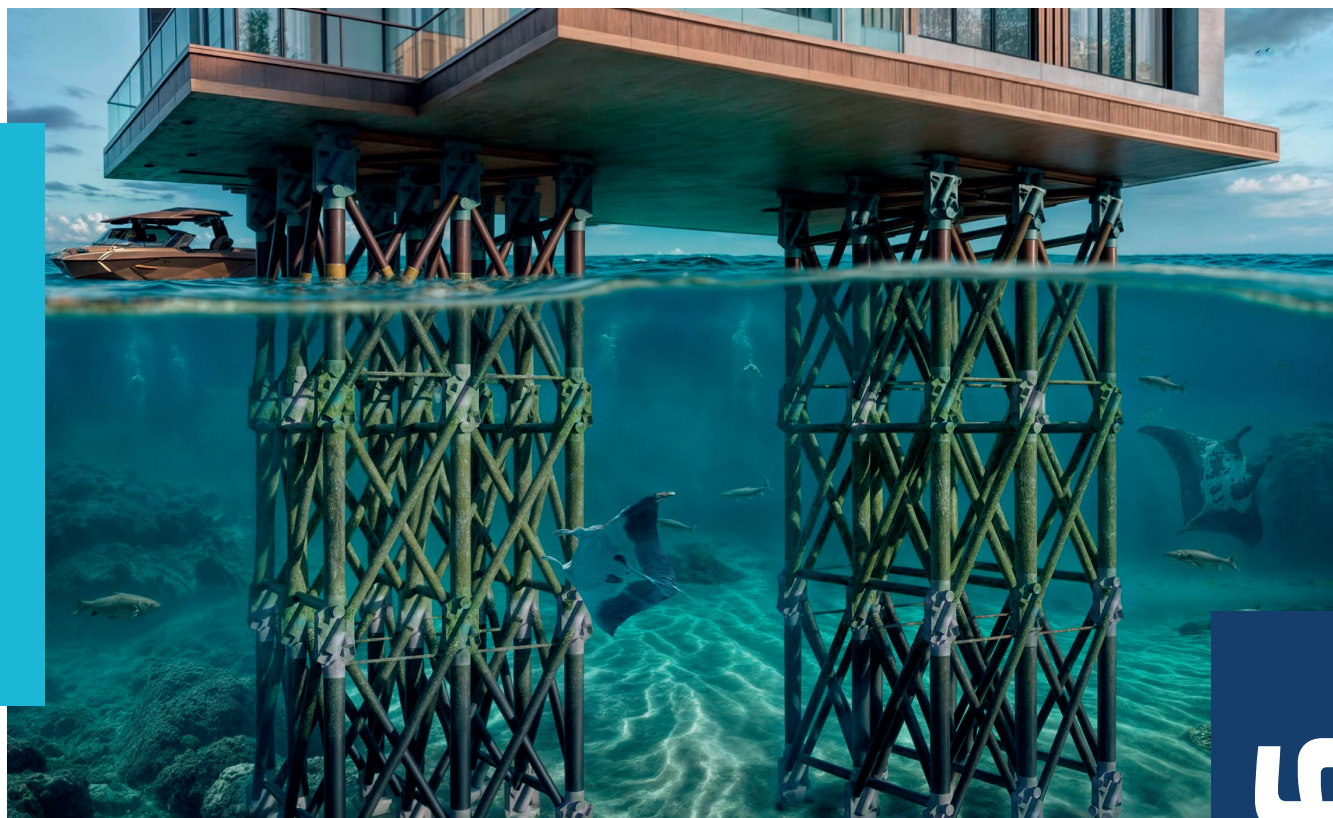


HYDRANTULA

技術概要：

海岸建設のための
革新技術



海岸研究チーム向け技術概説



2026

1 HYDRANTULA 技術の概観

HYDRANTULA は、プラスチック管と継手で構成されるモジュール式の非脱型（永久）型枠を用いて、永久的な海洋コンクリート構造物を構築するための先進技術です。実際の施工では、HYDRANTULA 構造物は、あらかじめ組み立てられたプラスチック製の「骨組み」の内部に、水中ま

たは潮間帯で直接打設される鉄筋コンクリートの三次元フレームです。本システムは当初、栈橋、ジェッティ、

擁壁、近岸プラットフォーム、水上住宅のために開発されました。まず陸上でプラスチック製ノードと HDPE 管を用いて軽量の三次元ラティスを組み立て、続いて海底に設置し、最下部から上方へコンクリートを圧送して充填します。密閉された空洞内の水は排出され、コンクリートが硬化すると、プラスチック外殻の内部に堅固な一体フレームが形成されます。



HYDRANTULA 永久型枠は、杭、鋼矢板、コンクリートポンツーン、アルミ製デッキ構造を直接置き換えることができます。その主たる利点は、三次元の海洋コンクリートフレームを構築する際のコストと複雑さを大幅に低減し、従来は石油・ガスの巨大プロジェクトに限られていた設計を、中規模デベロッパー、マリーナ、沿岸住宅プロジェクトの手の届くものにする点にあります。

2 製品説明

2.1. システムの考え方

HYDRANTULA は、水中または潮間帯でコンクリートを打設するための永久（非脱型）型枠を研究開発・製造・販売しています。すぐに打設できる型枠は次の要素で構成されます：

- 独自の接続要素（継手／ノード） — 管用の複数ポートを備えた特許取得済みのプラスチック継手；
- 標準 HDPE 配管を切断して作る梁；
- 鉄筋と微細繊維コンクリート（標準的な汎用資材として現地調達）。

言い換えれば、HYDRANTULA が販売するのは技術と専用継手であり、管・鉄筋・コンクリートは現地市場で調達します。

HYDRANTULA の製品ラインは、水上住宅の基礎、海岸防護、擁壁、小型船舶用のスリッパウェイと係留ランプ、船舶用のガレージとリフト、水辺の遊歩道など、幅広い海岸工事に対応します。8つの製品シリーズを合わせると、典型的な海岸建設タスクの最大 90% をカバーします。



2.2. 主要な特許技術

本システムは、一連の特許取得済み設計コンセプトと構成要素に基づいています：

1. 継手システムとモジュール式ノード

- 従来の三次元鋼フレーム接合部は高価です。角度と形状ごとに個別の製作が必要になるためです。
- HYDRANTULA は、鋼やアルミのノードを、回転成形（ロトモールド）で製造したポリエチレン製継手に置き換え、管ポート間でほぼ任意の角度（0°-80°、任意の方位角）を可能にします。この幾何学的柔軟性において、金属加工は現実的に対抗できません。
- ある一つのポートにおける任意の 2 本の管軸間の 0°-80° という角度範囲は、斜め筋かいおよび非直交立体フレームの幾何学的ファミリー全体を網羅します。管が 90° で交わる必要のある直交フレームについては、HYDRANTULA は通常のプラスチックスリーブで解決するため、直交配置も標準継手の範囲内で完全に実現できます。

2. バイナリソケット

- 想定されるあらゆる角度と向きごとに個別の継手を作ると、何千もの品番（SKU）が生じます。HYDRANTULA はバイナリソケットの考え方でこれを解決します。
- 各継手は、複数の潜在ポートを備えて製造されます。現場では、作業者がコアドリルを用いて、当該ノードに必要なソケットのみを開口し、未使用のポートは閉じたまにします。

- これにより、単一の汎用継手で複数の「左／右／上／下」バージョンを置き換えられ、物流と在庫が簡素化されます。



3. 側方オフセット形状と施工性

- 三次元ノードでは、各管軸は理論上 1 点に収束すべきです。しかし管径が大きい場合それは不可能で、管同士が物理的に干渉します。
- HYDRANTULA は側方オフセット形状を導入し、管軸をわずかにずらして互いを避けさせます。これにより干渉を回避し、継手をより小型化し、複雑な三次元フレームの施工性を大幅に向上させます。

4. 同軸ソケットと貫通管

- 側方オフセットにより一部のソケットが同軸となり、全長の管を切断せずに継手を貫通させられます。
- リーブやベル防止構造と組み合わせることで、大型のフレーム「面」を事前に組み立てられ、施工を簡素化し、打設時のコンクリート性能を向上させます。

5. GrooveLock／Camlock 互換

- HYDRANTULA の継手には、標準的な GrooveLock および Camlock システム用のアダプターが組み込まれています。
- コンクリートは最下点から加圧してフレーム内へ圧送され、自由落下による打込みがないため、過酷な海洋環境でもより緻密で耐久性の高いコンクリートが得られます。

6. タイロッドとマニフォールドの技術

- HYDRANTULA は、海洋環境に典型的な動的荷重に耐えるよう設計された複合材タイロッドを体系的に組み込んだ初の型枠システムです。

- モジュール式継手はさらにマニフォールドハブへと発展し、複数の並行する管供給を管理できます。これにより、海岸防護、侵食抑制、段階式ビーチに利用できる堅固なコンクリートの「壁」が形成されます。

7. 汎用的な工具と技能

- 本システムは標準的な HDPE 配管と溶接工具を使用します：ソケット／バット融着機、手持ち式押出溶接機など。
- 専用工具は不要です。HDPE 管の溶接訓練を受けた既存の世界的な労働力が、ごくわずかな追加訓練でHYDRANTULAを組み立てられます。



2.3. 組立と水中打設

1. 陸上での組立（作業量の約 90%）

- 空の型枠は、陸上で 1 つの剛な三次元フレームとして完全に組み立てられます。
- この段階で、管を所定長さに切断し、バット／ソケット融着または機械式締結具で継手に接続し、管内に鉄筋または複合材筋を挿入して配筋します。

2. 運搬と設置

- 組み立てたフレームは、クレーン、トラック、またはバージで設置現場へ運搬します。
- 配筋の種類に応じて、フレームは一時的に浮上（複合材筋）または直ちに沈下（鉄筋）します。

3. コンクリート打設

- 構造物を水中に入れる前に、コンクリート配管またはホース（DIN 125/100）を、構造物最下点の継手の GrooveLock／Camlock ポートに接続します。
- 打設は水中で行います。コンクリートは下から上へ圧送され、型枠内の水を排出し、空隙と材料分離を最小限に抑えます。
- 型枠は完全な水密ではありませんが、コンクリートを保持して水を制御しながら排出できる程度に十分密閉されています。

2.4. 打設時の品質保証

単一の GrooveLock／Camlock ポートを通じた制御された下方からの圧送が、第一の品質保証層となります。空気抜きと空隙制御は専用手順で実現します：打設開始の直前または直後に、継手上部に小径の孔をあらかじめ開けておきます。コンクリートが下から上昇する際、閉じ込められた空気がこれらの孔から抜けます。コンクリート前面が孔に達すると、その孔は自然に自己封止します。

配合中の粗骨材が孔口で架橋し、人手を介さずに塞がります。封止された孔は、その部材内のコンクリート柱が当該高さに達したことを示し、依然として空気を排出している孔は未充填部の存在を示すため、コンクリートが硬化する前に追加圧送ができます。

この自己封止機構は、専用計器を要せずに、フレーム全体にわたる分散的で費用のかからない品質指標を提供します。標準的な実務にはさらに次が含まれます：

- 打設中を通じて圧送圧力と流量を監視し、閉塞や異常な抵抗を検知すること；
- 各打設前にポンプ入口でコンクリートの稠度（スランプまたはスランプフロー）を確認すること；

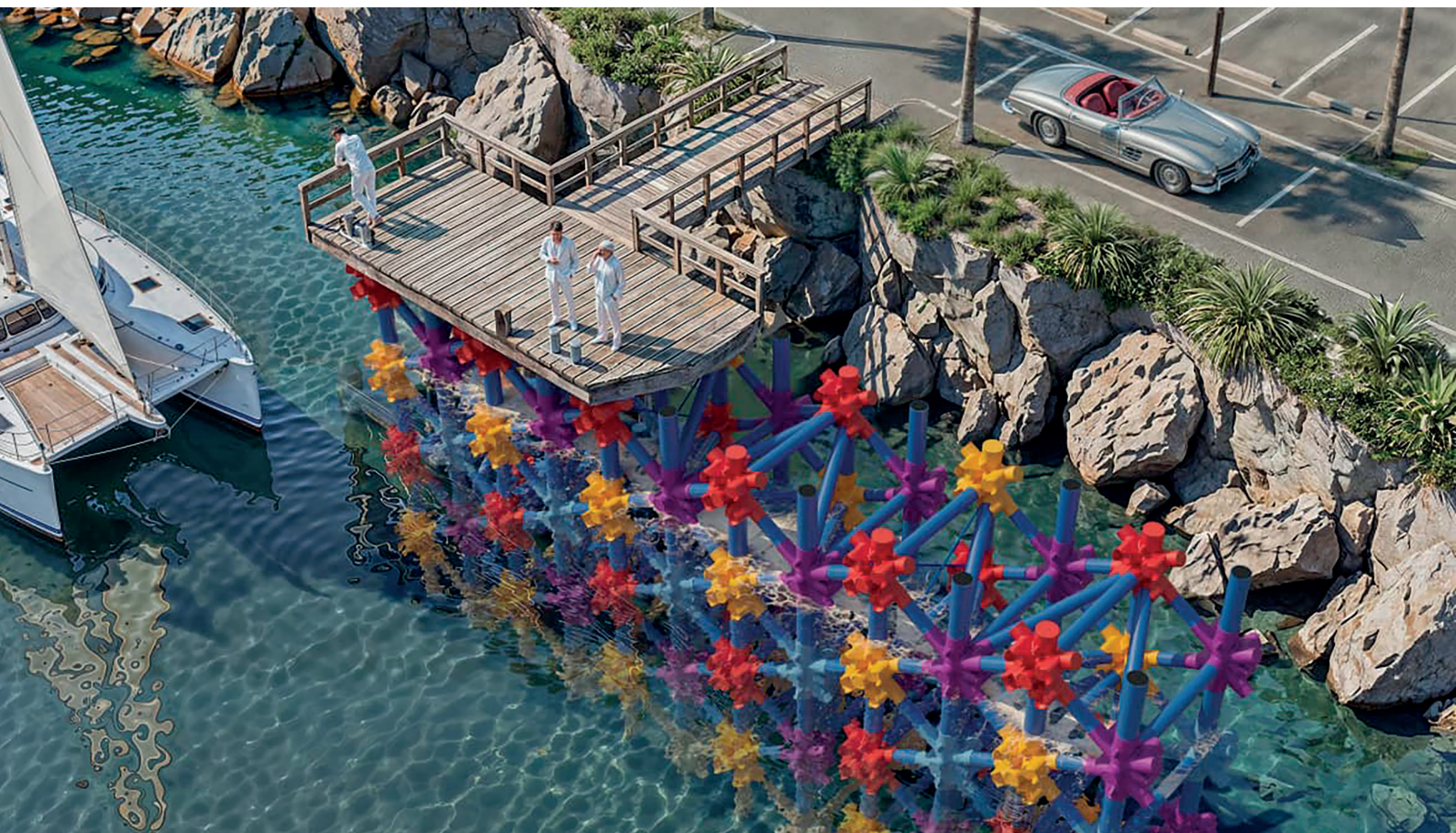
- 各打設から標準の立方体または円柱供試体を採取し、材齢 28 日の圧縮強度試験に供すること；
- 設置後に潜水土が点検し、構造物周囲に目視できる未充填部がないことを確認すること。

プロジェクト仕様でより高い保証水準が求められる場合は、完成した部材に対する非破壊検査－HDPE 被覆断面に合わせて調整したインパクトエコー法や超音波伝播速度法を含む－を指定できます。構造上重要な部材、および新たな地域市場での初回施工には、こうした検査を推奨します。

- 養生完了後に得られるのは、プラスチック外壳に封入された一体の鉄筋コンクリートフレームです：海洋条件下で数十年の供用を想定した、永久的で耐食性のある構造部材です。

2.5. 材料と物流

- 構成要素の最大 99% がプラスチックで、最も重い空の部材でも約 25 kg にすぎず、人手での取扱いと物流が容易です。
- 管は納入前に切断済みにでき、継手は小型でパレットに載せて長距離輸送できます。
- 重量級のコンクリートポンプや HDPE 溶接機をわざわざ購入する必要はありません－広くレンタル可能であり、その費用はクレーンバージや海上施工設備の通常費用のごく一部にすぎません。



2.6. コンクリート配合の要件

フHYDRANTULAレームに用いるコンクリートは、構造物の最下点から加圧して圧送され、密閉型枠内の水を排出します。この打設方式は配合設計に特有の要件を課します：

- **ワーカビリティ**：配合は自己充填（SCC）または SCC に近い稠度（スランプフローは通常 550-650 mm）とし、振動を用いずにすべての空洞を完全に充填できること；
- **強度等級**：海洋暴露には最低 C35/45（特性円柱／立方体強度）を推奨し、侵食性の高い潮間帯・飛沫帯条件には C40/50 が望ましい；
- **暴露等級**：潮汐条件と塩化物暴露に応じて、EN 206 / SS EN 1992-1-1 に基づく XS2-XS3；
- **セメント種類**：水和熱を抑え長期の耐塩化物性を高めるため、耐硫酸塩セメントまたは混合セメント（高炉スラグ微粉末 GGBS、フライアッシュ）が望ましい；
- **微細繊維補強**：養生中の塑性収縮ひび割れを低減し、ひび割れ後の靱性と延性を高めるため、ガラス繊維またはステンレス鋼マクロ繊維を使用；
- **水セメント比**：水中および潮間帯用途では 0.45 を超えないこと。

標準的なコンクリート供給、圧送設備、配合設計の専門知識は、主要なすべての海岸建設市場で利用可能です。具体的な配合設計は、現地のセメント供給源と環境暴露条件を踏まえ、有資格の構造または材料技術者が検証・調整すべきです。

2.7. 段階式・マニフォールド式の構成

単体モジュールのフレームに加え、HYDRANTULA のマニフォールド継手は独自の構造形式を可能にします：海岸防護、ビーチ安定化、生態的強化のための段階式多列アレイです。

この構成では、複数のフレームモジュールが水平な段として階段状に配置され、汀線からより深い水域へと下っていきます。各段は、波が次の段に到達する前に入射波エネルギーの一部を低減し、荷重を単一の防御線に集中させるのではなく、分散的な減衰プロファイルを形成します。段階式構成の主な特徴：

- **波エネルギーの減衰**：開放的なラティス形状は段の間を水が通過することを許し、波エネルギーを反射ではなく乱流へと変換します。

- 反射係数は、中実壁や被覆護岸よりも大幅に低く、趾部洗掘と二次侵食を低減します；
- 土砂動態：透水性の多段構造は、列間の遮蔽域での自然な土砂堆積を促し、時間とともにビーチの回復と海草の定着を支える可能性があります；
- 生態的価値：階段状形状は鉛直方向の生息環境勾配を生み出し — 潮下帯
- ・潮間帯・飛沫帯が単一構造内にすべて表れ、異なる潮位高での多様な生物群集を支えます；
- 拡張性：段数、段間隔、各モジュール寸法はいずれも連続的に調整でき、現場の水深、波浪環境、設計目的に適合させられます。

段階式構成は HYDRANTULA システムの最も特徴的な能力の一つであり、従来の杭・デッキ方式や一体壁方式では実現が困難です。これは、ハイブリッド型の海岸防護および生態的海岸線への応用に向けて提案される主要な構造形式です。



3 技術的特性

3.1. 耐荷重能力と構造性能

フHYDRANTULAレームは、高い剛性と耐荷重能力を備えた立体（三次元）トラスを構成します。完全に三次元で多層化できるため、本構造は：

- 側方の波・流れの力、揚圧力、可変の繰返し荷重に抵抗します；
- 荷重を海底の広い接地面に分散し、地盤の支持圧と沈下リスクを低減します；
- 側方・揚圧・繰返し作用の下で三次元的な荷重再配分と冗長性を提供します。多方向の波浪荷重への抵抗は立体フレーム作用によって達成され、方向別の剛性と強度は、具体的な形状、対称性、筋かい配置、支持条件、設置方式に依存します。

構造設計上、HDPE 外殻は主として永久型枠および保護的な外側バリアとして扱うべきです。主たる耐荷重機能は、鉄筋コンクリート核と内部配筋が担います。

タイロッドと連続した貫通管の採用は、冗長な荷重伝達経路を生み出し、海洋環境に典型的な疲労および衝撃荷重への耐性を高めます。



3.2. 土質条件と勾配

HYDRANTULA は、砂質・シルト質・岩質など多様な海底に設置できます。最下層の幅広い「スキッド」または基礎梁が荷重を海底に分散します。傾斜した海底では、一部のシリーズ（H1 および H2 系統）が高さ調整可能な支柱を備え、大規模な現場造成なしにフレームを水平に調整できます。

一部のシリーズは自立式設置（「FreeStand 自立モード」）に適しており、剛なアンカーを要さず、自重と接地面で海底に据え置かれます。必要に応じて、鉛直支柱がスクリュー杭やアンカーのガイドとして機能し、自立式と固定式の支持方式を組み合わせられます。

自立モードでは、2 つの面で慎重な現場評価が必要です。第一に、波周期、水深、フレーム形状、コンクリート充填後の構造物自重を考慮し、側方の波・流れ荷重下での滑動および転倒に対する安定性を計算で検証する必要があります。多くの充填構成では自重だけで十分な抵抗が得られますが、波浪が強い、または潮流が強い暴露された現場では、明示的な安定性照査が必要です。

第二に、基礎梁下の海底洗掘を評価する必要があります。流速または波による底面せん断応力が現地土砂の限界閾値を超えると、構造物の接地面が次第に掘り下げられる可能性があります。対策には、洗掘防止マット（捨石、碎石ベッド、ジオテキスタイル）、基礎梁の接地面積の拡大、または一部シリーズに内蔵された支柱ガイドを用いた部分固定構成への移行が含まれます。暴露された自立モードについては、現場固有の水理モデル化、または確立された洗掘予測手法（EurOtop や橋梁等の洗掘マニュアルなど）の参照を推奨します。

3.3. 水深範囲

HYDRANTULA シリーズは、次の特性水深をカバーします：

- H1 — 極浅水域向けの単層シリーズ；
- H2 / H4 — 約 5-6 m の水深向け構成；
- H5 — 多層フレームによる深水向けの選択肢で、約 8-12 m、設計によっては約 15 m まで対応。

多層化能力は重要な差別化要素です：トラス層の鉛直方向の積層は、部材寸法を大きくせず、剛性と高さをもたらす、シンガポールの近岸域（<10 m）の大部分の水域に適しています。

3.4. 海洋環境での耐久性

- プラスチック外殻：HDPE の外層は、数十年にわたりコンクリートを外部環境から保護し、摩耗、海水との直接接触、該当する場合は凍結融解サイクルから守ります。
- 腐食：電気化学的腐食に耐性；コンクリート中の GFRP 筋のアルカリ耐久性は、具体的な材料システムと、アルカリ使用条件に対する適切な選定に依存します。
- 耐氷性：本システムは結氷水域や流氷に耐えるよう設計されています；熱帯のシンガポールでは関連性は低いものの、過酷な機械的接触荷重下での堅牢性を示します。
- 耐用年数：海洋環境における HDPE の材料性能データに基づき、製品材料および設計耐用年数の目標は 60 年以上です；長期検証は継続中です。

3.5. 設備と人員

- 組立には一般的な設備を使用します：ドリル、コアビット、HDPE 溶接機、光学レベル、手動押出機、丸鋸。
- 施工設備はクレーン、コンクリートポンプ 1 台、標準的なコンクリートミキサー車に限られます。
- ほとんどの組立作業は、一般の建設作業員または HDPE 溶接の訓練を受けた配管工が行えます；作業の大部分に潜水土や海洋級の作業班は不要です。

3.6. 規制と規格への適合

HYDRANTULA

フレームは鉄筋コンクリート構造物であり、標準的な構造工学規格の適用範囲に入ります。本技術は新たな規制区分を必要とせず、永久海洋構造物に適用される既存の枠組みの下で評価できるよう設計されています：

- コンクリート核と配筋の構造設計：EN 1992-1-1（ユーロコード 2）および EN 1992-2（コンクリート橋・土木構造物）、現地の採用に従う — シンガポールでは SS EN 1992 と BCA の構造ユーロコードが適用；
- 海洋耐久性と暴露分類：EN 206、EN 1504 シリーズ；

- HDPE 管材料：ISO 4427 / EN 12201（圧力用途の PE 管）；溶接手順は DVS 2207-1 および DVS 2208-1 に準拠；
- 海底支持力と洗掘の地盤評価：EN 1997（ユーロコード 7）、現場固有の地盤調査で補完。

国の建築主管庁が新工法に対して個別の構造評価を求める場合でも、HYDRANTULA の主たる耐荷重機構 — 鉄筋コンクリート核 — は標準規格に従って直接計算できます。永久 HDPE 外殻は、規格上は非構造の型枠として扱われるため、規制上の不確実性をもたらしません（3.1 節参照）。

詳細設計に先立ち、評価基準について合意するため、BCA または関連主管庁との事前規制協議を計画しています。



4 従来の海岸ソリューションとの比較

以下に、HYDRANTULA と、海岸・海洋建設における主要な競合工法 — 鉄筋コンクリート杭、コンクリートポンツーン、鋼／アルミ構造、一体式コンクリート壁 — を体系的に比較します。

4.1 比較の観点

1. 施工方法と物流

HYDRANTULA	作業の最大 90% を陸上の乾燥条件で実施し、設置とコンクリート圧送のみを水中で行う
杭	打設または削孔、重量バージ、バイブロハンマー、水中作業が必要
ポンツーン	プレキャスト浮体を曳航・係留；比較的単純だが固定基礎ではない
鋼／アルミ構造	工場製作フレームを杭または重量コンクリートブロック上に設置；有資格溶接工と防食処理が必要
一体式コンクリート壁	通常は仮締切と排水が必要 — 難しい潮汐現場では、仮設工（締切の構築と撤去）が予算の最大 60% を占めることも多い

2. コストと人員

HYDRANTULA	海洋設備の設備投資が低い；高価なクレーンバージではなく、レンタルの HDPE 溶接工具と標準コンクリートポンプを使用。作業が比較的単純かつ乾燥環境のため人件費を低減
杭・一体式構造	海上の人件費と設備費が高い
ポンツーン	設備投資は中程度だが、維持管理と限られた耐用年数によりライフサイクルコストが高い
鋼／アルミ 構造	材料費と加工費が高く、継続的な防食が必要

3. 環境フットプリント

HYDRANTULA	ラティスフレームは波に対して透過的で、流れを大きく変えず海底侵食も引き起こさない。コンクリートは密閉型枠内で下から上へ打設されるため、濁度の増加も顕著ではない。時間とともに HYDRANTULA は人工魚礁として機能しー梁とノードが海洋生物の生息場所となり、生物多様性を高める
杭・一体式構造	物理的な接地面は比較的小さいが、設置中の騒音と擾乱が大きい（水中騒音）
ポンツーン	水面を遮り、水交換を妨げるおそれがある；リーフ状の生育には不利
鋼／一体壁	波エネルギーを反射し、構造物前面の洗掘と侵食をしばしば悪化させる；施工過程で土砂をかき乱し水質に影響することが多い

4. 施工速度

HYDRANTULA	陸上組立と水中打設により締切工程を回避できるため、迅速に展開できる
杭・一体式	作業は逐次的で、天候に左右され、時間を要する
ポンツーン	設置は速いが耐用年数は短い

5. 柔軟性と拡張性

HYDRANTULA	モジュール式システム；縦横比を保ちつつ梁長を変えて寸法を連続的に調整できる。一組の基本継手から多様な配置を形成できる
杭・一体式構造	各構造形式とも、通常は個別の詳細図と特注製作を要する
ポンツーン	
鋼／アルミ 構造	



5 世界の海岸・水辺プロジェクトにおける利点

海岸侵食、海面上昇、高潮は、世界で 600,000 km を超える開発済み海岸線に影響を与えています。同時に、従来の海洋建設 — 杭、締切、鋼矢板、プレキャストポンツーン — の市場は、高い設備コスト、専門労働力の要件、ますます厳しくなる環境規制に制約されています。HYDRANTULA はこの空白を埋め、工学的な堅牢性、環境適合性、施工性を兼ね備えた解決策を提供し、幅広い海岸気候と規制環境で展開できます。

5.1. 世界の浅海水域への適合性

世界の海岸防護および水辺インフラの大部分は、水深 10-12 m 未満の水域に位置します。これには、レクリエーションビーチ、潮汐河口、ラグーン、河川デルタ、サンゴ環礁海岸、港湾都市の近岸縁辺部が含まれます。HYDRANTULA の水深範囲 — 多層構成で 10-12 m まで — と、深い杭基礎なしに海底へ直接据え置ける能力により、次の用途に適します：

- 熱帯・亜熱帯・温帯気候における近岸およびビーチ防護構造物；
- 都市水辺沿いの海岸公園や遊歩道の護岸；
- 小型ジェッティ、フェリー乗降施設、レクリエーション栈橋の基礎；
- 埋立プロジェクトの縁辺インフラ；
- 潮汐入口および河口の防護工事。

高さ調整可能な支柱と適応的な形状により、砂・シルト・岩を問わず海底の不整を補えるため、大規模な浚渫や現場造成は不要です。これは、現場造成設備が乏しい、または高価な発展途上市場で特に重要です。

5.2. 陸上組立と 海上設備への依存低減

ほとんどの海岸の法域では、クレーンバージ、ジャッキアップ台船、海洋作業班が、従来の海洋建設における主要なコスト要因です。HYDRANTULAの陸上優先のアプローチは、この構図を根本から変えます：

- 製作作業の約 90% は、現地で確保できる労働力を用い、陸上の乾燥条件で完了します；
- 組み立てたフレームは完成ユニットとして設置され、船舶の動員回数を減らします；
- 浅水・近岸の設置では、陸上クレーンが汀線から直接フレームを投入でき、クレーンバージを完全に不要にできます。



このコスト構造は、高コストの海事市場（北欧、北米、オーストラリア）で優位であると同時に、海洋級の設備がそもそも入手できない、または手が届かない新興の海岸経済圏でも貴重です。同じ施工論理が、ノルウェーのフィヨルド、カリブ海の島嶼、東南アジアの群島に当てはまります。

5.3. 低騒音設置と地域社会への影響低減

杭打設は持続的な水中パルス騒音を生じ、その最大値は海洋哺乳類、魚類、潜水性鳥類に関する規制閾値をしばしば超えます。多くの法域 — EU（生息地指令）、米国（MMPA）、オーストラリア、カナダを含む — では、これにより義務的な騒音影響評価、隔離区域、季節的施工窓が課され、プロジェクト工期が数か月延びます。

HYDRANTULA は杭打設や重量級の振動設備を必要としません。したがって：

- 設置中の水中騒音レベルが大幅に低く、生態的に敏感な地域での許認可リスクを低減します；
- 隣接構造物への振動伝達 — 歴史的な水辺、密集した港湾前面、敏感なインフラにとって重要 — は無視できる程度です；
- 騒音閾値超過を引き起こすことなく、住宅地、レクリエーションビーチ、海洋保護区の近傍で作業を進められることが多いです。

水中騒音規制が強化されつつある法域では、この特性は重要な商業的意味を持ちます：EU の海洋戦略枠組み指令、OSPAR、および同等の各国枠組みは、沖合・近岸施工で許容される擾乱水準を段階的に引き下げています。

5.4. 自然を活用した

・ハイブリッド型海岸ソリューションとの整合

欧州、北米、オセアニア、東南アジアにおいて、各国の海岸戦略は共通の立場へと収れんしつつあります：硬構造のみでは不十分であり、現場条件が許す限り、自然を活用した、またはハイブリッド型の解決策を組み込まなければならない、というものです。HYDRANTULA はこのパラダイムと構造的に整合します：

- 透水性ラティスは、波・流れ・土砂が構造物を通り抜けることを許し、中実の海堤や護岸に伴う滞留域や洗掘パターンを回避します；
- HDPE 外殻で保護された粗いコンクリート表面は、藻類、サンゴ、カキ、ムール貝、フジツボなどの定着基質となり、構造物を次第に機能的な人工魚礁の生息場所へと変えていきます；
- フレームは段階式または階段状アレイとして構成でき、リビングショアライン、エコ海堤、サンゴ礁修復プログラムで用いられる形状に適合します。

これらの特性により、HYDRANTULA は、気候レジリエントな海岸インフラを対象とした EU（Horizon Europe、LIFE）、米国（NOAA、USACE）、英国（UKRI、環境庁）、および多国間開発銀行の助成研究・実証プロジェクトと直接関連します。

5.5. 施工中の濁度と

環境擾乱の低減

従来の「湿式」工法 — 締切設置、水中コンクリート打設、鋼矢板打込み — は、海底土砂をかき乱し、セメント微粒子を水柱に持ち込みます。敏感な底生生息環境（サンゴ、海草、カキ礁）を有する区域や、浮遊土砂濃度が規制される区域では、これが主要な許認可上の障害となります。

HYDRANTULA の密閉型枠・下方圧送方式は、この問題に直接対処します：

- 打設中にセメント微粒子が水柱へ漏出しません；
- 締切の構築と関連する浚渫を回避します；
- 設置中の土砂再懸濁は、フレーム据付の機械的接地範囲に限られます；
- 施工区域で敏感な底生生息環境を埋没させるリスクが大幅に低減します。

世界の規制された海岸環境において、これは実質的な利点です — 地中海のポシドニア海草藻場から、インド太平洋のサンゴ礁縁辺、北大西洋のケルプ林域に至るまで。

5.6. 美観と都市への調和の利点

世界の海岸都市は、水辺を公共のアメニティ、観光、経済開発の資産としてますます重視しています。巨大なコンクリート海堤や捨石被覆護岸は、価値の高い水辺再開発と視覚的に相いれません。

HYDRANTULA のプラスチック外殻は、さまざまな色や表面仕上げで製作でき、都市の水辺デザインコンセプトと視覚的に調和させられます。巨大な重力ブロックではなく、立体トラスの繊細な形状と相まって、次が可能になります：

- 都市水辺における軽快な印象の遊歩道、展望デッキ、親水テラス；
- 海岸公園環境における、視覚的に際立つエコ栈橋やレクリエーション構造物；
- 歴史的に敏感な、または観光に面した海岸沿いでの防護インフラの体量感の低減。

この特性は、欧州、湾岸地域、東南アジアの水辺再生プロジェクト、および世界の海岸リゾート開発に関連します。

6 潜在的な応用分野

HYDRANTULA は、研究実証から本格的な防護インフラまで、幅広い海岸工学プロジェクトに適します。以下の分野は、本技術が従来の代替策に対して差別化された価値提案を持つ主要な領域を示します。

1. 海岸防護とハイブリッド型防波堤

- 半水型トラス防波堤。暴露および半暴露の海岸環境で波エネルギーを低減しつつ、水交換、土砂の連続性、生態的連結性を維持します。
- 捨石被覆、マングローブ縁辺植栽、人工魚礁モジュールと組み合わせ、現地の波浪環境と潮汐条件で研究されるハイブリッドシステムを構成します。
- 熱帯・温帯・乾燥帯の海岸での開放海岸侵食抑制、港湾入口防護、海岸インフラ防御に適します。

2. リビングショアラインと生きた海堤

- 海岸公園、港湾再開発区、埋立縁辺処理における段階式リビングショアラインの構造骨格として。
- ティス形状、表面テクスチャ、基質の向きが、海洋生物の定着速度、種多様性、長期的な生態機能にどう影響するかを研究します。
- EU、英国、オーストラリア、シンガポール、香港、湾岸諸国、北米東西海岸の都市水辺プロジェクトに関連します。

3. 栈橋・プラットフォーム・養殖インフラの基礎

- 歩行者用栈橋、ウォータースポーツ施設、小型ボートドック、フェリーターミナルの海底基礎として。杭支持デッキや浮体ポンツーンと直接ライフサイクルコストを比較します。
- 近岸養殖インフラ — 生簀、貝類の延縄、海藻養殖 — の安定プラットフォームとして、遮蔽された湾や海峡に設置し、フレーム内部の空洞を配管やユーティリティの敷設に利用します。
- 従来の海洋建設サプライチェーンが長く高価な、島嶼国や群島国にとって特に関連性があります。

4. 実証・デモ設置

- 海岸防護、ビーチ修復、港湾再生の現場に計測機器付きの実証区間を設け、消波性能、洗掘挙動、生物定着を複数年にわたり監視します。
- 試験台として、異なる海象環境の実条件下で、構造設計モデル、水理性能パラメー、環境影響評価を検証します。
- 国または地域の海岸研究プログラムへの組込みに適し、工学と環境規制の双方の要件を満たす技術検証データを提供します。

5. ライフサイクルと使用済み（EOL）研究

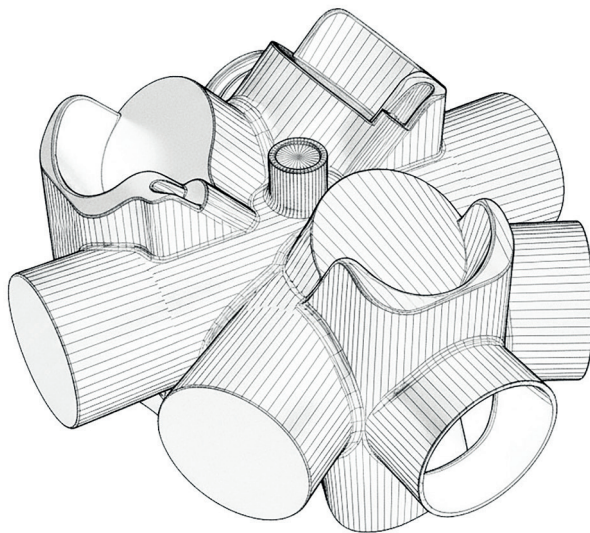
- 撤去可能性の主張を検証：廃止または損傷した HYDRANTULA 構造物は、露出した杭頭、水中の金属残骸、残留汚染を残さずに撤去でき、使用済み段階の負担を低減します —
これはプロジェクト融資者と環境規制者の双方にとって重要です。
- 循環経済の枠組み（EU タクソノミー、ISO 14040 LCA、EPD プログラム）の下で、プラスチック構成要素のリサイクル性と継手の再利用可能性を評価します。
- 確立された LCA 手法を用い、ライフサイクル炭素と内包エネルギーを従来の海岸構造形式と比較します。

7 結論

HYDRANTULA は、水中コンクリート構造物のためのモジュール式・低影響・高耐久の技術であり、シンガポールの海岸防護と水辺開発におけるいくつかの課題に直接対処します：

- 作業の大部分を陸上へ移し、海洋建設のリスクとコストを低減します。
- 巨大な締切や大量の杭打設なしに、浅水・中深水域で堅固な三次元コンクリートフレームを実現します。
- 水と生命の通過を許し、時間とともに人工魚礁として機能することで、ハイブリッド型・自然活用型の海岸戦略と整合します。
- 既存の工業規格（HDPE 管、GrooveLock/Camlock 継手、標準ポンプと工具）と互換性があり、現地での採用を容易にします。

シンガポールの CFI と PUB にとって、HYDRANTULA は、気候レジリエントで生態的に配慮した海岸インフラの研究・実証のための有望なプラットフォームを提供します。シンガポール固有の条件下での体系的な評価は、技術的に有効であると同時に環境的に再生的な、新たな海岸構造のクラスを切り開く可能性があります。



材料データシート

附属書 №1

構造構成要素：海洋建設用 HDPE 管および LMDPE 継手

文書番号：HYD-MDS-001 改訂：1.0 日付：2026 年 5 月 UEN：202600937R

1. 適用範囲

本材料データシートは、海洋・海岸建設のための Hydrantula 永久型枠システムで使用する 2 つの主要構造材料を扱います：

構成要素	材料	Hydrantula システムでの用途
管（梁）	HDPE PE100（高密度ポリエチレン）	構造フレーム梁；永久型枠外殻；鉄筋用導管
継手（ノード）	LMDPE - PETRONAS Chemicals Group Berhad 製 ETILINAS LL3840UA	三次元フレームノード；マニフォールドハブ；コンクリート分配コネクタ

両構成要素はいずれも永久（非脱型）型枠として機能します。コンクリート打設後、プラスチック外殻はその場に留まり、保護的な外側バリアとして、鉄筋コンクリート核を海水との直接接触、摩耗、凍結融解サイクルから守ります。

注：本 MDS は材料特性のみを扱います。コンクリート核の構造設計は EN 1992-1-1 / SS に従って行うこと

2. HDPE PE100 管（構造梁）

2.1. 材料分類

パラメータ	値 / 根拠
材料記号	PE100（高密度ポリエチレン）
適用管規格	ISO 4427 / EN 12201（圧力用途の PE 管）
最小要求強度（MRS）	10.0 MPa（ISO 9080 による PE100 分類）
溶接手順	DVS 2207-1（バット融着）；DVS 2208-1（ソケット融着）；手持ち式押出溶接
供給形態	標準 HDPE 配管、現場で所定長さに切断

2.2. Hydrantula 組立で使用する管サイズと SDR シリーズ

外径 OD (mm)	SDR	肉厚 (mm)	呼び圧力 PN (bar、20°C)	内径 約 (mm)	代表的用途
125	13.6	9.2	16	106.6	モジュール式擁壁部材
140	17	8.3	12.5	123.4	フレーム、斜材、スキッド
160	21	7.7	10	144.6	フレーム、斜材、スキッド
200	26	7.7	8	184.6	フレーム、斜材、スキッド
225	26	8.7	8	207.6	耐荷重支柱；主要部材
250	33	7.7	6.3	234.6	耐荷重支柱；主要部材
280	33	8.6	6.3	262.8	耐荷重支柱；主要部材

肉厚は 外径/SDR から算出。PN 等級は ISO 4427 により 20°C の水に適用。構造（非圧力）梁用途では、SDR 表記は圧力等級ではなく、主に肉厚と断面二次モーメントの決定に用いる。

2.3. 主要な力学的・物理的特性 - PE100

項目	値	単位	試験規格
密度	950 - 960	kg/m ³	ISO 1183
降伏引張強さ	≥ 22	MPa	ISO 527-2
破断伸び	≥ 600	%	ISO 527-2
曲げ弾性率（短期）	≥ 900	MPa	ISO 178
MRS（長期静水圧強度）	10.0	MPa	ISO 9080
ビカット軟化温度	≥ 120	°C	ISO 306
使用温度範囲	-40 to +60	°C	ISO 4427 / EN 12201
紫外線安定化	カーボンブラック、質量比 ≥ 2%	-	EN 12201-2
耐薬品性 — 海水／塩化物	優れる	-	ISO 175
電気伝導性	非導電性	-	-
設計耐用年数（海洋環境）	≥ 60	年	EN 12201 / DVGW

記載の特性値は、ISO 4427 および EN 12201 による PE100 の最低仕様要件である。実際に供給される管の値は、該当製造ロットの管メーカー製品データシートによる。

3. 鉄筋コンクリート核

あらゆる Hydrantula 構造物の主たる耐荷重部材は、永久 HDPE/LMDPE 型枠の内部に打設される鉄筋コンクリート核である。プラスチック外殻は非構造の型枠および保護的外側バリアとして機能する；構造設計はコンクリート核と内部配筋に基づき、EN 1992-1-1 / SS EN 1992（ユーロコード 2）に従って行う。

3.1. コンクリート配合の要件

パラメータ	要件	根拠
最低コンクリート等級	C35/45（海洋暴露）；潮間帯／飛沫帯には C40/50 が望ましい	EN 206 / SS EN 206
暴露等級	XS2（水没）～XS3（潮間帯／飛沫帯）	EN 206 / EN 1992-1-1
ワーカビリティ（打設方法）	自己充填（SCC）；スランプフロー 550-650 mm	EN 12350-8
最大水セメント比	≤ 0.45	EN 206 Table F.1
セメント種類	耐硫酸塩または混合セメント（GGBS、フライアッシュ）が望ましい	EN 197-1
微細繊維補強	ガラス繊維またはステンレス鋼マクロ繊維；塑性収縮ひび割れを低減し、ひび割れ後靱性を改善	EN 14889
打設方法	GrooveLock / Camlock ポートからの下方加圧圧送；自由落下打込みなし	Hydrantula 施工手順
品質管理サンプリング	打設ごとに標準立方体／円柱供試体を採取；EN 12390 による材齢 28 日圧縮強度	EN 12390-3

具体的な配合設計は、現地のセメント供給源と環境暴露条件を踏まえ、有資格の構造または材料技術者が検証・調整すること。標準的なコンクリート供給と圧送設備は主要なすべての海岸建設市場で利用可能である。

3.2. 内部配筋

Hydrantula 構造物はガラス繊維強化ポリマー（GFRP）筋のみを使用する。いかなる Hydrantula 構成でも鉄筋は使用しない。

パラメータ	要件
材料	ガラス繊維強化ポリマー（GFRP）

パラメータ	要件
引張強さ（極限）	600 - 1000 MPa（等級による）
弾性率	40 - 55 GPa
密度	~2.0 g/cm ³ （鋼の約 25%）
耐食性	海洋および高塩化物環境で完全に耐食；電気化学的劣化なし
コンクリートかぶり要件	かぶり要件は防食ではなく、付着と耐火のみによって決まる
電気伝導性	非導電性；海水や隣接金属部材との電氣的相互作用なし
設置中の浮力影響	GFRP 配筋フレームはコンクリート充填前に浮力をもつ；沈設中は制御されたバラスト投入または段階的充填が必要
適用規格	ACI 440.1R (Guide for FRP rebar); fib Bulletin 40; CSA S806; CNR-DT 203

鉄筋は、陸上組立段階でフレーム封止前に管内へ挿入する。タイロッド — 海洋の動的荷重に抵抗するよう設計された GFRP 引張部材 — は Hydrantula 接続システムの標準として組み込まれ、繰返し波浪荷重下で追加の冗長性を提供する。

4. LMDPE 継手／ノード - ETILINAS LL3840UA

4.1. 材料識別

パラメータ	値
商品名	ETILINAS LL3840UA
製造者	PETRONAS Chemicals Group Berhad（PCGB）、マレーシア・クアラルンプール
材料種類	線状中密度ポリエチレン（LMDPE）
加工方法	回転成形（ロトモールド）
加工温度	200°C - 300°C（金型による）
供給形態	ペレット、25 kg 袋
品質システム	ISO 9001:2015（証明書番号 AR1560）

4.2. 主要特性

項目	値	単位	試験方法	備考
公称密度	938	kg/m ³	ASTM D 1505	
メルトフローレート（I2、190°C / 2.16 kg）	4.0	g/10 min	ASTM D 1238	

項目	値	単位	試験方法	備考
融点	124	°C	ISO 3146	-
結晶化点	111	°C	ISO 3146	-
降伏引張強さ	21	MPa	ASTM D 638	50 mm/min、Type IV
破断引張強さ	18	MPa	ASTM D 638	50 mm/min、Type IV
破断伸び	800	%	ASTM D 638	高延性
曲げ弾性率	800	MPa	ASTM D 790	-
シャルピー衝撃強さ	12	kJ/m ²	ISO 179 Type 1 Notch A	-
表面硬さ	60	Shore D	ASTM D 2240	@ 23°C
荷重たわみ温度	70	°C	ASTM D 648 Method B	-
ビカット軟化温度	120	°C	ASTM D 1525	1 kg, 50°C/hr
ESCR (耐環境応力亀裂性)	> 300	時間	ASTM D 1693	100% Igepal, Cond. B, F50
紫外線安定化評価	UV8	-	-	高い紫外線安定剤添加量

4.3. 規制適合 - ETILINAS LL3840UA

要件	状態
US FDA 21 CFR 177.1520 (食品接触)	適合
EU 委員会規則 No. 10/2011 (食品接触)	適合
REACH / RoHS / SVHC	適合
ハラール (HALAL) 認証	認証済み
ISO 9001:2015 品質マネジメント	認証済み (証明書番号 AR1560)

5. 海洋耐久性と環境性能

性能基準	HDPE PE100 管	LDPE 継手 (LL3840UA)
耐海水／塩化物性	優れる — 海水・塩化物に化学的に不活性	優れる — 海洋条件で非反応性
耐紫外線性	カーボンブラック安定化 (質量比 ≥ 2%、EN 12201)	UV8 評価 — 高い安定剤添加量
生物付着	無毒、可塑剤や殺生物剤を溶出しない	無毒、時間とともに人工魚礁として海洋定着を支える
耐氷／凍結融解性	優れる；-40°C 使用を想定して設計	良好；使用温度範囲が結氷条件を含む

性能基準	HDPE PE100 管	LMDPE 継手 (LL3840UA)
電気化学的腐食	なし — 誘電体材料	なし — 誘電体材料
耐摩耗性	良好 — 硬い外表面 (HDPE)	ショア D 60 — 海洋接触荷重に十分
設計耐用年数 (目標)	海洋環境で ≥ 60 年 (材料ベース)	≥ 25 年 (ロトモールド LMDPE ; 長期検証は継続中)

6. 適用規格一覧

規格	適用範囲
ISO 4427 / EN 12201	給水・圧力用途の PE 管 — 材料仕様と試験
ISO 9080	熱可塑性配管材料の長期静水圧強度 (MRS) の決定
DVS 2207-1	熱可塑性樹脂の溶接 — 管・継手の加熱工具バット溶接
DVS 2208-1	熱可塑性樹脂の溶接 — 加熱工具バット溶接の機械・装置
EN 206 / SS EN 206	コンクリートの仕様、性能、製造、適合性
EN 1992-1-1 / SS EN 1992	コンクリート構造物の設計 (ユーロコード 2) ; コンクリート核の設計に適用
EN 1997 / SS EN 1997	地盤設計 (ユーロコード 7) ; 海底支持力と洗掘評価に適用
ISO 9001:2015	品質マネジメントシステム — PETRONAS LL3840UA の供給に適用

HDPE PE100 の性能値は ISO 4427 / EN 12201 による標準最低仕様である。ETILINAS LL3840UA の値は PETRONAS Chemicals Group Berhad の製品データシート (2020 年 9 月改訂版) による。Hydrantula PTE LTD は、該当する製造者文書に記載のもの以外の材料特性について、独立した保証を一切行わない。

カーボンフットプリント評価

モジュール式海岸構造（HYDRANTULA）と従来の海岸ソリューションの比較

1 目的と技術的背景

本評価の目的は、Hydrantula 技術に基づくモジュール式海岸構造と、機能的に等価な 2 つの従来ソリューションについて、内包炭素とライフサイクルのカーボンフットプリントを定量化し比較することである：

1. 鋼製海岸構造フレーム
2. 鉄筋コンクリート水中支承構造

本評価は、シンガポールの典型的な海岸条件における海岸防護および耐荷重用途を想定して構成され、ライフサイクル性能、海洋環境での施工性、環境影響が主要な意思決定パラメータとなる MPA の海岸工学評価ロジックと整合する。

本計算は、明示的に次を支援する：

- 代替案の比較評価、
- 初期段階の工学的実現可能性、
- ESG・持続可能性スクリーニング。

2 機能単位と設計基準

2.1 機能単位

機能単位は次のように定義する：

同一の水動力荷重条件下で、海岸線 1 メートルあたりに等価な海岸防護および構造性能を提供し、最低保証耐用年数 60 年で設計された 1 つの構造区間。

この定義は、標準的な海岸工学の比較実務（PIANC WG 報告、CIRIA C683/CUR マニュアル）と整合し、各案は海岸線 1 メートルあたり、または等価な水理性能で正規化される。

2.2 設計波条件（参考）

正規化と比較可能性のため、次の設計波条件を参考包絡として採用する（プロジェクト固有の極値ではない）：

- 有義波高 H_s ：2.5 m
- ピーク波周期 T_p ：7-9 s
- 構造物趾部の水深：5-7 m
- 設計再現期間：50 年

これは、次に典型的な、保守的な遮蔽～半暴露の海岸条件に対応する：

- 埋立海岸線、
- 港湾外周、
- シンガポール水域の都市海岸防護工事。

重要な要件は機能的等価性であり、幾何学的な同一性ではない。

3 システム境界と方法論

3.1 ライフサイクル評価の境界

本評価は ISO 14040 / ISO 14044 の原則に従い、境界は次のとおりとする：

- A1-A3 — 原材料採取と材料製造（ゆりかごからゲートまで）
- B — 60 年間の運用・維持・補修（工学的推定）
- C — 使用済み段階の解体と材料処理（工学的推定）

本段階で明示的に除外する項目：

- 現場への輸送
- 設置作業

この除外は意図的かつ保守的である。海上設置は通常、従来ソリューションにより大きな負担を課すためである。これらの影響は、相対的な結論を変えることなく後で加えられる。

3.2 データ源と指標

すべての炭素原単位の値は次に基づく：

- 業界平均 EPD レンジ、
- ICE データベース v3.0、
- 世界鉄鋼協会データ、
- PlasticsEurope エコプロファイル、
- 鉄筋コンクリートの fib モデルコード参照。

専有または未検証のデータセットは使用していない。

4 構造構成と材料数量

4.1 Hydrantula モジュール構造（参考区間）

- コンクリート充填：7 m³
- HDPE/LLDPE 構造外殻：1.0 t
- 複合材配筋（GFRP）：0.25 t

コンクリート密度：2.2 t/m³

本区間は、従来ソリューションと等価な波浪荷重および土との相互作用に抵抗するために必要な剛性、質量、形状を提供する。

4.2 鋼製海岸構造

- 構造鋼質量：8.0 t

主要部材のみを含む。防食はライフサイクル調整で考慮する。

4.3 鉄筋コンクリート支承

- 支承 2 基、各 2 x 3 x 3 m
- コンクリート総体積：36 m³
- 鉄筋：120 kg/m³
- 鉄筋総質量：4.32 t

これは、海岸・港湾インフラで用いられる典型的な水中の重力式または半重力式支承を反映している。

5 炭素原単位（A1-A3）

材料	炭素原単位	出典
コンクリート（CEM I 相当）	0.30 t CO ₂ / m ³	ICE / fib
構造鋼	1.9 t CO ₂ / t	世界鉄鋼協会
HDPE / LLDPE	1.35 t CO ₂ / t	PlasticsEurope
GFRP 複合材	4.0 t CO ₂ / t	保守的な文献レンジ

注：複合材係数は、樹脂主体のケースを反映して意図的に保守的に設定している。実際の GFRP の値は通常これより低い。

6 内包炭素の計算（A1-A3）

6.1 Hydrantula

- コンクリート：7 x 0.30 = 2.10 t CO₂
- ポリマー外殻：1.0 x 1.35 = 1.35 t CO₂
- 複合材配筋：0.25 x 4.0 = 1.00 t CO₂

A1-A3 合計：4.45 t CO₂

6.2 鋼構造

- 鋼：8.0 x 1.9 = 15.2 t CO₂

6.3 鉄筋コンクリート支承

- コンクリート：36 x 0.30 = 10.8 t CO₂
- 配筋：4.32 x 1.9 = 8.21 t CO₂

A1-A3 合計：19.0 t
CO₂

7 ライフサイクル調整（60年耐用年数）

7.1 Hydrantula

工学的考察：

- 腐食機構なし
- 陰極防食なし
- 再塗装なし
- 解体不要のモジュール交換

推定調整：

- +10-15%

ライフサイクルフットプリント合計：~5.0 t
CO₂

7.2 鋼構造

工学的考察：

- 12-15 年ごとの再塗装
- 局所的な鋼材交換
- エネルギー集約的な解体

推定調整：

- +45-60%

ライフサイクルフットプリント合計：~22-24 t
CO₂

7.3 鉄筋コンクリート

工学的考察：

- ひび割れ注入と部分補修
- 補強の可能性
- 解体とコンクリート破砕

推定調整：

- +25-35%

ライフサイクルフットプリント合計：~2 4-26 t CO₂

8 海岸線 1 メートルあたりの正規化

同一の設計波条件下で海岸線 1 メートルあたりに正規化すると：

案	60 年間の CO ₂ (t/m)	相対指数
Hydrantula	~5	1.0
鋼	~23	~4.6
鉄筋コンクリート	~25	~5.0

この正規化は MPA の海岸案スクリーニングロジックと整合する。

9 浚渫・海上工事の削減

9.1 工学的根拠

従来の海岸構造物は通常、次を必要とする：

- 海底掘削、
- 整地と基礎準備、
- 仮設締切または捨石ベッド、
- 海上設備の長期常駐。

Hydrantula は次をもたらす：

- 基礎接地面の縮小、
- 分散的な荷重伝達、
- 波に対して透過的な形状、
- 多くの構成で深掘削や杭打設が不要。

9.2 炭素への影響

公表されたレンジ（PIANC / CIRIA）：

- 浚渫：工法により m³ あたり 約 5-15 kg CO₂
- 海上設備の運転：時間あたりの燃料強度が高い

典型的な削減ポテンシャル：

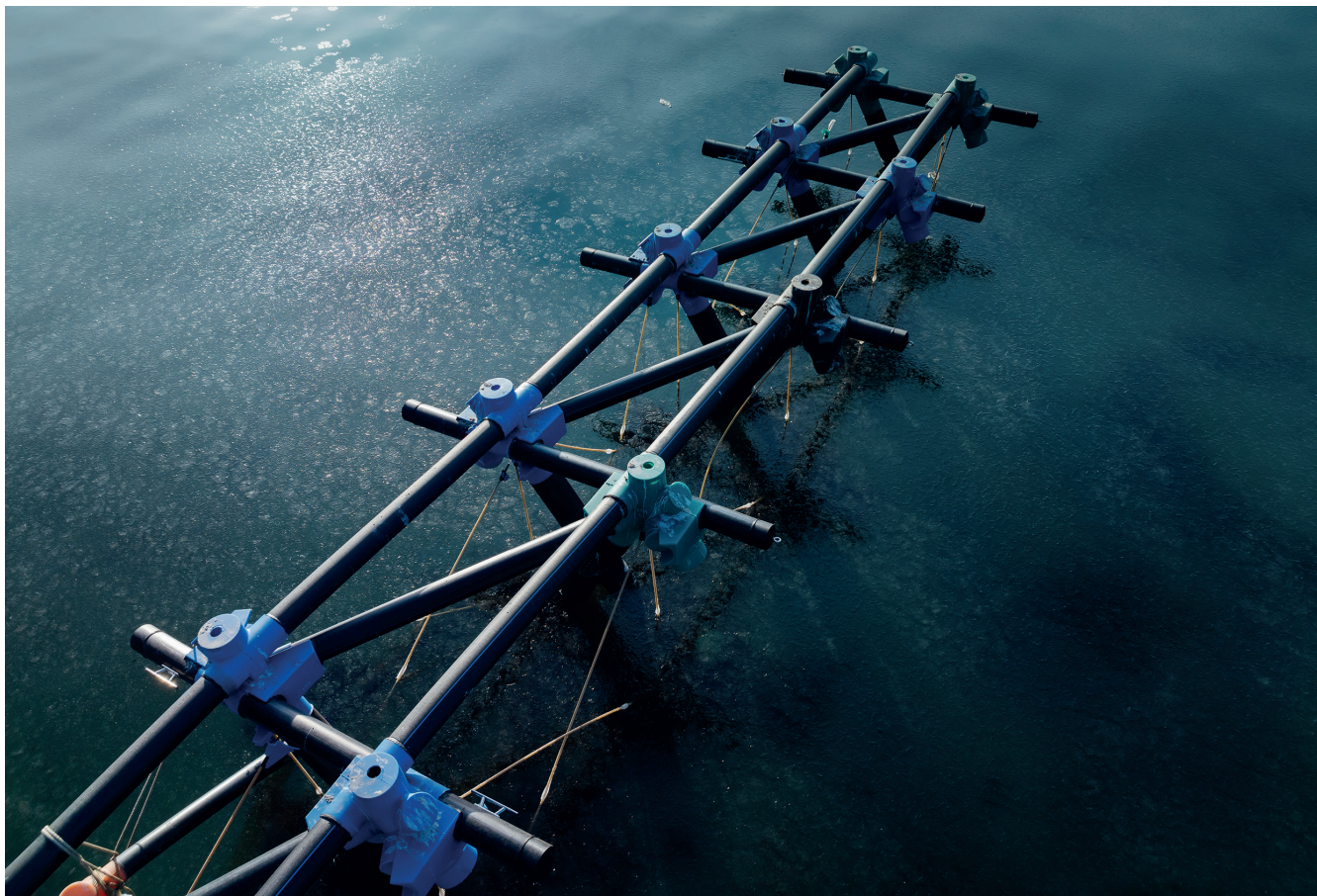
- 浚渫量を 30-60% 削減
- バージとクレーンの時間を大幅に削減

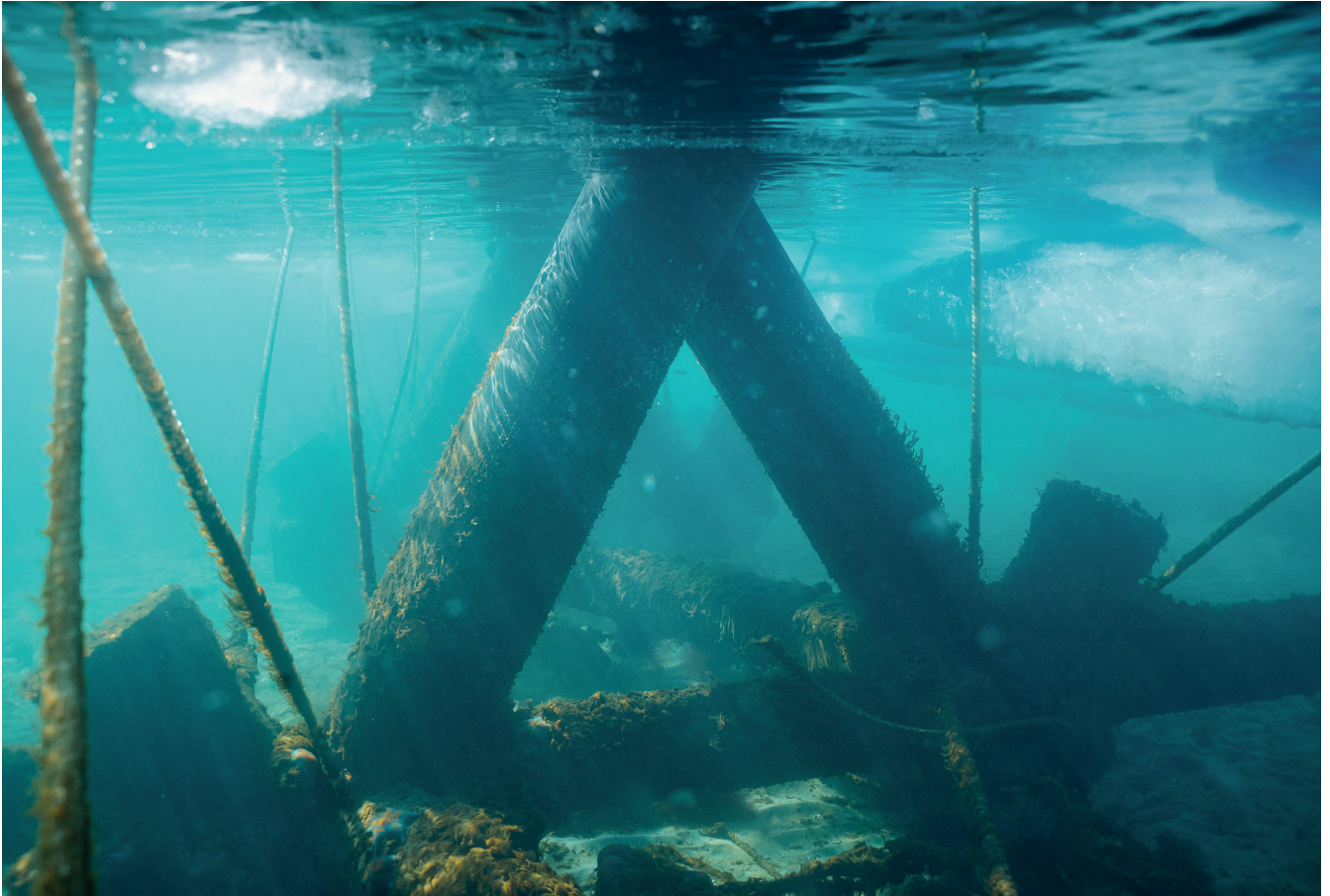
基準計算には含めていないが、これらの影響を計上すると、Hydrantula に有利な炭素差はさらに拡大する。

10 技術的結論

1. 保守的で科学に基づく仮定の下、Hydrantula は 60 年の設計寿命にわたり、従来の海岸ソリューションより 4-5 倍低いカーボンフットプリントを示す。
2. この優位性は次に起因する：
 - a) 材料効率、b) 腐食起因の維持管理の排除、c) モジュール性、d) 海上工事の削減。
3. 結論は感度分析に対して頑健であり、次の点でも成立する：
 - a) 代替セメント混合、b) 再生ポリマー、c) 地域の電源構成。
4. MPA の海岸工学の観点から、Hydrantula は次と整合する：
 - a) ライフサイクルに基づく資産評価、b) 海洋建設影響の低減、c) 長期的な持続可能性目標





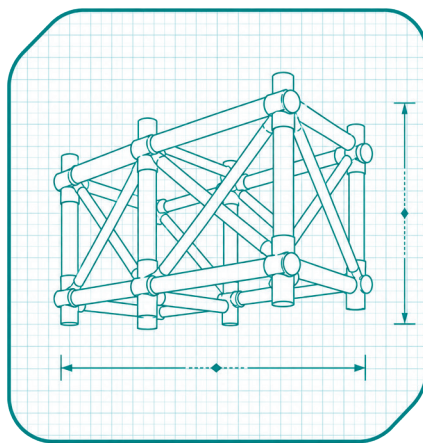












Web : hydrantula.sg LinkedIn : Hydrantula
メール : info@hydrantula.sg Facebook : Hydrantula
電話 : +65 91819114 (WhatsApp、Line、WeChat など)

HYDRANTULA 技術概要、2026