

本コーナーでは、PC 構造物やその技術に関して会員の知見をより広げるために、社会インフラとして幅広く利用されているさまざまな PC 技術を紹介します。

## PC 棧橋

谷口 正輝\*1・木村 光俊\*2・加藤 克一\*3・横川 勝則\*4

### 1. はじめに

PC 棧橋は、わが国では 1962 年より建造され、以来半世紀にわたり数百件の実績を重ね、大型の客船バース、コンテナ棧橋や耐震強化岸壁にも適用されています。棧橋に用いるプレキャスト PC 桁は通常、工場で製作されるため、品質に優れます。プレストレスを導入することで、プレキャスト PC 桁のひび割れの発生が抑制され、厳しい海洋環境下においても優れた耐久性を発揮します。また、型枠・支保工やコンクリート工などの現地施工が短縮されるため、施工中の気象海象の影響を受けることも少なく、急速施工が可能で安全面でも優れた特徴があります。

### 2. 一般的な棧橋構造

#### 2.1 一般的な棧橋の形式

棧橋は船舶を係留する係船施設の種類で、図 - 1 に示すように、その配置および平面形状によって、護岸に対して直角方向に設置される縦棧橋（または突堤棧橋）、護岸に沿って平行方向に設置される横棧橋、護岸から離れた適当な水深に設置する島棧橋に分類されます。

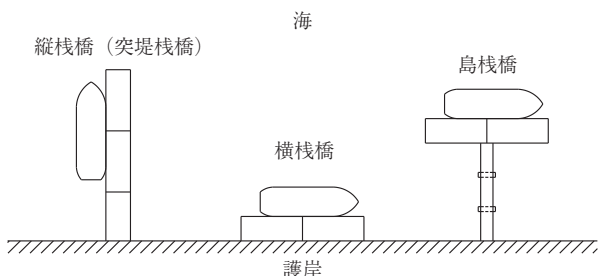


図 - 1 棧橋の配置による分類

また、海洋には潮の干満があることから、船舶の接岸や利用形態により棧橋自体の設置方法が異なります。図 - 2 に示すように、船舶への乗降をある一定の高さ以内で行うために水面上に浮体（鋼製・RC 製・FRP 製・PC 製など）を浮かべアンカーや杭で係留する浮棧橋と、護岸背後へのアクセス性を確保するとともに、配管・機械設備の潮位変動による影響を防止するために杭などで上部工の高さを固定した固定式棧橋があります。

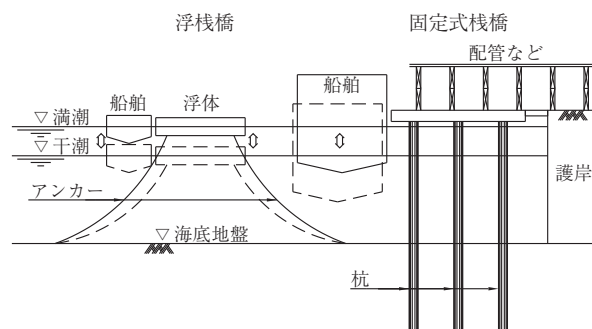


図 - 2 上部工の設置方法による分類

#### 2.2 上部工の形式

棧橋の構造は、船舶の接岸や荷揚げ機械・車両および人などが利用する床版や各杭を連結する受梁・桁などの上部工と、この上部工を支持するために地盤内に打ち込んだ杭などの下部工に分けることができます。

このうち、上部工については、一般的な鉄筋コンクリート構造の RC 式、図 - 3 に示すように、プレキャスト PC 桁を間詰めコンクリートと横方向プレストレスによって一体版構造にして受け梁上で連結した PC 式、鋼管で組み立てた立体トラス構造物を杭と一体化させたジャケット式があります。RC 式では現地にて施工するため形状変更への対応が容易、PC 式では下部工の杭本数を減らすことが可能、ジャケット式では比較的大水深での施工に適しているなど、それぞれ特徴があります。

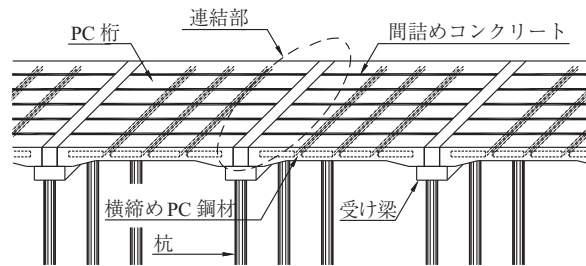


図 - 3 PC 棧橋の上部工例

\*1 Masateru TANIGUCHI：港湾PC構造物研究会

\*2 Mitsutoshi KIMURA：港湾PC構造物研究会

\*3 Katsuichi KATOU：港湾PC構造物研究会

\*4 Katsunori YOKOKAWA：港湾PC構造物研究会

### 3. PC 栈橋の構造

#### 3.1 PC 桁の形状

PC 栈橋に使用される PC 桁を図 - 4 に示します。一般的には桁の中心部に中空部をもつホロー桁を使用します。これは、桁の重量を軽くして地震による慣性力の低減を図ることに加え、海水と接する面積を少なくすることで鉄筋腐食の危険性が低いなど耐久性の面でも優れているからです。また、受け梁との連結部では支点部分となることから、発生する断面力に対応して桁高を高くした変断面のホロー桁を使用する場合があります。

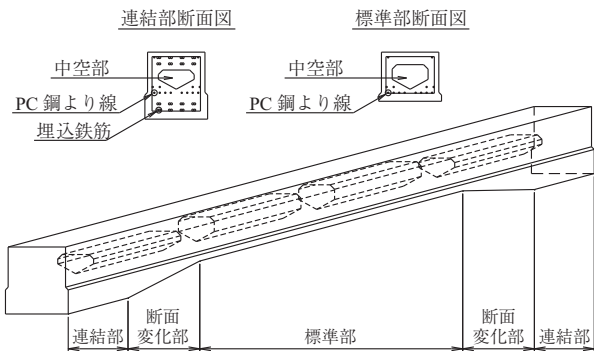


図 - 4 変断面の PC ホロー桁

#### 3.2 PC 桁の配置

横栈橋形式の PC 栈橋は図 - 5 に示すように、プレキャスト PC 桁を設置する方向により法線平行配置型と法線直角配置型があります。法線平行配置型では、受け梁が岸壁法線の直角方向に配置されることから、アンカーボルトで設置する防舷材や係船柱は受け梁に設置することになります。一方、法線直角配置型では受け梁が岸壁法線の平行方向に配置されることから、防舷材や係船柱は任意の位置に設置でき、受け梁は栈橋上を走行するクレーンのレール基礎を兼ねることもできます。

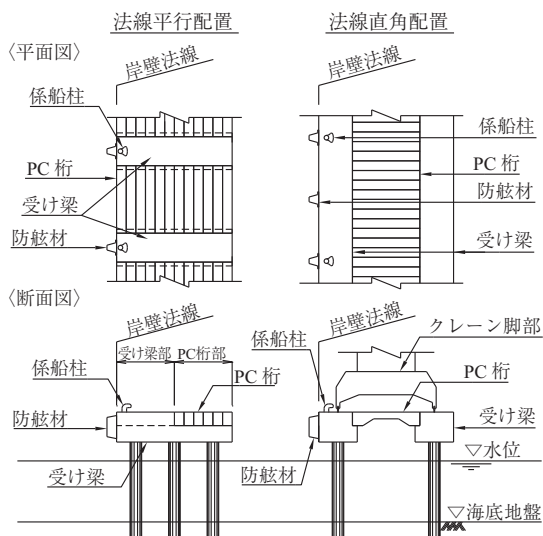


図 - 5 PC 桁の桁配置方向

### 4. 設計手法

#### 4.1 港湾構造物の設計における基本的な考え方

港湾構造物の設計においては、平成 19 年 4 月に施行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup> (以下、技術基準・同解説とする) によって、仕様規定型から性能規定型に移行し、信頼性設計法 (偶発作用状態を除く) を用いることになりました。道路橋における設計では、現在も許容応力度法による手法が広く用いられているため、もっとも大きく異なる点となります。技術基準・同解説の中で、① 船舶の係留、人の乗降や貨物の荷役が安全かつ円滑に行うことができる (使用性)、② 永続・変動作用 (自重、レベル 1 地震動等) が及ぼす損傷等によって、機能を損なわず継続して使用できる (使用性)、③ 耐震強化施設では、偶発作用とされるレベル 2 地震動の作用後に、軽微な修復で必要とされる機能を回復できる (修復性)、あるいは、必要とされる機能を損なわず継続して使用できる (使用性)、といった栈橋に対する性能が規定されています。これらを満足するために、とくに②、③においては、発生する作用に応じて適切に性能照査を実施する必要があります。設計状態ごとに一般に用いられる栈橋の性能照査方法を、表 - 1 に示します。

表 - 1 一般に用いられる栈橋の性能照査方法

設計状態	主たる作用	一般的な性能照査方法
永続状態 変動状態	自重、土圧、風、波浪、水圧、船舶の接岸および牽引による作用、積載荷重	信頼性設計法 (部分係数法等)
	レベル 1 地震動	信頼性設計法 (部分係数法等)
偶発状態	レベル 2 地震動	数値解析法

#### 4.2 PC 栈橋の設計の考え方

PC 栈橋の設計手順について図 - 6 に示します。

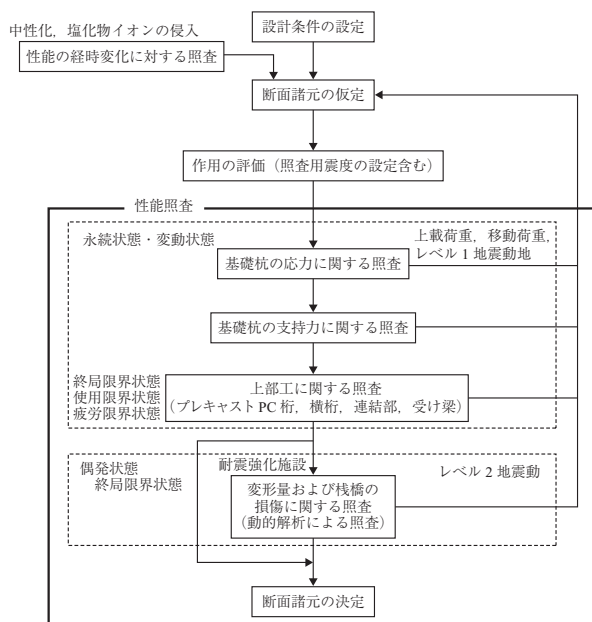


図 - 6 PC 栈橋の設計手順<sup>3)</sup>

設計手順は基本的にRC 栈橋と同じですが、PC 栈橋特有の設計上の留意点としては、防眩材や給水施設を受け梁に設置することが多く、これらの配置も考慮して杭列間隔を設定します。

PC 栈橋の上部工であるプレキャスト PC 桁の設計において、断面力算定時には図 - 7 に示すように、施工段階に応じて生じる構造系の変化を適切に解析モデルに反映させる必要があります。

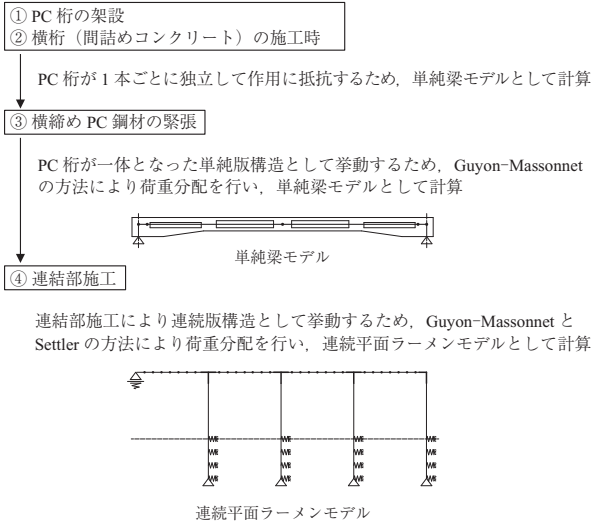


図 - 7 プレキャスト PC 桁の断面力算出フロー<sup>3)</sup>

### 4.3 特徴的な設計荷重

PC 栈橋の設計において、考慮すべき特徴的な設計荷重は表 - 1 に示すように、水位（潮位）、貨物・車両による積載荷重、船舶の接岸・牽引作用等があります。

ここで、波浪においては揚圧力について検討する必要があります。揚圧力は、上昇する波面が栈橋底面に衝突して衝撃的な力が発生し、底面と海面のクリアランスが小さい場合に大きな衝撃力となります。次に、貨物・車両による積載荷重は栈橋の規模等によって異なるため、設計段階では利用形態を想定し、過去の例などを参照して適切に設定する必要があります。一般雑貨ふ頭の場合、エプロン上の積載荷重は 10 ~ 30 kN/m<sup>2</sup> として性能照査を行う場合が多くなっています。

### 4.4 耐久性に対する考え方

PC 栈橋の標準的な設計供用期間の設定にあたっては、表 - 2 に示す ISO 2394 (1998) におけるクラス 3 に該当し、供用期間は 50 年に設定されています。これにしたがい、設計供用期間に生じる材料劣化を想定した、性能の経時変化に対する検討が必要になります。とくに塩化物イオンの侵入による鋼材腐食の検討に用いる鋼材腐食発生限界濃度は、一般的に 2.0 kg/m<sup>3</sup> とされています。

また、プレキャスト PC 桁の曲げ引張応力度の限界値は、永続状態では 0 N/mm<sup>2</sup> (フルプレストレス)、変動状態では曲げひび割れ強度の値とされているため、ひび割れを許容していません。そのため、PC 栈橋は厳しい海洋環境下においても、優れた耐久性を発揮します。ただし、受け梁

表 - 2 設計供用期間の概念分類<sup>3)</sup>

クラス	想定設計供用期間 (年)	例
1	1-5	仮設構造物
2	25	交換構要素、例えば橋台梁やベアリング
3	50	建物と他の公共構造物、下記以外の構造物
4	100 又はそれ以上	記念的構造物、特別の又は重要な構造物、大規模橋梁

などの RC 部材部分においては、ひび割れ幅の照査を行うことで構造上問題のないことを確認したうえで、ひび割れを許容しています。

### 4.5 維持管理

PC 栈橋が建設される環境は、海洋環境であるためコンクリートや鋼材などの劣化に大変厳しい条件であり、また、地盤が軟弱であることが多く、地盤沈下や液状化などの変状が生じやすい環境条件でもあります。そのため PC 栈橋の維持管理にあたっては、自然条件や利用条件、構造特性、材料特性を十分に勘案して維持管理計画を策定することが大切です。維持管理計画では、PC 栈橋の設置目的や供用期間、要求性能、設計の考え方などを考慮して PC 栈橋全体として維持管理のシナリオを描き、部材ごとに保有性能の重要度や点検診断および維持工事の難易度などを勘案したうえで表 - 3 に示すように、維持管理レベルを設定します。

表 - 3 維持管理レベル<sup>2)</sup>

分類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベル I	高い水準の損傷劣化対策を行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベル II	損傷劣化が軽微な段階で、小規模な対策を頻繁に行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベル III	要求性能が満たされる範囲内で、損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し、供用期間中に 1 ~ 2 回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

たとえば、PC 栈橋の主要部材である上部工（プレキャスト PC 桁）や、容易に点検診断や維持工事ができない平均干潮面以下の下部工（鋼管杭）などは、耐腐食性の高い鋼材や電気防食などの技術を用いて事前に対策を施すことで供用期間中に特段の維持管理を想定しない予防保全型の維持管理レベル I に設定します。一方で、防眩材や車止めなど付帯設備のうち取替が可能な部材については、一般的に事後保全型の維持管理レベル III に設定します。

PC 栈橋は、設定した維持管理レベルに応じて定期的に点検診断を行い、点検診断結果に基づき、施設の残存性能、維持管理の緊急性、経済性、今後の利用計画などを考慮して総合的に評価し、維持管理を行います。

## 5. 施工方法

### 5.1 標準的な施工方法

PC 栈橋は、基礎杭に支持された受け梁上にゴム支承とアンカーバーを設置してプレキャスト PC 桁を並列に架設し、間詰めコンクリートと横方向プレストレスで一体版構

## ○ もっと知りたいPC 技術 ○

造としたのち、中間支点となる受梁部は一般的に上下部剛結の連続ラーメン構造となるように連結します。そのため連結工の前後で構造系が変化することから、設計で設定されている施工順序や施工段階ごとの作用に留意して施工計画を立案します。図 - 8 に PC 栈橋の標準的な施工手順を示します。

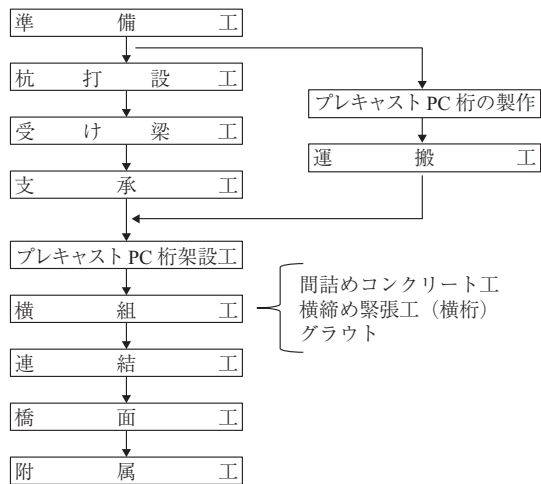


図 - 8 PC 栈橋施工手順図<sup>3)</sup>

PC 栈橋に用いるプレキャスト PC 桁は、受梁上で連結構造とするため連結用の鉄筋が桁端部に配置されていること、桁の主ケーブル PC 鋼より線を桁端部から突出させてその先端をちょうちんのように加工することで、連結部コンクリートとの付着を向上させることなどが特徴としてあげられます。ちょうちん加工した PC 鋼より線は写真 - 1 のような形状です。

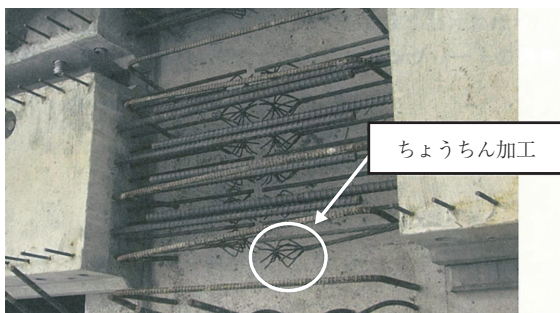


写真 - 1 PC 鋼より線のちょうちん加工<sup>3)</sup>

また、プレキャスト PC 桁の架設状況の一例を写真 - 2 に示します。この栈橋では支点部で桁高を変化させた変断面のプレテンションホロー桁が用いられています。

### 5.2 現地施工の短縮事例

PC 栈橋は、現地施工が短縮されるため、RC 栈橋に比べ、急速施工が可能です。プレキャスト PC 桁を陸上ヤードでブロック化し、一括架設することによって、さらなる急速施工を図ることができます。

兵庫県南部地震で被災した神戸港のコンテナターミナル機能を代替するために建設された仮設栈橋ふ頭において、



写真 - 2 プレキャスト PC 桁架設状況<sup>3)</sup>

写真 - 3 に示すように、陸上ヤードにて横方向プレストレスで一体版構造にブロック化したホロー桁を一括架設することにより、約半年間で完成し、早期供用を実現しました。



写真 - 3 一括架設の事例(神戸港)<sup>3)</sup>

## 6. おわりに

近年、港湾では国際競争力を強化するため、大型船舶に対応した水深が深い岸壁の整備が進められています。たとえば、国際パルク戦略港湾では、水深 20 m を越える岸壁の整備が計画されています。

また、高度経済成長期に建設された施設は、建設後 50 年を経過しつつあり、今後は老朽化が急激に進行するため、維持管理の重要性が増しています。

一般に、水深が深くなると、PC 栈橋の方が RC 栈橋よりも初期投資額は有利になる傾向にあります。また、PC 栈橋に用いるプレキャスト PC 桁は、耐久性に優れ、維持補修コストの面でも、RC 栈橋よりも PC 栈橋の方が有利となります。

海洋立国を目指す日本において良質な社会資本を整備し後世に残すためにも、PC 栈橋のさらなる普及が望まれます。

### 参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上・下)，2007
- 2) 沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，2007
- 3) 沿岸技術研究センター：PC 栈橋技術マニュアル(2010年版)，2010

【2015年10月30日受付】