

建設リサイクルの現場レポート

東日本大震災の津波被災地における 環境負荷低減事例と 3R 活動推進のための課題

内山 里映

株式会社大林組気仙沼赤岩港造成工事事務所 工事長（当時）

キーワード：建設発生土、ICT、自ら利用、資材選定の工夫

■はじめに

着工当時の気仙沼市内は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災によって甚大な被害をうけ、海岸付近に数多くあった水産加工場はほとんどが稼働できない状況だった。

気仙沼市赤岩港水産加工団地造成工事は、気仙沼市の基幹産業である水産業の早期復興を目的に、国の震災交付金「津波復興拠点整備事業」を活用して水産加工団地の基盤(20ha)を造成する工事である。

主な工事内容は、津波で流された家屋・工場の基礎コンクリート撤去、現況地盤高が TP=1.0m 程度の軟弱な低地部 (N 値 0~4) の地盤改良、地盤改良後の地盤に隣接する地山から切り出した土砂での嵩上げ盛土、嵩上げ盛土の土留めのため高さ 75cm~5m のプレキャスト L 型擁壁と高さ 7.5 m の場

所打ち L 型擁壁の構築、インフラ整備として水産加工団地内の雨水排水管・上下水道管設置、および道路舗装である。

工事概要

工事名称：気仙沼市赤岩港水産加工団地造成工事

発注者：気仙沼市産業部

工期：平成 25 年 10 月 29 日

～平成 28 年 11 月 30 日

主要工種

切土 95 万 m³、盛土 46 万 m³、建設発生土運搬 76 万 m³(仮置き場からの二次運搬含む)、基礎コンクリート撤去 2,500 m³、地盤改良 61 万 m³、場所打ち L 型擁壁(H=7.5 m)156m、プレキャスト L 型擁壁(H=0.75~5m)850m、函渠工 1,200m、管渠工 2,500m、道路工 3.5km 他



図-1 施工位置図



写真-1 施工場所

建設リサイクルの現場レポート



写真-2 震災直後の赤岩港

本文では、資材、機材、人材など全てのモノが不足し、高騰している復興事業という特殊な条件下において、環境負荷を低減した施工事例として報告するものである。

1 建設発生土のリユース

首都圏では建設発生土交換システムによって計画的に建設発生土が有効利用されているが、震災後の東北地方では当該システムに相当するものはなかった。着工後、気仙沼市内では多数の復興事業が行われており、建設発生土を搬出する現場と受け入れる現場が混在していた。結果的に、当現場から搬出した建設発生土は、市が確保した仮置場を含め 30 箇所以上におよぶ地点への運搬を余儀なくされ、他工事で盛土材や仮設道路材としてリユースされた。

1) 建設発生土のマッチング

建設発生土をリユースするための最大の課題は、土を搬出する現場と受け入れる現場とのマッチングである。仮置場に建設発生土を搬出する場合は、搬出前の仮置場の受入可能容量を的確に把握し、受入可能容量に達する前に発注者である気仙沼市へ次の運搬先の確保を要請しなければなら



写真-3 着工前施工後全景



図-2 建設発生土運搬先

なかった。搬出先は仮置き場だけでなく、直接、他現場に搬出する場合もあったが、仮置き場に搬出した建設発生土は時間的な調整だけが行なわれ、他現場が仮置場から発生土を運搬し盛土材等に使用するという流れだった。仮置場を介する場合も直接他

建設リサイクルの現場レポート

現場に運搬する場合も、搬出現場と受入現場をマッチングさせることが建設発生土リユースの大きな鍵となった。

気仙沼市内には気仙沼市発注の工事だけでなく、国土交通省、宮城県、都市整備公団など多様な発注者による復興事業が行われていたため、情報の集約・分配が複雑だった。

また、当現場は土砂、軟岩、硬岩を搬出していたことから、搬出時期と搬出量に加え土質も指定されることが多く、調整をより複雑化させた。

さらに、当現場はある程度の降雨でも掘削・運搬作業は可能だったが、受入現場では盛土の品質管理上、降雨時に受入を中止するが多かった。当現場の建設発生土の運搬日数の設定では、他現場の盛土工程（降雨による休止日数）を考慮していないため当現場の工程に影響を与えた。

その上、搬出先が遠方になると運搬時間が長くなり回転数が少なくなるため、必要となるダンプ台数を増やしたいのだが、ほぼ同時期に多くの復興事業が発注されていたため、ダンプトラックは需要過多な状況が続き、搬出先に応じてダンプ台数を変動させることが難しかった。運搬距離が長くなりすぎると掘削機械を最適に稼働させることができず、運搬距離が短くなりすぎるとダンプを最適に稼働させることができないという場合もあった。

2) 重量管理による二酸化炭素排出の低減

前述の通り限られたダンプ台数で効率的に運搬するためには、できるだけ正確に運搬土量を把握することが重要である。ダンプ個々における積載量の差異や長期運搬における日々の誤差の積み重ねは、

輸送の区分		燃費 (km/l)		
燃料	最大積載量 (kg)	営業用	自家用	
ガソリン	軽貨物車	9.33	10.3	
	~1,999	6.57	7.15	
	2,000kg 以上	4.96	5.25	
自動車	軽油	~999	9.32	11.9
		1,000~1,999	6.19	7.34
		2,000~3,999	4.58	4.94
		4,000~5,999	3.79	3.96
	重油	6,000~7,999	3.38	3.53
		8,000~9,999	3.09	3.23
		10,000~11,999	2.89	3.02
		12,000~16,999	2.62	2.74

表-1 燃料別最大積載量別燃費
(実測燃費が不明な場合)

運搬土量の把握の精度を低下させる。また、「地山土量」と「ほぐし土量」とで、土量は状態によって体積が変化する。ダンプ台数をもとにした土量管理は概算数量でしかない。

そこで、当現場ではトラックスケールを設置した。事前に、車両ナンバーと最大積載量、空車重量をメイン PC に登録し、ダンプ運転手には事前登録されたデータと紐づけしたカードを渡した。建設発生土を積みこんだ車両のカードを専用のカードリーダーにかざすことで積載重量（総重量－空車重量）を計量し、メイン PC で管理できるしくみを構築した。搬出するたびに、型式の異なる車両 1 台ずつの積載重量を記録し、土量を重量で管理した。トラックスケールを用いることで、最大積載量を超過することもなく、かつ、個々の車両がより適切な土量を運搬できるため、二酸化炭素排出量、排気ガス量を抑制することができた。

環境負荷低減量の試算例

土砂、軟岩、硬岩の加重平均比重 2.1t/m³
 $76 \text{ 万 m}^3 \times 2.1 \text{ t/m}^3 \div 9 \text{ t/台回} = 177,333 \text{ 台回}$
 平均運搬距離 5km
 1 台当たりの積載率を 95% と仮定
 $177,333 \text{ 台} \times (100-95)\% = 8,867 \text{ 台回}$
 $8,867 \text{ 台回} \times \text{片道 } 5 \text{ km} \times 2 = 88,670 \text{ km}$

温室効果ガス排出量の算定方法 (環境省 HP より)

$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \text{輸送距離} / \text{燃費} \times \text{単位発熱量} \times \text{排出係数} \times 44/12 = 88,670 / 3.09$ 表-1
 $/ 1,000 \times 2.58$ 表-2 = 74.035 tCO₂

対象となる排出活動	区分	単位	値
燃料の使用	原料炭	tCO ₂ /t	2.61
	一般炭	tCO ₂ /t	2.33
	無煙炭	tCO ₂ /t	2.52
	コークス	tCO ₂ /t	3.17
	石油コークス	tCO ₂ /t	2.78
	コールタール	tCO ₂ /t	2.86
	石油アスファルト	tCO ₂ /t	3.12
	コンデンセート (NGL)	tCO ₂ /kl	2.38
	原油 (コンデンセートNGLを除く)	tCO ₂ /kl	2.62
	ガソリン	tCO ₂ /kl	2.32
	ナフサ	tCO ₂ /kl	2.24
	ジェット燃料	tCO ₂ /kl	2.46
	灯油	tCO ₂ /kl	2.49
	軽油	tCO₂/kl	2.58
	A重油	tCO ₂ /kl	2.71
	B・C重油	tCO ₂ /kl	3.00
	液化石油ガス (LPG)	tCO ₂ /t	3.00
	石油系炭化水素ガス	tCO ₂ /1,000Nm ³	2.34
	液化天然ガス (LNG)	tCO ₂ /t	2.70
	天然ガス (液化天然ガスLNG除く)	tCO ₂ /1,000Nm ³	2.22
	コークス炉ガス	tCO ₂ /1,000Nm ³	0.85
	高炉ガス	tCO ₂ /1,000Nm ³	0.33
	転炉ガス	tCO ₂ /1,000Nm ³	1.18
都市ガス	tCO ₂ /1,000Nm ³	2.23	

表-2 燃料の使用に関する排出係数
(単位発熱量×排出係数×44/12)

建設リサイクルの現場レポート

重量管理をしなかった場合の積載率を仮に 95% とすると重量管理したことで CO₂ 排出量 74.035tCO₂ を削減できたことになる。

首都圏の建設発生土交換システムでは、ダンプトラック 1 台につき地山 5.55 m³ の土砂券を介して搬出現場と指定された受入地が建設発生土のやりとりをしている。首都圏に多い関東ローム層は比重が軽い (1.4t/m³程度) ため、最大積載量まで積載することができない (5.55 m³ × 1.4t/m³ = 7.77t/台) という現状である。

現行システムにおける積載率の計算例

関東ロームの比重約 1.4 t/m³
現行システムによる積載量 5.55 m³/台回
 $5.55 \text{ m}^3/\text{台回} \times 1.4 \text{ t/m}^3 = 7.77 \text{ t/台}$
 $7.77 \text{ t} \div 9 \text{ t} \times 100 = 86.3\%$

土質を考慮せず体積を一定とすると、積載率に上限を定めることとなってしまう、建設発生土のリユースを推進するためのシステムが、二酸化炭素排出量の抑制を鈍化させているという見方もある。

受入地によっては、ダンプトラックの荷姿を判断基準とし、荷台高さすりきりまでしか積載できない場合がある。ほぐし土量で荷台すりきりの場合、地山 5.55 m³ よりさらに少量しか積載できないことになる。

3) 運行管理による二酸化炭素排出の低減

当現場では、運行管理システムとしてスマートフォンの GPS 機能を活用した。最適な運行経路を事前登録し、スマートフォンをダンプに搭載することで事務所内で各車両の位置を集中監視できるしくみとした。

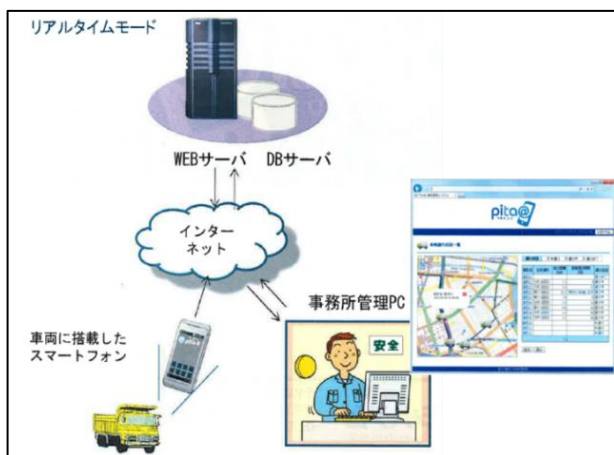


図-3 GPS 運行管理概念図

運搬先が複数個所ある日も交通状況に応じて台数の配分を修正することもできるため、渋滞緩和による環境側面の改善効果があった。

また、事前に通学路を登録することによりスマートフォンから注意喚起のアラートを発することができるので、二次的に交通災害の防止にも効果があった。

4) 硬岩の骨材としてのリユース

硬岩の一部は自走式破碎機を用いて碎石してから盛土材としてリユースするとともに場内の仮設道路材としても兼用した。土工事には場内仮設道路が必要となる場面が多々あるが、再生碎石を使用してつくった仮設道路は、完成時には再生碎石を撤去しなければ不法投棄と認識される恐れがある。硬岩を破碎した碎石は盛土材でもあるためそのまま残置できるので施工上もメリットがあった。このメリットが他現場から硬岩受入の要請が多かった理由のひとつと思われる。

2 盛土管理の ICT 化

気仙沼市の基幹産業である水産業を早急に復興して流出した住民を呼び戻すという発注者の強い要望により、工期短縮が求められていた。この要望に応えるべく約 46 万 m³ の盛土工を早期実現するため、「締固め層厚の厚層化」を実施した。一般的には敷均し圧 20~30 cm で 11 t 級振動ローラによる転圧を行うが、起振力の大きな大型振動ローラを導入し 1 層の締固め厚さを 50 cm と厚くした。盛土施工に先立ち、試験盛土を実施して盛土の管理基準値 (締固め度 $D_c \geq 90\%$) を満たす転圧回数を決定した。施工は、ブルドーザにマシンガイダンスシステム、振動ローラに GPS 転圧管理システムを搭載し、ブルドーザは標高、振動ローラは転圧回数をリアルタイムで重機モニターに表示した。GPS による管理システム概念図を図-4 に示す。振動ローラに搭載した GPS 転圧管理システムは、位置情報、高さ情報、転圧回数情報を web 上に随時転送し、記録できるしくみである。本システムを使用することによって層厚、転圧回数とも均質かつ

建設リサイクルの現場レポート

過不足のない正確な施工とブルドーザ、振動ローラの最適な稼働を実現できるため、二酸化炭素や排気ガスの余分な排出を抑えることができた。

これらの ICT 化施工により、層厚を 50 cm と厚層化した場合、通常の施工層厚 30 cm の場合に比べて、敷均し総面積を 60% に縮減し、盛土の施工効率が 1.6 倍向上した。さらに手間にかかるトンボ丁張は最終仕上がり面にのみ設置すればよく、盛土高さ管理にともなう重機の待機時間も削減できた。

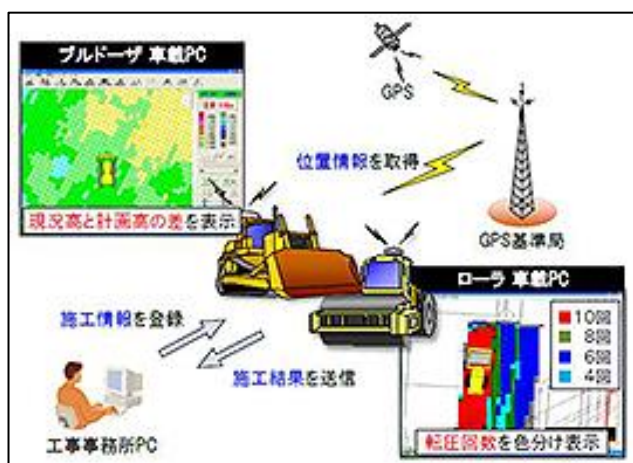


図-4 GPS 施工管理システム概念図

3 自ら利用

津波により上屋が流され、残置された家屋・工場の基礎コンクリート(約 2,500 m³)は、産業廃棄物として搬出して中間処理施設でリサイクルするのではなく、現場内に自走式破砕機を設置し再生砕石として自ら利用した。「自ら利用」は技術提案として提示した事項だったため、発注者の承諾も得られており速やかに取り組むことができた。

1) コンクリート殻のリサイクル

自ら利用するうえでの課題は、撤去物を廃棄物と捉えるかリサイクル材の原材料と捉えるか目的に応じて適用される法律が異なること、廃掃法に加え自治体ごとの条例とその見解が異なることである。このことから施工者は法令等遵守に細心の注意が必要である。

当現場も仮設道路の材料として「自ら利用」の再生砕石を利用したかったのだが、仮設材として再生砕石を使用すると、撤去しなければ不法投棄と認識される恐れがあった。そこで、当現場では、主に本設工事の擁壁の埋戻し材として再生利用した。

施工順序は、点在する基礎コンクリートの撤去後、地盤改良を行い、そのあとプレキャスト L 型擁壁を設置し再生砕石を埋戻すという流れである。施工上の課題は、コンクリート殻の発生時期と再生砕石の使用時期にタイムラグがあったことと、撤去箇所から仮置ヤードまでコンクリート殻を場内運搬し、仮置ヤードで小割・鉄筋分別してから自走式破砕機で製造された再生砕石を埋戻し箇所までもう一度場内運搬しなければならなかったことである。このように「自ら利用」を実施するためには、点在する家屋基礎の位置、地盤改良の施工順序、約 1 km の擁壁工の施工順序、再生砕石を仮置きした箇所の盛土施工順序等の計画が必要である。仮置ヤードの位置と期間を的確に計画しないと後施工の支障となり、それを回避するために無駄な場内運搬が生じてしまうからである。単にコンクリート殻を産業廃棄物として搬出し、施工のタイミングで砕石を購入する場合と比較すると、自ら利用するための計画等を負担に感じる現場もあるかもしれない。



写真-4 自走式破砕器による再生砕石製造状況

建設リサイクルの現場レポート

2) 自ら利用による二酸化炭素排出の低減

環境負荷低減量の試算例

撤去コンクリートの比重 $2.4t/m^3$
 $2,500 m^3 \times 2.4t/m^3 \div 9t = 666$ 台
 現場と中間処理場までの運搬距離約 6km
 $666 \text{ 台} \times 6\text{km} \times 2 = 7,992\text{km}$
 購入再生砕石の運搬距離約 6km
 $666 \text{ 台} \times 6\text{km} \times 2 = 7,992\text{km}$
 場内運搬距離 0.5km、(撤去箇所～仮置ヤード、仮置ヤード～埋戻箇所の 2 回移動)
 $666 \text{ 台} \times 0.5\text{km} \times 2 \times 2 \text{ 回} = 1,332\text{km}$
 よって
 $7,992\text{km} + 7,992\text{km} - 1,332\text{km} = 14,652\text{km}$

温室効果ガス排出量の算定方法 (環境省 HP より)

CO_2 排出量 = 輸送距離 / 燃費 × 単位発熱量 × 排出係数 × $44/12 = 14,652 / 3.09$ 表-1
 $/ 1,000 \times 2.58$ 表-2 = $12.233tCO_2$

上記の通り、場内運搬しながら「自ら利用」した結果、コンクリート殻を中間処理施設まで運搬し、のちに購入する骨材を運搬する場合より、 CO_2 排出量 $12.233t CO_2$ を削減できた。ただし、購入骨材運搬に係る CO_2 排出量は現場でカウントしないため数値上は $5.561tCO_2$ となる。

4 資材選定・施工方法の工夫によるリデュース

1) ヒューム管を FRPM 管に変更

雨水排水管としての管渠工 ($\phi 250 \sim \phi 1,200$ mm 約 2,500m) は発注時にはヒューム管を使用する設計だった。同時期に集中した復興事業により、資材、機材、人材など全てが逼迫かつ高騰している中、ヒューム管も例外ではなかった。そこで当現場は比較的入手が容易な FRPM 管に着目した。FRPM 管はヒューム管と比べて粗度係数が小さいため、流量計算の結果次第では管径を 1 サイズ縮小することが可能となった。設計単価はヒューム管が最も安価であったが、上記の理由で管径をサイズダウンすることも含め、実勢価格が高騰したヒューム管と FRPM 管の差額は設計単価ほど大きくなかったことも採用できた一因である。

FRPM 管はあらかじめ割付図を作成し、

規格長さの管と特注長さの管を組み合わせるため、ヒューム管のように規格長さの管を現場で切断して廃棄する必要がない。廃棄物の発生を抑制することができる。また、重量も FRPM 管の方が軽いため、作業性に優れており、産業廃棄物の運搬・処分費用も含め総合的に FRPM 管とヒューム管に大差はなく、リデュースという観点において FRPM 管は優れた材料と考える。付け加えると、雨水排水管ではなく、目的が下水管であれば、耐硫酸性が高いため維持管理の期間も考えると長寿命化も期待できる。

2) ボックスカルバートを台付け管に変更

雨水排水管としての函渠工の一部 (500×600 、 600×700 延長 110m) は発注時にはボックスカルバートを使用する設計であったが、調達状況はヒューム管と同様に困難であったことから、当現場は台付け管に着目した。台付け管は基礎コンクリートが不要で砕石と敷モルタルに直接設置できるため、基礎コンクリートおよび基礎コンクリートのための木製型枠を削減できた。環境側面だけでなく、基礎コンクリート工程を省略できること、1 本の長さがボックスカルバート 2 m/本に対して台付け管 2.5m/本と長いことなどにより、工程を短縮するメリットもあった。

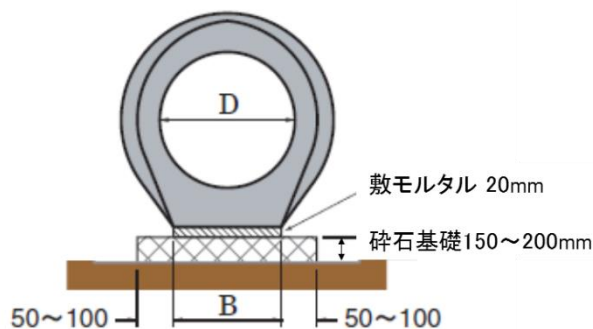


図-5 台付け管断面図

3) 木製型枠を鋼製型枠に変更

場所打ち擁壁 $h=7.5m$ 、 $L=156m$ の型枠として、鋼製型枠を採用することで、約 $2,500 m^2$ の木製型枠を削減した。

4) 現場打ち集水桝をプレキャストに変更

U 字溝による雨水排水管を接続する集水桝を現場打ちコンクリートからプレキャスト

建設リサイクルの現場レポート

トコンクリートにすることで、木製型枠の削減とミキサー車運搬による二酸化炭素排出を削減した。

5) 現場打ちボックスカルバートの打設回数を低減

通常、底版コンクリートの打設後、壁・スラブの順に3回コンクリートを打設するが、支保工を工夫することで底版・壁・スラブを1回で打設した。コンクリートポンプ車の運搬回数を減らすことで二酸化炭素排出量を低減することができ、また、打継目をなくすことでレイタンス処理によるアルカリ性排水もなく、品質上も壁部に発生しやすいひび割れを防止することができた。

6) 打継処理剤によるアルカリ性排水の削減

場所打ちL型擁壁工は底版コンクリート打設後、側壁コンクリートを打設するため、打継処理が必要である。NETIS登録のジョイントエースを使用することで、アルカリ性排水を削減できた。

5 おわりに

今後も益々環境に配慮して工事に取り組まなければならない社会状況であることを鑑み、気仙沼赤岩港造成工事を通して感じた課題を以下にまとめる。

①建設発生土のリユースは、復興事業に限った課題ではなく全国的に共通する課題である。建設発生土のリユースを円滑に実施するためには、計画的なマッチングが必要不可欠である。

また、二酸化炭素や排気ガス等の排出量を抑制するためには、体積管理するのではなく、1度の積載量をできるだけ最大積載量に近づけ、総走行距離を最小にするよう管理する必要がある。そのためには重量管理が有益と考える。

②自ら利用は、産業廃棄物および購入資材の搬出入に係る二酸化炭素、排気ガス等の排出量を削減できる。リサイクル材の原料となる撤去物が発生するタイミングと再生材料として現場内で再利用するタイミングは合わないことが多いが、仮置場への運搬過程で発生するものを差し引いても、自ら利用は二酸化炭素、排気ガス等の排出量削減

に有効な手段と考える。

また、自ら利用をより促進するためには、リサイクル材と産業廃棄物の定義をより明確にすることが必要と考える。再生砕石の場合、用途によっては本工事材料として設計に採用されることが一般的となってきた一方、仮設工事で再生砕石を利用する場合は、最終的に撤去しなければ不法投棄物と扱われる恐れがあり、扱いづらい一面がある。

同様にリサイクル材原材料と産業廃棄物の定義もより明確となると自ら利用の促進につながる。自ら利用の過程で、公道を走行して撤去材を仮置場まで運搬する場合、産業廃棄物の収集運搬委託契約が必要であるが、再生砕石の原材料と認識すると廃棄物ではなくなる。

リサイクル材原材料およびリサイクル材と産業廃棄物について法令等の見解を簡潔にできれば自ら利用はより促進できると考える。

③資材変更やICT化施工の導入には、設計変更協議やVE提案の申請等が伴う。その結果、工事費は増減することになるが、その判断基準として直接的な工事費用だけでなく環境負荷への影響も併せて評価軸とできないだろうか。大型ごみ処分は有料、ごみ袋さえも有料な自治体があり、一般社会においても環境負荷低減のためにコストがかかることは浸透している。今後は、工事費と環境負荷低減量を総合的に判断することも重要と考える。

最後に資機材も人材も不足・高騰し、そのうえ工期短縮を求められるような復興事業でも、3R活動を推進することができ、平成29年度3R推進功労者等表彰・国土交通大臣賞受賞を授与することができた。ご理解・ご指導いただいた発注者の方々、ならびにご指導・ご協力いただいた社内外関係者の方々に感謝申し上げたい。小さな活動を積み重ねる現場ごとの意識が3R活動推進の原動力であることをご理解いただくと幸いである。