

PC マクラギの港湾構造物への再利用について

納見昭広*・白井博己**・柴田鋼三***

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 前 国土交通省 中部地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課長

循環型社会を構築するに当たって、建設産業も先進的にリサイクル推進に取り組むことが重要である。循環型社会の形成に向け、3R（リデュース、リユース、リサイクル）に率先した取り組みの一環として、PCマクラギ（リユース材）を港湾構造物及び海域環境創造等で建設資材として再使用するにあたっての技術的検討及び実用化に向けた方策について報告する。

キーワード：臨海道路 建設副産物 リサイクル マクラギ リサイクルシステム

1. はじめに

東海道新幹線は開通しておよそ 40 年が経過し、施設の老朽化のため、平成 19 年度より PC マクラギの取替えを行っている。発生した PC マクラギは、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」に基づき、分別解体および再資源化等を実施しているが、取替予定の PC マクラギは 160 万本にもなり、現姿での活用リユースが望まれている。

本文は、中部地方整備局の発注により、PC マクラギの港湾構造物等への材料としての活用の有効性を確認し、実用化に向けた方策を検討した結果である。

2. PC マクラギとは

2.1 マクラギの役割

マクラギは、レールを定められた間隔に固定すると共に、レールに加わる列車からの荷重を道床内に広く分散させ伝達する役目を持っている。

国鉄/JR の場合、マクラギの配置本数は線路の等級ごとに定められており、25m あたりに新幹線では 43 本、1 級線では 44 本、2 級線と 3 級線では 39 本、4 級線では 37 本となっている。

2.2 マクラギの種類

マクラギの種類を材質で分類すると、木マクラギ、鉄マクラギ、鉄筋コンクリートマクラギ、プレストレストコンクリートマクラギ (PC マクラギ)、合成マクラギ (ガ

ラス繊維強化プラスチック発泡マクラギ) などがある。また、使用する場所により、並マクラギ、橋マクラギ、継目マクラギ、分岐マクラギなどがあり、それぞれ厚みや幅、長さが異なる。

PC マクラギについては、日本では国鉄の鉄道技術研究所 (現鉄道総合技術研究所) で研究が始まり、1951 (昭和 26) 年に実用化された。なお、PC マクラギはプレテンション式※ マクラギとポストテンション式※ マクラギがあり、JR 東海では、6 : 4 の割合で採用されている。両者はマクラギの長さについて 50mm 程度の差があること以外は、大きな違いはない。



写真-1 奥：新幹線の PC マクラギ 手前：在来線のマクラギ

3. PC マクラギ活用における法的課題

3.1 活用の形態

現在、撤去後の PC マクラギは、「廃棄物の処理および清掃に関する法律 (廃棄物処理法)」「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律 (建設リサイクル法)」に基づいて、適切に運搬、保管、リサイクルされている。このリサイクルは、PC マクラギを破砕し骨材等を取り出して活用する形態であり、「再生利用」に相当する。

PC マクラギは強度や耐久性を有する資材であることから、粉砕せず現姿のまま活用できることが望ましく、港湾等においても現姿のままの活用が可能であるかの検討を行った。この利用形態は「再利用 (リユース)」である。

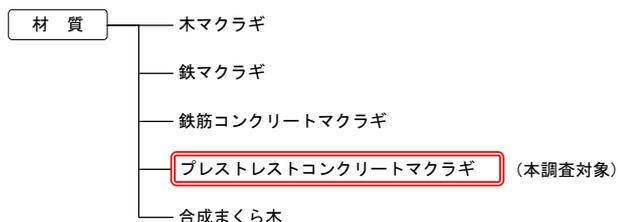


図-1 マクラギの種類

3.2 廃棄物処理法との関連

廃棄物処理法は「廃棄物」の取り扱いを規制する法律である。したがって、撤去したPCマクラギが「廃棄物」ではなく、有価物であると見なされる場合は、この法律の規制を受けない。一方、「廃棄物」とみなされる場合は、たとえば、次のような課題がある。

- ・運搬、保管等の取り扱いに廃棄物処理法の規制がかかる。
- ・護岸の裏込石や道路の路盤材などの利用形態は不法な埋立処分とみなされる可能性がある。

3.3 法や行政での「不要物」「有価物」のとらえ方

廃棄物処理法は「廃棄物」を次のように定義している。
 <廃棄物の定義>

ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であつて、固形状又は液状のもの（放射性物質及びこれによって汚染された物を除く。）をいう。一方、廃棄物処理法は、有価物の定義をしていない。上の廃棄物の定義から類推すれば、不要物でなければ、有価物と解釈できると考えられる。一方、不要物の定義も必ずしも明確なものではなく、次のような解釈例がある。

最高裁の判例における「不要物」の解釈例

「不要物」とは、自ら利用し又は他人に有償で譲渡することができないために事業者にとって不要となった物であり、これに該当するか否かは、その物の性状、排出の状況、通常の利用形態、取引価値の有無及び事業者の意思等を総合的に勘案して決するのが相当である。

4. 環境等への影響の検討

4.1 概要

線路から撤去したマクラギにはほこり等で汚れを生じているものがある。また、レールを取り付けるボルト孔部には油が付着している。ほこりや油の付着量は少量であるため、PCマクラギを陸上の道路等で活用する場合は、問題になることは少ないと考えられる。一方、海域では、付着油を対策無しで活用すると海水を汚染する可能性がある。油の除去としてはいろいろな洗浄方法がある。また、ボルト孔部分に栓をして、油を封じ込む方策も考えられる。このように、対策は各種考えられるが、ここでは、超高压ジェットによる方法で洗浄試験を実施し、洗浄手間や洗浄後のマクラギによる水環境への影響について検討した結果、マクラギの洗浄の有無にかかわらず、マクラギを浸潤させた浸潤水の表面に小さな油膜が確認されたが、別途ラボで実施した浸潤水の水質検査では、マクラギの洗浄の有無にかかわらず油分は測定限界以下であった。

5. 活用案の分類と検討ケースの選定

5.1 概要

PCマクラギの活用案について、抽出されたアイデアを取りまとめ、分類と概略評価を行った。次に、抽出案の中から、詳細な技術・コストを検討するケースを選定した。

5.2 概略評価

それぞれの活用案の特徴を把握するために次のような評価基準を設けて概略評価した。

- ・環境性：PCマクラギの油分・さび等の影響が課題となる案
- ・構造安定性：
 - 外力評価⇒活用の具体化で外力の設定が必要と考えられる案
 - 応力評価⇒活用に当り、マクラギの応力評価法の設定が必要な案
 - 材料強度⇒活用にあたり、マクラギの材料強度の確認が重要になる案
- ・施工性：
 - 作業改善⇒設置作業の工夫、改善、作業地具の考案などが課題になる案
 - 治具開発⇒治具開発に専門的な検討が必要な案
- ・その他：景観、乗り心地、消波機能などの評価が必要な案
- ・特許権：特許や実用新案が認定されている
- ・活用予測：活用機会⇒需要の機会の大きさを評価
 規模／回⇒使用本数の大小

5.3 活用案の分類

PCマクラギの活用の促進を目的とし、これまでに抽出した活用案を次のように分類した。

大区分：港湾構造物かそれ以外かの2種類に分類。

中区分：構造部材として使うかボリュームを補う資材として使うかの2種類に分類。

小区分：下記の6種類の工種に分類。

- ① 護岸、防波堤、土留め壁等
- ② 舗装工
- ③ 附属工（エプロンや敷地境界）
- ④ 消波工
- ⑤ 捨石工・裏込め工
- ⑥ その他

5.4 検討ケースの選定（選定における基本的考え方）

- 1) 大区分から港湾構造物に関連する案から選ぶ。ここでは、港湾構造物での活用をテーマとしているため、漁場施設としての活用案は対象から除外する。
- 2) 中区分の構造部材としての利用案から2案以上、資材としての利用案から2案以上を選ぶ。
- 3) 小区分の各工種の中から1案程度選ぶ。
 選定ケースは次の視点から見て、なるべく多くの視点に該当する案を選ぶこととする。
 - I. PCマクラギの保有性能である部材強度（硬さ）、形状（長さ、太さ、重さ）などをなるべくそのまま活かせること。

| 構造物の名称 | イメージ図 | マクラギ活用法案の考え方 | 技術的課題と対応策 | 環境面での配慮事項 | マクラギ活用 施工費(円/延) | 標準施工案の考え方 | 標準施工案 の施工費(円) | 工事費算定 の単位 |
|---------|-------|--|--|---|--|---|--------------------------------------|---------------------|
| 護岸工 | | ・打設したH形杭の杭間にマクラギを挿入し、横矢板の機能を期待して護岸を構築する案。 | ・マクラギの設置方法→補助鋼材を用いるなどの工夫が考えられる。 ・吸出し対策→裏込石と防砂シートによる対策がある。 | ・水産増養殖施設などから離れた地域なら、簡単な洗浄処理のみで対応可能である。 | 2,886,000 | ・自立式鋼矢板工法による護岸とした。 | 5,640,000 | 延長 10m |
| 段差防止工 | | ・地盤改良工法の違い等により、異なった沈下が発生する箇所にPCマクラギを敷設し、将来の沈下差による障害を軽減、防止する案。 | ・実施例がない→実証試験による効果の確認が必要となる。 | ・舗装の下部に埋設されるので、特にひどい汚れでない限り洗浄は不要である。 | 551,400 | ・段差防止工として地盤改良の工区の境界にH鋼または鉄板を敷き詰める工法とした。 | H鋼敷設 1,062,000 鉄板敷設 504,900 | 延長 10m 延長 10m |
| 車止め工 | | ・岸壁敷のエプロン部の車止めとして活用する案、単体で使用し、市販の車止めに準じた設置方法。 | ・車の衝突に対する安全性→車止めマニュアルに準じた設計とする。 ・係船索の損傷対策→コーナー部に丸みを作る。 | ・エプロン部での利用であるので、簡単な洗浄のみで対応可能。ただし、景観に配慮した色彩が望ましい。 | 176,000 | ・港湾における標準工法で設置する。 | 344,000 | 延長 10m |
| 障壁工 | | ・ソーラス条約で展開中の「障壁工(進入防止工)」のうち、車両進入防止工として活用する案。 | ・車の衝突時の構造物の安定性→衝突荷重を想定した強度にする。 | ・空港や港湾の陸上部の敷地境界での活用であり、簡単な洗浄のみで対応可能。ただし、景観に配慮した色彩が望ましい。 | 211,000 | ・障壁工を方塊ブロックで築造する。 | 309,000 | 延長 10m |
| 緑石工 | | ・道路歩車道境界部に岩間溝上に並べれば、PCマクラギの特性(本長)を活かして施工性を高めることが可能である。 ・施工時の据付性を優先した案とした。 | ・PCマクラギ形状特性(端:端部が広く、中央部が狭い。高さ:端部が高く、中央部が低い)から境界法線および天端高は「不揃い」を生じることになる。境界法線の出入りは、利用箇所に応じての再検討が必要である。 | ・一般道路歩車道境界部での活用であり、簡単な洗浄処理のみで対応可能である。 | 64,850 | ・歩車道境界ブロック(コンクリート二次製品)を設置する。 | 74,350 | 延長 10m |
| 侵入防止工 | | ・港湾、空港施設の外周部に設置するフェンスの補助工として活用する。 | ・PCマクラギの重量、長さを活かした利用方法である。1列配置で重量不足の場合は2列に、さらに設置幅を増やすことで対応可能である。 ・足場防止対策は内側に設置することで対応する。 | ・陸上部での利活用であり、簡単な洗浄処理のみで対応可能である。 | 10,000 | ・事後処理工法であるため、掘削が困難なAs舗装で表面処理する工法を選定した。 | 40,000 | 延長 10m |
| 洗掘防止工 | | ・人工リーフ、離岸堤、防波堤などの基礎地盤の洗掘防止のため、じゃ籠などを用いて複数本束ねた形状で活用する案。 | ・束ね方→じゃ籠を挿入する方法やワイヤーで束ねる方法などが考えられる。 ・束ね材の耐久性→海洋環境での長期耐久性確保は困難なので、それを踏まえた設計とする。 | ・水産増養殖施設などから離れた地域なら、簡単な洗浄処理のみで対応可能である。 | 1,570,000 | ・離岸堤などの法先部の洗掘防止対策として、捨石材をじゃ籠に納めて囲いつける。 | 2,220,000 | 面積100m ² |
| 捨石工・裏込工 | | ・護岸、岸壁、防波堤の基礎砕石の代替品として活用する案。 | ・裏込マクラギの土圧特性→常時の安定性は高い。しかし、地震時の土圧については研究が必要。 ・投入方法→海面からの直投なら比較的安いが、水中の仕上がり確保するためには、じゃ籠方式など設置方法の工夫が必要。 | ・水産増養殖施設などから離れた地域なら、簡単な洗浄処理のみで対応可能である。 | じゃ籠方式 1,800,000 底間パーズ方式 290,000 | ・通常の捨石の施工法による。 | 350,000 | 体積100m ³ |

*マクラギ活用法案の施工費には、マクラギの材料費、洗浄費、輸送費は含まない。

表-1 技術性および施工性検討のまとめ

- II. 多頻度・多量に使われる可能性が高いこと。
 - III. 活用事例としてわかりやすく、検討が容易なもの。
 - IV. 技術課題に対し、専門的・長期的な検討が必要ないこと。
 - V. 他の案と類似性があり、検討結果を他の案にも活用できること。
- ここでは、選定した活用候補案について、個別案件毎に技術、施工上の課題について詳細に検討を行った。

図-2に検討フロー図を示す。ただし、コスト評価においては、PCマクラギ活用法案ではPCマクラギの「材料費」は含まないこととした。

6. リサイクルシステムの検討

6.1 経済性の検討

(1) 検討条件

PCマクラギ活用の実現のためには、次の要件が満たされる必要がある。

- 1) PCマクラギの活用により工事のコストが従来工法より安くなること。
- 2) PCマクラギ排出者の負担コストが従来の粉砕処分より安くなること。
- 3) 受入れ、洗浄、保管、搬出等のリサイクルシステムが成り立つこと。

このため、PCマクラギの供給コストの要因分析を行い、活用の経済性について評価を行った。

(図-3 活用事業の成立性検討フロー参照)

使用済みマクラギは平成21~24年では、年間20,000本程度発生すると予想されるが、このうち中部地区に近い静岡~栗東地区で発生する10,000本の活用を中心に検討を行った。また、活用ニーズがこれより少ない場合のことを想定して、2,500本、5,000本のケース、およびPCマクラギの発生数、需要数が増加した場合を想定し、年間20,000本の活用のケースについても検討を行った。

(2) リサイクルセンター候補地の設定

コスト要因に大きな影響を与える運搬費の分析のため、

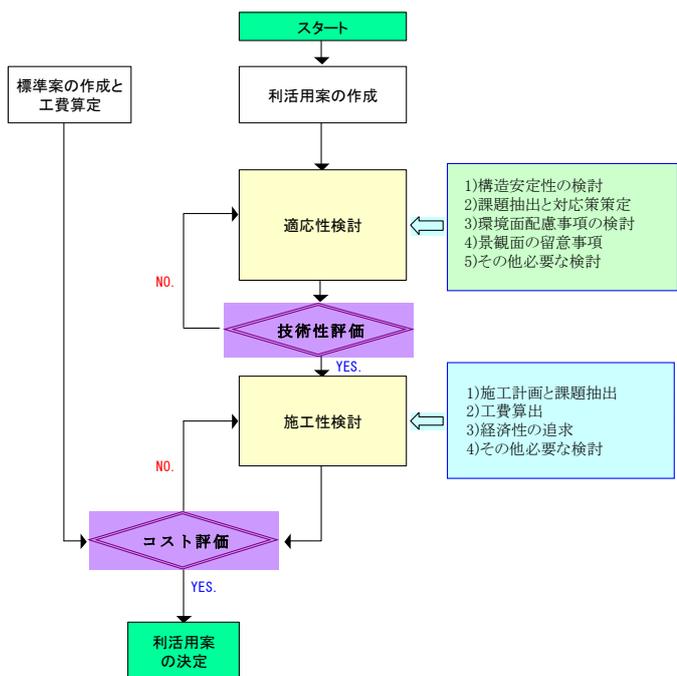


図-2 コスト削減効果の検討フロー図

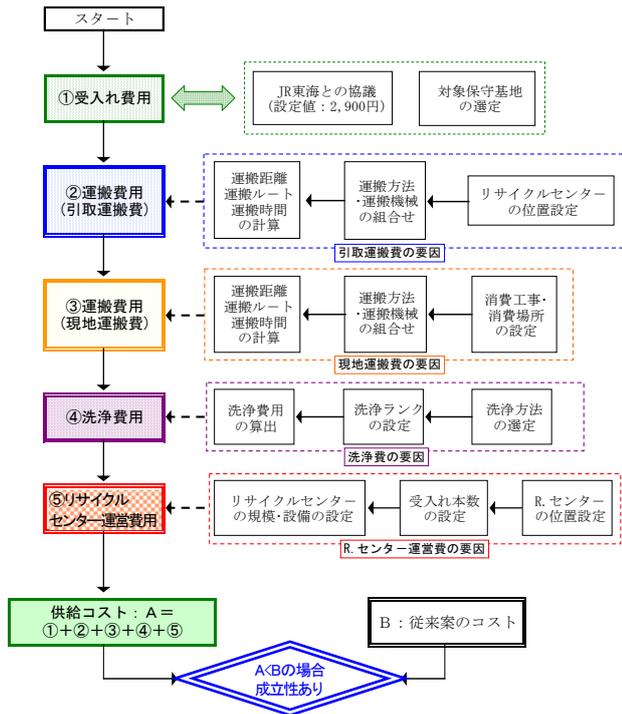


図-3 利活用事業の成立性検討フロー

リサイクルセンターの位置をマクラギ引取及び活用現場までの運搬が容易である理由により、三河港神野地区、四日市港霞ヶ浦地区の2箇所を検討対象として設定した。

(3) 撤去マクラギの受入れ費用

撤去マクラギの受入れ費用(排出者がリサイクルセンターへ支払うコスト)は、現在の粉砕処分の費用を考慮し、2,900円/本と設定した。

(4) 引取運搬費、現地運搬費

引取運搬費は発生基地からリサイクルセンターまでの運搬費のことであり、リサイクルセンターから近い発生場所を優先した。現地運搬費はリサイクルセンターから活用現場までの運搬費のことであり、引取運搬費、現地運搬費は、運搬方法、積込み、荷卸し、運搬ルートなどを検討した。

(5) 洗浄費用

PCマクラギの洗浄試験を踏まえて、洗浄の方法やサイクルタイム、洗浄のグレードなどを検討し、洗浄費を推定した。陸上設備や裏込材として活用する場合は高圧水でざっと洗う程度の洗浄(ランク1)が良い。一方、水産養殖場が近接する水域で活用する場合は、油分を十分に除去するために超高圧水の洗浄(ランク2)が求められると考えられる。コスト検討の結果、ランク1の洗浄では700円/本、ランク2の洗浄では1,550円/本となった。今回検討した活用工事ではランク1の洗浄が良いと考えられるので、洗浄費700円/本として経済性の検討を行った。

(6) リサイクルセンター運営コスト

リサイクルセンターはPCマクラギを受入れ、洗浄などの製品化を行い、保管し、需要に応じて港湾整備主体や建設業者に提供する組織体として想定した。リサイクルセンターが具備すべき要件(保管スペース、荷卸し、積込み、洗浄などに必要なスペース、管理事務所、洗浄水処理施設など)やストック本数を勘案してレイアウト案を作成し、運営コストを算定した。レイアウト案はストック本数1,200本のA案とストック本数2,400本のB案の2ケースを検討した。レイアウトA案は年間取扱本数が2,500本と5,000本の場合に、レイアウトB案は年間取扱本数が10,000本と20,000本の場合に適用する。検討の結果、マクラギ1本当りの運営コストは、表-3のような結果となった。

表-3 運営コストの検討結果

| 年間取扱本数 (本/年) | 年間運営コスト (円/年) | ⑤マクラギ1本当りの 運営コスト(円/本) |
|-----------------|------------------|--------------------------|
| 2,500 | A案(ストック本数1,200) | 4,700 |
| 5,000 | 1,176万円 | 2,350 |
| 10,000 | B案(ストック本数2,400) | 1,370 |
| 20,000 | 1,373万円 | 690 |

6.2 PCマクラギ活用事業の成立性

- ①撤去マクラギ受入れ費用 -2,900円/本
 - ②引取運搬費(発生場所~リサイクルセンター) 1,490 "
 - ③現地運搬費(リサイクルセンター~使用現場) 1,240 "
 - ④洗浄費 700 "
 - ⑤リサイクルセンター運営コスト 1,370 "
- 小計(=材料費)1,900円/本

受入本数が10,000本/年とした場合の経済性の概算結果を下記に示す。

表-4 経済性の概算結果(受入本数10,000本/年)

| 工種 | コスト 計算単位 | 従来工法 材料費込みの 施工費 | マクラギ活用案 | | | コスト差 (従来案-活用案) (円) | |
|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------------------|-------------|
| | | | マクラギ活 用本数(本) | 施工費 (材料費-0) | 材料費 | | 材料費 +施工費 |
| 護岸工 | 延長10m | 5,640,000 | 28.0 | 2,886,000 | 53,200 | 2,939,200 | 2,700,800 |
| 段差防止工 | 延長10m | 1,062,000 | 41.6 | 551,400 | 79,040 | 630,440 | 431,560 |
| 車止め工 | 延長10m | 344,000 | 4.2 | 176,000 | 7,980 | 183,980 | 160,020 |
| 障壁工 | 延長10m | 309,000 | 50.0 | 211,000 | 95,000 | 306,000 | 3,000 |
| 縁石工 | 延長10m | 74,400 | 4.2 | 64,900 | 7,980 | 72,880 | 1,520 |
| 侵入防止工 | 延長10m | 40,000 | 4.2 | 10,000 | 7,980 | 17,980 | 22,020 |
| 洗掘防止工 | 面積100m ² | 2,220,000 | 555.0 | 1,570,000 | 1,054,500 | 2,624,500 | -404,500 |
| 捨石工 | 体積100m ³ | 350,000 | 400.0 | 290,000 | 760,000 | 1,050,000 | -700,000 |

7. 今後の課題

本調査を通じて一定の需要があれば港湾分野においてPCマクラギを有効活用できる可能性があることが判明した。今後は、需給量が確保できる活用可能な工事を調査し、各工事における状況を考慮のうえ、経済性を再検討し、実績を重ねることが重要である。