

3 コンクリート

3.1 コンクリート材料

(1) 港湾の施設に使用するコンクリートの材料は、施設の要求性能を達成するために必要な品質を有するものでなければならない。原則として、**JIS A 5308 レディーミクストコンクリート**を満足する品質のものをを用いる。なお、上記JISの2019年改訂において、スランプフローで管理するコンクリートが追加された。

(2) セメント

セメントは、**JIS R 5210 ポルトランドセメント**、**JIS R 5211 高炉セメント**、**JIS R 5212 シリカセメント**及び**JIS R 5213 フライアッシュセメント**に規定されているものをを用いる。それ以外のセメントは、試験、過去の実績等によってその性能を確認する必要がある。

各種のセメントのうちで、普通ポルトランドセメントに比べて、中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメント及びフライアッシュセメント等は海洋環境下における耐久性が優れていると言われている。これらのセメントを使用したコンクリートは長期強度の増進が大きく、水和熱が少ない等の利点があるが、一方では初期強度が低いという欠点もある。また、高炉セメントB種を用いたコンクリート中の鉄筋の防食性能は普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートよりも優れており¹⁾²⁾、その観点からは高炉セメントB種を使用することが望ましい。したがって、これらのセメントを使用するときには初期養生に十分に注意する必要がある。

近年では、コンクリートのCO₂排出量削減を目的としたコンクリートが多く開発されている²⁻¹⁾。これらのコンクリートの多くは、ポルトランドセメントを混和材で大量置換するものであり、その設計・施工に関する基本的な考え方が指針等に取りまとめられている^{2-2)~2-4)}。これらのコンクリートの活用は港湾工事全体におけるCO₂排出の抑制に効果的である^{2-5), 2-6)}。

(3) 水

練混ぜ水は、上水道水または**JSCE-B 101 コンクリート用練混ぜ水の品質規格(案)**³⁾に適合したものをを用いる。鉄筋コンクリートに対しては、通常の鉄筋を用いる場合、海水を練混ぜ水として使用してはならない。無筋コンクリートに対しては、清浄な淡水の入手が困難な場合に限り、海水を練混ぜ水として使用してもよい。なお、無筋コンクリートの練混ぜ水に海水を用いた際の研究事例¹⁾⁴⁾及び施工事例は多く存在する。

海水を使用するとセメントの凝結時間が短縮し、コンクリートのコンシステンシーが早期に失われる傾向があるので注意を要する。その場合、必要に応じて凝結遅延剤を用いてもよい。

また、海水を練混ぜ水として用いた場合、コンクリート中のアルカリイオン濃度及びコンクリート中の細孔溶液中のpHが上昇するため、アルカリ骨材反応(ASR)が促進される。そのため、反応性のある骨材を用いる場合、抑制対策が必要となる。

(4) 混和材

混和材としてのフライアッシュは、**JIS A 6201 コンクリート用フライアッシュ**に、高炉スラグ微粉末は、**JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末**に適合したものをを用いる。両者ともに、コンクリートの諸性能を向上させることができる。前者を用いる場合は**フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)**⁵⁾、後者を用いる場合は**高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針**⁶⁾、両者を大量に用いる場合は**混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)**²⁻³⁾を参照することができる。

膨張材は、**JIS A 6202 コンクリート用膨張材**に適合したものをを用いる。膨張材は、コンクリートの収縮に起因するひび割れを抑制する場合に用いられる。膨張材を用いる場合、**膨張コンクリート設計施工指針(案)**⁷⁾を参照することができる。

上記以外の混和材は、試験、過去の実績等によってその性能を確認する必要がある。

(5) 混和剤

混和剤として用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤等は、**JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤**に適合したものを用いる。それ以外の混和剤は、試験、過去の実績等によってその性能を確認し、使用の適否を判断する。

また、寒中コンクリートの施工時に耐寒剤が用いられる場合がある。これについては、**耐寒剤を用いる寒中コンクリートの施工指針 (案)**⁸⁾を参照することができる。

(6) 骨材

骨材は、**JIS A 5308 レディーミクストコンクリート附属書 A**を満足する品質のものを用いることを標準とする。骨材は、清浄、堅硬、耐久的で、適切な粒度を持ち、有機不純物、塩化物等の有害物質を一定量以上含んでいないものを用いる必要がある。また、ゴミ、泥、薄い石片、細長い石片等を含んだもの、吸水性の高いもの、膨潤性のあるもの等は不適当である。JIS を満足しない骨材（珊瑚由来の骨材等）を用いる際は、事前に十分な検討が必要である⁹⁾。

(7) 補強材

鉄筋コンクリート用棒鋼は、**JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼**に規定されているものを用いる。

また、コンクリート部材の耐久性向上のため、鉄筋コンクリート用棒鋼の鋼材の耐食性を高めたものとして、a) エポキシ樹脂塗装鉄筋、b) ステンレス鉄筋、c) 連続繊維補強材等がある。a) を使用する場合は**エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 [改訂版]**¹⁰⁾、b) を使用する場合は**ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針 (案)**¹¹⁾、c) を用いる場合は**連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案)**¹²⁾を参照することができる。なお、ステンレス鉄筋を使用する際は、**JIS G 4322 鉄筋コンクリート用ステンレス異形棒鋼**に規定されているものを用いる。

プレストレストコンクリート用鋼材は、**JIS G 3536 PC 鋼線及び PC 鋼より線**、**JIS G 3109 PC 鋼棒**に規定されているものを用いる。この場合も鉄筋コンクリート棒鋼の場合と同様に、a) エポキシ樹脂で塗装したものや、b) 連続繊維補強材を用いたものもある。a) を使用する場合は**エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針 (案)**¹³⁾、b) を用いる場合は**連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案)**¹²⁾を参照することができる。

(8) 表面保護材

外部からの劣化因子（塩化物イオン等）の浸透を抑制する際に、コンクリート表面に表面保護材を付与する場合がある。この場合、**表面保護工法設計施工指針 (案)**¹⁴⁾、**港湾コンクリート構造物補修マニュアル**¹⁵⁾を参照することができる。

(9) 断面修復材

既設コンクリート構造物の補修時において、劣化したコンクリート部をはつり、新たな材料（断面修復材）で断面を修復する場合がある（断面修復工法）。主な断面修復材にポリマーセメントモルタルがある。港湾コンクリート構造物に断面修復工法を適用する場合、**港湾コンクリート構造物補修マニュアル**¹⁵⁾を参照することができる。

(10) 塩化物イオン量

コンクリート中の鋼材の腐食の危険性を低下させるために、製造時のコンクリート中に含まれる塩化物イオン量は 0.30 kg/m^3 以下とするべきである。

(11) アルカリ骨材反応対策

アルカリ骨材反応抑制対策として、以下に示す3つの対策の中から適切に選択する必要がある。

①コンクリート中のアルカリ総量を規制する抑制対策の方法

全アルカリ量が明らかなポルトランドセメント等を使用し、コンクリート中のアルカリ総量が 3.0kg/m^3 以下となることを確認する。

②アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用する抑制対策の方法

高炉セメント（B種もしくはC種）、フライアッシュセメント（B種もしくはC種）等の、アルカリ骨材反応抑制効果を有するセメントを使用する。

③安全と認められる骨材を使用する抑制対策の方法

JIS A 1145 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）または JIS A 1146 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）の試験結果によって「無害」と判定された骨材を使用する。

3.2 コンクリートの品質及び性能

(1) コンクリートは、品質のばらつきが少なく、作業に適するワーカビリティを有するとともに、所要の強度、耐久性、水密性、ひび割れ抵抗性、鋼材を保護する性能等を有する必要がある。

(2) コンクリートは、環境作用や、波浪、漂流固形物の衝撃、磨耗等の機械的作用等による劣化に対する抵抗性を有するものでなければならない。なお、環境作用等の影響を受けるコンクリートの劣化には以下のものがある。

①凍結融解作用

コンクリート中の水分が凍結する際の体積膨張と、融解の際の水分供給という凍結融解作用を繰り返して受けると、コンクリート部材の表面からスケーリング、ひび割れ等の劣化が進行する。

②海水中の塩類の作用による劣化

海水中の硫酸イオンは、セメント水和物中の水酸化カルシウム及びアルミナ (Al_2O_3) と反応してエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}$) を形成する。この反応に伴う容積膨張に起因する圧力によりコンクリートにひび割れが発生する。ただし、この硫酸イオンがコンクリート中を侵入する速度は塩化物イオンと比べて遅く、また、一般的な海水中における硫酸イオン濃度は 2.6g/L 程度であり、それほど高くない。結果として、海水中の塩類の作用による劣化の影響はあまり大きくなく、コンクリートが著しく低品質でない限り、劣化の進行は表層付近に限られることが明らかとなっている¹⁶⁾。

③水酸化カルシウムの溶脱

セメント水和物中の水酸化カルシウムは海水に対して可溶性であり、その溶出によってコンクリートは多孔質な組織となり、ぜい弱化する。

④鋼材の腐食による劣化

鋼材表面に塩化物イオンが存在し、かつ、酸素が十分ある場合、鉄筋にさびが生じ、この膨張圧によってコンクリートのかぶり部分にひび割れが生じ、さらにはコンクリートのはく落が起こる。なお、塩化物イオンは、海水や凍結防止剤のように外部環境から供給される場合と、コンクリート製造時に材料から供給される場合がある。

⑤有害な骨材反応による劣化

反応性骨材を使用した場合、あるいは、アルカリ分を多く含んだセメントを用いた場合には、骨材とセメントが有害な化学反応を起こし、コンクリートの異常なひび割れ、亀裂、膨張等を起こし、部分的ないしは全面的な崩壊を起こすことがある。

⑥波浪や漂流固形物の作用による劣化

上に述べた作用によって劣化したコンクリートは、波浪や漂流固形物の衝撃でその表面劣化がさらに加速する。また、健全なコンクリートでも漂砂等の作用を持続的に受けることにより、磨耗が進行することがある。

(3) コンクリート強度の特性値

- ①性能照査において必要なコンクリート強度の特性値は、適切な試験に基づいて、または、コンクリートの種類、当該施設のおかれる自然状況、施工条件等を考慮して適切に設定する。
- ②港湾の施設の主構造部の性能照査における普通コンクリートのコンクリート強度の特性値としては、一般に、表－3.2.1に掲げる数値を標準値として用いることができる。

表－3.2.1 普通コンクリートのコンクリート強度の特性値の標準値

コンクリートの種類	コンクリート強度の特性値	
無筋コンクリート	圧縮	18 (N/mm ²)
鉄筋コンクリート	圧縮	24 (N/mm ²)
エプロン舗装用のコンクリート	曲げ	4.5 (N/mm ²)

ただし、鉄筋コンクリートで、耐久性を考慮して、普通コンクリートの配合条件として最大水セメント比を50%以下に設定する場合では、圧縮強度の特性値として30N/mm²を用いることができる。また、無筋コンクリートのふたコンクリートで、コンクリートの打込み後の初期材齢で波浪の衝撃及び冠水のおそれがある場合や、寒冷期に施工する場合等にあつては、圧縮強度の特性値として24N/mm²を用いることができる。無筋コンクリートの大型の異形ブロックでは、35t型から50t型では圧縮強度の特性値を21N/mm²とする等、状況に応じて特性値を設定することができる。

- ③港湾の施設の性能照査における普通コンクリートの付着強度の特性値は、式(3.2.1)により算出することができる¹⁷⁾。

$$f_{bok} = 0.28 f_{ck}^{2/3} \quad (3.2.1)$$

ここに、

f_{bok} : 普通コンクリートの付着強度の特性値 (N/mm²)

f_{ck} : 普通コンクリートの圧縮強度の特性値 (N/mm²)

ただし、式(3.2.1)はJIS G 3112鉄筋コンクリート用棒鋼の規定を満足する異形鉄筋を用いる場合のものであり、普通丸鋼を用いる場合には、鉄筋端部に半円形フックを設けることを前提に式(3.2.1)により算出される値の40%の値を用いることができる。

- ④その他のコンクリート強度の特性値については、コンクリート標準示方書【設計編】¹⁷⁾に準拠することができる。

(4) コンクリートの配合条件は、耐久性等を考慮して適切に定める必要がある。なお、表－3.2.2は、港湾における既往のコンクリート構造物の調査結果、海水の作用を受けるコンクリートの耐久性に関する研究成果や知見に基づいて、構造部材の種類別に標準的な配合条件を示したものであり、これを参考にすることができる。なお、港湾工事での実績が少ない材料の場合は、事前に試験等を行い、適切に定める必要がある。粗骨材最大寸法については、20、25、40mmが標準的であり粒径が大きい方が一般的に経済性に優れるが、鉄筋間隔、施工性、および供給面等を考慮して選定する。ここで、栈橋上部工等のように、これまでに塩害劣化により所要の性能が失われる事例が多発しているような構造部材にあつては、耐久性（性能の経時変化）に関する検討を行い、施設の要求性能を達成するように適切に配合条件を定める必要がある。なお、検討に当たっては、【施】第2章1.2.4性能の経時変化に対する検討を参照することができる。

表－3.2.2 構造部材別のコンクリート配合条件の参考表

種類	構造部材の種類例	配合条件		
		最大水セメント比 (%)		粗骨材の最大寸法 (mm)
		凍結融解がしばしば繰返される地域	氷点下の気温となることがまれな地域	
無筋コンクリート	防波堤上部工、ふたコンクリート、本体ブロック、異形ブロック（消波・被覆）、根固めブロック、袋詰めコンクリート	65	65	<u>20, 25, 40</u>
	係船岸上部工、胸壁、係船直柱基礎（重力式）	60		
鉄筋コンクリート	係船柱基礎（杭式） 胸壁、係船岸上部工 ^{*1)}	60	65	20, 25, 40
	栈橋上部工等 ^{*2)}	—	—	—
	ケーソン、ウェル、セルラブロック、L型ブロック	50	50	20, 25, 40
	消波ブロック	55	55	20, 25, 40
	控壁、控杭上部工	60	60	20, 25, 40
エプロン舗装		—	—	25 (20) ^{*3)} , 40

*1) 栈橋上部工は除く。

*2) 塩害劣化に起因する鉄筋腐食により、設計供用期間中に部材の性能低下が生じることが懸念される構造部材。

*3) 砂利の場合25mm、碎石の場合20mmとする。

(5) コンクリートはその作業条件に最も適したコンシステンシーを有する必要がある。また、特に必要がない限りAEコンクリートを用いることを原則とし、空気量は一般的に4.5%とする。なお、寒冷地、凍害のおそれがある地域ではこの空気量を適切に設定する必要がある。

(6) 過密に配筋された部材や鋼殻で密閉された空間等、スランプで管理するコンクリートでは打込みが難しい部分については、高い流動性と優れた材料分離抵抗性を有する高流動コンクリート^{18), 19), 19-1), 19-2)}の利用を検討するのがよい。これらの流動性の高いコンクリートは、コンクリート工事における省力化、信頼性の確保とこれに伴う耐久性の向上という効果も有するため、過密に配筋された部材等に限らず、構造形式や施工条件等によってはこれらの流動性の高いコンクリートの利用を検討するのがよい。

なお、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」2019年改正において、スランプフロー45～60cmで管理する流動性の高いコンクリートが追加され、調達も可能なレディーミクストコンクリート工場もある。これらの流動性の高いコンクリートの配合設計及び施工に関して文献19-1) や文献19-2) 等を参考にできる。

(7) 打継目

港湾の施設の場合、被害がコンクリートの打継目から生じることが多い²⁰⁾。このため、できるだけ打継目は設けないことが望ましいが、コンクリートの収縮や施工性の配慮からやむを得ず打継目を設ける必要があるときには、打継目に対して適切な処理を行う。なおコンクリート強度上の理由でエポキシ等の樹脂を用いることも考えられるが、これらの打継目はコンクリート強度上は十分な性能を有しているが耐久性上は優れているわけではないので注意を要する²¹⁾。

(8) 養生

コンクリートは、打込み後の一定期間、硬化に必要な温度及び湿潤状態に保ち、コンクリートが所要の品質を確保できるように養生しなければならない²²⁾。コンクリートの養生に用いる水として、一般には上水道

水等の清浄な淡水を用いる。なお、文献23)において、特に無筋コンクリートに対し、養生水として海水を用いることが提案されている。

また、養生時の水分逸散を防ぐ方法として、シート・フィルム被覆、膜養生剤等がある。

(9) 物理的作用に対する表面保護

砂粒を含む流水、砂礫を含む波浪作用等、磨り減り、衝撃等の激しい作用を受ける施設では、適切な材料で表面を保護するか、部材断面または鉄筋のかぶりを増す必要がある。表面保護材としては木材、良質な石材、鋼材、高分子材料、ポリマー含浸コンクリート、超高強度繊維補強コンクリート等がある。また、型枠を埋設型枠として残置し、表面保護の機能を付与する場合もある。

3.3 水中コンクリート

海洋等の水面下で施工する水中コンクリートには、一般の水中コンクリートと水中不分離性コンクリートがある。以下、それぞれについて記載する。

3.3.1 一般の水中コンクリート

(1) 水中コンクリートは、**コンクリート標準示方書**²²⁾のほか、**港湾工事共通仕様書**²⁴⁾にしたがって、性能照査及び施工を行う。なお、ケーシングを用いた工法については、**海洋性水中コンクリートの施工(ケーシング工法)**²⁵⁾を参考にできる。

(2) 配合選定時の留意点は以下のとおりである²²⁾。①強度は、水中施工時の強度が陸上で作成する標準供試体の強度の0.6～0.8倍とみなして設定することを標準とする。②水セメント比は50%以下を標準とする。③単位セメント量は370kg/m³以上を標準とする。なお、(1)で述べたケーシング工法の場合、340kg/m³としてもよい。④実環境での過去の実績(流動性、強度、ポンプ圧送性等)を踏まえ、選定する必要がある。なお、過去の港湾構造物への施工実績が文献26～29)にまとめられている。

3.3.2 水中不分離性コンクリート

(1) 水中不分離性コンクリートは、**コンクリート標準示方書**²²⁾のほか、**港湾工事共通仕様書**²⁴⁾にしたがって、性能照査及び施工を行う。その他、**水中不分離性コンクリートマニュアル(設計・施工)**³⁰⁾及び**水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)**³¹⁾を参照することができる。

(2) 水中不分離性コンクリートに用いられる混和剤には、セルローズまたはアクリル系水溶性高分子を主成分とする水中不分離性混和剤などがある。なお、**JSCE-D104 コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格(案)**³⁾に適合したものを標準とする。

(3) 配合選定時の留意点は以下のとおりである²²⁾。①強度は、**JSCE-F504 水中不分離性コンクリートの圧縮強度試験用水中作製供試体の作り方(案)**³⁾に従って作成した水中作成供試体の材齢28日における圧縮強度を標準として定める。②水中分離抵抗性は、水中分離度あるいは水中気中強度比から定めるものとする。③実環境での過去の実績(流動性、強度、ポンプ圧送性等)を踏まえ、選定する必要がある。

3.4 マスコンクリート

セメントの水和熱によってコンクリートの温度が上昇し、その後温度が降下することによって生じる温度ひび割れが問題となる場合は、マスコンクリートとして取扱い、その対策を行う必要がある²²⁾。港湾の施設の場合、ケーソンのフーチング部、防波堤上部工、橋脚等が、断面寸法によって対象となる場合がある。

施工にあたっては、実際の施工条件を勘案して、セメントの水和熱による温度ひび割れを抑制する対策を検討しなければならない（検討方法については、【施】第2章1.2.5 初期ひび割れに対する検討を参照）。検討例を参考文献32）に示す。

特にセメントの選定にあたっては、個々のセメントの特性を十分に把握し、適切なセメントを使用する必要がある。一般的に、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、高炉セメント（低発熱型）等の低発熱型のセメントを使用することが望ましい。また、構造物の形状・寸法や配筋にもよるが、膨張材によるひび割れ抑制が効果的な場合もある。

3.5 その他の特殊なコンクリート

(1) 合成構造により製作される沈埋函のような密閉空間にコンクリートを打設する場合には、充てんコンクリートを適用することができる。充てんコンクリートを用いる場合の性能照査及び施工に当たっては、加振併用型充てんコンクリートマニュアル³³⁾を参照することができる。

(2) プレストレストコンクリート製矢板（PC矢板）を用いる場合の性能照査及び施工に当たっては、港湾用PC矢板技術マニュアル³⁴⁾を参照することができる。

(3) その他の特殊なコンクリートとして、高強度コンクリート、軽量コンクリート^{35)~37)}、重量コンクリート^{38) 39)}、膨張コンクリート、繊維補強コンクリート^{40)~44)}、連続繊維補強コンクリート、プレパックドコンクリート、吹付けコンクリート等がある。これらの特殊なコンクリートを用いる場合には、コンクリート標準示方書【施工編】²²⁾に準拠して性能照査及び施工を行うとよい。

3.6 コンクリート杭材料

(1) 港湾の施設で用いるコンクリート杭材料の物性値は、その特性を考慮して、適切に設定する必要がある。なお、鋼杭の場合よりも、一般的に維持管理性に劣る。特に海中及び海上にある場合かつコンクリート杭内部の鋼材腐食が進行した場合、補修・補強作業は、鋼杭の場合と比較して困難である。適用を検討する際は、上記の点にも十分留意する必要がある。

(2) 遠心力を利用して成形した既製コンクリート杭

遠心力を利用して成形した既製コンクリート杭には、工場で製造する鉄筋コンクリート杭であるRC杭、PC鋼材に緊張力を加えて杭体にプレストレスを与えて引張り耐力や曲げ耐力を増大した杭であるPC杭（有効なプレストレスの量によってA種、B種、C種の三種類に区分される）、設計基準強度が80 N/mm²以上の高強度コンクリートを用いたPC杭であるPHC杭があるが、近年ではPHC杭が主流となっている。この他に、じん性能を増大するためにPHC杭に鉄筋を付加した杭であるPRC杭、及び、鋼管の内側に高強度コンクリートを成形することで大きな曲げ耐力やせん断耐力を有するSC杭等がある。なお、既製コンクリート杭に関する日本工業規格としては、RC杭及びSC杭についてはJIS A 5372 プレキャスト鉄筋コンクリート製品が、PC杭、PHC杭及びPRC杭についてはJIS A 5373 プレキャストプレストレストコンクリート製品がある。

港湾の施設の性能照査における既製コンクリート杭のコンクリート強度及び鋼材の降伏強度の特性値の設定にあたっては、前述のJIS A 5372 及び JIS A 5373 を参照するとともに、PC棒鋼についてはJIS G 3137 細径異形PC鋼棒を、PRC杭の鉄筋についてはJIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼を、SC杭の鋼管についてはJIS A 5525 鋼管ぐいをそれぞれ参照することができる。

(3) 場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭は、外殻のあるものと、ないものとに分かれる。場所打ちコンクリート杭の特色は、

地盤中に設置された状態で杭が製作されることにある。このため、場所打ちコンクリート杭は既製鉄筋コンクリート杭の場合と異なって、打込みの時の打撃などの影響を考慮する必要はないが、地上で十分管理された状態で製造されるのと違い、地盤内で、しかも周囲に打たれる杭の影響を受けながら製造される点に問題がある。このように場所打ちコンクリート杭は施工に当たって不確実な要素があり、さらに、外殻のないものは一層施工が不確実になるおそれがあるので、注意が必要である。なお、場所打ち杭については道路橋示方書・同解説IV下部構造編⁴⁵⁾が参考にすることができる。

【参考文献】

- 1) 福手勤, 山本邦夫, 濱田秀則: 海水を練り混ぜ水とした海洋コンクリートの耐久性に関する研究, 港湾技術研究所報告 第29巻 第3号, 1990.
- 2) 山路徹, Tarek Uddin Mohammed, 青山敏幸, 濱田秀則: 海洋コンクリートの耐久性に及ぼす暴露環境およびセメント種類の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.577~582, 2001.
- 2-1) 土木学会: コンクリート技術を活用したカーボンニュートラルの実現にむけて, コンクリートライブラリー165, 2023年10月
- 2-2) 土木学会: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針, コンクリートライブラリー151, 2018
- 2-3) 土木学会: 混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー152, 2018年9月
- 2-4) 国土交通省 関東地方整備局 港湾空港部: 港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル, 2023.3
- 2-5) 中村堇, 川端雄一郎, 森川忠泰, 石澤武紘, 木村匡伯: 鉄鋼スラグ水和固化体の護岸ブロックへの適用によるCO₂排出量削減効果に関する一検討, 土木学会論文集, Vol.79, No.8, 論文ID: 23-18044, 2023
- 2-6) 川端雄一郎, 中村堇: 高炉スラグ微粉末を大量使用したコンクリートの港湾の無筋ブロックへの適用性に関する検討, 第78回土木学会全国大会年次学術講演会概要集, V-236, 2023
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[標準編 土木学会規準および関連規準], 2012.
- 4) 例えば, 酒井貴洋, 竹中寛, 田中亮一, 小山広光, 山路徹, 清宮理: 海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの基礎特性, コンクリート工学, Vol.53, No.12, pp.1038~1045, 2015.12.
- 5) 土木学会: フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案), 1999.
- 6) 土木学会: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針, 2018.
- 7) 土木学会: 膨張コンクリート設計施工指針(案), 1993.
- 8) 寒地土木研究所編: 耐寒剤を用いる寒中コンクリートの施工指針(案), 1994.
- 9) 例えば, 竹中寛, 酒井貴洋, 山路徹, 清宮理: 海水および珊瑚骨材を用いた自己充填型コンクリートの基本性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1833~1838, 2016.
- 10) 土木学会: エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版], コンクリートライブラリーNo.112, 2003.
- 11) 土木学会: ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案), コンクリートライブラリーNo.130, 2008.
- 12) 土木学会: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案), コンクリートライブラリーNo.88, 1996.
- 13) 土木学会: エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案), コンクリートライブラリーNo.133, 2010.
- 14) 土木学会: 表面保護工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリーNo.119, 2005.
- 15) 沿岸技術研究センター: 港湾コンクリート構造物補修マニュアル, 2018.
- 16) 山路徹, 審良善和, 濱田秀則, 山田一夫: 海洋環境におけるコンクリートの劣化性状および劣化指標に関する検討, 土木学会論文集E, Vol.66, No.1, pp.21~37, 2010.
- 17) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2018.
- 18) 福手勤, 濱田秀則, 三浦幸治, 佐野清史, 守分敦郎, 浜崎勝利: 増粘剤を用いた高流動コンクリートの過密配筋部材への適用性, 港湾技術研究所報告, Vol.33, No.2, pp.231~257, 1994.
- 19) 沿岸開発技術研究センター: 港湾の施設を対象とした高流動コンクリート・マニュアル, 1997.
- 19-1) 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, コンクリートライブラリー136, 土木学会, 2012.
- 19-2) 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー161, 2023.
- 20) 関博, 小野寺幸夫, 丸山浩: 長期間海岸環境中に曝露された無筋コンクリート構造物の劣化状況調査, 港湾技研資料, No.142, 1972.
- 21) 大即信明, 原茂雅光, 濱田秀則: コンクリートの各種打継目の耐海水性(材令10年結果報告), 港湾技研資料, No.606, 1988.
- 22) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], 2018.
- 23) 日本コンクリート工学会: コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会報告書, pp.220~221, 2014.9.

- 24) 日本港湾協会：港湾工事共通仕様書，2017.3.
- 25) (社) 寒地港湾技術研究センター，海洋性水中コンクリートの施工（ケーシング工法），1993.3.
- 26) 関博：水中コンクリート施工例集，港湾技研資料，No.165，1973.9.
- 27) 赤塚雄三・関博：水中コンクリートの施工法，鹿島出版会，1975.
- 28) 関博：海洋構造物における水中コンクリート，コンクリート工学，Vol.28，No.3，pp.10～17，1990.3.
- 29) 安田修，村瀬和史，得永道彦，中嶋雄一，北原繁志：海洋性水中コンクリートの施工向上に関する検討，海洋開発論文集，Vol.8，pp.189～194，1992.
- 30) (財) 沿岸開発技術研究センター，(財) 漁港魚村建設技術研究所：水中不分離性コンクリート・マニュアル（設計・施工），山海堂，p.57，1986.
- 31) 土木学会：水中不分離性コンクリート設計施工指針（案），コンクリートライブラリー67，1991.
- 32) 福西謙，小野恭一：東京ゲートブリッジの施工，橋梁と基礎，pp.5～10，2011.9.
- 33) 沿岸開発技術研究センター：（鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした）加振併用型充てんコンクリートマニュアル，2004.
- 34) 沿岸開発技術研究センター：港湾用PC矢板技術マニュアル，2000.
- 35) 横田弘，山田昌郎，浜田秀則，横沢和夫，舟橋政司，原夏生，三輪俊彦，岡本享久，栩木隆，二羽淳一郎：高性能軽量コンクリートの港湾構造物への適用に関する基礎的研究，港湾空港技術研究所 資料，No.967，2000.9.
- 36) 横田弘，舟橋政司，山田昌郎，原夏生，二羽淳一郎：せん断補強のない高性能軽量コンクリートはりのせん断耐荷機構，港湾空港技術研究所 報告，第40号第3巻，pp.17～35，2001.9.
- 37) 岩波光保，加藤絵万，横田弘：高性能軽量コンクリートの構造性能と施工法に関する実験的検討，港湾空港技術研究所 資料，No.1138，2006.9.
- 38) 川端雄一郎，岩波光保，加藤絵万：スラグ細骨材を大量混合したコンクリートの各種特性，港湾空港技術研究所 資料，No.1233，2011.6.
- 39) 川端雄一郎，加藤絵万，河村直哉，山路徹，岩波光保：重量コンクリートの港湾構造物への適用に関する実験的検討，港湾空港技術研究所資料，No.1287，2014.6.
- 40) 横田弘，伊藤始，岩波光保，加藤絵万：短繊維混入によるコンクリート構造物の力学性能改善効果の定量評価，港湾空港技術研究所資料，No.1071，2004.3.
- 41) 伊藤始，岩波光保，横田弘：短繊維補強コンクリートの施工性に関する検討，港湾空港技術研究所 資料，No.1087，2004.9.
- 42) 伊藤始，横田弘，岩波光保：短繊維補強コンクリートの港湾構造物への適用性評価に関する研究，港湾空港技術研究所報告，第44巻第3号，pp.3～-37，2005.9.
- 43) 岩波光保，白根勇二，横田弘，山田岳史，竹鼻直人：PVA短繊維補強コンクリートの耐衝撃性向上効果の検討，港湾空港技術研究所資料，No.1163，2007.9.
- 44) 岩波光保，松林卓，川端雄一郎：繰返し衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の破壊性状，港湾空港技術研究所 資料，No.1216，2010.6.
- 45) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，pp.310～314，2017.