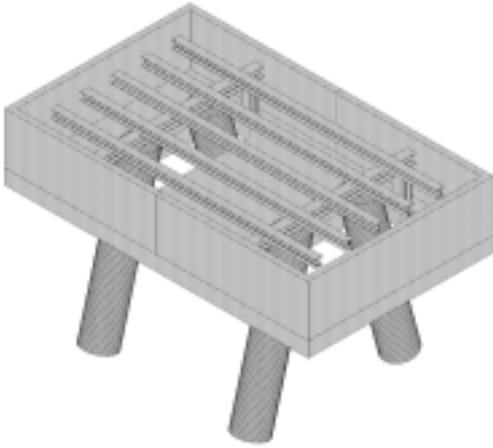


図-11 Pca-Box鳥瞰図

図-11に示すように上部工の底面および側面の壁のみをボックス型にプレキャスト化（以下Pca-Box）した。桁材に取り付けた鋼棒によりPca-Boxを吊下げる構造とし、この桁材を鋼管杭天端に据付けるようにした。これにより干満帯の施工性、品質、安全等について対応できるものとした。

このPca-Boxは、杭廻りのコンクリートを打設し底面を閉塞した時点でPca-Box内がドライの状態になる。この状態でH.W.Lまで潮位が上がると浮力が大きくなり、10tf程度の荷重しか残らずPca-Boxが不安定になる。このため側面壁の下側に通水口を設け、杭廻り躯体施工直後、Pca-Box内に積極的に海水を入れ、大きな浮力が作用しないようにした。

据付け後Pca-Boxの波浪に対する安定性を高めるため、桁材と鋼管杭の接合だけでなく、桁材を支えるH型鋼の支柱と鋼管杭間に鋼材を設置して固定した。また隣り合うPca-Boxどうしを妻側に設けられたBox間連結用孔からボルトで仮連結することで躯体出来形の確保と全体での安定を図った（図-12）。これは躯体構築時に撤去される。

前杭と後杭の間には、カーテン版据付後の安定を図るために仮連結材が設置されている。Pca-Box据付時にこれが障害となる。そのためPca-Box底面の杭廻り開口部は、前杭と後杭間に渡る大きな長穴にして2箇所設けることとした。この

仮連結材を一旦撤去するのであれば、4つ穴の開口部で良いが、撤去した時点でカーテン版重量により、前杭が大きく変位するため、撤去できない。また開口部の大きさはPca-Box下端レベルで鋼管杭とのクリアランスを15cm確保することとした。

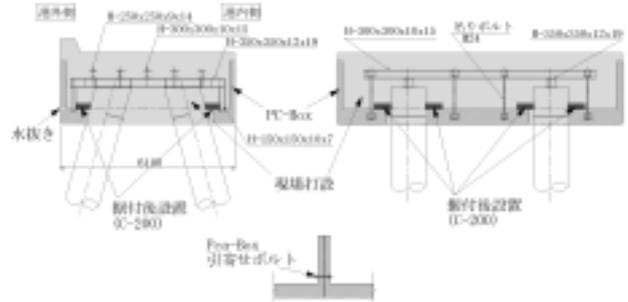


図-12 Pca-Box固定要領



写真-6 Pca-Box据付状況

## (3) 施工結果

施工途中で数回台風が襲来したが、影響なく工事を進めることができた。Pca-Boxを採用した施工の結果を以下に整理する。

- ・陸上ヤードで製作することにより、Pca-Boxの外観およびコンクリート品質が向上した。
- ・Pca-Boxの採用により、防波堤延長方向への伸びが懸念されたが、ボルト締め仮連結により出来形の伸びは発生しなかった。
- ・通水口を設けたことで荒天時にも過大な浮力の発生を抑止することができた。

## 7. おわりに

本工事では、海上工事の施工をプレキャスト化することにより、品質、工程、安全等の面について非常に優位に進めることができた。現在沖側の施工を引き続き施工中であるが、これらの工法により工期も大幅に短縮できる予定である。