

# CO<sub>2</sub>排出量の観点からの 岸壁における構造形式の選定に関する一考察

山下 真奈<sup>1</sup>・川端 雄一郎<sup>2</sup>・中村 董<sup>2</sup>・岡部 晃<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)日本港湾コンサルタント  
(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 依頼研修員  
(〒141-0031 東京都品川区西五反田 8-3-6 TK 五反田ビル)

E-mail: mana\_yamashita@jportc.co.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 (国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>3</sup>国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所  
(〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町 7 番 30 号)

港湾工事の脱炭素化を効率的に進めるためには、設計段階において CO<sub>2</sub> 排出量を考慮した設計手法を構築し、設計段階で低炭素技術を幅広く導入することが重要である。これまで、幾つかの構造断面で CO<sub>2</sub> 排出量の算定が実施されているが、同一設計条件下において安定性照査を満足する複数の構造形式で CO<sub>2</sub> 排出量を比較・分析した事例はない。

本研究では、岸壁における構造形式の選定への CO<sub>2</sub> 排出量の感度を把握することを目的に、同一設計条件下で設定した 3 つの構造形式における CO<sub>2</sub> 排出量や工事費用を算定し、各構造形式の CO<sub>2</sub> 排出量の比較や工事費用との関係を考察した。その結果、ある一条件の結果ではあるものの、設計において最適化させるべき意思決定指標（工事費用、CO<sub>2</sub> 排出量等）によって、選定される構造形式が変化する可能性があることが示唆された。

**Key Words :** CO<sub>2</sub> emissions, port structure, quay wall, structural design, carbon pricing

## 1. はじめに

港湾・臨海部における脱炭素化に向けて、様々な取り組みが進められている。港湾では、カーボンニュートラルポータル(CNP)の形成の実現に向け、CNP 形成計画策定マニュアル<sup>1)</sup>等が公表されている。また、同マニュアルでは、港湾工事の脱炭素化に向けた取組も CNP 形成計画の中に位置付けることが望ましいとされている。これを受けて、港湾工事での CO<sub>2</sub> 排出量の実態把握を目的として、国土交通省の検討 WG より、港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン（発注段階編）<sup>2)</sup>が公表され、港湾工事の脱炭素化に向けた動きが本格化してきている。

一方、発注段階で低炭素技術を導入する場合、設計時に設定した特性値と異なる材料を用いると、設計への手戻りが発生する可能性がある。設計への手戻りは、設計費用等の増加に加え、施工工程や事業計画へも影響するため、低炭素技術の導入に対して妨げとなる恐れがある。そのため、港湾工事の脱炭素化を効率的に進めるためには、上流の設計段階において CO<sub>2</sub> 排出量を考慮した設計

手法を構築し、設計段階で低炭素技術を幅広く導入することが重要である。

一般に、港湾構造物の設計では、複数の構造形式を比較し、幾つかの評価指標（安定性、耐久性、経済性、施工性等）を総合的に評価した上で、構造形式が選定される。多くの場合、一定の安定性、耐久性等が担保される構造形式を複数抽出し経済性を比較するため、経済性が最終的な意思決定指標となる。一方、今後港湾工事の脱炭素化を進める上では、CO<sub>2</sub> 排出量を上述の評価指標に加えることも必要になる。これまで港湾構造物の CO<sub>2</sub> 排出量の算定は幾つかの構造断面で実施されているが<sup>3)</sup>、同一設計条件下で安定性照査を満足する複数の構造形式での CO<sub>2</sub> 排出量の比較はなされておらず、構造形式の違いが CO<sub>2</sub> 排出量や工事費用も含めた意思決定にどの程度影響するか等は十分に検討されていない。

以上の背景から、岸壁における構造形式の選定への CO<sub>2</sub> 排出量の感度を把握することを目的に、本研究ではまず同一設計条件下で設定した 3 つの構造形式での CO<sub>2</sub> 排出量の差異を明らかにした。その上で、CO<sub>2</sub> を貨幣価値換算し、工事費用との合計額で比較することで、構造形

式の選定における意思決定にCO<sub>2</sub>排出量が及ぼす影響について考察した。

## 2. 検討対象断面の設定

表-1 設計条件

設計条件	
設計延長	300 m
現況水深	D.L.-9.26m
施設の位置付け	一般の岸壁 (耐震強化施設ではない)
計画水深	D.L.-12.0m
設計水深	D.L.-12.1m
対象船舶	自動車専用(PCC)船 70,000 GT
接岸速度	0.1 m/s
上載荷重	永続状態: 20 kN/m <sup>2</sup> 変動状態: 10 kN/m <sup>2</sup> ※波浪時は 0 kN/m <sup>2</sup>
エプロン	エプロン幅 20 m, 勾配 2.0 %
係船柱	係船曲柱 1,000 kN
防舷材	高性能 V 型防舷材 1,000 H×1,200 L (接岸力 900 kN/基)
設計供用期間	50 年
照査用震度	RC 栈橋式・PC 栈橋式: $k_{lr}=0.16$ 控え矢板式: $k_{lr}=0.19$

### (1) 設計条件

本研究で対象とする施設の設計条件を表-1に示す。構造物の設計手法は、港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年版)<sup>5)</sup>に準拠した。

### (2) 対象断面

本研究では、構造形式の違いに着目するため、同一の機能を有することを前提条件として対象断面を設定した。

表-1の設計条件に基づいて、控え矢板式、RC 栈橋式、PC 栈橋式で構造諸元を設定し、安定性照査を実施した。なお、対象とする3つの構造形式は、計画水深-12mで適

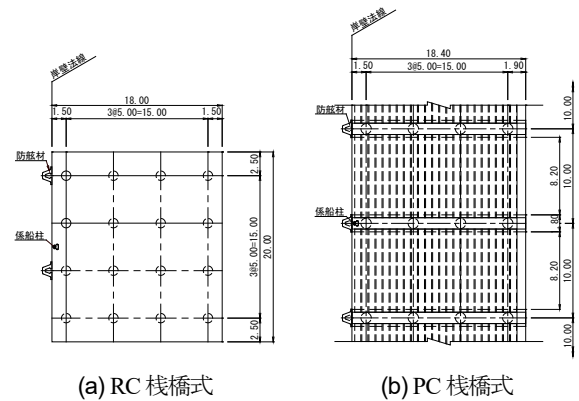


図-2 平面図

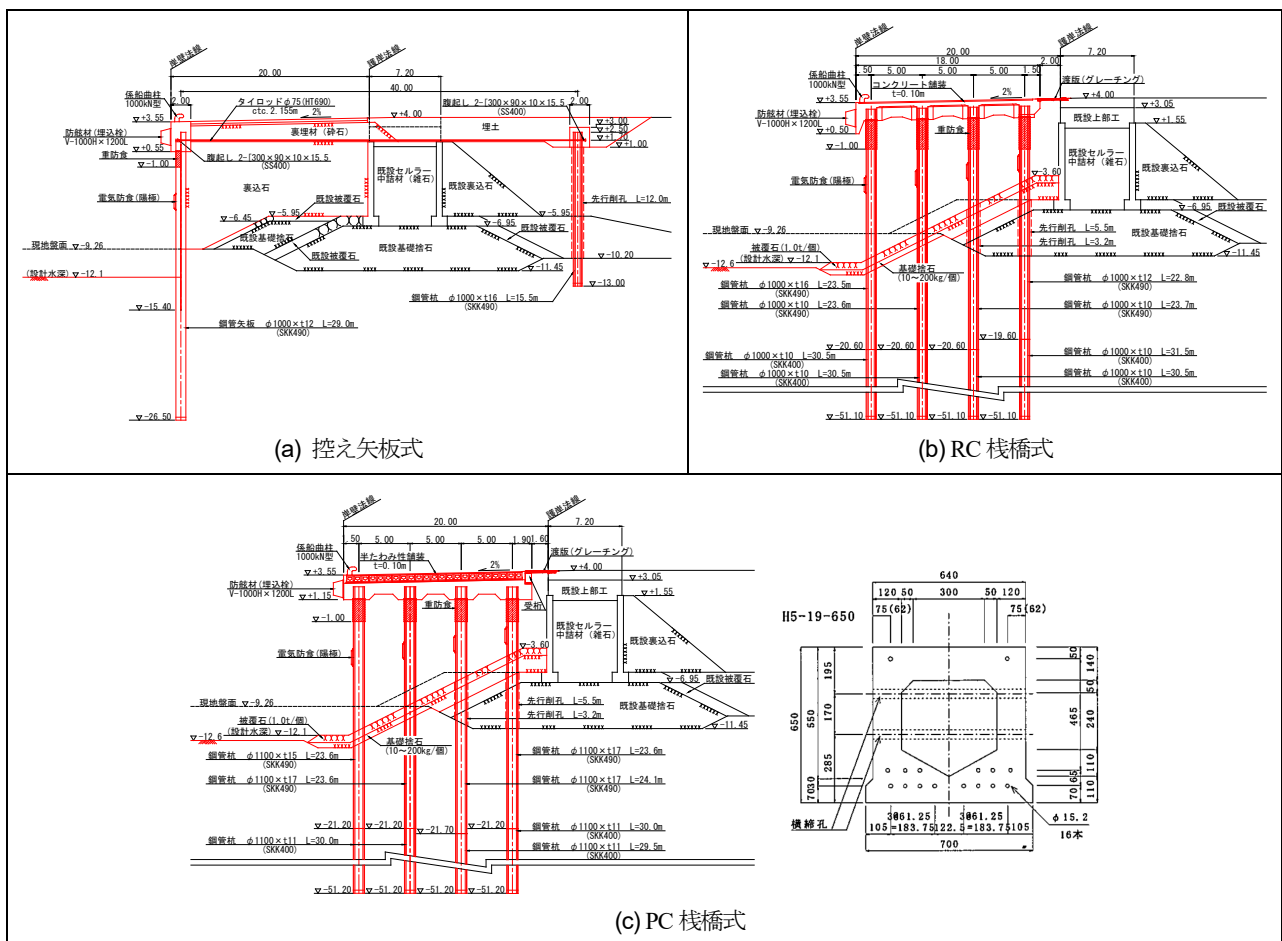


図-1 標準断面図 (赤色で示した箇所が施工対象)

用実績のある構造形式のうち、耐震強化施設ではないことと現地条件（現況断面等）を勘案し、経済性で優位となるものを抽出した。栈橋は本来、岸壁とは呼称されないが、岸壁と同等の機能（船舶が係留して荷役作業を行う機能）を有すると考えられるため、本研究では対象施設の構造形式として抽出した。安定性照査を満足する3つの構造形式の標準断面図を図-1に示す。なお、標準断面図中に赤色で示した箇所が今回の施工対象である。また、RC 栈橋式と PC 栈橋式の杭配置を示した平面図を図-2に示す。なお、今回の設計条件においては、控え矢板式はレベル1地震動による変動状態が断面諸元の決定に支配的であり、他2つの構造形式では、船舶の作用による変動状態（接岸時あるいは牽引時）が支配的であった。

控え矢板式では、前面壁に鋼管矢板φ1,000×t12を用いた。また、タイロッドの取付間隔は2.155m（鋼管矢板2本に対して1本）とし、控杭は直杭（鋼管杭φ900×t11）とした。前面壁及び控工の上部工に用いるコンクリートは、設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>とした。

RC 栈橋式では、幅18m×延長20mを1ブロックとし、1ブロック当たりの鋼管杭本数を4×4本とした。鋼管杭径は全て1,000mmとし、各杭の発生応力に対して必要な板厚や材質を設定した。上部工は、場所打ちコンクリートで施工し、設計基準強度は30N/mm<sup>2</sup>とした。

PC 栈橋式では、RC 栈橋式と同様、幅18m×延長20mを1ブロックとし、法線平行方向の杭間隔をRC 栈橋式の2倍の10mとした。鋼管杭径は全て1,100mmとし、各杭の発生応力に対して必要な板厚や材質を設定した。PC 栈橋式の上部工は、受梁、床版及び受桁で構成される。本研究では、受梁はRC 構造の場所打ちコンクリートとし、床版は工場製作のPC ホロー桁を用いて、桁間や地覆はRC 構造の場所打ちコンクリートとした。また、受桁も工場製作のPC 構造とした。PC ホロー桁の断面形状は、PC 栈橋技術マニュアル（平成15年版）<sup>6</sup>を参考に設定した。なお、PC ホロー桁に使用するコンクリートは設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>、その他の場所打ちコンクリート（受梁、桁間、地覆）は30N/mm<sup>2</sup>とした。

### 3. 工事費用とCO<sub>2</sub>排出量の算定

#### (1) 工事費用の算定

工事費用は、直接工事費のみを対象とし、港湾請負工事積算基準<sup>7</sup>に基づいて算定した。

#### (2) CO<sub>2</sub>排出量の算定

##### a) 算定対象

本研究では、既往の研究同様、建設機械や作業船の稼働による燃料の燃焼及び資材の生産によるCO<sub>2</sub>排出量を

算定対象とした。ただし、PC 栈橋式の上部工に用いられるPC ホロー桁は工場製作であり、工場から施工現場までの運搬が必要となるため、PC ホロー桁の運搬によるCO<sub>2</sub>排出量も対象とした。

##### b) 算定方法

燃料の燃焼によるCO<sub>2</sub>排出量( $E_f$ )は、式(1)により算定した。

$$E_f = I_f \times V_f \quad (1)$$

ここで、 $I_f$ は燃料単位量の燃焼に伴う排出量(kg-CO<sub>2</sub>/ℓ)、 $V_f$ は、燃料使用量(ℓ)である。 $I_f$ については、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条の単位量当たりの発熱量及び単位発熱量当たりの炭素排出量を用いた。また、 $V_f$ は式(2)により求めた。

$$V_f = P \times A \times T \quad (2)$$

ここで、 $P$ は機関出力(kW)、 $A$ は燃料消費率(ℓ/(kW・h))、 $T$ は稼働時間(h)である。機関出力は船舶および機械器具等の損料算定基準<sup>8</sup>、燃料消費率及び稼働時間は港湾請負工事積算基準<sup>9</sup>に基づいて設定した。

資材の生産によるCO<sub>2</sub>排出量( $E_m$ )は、式(3)で算定した。

$$E_m = I_m \times V_m \quad (3)$$

ここで、 $I_m$ は資材の生産に関するCO<sub>2</sub>排出原単位(t-CO<sub>2</sub>/unit)、 $V_m$ は資材の使用量(unit)である。

運搬によるCO<sub>2</sub>排出量は、トンキロ法にて算定した。トンキロ法では、積載量別積載率別に細分化されたCO<sub>2</sub>排出原単位に輸送トンキロ（貨物重量(t)×輸送距離(km)）を乗じてCO<sub>2</sub>排出量を算定する。CO<sub>2</sub>排出原単位について、ロジスティクス分野におけるCO<sub>2</sub>排出量算定方法共

表-5 主要資材のCO<sub>2</sub>排出原単位

資材名	unit	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /unit)
捨石・被覆石	t	8.02
砂	t	8.18
生コンクリート	m <sup>3</sup>	341.68
生コンクリート (PC ホロー桁)	m <sup>3</sup>	410.02
鋼管杭・鋼管矢板	t	1922.80
鉄筋 (直径50mm未満)	t	1453.54
溝形鋼 (辺の長さ100mm超)	t	1845.32
タイロッド	t	3486.03
PC 鋼より線	t	1408.36
溶接金網	t	825.57
アスファルト混合物	千t	68820.80
防砂シート	t	8063.77
係船柱	t	5688.15
アンカーボルト	t	2082.03
ゴム防舷材	kg	2.79
縁金物 (プラスチック製)	t	2380.86
車止 (角型鋼管製)	t	1922.80
電気防食陽極	t	1166.56
軽油	kℓ	513.95
重油 A	kℓ	321.29

同ガイドライン<sup>10)</sup>では、最大積載量17t以上の大型車両の場合は示されておらず、実測により燃料使用量を算定することが望ましいとされている。本研究では実測による設定が難しいため、積載量17t以上の場合には積載量12,000~16,999kgを適用して試算した。また、運搬の条件については、施工現場に最も近い工場からの運搬を想定し、陸上輸送(輸送距離:110km)を仮定した。

### c) CO<sub>2</sub> 排出原単位

資材の生産に関するCO<sub>2</sub>排出原単位( $I_m$ )は、産業関連法によって設定した。産業関連法によるCO<sub>2</sub>排出原単位は、国立環境研究所による3EID(Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables)<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>の内包型原単位及び産業連関表付帯の部門別品目別国内生産額表<sup>13)</sup>を用いて、式(4)により算定した。

$$I_m = I_{me} \times \frac{M_p}{V_p} \quad (4)$$

ここで、 $I_{me}$ は内包型原単位(t-CO<sub>2</sub>/百万円)、 $M_p$ は生産額(百万円)、 $V_p$ は生産量(unit)である。主要資材のCO<sub>2</sub>排出原単位を表-5に示す。なお、捨石や被覆石については、生産工程が碎石に類似することから碎石のデータを用いた。PCホロー桁の製作には、一般的なコンクリートと比較して最大水セメント比が小さいコンクリートが用いられる。コンクリートのCO<sub>2</sub>排出量はセメント由来が大部分を占めるが、3EIDによる生コンクリートのCO<sub>2</sub>排出原単位では配合条件の違いを考慮する事が出来ない。過去の実績では単位セメント量が約1.2倍であったことを踏まえ、本研究では3EIDで設定した生コンクリートのCO<sub>2</sub>排出原単位の1.2倍と仮定して試算した。また、アスファルト混合物の生産数量は部門別品目別国内生産額表に記載がないため、アスファルト合材製造数量推移(全国)<sup>14)</sup>の2015年の数量を用いた。

### (3) 工事費用の算定結果

工事費用の算定結果を図-3に示す。工事費用の合計額は、RC 栈橋式と控え矢板式は同額で、PC 栈橋式は他2つの構造形式と比較して約1.05倍と僅かに高くなった。工種別の工事費用に着目すると、控え矢板式とRC 栈橋

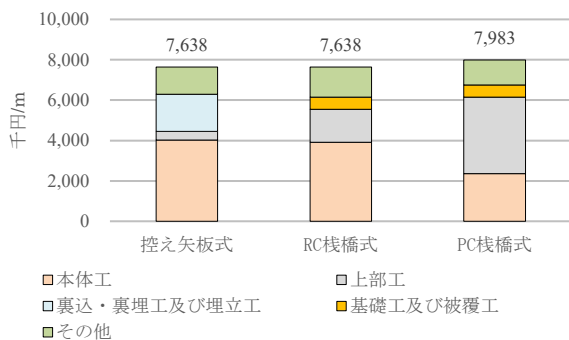


図-3 各構造形式における工事費用

式では本体工由来の工事費用が最も多く、全体の約半分を占めた。一方、PC 栈橋式では上部工(受梁、床版、受桁を全て含む)の工事費用が5割近くを占め、本体工は3割程度であった。また、控え矢板式では、他2つの構造形式と異なり、裏込・裏埋工や埋立工による工事費用が全体の約4分の1を占めた。

### (4) CO<sub>2</sub> 排出量の算定結果

各構造形式における延長1m当たりCO<sub>2</sub>排出量の算定結果を図-4に示す。

CO<sub>2</sub>排出量を工種別に比較すると、いずれの構造形式においても、本体工の排出量が最も多く、次いで上部工の排出量が多かった。控え矢板式とRC 栈橋式では、6割以上を本体工由来が占めるが、PC 栈橋式では、本体工は5割以下で、上部工より僅かに多い程度であった。RC 栈橋式とPC 栈橋式を比較すると、特に本体工と上部工におけるCO<sub>2</sub>排出量の差が顕著であった。まず本体工では、RC 栈橋式のCO<sub>2</sub>排出量が多く、PC 栈橋式の約1.5倍であった。鋼管杭1本当り平均CO<sub>2</sub>排出量では、PC 栈橋式はRC 栈橋式の約1.3倍であったが、杭本数が半分であることが影響し、CO<sub>2</sub>排出量の総量ではPC 栈橋式が少なくなった。また、本体工の排出量のうち約93%は鋼管杭の材料製造由来であり、これはPC 栈橋式とRC 栈橋式で共通していた。一方、上部工はRC 栈橋式と比較してPC 栈橋式のCO<sub>2</sub>排出量が多く、特にPCホロー桁が使用される床版でのCO<sub>2</sub>排出量が多くなった。控え矢板式は、他2つの構造形式と異なり裏込・裏埋工や埋立工が必要となるため、それらの工種におけるCO<sub>2</sub>排出量が全体の約1割を占めた。また、控え矢板式の本体工は、鋼管矢板、控杭、タイロッド、腹起等の複数の部材により構成されているが、これらを前面壁(鋼管矢板)と控工(控杭、タイロッド、腹起等)で分けると、CO<sub>2</sub>排出量の約7割が前面壁に起因するものであった。

CO<sub>2</sub>排出量の排出源別内訳に着目すると、構造形式の違いに関わらず、約90%を材料製造由来、約1%を機械稼働(燃料生産由来)、約6~8%を機械稼働(燃料燃焼由来)が占めた。これは、既報でのケーソン式防波堤の事例<sup>4)</sup>とほぼ同じ傾向であった。したがって、岸壁でのCO<sub>2</sub>排出量削減においても、材料の低炭素化が効果的であることが示唆された。また、PC 栈橋式において、PCホロー桁の運搬由来のCO<sub>2</sub>排出量は全体の約3%と比較的小さかった。なお、運搬由来のCO<sub>2</sub>排出量は輸送方法や距離の影響を強く受けるため、現場条件によって傾向は異なると考えている。

材料製造由来のCO<sub>2</sub>排出量の排出割合に着目すると、鋼材由来のCO<sub>2</sub>排出量は5~6割であり、コンクリート由来は2割程度であった。材料製造由来のCO<sub>2</sub>排出量は、特に本体工の材料に起因するところが大きく、今回対象

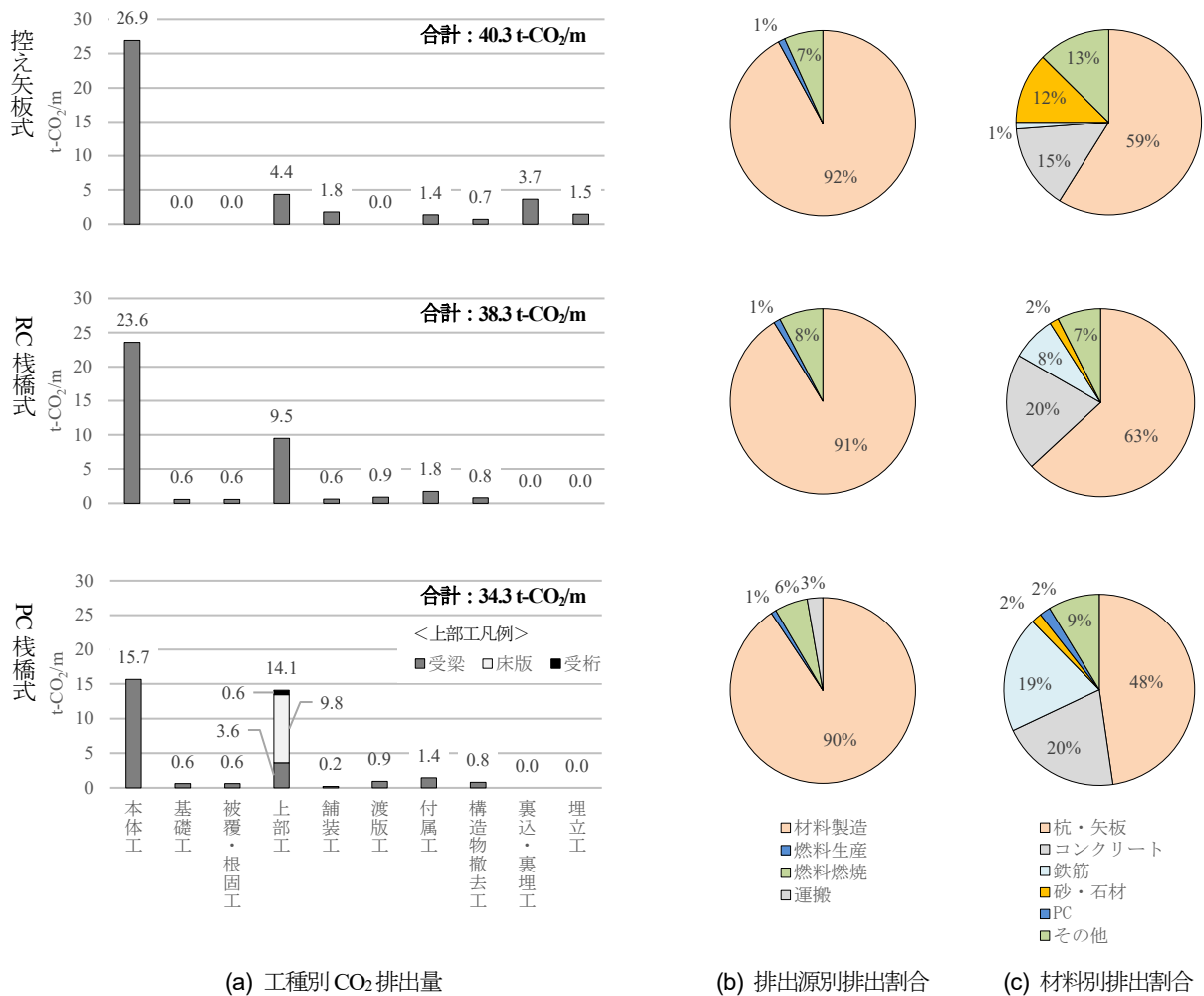


図-4 延長 1m 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量

とした 3 つの構造形式はいずれも鋼材が主要材料であったため、類似した傾向が見られたと考える。そのため、岸壁であっても、コンクリートを主要材料とする重力式構造（ケーソン式やブロック式等）の場合には、既報でのケーソン式防波堤<sup>4)</sup>と同様に、コンクリート由来の CO<sub>2</sub> 排出量が多くなると推察される。今後、今回示した 3 つの構造形式のほか、重力式構造の岸壁についても CO<sub>2</sub> 排出量を算定し、傾向分析を行う予定である。

#### 4. 工事費用と CO<sub>2</sub> 排出量に関する考察

まず、工事費用という観点で、RC 栈橋式と控え矢板式は同額で、PC 栈橋式は最も不利という結果になった。一方で、CO<sub>2</sub> 排出量の観点では PC 栈橋式が最も有利であり、控え矢板式の CO<sub>2</sub> 排出量は PC 栈橋式の約 1.2 倍であった。このように、工事費用が最小の構造形式であっても、CO<sub>2</sub> 排出量の観点では必ずしも最小ではなく、構造形式の選定において工事費用と CO<sub>2</sub> 排出量にはトレードオフが生じることが分かる。

今後、工事費用と CO<sub>2</sub> 排出量の双方を勘案しながら、岸壁の構造形式を総合的に意思決定することが期待される。そこで、本研究では、CO<sub>2</sub> を費用換算することを想定し、炭素価格が構造形式の選定における意思決定に与える影響について感度分析を行った。炭素価格は、以下を参照して幾つか設定した。1 つは公共事業における炭素価格として、公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）<sup>15)</sup>に示される 10,600 円/t-C (2006 年価格) を質量比で換算した 2,891 円/t-CO<sub>2</sub> である。また、IPCC の 1.5 °C 特別報告書<sup>16)</sup>では、地球平均温度上昇を 1.5 °C に抑えるために、135~6,050 USD2010/t-CO<sub>2</sub> (約 90 円/USD2010 として、12,150~544,500 円/t-CO<sub>2</sub>) が必要としている。この価格の上限値と下限値を用いて、12,150 円/t-CO<sub>2</sub> と 544,500 円/t-CO<sub>2</sub> の 2 種類の炭素価格を設定した。これら 3 つの炭素価格を用いて、CO<sub>2</sub> 排出量の貨幣価値換算額 (CO<sub>2</sub> コストと称す) を求めた。図-5 に工事費用と CO<sub>2</sub> コストの合計額を示す。なお、図中に括弧書きで示す数字は工事費用に対する CO<sub>2</sub> コストの割合を示している。図より、2,891、12,150、544,500 円/t-CO<sub>2</sub> で算定された CO<sub>2</sub> コストはそれぞれ工事費用に対して 1.2



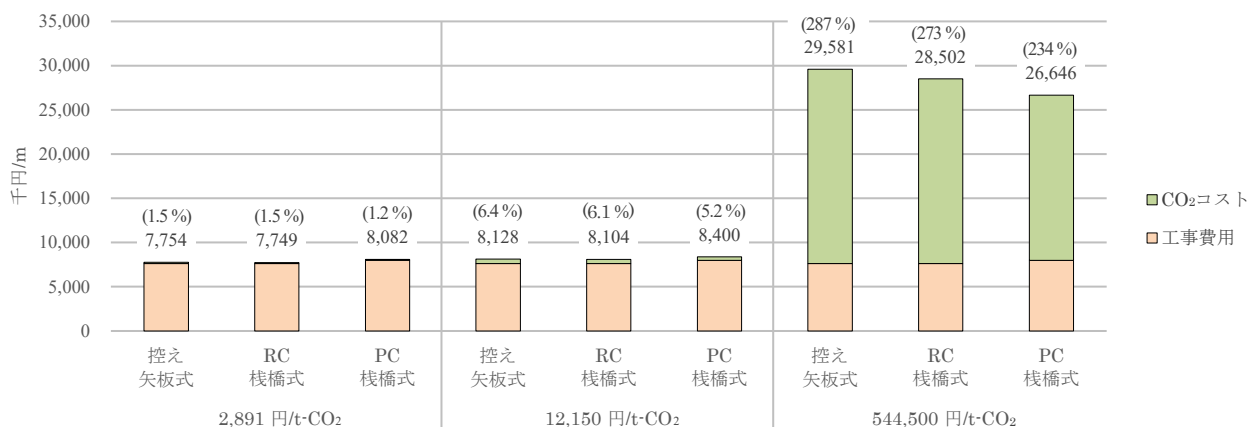


図-5 炭素価格毎の各構造形式における CO<sub>2</sub>コストと工事費用の合計額 (括弧書きした数字は工事費用に対する CO<sub>2</sub>コストの割合)

～1.5%, 5.2～6.4%, 234～287%であった。炭素価格 2,891 円/t-CO<sub>2</sub> の場合には構造形式選定の意思決定にほとんど影響しなかったが、炭素価格 12,150 円/t-CO<sub>2</sub> の場合には工事費用の 5.2～6.4% の影響度があり、設計条件によっては CO<sub>2</sub> 排出量が意思決定に影響する可能性がある。炭素価格 544,500 円/t-CO<sub>2</sub> の場合には工事費用の 2.3～2.9 倍のコストとなり、CO<sub>2</sub> 排出量が主な意思決定指標になると想定される。なお、工事費用と CO<sub>2</sub> 排出量で異なる傾向が見られた控え矢板式と PC 栈橋式を対象として、CO<sub>2</sub> コストと工事費用の合計額が逆転する炭素価格を逆算すると、57,400 円/t-CO<sub>2</sub> であった。このように、岸壁の構造形式の選定段階においては、意思決定指標となる工事費用に加えて CO<sub>2</sub> コストをどのように考慮するかが重要であり、今後 CO<sub>2</sub> コストの具体的な決定方法に関する議論を加速させる必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、同一設計条件下において安定性照査を満足する 3 つの構造形式について工事費用と CO<sub>2</sub> 排出量の算定を行い、結果の比較・考察を行った。その結果、ある一条件の結果ではあるものの、設計において最適化させるべき意思決定指標 (工事費用, CO<sub>2</sub> 排出量等) によって、選定される構造形式が変化する可能性があることが示唆された。今後、他の設計条件や構造形式でも同様の検討を行い、傾向分析を実施し、CO<sub>2</sub> 排出量を考慮した構造設計を構築したいと考えている。

## REFERENCES

1) 国土交通省港湾局：「カーボンニュートラルポート (CNP) 形成計画」策定マニュアル (初版), 2021. URL [https://www.l.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_tk4\\_000054.html](https://www.l.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk4_000054.html) (閲覧日: 2023 年 3 月 24 日) [Ministry of Land, Infra-

structure, Transport and Tourism Ports and Harbours Bureau: “Carbon neutral port (CNP) keiseikeikaku” sakutei manual (Shohan), 2021.]

- 2) 港湾工事における二酸化炭素排出量削減に向けた検討 WG: 港湾工事における二酸化炭素排出量算定ガイドライン (発注段階編), 2022. URL [https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_tk5\\_000046.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000046.html) (閲覧日: 2023 年 3 月 24 日) [Kouwan kouji ni okeru nisankatansohaishutsuryou sakugen ni muketa kentou WG: Kouwan kouji ni okeru nisankatansohaishutsuryou santei guideline (Hacchuudankai-hen), 2022.]
- 3) 林友弥, 鈴木武, 工藤英輝: 港湾整備事業による二酸化炭素排出量の全国推計, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I\_586-I\_591, 2013. [Hayashi, T., Suzuki, T. and Kudo, H.: Estimation of total CO<sub>2</sub> emission of Japan caused by port construction, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)*, Vol. 69, Issue 2, pp.I\_586-I\_591, 2013.]
- 4) 中村 堇, 川端雄一郎, 辰巳大介: ケーソン式防波堤の建設時における CO<sub>2</sub> 排出量の傾向分析と概略推定手法の検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.78, No.2, pp.I\_307-I\_312, 2022. [Nakamura, S., Kawabata, Y. and Tatsumi, D.: CO<sub>2</sub> emissions in the construction of caisson-type breakwaters: formulating an emission estimation method, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)*, Vol. 78, Issue 2, pp.I\_307-I\_312, 2022.]
- 5) 公益社団法人 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2018. [The Ports & Harbours Association of Japan: *Kouwan no shisetsu no gijutsujou no kijun & Doukaisetsu*, 2018.]
- 6) 財団法人 沿岸開発技術研究センター: PC 栈橋技術マニュアル, 2003. [Coastal Development Institute of Technology: *PC-sanbashi gijutsu manual*, Engankaihatsugijutsu library, No.19, 2003.]
- 7) 国土交通省港湾局: 港湾請負工事積算基準, 2020. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Ports and Harbours Bureau: *Kouwan ukeikouji sekisan kijun*, 2020.]
- 8) 公益社団法人 日本港湾協会: 船舶および機械器具等の損料算定基準 (令和 4 年度改訂版), 2022. [The Ports & Harbours Association of Japan: *Senpaku oyobi kikaikigutou*

- no sonryou santei kijun (Reiwa4nendo kaitei-ban)*, 2022.]
- 9) 国土交通省港湾局：港湾請負工事積算基準，2021. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Ports and Harbours Bureau: *Kouwan ukeoikouji sekisan kijun*, 2021.]
  - 10) 経済産業省，国土交通省：ロジスティクス分野におけるCO<sub>2</sub>排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.1, 2016. URL [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/enterprise/overview/others/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/overview/others/) (閲覧日：2023年2月21日) [Ministry of Economy, Trade and Industry and Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *Logistics bunya ni okeru CO<sub>2</sub> haishutsuryou santei houhou kyoudou guideline Ver.3.1*, 2016.]
  - 11) 南斉規介：産業連関表による環境負荷原単位データベース(3EID)，国立環境研究所，2019. URL <https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html> (閲覧日：2022年6月20日) [Nansai,K: *Sangyourenkanhyou ni yoru kankyofukagentani databook (3EID)*, National Institute for Environmental Studies, 2019.]
  - 12) Keisuke Nansai, Jacob Fry, Arunima Malik, Naoki Kondo: Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015, *Resources, Conservation & Recycling*, 152, 104525, 2020.
  - 13) 総務省：平成27年(2015年)産業連関表－総合解説編，2020. URL [https://www.soumu.go.jp/toukei\\_toukatsu/data/io/015index.html](https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/015index.html) (閲覧日：2022年6月20日) [Ministry of Internal Affairs and Communications: *Heisei27nen (2015nen) sangyourenkanhyou -Sougoukaisetsu-hen-*, 2020.]
  - 14) 一般社団法人日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造数量推移(全国)，2022. URL <http://www.jam-a.or.jp/> (閲覧日：2023年3月20日) [Japan Asphalt Mixture Association: *Asphalt gouzai seizou suuryou suii (Zenkoku)*, 2022.]
  - 15) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)，2009. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *Koukyoujigyohyouka no hiyoubenekibunseki ni kansuru gijutsushishin (Kyoutsuuhen)*, 2009.]
  - 16) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Global Warming of 1.5°C an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, 2018.

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

## A STUDY ON THE SELECTION OF STRUCTURAL TYPE OF QUAY WALLS IN TERMS OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS

Mana YAMASHITA, Yuichiro KAWABATA, Sumire NAKAMURA and Hikaru OKABE

In order to promote the decarbonization of port construction, it is important to consider CO<sub>2</sub> emissions at the design stage, but the CO<sub>2</sub>-oriented design method has not yet been established. Although there are some reports to calculate the CO<sub>2</sub> emissions of port construction, there is no case to compare the CO<sub>2</sub> emissions of different structural types designed to meet the structural stability requirements under the same conditions.

This paper is a feasibility study to deal with the trade-off relationship between cost and CO<sub>2</sub> emission of some structural types of quay walls. Firstly, three structural types were selected to meet the requirements under the same design conditions. Then, the construction costs and the CO<sub>2</sub> emissions were calculated to investigate the trade-off relationship between cost and CO<sub>2</sub> emission for the selected structural types with shadow carbon pricing. The results suggest that the structural type selected may vary depending on the decision indicator (mainly construction cost and CO<sub>2</sub> emissions) in the design.