

# 鉄鋼建材分野で取り組む環境負荷低減

## Eco-friendly Steel Products for the Construction Industry

川 人 健 二<sup>\* (1)</sup>  
Kenji KAWAHITO

木 下 雅 敬<sup>\* (2)</sup>  
Masanori KINOSHITA

### 抄 録

建設分野は、国内鋼材需要の半分を占める鉄鋼業最大のユーザーである。環境性能が建設分野においても将来必須になると考え、鉄鋼建材を介して建設分野の環境負荷低減に寄与する取り組みを紹介した。

### Abstract

The construction industry is the largest user for the Japanese steel industry. In this paper, the environmental performance will be needed in the construction industry in the near future, the industry's considerations on eco-friendly steel products for the construction industry are outlined.

## 1. 緒 言

鉄は、価格の安さ、強さ、加工性、信頼性、供給安定性および長年の実績から、国内で供給される素材の約50%、金属系材料の約90%を占める。また、豊富な資源とリサイクル性に優れ、生態系に不可欠な元素の一つであるという安全性から、直接人間が触れる場面も含めた多様な分野で利用されている。その中で、建設分野は、国内鋼材需要の半分(年間約3千万トン)を占める鉄鋼業最大のユーザーであり、鉄鋼建材を介して建設分野の環境負荷低減に寄与できるものと考えている。一方、EU諸国は排出権取引やROHS指令に代表されるように、環境立国に向け大きく舵を取っており、環境性能が電子機器や自動車の商品価値を左右する流れが、建設分野にも将来波及することを想定しておく必要がある。

そこで本報では、このような背景を踏まえ、鉄鋼建材から取り組む環境負荷低減策について、新日本製鐵の取り組み及び筆者らが委員及び幹事として参加している(社)日本鉄鋼連盟を含む社外での活動を含めて報告する。

## 2. 建設分野で利用される鉄鋼建材の環境負荷低減策の考え方<sup>1)</sup>

生産材である鉄は、製造に加え、加工から施工、維持、修繕、解体、回収といったライフサイクルの多様な局面で環境負荷低減に関与することができる。ライフサイクルの視点に立った環境負荷低減には、以下の二つの視点がある。

第一は、鉄の材料特性が、直接環境負荷低減に関わる点である。例えば乗用車は、使用時の環境負荷が、全ライフサイクル負荷の8割以上を占めるため、高強度鋼板の使用が、車体の軽量化、燃費向上をもたらし、全ライフ負荷を大きく低減する。第二は、鉄鋼製品

がフロー型商品かストック型商品かによって、環境負荷低減策が違って来る点にある。フロー型商品では、スチール缶のように、多くの材料をできるだけ低い環境負荷でリサイクルする点が鍵となる。一方、橋梁、高層ビル等の社会インフラストラクチャはストック型商品の代表であり、投入材料負荷の低減に加え、長寿命化、維持管理負荷の低減、周囲の環境保全といった“次の世代に負の遺産を引き継がない”視点が重要となる。この点から、以下の区分で環境負荷低減策を検討する。

- (1) 建設分野は、循環資源材である鉄を大量に使用すること
- (2) 鋼構造物は構造躯体として使用されるため、材料負荷の比率が大きいこと
- (3) 数十年から百年を超える長期間の供用を前提とすること
- (4) 建設時および供用時に周囲への環境影響が大きいこと

### 2.1 循環資源材である鉄からの視点

循環型社会における鉄の最大の特長は、鉄は回収、再生利用の社会システムが既に整備されており、循環資源材としての環境負荷低減効果を有している点にある。図1に日本の鉄鋼循環<sup>2)</sup>を示す。我が国では年間約1億トンの鉄が生産され、役目を終えた鉄は数週間から数百年間の蓄積を経て、最終的にはほぼ全量が戻ってくる。更に、これまでの鉄鋼生産と輸出入及び鉄屑発生量から計算すると、日本国内には約12億トンの鉄が蓄積されていると推計されている。

一方、鉄屑は回収の段階で様々な不純物を混入するが、銅(Cu)、錫(Sn)等は精錬では除去されにくく、一度混入すると鉄循環の中で濃縮しながら回り続ける循環性元素(トランプエレメント)と呼ばれ、混入量が多いと溶接部の高温割れ等の品質劣化を引き起こす。自動車や電子機器の小型モーター、配線からの混入は増加傾向にあり、電炉メーカーは製品毎に不純物に対する管理値を独自に定めて製品を作り込んでいる。建設分野は、鉄屑を原料とした普通鋼電炉

<sup>\* (1)</sup> 建材開発技術部 マネジャー  
東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-7740

<sup>\* (2)</sup> 建材開発技術部 部長

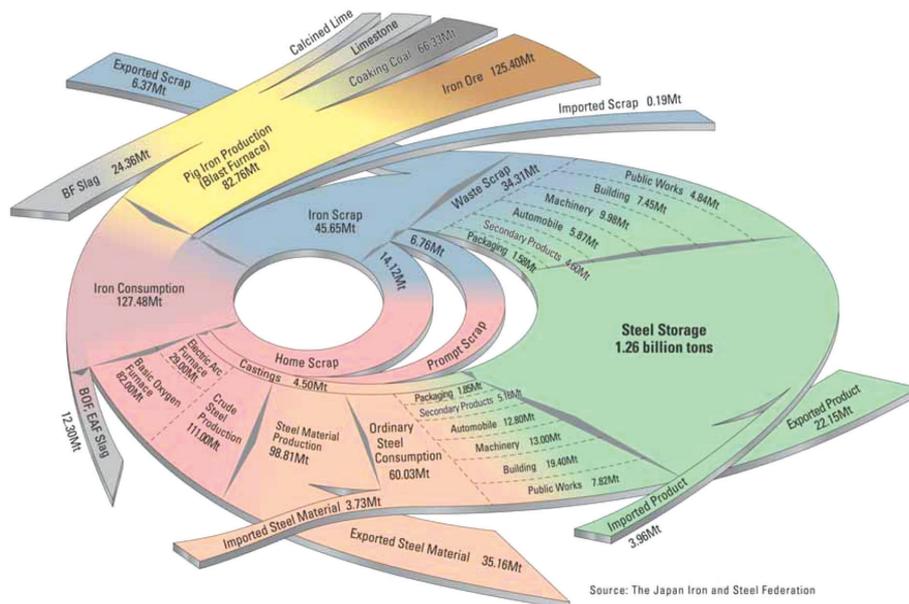


図1 日本の鉄鋼循環図(2003年度)<sup>2)</sup>  
Iron and steel recycling loop in Japan (Fy 2003)<sup>2)</sup>

鋼の60%を消費するカスケード利用先であると共に、社会蓄積の主要な部分を占める都市鉱山の役割も果たしている。

このように鉄が循環資源材として存在し得る理由は、自動車、建設等の用途に応じて、鉄鉱石を主体とする製造と鉄屑を主体とする製造が、互いに機能を補完し合って効率的な循環システムを形成している点にある。この点から、鉄が今後とも循環資源材であり続けるためには、不純物を安価に除去する製鋼技術の開発はもとより、循環系全体で不純物をコントロールしていくことが重要である。建設分野であれば建築鉄骨のSN規格のように、微量含有物質を適切に規制し品質を確保することで、安心して利用できる社会システムを構築することが重要であると考えられる。

2.2 材料負荷からの視点

社会インフラストラクチャの中で鋼構造の役目は構造躯体が主であり、そのため鋼材使用量は設計段階で決定される。後述する橋梁の場合、LCCO<sub>2</sub>の6割を資材が占め、資材の9割を鉄とセメントが占めることから、設計段階で鉄とセメントの投入量を低減(Reduce)する視点が重要である。高強度、高剛性、高耐食性等の鉄素材性能の高度化で使用量を削減する事例として、高張力線材を使用した吊橋(明石大橋)での橋梁主塔、基礎構造のコンパクト化、広幅鋼矢板、鋼製連壁、高耐力継手鋼管矢板等の高剛性部材の使用による鋼重削減、耐候性鋼使用による更新回数の削減がある。

次に使用する鋼材については、製造時の環境負荷が少ない鋼材から優先して調達していくことが地球規模で環境負荷低減に寄与する。日本鉄鋼業は第一次石油危機以来、約20%の省エネルギーを達成し、その後2010年に向けた自主行動計画を進め、図2に示すように世界最少エネルギーで鉄鋼を生産している<sup>3)</sup>。また環境保全に関しても、日本は図3に示すように19,584件という世界第一位のISO 14001(環境マネジメントシステム)認証取得数を有するが、その中で鉄鋼業のほぼ全事業所の94社、事業所がISO 14001を取得している。

一方、認証取得数第二位の中国にあつては、2003年3月現在で290社の鉄鋼メーカー(旧国営企業等の条件がつくもの)が存在する

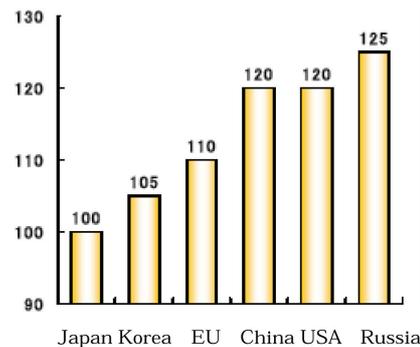


図2 一貫製鉄所のエネルギー原単位比較<sup>3)</sup>

Comparison of specific energy consumption among major steelmaking nations (indexes with Japan set at 100)<sup>3)</sup>

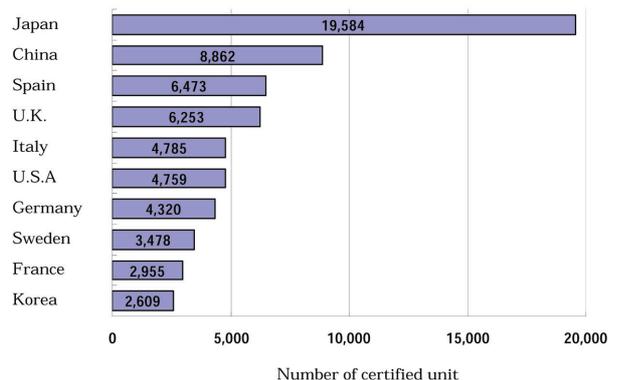


図3 各国のISO 14001取得状況(2004年)  
Number of certified unit of ISO 14001 in major countries

が、ISO 14001の記載が確認できたのは、10社(唐山鋼鉄、鞍山鋼鉄、大原鋼鉄、南京鋼鉄、天津、湖南等)<sup>4)</sup>のみであった。この比較からも、日本で生産される鋼材は、世界最少のエネルギーで、かつトータルな環境管理が徹底されたプロセスで生産されていると考えられ、国内鋼材を優先的に調達することは、地球規模で環境負荷低

減に貢献していると考えられる。

第三に、社会インフラストラクチャの特長として、半永久的に地中に残置される鋼材が存在する事がある。ここで残置とは、廃止トンネルのアンカーのようにトンネル崩落を防止している構造物や、撤去費用から埋め殺された鋼管杭等が当る。残置鋼材は、周辺環境に悪影響を及ぼさなければ、廃棄物ではなく将来活用できる有価物(都市鉱山)と考えることができる。調査の結果、国内の土木構造物に投入された鋼材の社会蓄積率(=社会蓄積量/投入量)は40%<sup>5)</sup>と推定され、計画段階から残置しなくて済む設計が進めば材料低減に繋がる。後述するNSエコパイル<sup>®</sup>は、逆回転することで杭を撤去可能であるため、愛知万国博覧会の建築基礎等で撤去を前提に使用されたり、仮設杭等での実績も増えている。

### 2.3 長期間供用することからの視点

社会インフラストラクチャは、数十年から百年を超える長期間の供用を前提とするストック型商品である。少ない維持補修負荷で、寿命が100年の橋を200年に延ばすことができれば、建設に要した環境負荷は1年当たり半分になる。例えば、ステンレス鋼やチタンクラッド鋼板、耐候性鋼のように耐食性の向上した鋼材を使用すれば、初期コストは上がっても塗料の塗り替えや部材の更新等の維持補修負荷が低減するため、ライフサイクル全体で環境負荷は確実に低減する。また、鋼材の持つ加工性を活かして水密性の高い嵌合部を持つセグメントを製造し、トンネル内部の漏水量を削減することで、排水エネルギーの低減を図った例もある。

橋梁分野では、維持管理が容易で数倍の寿命を持つミニマムメンテナンス橋の研究が進められている。ミニマムメンテナンス橋は、維持管理費を最小限に押さえるために、原因が明らかである耐久性喪失要因に対して技術的、経済的に可能な対策を施した工学的永久橋であるが、合成床版や耐候性鋼材等の鋼材の持つ特性を活かせる技術領域が多い。

### 2.4 周囲環境の保全からの視点

社会インフラストラクチャは開発規模が大きく、一度建設されると長期間その場所に存在するので、建設及び供用段階での環境保全を考慮することが重要である。

建設段階では、工事に係わる環境保全法令の遵守は当然として、近年では総合評価方式入札制度の導入の中で、社会的要請面からの環境保全が求められている。また、産業廃棄物の2割、最終処分量の4割を占める建設廃棄物への対応として2000年“建設リサイクル法”が施工されている。更に同年グリーン購入法が施行され公共工事に関してもグリーン購入が始まり、国土交通省は公共工事を通して建設廃棄物の問題を業界内で直接かつ自律的に解決することを基本方針に、特定調達品目に廃棄物の削減、リサイクルに関連する項目を多く選定している。新日本製鐵では、形状を工夫した特殊な杭形状で施工時に建設発生土や建設汚泥の発生量が少ない低排土鋼管杭を商品化しており、3製品が低排土鋼管杭としてエコマークを取得している。

供用段階においては、構造物の周辺環境を悪化させず、加えて環境を創出していく機能を持つ事が重要である。町並み情緒や里山の景観を保全するため、欧州ではランドスケープ・デザインが盛んで、国内でも脚光を浴び始めている。新日本製鐵は、鋼矢板に土留壁という単一機能だけでなく、予め鋼矢板に透水孔を設けることで、地下水循環を維持する透水性鋼矢板(写真1)を商品化している。また砂防ダムでは洪水時のみ巨礫、流木を補足し、常時は河川



写真1 透水性鋼矢板  
Water-permeable steel sheet pile



写真2 スリットダムA型  
Slit dam A type (permeable-type steel dams)

を分断せず、流水や砂礫を流下させ、河床低下や海浜後退を抑制すると共に動植物の移動を妨げない鋼製スリットダムA型(写真2)を商品化しており、共にエコマークを取得している。

### 2.5 小 括

社会インフラストラクチャに使用される鋼構造は、循環資源材である鉄の特性を維持しつつ、ストック型商品の特長を活かした環境配慮型商品の開発が重要である。またこの視点をライフサイクル環境負荷の評価項目とすることで、より客観的な評価となるものと考えられる。

## 3. 環境ラベル

### 3.1 エコマーク認定を取得した理由

鋼材を通して建設分野の環境負荷を低減する視点については第2章でその考え方を述べたが、利用者に環境負荷低減の考え方や効果を正確に伝え、理解してもらい、正しく使用してもらって初めてその製品を通じて環境負荷の低減が図られる。環境ラベルとは、消費者が環境にかかる負担の少ない製品やサービスを選択する時、消費者が判断し易いように環境情報を表示する手段であり、国際標準化機構(ISO 14024)では、ラベルの性質から3タイプに分類している。その中には、認証の必要がない自己宣言の“タイプII環境ラベル”も存在するが、エコマークは製品のライフサイクル全体で環境負荷が少ない商品を第三者機関が認証する日本で唯一の“タイプI環境ラベル”に当り、環境省の指導のもと(財)日本環境協会が1989年に認定事業を開始し、2007年3月末で、47種類の商品類型で、5239商品が認定されている。

新日本製鐵がエコマークを取得した理由は、大規模な開発を伴う社会インフラストラクチャの場合、多様な主体の価値観があるため、タイプⅡの自己主張はそぐわないと考え、ハードルは高いが、第三者機関の認証による中立公平な評価を優先した点にある。

### 3.2 土木用製品のエコマーク認定基準

土木用製品のエコマークは、2005年1月に認定基準が制定され、建設分野においても環境ラベルが一つの判断基準となって商品が選定される時代に入りました。認定の基準は、製品本来の土木機能を満了した上で、環境に関して、

- ① 工場が立地している地域の環境関連法規を過去5年間違反していないこと
- ② 使用している木材、プラスチック、ガラスカレット、繊維に関し、材料の基準を満足すること
- ③ 個別製品毎に定めた基準に適合していることを証明することが条件となっている。

### 3.3 新日本製鐵が取得したエコマーク認定商品

新日本製鐵は、土木用製品のエコマーク認定基準が制定されると同時に、鉄鋼製品で業界初となるエコマークを2005年3月に取得した。エコマークの認定取得には、新日本製鐵の企業活動における環境法規および公害防止協定の遵守、鉄鋼製造段階における廃棄物発生量、新規資源投入量、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量への配慮が審査された上で、個別商品が持つ施工時や供用時の環境負荷低減効果が認定基準を満足していると審査され、6製品が認定された。認定商品は、写真3に示すエコマークを表示することができる。今後、国が実施するグリーン購入法における特定調達品目との連動や自治体が発する工事においてエコマーク商品の採用が進むと予測されており、認定商品の販売伸長や企業イメージアップを期待している。

#### (1) 低排土鋼管杭

建設分野における廃棄物の発生抑制は主要な課題であり、中でも建設汚泥は再利用率が低く、発生削減が求められている。一般的な杭基礎工法では、杭体と同体積以上の建設汚泥が発生するため、排土が少ない杭工法の適用が拡大すれば建設汚泥の削減に寄与できる。また最近では建設工事において汚染土壌に遭遇する事も多く、土壌を排出しない工法が求められている。そこで、エコマークでは、“低振動、低騒音の施工に適合する鋼管杭で、杭体築造段階における地上への排土体積が杭体体積の30%以下の杭”を低排土鋼管杭として認定しており、新日本製鐵の①TN工法向け鋼管杭(認定番号：第04131008号)、②ガンテツパイル®(認定番号：第04131009号)③NSエコパイル®(認定番号：第04131010号)の3製品がエコマークを取得している。なお、①②については機構上、排土量が施工地盤によって変動するので、事前に確認することが望ましい。



写真3 エコマーク  
Eco mark



写真4 NSエコパイル®  
NS ECO-Pile® (less soil excavation steel pipe pile)

この中で、NSエコパイル®(写真4)は、杭先端部に螺旋状の羽根を設けた開端鋼管杭(先端羽根付杭)に、回転力を付与することにより地盤に貫入させる回転圧入鋼管杭であるが、杭打設時に、先端羽根開口部から鋼管内へ入り込んだ土が杭の貫入力で圧密されるため(言い換えれば、体積が小さくなり)、羽根上方及び杭側方に圧密された土体積と同程度の中空体積が鋼頭管内に発生する。このため、NSエコパイル®は無排土である以上に、その中空部に場内発生土を入れる事も可能で、マイナス排土という特出した杭工法である。

ガンテツパイル®は、掘削土にセメントミルクを混合したソイルセメントと鋼管杭の外表面に突起を付けた外面突起付き鋼管杭が一体となった合成杭であるが、掘削土を杭構造体の一部として有効活用することで、排土を低減している。なお、ガンテツパイル工法の詳細については、参考文献®を参照されたい。

#### (2) 透水性鋼矢板(認定番号：第04131011号)

鋼矢板の打設は、地下水循環を妨げる危険性があるが、あらかじめ透水孔を設けた鋼矢板を使用することで耐震性、耐洗掘性、耐久性など、護岸に求められる構造的機能を損なうことなく、地下水流循環を可能とし、生態系を保全する鋼矢板(写真1)である。

#### (3) 鋼矢板セグメントダム(認定番号：第04131012号)

堰堤施工で発生する土砂、礫は、通常他の工事に転用されたり廃棄物として処分されるが、鋼矢板を上下流面の壁材として使用し壁材間をタイロッドなどで接続して堰堤とし、その内部空間に堰堤体積の70%以上の現地発生土を有効利用することで、廃棄物の低減を図る。

#### (4) 鋼製スリットダムA型(認定番号：第04131013号)

堰堤は、閉め切りにより土砂や動植物の移動を阻害する危険性があるが、A型をした大きなスリット構造とすることで、洪水時のみ巨礫、流木を補足し、常時は河川を分断せず、流水や砂礫を流下させ、河床低下や海浜後退を抑制するとともに、動植物の移動を妨げない堰堤となる(写真2)。なお、本商品は日鐵住金建材(株)に商品を移管したため、新日本製鐵としてエコマークの認定を受けていたのは2007年3月までである。

### 3.4 小 括

エコマークの認定基準の解説では、鋼材は回収、再利用の社会システムが整備され、循環物質としての環境負荷低減効果を既に有しており、また特筆すべき化学物質の含有による有害性も見出せないと報告されている。このため、土木用鉄鋼建材のエコマークは、鋼材が利用される段階での製品の持つ機能によって発現する施工時の環境負荷低減や、周囲の環境保全、環境創出といった社会インフラ

ストラクチャとしての環境性能を評価した点が重要であると考えている。

#### 4. 土木構造物におけるLCCO<sub>2</sub>評価

LCAの適用にあたっては、LCA日本フォーラムが、その用途と限界を理解した上で活用するようガイドライン<sup>7)</sup>を示している。二酸化炭素の排出量は一側面での評価でしかなく、各種排出原単位やリサイクル評価方法等も研究途上にあり、絶対値での評価は難しい。特に比較する場合は注意を要する。そこで、本章では、鋼構造のポジションを確認するという意味から、杭基礎を含めた橋梁構造物を対象に、第2章で示した鉄鋼建材からの環境負荷低減策の考え方を盛り込み、現在公開されているデータと手法を複数用いて相対的な傾向を読み取るケーススタディーを実施した。なお、本検討は、(社)日本鉄鋼連盟土木専門委員会の場において内部検討したものである。

##### 4.1 比較対象構造物と検討ケース

土木学会地球環境委員会がとりまとめた“土木建設業における環境負荷評価(LCA)研究小委員会平成8年度調査研究報告書”<sup>8)</sup>の中の“2-6. 橋梁上部工”で検討されている上部工に、新たに合理化術を追加した3構造に、場所打ち杭、PHC杭、回転圧入鋼管杭の杭基礎3ケースを組み合わせた9ケースの橋梁構造を対象として、100年の供用期間を想定したライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(LCCO<sub>2</sub>)を比較した。CO<sub>2</sub>排出原単位には、鋼材原単位の考え方が異なる下記の3ケースを用いる。検討ケース総括を表1に、橋梁概略図を図4に示す。各種データは、特に断らない限り土木学会報告書の値を採用した。

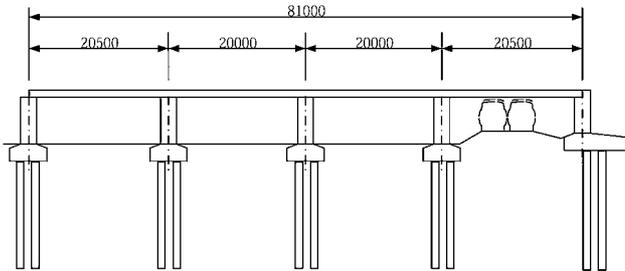


図4 比較対象の橋梁概略図(PC4径間連結プレテンT桁橋)  
Outline of sample bridge (PC pre-tension T-girder bridge)

#### 4.2 鋼材のCO<sub>2</sub>排出原単位

##### (1) 工業会原単位<sup>9)</sup>

これは旧通商産業省の支援の下、共通で使用できるデータベースの作成や静脈系の評価手法の確立を目的に、日本鉄鋼連盟を含む22工業会が参加した“LCAプロジェクト”が、2003年3月に公開した原単位である。積み上げ法により算出されており、現時点で信頼性の高い公的原単位となっている。なお、本データの使用に当たっては、利用者が個別に使用許可を得てデータにアクセスする必要があるため、また検討目的に合わせてデータを整える必要があるため、該当する工業会にデータ内容を問い合わせることが望ましい。

##### (2) 土木学会原単位<sup>10)</sup>

鉄は鉄に戻るクローズド・ループ・プロセスを形成しており、図5にそのプロセスを単純化して示す。土木学会原単位は、クローズド・ループ内に製法毎に分けた境界を設定し、高炉材は酸化鉄を還元する時に発生する二酸化炭素を含んだ図5のAの範囲内で、電炉

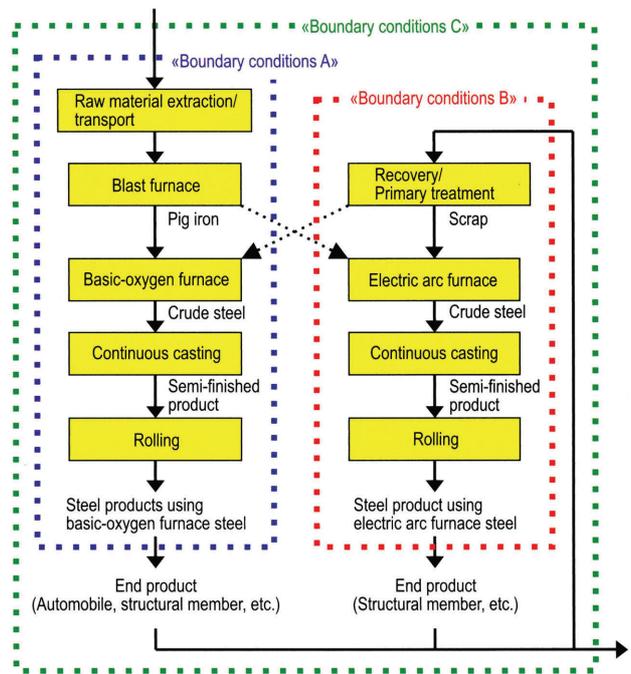


図5 鉄のクローズド・ループ・プロセス  
System flow in the closed loop recycling of steel products

表1 検討ケース総括  
Comparison type of trial calculation

Bridge Type 3Cases	Foundation Type 3Cases	Unit CO <sub>2</sub> emission(Steel) 3Cases
Conventional Steel plate girder bridge ・ L=3@27m=81m ・ 1 abutment ,3piers ・ Paint (once per 15years)	Cast in place concrete ・ Construction sludge ・ After service life, remnant in grand	JSCE ・ 2 types unit as BOF and EF ・ Recycle credit is calculated
PC pre-tension T-girder bridge ・ L=2@20m+2@20.5m=81m ・ 1 abutment ,4piers ・ No maintenance	SC+PHC pile ・ Construction sludge ・ After service life, remnant in grand	LCA Project ・ 10types unit for steel products ・ Recycle credit is calculated
Minimized girder bridge ・ L=3@27m=81m ・ 1 abutment ,3piers ・ Weathering Steel (No maintenance)	Screwing-in steel pipe piling ・ No soil excavation ・ After service life, steel pipes are drawn	MSR Method ・ 1type unit ・ Recycle credit is not calculated

材はスクラップの環境負荷をゼロで持ち込んだ 図5のBの範囲内で、それぞれ発生する二酸化炭素量を物質量で除して算出し、高炉材411kg-C/t、電炉材128kg-C/tという値を提示している。

(3) 循環系で捉えた原単位 (MSR法)<sup>11)</sup>

リサイクル材料の原単位は、まだ研究段階にあるが、循環系全体で評価する場合、図5の系全体の境界Cを設定し、系全体で発生する総二酸化炭素量を総物質量で除した原単位を考慮することができる。単純化するため、高炉材が利用された後、一定の回収率 $\gamma$ で回収され、電炉材としてn回リサイクルされた鋼材の環境負荷は、式(1)で表され、図6のように計算される。

$$[\text{ライフサイクル全体での原単位}] = (A+B \sum \gamma^n) / (1+\sum \gamma^n) \quad (1)$$

本方法は、MSR (Multi Step Recycling) 法と呼ばれ、近年脚光を浴びている考え方であり、鋼材がリサイクルされ続けることによって、高炉材、電炉材の区別なく、鋼材全体のライフサイクル環境負荷が一定の値に収束するとの見方に基づくものである。例えば $\gamma = 0.91$ 、 $n = 3$ と仮定した場合のCO<sub>2</sub>排出原単位は、231.4kg-C/tとなり、環境負荷低減のためには、回収率とリサイクル回数を上げることが重要であることが分かる。使用した鋼材のCO<sub>2</sub>排出原単位を表2に示す。

4.3 鋼構造物のライフサイクル

(1) ライフサイクルフェーズとリサイクル代替<sup>12)</sup>

材料(鋼材、セメント)の製造段階から輸送、建設、維持修繕、解体、回収を経て再生資材化、最終処分、残置まで考えたライフサイ

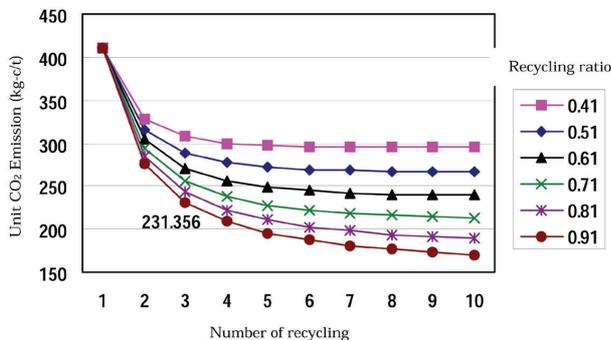


図6 MSR法によるCO<sub>2</sub>排出原単位の評価例<sup>11)</sup>

Assessment example of the unit CO<sub>2</sub> emission calculated by MSR method<sup>11)</sup>

表2 鋼材のCO<sub>2</sub>排出原単位  
The unit CO<sub>2</sub> emission of steel products

Type	Steel products	Unit CO <sub>2</sub> emission (kg-C/t)
Japan Society of Civil Engineers <sup>10)</sup>	BF	411.0
	EF steel bars and sections	128.0
LCA Project <sup>9)</sup>	Sections	182.2
	Plate	376.4
	Bars	117.5
	Pipe	405.0
	Hot rolled coil	359.7
	Cold rolled coil	390.6
	Hot metal	242.0
MSR Method <sup>11)</sup>	Steel products all	231.4

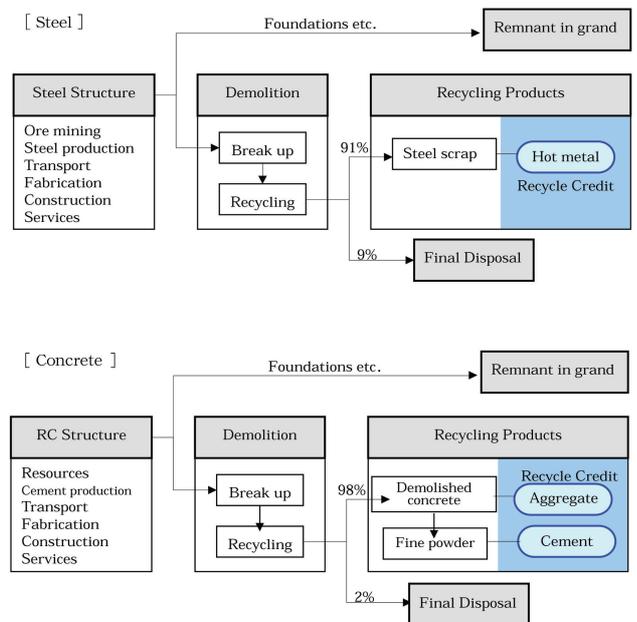


図7 ライフサイクルフローとリサイクル代替  
Life-cycle flow and recycle credit

クルを考える。また、役目を終えた構造物Aが再生材として回収され、構造物Bで使用されれば、再生材は構造物Bのために新たに生産する材料を代替し、材料の新規生産に係わる負荷を削減するので、リサイクル代替の考え方を組み込むことが望ましい。この削減分をAとBどちらにどのような比率で帰属させるかについては様々な考え方があるので、本報では全て構造物Aに帰属させるケースと、全て構造物Bに帰属させる2ケースを想定する。コンクリートの再資源化は、最新技術レベルを設定し高品質再生骨材回収(加熱すりもみ法)まで盛り込んだ。鋼材とコンクリートのライフサイクルフローとリサイクル代替を図7に示す。

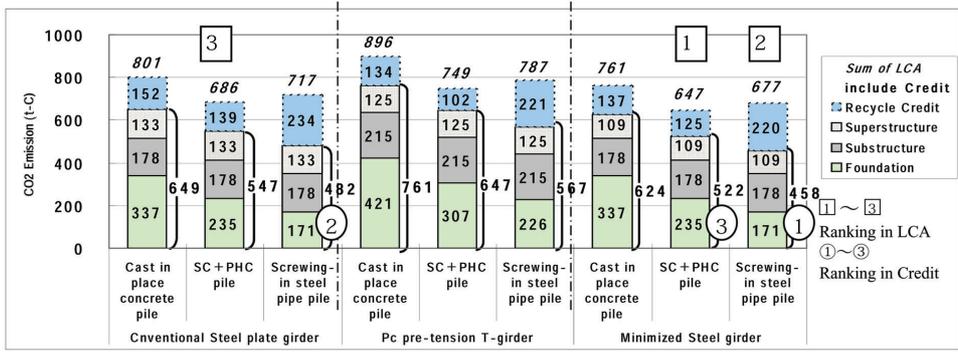
(2) 輸送、建設、維持補修、解体回収<sup>13)</sup>

輸送距離は、土木学会報告書以外に、廃コンクリート塊についてはコンクリート工学年次論文集を参照した。鉄スクラップは、現場からスクラップ工場まで35km、スクラップ工場から電炉工場まで400kmを想定し、復路のトラック運転を含む往復で設定した。建設重機の運転負荷は、土木学会報告書の値を、杭打ち工等は、日本鋼構造協会報告書等を参照した。表層軟弱地盤を想定し、杭長38m、杭打設時の排土は全量汚泥とし、最終処分されるものとした。回転圧入鋼管杭は、無排土とした。床版と道路舗装の維持修繕については、各案とも同程度の環境負荷と置き割愛した。鋼材に耐候性鋼材を使用する場合は維持修繕を不要とし、使用しない場合は15年に1回の防食塗装を計上した。解体対象量は、建設資材投入量から仮設物量と残置物量を差し引いたものとし、解体重機は、鋼構造は建設と同じ、コンクリートは大型ブレイカー及びバックホーとした。回転圧入鋼管杭は回収され、場所打ち杭とPHC杭は残置とした。

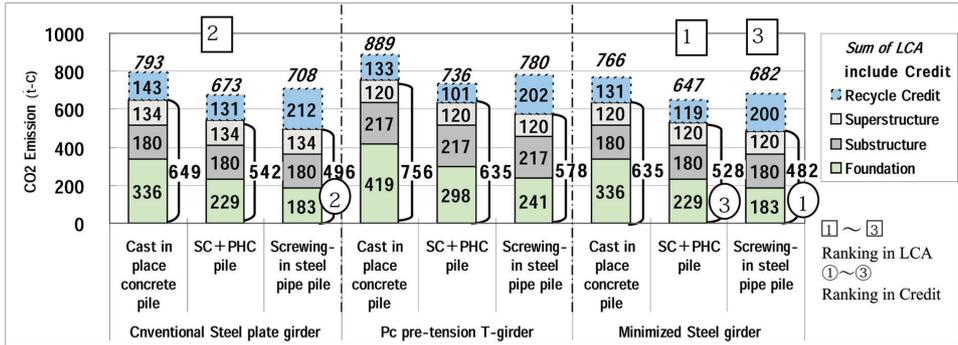
4.4 LCCO<sub>2</sub> 試算結果、考察

図8に原単位別の計算結果を、図9に工業会データを使用した場合の総排出量に占める構造区分比率とフェーズ比率を示す。試算結果の要旨を以下に示す。

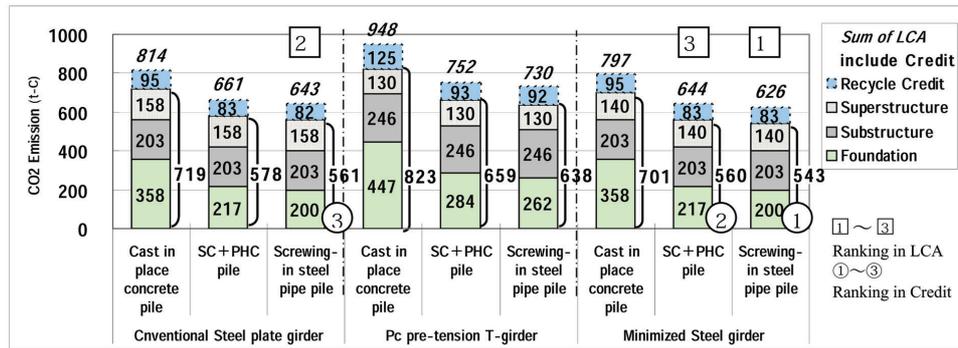
- ① 最小のCO<sub>2</sub>排出量となった構造は“合理化桁+回転圧入鋼管杭”であり、最も大きい“PCプレテンT桁+場所打ち杭”の60%~66%と3割以上の負荷削減構造となっている。



(a) 土木学会原単位使用の場合  
(a) The case of the Japanese Society of Civil Engineers

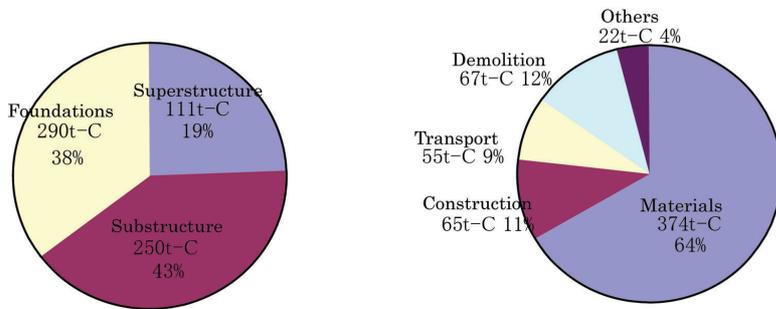


(b) 工業会データ使用の場合  
(b) The case of LCA Project



(c) MSR法原単位使用の場合  
(c) The case of MSR Method

図8 CO<sub>2</sub>排出原量の試算結果  
Results of calculation of CO<sub>2</sub> emission



(a) 工事区分別

The Case of Structure Unit

(b) フェーズ別

The Case of Life-cycle Stages

図9 総排出量に占める排出比率(合理化桁十回転圧入鋼管杭, 工業会データ使用時)  
Composition of CO<sub>2</sub> emission (minimized girder bridge+NS ECO-Pile, the case of LCA project)

- ② 上・下部工については、合理化桁<鋼板桁<PCプレテンT桁の順でCO<sub>2</sub>排出量が小さい。PCプレテンT桁は、スパン長が短く橋脚数が多くなり、下部工、基礎工の負荷が大きくなるためである。
- ③ 杭基礎については、回転圧入鋼管杭<SC+PHC杭<場所打ち杭の順にCO<sub>2</sub>排出量が大い。場所打ち杭は、資材投入量が多く、残土も多く発生するためである。
- ④ 構造区別では、下部工(43%)と杭基礎(38%)で8割を占め、上部工は19%と以外に低く、従来は上部工のみの議論が多かったが、下部工、基礎工を含めた検討が必要である。
- ⑤ フェーズ別では、原料、部材が約65%を占め、建設、輸送で約20%と建設段階までで全体の約85%を占める。また、残りの約15%の大部分は解体、回収が占める。
- ⑥ 原単位の違いによる差異は、最大11%(鋼板+回転圧入鋼管杭)であり、鋼板では概ね土木学会原単位が工業会原単位を上回り、合理化桁では逆の傾向を示すことから、使用する原単位によって必ずしも高くまたは低く算定される訳ではない。
- ⑦ ライフサイクル代替を控除すると、高炉材の使用比率が高く、回転圧入鋼管杭のように回収できる基礎を使用する構造が有利となる。

#### 4.5 小 括

原単位の違いやライフサイクル代替控除の有無を含め、橋梁の上下部工に基礎工を加えたLCCO<sub>2</sub>試算を実施した。原単位の違いにより絶対値の差があるものの、構造別の相対的な順位傾向に大きな変動はなく、“合理化桁+回転圧入鋼管杭”といったスレンダーな鋼構造が“PCプレテンT桁+場所打ち杭”といった重量構造物に比べ、CO<sub>2</sub>排出量が小さいポジションにあることが検証された。

### 5. 鋼製鉛直遮水工の開発

#### 5.1 新たな環境規制と市場動向

廃棄物を原因とする問題が多様化、社会問題化しており、国は2000年を“循環型社会元年”と位置付け、以下に示す新たな環境規制と対策が講じられている。

- ①最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令の一部改正(1998年6月)

内地地の最終処分場は、浸出水漏洩疑念を発端に隣住民の不安と迷惑施設のイメージが強く、整備が困難な状況が続いている。改正基準法によって遮水工を主体に構造基準、維持管理基準の強化を図り、既設処分場の適正閉鎖、再生、延命化を進めている。

- ②管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル(2000年11月)

陸上処分場の建設が困難な中、従来から浚渫土砂や建設発生土が埋立材として活用されてきた港湾において、遮水工を含めた技術的要件を強化した廃棄物海面処分場の建設が進められている。

- ③土壌汚染対策法(2003年2月)

工場の移転、閉鎖等で顕在化する土壌汚染の増加を背景に、汚染により人の健康被害が生じる恐れがある場合には、必要な措置を講じることが定められた。

- ④特定産業廃棄物に起因する支障の除去等に関する特別措置法(2003年6月)

大規模な産業廃棄物不法投棄は、原状回復までに長時間で多大な費用を要し、原因者に負担能力がないことが多く、放置すれば周辺環境を悪化させ経済的損失も増加することから、2014年までの10年

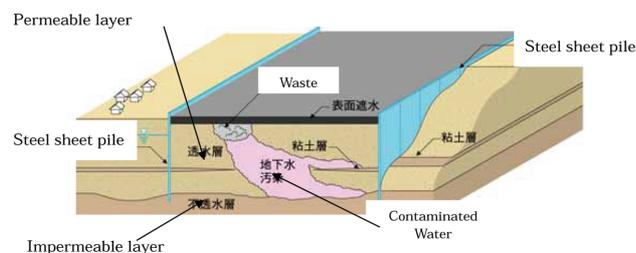


図10 原位置封じ込め  
In-situ enclosure

間で国庫補助による支障の除去を進めることとなった。

以上の対策で共通する対策として、汚染物を遮水工で囲い込み、汚染水の拡散を防止する“原位置封じ込め”(図10)という措置が定められている。遮水工の技術的要件は、“厚さ50cm以上で透水係数が $1 \times 10^{-6}$ cm/s以下である連続壁が不透水性地層まで設けられていること”という管理型処分場の基準をベースに、使用される自然条件や汚染物質に応じた特殊性を考慮する必要がある、これらの技術要件に適合した鋼製鉛直遮水工の商品開発を行った。

#### 5.2 商品メニューと特徴

鋼製矢板の遮水工は、鋼材自体は不透水であるため、他の矢板との接続部分(嵌合継手)からの漏水を防止する措置が必要である。継手の遮水構造に加え、継手処理の施工性、信頼性、土留壁としての剛性、更にフェールセーフ機能への技術発展性を含め、ユーザー要求に応じた的確な構造が選択できるよう、新日本製鐵では表3に示す商品メニューを整えている。

以下にて紹介する鋼製矢板、鋼管矢板、NS-BOXを用いた遮水工は、(独)港湾空港技術研究所<sup>14)</sup>、鋼管杭協会らとの共同研究を実施し、実海域(呉港)において2003年から約2年間にわたる実証実験の結果、厳しい自然環境にさらされる実海域においても基準省令を十分に満足する遮水性能を有しており、施工性等の観点からも実用に供する工法であることが確認されているものである。性能評価の一例として、鋼管矢板(フルアスジョイント®)の1年経過後の遮水性能と約125mmの変形付与後の遮水性能を図11に示す。1年経過後も、また変位を与えた後も、換算透水係数(ke)に大きな変化はなく、 $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7}$ cm/sの遮水性能を保っている。これらの遮水工は採用実績も積み重ねつつあり、施工ノウハウ等も蓄積することで、より信頼性のある工法として確立されてきている。

#### (1) 鋼製矢板

現在製造されている熱間圧延鋼製矢板には、U形鋼製矢板、直線形鋼製矢板、ハット形鋼製矢板がある。U形鋼製矢板は堅牢で繰り返し使用に

表3 新日本製鐵の鋼製鉛直遮水工  
The series of steel hydraulic barriers made by Nippon Steel Corp.

Method	Steel liner sheet	Steel sheet pile	Steel sheet pipe pile	NS-BOX
Good point	・Economy ・High speed construction	・Popular	・Popular ・High rigidity ・Seawall	・High rigidity ・2barriers ・Seawall
Shape				
Joint Filler	Mortar Asphalt	Water swelling filler	Mortar Asphalt	Asphalt Impermeable filler materials
Installation Depth	30m	30m	60m	35m

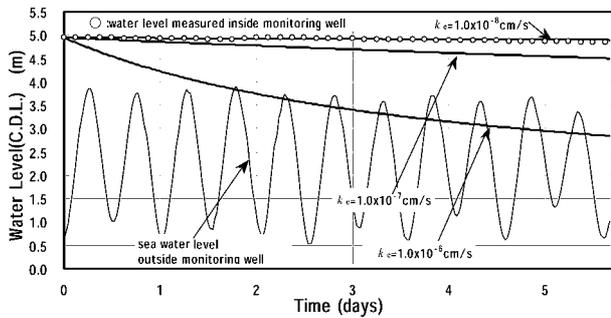
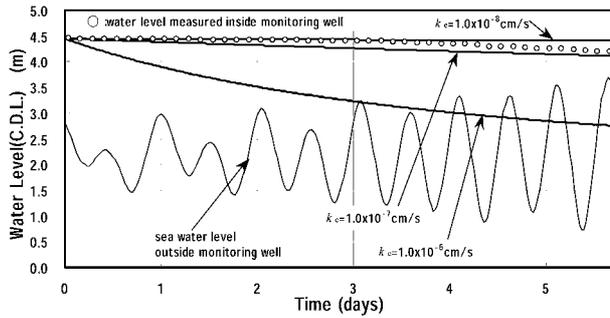
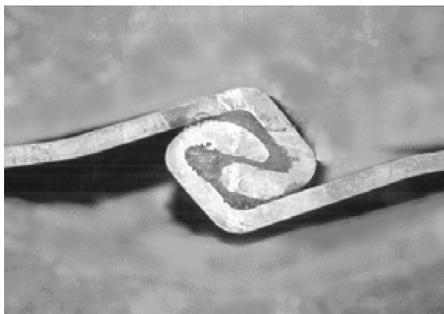
(a) 1年経過後  
One year after(b) 変形付実験後  
after the deformation

図11 アスファルト充填継手鋼管矢板遮水工の透水係数

The cutoff performance of steel sheet pipe pile joint filled with asphalt compound

も適し、継手の位置が中立軸上にあるのが特徴で、現在はラルゼン形の継手形状が用いられており、有効幅は400～600mmである。直線形鋼管矢板は、継手部の嵌合引張強度が高く鋼管矢板セル工法の外殻材として利用される他、形鋼や厚板と組み合わせて壁体としても用いられる。ハット形鋼管矢板は本設構造物用として開発され、有効幅が900mmと大きい。いずれの鋼管矢板の継手も打設性を確保するためあそびが必要で、その透水性は嵌合状態や土砂の目詰まり等により大きく変化する。

廃棄物処分場の鉛直遮水工など、永久構造物で遮水性を期待する場合、この継手の遮水方法は、耐久性に優れたポリウレタン樹脂からなる吸水膨張性の止水材を鋼管矢板の打込み前に継手部に塗布し、数時間から1日程度養生し硬化させた後、鋼管矢板を嵌合打設する。止水材は水中にて吸水膨張するため、継手の空隙が膨張した止水材により埋められることにより継手の遮水性を確保するものである(写真5)。吸水膨張性の止水材を継手に塗布した事例は1985年頃から実績は多く、2001年の神戸沖埋立処分場等で大量に採用されている。

写真5 膨潤性遮水材を塗布した鋼管矢板継手部  
Steel sheet pile joint with water swelling filler material

## (2) 鋼管矢板

鋼管矢板の継手は、JIS A 5530でL-T型、P-P型、P-T型での3種類に区分されている。継手部の遮水性能を高める方法としては、継手部にモルタルを注入して遮水処理を施す場合が多いが、その際モルタルジャケットを使用した構造は、廃棄物処分場向けを対象とした場合遮水性能面で不十分である。そこで、以下のようなタイプの継手の遮水性能を向上させた継手を開発している。

### ①漏洩防止ゴム板付鋼管矢板

この構造は、P-T型継手を有する鋼管矢板の遮水性を高める方法として、T継手に板状のクロロプレングムを装着したものをP継手内に嵌合させ、モルタルを充填させたものである。グラウトジャケットが有していた外力により鋼管矢板が変形を生じた場合の遮水性低下問題に対し、クロロプレングムの延性とパイプ継手との密着性により解決を図っている。本構造は、写真6に示すように、通常のP-T継手のCT鋼にあらかじめ溶接止めしておいたボルトで、漏洩防止ゴムを固定する構造である。また、漏洩防止ゴムと継手との境界面が漏水経路とならないように、その境界面に水膨潤性ゴムを配置することで、その遮水性を高める構造となっている。2004年より建設が開始された徳島県栗津港最終処分場の建設では、鋼製鉛直遮水工として鋼管矢板と鋼管矢板の二重壁が採用されており、鋼管矢板の継手に本継手が大量採用されている。

### ②フルアスジョイント®<sup>15)</sup>

この継手は、P-T型継手を有する鋼管矢板のP継手にあらかじめ工場において特殊アスファルト材料を充填しておくものである。鋼管矢板の場合、大水深で施工深度が深い場合に用いられることが多いにもかかわらず、打設後に継手の土砂洗浄等の後処理を大深度まで施さなければならず、その品質確保が困難なケースも指摘されている。アスファルトは不透水性の材料ではあるが、施工後に鋼管矢板継手のような狭い空間に海上から充填するには適さない。そこで、鋼管矢板の雌継手(スリット付鋼管等)に予め特殊なアスファルトを充填した遮水継手を開発した。写真7に嵌合状態におけるフルアスジョイント®の写真を示す。あらかじめ工場にて特殊アスファルトが充填された鋼管矢板にT継手を振動工法により嵌合打設した後の状態であり、アスファルトにT継手が突き刺さった状態となっている。本工法には以下の特徴がある。

- 1) 不透水性のアスファルト混合物を用いており、またアスファルトの長期的な流動性により、すきまが生じて自己充填することによって、施工後の長期的な遮水性能を保持する優れた遮水性能が期待できる。
- 2) 振動、衝撃により貫入しやすくなる性質を利用してパイプロハンマや打撃により容易に嵌合でき、また継手土中部の土の排除、洗

写真6 漏洩防止ゴム板付き継手  
Steel sheet pipe pile joint with leakage prevention rubber sheet



写真7 フルアスジョイント®  
Steel sheet pipe pile joint filled with asphalt compound

浄、モルタル充填作業が不要なため、施工信頼性が高い。

3) 鋼管矢板の機能を保持したまま、遮水性能の向上が図れるので、鋼管矢板本来の特性を十分に発揮した構造物の設計、施工ができる。

### (3) NS-BOX

NS-BOXは、直線形鋼矢板と厚板または角形鋼管を用いて加工製作される箱型鋼矢板で、遮水工に用いられる形状は、図12に示すH形矢板(BHタイプ)と箱形矢板(BXタイプ)に分類される。それぞれ、鋼矢板の嵌合継手が2箇所あり、継手閉合部に不透水性材料(土質系材料またはアスファルトマスチック等)を充填することにより遮水性を高めることが可能で、さらに継手部に吸水膨張性止水材を塗布することで、より高品位な遮水工を築造できる。2005年には新居浜港の埋め立て護岸において、幅1mのNS-BOXに不透水性材料としてアスファルトマスチックを用いた遮水工が建設されている(写真8)。

### (4) 遮水パネル<sup>16)</sup>

土壤汚染対策等では、遮水工に大きな断面性能を必要としない場

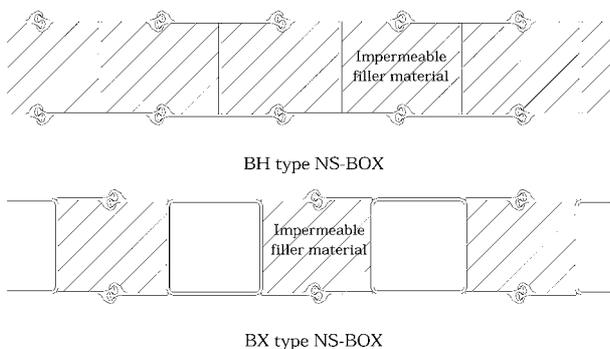


図12 NS-BOXによる遮水工  
Steel hydraulic barriers using NS-BOX



写真8 NS-BOX(新居浜海面処分場)  
Steel hydraulic barriers using NS-BOX

合が多い。そこで、図13に示す両端に継手を有する幅2mを超える薄鋼板を、打設時には高剛性の打設フレームと一体化して打設し、打設後に打設フレームを引き抜き、地中に薄肉の遮水パネルを残置して遮水工を築造する遮水パネル工法を商品化しており、次の特徴がある。

- 1) 2.4mまでの広幅化(現存する継手式遮水壁で最大)で、継手漏水リスクを低減する。
- 2) 打設フレームは引き抜くことで何度も繰り返し利用(リユース)し、残置された遮水壁は6mmの薄肉化で鋼材の重量削減(リデュース)を図る。
- 3) 特殊シールP-T継手構造により、継手注入材を事前に充填するため継手信頼性が高い。
- 4) 打設フレーム引抜き部分にセメントミルクを注入することで、鋼板をセメントで被覆し、直接浸出水と接触することを防止し、鋼材の耐久性向上が図れる。
- 5) ソイルセメント壁中に打設する場合は、自沈施工が可能である。

遮水パネルは、2004年3月に千葉県八千代市最終処分場においてソイルセメント遮水工の地震時ひび割れ対策用芯材として初採用された。その後2006年11月佐賀市において、一般廃棄物最終処分場の埋め立て残余年数が僅かとなっていることから、施設の延命化対策として3か年事業で堰堤高上げ工事が計画され、改正基準法を満たす構造基準に沿った維持管理の強化を目的に遮水パネルが採用された。佐賀市が遮水パネルを技術的に評価採用した理由は、①嵌合部が注入材を事前に充填できるP-T継手構造で、継手箇所数が少なく、耐震性を含め信頼性が高いこと、②公共水域の近郊である立地条件からセメント使用量が少なく施工が簡易であること、③鋼製鉛直壁の中でも安価に基準省令を満たす単独壁であること等の理由から総合評価されたものである(写真9)。

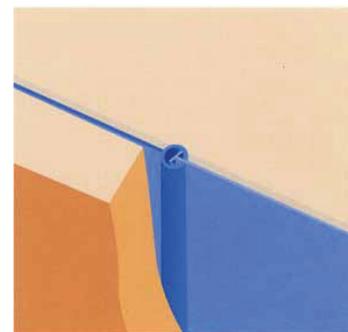


図13 遮水パネル  
Steel liner sheet with water cut-off joint



写真9 遮水パネル(佐賀市一般廃棄物最終処分場)  
Steel liner sheet with water cut-off joint

### 5.3 小 括

本報で示した鋼製鉛直遮水工は、種々な要求性能や現地条件に適合した工法の選択幅を広げ、環境保全に役立つ社会インフラストラクチャとして広く用いられており、鋼構造そのものが、環境保全に直接寄与する商品事例である。今後ますますニーズが高まるであろう環境保全分野で遮水工技術の高度化を進める所である。

## 6. 結 言

21世紀は環境の時代と言われて久しい。新日本製鐵は、21世紀の美しい地球環境をつくる社会的責任のもと、いち早く環境問題への対応を経営の基軸として位置づけ活動している。本報では、建設分野においても材料、工法に環境性能が求められる時代が着々と近づいている背景を踏まえ、鉄鋼建材を介して建設分野の環境負荷低減に寄与できる方策を考察し、具体的事例を紹介した。その活動は一企業に留まらず関係業界に及ぶため、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本鋼構造協会、鋼管杭協会、(独)港湾空港技術研究所の場における活動も含めて報告した。関係者に厚くお礼申し上げる。

### 参考文献

- 1) 川人健二 ほか:鉄鋼業における環境負荷の削減.第3回鋼構造と橋に関するシンポジウム,東京,2000-8,土木学会
- 2) (社)日本鉄鋼連盟:パンフレット,鉄の命は無限です.2005-9
- 3) (社)日本鉄鋼連盟:地球温暖化対策への取り組みに関する見解.2007-4
- 4) 中国鉄鋼工業年鑑(China Steel Yearbook 2005).The Editorial Board of China Steel Yearbook,2005
- 5) (社)日本鋼構造協会:鋼構造物に係わるグリーン調達手引き.2003-3,57p.
- 6) 寺崎滋樹 ほか:低残土・例騒音・低振動鋼管杭工法“ガンテツパイル工法”,新日鉄技法.(371),93(1999)
- 7) LCA日本フォーラム:LCA日本フォーラム報告書第1編.初版.東京,(社)産業環境管理協会,1997,3p.
- 8) 土木学会地球環境委員会:土木建設業における環境負荷評価(LCA)検討部会平成8年度調査研究報告書.土木学会,1997,47p.
- 9) (社)日本鉄鋼連盟:鉄鋼製品のLCIデータの概要.2003-3
- 10) 酒井寛二:土木建設物の二酸化炭素排出原単位の推定.第4回地球環境シンポジウム.東京,土木学会,1996-7
- 11) (社)鋼材倶楽部土木専門員会:社会資本整備とエコマテリアルに関する調査研究報告書.1999-5,43p.
- 12) (財)政策科学研究所:平成14年度 容器包装ライフサイクルアセスメントに関する調査事業報告書-飲料容器を対象としたLCA調査-.2003-6,35p.
- 13) (社)日本鋼構造協会:鋼構造物の環境性評価データベース構築報告書.2005-3
- 14) 渡部要一 ほか:鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究.港湾空港技術研究所資料.No.1142,2006-9
- 15) 木下雅敬 ほか:アスファルトを充填した鋼管矢板継手の実海域遮水性確認試験.第39回地盤工学研究発表会,地盤工学会,2004,p.2293-2294
- 16) 川人健二 ほか:最終処分場遮水壁への遮水パネルの適用.地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会,大阪,地盤工学会ほか,2004-7