

ISSN 1880-0114  
国総研プロジェクト研究報告 第15号  
平成18年12月

# 国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.15

December 2006

ゴミゼロ型・資源循環型技術に関する研究

Research on Technologies for Zero Emission and  
Recycling-Oriented Society

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

ゴミゼロ型・資源循環型技術に関する研究

斎藤 純 (2006)	*
北澤壮介 (2004-2005)	**
安間 清 (2003)	**
山本修司 (2001-2002)	**

Research on Technologies for Zero Emission and Recycling-Oriented Society

Jun Saito (2006)	*
Sousuke Kitazawa (2004-2005)	**
Kiyoshi Anma (2003)	**
Syuji Yamamoto (2001-2002)	**

概要

現在の廃棄物処分に関する様々な限界を考慮すると、大量消費、大量生産型の社会構造が継続した場合、我が国の持続的な発展が難しくなるとの懸念が生じている。このため本研究では、3R(リデュース、リユース、リサイクル)実現のための様々な手法について検討を行った。

キーワード : ゴミゼロ、リサイクル

Synopsis

There is a concern that if current form of mass production and mass consumption continue, sustainable development of Japan's economy and society will be difficult, considering various limitations of waste disposal. For this reason, various methods to realize the 3Rs (reduce, reuse, recycle) for effective and efficient waste management have been examined.

Key Words : Zero Emission, Recycling

*	港湾研究部長	Director of Port and Harbor Department
**	前港湾研究部長	Former Director of Port and Harbor Department

## プロジェクト研究： ゴミゼロ型・資源循環型技術に関する研究 成果報告書

第1章 研究の概要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究実施体制	2
1.3 施策への反映	4
第2章 資源循環型社会に関する現状の理解と本研究の位置づけ	6
2.1 資源の再資源率の現状	6
2.2 資源循環型社会形成における課題と本研究の位置づけ	7
第3章 建築廃棄物の発生抑制、リサイクル技術	9
3.1 木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発	9
3.2 建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究	16
第4章 静脈システム形成に関する技術	19
4.1 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究	19
4.2 静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究	25
第5章 廃棄物海面処分場の建設・管理技術	29
5.1 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計に関する研究	29
5.2 管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発	38
5.3 海面処分場立地のための社会的受容性の分析	45
第6章 今後の課題	51
6.1 ゴミゼロ型・資源循環型社会形成に向けた今後の課題	51
6.2 個別研究課題における今後の課題と取り組み	51

参考資料

## 1. 研究の概要

### 1.1 研究の目的

循環型社会を実現していくため、社会のあらゆる分野において、廃棄物の発生抑制、資源の循環的な利用の推進、適正な最終処分が求められている。

建設分野においては、「建設リサイクル法」の制定や「建設リサイクル 2002」の策定により各種の施策が講じられている。平成 12 年度における建設廃棄物の最終処分量は、平成 7 年度から約 70% 減少し、リサイクル率は全体で 85% となっているが、廃棄物の種類別に見ると建築廃棄物が多くを占めると考えられる建設混合廃棄物や建設発生木材のリサイクル率は低迷している。

また、資源の循環的な利用や適切な廃棄物処理を推進していくためには、それを支える効率的な静脈システムの形成が求められている。さらに、産業廃棄物最終処分場の残余容量はわずか約 4.3 年分しかなく、最終処分場の安定的な確保、とくに海面処分場整備に対する要請が高まっている。

そこで、土木・建築の分野において緊急に取り組むべき課題として、以下に示す 3 つの技術分野を取り上げ、研究開発を実施した。

- (1) 建築廃棄物の発生抑制、リサイクル技術
  - 木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発
  - 建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究
- (2) 静脈システム形成に関する技術
  - 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究
  - 静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究
- (3) 廃棄物海面処分場の建設・管理技術
  - 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計法の開発
  - 管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発
  - 海面処分場立地のための社会的受容性の分析

各課題に関する具体的な研究目的を以下に示す。

- (1) 建築廃棄物の発生抑制、リサイクル技術
  - 木質系建築廃棄物の発生を抑制するため、解体時における廃棄物の発生抑制に配慮した木造構工法の設計・施工技術を確認すること、建築材料及び部材の合理的な再資源化技術を確認すること、技術普及のために必要な木造建築物の環境負荷評価ツールを提案すること、廃棄物の発生を抑制するための技術・政策を検証するためのモデルを開発することを目的とする。
  - また、建設混合廃棄物について、再資源化の技術基準を開発するとともに、普及のための技術政策及びその構成要素となる技術を開発し提案することを目的とする。
- (2) 静脈システム形成に関する技術
  - 最適な有機系廃棄物処理・循環システムの確立を目指してディスポーザーに着目し、ディスポーザー排水を下水道で収集する場合、ディスポーザー排水を戸別に設置した処理装置で処理する分散型静脈系システムを構築する場合等、導入の形態・規模に応じた導入基準や計画手法を提案することを目的とする。
  - また、我が国における広域的な静脈物流ネットワーク形成を支援するため、国内地域間の廃棄物流動量推計モデル、及び海上輸送によるネットワーク構築の計画手法の構築を目的とする。
- (3) 廃棄物海面処分場の建設・管理技術
  - 管理型廃棄物埋立護岸の大規模地震時における大変形に伴う遮水構造の局所的な変形特性を明らかにし、性能規定型の管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の設計法を構築することを目的とする。
  - また、管理型廃棄物海面処分場の埋立護岸の遮水性能評価手法の高度化を図るため、保有水の浸出を予測評価する手法を確認するとともに、信頼性の高い遮水構造の提案、海面処分場の維持管理手法の高度化を目的とする。

さらに、海面に廃棄物処分場を計画する際に関係者間の合意形成の円滑化を図るため、海面処分場の特性を明らかにし、廃棄物処分場プロジェクトにおける紛争の予防・回避のための留意事項を整理、とりまとめることを目的とする。

## 1.2 研究実施体制

それぞれの個別研究課題について、関係研究部が単独または協力して研究を進めるとともに、必要に応じ国土交通省本省や地方整備局、地方公共団体、国の研究機関、大学、民間団体、企業等とも連携して研究を実施した。具体の体制ならびに実施方法、実施年度計画等を以下の表-1、表-2に示す。

表-1 研究の実施体制

個別研究課題	担当研究部及び主な連携先
木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発	建築研究部，総合技術政策研究センター， (独)建築研究所，(独)森林総合研究所等
建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究	建築研究部，住宅研究部，(独)建築研究所
生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究	下水道研究部，建築研究部
静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究	港湾研究部
極大地震動を考慮した廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計法の開発	沿岸海洋研究部，土木シート技術協会，民間企業グループ，京都大，九州大，国立環境研，(独)港湾空港研
管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発	港湾研究部，沿岸海洋研究部，(独)港湾空港研，国立環境研
海面処分場立地のための社会的受容性の分析	沿岸海洋研究部，熊本大

表-2 研究の実施方法

区分 (目標, サブテーマ, 分野等)	実施年度			
	H14	H15	H16	H17
木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発	廃棄物発生抑制型木造構工法の開発 建築材料・部材の再資源化技術の開発 普及システムの開発			
建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術の構築	建設廃棄物の再資源化推進のための技術基盤 再使用促進に関する施策メニュー及び技術基準の開発 再資源化技術の普及基盤 再資源化シナリオの実現性に関する評価技術の開発			
生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術の構築	現状分析・データ分析 実態調査 検証実験・社会実験 計画・評価手法構築			
静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究	廃棄物流動と処分の実態把握	流動量推計手法の開発	海上輸送を活用した静脈物流ネットワークの検討	
極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計に関する研究	護岸変形に伴う遮水工の局所の変形特性の解明 管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動の解明		管理型廃棄物埋立護岸の性能規定型設計法の構築 政策化・マニュアル作成	
管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発	現状分析	遮水性能解析手法の開発等		
海面処分場立地のための社会的受容性の分析	事例収集・アンケートの実施			分析

### 1.3 施策への反映

個別の研究成果と施策への反映状況もしくは今後の反映の可能性について概要を以下に示す。

#### (1) 建築廃棄物の発生抑制，リサイクル技術

##### a) 木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発

①廃棄物発生抑制のための要素技術，②要素技術を活用するためのガイドライン・指針，③技術普及のための評価・検証ツール（データベース）を構築した。

個々の新技術は，廃棄物発生抑制に大きく寄与するものであるが，さらにこれらの成果が全体として適正な廃棄物発生抑制に資することが期待できる。また，新築時対応の技術そして除却・再資源化時対応の技術を開発した上で，ライフサイクルを通して廃棄物発生抑制を実現することに配慮している。そして廃棄物問題は官民一体となった取り組みが必要であることから，民間・行政それぞれの活用が見込まれる成果となっている。

##### b) 建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究

①建設混合廃棄物の再資源化のための技術基準，②再資源化技術普及のためのシナリオの検証モデルを開発した。

個々の成果は，今後「技術基準に基づいた技術開発ガイドラインの策定」や「シナリオ分析に基づいた施策策定」に繋がるものとなっており，合理的な廃棄物発生抑制に資することが期待できる。

#### (2) 静脈システム形成に関する技術

##### a) 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究

ディスポーザー排水の下水道施設による収集及び処理に関して，生ごみ移行量及び負荷量原単位を把握し，下水道施設への影響検討方法及びライフサイクルアセスメント等による総合的な評価手法を構築した。また，分散型生ごみ処理システムの総合計画手法及び分散型生ごみ処理システムを構成する部位の性能評価方法を構築した。

これらの成果は，ガイドライン「ディスポーザー導入時の影響判定の考え方」に反映され，下水道によるディスポーザー導入の影響検討に活用される。また，「自立循環型住宅への設計ガイドライン」を通して住宅の計画・設計に活用されるとともに，性能評価手法の有効活用による適切なシステムの普及促進につながる。

##### b) 静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究

廃棄物の広域流動量推計モデルの構築，海上輸送を活用した静脈物流ネットワーク構築の効果の検証を行い，これらの成果は，今後，リサイクルポートにおける海上輸送を用いた静脈物流ネットワーク形成に関する施策展開に活用されることが期待される。ただし，主に廃棄物輸送や廃棄物処分の実態に関するデータの不足により，廃棄物流動量推計モデルについては，推計精度に課題が残された。また，静脈物流ネットワークの計画手法の構築については，実際のネットワーク計画に必要な最適化手法の構築には至っていない。

#### (3) 廃棄物海面処分場の建設・管理技術

##### a) 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計に関する研究

護岸の地震時変形に伴う遮水工の局所的変形特性の解明，管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動の解明及び管理型廃棄物埋立護岸の性能規定型設計法の構築を行った。また，研究を進める過程で，通常想定される地盤及び構造物の変形レベルでは遮水シートは破断せず，局所的な突き刺し等により破損すると考えるべきであることが明らかになったため，「管理型廃棄物埋立護岸遮水工の健全性評価手法の開発」を検討項目として追加した。本研究項目に関しては，要素実験により遮水シートの破損・変形検知技術の原理等の妥当性が検証できた。

これらの成果は，「管理型廃棄物埋立護岸の設計・施工・管理マニュアル（改定案）」，環境省の廃棄物最終処分場跡地形質変更にかかる政省令の制定及び基準策定等に反映された。

b) 管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発

埋立護岸からの保有水の浸出に対する長期安全性評価手法を構築した。信頼性の高い遮水構造については、独立行政法人港湾空港技術研究所が実施した民間企業との共同研究の成果に基づいて、新たな構造を提案した。維持管理手法（モニタリング、保有水管理）の高度化については、保有水の水位管理、保有水等の水質モニタリングに基づく海面処分場の維持管理手法の高度化について検討した。

これらの成果は、「管理型廃棄物埋立護岸の設計・施工・管理マニュアル（改定案）」、環境省が施行する予定の「海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用マニュアル」等に反映された。

c) 海面処分場立地のための社会的受容性の分析

研究対象にできるような海面処分場の問題事例を見つけることができなかつたため、陸上処分場の問題事例の情報収集と整理、沿岸環境に対する住民意識調査を中心として課題を抽出するという目標設定に変更した。したがって、陸上処分場の問題の状況の把握や沿岸環境に対する住民意識の分析については、一定の有益な知見が得られたが、海面処分場についての留意事項整理という面では、直接的な分析・整理を行うことができなかった。



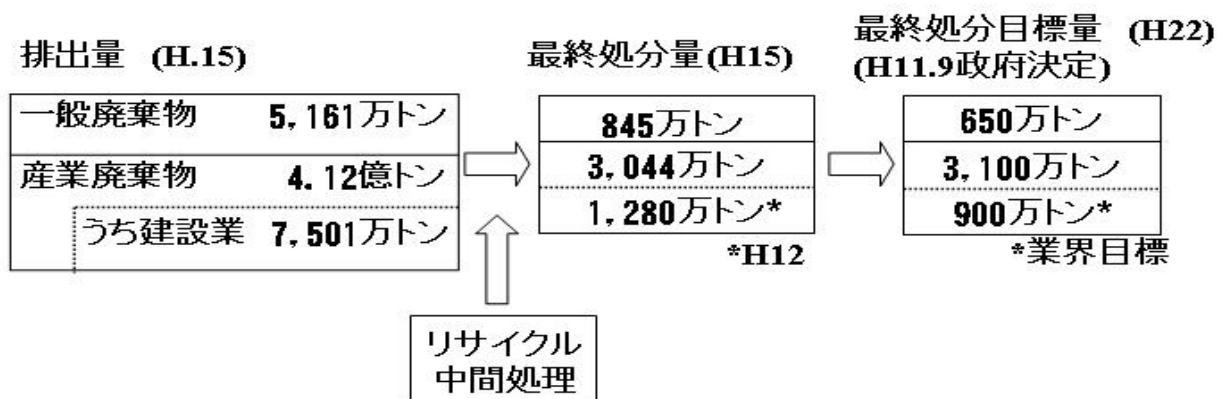
## 2. 資源循環型社会に関する現状の理解と本研究の位置づけ

### 2.1 資源の再資源化率の現状

以下の図-1に、廃棄物の排出及び処理の現状を示す。排出される廃棄物（平成15年）について、一般廃棄物の排出量は5,161万トンであるが、このうち845万トンが最終処分されている。この差である万トン（84%）が、リサイクル及び中間処理によって減少される量である。同様に産業廃棄物については排出量が41,200万トン、最終処分量が3,044万トンであり、リサイクルないし中間処理される割合は一般廃棄物より高い（93%）。しかしながら、建設業関係について見ると、排出量が7,501万トン、最終処分量が1,280万トンでありリサイクル等による減少率は低く（6,221万トン、83%）、効率的な資源循環システム等の構築が必要となっている。

最終処分量に対して、将来的な最終処分の目標量が政府ならびに建設業界によって定められているが、一般廃棄物、ならびに産業廃棄物のうちの建設業においては、リサイクルの促進などによって現在の最終処分量を今後減らしていく必要性が生じている。これは以下の図-1の産業廃棄物最終処分場の残余容量に示すように、最終処分場の残存容量が逼迫していることなどがその要因である。

### 廃棄物の排出及び処理の現状



### 産業廃棄物最終処分場の残余容量 (H16.4現在)

	残余容量	残余年数
全国	約1億8,418万m <sup>3</sup>	6.1年分
首都圏	約1,878万m <sup>3</sup>	2.3年分

図-1 廃棄物の排出、処理および処分場の残余容量

また以下の図-2は建設業における再資源化率の推移を見たものである。年々改善は見られるものの、依然として再資源化率の低い廃棄物が存在するのが現状である。

## 建設廃棄物の再資源化率の推移

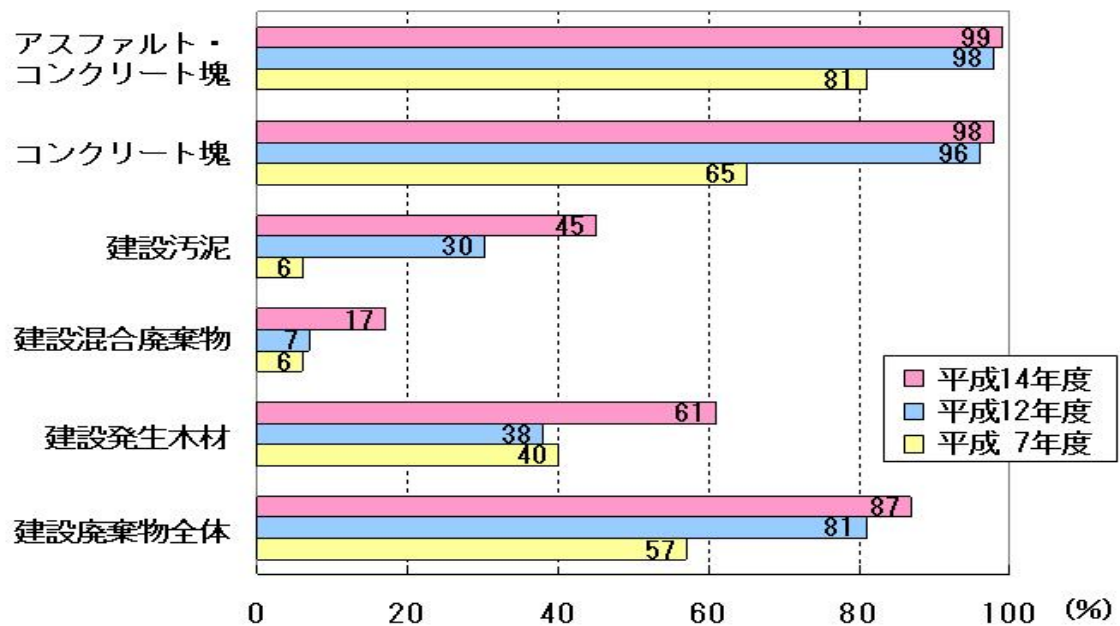


図-2 建設廃棄物の再資源化率の推移

### 2.2 資源循環型社会形成における課題と本研究の位置づけ

資源循環型社会形成のためには、①廃棄物そのものの発生抑制、②資源の循環的な利用の促進、ならびに③適正な最終処分、の3つの課題を考える必要がある。しかし現状では、建設廃棄物を中心に発生抑制技術は十分確立されておらず、資源の循環的な利用の促進の根幹となるための静脈物流システムも十分に形成されていない。さらには、廃棄物の最終処分に関して、その多くを占める海面処分場の安全性、信頼性についても極大地震等への十分な配慮がなされなければ、被災時の影響が甚大となる懸念も残されている。また廃棄物処分関係の施設は迷惑施設として見なされる傾向もあることから、関連施設立地にあたっての地域の受容性といった社会科学的なアプローチも必要である。

このように、ゴミゼロ型・資源循環型社会の形成においては、廃棄物処理の一連のプロセス（発生抑制、再利用、再資源化、輸送：静脈物流、最終処分）について、一般廃棄物・産業廃棄物の両者を対象に検討を行うことが求められるが、未だ全般的に課題が残されている現状にある。

このように取り組むべき課題や範囲は広範であるが、その中で本研究では、土木建築に関係の深い分野について検討を行った。以下の図-3に、個別の研究課題毎にカバーする対象範囲、ならびに想定される施策等への反映事項を示す。

資源循環型社会形成に向けた課題と本研究の対象範囲		➔				
		発生抑制	再利用	再資源化	効率的な輸送	適切な最終処分
一般廃棄物	生ごみ			生ごみ等有機系廃棄物の最適処理技術		<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸の性能設計法</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;">海面処分場立地のための社会的受容性の分析手法</div>
	建設発生木材	木質系建築廃棄物の発生抑制技術		静脈物流ネットワークの計画技術		
産業廃棄物	建設混合廃棄物	建設廃棄物の合理的な再資源化技術				
施策等への反映				ディスプレイを用いた静脈システムの導入基準・計画手法		<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル(改訂案)</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;">最終処分場跡地形質変更に係る政省令、基準等</div>

図-3 個別の研究課題毎にカバーする対象範囲と想定される施策等への反映事項

### 3. 建築廃棄物の発生抑制, リサイクル技術

本研究は、建設発生木材及び建設混合廃棄物、特に木造住宅の解体によるものを主として、その発生を抑制するため、解体時における廃棄物の発生抑制に配慮した木造構工法の設計・施工技術を確立すること、建築材料及び部材の合理的な再資源化技術を確立すること、技術普及のために必要な木造建築物の評価ツール並びに技術基準を提案すること、廃棄物の発生を抑制するための技術・政策を検証するためのモデルを開発することを目的としている。

具体的な成果として、分別・解体・再資源化しやすい木造建築物の設計・施工事例を取りまとめたマニュアル（設計・施工事例集）、木質系材料の再資源化に関する技術指針案、物質循環算定プログラム、建設混合廃棄物の再資源化のための技術基準、再資源化シナリオのシミュレーションモデルなどの作成を行った。

#### 3.1 木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発

##### 3.1.1 研究の概要

木造住宅等の木造建築物の解体除却時に発生する廃棄物量は年々増加する傾向にあり、木造建築物における再資源化と資源循環化を促し、建築活動そのものから発生する廃棄物量を抑制するための新しい技術と仕組みに対する社会的要望が強い。建設廃棄物は、産業廃棄物全体の排出量の約2割、最終処分量の約4割を占めている。また、不法投棄量の多くを建設廃棄物が占めており、木造住宅解体時に発生する廃棄物についても不法投棄されているものがあり不法投棄量を増加させる一因となっている。廃棄物の不法処理は、地域環境に対して著しい悪影響を及ぼすものである。このような状況にあつて、建設廃棄物の適正な処理を推進するために必要な対策を講じることが重要な課題となっている。一方、建築系建設廃棄物は他の廃棄物に比べてリサイクルの取り組みが遅れており、地域環境の保全という観点から、有効な対策を講じることが重要な課題となっている。更に、平成14年5月には「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（以下、建設リサイクル法と呼ぶ）」が完全施行され、コンクリート、アスファルト、木材の特定建設資材について分別・再資源化が義務づけられ、平成22年における目標再資源化等率が95%と定められた。特に木造建築物由来の建設発生木材はリサイクル率が低迷しており、その再資源化を促すための関連技術を早急に整備する必要がある。

本研究においては、解体時における廃棄物の発生抑制について設計・計画段階で配慮した木造構工法の設計・施工技術を確立すること、建築材料及び部材の合理的な再資源化技術を確立すること、技術普及のために必要な木造建築物の環境負荷評価ツールを提案すること、廃棄物の発生を抑制するための技術・政策を検証するためのモデルを開発することを通して、木質系建築廃棄物の発生を抑制することを目的としている。

本研究は、①木造建築物の設計・施工段階に対応した廃棄物発生抑制型木造構工法技術の開発、②木造建築物の解体・除却に伴い発生する解体除却材の再資源化技術の開発を行うとともに、その普及のために③木造建築物の物質循環に対する評価技術、廃棄物発生抑制のための技術政策シナリオとその検証技術を開発し、木質系建築廃棄物の発生抑制を目指すものである。

##### 3.1.2 研究の成果

###### (1) 廃棄物発生抑制型木造構工法の開発

木造建築物のうちの木造部分について、建物解体時における分別・再資源化を阻害している要因についての分析を行うとともに、分別解体・再資源化を容易にするための設計・施工技術を開発し、施工・解体実験により開発した資源循環型木造建築物の分別解体・再資源化の容易性についての検証を行った。具体的な研究開発実施内容は以下のとおりである。

###### a) 軸組構法住宅（手解体）と枠組壁工法住宅（機械手併用解体）の解体に関する分析

全解体工程のビデオ記録をとり、解体時間・手間の測定を行った。この結果により、解体分別阻害要因の抽出、整理を行った。

###### b) 解体木材の再資源化容易性に関する調査（軸組構法住宅解体材）

解体木材の損傷程度等の測定を行い、設計・施工上の課題を整理した。

調査対象とした建物のうちの1棟は、昭和49年に竣工され、平成12年に解体された物件であり、延べ床面積144㎡の2階建ての建物である。解体時に発生した解体材をほぼ全量収集し、発生数量、形状寸法、体積、重量、損傷の程度、付着物の存在状況について調査した。また、もう1棟は前述の解体手間に関する調査を行った軸組構法による住宅である。同様に解体時に発生した解体材を全量収集し、発生数量、形状寸法、体積、重量、損傷の程度、付着物の存在状況について調査を行った。

調査の結果、機械手併用により解体した建物については、断面欠損、力学的な損傷は柱材、梁材ともに9割近い材に存在しており、腐朽・蟻害は1割程度発生していることがわかった。また、付着物としては釘が最も多く、柱材の9割、また梁材の4割に釘が付着していた。ボルトについては梁材に多く付着しており梁材の約4割にボルトが付着していた。また、金物やその他の付着物（木片、プラスチック、石膏ボード、金属片など）は柱材に多く付着しており、金物については柱材の約4割、その他の付着物については柱材の約3/4に付着していることが明らかになった。木造住宅の解体材を処理（再資源化を含む）する方法を整理し、技術指針を作成するための貴重なデータを得た。

#### c) 解体・分別容易な設計・施工技術の開発

上記の成果を受けて、取り外しやすく作業性の高い接合方法等を取り入れた設計・施工技術の開発、提案を行った。

#### d) 解体・分別容易性検証のためのモデル試験棟及び2階建て試験棟の施工・解体実験

実大建物（試験棟）による施工・解体実験を実施し、従来型と改良型の比較を行い、改良型の有効性（解体時間・解体材の品質等）を検証した。

木造住宅を解体・処分する際の解体現場での分別作業時間、中間処理場での分別作業労力を少しでも軽減するための一つの対策として、解体時における分別の容易性に配慮して木造建築物を設計する必要があることから、現行の設計法のどの部分をどのように改良すれば、解体・分別・再資源化が行いやすくなるかについて検討した。更に、これまでに提案した具体的設計・施工方法を採用したモデル試験棟を建設し、分別・解体の容易性、並びに解体材の再資源化の可能性について検証を行った。

本課題の最終成果として、分別・解体・再資源化しやすい木造建築物の設計・施工事例を取りまとめたマニュアル（設計・施工事例集）を作成した。



写真-1 モデル試験棟の施工解体実験



写真-2 2階建て試験棟の施工・解体実験

## (2) 建築材料・部材の再資源化技術の開発

木造建築物を構成する材料のうち、木質躯体材と仕上げ材料（木材以外の下地材等を含む）について、再資源化の各要素技術に関する現状把握、並びに実現可能性・容易性についての整理・分析を行った。また、木質系再生材料の一部については、同材料の需要拡大を喚起することを目的として性能評価を実施した。

### a) 木質躯体材

木質系材料については、種々の再利用、再資源化のルートごとに許容される混入物の種類について整理した。

表-3 において木造住宅において躯体材に付着していることが想定される材料，資材について再資源化ルート毎の分別の必要性（混入の可否）に関する検討結果又はヒアリング調査結果をまとめた。（ただし，二重線で囲んだ部分を除いて，同表の内容は，担当者の知見に基づいて作成したものであり，今後の技術開発の進展状況等又は再資源化工場における設備の導入状況によって変化するものである。）

表-3 木材の再利用，再資源化のルート毎に必要な分別条件

再利用、再資源化ルート 材料、資材	部材 の再 利用	軸材 集成材 ラミナ	軸材 割裂 ストランド	面材用 チップ		MDF 等用 解繊	木片セ メント 板	木毛セメ ント板	マルチ ング	炭 化	熱源利 用/石 炭混焼	
木材	欠損部分	×	×	○	○	○	○	△	○	○	○	
	腐朽部分	×	×	△	×	×	×	×	○	○	○	
	薬剤処理部分	○	①	⑨	×	×	×	×	×	⑤	⑥	
金属 類	下地，仕上受け材+ 釘	×	×	×	○	○	○	△	○	○	×	
	くぎ，ビス（鉄）	×	×	×	○	○	×	△	④	○	×	
	くぎ，ビス（ステンレス）	×	×	×	×	×	×	×	④	○	×	
	ボルト，接合金物 （鉄）	×	×	×	×	×	×	×	④	○	×	
	アルミ	×	×	×	×	×	×	×	④	○	×	
	ステーブル（鉄）	×	×	×	×	×	×	×	④	○	×	
	無機 材料	コンクリート，モルタル	×	×	×	③	③	×	③	③	○	○
	石膏ボード，塊	×	×	×	③	③	×	⑦	③	○	○	
有機 材料	有機系発泡材	×	○	⑩	×	×	×	⑧	⑧	×	⑥	⑥
	紙類	×	○	⑩	⑪	×	×	×	×	×	⑥	⑥
	ビニルクロス	×	○	⑩	⑪	×	×	×	×	×	⑥	⑥
	プラスチック類	×	○	⑩	⑪	×	×	×	×	×	⑥	⑥
	接着剤塊	×	②	②	×	×	×	×	×	×	⑥	⑥

ただし，表中の丸数字には以下の条件が付与される。

- ①接着阻害を起こさない場合は分別不要○
- ②刃を痛めない場合は分別不要○
- ③少量，又は粉体である場合は分別不要○
- ④少量である場合は分別不要○
- ⑤土壌浸透に浸透する際に無害な場合は分別不要○
- ⑥ダイオキシンを発生しない熱処理を行う場合は分別不要○
- ⑦紙がなければ分別不要○
- ⑧セメントと混ぜるときに浮いてしまうので分別不要○
- ⑨作業者の安全性が確保されれば分別不要○
- ⑩量が少なければ分別不要○
- ⑪製造上は混入可○であるが，高品質を目指すとは×

同表における横軸が再資源化のルートであり，各々について要素技術が確立しているものについては再生材料の需要拡大に関する技術開発を行った。要素技術が完成していないものについてはその技術開発上必要となる技術資料の収集を行った。また，同表に示された分別条件に従った分別解体を実施した場合に係る人工数等を実際の木造住宅を解体して調査し，解体除却材の収集コスト及び各工場について行った再資源化材料製造コストの試算を基に再生材料の可能性について検討した。

再生木質ボードの利用拡大については，構造用合板並みの施工性を有する木質系再生ボード（パーティクルボード）の耐力性能等についての確認試験を実施し，用途拡大をはかるための基礎データを収集した。また，解体木材を原料とする高機能性木質ボードを別途開発しており，あわせて解体木材を原料とする木質系再生ボ

ードの用途拡大をはかるための方策について提案した。

さらに、これまでにほとんど解体木材が原料として利用されてこなかった木質系軸材料の原料として解体木材を利用するための技術開発を民間企業等と連携して行った。

b) 仕上げ材料

28種の建築仕上げ材料について、製造業者団体もしくは製造業者を対象としてヒアリング調査及びアンケート調査を実施し、各種建築仕上げ材料の「生産量」、「再資源化の現状」、「回収ルートの整備状況」、「再資源化技術への取り組み状況」、「具体的な再資源化技術の内容」等の内容をライフサイクルの段階（製造、建設、解体）毎に整理した。

上記の成果は、木質系材料の再資源化に関する技術指針案としてとりまとめた。

(3) 再資源化及び資源循環化技術の普及システムの開発

本課題では、個々の木造建築物について資源消費量及び廃棄物発生量を定量的に算出できる環境負荷評価ツールを開発し、必要なデータを収集するとともに、廃棄物の発生を抑制するための技術・政策を検討するための資源循環社会モデルを構築した。

a) 環境負荷データの収集と評価ツールの作成

木造建築物の建設、解体、処分という一連の活動における物質の流れと関連するエネルギー消費量（CO<sub>2</sub>排出量）を算定するためのデータベースを構築した。また、個々の木造建築物について、建設、解体、処分過程における資源消費量、解体材排出量、エネルギー消費量（CO<sub>2</sub>排出量）を定量的に算定するためのプログラムを作成した。（図-4）

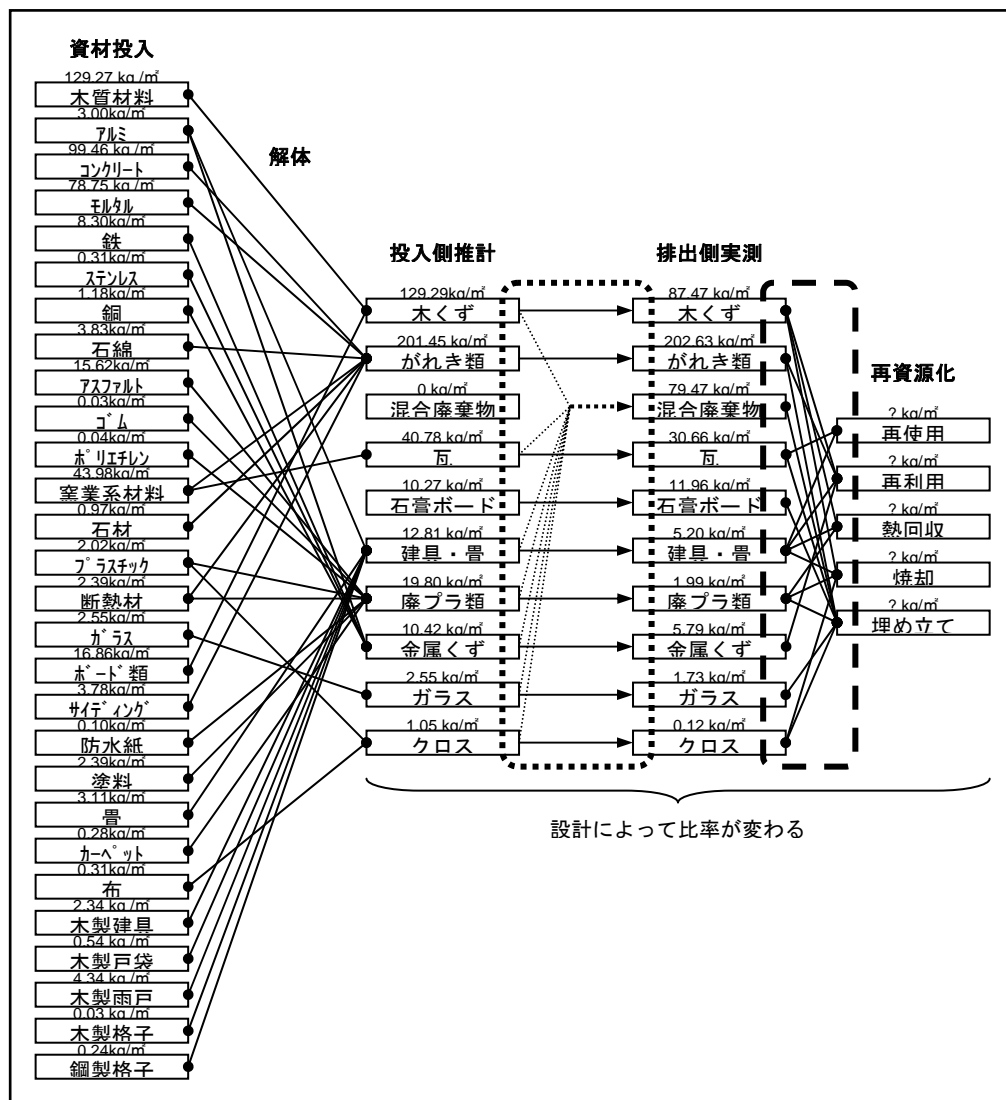


図-4 資材投入量と解体材排出量のフロー

さらに、マニフェスト伝票を用いて建設廃材と建築解体材の処理に関わる環境負荷量（主として輸送に係るエネルギー消費量）を算定する手法開発を行い、木造住宅のマニフェスト伝票を分析した。

これら成果は、物質循環算定プログラムとしてとりまとめた。

#### b) 資源循環社会モデル

木造建築物の廃棄物発生から再資源化までを定量的に把握する「資源循環社会モデル（マテリアルフローのシミュレーションモデル）」を開発し、都道府県レベルでの廃棄物発生抑制効果を検証するためのケーススタディを実施した。

このモデルは、各種統計データに基づき、当該地域における木質系廃棄物の発生量を推定し、その地域における処理施設の配置・移送距離・処理能力等から、各種技術・政策オプションによるシナリオ分析を行うものである。

ここでは、チップ化に偏らない再資源化ルートの開拓のため、集成材等として利用可能な高付加価値型再資源化の可能性を検討した。高付加価値型再資源化を含む多様なシナリオに対してシミュレーションを行った結果、現状の施設に加えて共同集積場を設け、適正な再資源化工場を設置することにより、再資源化率・移送距離（コスト、CO<sub>2</sub>排出量）等の面から高付加価値型再資源化シナリオが有効であることが確認された。本課題の成果は、技術・政策シナリオとあわせて廃棄物の発生を抑制する制度等を検討するための技術資料としてとりまとめた。

### 3.1.3 施策への反映

前述したように建設リサイクル法が完全施行され、特定建設資材の平成 22 年度目標再資源化等率が 95%と定められたが、建設発生木材はリサイクル率が低迷している。本研究の成果は、解体時における廃棄物の発生抑制について設計・計画段階で配慮した木造建築物を普及させるための制度を充実させるための基盤として活用されるほか、開発した技術の公表と技術指針の策定による成果の活用により限りある天然資源の有効利用の実現を促し、さらには健全な国土の創生や良質な地球環境の次世代への継承に繋がることが期待できる。具体的には、評価・検証ツールやデータベース（木質系解体材排出量原単位等）に関して、既に国や地方公共団体並びに学会等外部機関において引用されており、行政支援ツールとしての活用、また民間に対しては成果の実用化を促し広く技術が普及することなどが考えられる。

また、廃棄物問題については、総合科学技術会議において「ゴミゼロ型・資源循環型技術研究」が重点領域として挙げられ、重視すべき事項として「循環型社会変革シナリオ研究」が示されている。建築物のライフサイクルを通して、モノと情報の円滑な流れを促進する高度な資源循環社会システム（規格・法令・制度等を含んだ総合的概念）を構築していくことが今求められており、適正な政策立案に際して本研究成果が活用されることが期待される。

### 3.1.4 今後の課題

本研究成果において、当初の目標は概ね達成されたと考えられる。

今後の課題としては、①改修や増改築時に発生する解体材の分別と再資源化技術の開発、②有害物質を含んだ廃棄物の再資源化技術及び適正処理技術の開発などが挙げられる。これらについては、総プロ「持続可能な社会構築を目指した建築性能評価・対策技術の開発（SB 総プロ）」等、別課題において研究を計画あるいは実施しているところである。

尚、本研究は総プロ「循環型社会及び安全な環境の形成のための建築・都市基盤整備技術の開発」の中課題「木質系建築廃棄物発生抑制技術の開発」として平成 12 年度に着手したものであり、独立行政法人建築研究所との連携において実施したものである。成果の詳細については、下記報告書を参照されたい。



国土交通省総合技術開発プロジェクト「循環型社会及び安全な環境の形成のための建築・都市基盤整備技術の開発 木質系廃棄物発生抑制技術の開発 報告書, 平成 15 年 3 月, 国土交通省

## 成果の公表

- 1) 中島史郎, 宮村雅史, 槌本敬大: 「軸組構法住宅解体木材の再生利用に関する分析 (1) 機械手併用解体による解体木材の性状」, 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.454, 2002.4.
- 2) 清野新一, 中島史郎: 「住宅解体材を原料とした家畜敷料の製造・輸送に係る炭素排出量調査」, 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.455, 2002.4.
- 3) 中島史郎, 宮村雅史, 河合誠, 平岡真由美, 大橋好光: 「木造住宅の分別解体・再資源化に関する研究 その 1 分別・解体しやすい枠組壁工法建築物の施工・解体実験」, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.492, 2003.3.
- 4) 本橋健司, 中島史郎, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 清家剛, 名取発: 「木造建築物の分別解体・再資源化に関する研究 その 2 建築仕上げ材料の再資源化に関する現状調査」, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.493, 2003.3.
- 5) 宮村雅史, 中島史郎: 「木造住宅の分別解体・再資源化に関する研究 その 3 在来軸組構法の分別解体と情報化について」, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.494, 2003.3.
- 6) 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 清家剛, 古賀美宏: 「木造建築物の分別解体・再資源化に関する研究 その 4 築 22 年の実大住宅から排出される資材量と解体木材の品質」, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.495, 2003.3.
- 7) 古賀(井戸川)純子, 槌本敬大, 清家剛, 鈴木香菜子: 「木造建築物の分別解体・再資源化に関する研究 その 5 築 22 年の実大住宅における各資材の分別解体工数」, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.496, 2003.3.
- 8) 古賀(井戸川)純子, 清家剛, 名取発, 本橋健司: 「建築仕上げ材の再資源化に関する現状調査」日本建築学会技術報告集 No.17, 2003.6.
- 9) 有馬孝禮, 中島史郎, 有川智: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 1 研究プロジェクトの全体」日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 10) 宮村雅史, 中島史郎, 大橋好光: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 3 分別解体容易な枠組壁工法住宅の開発」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 11) 平岡真由美, 中島史郎, 河合誠: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 2 分別・解体・再資源化に配慮した軸組構法住宅の開発」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 12) 宮本康太, 渋沢龍也, 鈴木滋彦, 中島史郎, 槌本敬大: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 4 解体材における異物混入の定量的評価」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 13) 新野武憲, 安村基, 河合誠, 中島史郎: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 5 面材を DH 釘およびビスで緊結した枠組壁工法耐力壁の耐震性能」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 14) 山畑信博, 中島史郎, 小玉祐一郎: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 6 積み上げ方式による建築資材の原単位調査」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 15) 服部順昭, 小池航, 中島史郎, 小玉祐一郎: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 7 一次マニフェストによる建設廃棄物処理プロセスの調査」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 16) 中島史郎, 小玉祐一郎, 岡建雄, 服部順昭, 山畑信博, 野口貴文, 河合誠, 澤地孝男: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 8 物質循環算定ツールの開発」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 17) 菊原淳也, 小林均, 福田展淳, 野村希晶, 武藤正樹, 有川智, 野城智也: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その 9 建設発生木材の再資源化の現状と課題」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp1095-1096, 2003.9.

- 18) 武藤正樹, 小林均, 福田展淳, 野村希晶, 菊原淳也, 有川智, 野城智也: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その10 高付加価値型再資源化プロセスと技術・施策の視点」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp1097-1098, 2003.9.
- 19) 野村希晶, 有川智, 武藤正樹, 小林均, 福田展淳, 野城智也: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その11 リサイクルロジスティクスモデルの開発ーモデルの概要」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp1099-1100, 2003.9.
- 20) 有川智, 野村希晶, 武藤正樹, 小林均, 福田展淳, 野城智也: 「木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その12 リサイクルロジスティクスモデルの開発ー結果概要」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp1101-1102, 2003.9.
- 21) 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 清家剛, 鈴木香菜子, 村上泰司, 中島史郎, 本橋健司, 菊池雅史: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その1 本実験の目的と概要」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 22) 鈴木香菜子, 清家剛, 榎本伯一, 古賀(井戸川)純子, 槌本敬大: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その2 供試住宅の概要と各部構法」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 23) 村上泰司, 榎本伯一, 清家剛, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 本橋健司: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その3 各部位の分別解体方法と建設リサイクル法の位置づけ」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 24) 加納芳明, 古賀(井戸川)純子, 浅野精一, 槌本敬大, 澤石直史: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その4 木造住宅に投入されるプラスチック類の種類と数量の調査」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 25) 清家剛, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その5 ガラス, サッシ等の再資源化の可能性と分別解体工数」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 26) 古賀(井戸川)純子, 槌本敬大, 本橋健司, 清家剛, 鈴木香菜子: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その6 内部構成資材の分別解体結果」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 27) 金村千絵, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 本間深雪: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その7 外装材の分別解体結果」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 28) 古賀美宏, 坂本功, 槌本敬大: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その8 躯体の分別解体工数と解体木材の品質」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 29) 合川尚毅, 清家剛, 鈴木香菜子, 古賀(井戸川)純子, 槌本敬大: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その9 機械作業, 手作業併用解体の解体工数との比較」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 30) 大島正明, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子, 村上泰司, 榎本伯一: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その10 解体工事における安全確保の現状と安全確保に係る手間」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 31) 本間深雪, 金村千絵, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その11 各解体物件の発生資材量」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.
- 32) 榎本伯一, 村上泰司, 槌本敬大, 古賀(井戸川)純子: 「構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験 その12 解体による発生資材量の予測と評価」, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), 2003.9.  
(雑誌等)
- 33) 「行政研究における住宅リサイクルへの取組」, 住宅, Vol.50, 2001
- 34) 「建設廃棄物再資源化処理の現場から」, FINEX, Vol.13, No.77, 2001
- 35) 「環境的側面から見た建築物のライフサイクルマネジメント」, 建築コスト情報, 2002 冬, 2002
- 36) 「建築廃材のリサイクル」, 木材工業, Vol.57, No.5, 2002
- 37) 「木造建築物構成資材の再資源化の現状」, 公共建築, Vol.45, No.176, 2003

## 3.2 建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究

### 3.2.1 研究の概要

建設リサイクル法で指定されているコンクリート塊、建設発生木材等の特定建設資材廃棄物に比べ、混合廃棄物は再資源化・縮減率が特に低迷しその約9割（H14副産物実態調査では64%）が最終処分されており、循環型社会の実現をさらに目指す観点から、これらの発生抑制、再資源化を進めるための技術開発が求められている。しかし、市場原則のもとでの再資源化は既に限界に近づいており、廃棄物の再資源化を促進し、最終処分量の削減を実現するには、市場原則を補完するなんらかの施策の適用または社会システムの構築が必要となっている。

本研究では、混合廃棄物についてより一層の再資源化を促進し、最終処分へ回る量・率の低減を実現するため、混合廃棄物に含まれる資材のいくつかの品目について、経済性・環境負荷の観点から社会的に受容可能な再資源化の技術基準案を作成するとともに、再資源化シナリオのシミュレーションに基づく検討を通して、合理的な再資源化のための施策検討に資する技術情報を整理することを目的としている。

建設廃棄物は、産業廃棄物全体に占める比率が大きいものの、再資源化への取り組みが必ずしも進んでいるとはいえない。これは、解体工事等から排出される廃棄物が多種、少量かつ分散して発生するという状況に加えて、現状では廃棄物の排出側と受け入れ側、つまり解体・分別する側と再生利用する側の考え方に大きな乖離があることに起因している。すなわち、これまで各メーカー・業界団体等が個別に策定していた各種基準を、排出から再資源化まで一貫した枠組みで見直し、適正な技術基準を整備することが求められているのであり、これら技術基準を開発し、今後のリサイクル技術の方向性を示すことによって、民間におけるリサイクル技術の開発を促し、新たな産業創出に繋がることを期待できる。また、これら技術の普及を実現するために、廃棄物行政を担う地方自治体と連携し、当該地域の特性に応じた再資源化シナリオを適用することにより、再資源化・縮減率が向上し、結果として廃棄物・不法投棄処理等の行政コスト低減にも資することが期待できる。

本研究は、①建設廃棄物の再資源化推進のための技術基盤の整備（資源循環に関する技術基準の開発）と②再資源化技術の普及基盤の開発（建設廃棄物の再資源化シナリオの開発及びシナリオの評価技術の開発）からなり、アウトプットとして建設混合廃棄物の解体・回収・処理に関する「品質基準案」の作成および合理的な再資源化のためのシナリオ分析を行うものである。

### 3.2.2 研究の成果

#### (1) 建設混合廃棄物の再資源化のための技術基準

建設混合廃棄物の回収・処理の現状と先駆的な再資源化の取り組みについて、建築資材・部材メーカー団体、ゼネコン等排出事業者、中間処理事業者及び再資源化原料製造業者等へのヒアリング並びに調査を実施した。その結果に基づいて、合理的な再資源化のための技術課題並びに受入条件の整理を行い、「解体材の品質基準」について検討を行った。

再資源化における技術基準を表-4に示す。表は中間処理、処理工場での受入条件であり、いずれも他の材料が混入しないよう分別が求められ、その他分別後の保管・管理が必要な水濡れ不可の条件、現場での分別に加えさらなる作業が求められる汚れの除去、寸法の制限などの条件も必要となる。また、一部で新築端材のみの受入もあるが、今後、解体系廃材が再資源化原料として受け入れられるためには、当該建設資材であると確度高く判別できること、劣化などによる品質の低下がないことなどの条件が求められ、そのための技術基盤が必要となる。

これらの受入条件の設定理由は、処理設備のポテンシャルからくる制約、処理設備の故障要因の排除のため、再生品の品質保持のため、再生品に不要な原料の排除のため、再資源化のシステム上の都合、など様々であり、条件緩和の可能性があるものは多くない。このうち、処理設備のポテンシャルからくる制約、処理設備の故障要因の排除のため、再生品の品質保持のため、再生に不要な原料の排除のため、再資源化のシステム上の都合、については解消可能であり、今後の技術開発要件として挙げることができる。

現状は廃棄物の排出者にとって厳しい基準といえるが、基準のクリアに向けて生ずる排出側のコストに相当する経済的なインセンティブなどがあれば、再資源化への実効性は十分あると考えられる。

表-4 各建設資材の再資源化（中間処理、処理工場段階）における技術基準案

材料	せっこうボード			パーティクルボード		FRP	ビニル系床材
再資源化用途	せっこうボード原料	セメント原料	土壌改良材原料	燃料チップ化	RPF用チップ	セメント原燃料	ビニル系床材
処理、再資源化段階	中間処理	中間処理	中間処理	中間処理	中間処理	処理施設	処理施設
含水、水濡れ不可	水分10%以下		水濡れ不可	水分の多いもの不可	(特になし)		
他材料の分別	タイル、発泡スチロール不可	塩化ビニルクロス、ラス、プラスタ、金属不可	異物不可	金属等の異物を含まないもの		プラスチックの異物可(ハロゲン系は不可)	他の床材、異物、接着剤の付いたもの不可
新品(端材)のみ 自社、自協会製品のみ			新築端材のみ				新築端材のみ
汚れ不可						汚泥・汚物が付着していないもの	
寸法							
その他				CCAを含まないもの		移動式トイレについては要消毒	

材料	塩化ビニル管・継手			
再資源化用途	塩ビ管・継手原料			
処理、再資源化段階	中間処理	契約中間処理会社	リサイクル協力会社	メーカー工場
含水、水濡れ不可				
他材料の分別	異物不可	異物不可	異物不可	異物不可
新品(端材)のみ 自社、自協会製品のみ		協会団体の製品であること		協会団体の製品であること
汚れ不可	汚れ不可	汚れ不可	汚れ不可	汚れ不可
寸法	長さ95cm以下	長さ95cm以下	長さ95cm以下	長さ95cm以下
その他				

注) 表中の網掛け部分は、一定以下であれば異物混入を認めるなどの条件緩和が可能であるものを示す。今回の調査では中間処理工場を設け、一部の分別等の作業を処理工場で分担する例がみられた。

(2) 再資源化技術普及のためのシナリオ分析

全都道府県を対象として資源循環への取り組みに関する調査を行い、廃棄物処理・再資源化に関わる社会ニーズ及びその地域差について把握するとともに、再資源化にかかる環境負荷、経済的社会的適合性を考慮しながら、資材の特性に応じた再資源化シナリオのシミュレーションを実施した。これらの結果をもとに技術普及のための社会基盤について検討を行った。

経済的インセンティブに関連して、塩ビ管・継手協会が行っている二次輸送費の支援をケースとした再資源化シミュレーションを行った。開発したモデルは、リサイクルシナリオ、輸送距離、処理コスト等を入力し、マテリアルリサイクル率、最終処分量、環境負荷(CO<sub>2</sub>発生量)等を出力する。ここでは首都圏を想定した各種条件を設定し、システムダイナミクスに基づくシミュレータ STELLA 上に実装した(図-5)。

各種シミュレーションの結果(図-6)、経済的インセンティブに繋がる協会の支援が、マテリアルリサイクル率の増加に寄与していることを定量的に確認することができたが、条件によってその効果に違いがあることも明らかとなった。また、マテリアルリサイクル率の上昇とともに環境負荷も増加しており、輸送距離と施設配置の問題等とあわせて、再資源化における現実的な問題点が指摘された。

以上により、今後の再資源化技術及び技術導入時の開発要件が明らかになるとともに、普及に向けた再資源化シナリオの検証が可能となった。

3.2.3 施策への反映

建設リサイクル法にかかる関連施策に対応して、特に建設混合廃棄物の排出量削減目標の達成(平成22年度において平成12年度比で50%削減)に向けた活用が期待される。

技術基準案は、建築物の解体、分別、回収、再生という建設廃棄物の再資源化に関わる各段階をつなぐ仕組みの提案・普及に繋がり、建設資材の資源循環について適切な技術開発・製品化が行われ、建設産業におけるリサイクルの拡充が図られるとともに、今後の建築物大量更新の時期に向けて建設リサイクルに関連する新規産業の創出も期待できる。

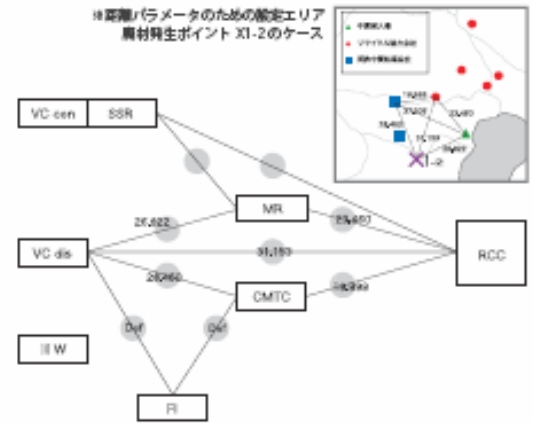


図-5 モデル(距離パラメータの設定例)

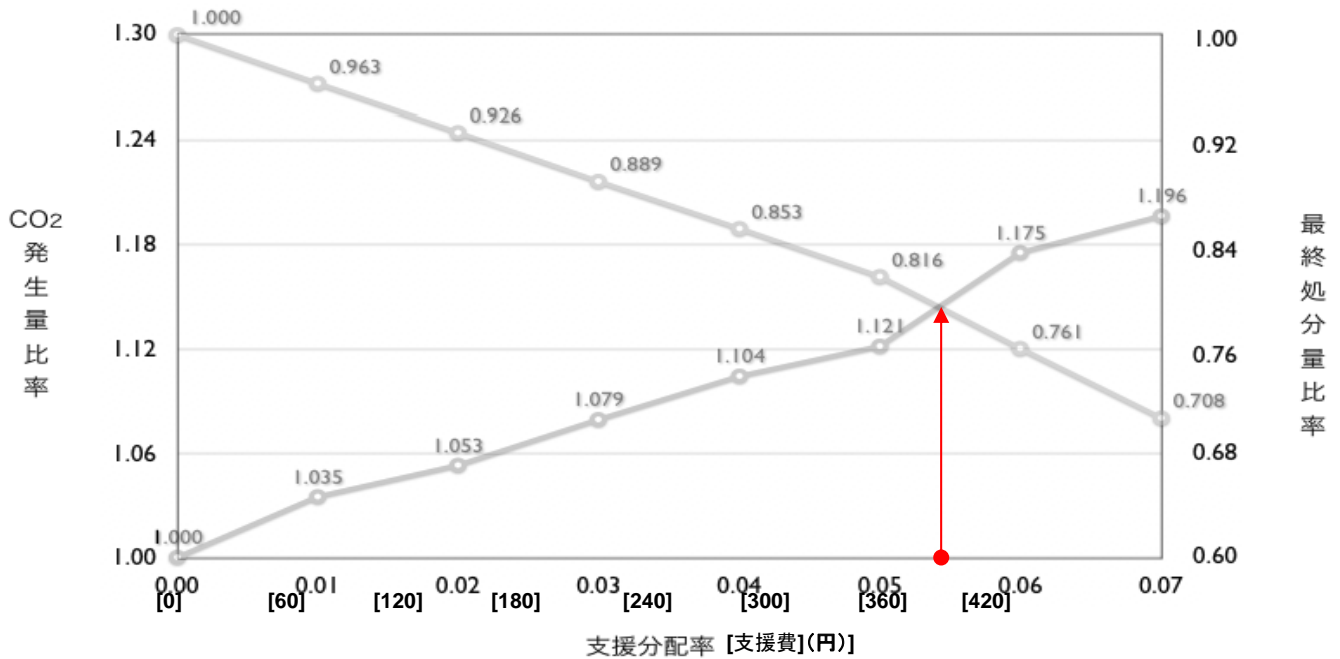


図-6 経済的インセンティブ最終処分率と環境負荷の関係

### 3.2.4 今後の課題

本研究成果において、当初の目標は概ね達成されたと考えられる。

しかしながら、再資源化シナリオ実現のための技術的条件／経済的条件の更なる明確化、再生資材の用途に応じた循環型建築材料の規格・基準については、本研究で得られた受入条件の設定理由等を詳細に分析し、今後の再資源化技術及び技術導入時の開発要件を明らかにすることが必要となる。更に、現状での再資源化における最大の課題は経済性にあるといえ、今後は、受入条件のみならず、受入条件のクリアにむけて生ずる排出側のコスト、受入側の条件解消により生ずるコスト等の検討が必要となる。

また、建材製造業のみならず他産業とこれらの受入条件等の情報交換をすることで、資源の有効利用の推進が期待できる。今後、広範な情報分析及び集約が望まれる。

尚、本研究は、総プロ「持続可能な社会構築を目指した建築性能評価・対策技術の開発（SB総プロ）」のLCW評価手法の開発において、発展的に継続しており、成果の活用がなされる予定である。

### 成果の公表

- 1) 野村希晶, 有川智, 福田展淳, 小林均: 解体木質材の地域リサイクルシミュレーションモデルの構築, 日本建築学会構造系論文集, 第587号, pp.31-38, 2005.1.
- 2) 椎野潤, 高橋暁他: ICタグ利用による建設ロジスティクスの研究 その1 マテリアル循環の現状および課題の抽出, 日本建築学会学術講演梗概集 (F-1), pp.1423-1424, 2005.9.
- 3) 椎野潤, 高橋暁他: ICタグ利用による建設ロジスティクスの研究 その2 インフィル資材に対するICタグ読み取りの基礎実験, 日本建築学会学術講演梗概集 (F-1), pp.1425-1426, 2005.9.
- 4) 椎野潤, 高橋暁他: ICタグ利用による建設ロジスティクスの研究 その3 サプライチェーンにおけるICタグ実用化の基礎実験, 日本建築学会学術講演梗概集 (F-1), pp.1427-1428, 2005.9.
- 5) 高橋暁, 有川智, 武藤正樹, 古賀純子他: LCW算定標準に関する研究 その1 環境負荷積算の構想, 日本建築学会学術講演梗概集, 2006.9.
- 6) 古賀純子, 高橋暁, 有川智, 武藤正樹他: LCW算定標準に関する研究 その2 積算標準書式に基づくLCW算定の基礎的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2006.9.
- 7) 武藤正樹, 高橋暁, 有川智, 古賀純子他: LCW算定標準に関する研究 その3 廃棄物分別シナリオ立案と妥当性検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2006.9.

## 4. 静脈システム形成に関する技術

### 4.1 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究

#### 4.1.1 研究の概要

都市における生ごみ等の有機系廃棄物を、台所に設置したディスポーザーで粉砕して下水道管渠に排出し、下水処理場でメタンガスや有機肥料として回収することにより、ごみ収集時の臭気・害虫の発生やカラスによる被害、廃棄物処分場の逼迫等の深刻な都市問題を抜本的に改善することが可能となる。また、生ごみ搬出労働からの解放は、高齢化社会を迎える我が国にとって有効な福祉対策となる。さらにディスポーザーという新たな家電市場が生まれることにより、相当の需要創出および雇用創出が期待できる。

しかしながら、ディスポーザーの導入は、下水道施設が能力的に対応可能か否か、合流式下水道からの生ごみの排出の水環境への影響等が懸念される。そこで、環境負荷の低減、循環型社会システムの構築や高齢者福祉に資する最適な有機系廃棄物処理・循環システムの確立を目指して、ディスポーザー排水を下水道で収集する場合やディスポーザーを戸別に設置した分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）を構築する場合等、導入の形態・規模に応じた導入基準や計画手法を提案することを目的としている。

本研究は、①下水道による有機系廃棄物収集・処理技術に関する研究、②分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）の総合的計画手法に関する研究及び③ディスポーザー導入による環境影響等の総合評価に関する研究からなり、下水道とディスポーザーの組み合わせによる生ごみ収集・処理を計画する際の導入検討方法及び総合評価手法並びに分散型静脈系システムに関する総合計画手法及び構成部位の性能評価手法を構築・提案するものである。

#### 4.1.2 研究の成果

##### (1) 下水道による有機系廃棄物収集・処理技術に関する研究

ディスポーザー排水を下水道で収集した場合、破砕された生ごみの管渠への堆積、下水処理場での負荷の増大、合流式下水道における公共用水域への生ごみの排出等が問題となるため、これらの影響に関する対策技術及び評価手法につき調査を行い、従来のごみ収集・焼却処理方法に代わり下水道とディスポーザーの組合せによる生ごみ収集・処理を計画する際の導入技術基準を提案した。

##### a) 米国におけるディスポーザー普及率及び管渠維持管理

アメリカの都市を対象にディスポーザー普及率と管渠の清掃頻度の関係を分析し、ディスポーザー導入による下水道への影響と維持管理実態を把握した。ディスポーザー普及率のデータは、都市圏毎の普及率が分かる米国統計局の住宅統計（American Housing Survey）から入手し、また、ディスポーザー普及率と下水道管渠維持管理のデータの両方が揃う都市（12箇所）を対象とし清掃頻度の関係を分析した。特異値と判断されたデンバー市については、ヒアリングを行い維持管理の詳細な実態を把握した。

##### b) ディスポーザー導入による生ごみの移行量及び負荷量原単位

北海道歌登町のディスポーザー設置地区と未設置地区において生ごみ量の相違を調査し（表-5）、ディスポーザーに投入される生ごみ量を推定した。また、歌登町内のディスポーザー設置済み家庭に協力を依頼し、生ごみを全量回収してディスポーザー排水を作成して水質分析を行うことにより、ディスポーザー排水の汚濁負荷量原単位を把握した。

表-5 ごみ量調査結果（可燃ごみ量及び生ごみ量）

調査地区	ごみステーション 利用者数(人)	可燃ごみ量 (g/人・日)	生ごみ混合率 (%)	生ごみ含水率 (%)	生ごみ量 (g/人・日)				
デスポーザー 設置地区	1	79	449	27	74	120			
	2	118	484	[524]	29 [44]	72 [72]	140 [231]		
	3	112	444	[379]	29 [55]	73 [77]	127 [208]		
平均	-	461	[453]	28 [49]	73 [74]	130 [220]			
デスポーザー 未設置地区	1	18	596	37	75	218			
	2	22	652	37	69	242			
	3	20	713	47	66	335			
平均	-	-	655	-	40	-	70	-	266

注) []内は、デスポーザー設置前の数値を示す。

c) 合流式下水道越流水への影響予測及び下水道施設への影響検討方法

合流式下水道へのデスポーザー導入の影響について、2つのモデル排水区を設定しデスポーザーを導入した場合に下水道からの放流負荷がどの程度増加するか推定した（表-6）。A、B排水区の結果からその影響の大きさは排水区によって大きく差があるものの、デスポーザー導入により雨天時の汚濁負荷量は増加することが分かり、合流式下水道を採用している地区では、デスポーザーによる負荷増加に対応した合流改善対策が図られていない段階でのデスポーザーの導入は避けるべきと考えられた。下水道施設への影響については、歌登町の管渠や処理場を対象に行われた現場調査の結果を踏まえ影響検討方法を構築した。

表-6 下水道から放流される雨天時汚濁負荷量<sup>\*1</sup>のデスポーザーの有無による比較

	水質項目	デスポーザー 無 (t/年)	デスポーザー 有 (t/年)	増加率 (%)
A排水区 <sup>*2</sup>	BOD	21.4	25.2	17.8
B排水区 <sup>*2</sup>	BOD	43.5	61.3	40.9
福岡市（中部処理区） <sup>*3</sup>	COD	680.7	979.2	43.9
福岡市（西部処理区） <sup>*3</sup>	COD	18.0	21.9	21.7

\*1 雨天汚濁負荷量は（雨天時越流水+簡易処理水+雨天時高級処理水）の汚濁負荷量

\*2 参考資料4

\*3 「デスポーザー導入による下水道施設への影響に関する調査研究報告書」、2001年3月下水道技術開発連絡会議、  
(財)下水道新技術推進機構

(2) 分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）の総合計画方法及び性能評価方法

デスポーザー排水を直接下水道に投入できない場合等における生ごみの効率的な処理と、この生ごみ処理の過程で発生する資源の有効利用手法に関する総合的な計画手法と、分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）を構成する部位に関する性能評価手法を開発した。

a) 分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）の総合計画手法

都市部におけるデスポーザー排水処理システムについては、既往データを収集・分析を中心として研究を進めたが、農村部における生ごみ処理に関するデータが乏しかたため、茨城県の農村地域を対象として、フィールド実験を実施し、デスポーザー使用前後の生ごみの組成、発生量、台所排水の水量・濃度、台所におけるゴミ排出行動の変化等に関して詳細な調査を実施した。

これらの基礎的データに基づき、分散型生ごみ処理システムのLCC及びLCCO<sub>2</sub>に関する総合的な評価手法を構築した。

b) 分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）の性能評価方法

分散型生ごみ処理システムは、①生ごみを破砕するデスポーザー、②破砕された生ごみを台所排水とともに搬送する排水配管システム、③破砕された生ごみ+台所排水を下水道に排出できる程度まで処理する排水処理

システムによって構成される。

本研究においては、上記①～③を組み合わせたシステム全体の性能評価手法を構築するとともに、上記①については破碎性能、上記②については、排水性能、③については排水処理性能を中心として、その性能を評価するための手法を開発した。

### (3) ディスポーザー導入による環境影響等の総合評価に関する研究

ディスポーザーの導入により生ごみ処理における地球温暖化ガス、エネルギー、処理コストの削減が期待できるが、下水処理施設側では温暖化ガス、エネルギー、コストの増大につながり、地域社会全体で見た場合には社会的コストが増加する可能性があり、合流式下水道から雨天時に未処理で排出される生ごみの水環境への影響も懸念されたため、ディスポーザーを利用した生ごみ収集システムによる環境負荷やコストを総合評価する手法及び基準を開発した。

#### a) ディスポーザー使用に伴う住民の利便性便益の評価手法

歌登町におけるディスポーザー導入による住民の利便性向上につき、仮想評価法（CVM; Contingent Valuation Method）を適用して経済評価を行い、利便性便益を含むディスポーザー導入に関わる費用効果分析の手法を提示した。歌登町における調査では、町営住宅（全戸に設置）と一般住宅（希望者のみ公募で設置）の両方を対象として、支払意思額（WTP; Willingness To Pay）を計測した。

#### b) ディスポーザー導入のライフサイクルアセスメントによる評価手法

ディスポーザー導入による下水道システム、ごみ処理システム及び住民生活への影響を、環境面から総合的に評価するために、ライフサイクルアセスメントによる評価手法を構築し、北海道歌登町を検討対象地域としてケーススタディを実施した。特に、歌登町におけるディスポーザー導入による管渠清掃時の環境負荷増加を推定（図-7）するために、北海道内の自治体を対象に管渠清掃に関するアンケート調査を行い、歌登町に適用するための高圧洗浄車・揚泥車・給水車の直接原単位（燃料消費量）及び間接原単位（製造）を求めた。

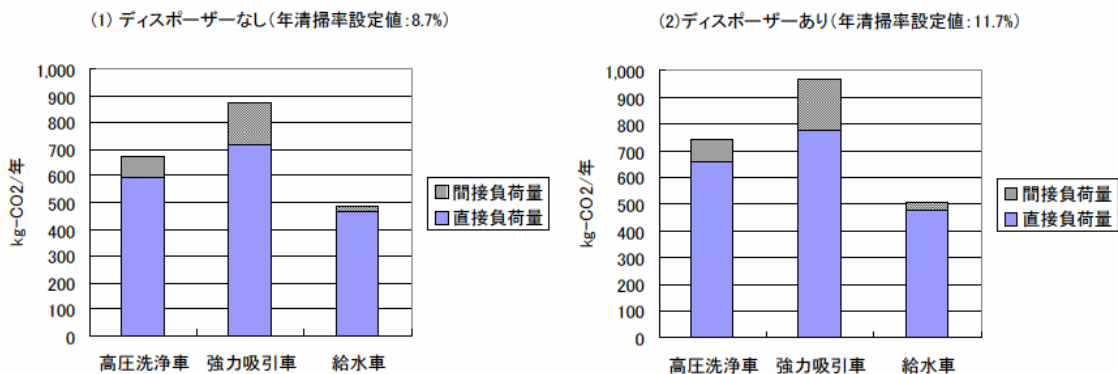


図-7 歌登町におけるディスポーザー導入による管渠清掃のLCA評価

(対象管渠:塩ビ管Φ200mm, 延長 13,210m, 堆積深 23.5%, 清掃車輛の札幌市からの往復移動含む.)

### 4.1.3 施策への反映

ディスポーザー排水の下水道施設による収集及び処理に関しては、生ごみ移行量及び負荷量原単位を把握し、また、下水道施設への影響検討方法及びライフサイクルアセスメント等による総合的な評価手法を構築した。これらの成果は、ガイドライン「ディスポーザー導入時の影響判定の考え方」（国土交通省下水道部・国土技術政策総合研究所下水道研究部、平成17年7月）に反映され、下水道によるディスポーザー導入の影響検討に活用される。

分散型静脈系システムに関しては、分散型生ごみ処理システムの総合計画手法及び分散型生ごみ処理システムを構成する部位の性能評価方法を構築し、これらの成果が「自立循環型住宅への設計ガイドライン」を通して住宅の計画・設計に活用されるとともに、性能評価手法の有効活用による適切なシステムの普及促進につながる。



#### 4.1.4 今後の課題

研究成果において、当初の目標は十分達成されたと考えられる。

ディスポーザ排水の下水道施設による収集及び処理に関しては、ガイドラインが策定されたことを受け、今後実施される関連調査研究及び導入影響評価につきフォローしていくことが課題として挙げられる。また、分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）に関しては、街区・地区レベルにおける公共的サブインフラとしての生ごみ処理システムについても検討していくことが課題としてあげられる。

#### 成果の公表

- 2002年9月、資源循環型住宅システムの開発について（浄化槽地域の資源循環の可能性と評価）、梅原敏正・山海敏弘、日本建築学会、D-1分冊 489～490
- 2002年9月、ディスポーザ組込型住宅における浄化槽処理水及び雨水のリサイクルシステム、日本水環境学会、梅原敏正・山海敏弘、3-D-16-4 501
- 2002年9月、生ごみディスポーザ処理システムと環境保全、山海敏弘、日本水環境学会
- 2002年9月、超高層集合住宅用ディスポーザ排水配管システムの性能検証手法に関する研究、日本建築学会、山海敏弘ほか No.559 57-65
- 2003年9月、資源循環型住宅システムの開発について－浄化槽地域での資源循環実証実験－、日本建築学会大会学術講演梗概集、梅原敏正・山海敏弘、D-2 環境工学II P189
- 2003年10月、生活排水対策としての浄化槽の性能試験による検証・評価、山海敏弘、水環境学会シンポジウム講演集、P60
- 2004年8月、資源循環型住宅システムの開発 その3 要素技術と性能評価の概要、山海敏弘ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1分冊、P519
- 2004年8月、資源循環型住宅システムの開発研究 その4 節水器具による環境負荷低減効果及び経済効果の試算、山内大助・山海敏弘ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1分冊、P521
- 2004年8月、資源循環型住宅システムの開発研究 その5 家庭用ごみ処理設備の負荷削減効果の検証、竹崎義則・山海敏弘、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1分冊、P523
- 2004年8月、資源循環型住宅システムの開発研究 その6 雨水・再利用水の水質評価、山海敏弘ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1分冊、P525
- 2004年8月、住宅用ディスポーザ導入による水環境への影響評価、山海敏弘ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1分冊、P531
- 2004年8月、パッシブクーリングシステムに関する研究 屋上緑化の熱的検証と物質移動係数の算出、山海敏弘ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2分冊、P347
- 2005年9月、資源循環型住宅システムの開発研究 その7 水まわり、節水型機器の負荷削減・経済効果の検討、山内大助・山海敏弘ほか、建築学会大会学術講演梗概集、2005年、D-1分冊、p.471
- 2005年9月、資源循環型住宅システムの開発研究 その8 屋上緑化への再利用水の適用、竹崎義則・山海敏弘ほか、建築学会大会学術講演梗概集、2005年、D-1分冊、p.473
- 2005年9月、資源循環型住宅システムの開発研究 その9 屋上緑化利用水の水質管理、中村伸也・山海敏弘ほか、建築学会大会学術講演梗概集、2005年、D-1分冊、p.475
- 2005年9月、屋上緑化・屋根散水の省エネルギー効果に関するシミュレーション、井上賢治・山海敏弘ほか、建築学会大会学術講演梗概集、2005年、D-2分冊、p.633
- 2005年9月、資源循環型住宅システムの開発 常時灌字型屋根緑化の熱的検証と物質移動係数、小栗健・山海敏弘ほか、建築学会大会学術講演梗概集、2005年、D-2分冊、p.635
- 2005年7月、ディスポーザによる分散型生ごみ処理システムに関する実態調査（農村地区に設置した分散型生ごみ処理システム）、山海敏弘、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、Vol.2005, No.2, Page713-716
- 2005年7月、資源循環型住宅システムの開発研究 屋上緑化利用水の水質管理、中村伸也・山海敏弘ほか、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、Vol.2005, No.3, Page1569-1572

- 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 国土技術政策総合研究所下水道研究部『ディスポージャー導入による影響評価に関する研究報告—ディスポージャー導入時の影響判定の考え方—』, 国総研資料 No.222 (2005)
- 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 国土技術政策総合研究所下水道研究部, 北海道建設部公園下水道課, 歌登町『ディスポージャー導入社会実験に関する調査報告書』, 国総研資料 No.226 (2005)
- 吉田敏章, 山縣弘樹, 森田弘昭「北海道歌登町におけるディスポージャー導入の費用効果分析に関する研究」環境技術, 32(12), pp62-71 (2003)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 斎野秀幸, 森田弘昭「北海道歌登町におけるディスポージャー排水の負荷原単位に関する調査」, 下水道協会誌, 41(504), pp134-146 (2004)
- 吉田綾子, 行方馨, 高橋正宏, 森田弘昭「北海道歌登町におけるディスポージャーの導入による下水管渠への影響調査」, 下水道協会誌, 42(514), pp153-164 (2005)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 高橋正宏, 森田弘昭「北海道歌登町におけるディスポージャー導入による下水処理場への影響評価」, 下水道協会誌, 42(517), pp103-114 (2005)
- 山縣弘樹, 吉田綾子, 高橋正宏, 森田弘昭「北海道歌登町における下水管渠清掃時の環境負荷量に関する研究」, 下水道協会誌, 43(525) (2006) (掲載予定)
- 森田弘昭「米国におけるディスポージャー実態調査報告」, 土木技術資料, 45(3), pp12-13 (2003)
- 山縣弘樹, 吉田敏章, 浜田知幸, 野口綾子, 森田弘昭, 三谷哲也「下水道へのディスポージャー導入施策の費用効果分析」土木技術資料, 45(10), pp30-35 (2003)
- 野口綾子, 藤生和也「家庭系生ごみ処理におけるディスポージャー利用の可能性—北海道歌登町ディスポージャー導入社会実験の事例—」月刊廃棄物, 29(346), pp18-24 (2003)
- 吉田綾子, 藤生和也「北海道歌登町におけるディスポージャー導入社会実験について」生活と環境, 49(11), pp33-36 (2004)
- 吉田綾子, 山縣弘樹「ディスポージャー導入時の環境評価の試算事例」土木技術資料, 47(2), pp40-45 (2005)
- 吉田綾子「北海道歌登町におけるディスポージャー導入の社会実験—ディスポージャーに投入される厨芥に関する調査事例—」都市清掃, 59(266), pp127-131 (2005)
- 吉田敏章, 濱田知幸, 山縣弘樹, 吉田綾子「「ディスポージャー社会実験報告」—負荷原単位調査—」, 土木技術資料, 48(4), pp40-45 (2006)
- 吉川史江, 野口綾子, 森田弘昭「ディスポージャー排水を含む汚水の性状把握」第40回下水道研究発表会講演集, pp231-233 (2003)
- 山縣弘樹, 野口綾子, 森田弘昭「米国におけるディスポージャー普及率と下水管渠清掃頻度の関係の考察」, 第40回下水道研究発表会講演集, pp246-248 (2003)
- Noguchi, A., Hamada, T., Yamagata, H., Morita, H. 'Impacts of Food Waste Disposers on Sewage System', Asian Watergual 2003 IWA Asia-pacific regional Conference proceedings, p75 (2003)
- 山縣弘樹, 吉田敏章, 濱田知幸, 野口綾子, 森田弘昭, 三谷哲也「生ごみの分別手段としてのディスポージャーの効果および利便性評価」第31回環境システム研究論文発表会講演集, pp357-363 (2003)
- Yoshida, A., Hamada, T., Yamagata, H., Fujiu, K. 'Impacts of Food Waste Disposers on Sewage Systems', Proceedings of the 9th Japanese-German Workshop on Waste Water and Sludge Treatment (Technical note of National Institute for Land Infrastructure Management No.186) pp69-74 (2004)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 高橋正宏「ディスポージャー導入が下水道システムへ及ぼす影響」第41回下水道研究発表会講演集, pp155-157 (2004)
- 浜田知幸, 吉田綾子, 高橋正宏「厨芥由来管渠内堆積物の掃流特性に関する研究」第41回下水道研究発表会講演集, pp158-160 (2004)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 高橋正宏, 森田弘昭「ディスポージャーの導入が下水道システムに及ぼす影響」第4回環境技術学会研究発表会予稿集, pp80-81 (2004)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 高橋正宏「ディスポージャー使用に係わる原単位調査」第39回日本水環境学会年会講演集, p359 (2005)

- Yoshida, A., Yamagata, H., Takahashi, M., Morita, H. 'Impact of the Introduction of Garbage Grinders on Sewage Systems', ASPIRE220, 5P5, July, 2005, Singapore
- 山縣弘樹, 岡本順, 森田弘昭「ディスポーザー導入の環境影響評価」第42回下水道研究発表会講演集, pp160-163 (2005)
- 芥川至, 吉田綾子, 藤生和也「ディスポーザー排水の性状変化に関する基礎的研究」第42回下水道研究発表会講演集, pp163-165 (2005)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 藤生和也「ディスポーザー排水の汚濁負荷原単位に関する調査事例」第42回下水道研究発表会講演集, pp166-168 (2005)
- 田本典秀, 吉田綾子, 山縣弘樹, 藤生和也「北海道歌登町におけるディスポーザー導入による下水処理場への影響調査」第42回下水道研究発表会講演集, pp172-174 (2005)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 吉田敏章, 森田弘昭「ディスポーザーに投入される厨芥に関する調査」第5回環境技術学会研究発表会予稿集, pp57-58 (2005)
- 吉田綾子, 浜田知幸「ディスポーザー排水の原単位と下水管渠への影響」第13回衛生工学シンポジウム論文集, pp23-26 (2005)
- 吉田敏章, 山縣弘樹「社会システムへのディスポーザーの影響」第13回衛生工学シンポジウム論文集, pp27-34 (2005)
- 吉田敏章, 山縣弘樹, 吉田綾子, 藤生和也, 森田弘昭「北海道歌登町におけるディスポーザー導入の経済性評価に関する研究」第33回環境システム研究論文発表会, pp21-26 (2005)
- 吉田綾子, 山縣弘樹, 藤生和也, 酒井憲司, 森田弘昭「ディスポーザーの使用実態および投入厨芥に関する調査」第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp270-272 (2005)

## 4.2 静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究

### 4.2.1 研究の概要

将来の我が国経済社会の持続的な発展のため、海運等を活用した低コスト、省エネルギー、境負荷の静脈物流ネットワークを形成する必要がある。特に廃棄物の海上輸送については、現在比較的小型の船舶による輸送が行われているが、拠点港を設けて大型船で輸送することにより、輸送コストの削減が期待される（リサイクルポート構想：国土交通省港湾局）。

本研究では、わが国における静脈物流ネットワーク構築のための基礎的な知見とすることを主眼に、(1)現在の廃棄物の広域輸送の実態把握と静脈物流ネットワーク対象品目の選定、(2)廃棄物の広域的な流動量に関する推計モデルの構築、ならびに(3)海上輸送を活用した静脈物流ネットワーク構築の効果の検証を行った。

### 4.2.2 研究の成果

#### (1) 廃棄物の広域輸送の実態把握と静脈物流ネットワーク対象品目の選定

主要な廃棄物について、「廃棄物の発生→中間処理→最終処理→再利用、最終処分」の一連の処理の過程を品目別に整理し、またこれらの過程における廃棄物の物理的な移動状況（広域輸送の状況、海運利用状況）について把握を行った。また、広域移動を行う要因と、海運利用の要因についても把握した。

広域輸送の適性に関する要因は、廃棄物の処理、処分能力による。すなわち現状では廃棄物の適切な処理を行える業者の存在や、管理型の最終処分場の存在、また処理された廃棄物の再利用を行う業者の存在がその主な要因となっている。一方近年ではアジア地域を中心に海外への輸出需要も高まりつつある。海上輸送の適性については臨海部産業との関連（臨海部関連産業による廃棄物の発生ないしは再利用の受け入れ）、貨物形態（大ロット、大量輸送）があることが分かった。この考察を踏まえ対象品目を表-7の4つに分類した。

表-7 海上輸送ネットワークの適性からみた廃棄物分

	海上輸送あり	海上輸送なし
広域輸送あり	分類A	分類C
広域輸送なし	分類B	分類D

Aは、臨海部の産業から排出される廃棄物を他地域の臨海部産業が受け入れる場合、または廃棄物の輸出を行うものが主である。Bは近距離（例えば東京湾内）において輸送が行われるものである。Cは広域輸送の実績はあるが海運利用率が低いものであり、例えば内陸で分散的に発生する廃棄物は、陸送により受け入れ先へ輸送される。Dは主に地域内において処理・処分されるものである。これらのうち、Aと判定された品目を、海上輸送による廃棄物輸送のネットワーク化による輸送コスト削減の可能性のあるものとして選定した。表-8にこの具体的品目と適正があると判断された要因を示す。

#### (2) 廃棄物の広域流動量推計モデルの構築

今後静脈物流ネットワークを形成するためには、廃棄物の広域的な流動量の予測が必要となる。このため、廃棄物の品目別に、廃棄物の広域流動量を推計するモデルの構築を試みた。

表-8 表-7 において分類Aとされた廃棄物の品目とその要因

廃棄物品目		広域輸送の適性があると考えられる要因	海運利用の適性があると考えられる理由
汚泥	最終	・中間処理後に再利用されるものは、地域内での処理の可能性。 ただし最終処分については、管理型処分場への広域移動の可能性。	・肥料やレンガ等に再利用される場合が多く、利用者も農業や建設業等であるため海運利用の可能性小。ただし臨海部の管理型最終処分場へ搬入する場合には海運利用の可能性。
鉱さい(スラグ)	中間	・発生源である鉄鋼業から受入先のセメント工場への広域移動の可能性。	・関連企(鉄鋼業、セメント工場)が臨海部に立地し、一定量の輸送量が発生する。また再生利用としての輸出もあることから海運利用の可能性。
	最終		
燃え殻(石炭灰等)	中間	・発生源である鉄鋼業から受入先のセメント工場への広域移動の可能性。	・関連企業が臨海部に立地し、また一定の輸送量が発生することから海運利用可能性。
	最終	・最終処分にまわるものは、管理型処分場への広域移動の可能性。	
古紙(紙くず)	最終	・直納業者から地域内への紙・パルプメーカーへのトラック輸送が中心であるが、輸出実績があり、アジア向けの需要増加が見込まれている。	・臨海部の製紙メーカー間での再利用、または輸出について海運利用の可能性。
金属くず(鉄スクラップ)	最終	・処理業者から地域内への鉄鋼・非鉄金属業へのトラック輸送が想定され広域輸送の可能性小。 ただし輸出実績があり、アジア向けの需要増加が見込まれている。	・輸出として海運利用の可能性。
ばいじん	中間	・発生源である鉄鋼業や石炭火力発電所から受入先のセメント工場への広域移動の可能性。	・関連企業が臨海部に立地し、また一定の輸送量が発生することから海運利用可能性大。
	最終	・最終処分について処分場への広域移動の可能性。	
がれき類(建設廃材)	最終	・処理業者から地域内への鉄鋼・非鉄金属業へのトラック輸送が広域輸送の可能性小。 ・輸出需要が見込まれている。	・輸出として海運利用の可能性。

目的変数は地域間（都道府県間）の廃棄物毎の地域間流動量であり、説明変数は、①都道府県別の廃棄物排出量、②同じく処理能力（中間処理施設能力、最終処分場受け入れ残余量）、ならびに③地域間の距離、である。モデル形は重回帰分析とし、廃棄物種類ごとに、また安定型、管理型に分けて構築した。その結果説明力が良好であったケースが見られた一方、説明力の低い廃棄物種類が多く見られるという結果となった。これは導入した説明変数が少なかったためであるが、入手可能な統計データに制約があったことがその一因である。今後は、単純な重回帰分析ではなく、廃棄物処理のプロセス、実態を十分に踏まえたモデルの構築が必要である。

### (3) 海上輸送を活用した静脈物流ネットワーク構築の効果の検証

リサイクルポート構想においては、海上輸送ネットワークを活用した静脈物流の効率化（輸送コストの削減）が政策目的として示されているが、その際の効果については検証されていない。先に適正があると判断された品目のなかから、日本から中国への金属くずの輸出を対象としたケーススタディによりこの効果の検証を行った。ネットワーク化の概念を図-8に示す。現在は個別に海上輸送が行われているが、拠点港を設けることで大型船導入による海上輸送コスト削減が期待できる。この一方で拠点港での積み替えコストが発生し、ネットワーク化の効果はこれらのトレードオフによって決定される。このため拠点港は、積み替えコストが最小となるよう、輸送先までの貨物量が最も多い港湾とすることが必要である。

ネットワーク化の効果についてケーススタディ（金属くず、対中国輸出）による試算を行った。使用した貨

物量データは税関統計（平成 16 年）である。現在は図-9 における各港湾から各々輸出されているが、全国の 8 ブロックにそれぞれ拠点港を設ける場合を想定した。輸送船舶は、拠点港までの輸送は国内輸送で現在多く用いられている 499GT クラスとした。また、拠点港から先の輸送における船舶は、拠点港で既存港湾施設が活用できる最大の船型とし、新規投資を行わないことを前提とした。表-9 にネットワーク化によるコストの変化（年間値）を示す。3 大湾地域以外では輸送ネットワーク導入効果（輸送コスト削減）があることが確認された。3 大湾地域でコスト増となっているのは各港湾の貨物量が多く現状で既に比較的大型の船舶が用いられており、拠点化による海上輸送コスト削減の効果よりも、積み替えコストが上回るためである。この一方で地方港における大型の港湾施設を用いれば施設の有効活用を図りながら輸送の効率化が可能であることが示唆される。

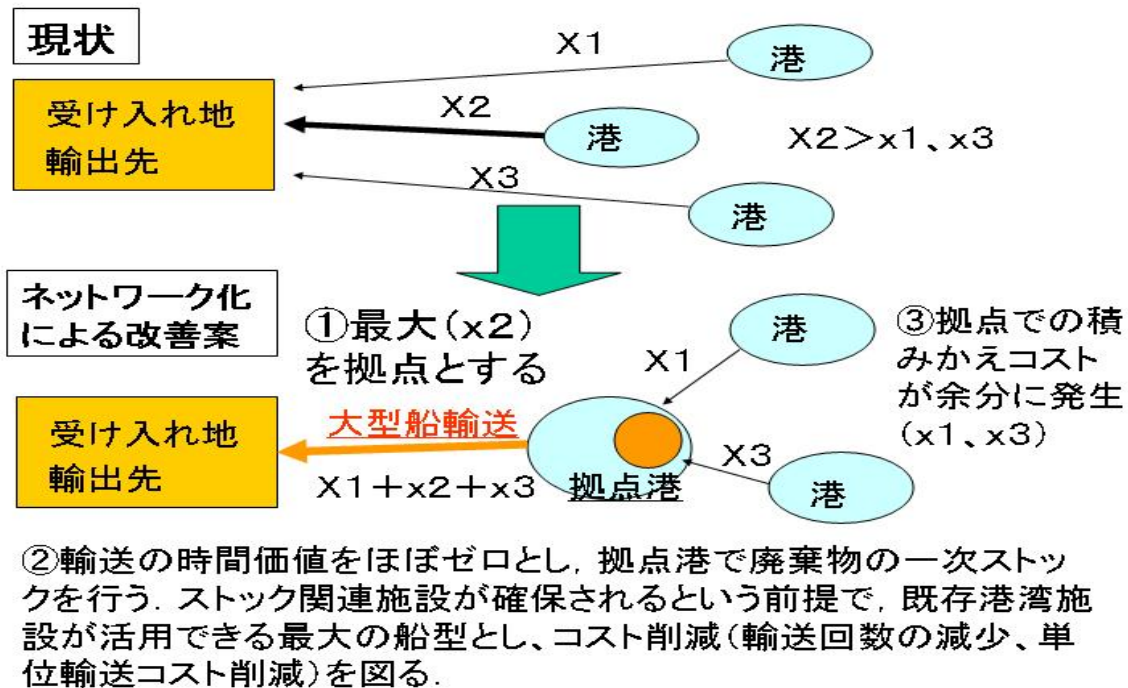


図-8 ネットワーク化の概念

#### 4.2.3 施策への反映

本研究において得られた知見は、今後海上輸送を用いた静脈物流ネットワークの具現化を行う際（対象品目の選定ならびに対象港湾の選定など）に活用されることが想定される。

#### 4.2.4 今後の課題

海上輸送を用いた静脈物流ネットワーク構築においては対象施設が必要となるがその規模を算定するためには廃棄物の広域流動量の予測が必要となる。今後関連データの整備を図り、需要予測手法を開発することが必要である。またネットワーク化における拠点港の選定の最適化を行う手法の開発も必要である。

#### 成果の公表

- 1) 海上輸送による静脈物流のネットワーク化に関する基礎的考察 平成 17 年度土木学会年次講演会論文集、港湾研究部 北澤，安部

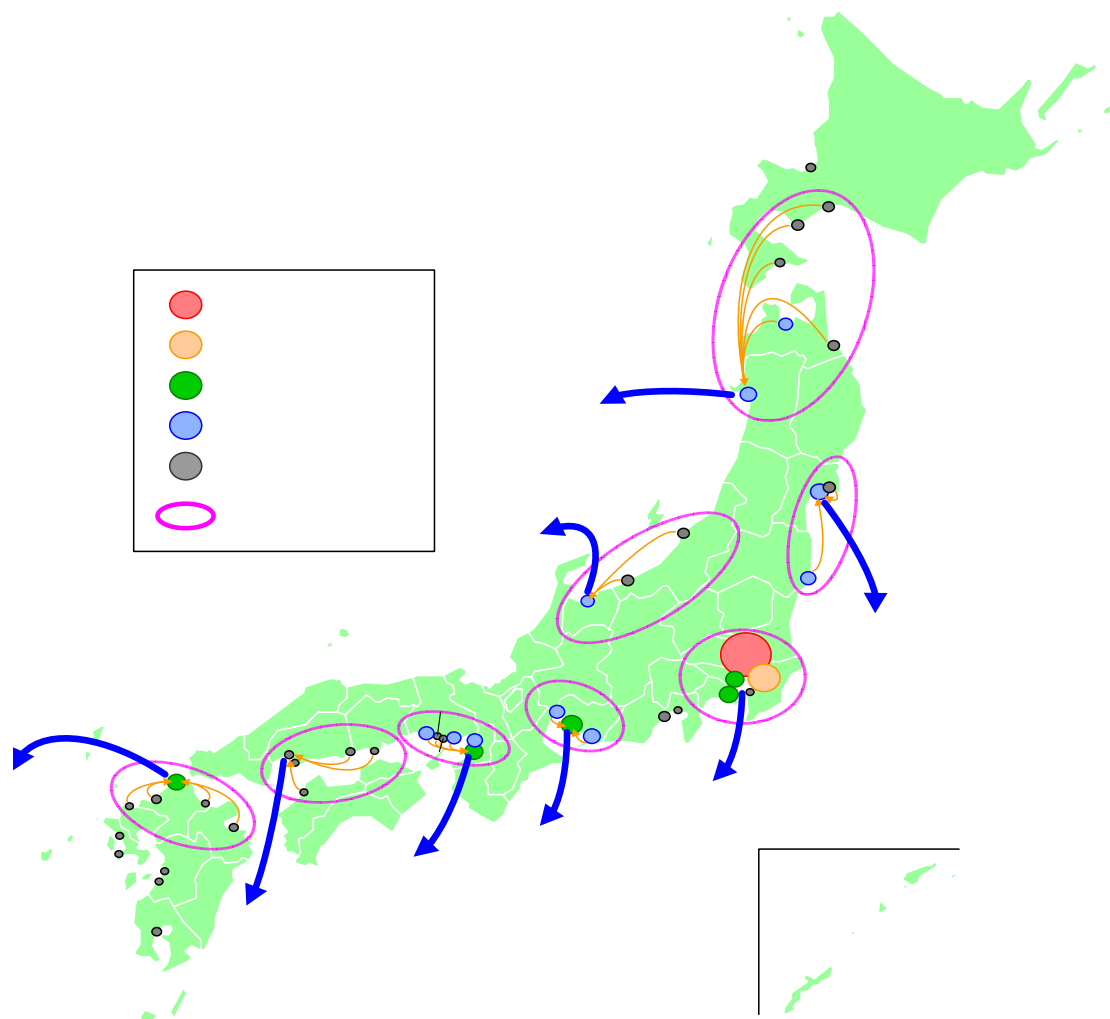


図-9 ネットワーク化の具体例（金属くずの中国輸出）

表-9 ネットワーク化による輸送コスト変化の試算

	① 東京湾	② 伊勢湾	③ 大阪湾	④ 北東北・ 北海道	⑤ 東北南岸	⑥ 日本海 沿岸	⑦ 瀬戸内海 沿岸	⑧ 北部九州
A. 海上輸送の削減コスト(-)	53,720	13,442	14,902	18,083	22,769	9,394	8,604	18,187
B. 拠点港での積み替え発生コスト(+)	108,269	20,438	32,019	20,357	14,083	8,394	11,305	13,930
C. 利用船型の変化に伴う積出し荷役削減コスト(-)	31,342	6,874	10,885	4,981	3,734	1,589	4,415	2,346
D. 拠点港でのストックヤード使用料(+)	829	55	86	25	41	21	109	87
拠点導入によるネットワーク化の効果 (発生輸送削減コスト)	-24,036	-176	-6,318	2,682	12,379	2,569	1,604	6,516

※図内に示す港  
輸出実績のあ

40万トン

20万トン

10万トン

5万トン

1万トン

## 5. 廃棄物海面処分場の建設・管理技術

我が国における廃棄物の現状をみると、平成14年度の一般廃棄物の総排出量は、5,161万トン、産業廃棄物の総排出量は約4億1200万トンで、いずれも概ね減少傾向が続いているものの、依然として膨大な排出量となっている。

廃棄物対策としてはゼロ・エミッションを目指し、Reduce（減量）、Reuse（再利用）、Recycle（再生利用）の3つのRが基本である。しかしながらこれらの施策を鋭意進めたとしても、依然として大量の廃棄物が発生し、これを適切に処分しなければならない。最終処分量も減少傾向にあるものの、平成15年度には、一般廃棄物については総排出量の約16%に当たる845万トンが、産業廃棄物については、総排出量の約7%に当たる3,044万トンが最終処分されている。

平成15年度末現在、一般廃棄物最終処分場の残余容量は、1億3708万 $m^3$ であり、残余年数は、全国平均で13.2年分である。一方、産業廃棄物最終処分場の残余容量は、同じく平成15年度末現在で全国で1億8414万 $m^3$ 、6.1年分と依然として極めて厳しい状況にあり、特に大都市圏で逼迫している。このように、最終処分場を安定的に確保していくことが大きな課題となっている。とりわけ、内陸部での最終処分場の立地がますます困難となっているため、海面処分場の新たな整備への要請が高くなっている。

上述の社会的要請を踏まえ、本研究課題では、廃棄物海面処分場の信頼性・安全性を向上させるために遮水性能の評価手法の構築、極大地震動を考慮した設計法の開発、立地のための社会的受容性の分析を行う。

### 5.1 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計に関する研究

#### 5.1.1 研究の概要

管理型廃棄物埋立護岸に要求される性能は、常時・異常時（地震動作用時等）を問わず護岸内部の管理型廃棄物を安定的に保管し、護岸内部の廃棄物や保有水等を護岸外部の海域に流出させない（遮水機能）ことである。ここで、従来の港湾構造物はレベル1およびレベル2地震動に対する耐震設計がなされており、レベル1地震動については変形を許容せず、レベル2地震動については許容変形量が規定されている。これに対し、管理型廃棄物埋立護岸の耐震設計法は原則として上述の設計法に準拠したものとなっているが、護岸変形が遮水機能に及ぼす影響について十分な検討がなされていないため、護岸の許容変形量の明確な設定は困難である。このため、現時点ではレベル2地震動に対して許容変形量を考慮した設計法を適用できない。したがって、極大地震動作用時における管理型廃棄物埋立護岸の耐震設計法を確立するためには、護岸変形にともなう遮水機能の健全性およびその評価手法を整備し、体系化する必要がある。

本研究では、管理型廃棄物埋立護岸が極大地震動により被災変形した際に、護岸変形が遮水機能に及ぼす影響について、数値解析および模型実験により検討し、その結果を踏まえて遮水機能の地震時健全性の評価・検討手法を開発する。以上の検討結果から、極大地震動に対応した管理型廃棄物埋立護岸の耐震要求性能を明確に規定し、極大地震動に耐えることができる管理型廃棄物埋立護岸の遮水機能の検討・提案を行う。

具体的な実施内容は大きく以下の項目に大別される。

①遮水シート・不織布の物理的特性の把握

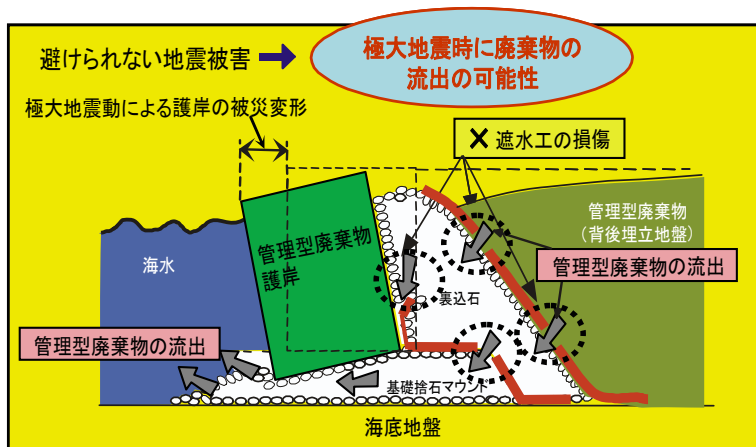


図-10 極大地震動による廃棄物護岸被災のイメージ



- ②極大地震動の作用による管理型廃棄物埋立護岸の変動特性に関する模型実験
- ③極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸の性能設計手法の開発
- ④管理型廃棄物埋立護岸遮水工健全性評価手法の開発

このうち、「①遮水シート・不織布の物理的特性の把握」は、土木シート技術協会との共同研究により実施した。「④管理型廃棄物埋立護岸遮水工の健全性評価手法」は、当初の研究計画にはなかった項目であるが、検討を進める過程で、通常想定される地盤及び構造物の変形レベルでは遮水シートは破断せず、局所的な突き刺し等により破損すると考えるべきであることが明らかになったことにより、検討項目として追加した。本研究項目は民間企業4グループとの共同研究（共同研究課題名：管理型廃棄物埋立護岸の遮水シートを用いた遮水工の健全性評価手法に関する研究）により研究開発を進めた。

### 5.1.2 研究の成果

#### (1) 遮水シート・不織布の物理的特性の把握

##### a) 遮水シートの耐久性に関する現地実証試験

発破による人工地震動作用時の遮水シートの地盤への変形追随性を現地実験によって評価した。

##### b) 単軸引張り強度の温度依存性・速度依存性

PVCシートの単軸引張変形の温度依存性、引張速度依存性、応力緩和傾向を室内実験および数学モデルによって検討した。

##### c) 突起物による遮水シート・不織布の突き破り特性

ステンレス製コーン、裏込石を用いたPVCシートの貫入試験・耐圧試験を行い、遮水シートの破断プロセスを検討した。また、さまざまな種類の不織布に対して大きさの異なる貫入棒を用いた貫入試験を行い、不織布の破断時特性を評価した。

##### d) 遮水シートの折れ曲がり性能

折り曲げたシート供試体を用いた水圧膨張試験を行い、折れ曲がりの有無が材質の強度に及ぼす影響を評価した

(写真-3)。

##### e) 遮水シート・不織布の接合部強度

接合部を有する各種遮水シートおよび各種不織布を用いた水圧膨張試験を行い、接合の有無が材質の強度に及ぼす影響を評価した。

##### f) 遮水シートの多軸引張変形特性・ひずみエネルギー密度関数を用いた破水シートの変形共同評価

PVCシートの一軸拘束引二軸引張試験、均等二軸引張試験を行い、この結果に基づいてひずみエネルギー密度関数(W関数)を用いた導入により多軸変形時の応力-ひずみ曲線を推定した。この応力-ひずみ曲線は、図-11に示すように水圧膨張試験結果も良好に再現できた。本手法は、遮水シートの様々な変形挙動を統一的に評価することができ、遮水工の設計を行う上で有効であると考えられる。



写真-3 水圧膨張試験によるシートの破断

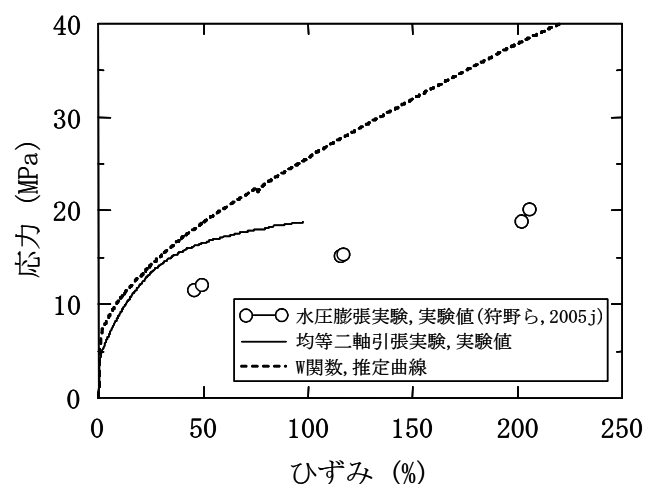


図-11 水圧膨張実験の天頂部における応力ひずみ

(2) 極大地震動の作用による管理型廃棄物埋立護岸の変動特性に関する模型実験

地震動等の外力作用により管理型廃棄物埋立護岸に変形が生じた場合に遮水シートが受ける変形損傷メカニズムを把握するため模型実験を行った。

護岸にみたてた鉄板に油圧ジャッキで強制変位を与え、その背後の裏込石、遮水シートの挙動・破壊メカニズムの把握、遮水シートの護岸変形への追随性向上に主眼を置いた実スケールの静的載荷実験と地震動作用時における遮水シートの動的変形特性を把握するための模型振動実験の2種類の実験を行った。

a) 護岸の動的挙動に関する模型振動実験

模型振動実験は、大型水中振動台を用いて行われた(写真-4)。入力加振波には通常港湾施設の設計に用いられる地震波及び極大地震動を想定した継続時間が長く、長周期成分を多く含む模擬波を使用した。加振後、護岸は海側に移動、沈下し、遮水シートにも変形が生じた。本実験により、以下のとおり地震時のケーソンおよび地盤の変形と遮水シートの変形挙動との関係が定性的に明らかになった。

① 模型振動実験の結果、加振中に遮水シートに発生するひずみは場所によって異なり、振動に伴う最大ひずみは裏込法肩から法面上部において発生した。また、これらの箇所のひずみの時刻歴はケーソン上端の水平変位の時刻歴と相関性が高いことがわかった。

② 模型振動実験における加振後の遮水シートの残留ひずみは、裏込法肩から法面上部において顕著だった。目視による観察の結果、遮水シートは地盤と一体となって変形したこと、および背後地盤のターゲット移動量の計測結果から、遮水シートの残留ひずみ分布は背後地盤の変形に追随した結果であることが明らかになった。



写真-4 大型水中振動台による動的載荷実験

b) 遮水シートの地盤追随性に関する静的載荷実験

静的載荷実験では実スケールの地盤模型を作成し、ケーソンに見たてた鋼板に油圧ジャッキで静的に変位を与えた時の背後地盤の挙動、並びに地盤中に敷設された二重遮水シートの挙動を検討した(図-12)。

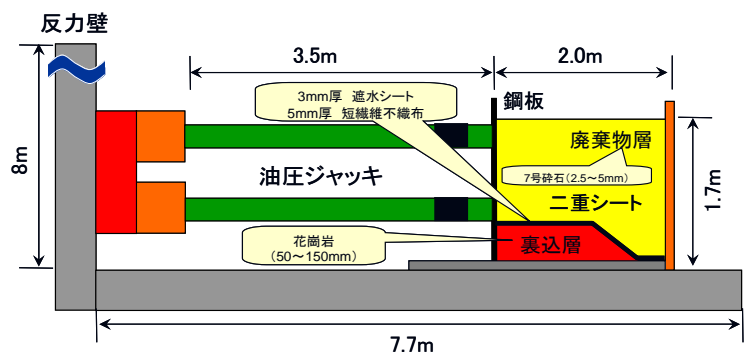


図-12 静的載荷実験のイメージ

① 静的載荷実験において鋼板が変位した結果、背後地盤は大きく変形・崩壊し、それに伴い二重遮水シートにも変形が生じた。その際、2枚の遮水シートに発生したひずみがほぼ等しかったことから、2枚の遮水シートは一体となって変形したことがわかった。

② 静的載荷実験において、二重遮水シートの地盤への追随性は天端の固定条件によって変化し、地盤に追随して変形した場合、約90cmの鋼板変位に対して遮水シートには局所的に最大約60%のひずみが発生したが、シートは破断しなかった。これにより、地盤の変形時の二重遮水シートの健全性が確認された。

c) 遮水シートの地盤変形への追随性

地震時において、遮水シートの天端端部をケーソン等の護岸構造物から切り離し、固定端を裏込天端上に設置することにより、遮水シートの地盤への追随性が損なわれないことが明らかになった(図-13 参照)。

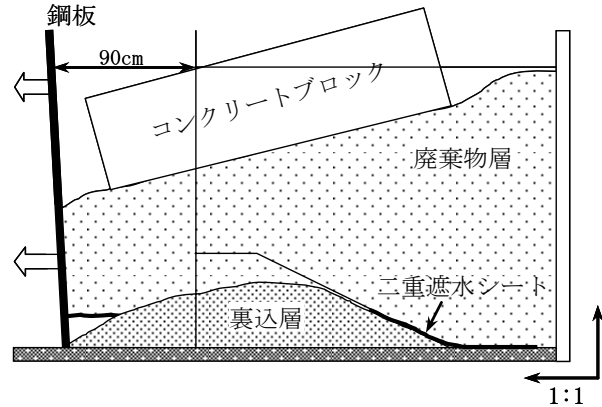


図-13 地盤と遮水シートの変形

(3) 管理型廃棄物埋立護岸遮水工健全性評価手法の開発

地震時の遮水シートの挙動は地盤の変形に追随して地盤と同程度の変形を起こすと想定できる。地盤と遮水シートは物性が全く異なっており、遮水シートは、地震時の地盤変形レベルの変形で破断しない。遮水工が健全であれば、護岸本体だけの補修・復旧で本来の機能が回復できる。このため、民間企業4グループと共同研究で遮水シートの変形又は損傷を電氣的に検知あるいは光ファイバーを用いて検知する技術について要素実験を行い、検知性能の確認等を行った(表-10 参照)。

表-10 共同研究の概要

共同研究者 (国総研以外)	技術開発内容
五洋建設, 坂田電気*	印加電極からの電流測定による遮水シートの破損検知技術の開発
東亜建設工業, 東急建設, エヌティティインフラネット, 太陽工業	フレネル反射型光ファイバーを用いた廃棄物処分場の漏水位置検知方法と遮水構造の開発
東洋建設	変光ファイバーを利用した遮水シートの健全性モニタリングシステムの開発
若築建設, 大林組, 太洋興業, 東ソー・ニッケミ	電気検知方式を用いた袋状二重遮水シートの健全性評価方法の開発

図-14 に電氣的検知の原理の一例を示す。図-15 は、光ファイバーを用いた検知システムの概念図である。

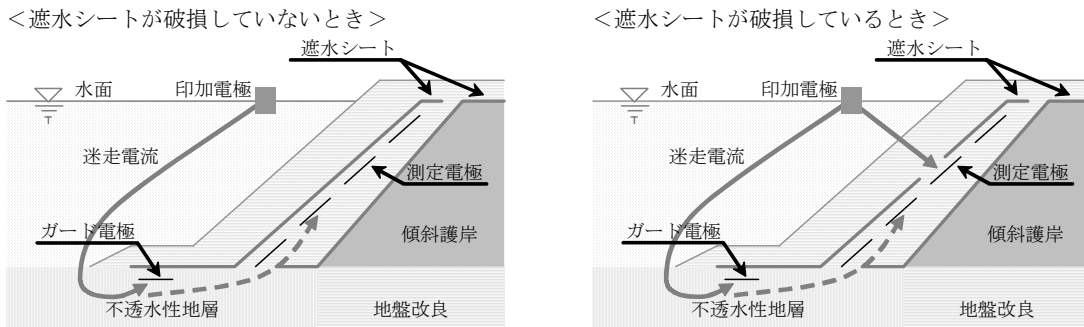


図-14 電氣的検知システムの原理

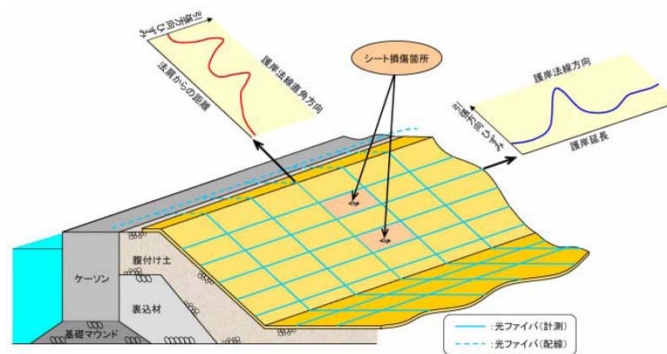


図-15 光ファイバーを用いた検知システムの概念

(4) 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸の性能設計手法の開発

護岸の動的挙動に関する模型振動実験・遮水シートの地盤追従性に関する静的載荷実験の結果、非線形動的解析等に基づいて設計手法の検討を行った。

管理型廃棄物護岸に要求される性能は、護岸内部の廃棄物・保有水等を護岸外部の海域に流出させないことである。極大地震動による被災を受けた場合、地盤・構造物は大きく変形する。一方、遮水シートは地盤の変形に追随し、その変形は破断するレベル以下である。これより、非線形動的解析により地盤・構造物の変形を確認し(図-16 参照)、遮水シートの変形が弾性的な挙動を示す範囲であれば、シートの健全性は維持されるとする考え方に基づいた設計法を検討・整理した(図-17 参照)。

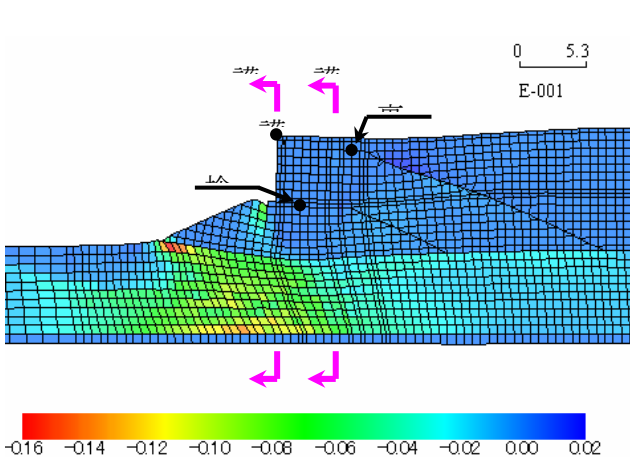


図-16 重力式廃棄物埋立護岸の地震時変形

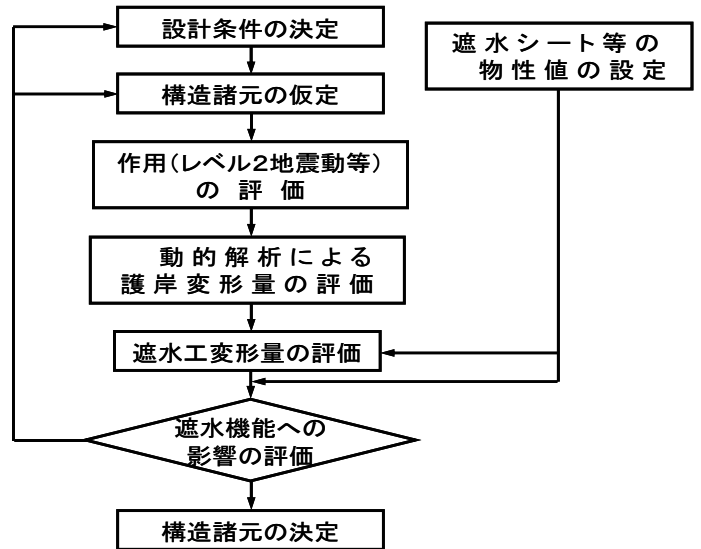


図-17 極大地震動を考慮した廃棄物護岸設計法の概要

5.1.3 施策への反映

本研究で得られた知見は、国総研が委員として環境省が設置した委員会に参画し、検討した以下の制度改正に反映された。

① 廃棄物最終処分場跡地形質変更にかかる政省令の制定及び基準策定

平成16年に廃棄物処理法が改正され、廃棄物が地中にある土地(最終処分場跡地等)で形質変更が行われることにより、生活環境保全上の支障が生じるおそれがある区域を都道府県知事が指定し、指定区域内での形質変更は施行方法の基準に従い実施することと都道府県知事への届出が義務づけられた。国総研では同制度の施行に関連する政令、省令の制定及び施行に当たってのガイドラインの策定に参画し、海面廃棄物処分場設計手法等に関する研究成果がこれらに反映された。同制度は平成17年4月から施行された。

② 海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用マニュアル(案)の策定

現在、廃棄物の最終処分場の閉鎖・廃止等の基準は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づき「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令」により規定されている。ところが、海面最終処分場における閉鎖・廃止の適用の仕方について、各処分場で異なる考え方が見受けられることなど、このままでは閉鎖・廃止後に周辺生活環境等への支障の恐れも危惧されている。すなわち各処分場における閉鎖・廃止の適用状況の実態を把握した上で、それらの考え方を示す必要が出てきた。このため、最終処分場における閉鎖・廃止の考え方を整理し、早期廃止に向けた構造要件、具体的には、海面最終処分場における維持管理の考え方、閉鎖の考え方、廃止の考え方を早期廃止の観点からとりまとめたマニュアル案が策定された。現在、本マニュアルの施行について環境省と国土交通省で調整が進められている。

また、研究成果は、現在改訂作業が進められている「管理型廃棄物埋立護岸の設計・施工・管理マニ

ユアル（旧運輸省港湾局監修）」の改訂（平成19年に発行予定）に反映させる予定である。

これにより、極大地震動に対応した管理型廃棄物埋立護岸の耐震要求性能を明確に規定することで、極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造設計の高度化が可能となり、海面廃棄物処分場の安全性・信頼性の向上、ひいては沿岸域の環境保全、循環型社会形成の促進を支援することに資すると期待される。

#### 5.1.4 今後の課題

極大地震動を考慮した廃棄物埋立護岸の設計については、遮水シートを用いた遮水工を有する施設の設計手法を提案できた。この手法は、構造全体の動的挙動を解析し、設計を行うものである。一方、遮水シートの損傷は突き刺し等の局所的な現象によって発生すると考えられる。このため、設計時点で耐震性を考慮するとともに、地震時などの大規模変形時や定常的な地盤沈下による遮水機能への影響をモニタリングし、健全性を評価する手法の開発が必要である。

本研究の一環として実施した遮水工健全性評価手法の開発では検知手法に関する要素的な実験により計測原理の妥当性等が実証されたが、実用化に向けては、耐久性の検証、計測機器も含めたシステム設計、施工方法等の検討が必要であり、実海域等における実証実験により実用化に向けた検討を進める必要がある。

遮水工の補修・修復技術も今後の課題である。これらの損傷検知技術、補修・修復技術の開発に当たっては、廃棄物海面処分場及びその周辺における有害物質の挙動予測や環境リスク評価も考慮した手法の検討が必要である。

#### 成果の公表

##### (1) 学会等発表論文

###### a) 2002年（平成14年）

- 1) 長尾毅，近藤三樹郎，宮田正史，西守男雄，菅野高弘：海面処分場における遮水シートの耐久性に関する現地実証実験（その1），第37回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1941-1942，2002.
- 2) 長尾毅，近藤三樹郎，宮田正史，西守男雄，菅野高弘：海面処分場における遮水シートの耐久性に関する現地実証実験（その2），第37回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1943-1944，2002.
- 3) 永治勇吉，近藤三樹郎，宮田正史，長尾毅，河島幸雄：海面処分場の遮水シートの落下物による損傷特性に関する実験，第37回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1945-1946，2002.
- 4) 長尾毅，宮田正史，諸星一信，近藤三樹郎：海面処分場における遮水シートの耐震性に関する現地実証試験，第57回土木学会年次学術講演会，pp.437-438，2002.
- 5) 近藤三樹郎，諸星一信，永治勇吉，河島幸雄，清水昭二：土木遮水シートの実用耐震実験研究報告，第13回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.936-938，2002.
- 6) 小竹望，山崎智弘，北浦良樹，近藤三樹郎：管理型海面処分場の表面遮水工における構成材料間のせん断特性，ジオシンセティックス論文集，Vol.17，pp.71-78，2002.

###### b) 2003年（平成15年）

- 7) 狩野真吾，近藤三樹郎，諸星一信：Deformation and strength properties of waterproof sheet applied at coastal waste disposal site，港湾・臨海部都市機能の耐震性向上に関するシンポジウム発表論文集，pp.141-146，2003.
- 8) 狩野真吾，近藤三樹郎，長尾毅，諸星一信：遮水シートの変形強度特性に関する実験的考察－引張り強度の温度特性および応力緩和特性の評価－，海洋開発論文集，Vol.19，pp.189-193，2003.
- 9) 狩野真吾，近藤三樹郎，長尾毅，諸星一信：遮水シートおよび不織布の応力緩和特性，第38回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2165-2166，2003.
- 10) 狩野真吾，吉田誠，三藤正明，近藤三樹郎，諸星一信：突起物貫入による遮水シートの破断とひずみ分布の関係，第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.943-945，2003.
- 11) 吉田誠，狩野真吾，諸星一信，三藤正明，近藤三樹郎：遮水シートの厚さがシート破断に及ぼす影

響について，第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.946-948，2003.

12) 近藤三樹郎，狩野真吾，渡辺克也，岩井勉，永治勇吉：遮水シートの折れ曲がり性能，ジオシンセティックス論文集，Vol.18，pp.33-40，2003.

c) 2004年（平成16年）

13) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：PVC遮水シートの突起物貫入に対する変形破断プロセス，ジオシンセティックス技術情報，Vol.20，No.1，pp.18-23，2004.

14) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの敷設面不陸に対する変形追随性，海洋開発論文集，Vol.20，pp.809-814，2004.

15) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：管理型廃棄物埋立護岸の地震時変動に伴う遮水シートの変形特性，海岸工学論文集，Vol.51，pp.796-800，2004.

16) 近藤三樹郎，小田勝也，狩野真吾，篠幸次，佐藤晶英：海面処分場遮水シートの折れ曲がり破断特性試験，第39回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.643-644，2004.

17) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：裏込め上に敷設された遮水シートの厚さと破断特性に関する基礎実験，第39回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2309-2310，2004.

18) 狩野真吾：極大地震動を考慮した管理型廃棄物護岸の性能設計に関する研究，港湾空港技術振興会平成16年度講演会，pp.23-32，2004.

19) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの地震時変形特性，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.1131-1133，2004.

20) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎，吉田誠，三藤正明：遮水シートの突起物貫入時における応力ひずみ挙動，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.1137-1139，2004.

21) 清水昭二，小田勝也，狩野真吾，佐藤晶英，渡辺克也，竹内克昌：保護マット不織布の性能試験方法，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.1142-1144，2004.

22) 近藤三樹郎，小田勝也，狩野真吾，佐藤晶英，渡辺克也：土木遮水シート突刺し貫入試験結果の応用，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.1140-1141，2004.

23) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎：水圧膨張実験における遮水シートの変形破断挙動，ジオシンセティックス論文集，Vol.19，pp.99-104，2004.

d) 2005年（平成17年）

24) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：管理型廃棄物埋立護岸の地震時変形挙動に関する模型振動実験，海洋開発論文集，Vol.21，pp.843-848，2005.

25) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎：接合部を考慮した遮水シートの水圧負荷時の変形強度特性，第40回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2541-2542，2005.

26) 近藤三樹郎，狩野真吾，小田勝也，佐藤晶英，渡辺克也：遮水シートの貫入試験とその応力ひずみ曲線化，第40回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2575-2576，2005.

27) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：管理型廃棄物埋立護岸の動的挙動に関する模型振動実験，第40回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2539-2540，2005.

28) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動に関する実験的検討，土木学会地震工学論文集，Vol.28，CD-ROM，2005.

29) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの模型振動実験，第60回土木学会年次学術講演会，pp.413-414，2005.

30) 小田勝也：海面廃棄物処分場の信頼性向上，ベース設計資料，No.126，pp.36-41，2005.

31) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎，竹内克昌：接合部を考慮した不織布の水圧負荷時の変形強度特性，第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.974-976，2005.

32) 小田勝也，狩野真吾，木俣陽一，渡邊陽二郎，黒岩正夫，石田道彦，下田宏治，松村聡：二重シート構造（袋状）による健全性評価技術の開発：その1，第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.35-93，2005.

33) 小田勝也，狩野真吾，大西健司，黒岩正夫，下田宏治，松村聡，木俣陽一，衣笠泰広：二重シート

構造（袋状）による健全性評価技術の開発：その 2，第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp938-940，2005.

- 34) 小田勝也，狩野真吾，羽田晃，五月女洋，小久保裕，山崎宣悦，高濱利光：海面処分場に適用可能な漏水検知システムー材料の電気抵抗特性に関する基礎的検討ー，第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp1019-1021，2005.
  - 35) 近藤三樹郎，小田勝也，狩野真吾，渡辺克也，永治勇治：土水遮水シートの低温での折曲がり性能，第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp947-949，2005.
  - 36) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの動的挙動に関する模型振動実験，第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp977-979，2005.
  - 37) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：管理型廃棄物埋立護岸の遮水シートの地震時変形特性に関する静的加力実験，日本地震工学会・大会ー2005 梗概集，pp198-199，2005.
  - 38) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎：遮水シートの水圧膨張変形に関するスケール効果と応力ひずみ挙動の評価，ジオシンセティックス論文集，Vol.20，pp185-192，2005.
  - 39) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明：遮水シートを敷設した管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動に関する水中振動台実験，日本地震工学会・大会ー2005 梗概集，pp200-201，2005.
  - 40) 狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：地震動の違いによる遮水工の動的変形特性に関する模型振動実験，ジオシンセティックス論文集，Vol.20，pp47-52，2005.
  - 41) 近藤三樹郎，狩野真吾，小田勝也，渡部克也，永治勇治：ジオメンブレンの折れ曲がり特性，ジオシンセティックス論文集，Vol.20，pp141-150，2005.
- e) 2006 年（平成 18 年）
- 42) 小田勝也：海面処分場跡地利用に当たっての技術開発の現状と課題，廃棄物研究財団だより，No.67，pp28-35，（財）廃棄物研究財団，2006.
  - 43) 小田勝也，狩野真吾，吉田誠，三藤正明，秋本哲平：敷設条件の異なる遮水シートの変形特性に関する静的加力実験，第 41 回地盤工学研究発表会，pp2429-2430，2006.
  - 44) 狩野真吾，小田勝也，近藤三樹郎：ネッキング応力を考慮した遮水シートの接合部強度に関する実験的検討，第41回地盤工学研究発表会，pp2427-2428，2006.
  - 44) 小田勝也，狩野真吾，羽田晃，小久保裕，五月女洋，山崎宣悦，高濱利光：管理型廃棄物埋立護岸の遮水シートを用いた遮水工の健全性評価手法ー電気式漏水検知システムを用いた手法についてー，第 41 回地盤工学研究発表会，pp2425-2426，2006.
  - 45) 小田勝也，小竹望，佐藤毅，鶴ヶ崎和博，北出圭介，近藤三樹郎，篠幸次，渡部直人，山浦剛俊：遮水シート健全性評価における大ひずみ計測センサーの開発ー光ファイバー余長センサーの基本性能試験ー，第41回地盤工学研究発表会，pp2423-2424，2006.
  - 46) 小田勝也，小竹望，佐藤毅，鶴ヶ崎和博，渡辺克也，岩井勉，山浦剛俊：遮水シート健全性評価における大ひずみ計測センサーの開発ー不陸模型地盤における光ファイバー余長センサーの性能確認実験ー，第41回地盤工学研究発表会，pp2421-2422，2006.
  - 47) 近藤三樹郎，小田勝也，狩野真吾，渡辺克也，永治勇吉：遮水シートの応力履歴特性，第41回地盤工学研究発表会，pp2431-2432，2006.
  - 48) 石川雅洋，小田勝也，狩野真吾，竹内克昌，渡辺克也：保護マットの貫入試験とその応力ひずみ曲線化，第41回地盤工学研究発表会，pp2455-2456，2006.
  - 49) 小田勝也，狩野真吾，吉田誠，三藤正明，秋本哲平年：遮水シートによる管理型廃棄物埋立護岸の地震応答解析，第61回土木学会年次学術講演会，pp443-444，2006
  - 50) Hada A., Kokubo H., Saotome H., Oda K., Kano S. : Leakage Detection System Applicable to Coastal Disposal Site, Proceedings of APLAS Shanghai volume I , pp181-189, the Forth Asian-Pacific Landfill Symposium, Tongi University Press, 2006.
  - 51) 吉田誠，小田勝也，狩野真吾，三藤正明，秋本哲平：管理型廃棄物埋立護岸の耐震性に関する模型振動実験，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，pp606-609，2006.

- 52) 小田勝也, 狩野真吾, 木俣陽一, 渡邊陽二郎), 黒岩正夫, 大西健司, 下田宏治, 吉田和久, 清水禎一 : 電気検知方式を用いた二重遮水シートの損傷孔規模の把握, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp895-897, 2006.
- 53) 小田勝也, 狩野真吾, 大西健司, 黒岩正夫, 木俣陽一, 渡邊陽二郎, 下田宏治, 吉田和久, 清水禎一 : 電気検知システムを用いた袋状二重シートの健全性評価技術の開発, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp898-900, 2006.
- 54) 小田勝也, 笹井剛, 佐々木理, 椿雅俊, 梶尾孝之 : 光ファイバセンサを用いた漏水検知システムの開発, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp910-912, 2006.
- 55) 狩野真吾, 近藤三樹郎, 小田勝也 : ひずみエネルギー密度関数を用いた遮水シートの二軸引張変形挙動の検討, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp947-949, 2006.
- 56) 吉田誠, 小田勝也, 狩野真吾, 三藤正明, 秋本哲平 : 大型土槽を用いた遮水シートの引き抜き実験, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp950-952, 2006.
- 57) 近藤三樹郎, 狩野真吾, 増淵光亮, 岩井勉, 竹内克昌 : 保護マットの貫入抵抗性能とその保護性能についての考察, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp953-955, 2006.
- 58) 小田勝也 : 海面廃棄物最終処分場における遮水シートの変形・破損検知技術の開発, 第4回環境研究機関連絡会成果発表会概要集, pp4-5, 2006.
- 59) 小田勝也, 吉田誠, 狩野真吾, 三藤正明, 秋本哲平 : 遮水シートの摩擦特性に関する数値解析, ジオシンセティックス論文集, Vol.21, pp255-262, 2006.
- 60) 狩野真吾, 小田勝也, 近藤三樹郎 : ひずみエネルギー密度関数を用いた遮水シートの二軸引張変形挙動評価, ジオシンセティックス論文集, Vol.21, pp263-270, 2006.
- 61) 小田勝也, 小竹望, 佐藤毅, 岩井勉, 山浦剛俊, 根岸聖司, 佐藤毅 : 海面処分場の遮水シートに生じる大ひずみ計測を目的とした光ファイバー余長センサの開発, ジオシンセティックス論文集, Vol.21, pp297-302, 2006.

(2) 国総研資料

- 62) 狩野真吾, 諸星一信, 小田勝也, 近藤三樹郎 : 廃棄物海面処分場遮水工に用いられる遮水材の変形強度特性, 国土技術政策総合研究所資料, No.124, 2003.
- 63) 狩野真吾, 諸星一信, 小田勝也 : 廃棄物海面処分場遮水シートの突き破り抵抗に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.142, 2004.
- 64) 狩野真吾, 小田勝也, 近藤三樹郎 : 水圧膨張実験における遮水シート・不織布の変形強度特性に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.213, 2005.
- 65) 狩野真吾, 小田勝也 : 遮水シートを用いた遮水工を有する管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動に関する実験的研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.256, 2005.
- 66) 狩野真吾, 小田勝也, 近藤三樹郎 : ひずみエネルギー関数を用いた管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの変形共同評価, 国土技術政策総合研究所資料, No.307, 2006.

○その他, 極大地震動を考慮した廃棄物埋立護岸の設計手法, 遮水シートの変形・破損検知技術の開発等について国土技術政策総合研究所資料としてとりまとめる予定.



## 5.2 管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発

### 5.2.1 研究の概要

今後、廃棄物海面処分の要請に適切に対応していくためには、安定型や遮断型に比較して環境インパクトが大きい管理型廃棄物海面処分場埋立護岸（以下、「埋立護岸」という。）の信頼性向上を図るための技術の体系化が不可欠である。このため、本研究は、管理型廃棄物海面処分場の埋立護岸の遮水性能評価手法の高度化を図るため、保有水の浸出を予測評価する手法を確立するとともに、信頼性の高い遮水構造の提案、海面処分場の維持管理手法の高度化を目標とする。

#### (1) 遮水性能の評価手法の高度化

遮水性能の評価手法の高度化を目指し、その保有水の浸出状況を明らかにするための計算手法を確立することを目的としている。埋立護岸の遮水性能が問題となるのは、処分場内の廃棄物と海水が混じり合った保有水の浸出が、処分場周辺の海域の水質汚染を招くおそれがある場合である。保有水が外海へと浸出する過程は、地下水の浸透のみではなく、移流と分散の現象を伴うので、シミュレーションを行う場合には、このような現象を正確に再現できるモデルを用いなければならない。その際に、海面処分場については陸上のそれと異なり、潮汐の影響を考慮することが必要であり、また埋立護岸は、海底地盤、捨石、鋼材、化学繊維といった複合的な構造で築造されており、これも忠実に表す必要がある。このような複雑な現象を数値計算で再現するために、安定性や収束性の問題を解決し、効率的に計算するための方法が、オイリアン・ラグランジュ有限要素法(Eulerian/Lagrangian Finite Element Method)として知られている。具体的な数値計算のための解析コードとしては、これを我が国の大学や企業の研究者が更に発展させた「Dtransu-2D・EL」がある。浸透・移流分散解析を行う意義は、遮水工の長期安定性を確保する観点から①埋立護岸の構造体と地盤が、想定した遮水性能を有する場合に、保有水の浸出時間と浸出流量を知ること、②埋立護岸の構造体が、何らかの原因によって破損した場合に、保有水の浸出時間と浸出流量を知ることにある。この研究では、埋立護岸の遮水性能の評価に上述の解析コードを改良を加えたうえで適用し、代表的な埋立護岸の構造断面について外海水位に潮位変動を与えた場合と、遮水工に損傷を生じた場合の保有水の浸出状況を明らかにした。

#### (2) 信頼性の高い遮水構造の提案

埋立護岸は、軟弱な自然堆積粘土地盤を底面の遮水層（不透水性地層）とし、護岸や陸域に配置される側面の遮水工と組み合わせて整備される場合が多い。底面と側面の遮水性を確保するために、不透水性地層または底面の遮水工と側面の遮水工を組み合わせることになる。このため、埋立護岸施工時や廃棄物埋立時に護岸周辺に地盤沈下等が発生し、遮水工にもその影響が及ぶことが懸念される。長期的に遮水性を確保するためには、遮水工が地盤等の変形に追従することにより、遮水性に影響が及ばない構造とすることが望ましい。

埋立護岸の遮水工は、波浪や潮位の影響を絶えず受け続ける、また、地震の影響が大きいなどの陸上処分場にはない厳しい条件下で必要な遮水性能を維持することが求められる。こうした観点から遮水工が有する機能を整理すると以下のとおりである。

①基本的な機能として遮水機能と損傷防止機能があげられる。

②付加的な機能としてフェイルセーフとしてのバックアップ機能・モニタリング機能・修復機能

本研究では、埋立護岸の遮水工に求められる上記の機能を有する新材料及び新形式遮水構造として変形追随性遮水材料及びフェイルセーフ機能を有する鋼（管）矢板による鉛直遮水工の開発を行った。技術開発は、主として独立行政法人港湾空港技術研究所が民間企業等との共同研究により行った。

#### (3) 海面処分場の維持管理手法の高度化

廃棄物埋立護岸は、前述のとおり、廃棄物等の埋立処分と、埋立完了後の土地利用の両方を目的とする施設である。この目的を果たすためには、廃棄物最終処分が完了し、処分場廃止後可能な限り早期に処分場を廃止することが必要である。このための有効な方策が保有水位以上の廃棄物の分解を促進し、安定化を図ることである。また、土地利用に伴うリスクをコントロールするためは、適切な水位管理や施設のモニタリングを行うことと併せ早期安定化と安定化した領域をできるだけ大きくすることが望ましい。このため、積極的な保有水管理を導入した先行事例の実態把握及び維持管理手法のあり方につい

て検討した。

## 5.2.2 研究の成果

### (1) 遮水性能の評価手法の高度化

#### a) 遮水工に損傷を生じた場合の遮水性能の解析

遮水工に損傷を生じた場合の遮水性能の解析は、2重シートを用いた遮水工を有する重力式ケーソン護岸、2重止水矢板護岸等を対象として行った。ここでは、重力式ケーソン護岸（2重遮水シート）に関する解析を示す。

#### (7) 重力式ケーソン護岸（2重遮水シート）の解析モデル

解析モデルは、構成材料の透水係数、構成材料の大きさ、解析領域内に発生する単位時間あたりの圧力変化、濃度勾配を考慮して、有限要素のサイズを条件に合わせて変更した。ここでの解析では、すべてのケースに同一の有限要素メッシュを用いることが困難であったため、上部堤体のメッシュが粗いものと細かいものの2種類を用いた。

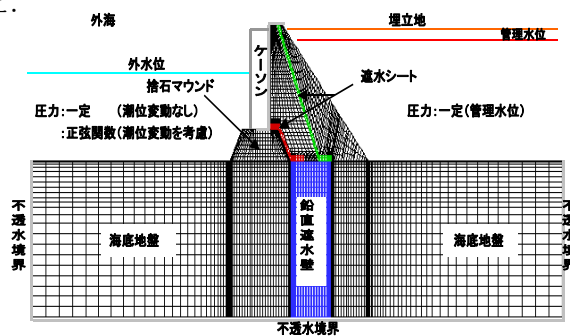


図-18 重力式ケーソン護岸（2重シート）の境界条件と要素分割

境界条件及び要素分割を、図-18に示す。境界条件は、より現実に近い条件とするため、海底地盤の左右端を不透水境界とした。

#### (i) 解析ケース

解析は、潮汐変動を考慮した場合と考慮しない場合及び遮水シートの損傷を模擬した遮水シートからの漏出の程度を①漏出なしの場合、②漏出小の場合、③漏出大の場合の3段階に変えて行った。漏出が小さい場合の遮水シートの損傷は、2.5個/haとし、漏出が大きい場合は、200個/haとした。損傷部の大きさは、通常発見される最大径の損傷として直径1.0cmとした。解析ではこの損傷割合に基づいて遮水シートの平均透水係数を計算して用いた。計算時間はいずれも50年である。

#### (ii) 計算結果

##### i) 外海水位に潮位変動を与えた場合

外海水位を振幅1.0mの正弦曲線（+2.0m～0.0m）で与え、管理水位1.5mとしたときの保有水の浸出状況の計算結果を図-19～図-20に示す。図中の濃度は、護岸内部の濃度を1.0であるとした場合の濃度である。また、護岸内部の濃度は時間経過によらず一定であると仮定した。

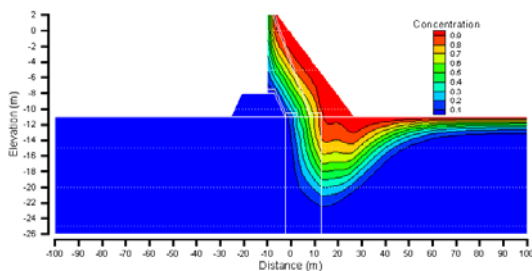


図-19 遮水シートの損傷が少ない（50年後）

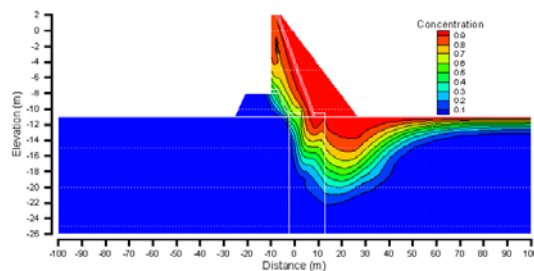


図-20 遮水シートの損傷が多い（50年後）

ii) 外海の水位を一定とした場合

外海の水位を一定とした場合の計算結果を図-21～図-22に示す。外海の水位と計算時間間隔以外の計算条件は、外海水位に潮位変動を与えた場合と同じである。

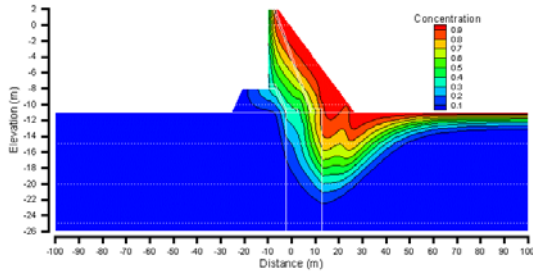


図-21 遮水シートの損傷が少ない（50年後）

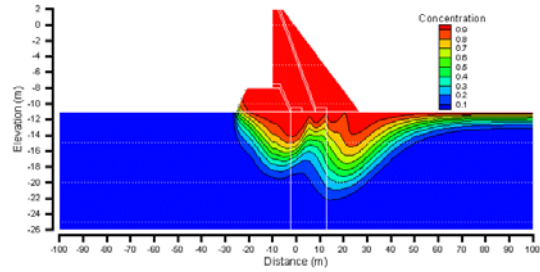


図-22 遮水シートの損傷が多い（50年後）

以上から明らかなように、外海の水位に潮位変動を与えた場合について、遮水シートに損傷がない場合と、ある場合の両方について計算することができた。

iii) 比濃度流量

廃棄物埋立護岸から漏出する有害物質を評価するために比濃度流量を用いることとした。これは、護岸内の濃度を一定値(1.0)であると仮定し、それとの濃度比で流出するフラックスを捉えるものである。比濃度流量  $S$  の定義は以下のとおりである。

$$S = \sum (c_i v_i \Delta H_i)$$

ここに、 $c_i$  :  $i$  番目の要素の平均濃度、 $v_i$  :  $i$  番目の要素の平均ダルシー流速、 $\Delta H_i$  :  $i$  番目の要素の鉛直方向の長さ。

図-23に外海水位に潮位変動を考慮したケース、図-24に考慮しないケースの計算結果を示す。これより、2重シートをもつ埋立護岸構造の場合にも、外海水位に潮位変動を与えると、これを一定とした場合に比較して浸出が抑制されることが分かった。具体的には、遮水シートの損傷が大きき場合についてのみ比濃度流量が増大し、潮位変動を与えた場合は、外海水位を一定とした場合の約半分となることが分かった。

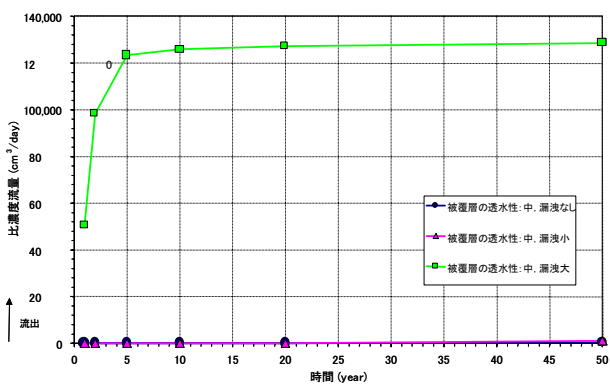


図-23 比濃度流量（外海水位：潮位変動）

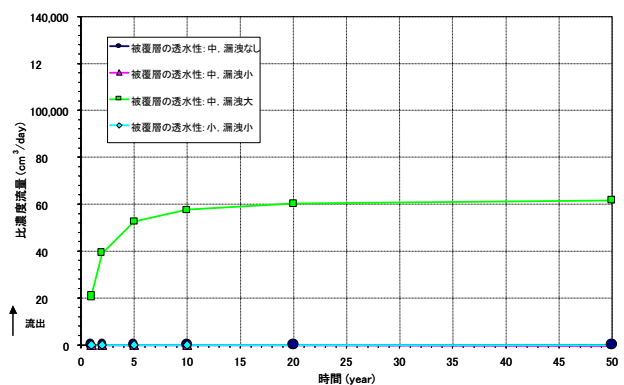


図-24 比濃度流量（外海水位：一定）

## b) 主要な結論

上記以外の検討結果も含め、本研究の主要な結論を以下に示す。

- ①外海水位を一定とした場合には、計算時間を2日とすれば、数値計算上の安定性が得られた。
- ②外海水位の潮位変動として12時間周期の正弦曲線を与えた場合には、計算時間間隔を1時間とすれば、数値計算上の安定性が得られた。
- ③外海の水位に潮位変動を与えた場合には、これを一定とした場合に比較して、保有水の浸出が抑制されることが分かった。
- ④重力式ケーソン護岸（2重遮水シート）及び2重止水矢板護岸の構造について、外海の水位に潮位変動を与え、遮水工の損傷を考慮して保有水の浸出量（比濃度流量）を計算することができた。
- ⑤捨石堤（透水係数  $1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ ）の背後に止水矢板が打ち込まれた埋立護岸断面について解析を試みたが、数値安定性が得られなかった。更に、移流による濃度の計算手法の改良などについて検討する必要がある。

以上の結論から本研究において提案した、外海水位の変動を考慮した浸透・移流分散解析手法は、これまでに提案されている解析手法に比べ、より実態に近い状態を再現できていると考えられ、管理型廃棄物海面処分場の信頼性を検討する上で有効な手法であると考えられる。

### (2) 信頼性の高い遮水構造の提案

#### a) 変形追従性遮水材の開発

多くの管理型廃棄物埋立護岸は、海底に堆積した粘土層を底面遮水として利用している。遮水性の高い粘性土地盤上に建設されることは、周辺環境への影響を押さえることが可能であり、底面全体にわたる遮水工を設ける必要がない反面、地盤沈下等による地盤変形が大きいという問題を持っている。このため、護岸の遮水機能には十分な変形追従性が要求される。港湾空港技術研究所を中心として浚渫粘土を主原料とし、これにベントナイトを添加して遮水性を向上させた変形追従性遮水材の開発を行った。この新材料は、粘土地盤の変形に対して追従性を有するとともに、自然材料を用いることにより劣化しないという特性を有している。性能確認に実験により変形追従性遮水材は、底面遮水と側面遮水の両者に対して適用可能であるとの結論を得た。

#### b) 鋼矢板・鋼管矢板による鉛直遮水工の開発

独法港湾空港技術研究所は民間企業等と共同で、鋼矢板・鋼管矢板継手部の遮水性能をさらに高め、より信頼性の高い廃棄物埋立護岸を実現するために開発された表-11に示す7種類の工法について、その施工性や遮水性能を確認するために、実海域において長期実証実験(写真-5, 写真-6)を行っている。なお、表中、粘土系遮水材とされているのは、上記a)の変形追従性遮水材である。

その結果によると、実験した全ての工法で、換算透水係数  $10^{-7} \text{cm/s}$ 以下を実現でき、「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」で規定されている側面遮水の遮水性の基準（壁厚 50cm, 透水係数  $k \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ）よりワンオーダー低い遮水性能を有していることが確認された。

表-11 鋼（管）矢板による鉛直遮水工実証実験を実施した工法

記号	遮水工の説明
1	継手部に膨潤性遮水材を塗布した遮水矢板
2	ポケット付継手を有する遮水矢板（膨潤性ゴムを事前挿入）
2'	ポケット付継手を有する遮水矢板（一方のポケットは膨潤性ゴム，他方はシリコン樹脂を注入）
3	継手部を溶接した二重遮水矢板
4	ゴム板付き継手にモルタルを充填した鋼管矢板遮水壁
5	アスファルト事前充填鋼管矢板継手を用いた鋼管矢板遮水壁
6	継手部に粘土系遮水材を充填した鋼管矢板遮水壁
7	継手部に粘土系遮水材を充填したH鋼矢板壁

注）「渡部要一，山田耕一，吉野久能，柿本龍二，鳥崎肇一，沖 健，喜田 浩：鋼（管）矢板による管理型廃棄物埋立護岸の鉛直遮水工に関する実証実験，第6回地盤環境シンポジウム，2005」を改変

また、水張り試験を行うための狭い空間を設けた構造物になっていることから、万一漏水が生じたときにも漏水箇所を特定することができ、かつ、補修が可能であった。このことから、継手を二重にして空間を設けることは、遮水の信頼性を高めると同時に、施工後の遮水性能の検査（漏水検査）が可能になること、遮水性能が不合格となる不良箇所が発見された場合にも補修ができること、さらには将来においても漏水検査が継続的に可能であること（遮水性能のモニタリング）等のメリットを有していると考えられる。さらに、一部のタイプについては強制変位を与えて、遮水性の変化を調査した。その結果、鋼矢板（最大 42~56 mm 程度の強制変位）、鋼管矢板（最大 125 mm 程度の繰り返し強制変位）とも強制変位を与えた後も遮水性能は変化がなく、一定値を保つことが確認された。

(3) 海面処分場の維持管理手法の高度化

a) 先行事例調査

海面処分場の維持管理、埋め立てられた廃棄物の早期安定化等を目的として保有水位の管理を導入した以下の先行事例について実態を整理した。

①大阪湾フェニックス尼崎沖処分場の早期安定化対策

②ひびき灘開発処分場跡地の雨水排水

この内、大阪湾広域臨海環境整備センターの尼崎沖管理型処分場は、既に廃棄物の受け入れを終了している。処分場を早期に廃止するために、処分場全域の保有水位を低下させ、好氣的雰囲気領域を拡大することにより、廃棄物の分解を促進し、早期安定化を期待するとのシナリオのもとに現地実験を行い、実験結果に基づいて、処分場の周縁部と中央部に集水暗渠を設置している

ひびき灘開発株式会社は北九州市の第三セクターで、廃棄物処分及び廃棄物処分による分譲目的の土地造成を行っている。同社の処分場の廃止手続きが完了した埋立地では、覆土等に透水性の低い土砂を



写真-5 各種の新形式遮水工の現地実証実験 外観(港湾空港技術研究所提供を改変)

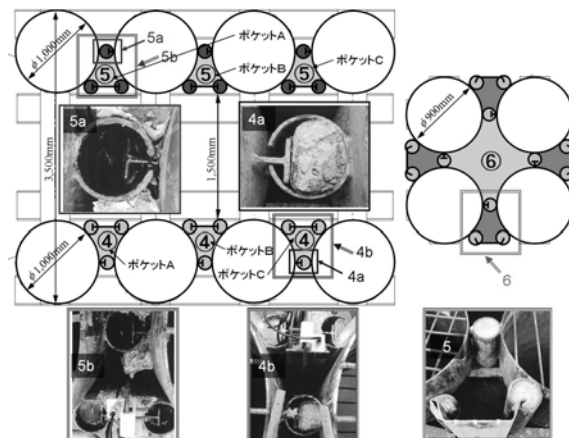


写真-6 鋼管矢板継手遮水性能確認試験 (工法4, 5, 6) (出典:表-1 注)の文献)

使用し、雨水の廃棄物層への浸透を押さえるとともに雨水を道路下に埋設された雨水排水管に集水し海面へ放流する方式を採用している。これは、フェニックスセンター尼崎沖処分場と同様の設備であるが、保有水位が上がらないようにコントロールすることを主目的にしている。

#### b) 維持管理手法のあり方

上記の事例調査等に基づいて周辺環境を汚染するリスクの軽減、廃棄物の早期安定化による効率的な土地利用の推進等の観点から保有水管理のあり方等について検討した。

これより、積極的に保有水等を処理し、廃棄物の安定化を早めることにより処分場の廃止までの期間が短縮可能と考えられることから、保有水等処理施設的能力設定等、保有水等の処理計画は、このような海面処分場の跡地利用を促進するという観点も含め、総合的な判断により行うことが重要である、という新たな考え方の導入が望ましいと考えられる。

### 5.2.3 施策への反映

本研究で得られた知見は、国総研が委員として環境省が設置した委員会に参画し、検討した以下の制度改正に反映された。

#### (1) 廃棄物最終処分場跡地形質変更にかかる政省令の制定及び基準策定

平成 16 年に廃棄物処理法が改正され、廃棄物が地中にある土地（最終処分場跡地等）で形質変更が行われることにより、生活環境保全上の支障が生じるおそれがある区域を都道府県知事が指定し、指定区域内での形質変更は施行方法の基準に従い実施することと都道府県知事への届出が義務づけられた。国総研では同制度の施行に関連する政令、省令の制定及び施行に当たってのガイドラインの策定に参画し、海面廃棄物処分場設計手法等に関する研究成果がこれらに反映された。同制度は平成 17 年 4 月から施行された。

#### (2) 海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用マニュアル(案)の策定

現在、廃棄物の最終処分場の閉鎖・廃止等の基準は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づき「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令」により規定されている。ところが、海面最終処分場における閉鎖・廃止の適用の仕方について、各処分場で異なる考え方が見受けられることなど、このままでは閉鎖・廃止後に周辺生活環境等への支障の恐れも危惧されている。すなわち各処分場における閉鎖・廃止の適用状況の実態を把握した上で、それらの考え方を示す必要が出てきた。このため、最終処分場における閉鎖・廃止の考え方を整理し、早期廃止に向けた構造要件、具体的には、海面最終処分場における維持管理の考え方、閉鎖の考え方、廃止の考え方を早期廃止の観点からとりまとめたマニュアル案が策定された。現在、本マニュアルの施行について環境省と国土交通省で調整が進められている。

また、研究成果は、現在改訂作業が進められている「管理型廃棄物埋立護岸の設計・施工・管理マニュアル(旧運輸省港湾局監修)」の改訂(平成 19 年に発行予定)に反映させる予定である。これにより、提案した手法を活用した長期的な信頼性評価に基づく管理型廃棄物埋立護岸の計画・設計、維持管理等が行われると期待される。

### 5.2.4 今後の課題

本研究課題において目標とした、①埋立護岸からの保有水の浸出に対する長期安全性評価手法の構築、②信頼性の高い遮水構造の提案、③維持管理手法(モニタリング、保有水管理)の高度化のうち、①については、上述のとおり目標を達成できた。

②に関しては、予算の制約から当所では実施せず、独立行政法人港湾空港技術研究所が民間企業との共同研究として実施した。③に関しては、当初本プロジェクト研究の枠内で実施し、完了させる予定で、保有水の水位管理等に基づく海面処分場の維持管理手法の高度化について、平成 16 年度に予備的な検討を実施した。しかしながら、環境省が施行する予定である上述の「海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用マニュアル」との整合、港湾法に基づく「港湾の施設の技術上の基準」に廃棄物埋立護岸を位置付けるべ

きかどうかの検討との整合を確保する必要があることから維持管理手法の備えるべき要件を整理したに留まった。平成 18 年度内にガイドライン案をとりまとめることを目指して現在検討を進めている。

#### 成果の公表

- 1)足立一美，北澤壮介：管理型廃棄物埋立護岸の浸透・移流分散解析による遮水性能の評価，国土技術政策総合研究所資料 No.91，2003.
- 2)北澤壮介，足立一美，森屋陽一，菱谷智幸，前村庸之：潮位変動を考慮した廃棄物埋立護岸の遮水性能に関する研究，海洋開発論文集，第 19 巻，2003.
- 3)足立一美，管理型廃棄物護岸・遮水工の耐震性能照査手法に関する考察，国土技術政策総合研究所資料 No.215，2005.
- 4)小田勝也：海面廃棄物処分場の信頼性向上，ベース設計資料 No.126，建設工業調査会，2005.
- 5)小田勝也：海面処分場跡地利用に当たっての技術開発の現状と課題，廃棄物研究財団だより No.67，(財)廃棄物研究財団，2006.

## 5.3 海面処分場立地のための社会的受容性の分析

### 5.3.1 研究の概要

海面処分場立地のための社会的受容性を分析するため、平成14年から廃棄物処分場の紛争事例について情報収集を行った。研究を進めるなかで、海面処分場に関する紛争事例に大きく問題が顕在化したものが見あらず、存在する資料が極めて希薄であった。このため、海面処分場のみを対象とする研究を継続することは適当でないと判断し、海面処分場を直接の研究対象とすることを1年間で終了した。海面処分場を直接の対象として研究することは困難であったが、広く沿岸開発を対象として研究を進めることにより海面処分場についての社会的受容性を推測する示唆を得ることは可能であると考え、平成15年からは対象を沿岸開発に広げ、住民意識の分析によって社会的受容性の理解に接近しようとする研究を行った。

### 5.3.2 研究の成果

#### (1) 廃棄物処分場の紛争事例

陸上の廃棄物処分場の特徴を把握するため、陸上廃棄物処分場における紛争情報をインターネットにより収集し、紛争の場所、廃棄物の種類、施設の規模、紛争の期間、問題物質、問題の程度、問題発生の機構、廃棄物の量、問題解決のための対策について要点を整理した(表-12)。得られた事例から読み取ることができる傾向は、「問題は基本的に安定型及び管理型処分場からの有害化学物質の漏洩である。」ということであった。こうした問題の発生によって原因箇所の特定や対策工事に大きな費用が必要になるため、未然防止が重要であること、信頼性を著しく高める対策工法が必要であることが分かった。

海面処分場については、一般的な処分場としての問題、例えば悪臭の発生やゴミ運搬車の通行による騒音などの問題や、漁業影響などの埋立の一般的な問題の発生は2件ほどあったものの、海面処分場であるが故の紛争事例は見つからなかった。

桜井(2002)は、新聞記事を1992年～2002年まで調べた結果、次のようなことが分かったとしている。建設に反対する内容が掲載されていた施設は54施設あり、そのうち新規運用に至った施設は10施設である。1992年～2002年までの新規運用施設数618件に対し、1.6%の施設でしか反対運動が起こっていない。また、反対運動が起こった施設のうち44施設が停滞や断念となっている。新聞記事に取り上げられるような反対運動が起これば、計画が長期化し、新規運用にまで進むのが難しい状況になる場合が多いことがわかる。処分場建設反対の理由は、土地選定に対する疑問と安全性に対する不安がほとんどの事例であげられていた。建設に反対する住民運動の内容は、反対運動団体の結成と陳情書の提出が多い、などというものである。これらの分析は、今回インターネットから収集した事例の整理にも当てはまる。

瀬尾・高橋(1989)は廃棄物処理施設建設における紛争のパターンを対立型、条件型、行動型、協調型に分類している。今回の分析では情報源をインターネットとしたため、条件型はその性格から情報が掲載されておらず、把握されていない可能性が高い。このため、対立型、行動型、協調型といった分類に当てはまる場合に、分析を行う際の参考にすることができると考えられる。さらに、瀬尾・古市ら(1993)は、産業廃棄物処理施設の建設に対する住民の不安や反対の理由を、「何が持ち込まれるか分からない」、「関係のないゴミを押しつけられる」、「なぜここに」、「ちゃんと処理されるか不安」、「公害発生や健康影響が心配」、「リスクばかりの施設だ」、「イメージが悪い」、「業者はこわい・うそをつく・騙すのではないか」、「業者が倒産したらどうなる」というように整理している。こうした整理も、また今後の分析の参考になる。



表-12 廃棄物処分場における紛争事例の整理

場所	形式	問題物質	問題物質の量・程度	問題物質の発生原因	◆漏洩の機構	原因廃棄物の量	対策	対策の詳細
滋賀県東海市(旧東栗町)埋立て後	安定産業	◆面積不明 ◆容量不明 ◆期間1982～1998年	①硫化水素②ベンゼン、トルエン、ホルムアルデヒド、CODなど11種類の有害物質	①15,200～22,000ppm(追加調査を含む) ②記載なし、いずれにしても環境基準は超えている。	◆①タンポールなどの有機物が土中の微生物に分解されて雨水にも関係して大量の乳酸や脂肪酸が生じる。それが、石膏ボードの硫酸土と土中で硫酸還元菌と反応して硫化水素を発生させる。 ◆②違法廃棄物を大量に埋めていると考えられる。 ◆③ガスとして地中にたまり大気中に拡散する恐れがある。	詳細不明。原因究明のためにも立ち入り調査や掘削をして明らかにする必要がある。	問題発生後の対策 ①覆土。②ガス抜き管の設置。 ③発生原因確認のための立ち入り調査や搬入物確認、掘削	①遊離性の硫化鉄を多く含む土壌(火山灰土壌等)を層状に30～50cm敷くことにより、雨水の浸入を抑え、有機物の揮発性を防止する。②徐々にガス抜き管を行い換気による放散を行う。設置場所、廃棄物の性状に留意した十分な調査計画が必要である。
福岡県筑紫野市埋立て後	安定産業	◆面積不明 ◆容量不明 ◆期間不明	①硫化水素②ウラン	①15,000ppm ②暫定基準値0.002 mg/Lとして、その2.4倍	◆①②上記と同様(そのとき、層内に30cmにも及び湿潤状態で揮発的性状あり、有機物が10%含まれていた)。③悪臭対策として、注入している硫酸第一鉄が硫化水素の発生を促進させるものとなる。 ◆上記と同様。	処分場面積が不明であった。高さ30mの廃棄物の層内に原因となる有機物が10%含まれていた。石膏ボードの量も不明である。詳細は不明。	問題発生後の対策 上記の①②③④以外に、⑤硫酸第一鉄の注入中止。⑥石膏ボードの埋め立て中止。	①硫化第一鉄は硫化水素の生成を促進させる働きがあるため、注入を中止すべきである。②石膏ボードによる硫酸源をなくすべきである。
愛知県津島市埋立て後	一般管理	◆面積18,500㎡ ◆容量50,800? ◆期間1986年～8ヶ月間(終了)	悪臭が発生したが詳細不明。	不明。	◆記載なし。受入廃棄物は、不燃ごみ、粗大ごみ、廃プラスチック、焼却残渣(焼却灰、反応灰)とされそれ以外の物質も考えられる。 ◆処分場閉鎖後、遮水シートの再検査を行った際に、破損箇所が増えついで、最高で34箇所にもなる。	閉鎖した理由は、遮水シートの破損であり、やむを得ず既存処分場から、粗大ごみ等の不燃物、廃プラスチック(焼却灰など11,800?)を搬入して埋め立てを完了させ閉鎖した。	埋め立て中の対策 ①遮水工法②水処理機	①遮水シートの素材を合成ゴム(E.P.D.M)とし、厚みが1.5mmの2重構造として、2重ライナー真空管理方式とされている。一袋構造体は300㎡とし、43の袋構造体でブロックとする。②廃棄物の重みで吹き出る地下水を処理するため、大手動機会社から水処理機を設置。集水管で地下水を汲み上げ、1時間当たり60?を放流する構造。
横浜市神明台埋立て中	一般管理	◆面積35,000㎡ ◆容量810,000? ◆期間1973～2007年(終了予定)	①ダイオキシン②塩化水素③カルシウム	①少量ダイオキシンが出るご自身、問題。②高濃度 詳細不明。	◆焼却施設でプラスチック類による焼却灰からダイオキシンが発生する。 ◆焼却灰中の塩化水素が水に溶け出す。遮水シートの破損により地下水の粘土層に浸透し流出する。	焼却灰73万トンを、埋め立て開始の1973年から終了予定とされる2007年までに約860万トン埋め立てられる。東京日の出町の2倍。	埋め立て中の対策 ①遮水シート	①2重の遮水シートの間にベントナイトシート(不織布)を用いる。こうすることにより、自己修復機能が働き遮水シート破損時に浸出水よりベントナイトが膨張して損傷箇所を塞ぐことができる。②上部及び下部の漏水を検知する。遮水シート1㎡あたり1cmの損傷位置を検知することができる。
千葉県八千代市埋立て中	一般管理	◆面積12,700㎡ ◆容量111,500? ◆期間1995年～現在	①鉛②砒素③トリクロロエチレン④テトラクロロエチレン⑤ダイオキシン(2002年2月、周縁観測井24本中)	①0.012～0.019mg/L ②0.015～0.039mg/L ③0.07mg/L ④0.012mg/L ⑤1.4～2.6pg-TEQ/L	◆ごみの不完全燃焼による焼却残渣(焼却灰)。 ◆遮水シートの亀裂によって漏水する。	詳細不明。総容量111,500?の6割まで埋め立ては進んでいる。(2002年時)埋め立て廃棄物は焼却残渣の他、不燃物、粗大ごみ等。	問題発生後の対策 ①活性炭吸着装置、ろ過式集塵器。 ②安定燃焼、完全燃焼③脱臭装置(活性炭吸着塔)④遮水シートの補修、不織布の設置、地盤沈下対策	①活性炭吸着装置、ろ過式集塵器によるダイオキシン削減を図る。②ごみの定量供給による安定燃焼や高温(850℃以上)を維持した完全燃焼などによるダイオキシン発生を抑制を行う。③活性炭吸着塔(悪臭ガスを活性炭に吸着させるシステム)などにより排ガスを高度処理する。
東京都日の出町・谷戸沢・二ツ塚埋立て中	一般管理	◆面積220,000㎡、184,000㎡ ◆容量520,000?、370,000? ◆期間1984～1998年、1998～16	①ダイオキシン②TBP(トリブチキシルフェニルエチル)③TCEP(トリクロロエチルホスフェート)④カドミウム⑤ヒ素⑥鉛及びその他の化合物⑦水銀及びその他の化合物	①160g ②③0.02 mg/L 最大なもので④45.6mg/kg ⑤5.3mg/kg ⑥2200mg/kg ⑦4mg/kg	◆焼却灰、医療廃棄物、不燃物等の連立したごみ等が原因とする。 ◆遮水シートが破損する。廃棄物の層が増すとシートの敷き慣らしが難しくなる。そのとき、ごみの圧力がかかると引張られて裂けてしまう。特に雨水排水弁付近のシートとボックスカルバートの接合部は裂け易い。	計600トン以上の焼却灰(2001年4月～)。その他の詳細は不明。	問題発生後の対策 ①遮水シート②混合土③モニタリングシステム④電気漏洩検知システム	①厚さ1.5cm以上の熱塑性ポリウレタンシートは強度、耐久性に優れる。シートの接合は自動式熱溶着機を使用して完全に接合箇所が一体化して引張り強度が強い。②ベントナイト混合土は水性性を高め、浸出水の漏洩を防止する。③漏水位置を早期検知できる。50?ブロックに分けてに設置。④シートは電気を通さないため、破損が生じた場合、シート上の電極により電流が流れる。
山梨県明野埋立て前	両方管理	◆面積86,000㎡ ◆容量520,000? ◆期間5.5年(予定期間)	事前評価:ダイオキシン	-	事前評価: ◆管理型の処分場であっても違法の廃棄物が持ち込まれることにより、予定外の有害物質が含まれることは避けられない。 ◆大量の廃棄物を埋立てるために、不燃沈下などが生じ、遮水シートが破損し、有害物質が外に漏れる。	-	埋め立て開始前の対策 ①遮水工法②焼却灰の処理	①②2重の遮水シート+電気的漏水検知システムの組み合わせとなる。シートの下にベントナイト等を敷く。ただし、廃棄物が無害化する前にシートが劣化し有害物質が外に漏れ出すという事は否定されない。②搬入されてくる焼却灰を溶融化等して無害化する。

限られた範囲の情報ではあるが、こうしたインターネットによる陸上廃棄物処分場の紛争事例と既往の研究のレビューから導かれる廃棄物処分場の立地を検討する際に留意すべき事項は、①紛争回避努力の重要性、②処分場の必要性と規模、③処分場の場所、④自区域内処理と広域処理の比較、⑤対象廃棄物、⑥施設の構造、⑦施設の維持・管理、⑧モニタリング、⑨漏洩防止技術の高度化、⑩漏洩時の緊急対応、⑪地域還元であると整理することができる(表-13)。この整理は、これだけを留意すれば十分であるというものではない。こうした点に留意することで紛争の発生や悪化を軽減できる可能性があるというものである。このため、海面処分場の立地を検討する際には、これらの留意事項の他にも地域や事業の特性を種々分析し、必要な配慮を行うことが必要である。

表-13 廃棄物処分場の立地を検討する際の留意事項

No	項目	留意事項
1	紛争回避努力の重要性	マスコミに取り上げられるような反対運動が起これば、計画が長期化し、運用開始に至るのが難しい状況になることを認識し、そうした事態を回避する努力の重要性を認識する。
2	処分場の必要性と規模	廃棄物の減量化や再資源化の努力をできるだけ具体的に示し、その上での必要処分量であることを示す。
3	処分場の場所	場所選定の考え方、現地の各種データ、代替地との比較などによって、なぜその場所に処分場を建設する必要があるのかを、できるだけ具体的に示す。
4	自区域内処理と広域処理の比較	自区域内処理と広域処分場の長所短所を比較するなどし、選択した方式がより合理的であることをできるだけ具体的に示す。
5	対象廃棄物	対象廃棄物の種類と選別方法を示し、処分場からの有害物質の漏洩等の不安をできるだけ取り除く。
6	施設の構造	施設の構造や埋立方法を示すなどし、処分場からの有害物質の漏洩等の不安をできるだけ取り除く。
7	施設の維持・管理	護岸や遮水工の健全性確保の方法、場内から排出する水の処理方法、廃棄物の搬入方法を示すなどして、処分場からの有害物質の漏洩、悪臭・騒音・振動、交通渋滞等の不安をできるだけ取り除く。
8	モニタリング	工事期間、埋立期間、埋立後のモニタリングの方法と結果を開示するなどして、危険が大きくなる前に検知する努力をすることを示す。
9	漏洩防止技術の高度化	処分場からの有害物質の漏洩が、人々の最も関心の高い事柄である。このため、処分場からの有害物質の漏洩防止の信頼性を大きく高める技術開発に取り組む。
10	漏洩時の緊急対応	有害物質の漏洩等が発見された場合の緊急対応のルール、体制などを示し、処分場からの有害物質の漏洩等の不安をできるだけ取り除く。また、緊急時の汚染拡大防止や汚染処理技術の高度化に取り組む。
11	地域還元	埋立完了後の処分場の利用方法を示すなどして、地域の負担緩和の努力を示す。

(2) 沿岸開発に関する住民の意識

海面処分場についての社会的受容性を分析する際の参考とするため、有明海の環境問題を事例として沿岸開発と環境保護についての住民意識を調査し、分析した。

a) 調査の対象者と調査票の送付

アンケート調査の対象者は、熊本県熊本市，本渡市，菊池市の住民とし、住宅地図から無作為に各市800名を抽出し、全体で2,400名を抽出した。調査票は2005年8月に発送し、回収した。

b) 有明海の環境対策に対する認識

(ア) 対策の方向

有明海の環境の現状を考えたとき、各環境項目に対して、「今より悪化させない」、「もっと良くする」、「現状の対応でよい」、「対応を少し減らす」のいずれの取組が必要か、回答者の考えを質問した。そして、質問の際には、どの対策にも必ず何らかのコストがかかることを考慮するように付記した。この質問に対する回答は、図-25のとおりである。

「もっと良くする」とした割合が最も多いのは「海岸でのゴミや利用のマナー」で、回答割合は74%である。次に多いのは、「魚介類」と「水質・底質」の62%である。その次に多いのは、「藻場」の44%、「砂浜」の41%、「干潟」の39%、「公園や緑地」の46%、「海や海辺の景観」の38%である。

「もっと良くする」と「今より悪化させない」をあわせ、「何らかの対応が必要」と考えている割合が多いのは「水質・底質」，「海岸での利用やゴミのマナー」，「魚介類」で90%強あり、1位グループを形成している。2位グループは「干潟」，「藻場」，「砂浜」で80%弱である。

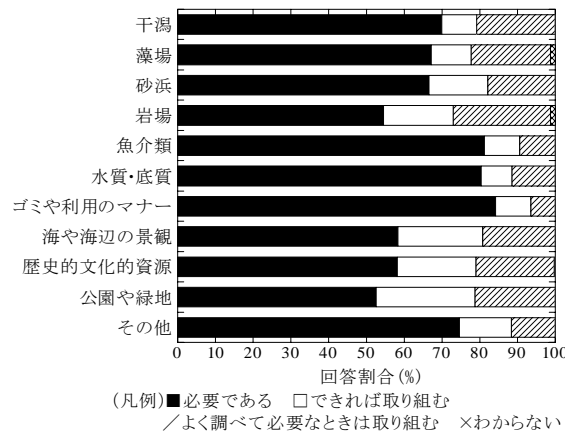
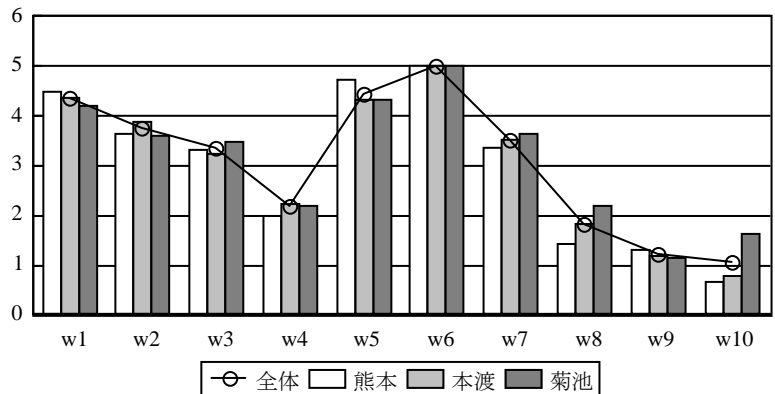


図-25 各環境項目に対する対応の必要度

(イ) 対策の重要な順位

各環境項目に対する対策の取り組み方を調べただけでは、各環境項目間の相対的な対策の重要度が分からない。そのため、対策をとることが重要であると考えられる環境項目を1位から6位まで質問した。その結果をLogitモデルを使って各変数の重み係数を求めたものが図-26である。1位グループは、(ア)の結果とは異なり、「水質・底質」、「魚介類」、「干潟」である。

「海や海辺の景観」で若干の地域差があるが、それ以外は地域間で違いがほとんどない。それは、対策間の相対的な重要度が地域ごとにあまり違いがないことを意味している。



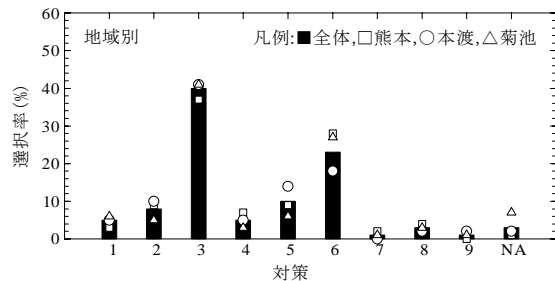
(凡例) 縦軸は重み係数の値、横軸は環境項目である。環境項目は、w1:「干潟」、w2:「藻場」、w3:「砂浜」、w4:「岩場」、w5:「魚介類」、w6:「水質・底質」、w7:「海岸でのゴミや利用のマナー」、w8:「海や海辺の景観」、w9:「歴史的・文化的資源」、w10:「公園や緑地」である。

図-26 対策の重み係数

(ウ) 有明海の環境に関心を持つ理由

有明海の環境に関心を持つ最も大きな理由を質問した。その結果は図-27のとおりである。回答割合が大きいのは、「子供たちや後世の人々のために汚れない自然を残さなければならない」の39%、「むだな開発による環境破壊を止めたい」の23%、「水産資源の減少を防がなければならない」の10%、「汚れた環境は人間の健康を害するおそれがある」の8%の順である。

有明海の環境に関心を持つ理由を地域で分けてみると、「子供たちや後世の人々のために汚れない自然を残さなければならない」では熊本が少し小さく、「むだな開発による環境破壊を止めたい」では本渡が小さい。「水産資源の減少を防がなければならない」では本渡が大きく、「汚れた環境は人間の健康を害するおそれがある」では菊池が小さい。

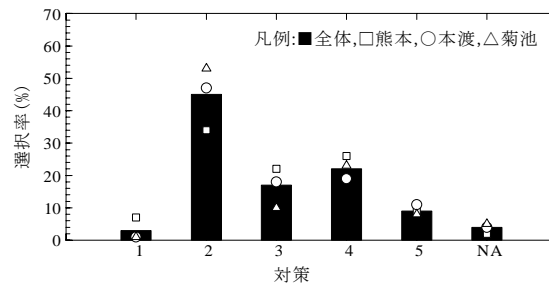


(凡例) 1: 汚れない環境は人生を快適にする、2: 汚れた環境は人間の健康を害するおそれがある、3: 子供たちや後世の人々のために汚れない自然を残さなければならない、4: あらゆる生命を大切にしなければならない、5: 水産資源の減少を防がなければならない、6: むだな開発による環境破壊を止めたい、7: その他、8: よく分からないが、何となく心配だ、9: 関心がない

図-27 有明海の環境に関心を持つ理由

### (エ) 費用の負担

有明海の環境問題について周辺地域の人々や企業がどれだけ費用を負担すべきかを質問した。結果は図-28 のとおりである。「ほとんどを地域で負担すべきだが地域だけではどうしようもない」とした割合が45%で最も多い。それに対して、無力感を含んでいない「ほとんどを地域で負担すべき」を選択した割合は3%しかない。2番目に多いのは「ほとんどを全国で均等に負担すべき」で22%、3番目に多いのは「有明海周辺地域と他地域が同等に負担すべき」で17%であり、両者をあわせた何らかの割合で国の負担を求める回答の割合は39%である。「ほとんどを地域で負担すべきだが地域だけではどうしようもない」では熊本が小さく、「有明海周辺地域と他地域が同等に負担すべき」では菊池が小さい。



(凡例) 1: ほとんどを地域で負担すべき, 2: ほとんどを地域で負担すべきだが地域だけではどうしようもない, 3: 有明海周辺地域と他地域が同等に負担すべき, 4: ほとんどを全国で均等に負担すべき, 5: その他

図-28 有明海の環境問題に対する費用負担

### 5.3.2 施策への反映

海面処分場立地のための社会的受容性を分析するため、インターネット情報検索や文献の整理により、廃棄物処分場の紛争事例について情報収集を行い、廃棄物処分場立地の際の紛争の特徴を把握し、廃棄物処分場の立地を検討する際の留意事項を整理した。また、沿岸開発と環境保護についての住民意識分析を有明海の環境問題を対象に行い、周辺地域の人々が持っている有明海の環境問題に対する認識の特徴を把握した。

ここで整理した海面処分量の立地を検討する際の留意点は、これだけを留意すれば十分であるというものではない。こうした点に留意することで紛争の発生や悪化を軽減できる可能性があるという性格のものである。このため、海面処分場の立地を検討する際には、これらの留意事項の他に地域や事業の特性を種々分析し、必要な配慮を行うことが必要である。このようなものではあるが、ここで整理した留意事項を海面処分場の立地を検討する際の参考とし、丁寧に各種の配慮を行うことにより、紛争発生のリスクを低減することができる。と考える。

マスコミ報道では特徴的な出来事が報道されるが、そこから地域の人々が沿岸開発や環境保護に対してどのような認識を持っているかを推量することができない。有明海の環境問題のような広域的な問題に取り組んでいくためには、科学的知見の他に地域の人々がどのような思いを持っているかを知ることが必要である。この研究によって、地域の人々が有明海の環境に対してどのような認識を持っているかについて一定の知見を提供することができた。と考える。また、こうした知見は、他の地域での沿岸開発を考える際にも有益な示唆を与え、紛争発生を低減させ、より良い公共事業を行っていくことにもつながる有用なものである。

### 5.3.3 今後の課題

海面処分場の紛争は、建設事例が陸上に比べて著しく少ないこともあり、事例や情報が不足していたため、直接に分析を行うことができなかった。このため、海面処分場についての紛争が発生した場合にはそれについての情報を蓄積し、分析につなげていく環境の整備に努めることが必要である。

沿岸開発と環境保護についての住民意識調査は、回答率が低く、結果の信頼性が十分とは言えない。このため、今後は、もっと偏りの少ない、回答率の高いアンケートを行い、人々の意識をより正確に把

握していくように努めることが必要である。

今回行った研究方法以外にも種々の研究方法がある。そうした様々な手法をうまく動員して、社会の状況や動きをより正確に把握することに努めることも、分析の信頼性や有効性を高めていくために必要である。

#### 成果の公表

- 1) 鈴木武：有明海の環境問題に対する周辺地域住民の意識の特徴，環境システム研究論文発表会講演集，Vol.33，土木学会，2005年11月，pp.239-244.
- 2) 鈴木武：有明海の環境に対する周辺地域の人々の意識構造，有明海・八代海の再生・維持への研究，熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター，2006年3月.
- 3) 鈴木武：有明海の環境に対する住民の意識構造，国土技術政策総合研究所資料，No.325，2006年9月.
- 4) 鈴木武：コンジョイント分析による有明海の環境改善に対する支払意思の推定，環境システム研究論文発表会講演集 Vol.34，土木学会，2006年10月，pp.85-90.
- 5) 鈴木武：住民意識からみた有明海の環境問題，港湾空港技術特別講演会 in 九州，2006年11月.

#### 参考文献

- 1) 桜井宏之（2002）：一般廃棄物最終処分場建設における反対運動及び新規運用の要因分析，滋賀県立大学.
- 2) 瀬尾潔・高橋富男（1989）：廃棄物処理施設建設にかかわる紛争要因の解析，第10回全国都市清掃研究発表会講演論文集，全国都市清掃協会，pp.13-15.
- 3) 瀬尾潔・古市徹・高橋富男（1993）：産業廃棄物処理施設の住民合意と公共関与の課題，第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集，廃棄物学会，pp.68-83.

## 6. 今後の課題

### 6.1 ゴミゼロ型・資源循環型社会形成に向けた今後の課題

ゴミゼロ型・資源循環型社会とは、社会全体で資源の再利用や循環のシステムを利用し、最終処分の極小化を実現する社会であると考えられる。このような社会の形成に向けては広範な検討課題があり、また廃棄物処理の一連のプロセス（発生抑制、再利用、再資源化、輸送：静脈物流、最終処分）が有機的に連携する必要がある。

今回の研究においては、この広範な検討課題のうちの幾つかの要素について検討を行っているが、個々の成果については政省例の改正や基準、マニュアル等に反映されたものが数多くあり、研究の目的は概ね達成されたと評価される。

今後は、これらの個別要素を有機的に連携させ、社会全体での資源の再利用や循環のシステムを形成するための検討が必要となる。具体的には、以下の事項を念頭に置きながら研究を進めていくべきであろう。

第一に、ゴミゼロ型・資源循環型社会の全体像についてイメージを持つことが必要である。各要素間を連携させるにあたっては、その最終的なゴールとなる絵姿について共通の認識を持つことが必要であろう。

第二に、異なる産業間の連携を想定する必要がある。ある産業から排出された廃棄物が、他の産業における原材料として利用される場合もある。例えば、製鉄業における排出物である鉄鋼スラグは、セメントの材料となっており、これらの産業間では実際の連携を行っている事例もある。

第三に、廃棄物処理の一連のプロセス（発生抑制、再利用、再資源化、輸送：静脈物流、最終処分）の間の連携を想定する必要がある。例えば今回の研究では、静脈物流ネットワークの部分は独立した形での検討を行っているが、今後は他の個別研究（建設廃棄物や木質系建築廃棄物に関する検討）と連携を図れば、より現実性の高い成果が得られることが期待される。さらに進んで、製品等のライフサイクル全体を対象範囲として含めた検討を行うことも検討に値する。

### 6.2 個別研究課題における今後の課題と取り組み

個別検討課題について、今後の課題と取り組み事項を示す。

#### 6.2.1 建築廃棄物の発生抑制、リサイクル技術

##### (1) 木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発

今後の課題としては、①改修や増改築時に発生する解体材の分別と再資源化技術の開発、②有害物質を含んだ廃棄物の再資源化技術及び適正処理技術の開発などが挙げられる。これらについては、総プロ「持続可能な社会構築を目指した建築性能評価・対策技術の開発（SB 総プロ）」等、別課題において研究を計画あるいは実施しているところである。

##### (2) 建設混合廃棄物の合理的な再資源化技術に関する研究

現状での再資源化における最大の課題は経済性であり、今後は、受入条件のみならず、受入条件のクリアにむけて生ずる排出側のコスト、受入側の条件解消により生ずるコスト等の検討が必要となる。また、建材製造業のみならず他産業とこれらの受入条件等の情報交換をすることで、資源の有効利用の推進が期待できる。今後、広範な情報分析及び集約が望まれる。

本研究は、総プロ「持続可能な社会構築を目指した建築性能評価・対策技術の開発（SB 総プロ）」のLCW 評価手法の開発において、発展的に継続しており、成果の活用がなされる予定である。

#### 6.2.2 静脈システム形成に関する技術

##### (1) 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による環境負荷低減技術に関する研究

ディスポーザー排水の下水道施設による収集及び処理に関しては、ガイドラインが策定されたことを受け、関連する調査研究及びディスポーザー導入の影響評価事例につきフォローしていく予定である。

分散型静脈系システム（分散型生ごみ処理システム）に関しては、研究成果の普及を図るとともに、街区・地区レベルにおける公共的サブインフラとしての生ごみ処理システムについても、検討を進めること

としたい。

#### (2) 静脈物流ネットワークの計画手法に関する研究

今後は、データ不足による研究の制約を解消するため、静脈物流ネットワーク形成を主目的とした公共主体による統計調査を行う必要がある。例えば、物流関係の統計において、廃棄物関係の品目を調査対象として追加する必要がある。またネットワーク化による効果の検証を今回の研究では取り扱ったが、今後は全国において拠点となる港湾を配置することを目的に、港湾の規模と配置を最適化するための手法の検討が必要である。

### 6.2.3 廃棄物海面処分場の建設・管理技術

#### (1) 極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸遮水構造の性能設計に関する研究

遮水工健全性評価手法の実用化に向けて、耐久性の検証、計測機器も含めたシステム設計、施工方法等について、実海域等における実証実験により検討を進めることが必要である。

遮水工の損傷検知技術、補修・修復技術の開発に当たっては、廃棄物海面処分場及びその周辺における有害物質の挙動予測や環境リスク評価も考慮した手法の検討が必要である。

#### (2) 管理型廃棄物海面処分場の信頼性向上技術の開発

保有水の水位管理、保有水等の水質モニタリング等に基づく海面処分場の維持管理手法の高度化について、平成18年度内にガイドライン案をとりまとめることを目指して引き続き検討を進める。

#### (3) 海面処分場立地のための社会的受容性の分析

海面処分場の紛争は、建設事例が陸上に比べて著しく少ないこともあり、事例や情報が不足していたため、直接に分析を行うことができなかった。このため、海面処分場についての紛争が発生した場合にはそれについての情報を蓄積し、分析につなげていく環境の整備に努めることが必要である。

沿岸開発と環境保護についての住民意識調査は、回答率が低く、結果の信頼性が十分とは言えない。このため、今後は、もっと偏りの少ない、回答率の高いアンケートを行い、人々の意識をより正確に把握していくように努めることが必要である。

今回行った研究方法以外にも種々の研究方法がある。そうした様々な手法をうまく動員して、社会の状況や動きをより正確に把握することに努めることも、分析の信頼性や有効性を高めていくために必要である。

# 建築仕上げ材の再資源化に関する現状調査

# A STATE OF THE ART REPORT ON RECYCLING OF FINISHING MATERIALS

古賀(井戸川)純子 —\*1 清家 剛 —\*2  
 名取 発 —\*3 本橋健司 —\*4

Junko Idogawa KOGA —\*1 Tsuyoshi SEIKE —\*2  
 Akira NATORI —\*3 Kenji MOTOHASHI —\*4

キーワード：  
 建設廃棄物, 再資源化, 建築仕上げ材

Keywords:  
 Construction and demolition waste, Recycling, Finishing materials

The purpose of this study is to clarify the present state of the art on recycling of finishing material wastes derived from production process, construction work and demolition work. The survey was conducted by interviewing and sending questionnaires to manufacturer associations of the finishing materials. The survey was carried out from July 2001 to March 2002, and the current situations and problems were identified and discussed.

## 1. 序

昨今、最終処分場の残余量のひっ迫や、循環型社会構築へ向けた活動の活発化といった背景から、廃棄物の発生抑制、再資源化への要請がますます高まっている。なかでも建設廃棄物については、図1に示すように産業廃棄物約4億トンのうち19%を占め(平成11年度、環境省調査による)、そのうち15%が最終処分されている<sup>1)</sup> 実情から、実効的な発生抑制への対策が望まれている。

建設廃棄物においては、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」が平成14年5月に完全施行され、再資源化が推進されている。同法律において、再資源化もしくは削減が義務づけられる特定建設資材に指定されたコンクリート、木材、アスファルト・コンクリート等の廃棄物は、図2に示すようにすでに再資源化等が相当量実施されている。しかし、特定建設資材以外の材料については取り組みが遅れており、建設混合廃棄物および図2に示していないその他(廃プラスチック、紙くず、金属くず)の建設廃棄物は建設廃棄物中に占める割合は8%<sup>1)</sup>と少ないものの、最終処分量は540万トンにもなる<sup>1)</sup>ため、発生抑制のための対策は急務である。

本調査は建築仕上げ材ならびに断熱材、建具構成材、配管設備等の特定建設資材以外の材料(以降、これらをまとめて仕上げ材等と呼ぶ)を対象に、再資源化の現状を把握すると共に、今後の再資源化推進の方向性検討の基礎資料を得ることを目的とし、平成13年7月~14年3月にかけて実施した。

ここで、再資源化には、廃棄物を原材料の一部として再資源化するマテリアルリサイクル、燃焼させて熱を回収するサーマルリサイクル等

があるが、本調査は今後のマテリアルリサイクルの可能性を検討することを目的とし、マテリアルリサイクルを主な対象とする。

さらに、建築仕上げ材等の製造工程においては、効率の向上などの理由で端材等の排出物のマテリアルリサイクルが実施されていると想定され、製造時以外の廃棄物にもその手法が適用されているもしくは適用できる可能性がある。また、住宅・建築物の解体時に発生する

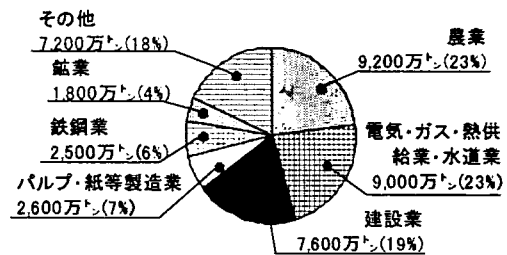


図1 産業廃棄物の内訳(平成11年度、環境省調査)

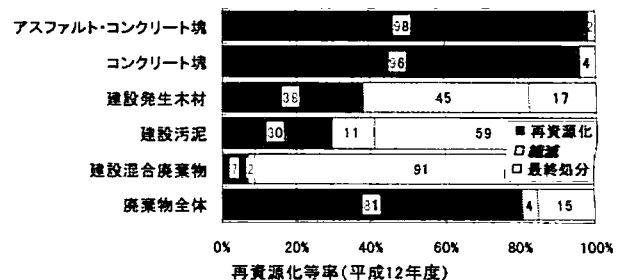


図2 建設廃棄物の再資源化等率の現状(平成12年度)<sup>1)</sup>

\*1 国土交通省 博士(工学)  
 (〒305-0802 つくば市立原1)  
 \*2 東京大学新領域創成科学研究科 助教授・博士(工学)  
 \*3 東京理科大学工学部建築学科 助手・博士(工学)  
 \*4 独立行政法人建築研究所 上席研究員・博士(工学)

\*1 MLIT, Ph. D.  
 \*2 Assoc. Prof., Dept. of Environmental Studies, Graduate School of Frontier Science, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 \*3 Research Assoc., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.  
 \*4 Chief Research Scientist, Building Research Institute, Dr. Eng.



建築仕上げ材に由来する廃棄物の再資源化が現状で進んでおらず、建築仕上げ材を再資源化し、他製品の原材料としている例はきわめて少ないと想定される。このため、建築仕上げ材を同種の製品の原材料として再利用する場合を主な調査対象とする。

また、廃棄物を部材等に再び使用するリユースについては、住宅、建築物に多種多様な建築仕上げ材が用いられている一方で規格化、標準化が十分なされていないこと、建築仕上げ材には装飾性が要求され、再使用材料が消費者のニーズに合致する可能性が低いと考えられ、現時点において現実的でないことから、本調査では対象外とする。

なお、本調査は国土交通省総合技術開発プロジェクト「建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発(建築分野)」及び独立行政法人建築研究所研究プロジェクト「木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発」の一環として実施し、結果を同プロジェクトの平成13年度報告書<sup>2)</sup>としてまとめている。また、結果の一部を日本建築学会大会梗概集<sup>3)</sup>に発表済みである。

## 2. 調査の概要

### 2.1 調査内容

仕上げ材等の再資源化に関係する技術的問題と流通に関わる問題を中心に、

- ・現在、各材料の再資源化はどの程度行われているか
- ・現在、再資源化するための技術はどの程度確立されているか
- ・再資源化を事業として成立させるための要件は何か
- ・再資源化できないもの(適正に埋立てすべきもの)、または、再資源化する必然性の乏しいものは何か

などの観点から調査項目を設定した。また、再資源化の状況は、排出物(本報告では、材料の製造過程や建築物の施工時に発生する製造かすや端材、解体時に発生する解体資材を排出物と呼ぶ)の排出される段階、つまり建築物を建造する段階(以降、新築時と呼ぶ)、建築物を解体する段階(以降、解体時と呼ぶ)により異なるため、段階毎に調査した。また、材料の製造時(以降、製造時と呼ぶ)に排出される排出物は建設廃棄物ではないが、再資源化がすでに行われていることが予備調査より推測され、新築時および解体時の排出物の再資源化への対策を検討する際の参考となるため、同様に調査を行うこととした。

多岐にわたる調査項目のうち、本報で結果を報告する調査項目とその内容を表1に示す。

### 2.2 調査対象および方法

調査は、表2に示す24の材料に関連する製造業者もしくは

表1 調査項目と内容

調査項目	内容
生産量	過去30年程度の生産量。単位は基本的には質量としたが、質量での表示が困難な場合は面積や個数等とした。
排出物の発生率	製造時、新築時に排出される排出物の生産量に占める割合(質量比)
再資源化率	排出物のうち再資源化が実施されている割合(質量比)
再資源化の方法	現状で行われている再資源化の方法
回収ルートの整備状況	現状の回収ルートの整備状況
再資源化技術の整備状況	再資源化技術の保有状況とその到達段階および適用条件

はその団体を対象とした。これらの材料は必ずしも建築物や住宅に使用される仕上げ材等を網羅してはいないが、再資源化への取り組みの状況や、新築時、解体時の排出物の回収ルートの整備状況について様々な到達段階にある事例を収集することを主眼に選定した。

調査はヒアリングおよびアンケート、アンケートのみの2つの方法で実施した。実施方法を表2に示す。

表2 調査対象

分類	材料	回答	方法 <sup>*)</sup>	
			ヒアリング	アンケート
ボード	繊維板、パーティクルボード	日本繊維板工業会	○	○
	せっこうボード	(社)石膏ボード工業会	◎	○
	木毛セメント板	全国木毛セメント板工業組合	○	○
	木片セメント板	日本木片セメント板協会	○	○
コンクリート製品	ALC	ALC協会	○	○
	粘土瓦	全国陶器瓦工業組合連合会	○	○
	金属屋根	(社)日本金属屋根協会	○	○
	住宅屋根用化粧スレート	K社	○	○
内外装材	窯業系サイディング	日本窯業外装材協会	○	○
	仕上げ材	日本建築仕上げ材工業会	○	○
	陶磁器質タイル	I社	○	○
	ビニル壁紙	壁装材料協会、日本ビニル工業会	○	○
	ビニル系床材	インテリアフロア工業会	○	○
	断熱材	押出発泡ポリスチレンフォーム	押出発泡ポリスチレン工業会	○
建具構成材	ロックウール	ロックウール工業会	○	○
	グラスウール	硝子繊維協会	○	○
	硬質ウレタンフォーム	ウレタンフォーム工業会	○	○
	シャッター	(社)日本シャッター・ドア協会	○	○
その他	普通板ガラス	板硝子協会	○	○
	フロートガラス	板硝子協会	○	○
	アルミサッシ	(社)日本サッシ協会	○	○
	ガスケット	建築ガasket工業会	○	○
その他	衛生陶器(便器)	I社	○	○
	塩化ビニル管・継手	塩化ビニル管・継手協会	◎	○

\*○は同方法を実施した材料、◎は予備調査を実施した材料

## 3. 調査結果

### 3.1 生産量

排出物および廃棄物の量の多少は、廃棄物の発生抑制を検討するためには重要な項目である。しかし、現状では特定建設資材廃棄物以外は分別があまりなされておらず、材料毎の排出物の量を把握するのは困難なことから、本調査では生産量を把握することとした。生産量と建築物の平均寿命から、排出量の推定が可能であるが、付着物が多いなど、分別困難な材料についての廃棄時の質量推定は今後の課題といえる。

生産量を表3に1970年から約10年間隔で示す。生産量を質量で表示困難な材料についてはその他の単位で表示した。結果は可能な限り質量単位に換算して示した年間生産量である。これらのうちの相当量が、建築物の解体後は建設混合廃棄物やその他の廃棄物として最終処分場で処分されていると推定される。

ここで、排出物が廃棄物として運搬、埋立等されるにあたっては、質量のみならず体積も重要な要因である。現時点では検討が不十分で個別の材料の廃棄物の体積推定は困難であるため、推定のための基礎資料の収集が今後必要といえる。

### 3.2 再資源化の現状

#### 1) 製造時

製造時については、表4に示すように再資源化を80%以上実施している材料が半数以上あり、再資源化への対策が進んでいるといえる。ただし、製造時の排出物の再資源化には、廃棄物発生抑制のみならず製造効率の向上、製造コスト抑制の目的もある。

2) 新築時

現場等からの回収を一部実施するなど、回収ルートの整備も同時

新築時の排出物については、表5に示すように 再資源化率 に進めている例である。

の多い材料は大幅に減少する。80%以上再資源化が実施されているのは、繊維板・パーティクルボード、金属屋根のみである。繊維板・パーティクルボードは、燃料としての再利用がなされている。金属屋根は、金属製品であり溶融により再資源化が可能で、使用済み材料であっても市場価値があることから自然発生的に回収ルートが構築され、再資源化が実施されている材料である。排出物の50%を再資源化しているのは木毛セメント板、木片セメント板、塩化ビニル管・継手であるが、粉碎処理後、原料の一部として再資源化する方法がなされているとの回答であった。粉碎処理後、原料の一部として混入する再資源化方法は、コストの増加も少なく有効な方法であるが、再資源化材料の受入可能量に制限がある場合が多く、新たな用途開発が必要な場合もある。塩化ビニル管・継手は回収についても”一部実施”と回答している。30%以上50%未満の再資源化率である材料は、せっこうボードであるが、せっこうボードは大口の建築

表3 生産量

材料	生産量 (t)				出典*	備考
	1970年	1980年	1990年	2000年		
せっこうボード	1,385,234	2,295,570	4,710,322	4,477,000		いずれも推定試算値
粘土瓦	3,404,700	5,105,700	4,079,700	3,358,800	工業統計	2.7kg/枚で換算
窯業系サイディング ALC	—	—	1,179,315	1,734,334		14.6kg/m <sup>2</sup> で換算
陶磁器質タイル	391,337	1,162,954	2,627,719	1,585,366	経済産業省調査	0.6kg/m <sup>2</sup> で換算
	926,961	983,307	1,309,657	825,941	産貨統計年報	外装タイル、内装タイル、床タイル、モザイクタイルの合計
金属屋根	—	—	627,884	580,584		
塩化ビニル管・継手	295,000	391,000	489,000	503,000		
グラスウール	74,656	229,322	409,550	439,250		
ロックウール	—	—	410,915	342,730		繊維全生産量
仕上塗材	—	310,808	454,104	301,847		建築用仕上塗材(溶媒を含む)の合計
アルミサッシ	—	260,420	229,578	199,242		
ビニル壁紙	5,400	61,730	159,274	188,178		0.3kg/m <sup>2</sup> で換算
ビニル系床材	—	—	—	180,000		
衛生陶器(便器)	—	—	—	150,576	経済産業省産貨統計月次連報	18kg/個で換算
押出発泡ポリスチレンフォーム	—	27,300	39,500	64,600		2000年のみ費用を追加
ガスケット	—	—	—	39,866		グレイジングガスケット、気密ガスケットの合計
硬質ウレタンフォーム	—	4,989	19,262	34,722		

材料	生産量				出典*	備考
	1970年	1980年	1990年	2000年		
繊維板(硬質繊維板)	74,082千m <sup>2</sup>	82,051千m <sup>2</sup>	43,978千m <sup>2</sup>	26,080千m <sup>2</sup>	経済産業省建材統計年報	
繊維板(中質繊維板)	24,510千m <sup>2</sup>	—	28,137千m <sup>2</sup>	60,644千m <sup>2</sup>		
繊維板(軟質繊維板)	22,899千m <sup>2</sup>	34,732千m <sup>2</sup>	51,844千m <sup>2</sup>	48,071千m <sup>2</sup>		
パーティクルボード	22,749千m <sup>2</sup>	85,177千m <sup>2</sup>	79,616千m <sup>2</sup>	79,720千m <sup>2</sup>		
木毛セメント板	22,597千枚	11,599千枚	8,897千枚	4,288千枚	経済産業省建材統計年報(1970年、1980年)	
木片セメント板	—	—	13,107千枚	10,033千枚		
住宅屋根用化粧スレート	—	—	—	—		データ無し
ロックウール(吹き付けロックウール)	—	—	29,884千m <sup>2</sup>	21,296千m <sup>2</sup>		
ロックウール(ロックウール吸音板)	—	17,435千m <sup>2</sup>	27,974千m <sup>2</sup>	19,337千m <sup>2</sup>		
シャッター	4,216千m <sup>2</sup>	8,104千m <sup>2</sup>	8,136千m <sup>2</sup>	10,033千m <sup>2</sup>		重量シャッター、軽量シャッターの合計
普通板ガラス	25,246千箱	17,915千箱	6,048千箱	3,611千箱	経済産業省窯業	
フロートガラス	—	22,535千箱	30,989千箱	22,354千箱	建材統計年報	

\*1 無記入の場合は回答者提供値、\*2 1998年の値、\*3 1999年の値

表4 製造時排出物の再資源化の現状

材料	排出物発生および再資源化の現状			再資源化の方法	
	排出物発生率(%) <sup>*1</sup>	再資源化率(%) <sup>*2</sup>			
	0	10	20		
繊維板、パーティクルボード	5	■	■	100	破砕し原料の一部として利用
せっこうボード	2.5	■	■	ほぼ全量	石膏部分：粉砕し原料として利用、紙部分：エネルギー源として利用
木毛セメント板	3~4	■	■	ほぼ全量	粉砕し原料の一部として利用
木片セメント板	3~4	■	■	ほぼ全量	粉砕し原料の一部として利用
ALC	約8	■	■	ほぼ全量	オートクレーブ前水に溶かし原料の一部として利用、オートクレーブ後：粉砕し増量材として利用
粘土瓦	3	■	■	ほぼ全量	粉砕し原料(粘土)の一部として再利用
金属屋根	0.1~0.2	■	■	ほぼ全量	同種の金属に再資源化
住宅屋根用化粧スレート	約14~15	■	■	不明	破砕し自製品骨材として利用(K社では95%を再利用)
窯業系サイディング	推定0.2~0.3	■	■	不明	粉砕し原料の一部として利用、加工工場から回収された端材も全量再利用
仕上塗材	—	■	■	—	
陶磁器質タイル	20	■	■	ほぼ全量	粉砕し自製品原料の一部として利用
ビニル壁紙	3~4	■	■	1	自製品原料の一部として利用
ビニル系床材	10	■	■	ほぼ全量	粉砕し自製品原料の一部として混入
押出発泡ポリスチレンフォーム	25	■	■	100	ペレットとして再資源化、自製品へ利用
ロックウール	22	■	■	84	溶解し原料の一部として利用もしくは製造ライン上で製品に戻す
グラスウール	2.5	■	■	90	ガラス原料として還元、溶融窯へ投入
硬質ウレタンフォーム	8~15	■	■	10~15	ボード化、サーマルリサイクル、ケミカルリサイクル
シャッター	約3	■	■	—	端材はほとんどでない
普通板ガラス	15	■	■	ほぼ全量	原料の一部として利用
フロートガラス	15	■	■	ほぼ全量	原料の一部として利用
アルミサッシ	約5	■	■	ほぼ全量	溶融し、ビレット原料として利用
ガスケット	1~5	■	■	不明	塩化ビニル製については自製品原料の一部として利用
衛生陶器(便器)	10	■	■	100	粉砕し原料の一部として利用
塩化ビニル管・継手	0.1	■	■	不明(ほぼ全量と推定)	自製品原料の一部として利用

\*1 排出物発生率は生産量に対する質量比、\*2 再資源化率は排出物発生量に対する質量比

■：再資源化、□：不明、▨：廃棄処分等

表5 新築時排出物の再資源化の現状

材料	排出物発生および再資源化の現状		再資源化の方法	回収ルートの整備状況
	排出物発生率(%) <sup>*1</sup>	再資源化率(%) <sup>*2</sup>		
繊維板、パーティクルボード	5	90	破砕し、燃料として利用	検討中
せっこうボード	8	38	石膏部分:粉砕し原料の一部として利用、紙部分:エネキ-源として利用	一部実施
木毛セメント板	約4	約50	粉砕し原料の一部として利用	検討中
木片セメント板	約4	約50	粉砕し原料の一部として利用	検討中
ALC	約4	あまりなされていない	粉砕し増量材として利用	一部実施
粘土瓦	1~3	0		未検討
金属屋根	1~2	ほぼ全量	同種の金属に再資源化	ほぼ全量回収
住宅屋根用化粧スレート	5	不明	破砕し自製品骨材として利用(K社では約8%を利用)	一部実施
窯業系サイディング	15	0		検討中
仕上塗材	1~2	0		未検討
陶磁器質タイル	3~5	ほとんどなされていない		試行中
ビニル壁紙	10	0		整備中
ビニル系床材	5~7	ほとんどなされていない	粉砕し自製品原料の一部として混入	整備中
押出發泡ポリスチレンフォーム	0~5 <sup>*3</sup>	0	(化学量用については端材は発生しない)	未検討
ロックウール	不明	不明	原料の一部として利用	一部実施
グラスウール	7	0		検討中
硬質ウレタンフォーム	10~20	5~10	ボード化、サーマルリサイクル、ケミカルリサイクル	整備中
シャッター	0	-	端材はほとんどでない	-
普通板ガラス	10	不明(回収は90)		一部実施
フロートガラス	10	不明(回収は90)	普通板ガラス原料の一部として利用(技術的には可能)	一部実施
アルミサッシ	ほとんど発生しない	不明(ほぼ全量と推定)	熔融し、ピレット原料として利用	ほぼ全量回収
ガスケツト	0	-	端材は発生しない	-
衛生陶器(便器)	0	-	端材は発生しない	-
塩化ビニル管・継手	1.2	55(推定値)	自製品原料の一部として利用	一部実施

\*1: 排出物発生率は生産量に対する質量比、\*2: 再資源化率は排出物発生量に対する質量比

\*3: ■:再資源化、□:不明、○:廃棄処分等

\*4: 化学量用0%、住宅用5%未満、一般建築用5%未満

3) 解体時  
解体時の排出物については、表6に示すように、再資源化はほとんどなされていない。80%以上再資源化を行っている」と回答したのは金属屋根とシャッターのみである。また、協会が再資源化の実態の把握が困難なことから回答は“不明”となっているが、アルミサ

ッシも再資源化が実施されている。これらはいずれも金属製品であり、新築時排出物同様、有価物として回収ルートが既に存在している材料である。また、解体材の受け入れ基準を提示するなどの対応を行っている塩化ビニル管・継手が40%超との回答であった。その他はいずれもほとんど再資源化がなされていない状況にある。

### 3.3 回収ルートの整備状況

回収ルートの整備状況について集計した結果を表5、6に示す。

新築時については、“試行中”、“一部実施”、“ほぼ全量回収”の回答が10件あったが、そのうち2件は金属製品であり、先述のように有価物としてすでに回収ルートが存在している例である。金属製品以外では、広域再生処理指定産業廃棄物処理者の資格を取得するなど、積極的に回収ルートの整備を行っている例がある。

解体時については、“一部実施”、“ほぼ全量回収”と回答した4件のうち3件は金属製品である。残りの1件は、塩化ビニル管・継手であるが、使用済み材料について受入基準を提示するなどの対策がすでになされている。“試行中”は化学量用の押出發泡ポリスチレンフォーム保温板であり、試行的回収がされはじめている。その他はいずれも未検討、検討中であり、回収ルート整備自体の困難さに加え、分別があまりなされていないこと、回収し

表6 解体時排出物の再資源化の現状

材料	再資源化の現状		再資源化の方法	回収ルートの整備状況
	再資源化率(%) <sup>*1</sup>	再資源化率(%) <sup>*2</sup>		
繊維板、パーティクルボード	ほとんどなされていない	0	燃料として利用	検討中
せっこうボード	1	0		検討中
木毛セメント板	不明(一部実施)	0	粉砕し原料の一部として再利用	検討中
木片セメント板	不明(一部実施)	0	粉砕し原料の一部として再利用	検討中
ALC	ほとんどなされていない	0		検討中
粘土瓦	0	0		未検討
金属屋根	ほぼ全量	100	同種の金属に再資源化	ほぼ全量回収
住宅屋根用化粧スレート	0	0		未検討
窯業系サイディング	0	0		未検討
仕上塗材	0	0		未検討
陶磁器質タイル	ほとんどなされていない	0		検討中
ビニル壁紙	0	0		未検討
ビニル系床材	ほとんどなされていない	0		検討中
押出發泡ポリスチレンフォーム	1未満	0	分別し再資源化(化学量用)	化学量用については試行中
ロックウール	不明	0		検討中
グラスウール	0	0		検討中
硬質ウレタンフォーム	0	0		検討中
シャッター	95~99	100	鋼製品へ再利用(鋼製以外の部品については廃棄)	一部実施
普通板ガラス	ほとんどなされていない	0		未検討
フロートガラス	ほとんどなされていない	0		未検討
アルミサッシ	不明(相当量と推定)	0	熔融し、ピレット原料として利用	ほぼ全量
ガスケツト	不明(ほとんどなされていない)	0		未検討
衛生陶器(便器)	0	0		未検討
塩化ビニル管・継手	42(推定値)	100	自製品原料の一部として利用	一部実施

\*1: 再資源化率は解体時の排出物に対する質量比

\*2: ■:再資源化

ても再資源化の目的がたっていないことから実質的な対応は遅れているといえる。

### 3.4 再資源化技術の整備状況

表7に再資源化技術の整備状況を示す。再資源化技術については、未検討の材料は少なく、“構想”~“実施”と、到達段階の差こそあるものの、何らかの検討や技術開発を行っている場合がほとんどである。ただし、再資源化技術のなかには、粉砕後に原料の一部に混入させることで再資源化とするなど排出物の受入

量に限界のある場合、再資源化した材料の需要が小さい場合等、同技術が廃棄物発生抑制に直結しない場合がある。また、再資源化技術を適用するための条件として、異物の混入や汚れを不可とする場合が多く、解体現場での分別の徹底に加え、新築時および解体時の排出物を再資源化するためには、異物混入の防止、分別回収の徹底、異物や汚れを除去するための施設整備等が必要な場合も生じる。ただし、本調査結果からは、これらの条件が製造上必要な条件、製品の品質保持上必要な条件のいずれであるかは判断できない。また、ビニル系床材やガasketのように異なる材料や異素材の同材料との判別の困難さが分別回収の障害となる例もみられた。

さらに、判明している場合のみ、備考欄に原料全体に対する受入可能量の目安を記した。製造時の原料として新築時以降の排出物を利用しようとする場合、異物混入等の条件を満たしても、これ以上の受入が困難な場合が多い。

### 3.5 まとめ

以上、調査結果を述べたが、団体、企業において回答の精度に多少の差がみられたものの、同種の製品へのマテリアルリサイクルを中心とした再資源化の現状把握、問題点抽出の目的は十分に達成できた。なお、本結果は製造会社や地域他の条件により数値や状況に差異が生じる可能性がある。また、いずれも調査時点での数値、状況であり、今後変化する事が予想されるため、状況の変化に伴い追加調査が必要と考える。

## 4. 結

以上から、本調査の範囲においては、仕上げ材の再資源化お

よび回収ルート整備の現状は以下である。

- ①製造時発生 の排出物については、現状で再資源化が行われている場合が多い。
- ②新築時発生 の排出物については、回収ルートの整備が一部の材料で始まっており、再資源化も一部でなされている。
- ③解体時発生 の排出物については、回収ルートの整備は金属製品等一部を除きほとんどなされておらず、再資源化もほとんどなされていない。

また、金属製品以外、現状でほとんどなされていない解体時に発生する排出物の再資源化においては、現在の再資源化技術（開発中を含む）を適用するには分別回収の徹底を要することが明らかになった。分別解体は、本報告で対象とした材料については現在あまりなされておらず、分別回収の可能性は未知である。今後の具体的な検討がまたれる。同時に、再資源化技術の開発等、技術的課題のみならず、回収ルートの整備、需要の開拓等も重要な課題と考えられる。

以上、建築仕上げ材の、同種の製品へのマテリアルリサイクルを中心とした再資源化に関して実施した調査のうち、再資源化率、回収ルートの整備状況、再資源化技術の整備状況について考察を行った。新築時、解体時に排出される排出物の再資源化が実現するためには、分別の徹底、回収ルートの整備、再資源化技術の整備、再資源化原料を用いた製品の需要確保などの要件が同時に満たされる必要があることに難しさがある。

本報告では再資源化率を現状の把握のために調査したが、再資源化が進んでいない材料については、排出量が少なれば廃棄物発生抑制の観点から大きな問題とならない場合もある。再資源

表7 再資源化技術の整備状況（1/2）

材料	再資源化技術の内容	適用条件	到達段階 <sup>※1</sup>	備考
繊維板、パーティクルボード	破砕し、原料の一部として利用	異物（プラスチック・石・土・砂・非鉄金属・釘）や化粧材の混入は不可	実験 実証（製造時）	原料の15%まで利用可
せっこうボード	廃せっこうボードを原料の50%としたせっこうボード	古紙の混入率1%以下、混入物不可	実証	
	石膏部分をせっこうボード原料として再利用	混入物は不可、濡れていないこと（ただし解体時塵材は現時点で本用途での利用はない）	実施	せっこうボード生産量の10%まで利用可（現状で受入量の全量を既に利用）
	石膏部分を地盤改良材（石灰系固化材の添加材）	木、プラスチック、紙クロス、岩綿吸音材、ペイント、石膏プラスターの混入不可、濡れていないこと	実験 実証	
木毛セメント板	石膏部分を地盤改良材（セメント系固化材の添加材）	金属、塩化ビニルクロスの混入不可	実験 実証	
	セメント原料	金属、塩化ビニルクロスの混入不可	実験	
	燃焼処理後、セメント原料として利用	金物の混入不可、紙類は粉体であれば可、塗料の混入量も問題になる可能性有り	実施（一部）	
木片セメント板	粉砕し、木毛部分を木毛セメント原料として利用	金物の混入不可、紙類は粉体であれば可、塗料の混入量も問題になる可能性有り	実施（一部）	原料の木材中10%まで利用可、現状は10%、これ以上の増加は困難
	粉砕後、セメント部分を硫酸処理し、セメント原料へ再利用	金物の混入不可、紙類は粉体であれば可、塗料の混入量も問題になる可能性有り	実施（一部）	
	燃焼処理後、セメント原料として利用	金物の混入不可、紙類は粉体であれば可、塗料の混入量も問題になる可能性有り	実施（一部）	
ALC	粉砕し、木片セメント板原料へ再利用	金属の混入不可	実施	
	土壌改良材		構想	
	セメント原料	受け入れ基準をセメントメーカーと協議中、付着物の量やばらつきが問題となる	実証	
粘土瓦	自製品原料	土砂その他の汚れ、異物混入不可	実施（新築時）	原料の10%まで利用可（現状で原料の8%の製造時発生塵材を利用）
	粉砕し、原料（粘土）の一部として利用			
金属屋根	路盤材	粘薬に鉛が含まれる場合もあるが、環境省の溶出基準内のため問題ではない	実験	
	同種の金属に利用	不明	実施	
住宅屋根用化粧スレート	電炉メーカーで原料として利用	不明	実施	
	破砕し自製品骨材として利用		実施	

<sup>※1</sup>実施：同技術を利用して製造した製品を製品化し、販売している、実証：同技術を利用して製造した製品を製品化可能なことを確認している  
 実験：同技術を開発・検討中である、検討：同技術の開発にむけた準備段階である、構想：技術開発の方向性のひとつとして同技術を構想中である

化推進においては、再資源化時のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量等も含め、総合的な検証が求められる。本調査により仕上げ材の再資源化に関する現状と課題の把握がなされたが、今後、本調査で得られた資料等から、仕上げ材の再資源化の必要性、推進の優先度等のさらなる検討が必要である。また、本報告はマテリアルリサイクルが検討の中心となったが、熱回収や縮減なども廃棄物削減の有効な手段であるため、十分な検討が必要となる。これらは今後の課題とする。

謝辞 本調査にあたり、関係団体・企業の多大な御協力を賜りました。また、調査の実施にあたり、東京大学大学院修士課程・昇隆章氏、同卒業生(当時)・鈴木香奈子氏、廣瀬隆治氏、東京都立大学角田誠助教授、同修士課程(当時)・高橋正樹氏の御協力を賜りました。記して謝意を表します。また、本調査は(社)日本建築センターに設置した委員会、「木造資源循環総プロ再資源化分科会仕上げ材WG」(主査:明治大学 菊池雅史教授)において審議いただきました。委員各位に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 国土交通省 平成12年度建設副産物実態調査結果
- 2) 国土交通省総合技術開発プロジェクト「建設分野におけるダイオキシン類汚染度状対策・廃棄物発生抑制技術の開発(建築分野)」及び独立行政法人建築研究所研究プロジェクト「木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発」平成13年度報告書、平成14年3月、国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、財団法人日本建築センター
- 3) 昇隆章他、「木造戸建住宅に用いられる各種建材のリサイクルに関する研究 その1リサイクルの現状について」、日本建築学会大会学術講演梗概集E-1建築計画 I、pp.559-560、2002.8
- 4) 廣瀬隆治他、「木造戸建住宅に用いられる各種建材のリサイクルに関する研究 その2将来の可能性と現状の評価」、日本建築学会大会学術講演梗概集E-1建築計画 I、pp.561-562、2002.8
- 5) 高橋正樹他、「木造戸建住宅に用いられる各種建材のリサイクルに関する研究 その3解体材発生量に着目したリサイクルの可能性」、日本建築学会大会学術講演梗概集E-1建築計画 I、pp.563-564、2002.8

表7 再資源化技術の整備状況(2/2)

材料	再資源化技術の内容	適用条件	到達段階 <sup>*)</sup>	備考
窯業系サイディング	セメント原料へ利用	塗料、ホコリの混入は可、鉄の混入は不可	実証もしくは実施(製造時)	
	粉砕し、原料の一部として利用	泥、粘土、埃、金属粉、糖類、酸類等セメント硬化を阻害するものの混入は不可	実施(製造時、自社製品に限り新築時) 未検討	原料の10%(推定値)まで利用可
仕上げ材				
陶磁器質タイル	破砕し、路盤材として利用	接着剤、モルタルの付着はある程度可	実施(製造時)	
	製造時に発生する汚泥をセメント原料として利用 タイル原料として利用		実証	
ビニル壁紙	粉砕し、コンクリートパネル、インターロッキング原料の一部として利用	特になし	実証	タイル原料の35%まで利用可(現状で33%まで利用)
	塩化ビニル部分から化学物質の抽出(フィードストックリサイクル)		実験	需要の確保が課題
ビニル系床材	粉砕しビニル系床材の裏打ち層へ混入	接着剤の混入は不可、下地コンクリートの混入は不可	実験(一部実施)	ビニル系床材の約30%まで利用可(現状では10%程度)
	塩化ビニル部分から化学物質の抽出(フィードストックリサイクル)			
押出発泡ポリスチレンフォーム	化学製フォームポリスチレンを原料として混入	ワラ・糸等の混入品は不可減容に用いる溶剤が許容以内のこと	実施	6000枚/月を受入可能
ロックウール	原料の一部として再溶融及び製品ラインに戻して利用	分別の実施が前提	実施	
グラスウール	硝子繊維原料等として利用(溶融し、カレットを製造する等)	釘、木材、ポリエチレンフィルム、タッカーの混入は不可、ほこり、カビ等は少量であれば可	実証	実現すれば3500t/年を受入可能
硬質ウレタンフォーム	硬質ウレタンフォーム断熱材をボード原料として混入	異物の混入不可、但し紙は可	実施	原料の50%を受入可能
	硬質ウレタンフォーム断熱材を原料へ混入	異物の混入不可	実施	原料の50%を受入可能
	硬質ウレタンフォーム断熱材を脱臭剤の分散材へ再生	異物の混入不可	実施	
	硬質ウレタンフォーム断熱材を屋根裏等への吹込み断熱材へ再生	異物の混入不可	実施	実現すれば硬質ウレタンフォーム断熱材の100%を受入可能
シャッター	鋼製品に再利用する	不明	実証	
普通板ガラス	型板ガラス原料の一部として利用	混合物はメーカー受け入れ基準内可	実施(製造時)	
普通板ガラス、フロートガラス	路盤材(アスファルト骨材)として利用	混入物可	構想	
	ガラス繊維原料として利用	混合物は基準内可	構想	
	ブロック・タイル・レンガ等原料として利用	混入物は基準内可	構想	(ブロック等自体の需要が少ない)
	ガラスびん原料として利用	混合物は基準内可	構想	(ガラスびん自体の需要が減少し、ガラスびんのリサイクルで受入量は既に満たされている)
アルミサッシ	溶融し、ビレット原料として利用	シール材、ねじ、モルタル等の混入は不可	実施	
ガasket	合成ゴム系は熱加硫工程前のスクラップ、端材を原料の一部として利用	汚れの除去、劣化部分の除去、異なる色・硬さのガasketは分別が必要	実施(製造時)	
	プラスチック系はスクラップ、端材を原料の一部として利用		実施(製造時)	
衛生陶器(便器)	粉末状に粉砕し、原料の一部として再利用		実施(製造時)	
塩化ビニル管・継手	排水用リサイクル硬質塩化ビニル管への再利用	汚れ、劣化及び退色が少ないもの	実施	
	下水道用リサイクル発泡三層硬質塩化ビニル管への再利用	汚れ、劣化もある程度可、退色は問題なし	実施	
	建物排水用リサイクル発泡三層硬質塩化ビニル管への再利用	汚れ、劣化が少ないもの、退色は問題なし	実施	
	その他再生管への再利用	汚れ、劣化もある程度可、退色は問題なし	実施	
	フィードストックリサイクル	マテリアルリサイクルが出来ないもの	実証	

\*1: 実証: 同技術を利用して製造した製品を製品化し、販売している、実証: 同技術を利用して製造した製品を製品化可能なことを確認している

実験: 同技術を開発・検討中である、検討: 同技術の開発にむけた準備段階である、構想: 技術開発の方向性のひとつとして同技術を構想中である

# 解体木質材の地域リサイクルシミュレーションモデルの構築

## DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL FOR RECYCLE OF WOODEN RESOURCE GENERATED IN DECONSTRUCTING HOUSES

野村希晶\*, 有川 智\*\*, 福田展淳\*\*\*, 小林 均\*\*\*\*  
Noriaki NOMURA, Satoshi ARIKAWA, Hiroatsu HUKUDA  
and Hitoshi KOBAYASHI

A model for simulating the recycle process of wooden material produced by the deconstruction of wooden houses has been developed, which is capable of describing the material flow of wooden resource based on logistic condition in a local area. The model, called recycle logistics model, consists of several agents which simulate wooden houses, deconstruction companies, intermediate process factories and recycle material production factories in the real world. They play their own role in computer program directed by political scenarios which control the material flow. An applied simulation for the recycle process in Yamaguchi Prefecture shows the useability and effectiveness.

**Keywords:** *Recycle, Simulation, Wooden resource, Deconstruction, Logistics*

リサイクル, シミュレーション, 木質資源, 除却解体, ロジスティクス

### 1. はじめに

建築物の除却解体時に発生する廃棄物量は年々増加する傾向にあり、その再資源化を促すとともに建築活動から発生する廃棄物量を抑制するための新しい技術と仕組みに対する社会的要望が高まっている。特に木造建築物由来の建設発生木材は再資源化率が低迷しており、その再資源化を促すための関連技術及びその普及基盤を早急に整備する必要がある。循環型社会形成推進基本法をはじめとした関連6法の成立により、我が国でも漸く廃棄物・リサイクル法体系が整備されつつある。それらの中には、再資源化に関する具体的な数値目標が示されているものも少なくない。例えば、平成11年9月ダイオキシン対策関係閣僚会議において決定された「ダイオキシン対策推進基本指針」では、平成8年度比での廃棄物減量化目標が定量的に示されている。即ち、平成22年度までに、産業廃棄物排出量の増加を13%削減、再生利用量を42%から48%に増加、そして最終処分量を半分に削減するとともに、焼却量を22%削減するというものである。更に、平成12年12月には「建設リサイクル法に基づく基本方針」が策定され、建設発生木材を含む特定建設資材廃棄物の平成22年度における再資源化・縮減率を95%にするという数値目標が掲げられている。

これらの目標達成にあたっては、多様な再資源化ルート（例えば、

部材としての再使用、チップ化した上での再生利用（パルプ、パーティクルボード等）、粉体化した上での再生利用（プラスチック化木材等）、サーマルリサイクル等々が考えられるが、その組み合わせや比率によって再資源化のあり方は大きく異なる。また、各ルートの需給バランスは地域によって異なり、再資源化を阻害している要因も様ではない。これら多様な再資源化の問題に対応した技術・政策が求められているのであり、適正な再資源化の実現のために具体的な「リサイクルシナリオ」を提示するとともに、その効果を定量的に検証する手法の開発も求められている<sup>1)</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究は、木質系建築廃棄物の発生抑制技術の開発に関する基礎資料とするために、現在そして将来に急増が予想される木質系建築廃棄物について、マテリアルリサイクルや縮減などの処理内訳比率が各種リサイクル施策によってどのように変化し、処理にかかわる輸送コストがどのように変化するかを量的に検討するモデルの開発を行ったものである。具体的には、木質系建築廃棄物のうち木造住宅（躯体非木造を含む）の除却解体時に発生する廃木質材について、その除却以降再資源化に至るマテリアルフローを地域内の道路輸送を条件として定量的に追跡するモデルを構築し、様々な再資源化政策シナリオによ

\* 東北大学大学院工学研究科建築・社会環境工学科  
助教授・工博

\*\* 国土技術政策総合研究所住宅研究部 研究員・工博

\*\*\* 北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科  
助教授・工博

\*\*\*\* エックス都市研究所

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Science, School of Engr., Tohoku Univ., Dr. Eng.

Researcher, Housing Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Environmental Space Design, Faculty of Environmental Engr., The Univ. of Kitakyushu, Dr. Eng.

EX CORPORATION Urban & Environment Planning

るシミュレーション計算を行い、地域内のマスバランス等の問題点を抽出することを行っている。

本報は、今後目指すべき資源循環社会において、木造建築物の資源循環が除却-生産の社会構造の中に量的にどう適用するかをシミュレーションによって明らかにしようとする端緒である。この問題はもとより国内全域の生産経済過程で考えるべきものであるが、現実的に検証可能な範囲を都道府県規模の地域に指定し、モデルに基づいた手法が有効性を持つかを吟味しようとしている。

適正な資源循環を実現するためには、1) リサイクルプロセスにおけるマクロなバランス（出口と入りの量的な整合性）-排出量と処理可能量、再生材料の供給と需要等、2) 流通（市場）のあり方（材料を循環させるための前提条件）-発生量・品質・立地（距離）・情報・経済的支援等、3) 近未来の時系列に沿った将来予測とその対応策-建設年代による使用材料の変化・滅失戸数の推計に基づく除却量の予測、の観点からの検討が必要である。本研究では、これらの検討事項のなかから、特に1)と2)についてモデル構築を行ったものである。

本論で示すような、道路輸送を条件として廃木質材の処理をシミュレートするモデルに関する研究はこれまで行われていないが、わが国の木造住宅のCO<sub>2</sub>循環に着目し建設と除却をも考慮したパラメトリックモデル研究<sup>2)</sup>や建設業における物質のマテリアルフローを扱った研究<sup>3)</sup>などが類縁の先行研究として挙げられる。

### 3. 除却解体木質材移送モデルの基本概念と構成要素

#### 3.1 概要

「都道府県」単位の地理規模を圏域と呼ぶことにする。本章では圏域内で生じる住宅の除却解体時に発生する木質材料が、解体業者から中間処理業者へ移送され中間処理業者から各種リサイクル工場あるいは縮減工場などへ移送される全プロセスをシミュレーションするモデルについて述べる。このモデルによって、ある圏域内での木質資源の処理能力の現状を把握し、資源循環政策が計画されたときその効果を、地域内での工場配置の特性や道路ネットワークの地理的条件から検討することが可能になる。本モデルを地域リサイクルロジスティクスモデル（以下ロジスティクスモデルまたはモデル）と呼ぶことにする。

#### 3.2 対象

住宅建築の除却解体時には、建築生産物の特性から非常に多岐に渡る材料が発生する。前章までに述べたようにこれらの中で今後も問題になるものは特に木質材料である。そこで、まず域内での木質材の資源循環を取り上げることにする。しかし、本モデルの考え方で廃プラスチックなど他の循環対象材料についても同様のシミュレーションは可能である。

また、廃木質材のうち特に除却解体に由来するものについてモデル化を行う。廃木質材としては、新築工事由来あるいは土木工事由来のものがあるが、これらについては本モデル内では表現していない。木くず資源の総量を考えると、伐採木など土木工事由来の木質資源を加味すべきと思われるが、それらの発生時期、発生位置が現状では将来にわたって適正に予測できないので本研究ではモデルに取り入れることを見合わせた。但し、新築工事由来の廃木質材は、ほぼ除却解体工事と同等に扱えると思われる。あるいは、住宅除却解体件数と新築件数の間に関係が見いだせれば、本モデルのシミュレーション結果を係数倍することである程度は推定可能と思われる。

モデルで扱っている廃木質材は住宅の除却由来の廃木質材なので結果の解釈には注意を要する。例えば、後で述べる山口県のシミュレーションでは、山口県の木くず調査実績から除却解体由来の廃木質材が総量の約1/3を占めた（2000年度）という事実を考慮した上で結果を吟味する必要がある。

#### 3.3 ロジスティクスモデルの概要

地域内の住宅除却解体木質材の発生・移送及び処理に関わる地理的及び人的事象について現象論的なモデル化を行った。モデル挙動の骨格は以下のように述べるができる。域内で発生する住宅除却解体木質材の解体・移送・処理に関係する実在の世界（実世界）の人や工場を、属性と行為を持ったエージェントとして定義し、エージェント間で相互に応答をやりとりする行為によって木質材は移送され、その移送前後で分別された廃木質材、チップなどと形態が変化してゆく。その結果域内の地理的に異なる場所に処理された木質材が蓄積されることになる。エージェント間の応答のやりとりは時間軸にそって行われるので離散的な時間ごとの挙動がシミュレーション結果として得られることになる。

モデルをプログラムに実装する際には、各エージェントの属性は数値情報や文字情報で表現される property として、行為や相互の応答は method として、これら property と method を有するエージェントはオブジェクトとして記述されることになる。以下では実世界のモデル化という文脈ではエージェントと、モデルのプログラム記述という文脈ではオブジェクトと呼ぶことにする。次節以降でロジスティクスモデルの挙動を記述する基本要素のオブジェクトについて述べる。

#### 3.4 地域 - AREA オブジェクト

各種地理的統計情報の入力と結果集計のための基本単位オブジェクトである。実際の解析対象県の市町村としてモデル化され、属性と変数のみを有し method を持たないオブジェクトである。設定属性は表1に挙げたように、土地面積、人口と世帯数、人口集中地区（DID）中心位置座標、隣接 AREA との道路距離の情報などを保持している。また、この AREA オブジェクトそれ自身が後述する解体業オブジェクトと各種処理工場オブジェクトの属性にもなる。

表1 地域オブジェクトの属性

地域情報	情報の型(単位)	種別
IDコード	整数	属性
地域名	文字列	属性
地域面積	実数(km <sup>2</sup> )	属性
世帯数	整数(世帯)	属性
地域人口	整数(人)	属性
人口集中地区の広がり	実数	属性
人口集中地区中心x座標	実数(km)	属性
人口集中地区中心y座標	実数(km)	属性
圏域内世帯率	整数	属性
平均住宅齢	整数(年)	属性
除却総床面積	実数(m <sup>2</sup> )	変数
木造家屋率	実数	属性
除却数	整数	変数
除却率	実数	変数
無効除却発生数	整数	変数
隣接地域数	整数	属性
隣接地域間距離	実数(km)	配列変数
隣接地域コード	整数	配列変数
地域内解体業者数	整数	属性

### 3.5 解体業 - WRECKER オブジェクト

地域内で発生した除却家屋を分別解体する解体業をモデル化したオブジェクトである。除却対象住宅の延床面積と建築年から、軸材、面材を各自の業務能力に応じて分別し、政策シナリオに従い、地理的条件（ロジスティクス）を考慮して各種中間処理工場に移送する働きを有する。このオブジェクトの有する属性は表2に示した通りである。

### 3.6 中間処理工場 - IMPF オブジェクト

解体業オブジェクトの解体木質材の処理受け入れを意思決定し、移送された解体木質材を切削、破碎、粉体化、縮減などのいずれかの処理を行う中間処理施設をモデル化したオブジェクトである。IMPF(Intermediate Process Factory)と略称する。実際の中間処理にはその後の製品化や減容化に応じた各種の処理様態が存在するが、現在のわが国の解体材の処理を現実的な範囲で表現できるものとして、本モデルでは表3のように破碎工場、縮減工場、破碎・縮減工場とした。破碎工場は特に縮減用チップ化とボード用チップ化に分けた。また、地域内ロジスティクスの政策シミュレーションのために、実際には存在しないが分別資源を蓄積・再配分する新しいタイプの中間処理工場（共同集積場と呼ぶ）を設けた。これら、中間処理工場オブジェクトが有する情報を表4に示した。

### 3.7 製品化工場 - RCY オブジェクト

中間処理工場で処理されたチップなどを受け取る工場を表現したオブジェクトである。RCY (Recycle Factory) と略称する。中間処理には木質ボードなどリサイクル製品用のチップを生成する場合と、焼却

用チップを生成する場合があります。後者の場合は引き続いて縮減のための焼却中間処理工場やサーマルリサイクル用の処理工場に処理チップが移送される。縮減された処理物は最終処分場へと移送されるが本モデルではその移送プロセスや最終処分場との需給関係は取り扱わず、縮減された処理物はその工場に留め置いてマスマランスを計測するものとした。

RCYは、リサイクル用のチップなどを受け取るオブジェクトでこれ以上の木質材の流れは追わないモデルの境界に相当している。言い換えれば、境界の外部にある経済とのやりとり、すなわち生産や出荷などは行わず、木質材移送物の最終保持状態を計量するためのオブジェクトである。したがって、処理能力などはオブジェクトの属性として考慮せず、移送チップは全て処理タイプに応じた製品化がなされると見なしている。RCYオブジェクトでは、全地域内の立地条件の影響を調べるうえで位置座標とストック量のみが主要な属性になる。モデルに実装された処理タイプすなわち製品化工場の種類は、実世界ではバイオマス発電所などに相当するサーマルリサイクル工場、マテリアルリサイクルとしてのボード工場、近い将来開発と流通が期待される構造用部材を生産する高付加価値型材料工場、および製紙工場である（表5）。これらの工場の配置条件を変えることで解体木質材の地域内移送を調べることができる。

### 3.8 解体住宅 - HOUSE オブジェクト

以上の他に、それ自身の挙動は受動的で他に働き掛ける影響が少ないが必要な構成要素として、解体される住宅のオブジェクトを表6の

表2 解体業オブジェクトの属性

解体業情報	情報の型(単位)	種別
IDコード	整数	属性
所属地域コード	整数	属性
所在位置x座標	実数(km)	属性
所在位置y座標	実数(km)	属性
除却処理速度	実数(m <sup>2</sup> /日)	属性
除却処理精度	実数	属性
平米あたり解体単価	実数(円/m <sup>2</sup> )	属性
解体中家屋コード	整数	変数
除却待ち家屋数	整数	変数
除却待ち家屋コード	整数	配列変数
累積移送支出	実数(円)	変数
解体材処理費	実数(円/m <sup>3</sup> )	変数
累積解体収入	整数(円)	変数
中間処理工場との取引のタイプ	文字列	属性
親取引中間処理業工場数	整数	変数
親取引中間処理業工場コード	整数	配列変数
中間処理工場取引緊密度	実数	配列変数
近距離中間処理工場数	整数	変数
近距離中間処理工場コード	整数	配列変数
解体終了状態フラグ	論理	変数
搬出待状態フラグ	論理	変数
解体中状態フラグ	論理	変数
受注待状態フラグ	論理	変数

表3 中間処理工場の種類

記号	工場種類
C	縮減用チップ工場
C-RCY	製品用チップ工場
R	縮減工場
C&R	チップ化後縮減工場
C&R-RCY	製品用チップ工場(有焼却炉)
SEP	共同集積場(仮想工場)

表4 中間処理工場オブジェクトの属性

中間処理工場情報	情報の型(単位)	種別
IDコード	整数	属性
工場名	文字列	属性
処理工場タイプ	文字列	属性
所属地域コード	整数	属性
所在位置x座標	実数(km)	属性
所在位置y座標	実数(km)	属性
処理能力速度	実数(ton/日)	属性
処理効率(歩留り)	実数	属性
未処理ストックヤード(面材)	実数(m <sup>3</sup> )	変数
未処理ストックヤード(軸材)	実数(m <sup>3</sup> )	変数
処理後ストックヤード	実数(ton)	変数
受入処理費	整数(円)	属性
処理材有価値	整数(円)	属性
取引型	文字列	属性
累積受託処理費	整数(円)	変数
累積処理費	整数(円)	変数
累積移送費	整数(円)	変数
得意先処理工場数	整数	変数
得意先処理工場コード	整数	配列変数
接続中間処理工場数	整数	変数
接続中間処理工場コード	整数	配列変数
接続中間処理工場距離	実数(km)	配列変数
接続地域数	整数	属性
接続地域DID中心との距離	実数(km)	配列変数
接続地域コード	整数	配列変数

表5 製品工場の種類

記号	工場種類
BD	ボード工場
THML	サーマルリサイクル工場
EWD	高付加価値型材料工場
PMF	製紙工場



表6 解体住宅オブジェクトの属性

解体住宅情報	情報の型(単位)	種別
IDコード	整数	属性
所属地域コード	整数	属性
地域域内位置距離偏差	実数(km)	属性
建築年齢	整数(年)	属性
初期床面積	実数(m <sup>2</sup> )	属性
構法種コード	文字列	属性
解体中残り床面積	実数(m <sup>2</sup> )	変数
除却木質材(軸材)	実数(m <sup>3</sup> )	変数
除却木質材(面材)	実数(m <sup>3</sup> )	変数

ように設けている。シミュレーション計算では、AREA オブジェクトによって生成され、その状態を表す解体中残り床面積(解体前は初期床面積と等しい)が単位時間(日)に WRECKER オブジェクトによって減少させられ(解体され)、除却木質材(軸材)と除却木質材(面材)が増加することになる。

#### 4. ロジスティクスモデルの挙動

前章に述べたオブジェクトが、与えられた政策シナリオと自己の能力に基づいて、関連する他のオブジェクトと情報をやりとりしながら行動し、自分の状態と関連オブジェクトの状態を単位時間中に変化させることが、シミュレーション計算の実体である。本章では、各オブジェクトの挙動の詳細について述べる。ここでの各挙動は単位時間(実際のシミュレーションでは日単位)におけるものである。

##### 4.1 地域オブジェクトの挙動

AREA オブジェクトには、圏域全体で得られている実際の除却床面積の総和が世帯数比にしたがってシミュレーション開始前に分配される。単位時間中には各 AREA オブジェクトは正規乱数で除却床面積を発生し、平均家屋床面積で除してその整数商を当単位時間の必要除却家屋数とする。したがって、世帯数の少ない地域には必ずしも毎単位時間に除却家屋が発生することにはならないようになっている。

除却確率は、除却家屋予測モデルによって与えるべきものだが、本研究の目的の範囲を超えること、また、地域毎の除却家屋予測自体が精度の観点からは困難な課題になるので、本モデルでは除却家屋総床面積が圏域の1年間の実統計量に合致するように除却を発生させるものとした。

必要除却家屋は以下の規則にしたがって当該地域内の WRECKER オブジェクトに割り当てられる。

- (1) 現在解体物件を持たない WRECKER オブジェクトに割り当てる。
- (2) 解体単価が小さい順に割り当てる。
- (3) 解体単価が同じ場合はランダムに割り当てる。
- (4) 以上でも割り当てられない場合は、単価の小さい順にランダムに WRECKER オブジェクトの除却待ち行列に割り当てる。

##### 4.2 解体業オブジェクトの挙動

4.1 のように必要除却家屋を割り当てられた WRECKER オブジェクトは以下の規則にしたがって、地域内必要除却家屋の分別解体と中間処理工場への移送を行う。

- (1) 単位時間当りの作業能率と作業精度にしたがって、当該除却家屋の床面積から、柱梁などの軸材と壁や下地などの面材を生成する(解体する)。その生成割合は、除却住宅の種別毎の平均的な構成比にしたがうものとする。
- (2) 当該除却住宅の床面積がゼロになった時点で、次の時間ステップ

から移送処理に移行する。実世界の解体では、解体作業と移送作業が同一日に行われる場合もあるが、そのような作業工程でも解体終了後移送をまとめて行う工程でも、総作業量で見るとモデルの全体結果に及ぼすような大きな差はないと考えられるので、モデルではミクロな解体作業の記述はしていない。

- (3) 解析時に設定した政策シナリオ(後述)を遵守しつつ、解体材を移送する中間処理工場(IMPF オブジェクト)を探す。この際、処理費の低いものから探し、処理費が同じ場合は移送距離の小さい方を優先する。

- (4) IMPF オブジェクトが受け入れを受諾した場合にはそこへ解体材を移送する。受け入れを拒否された場合には(3)を繰り返す。

以上の処理は、各地域毎に全 WRECKER オブジェクトがとる行動だが、計算時の行動順序は毎時間ランダムに変えることで、結果の平等性を確保している。

WRECKER オブジェクトが悪意を持った行動をとることは全く考えられていないので、建設リサイクル法に従って50km圏内に中間処理工場を探索し、見つかった場合でそこが受け入れを受諾した時は、たとえ移送費が大きくなっても解体材は必ずそこへ運ぶことになる。したがって、いわゆる不法投棄などは発生しない。しかし、解析時に与えた IMPF のストックヤードや処理能力の値しだいでは行き先のない解体材も計算上は発生する可能性がある。この場合の解体材は、HOUSE オブジェクト内に残ったままになる。現実には、中間処理工場の空きを待たずして移送先を探し続けるものだが、圏域内の中間処理工場の総処理能力の評価や不法投棄の可能性評価のために、HOUSE オブジェクトに解体材が残る現象を許すことにしている。

##### 4.3 中間処理工場の挙動

IMPF の行動は、工場の種類によらず共通なものと、工場の種類によって異なるものがある。工場の種類によらない共通な行動規則は以下の通りである。

- (1) WRECKER オブジェクトから解体材の処理要求があった場合に、ストックヤードの限界量以内であればそれを受け入れ、限界量を超える場合は拒否する。
- (2) スtockヤードにある解体材を、自己の処理能力に応じて処理し、備蓄ヤードに蓄える。
- (3) 備蓄ヤードにある処理材(チップなど)を、政策シナリオを遵守しつつ次の処理工場に、処理費の低い順で移送距離の小さい順に選択し移送する。

工場の種類別では以下の行動規則に従う。

- (1) C(縮減用チップ工場): 移送先は縮減工場かサーマルリサイクル工場である。
- (2) C-RCY(製品用チップ工場), C&R-RCY(有焼却炉): 移送先は縮減工場とサーマルリサイクル工場以外である。C&R-RCYは歩留り以外の残余の焼却処理を行う。
- (3) R(縮減工場): 次の処理工場はないこととする(前述の最終処分扱いによる)。
- (4) C&R(チップ化後縮減工場): サーマルリサイクル優先シナリオが採られていない場合には自社で縮減処理まで行う。次の処理工場はないこととする(前述の最終処分扱いによる)。
- (5) SEP(共同集積場): 解体材の処理を行わず、備蓄ヤードから解体材を、製品用チップ工場のうち予め決められている得意先工場(共同集積の契約工場)へ再配送する。

#### 4.4 全体挙動の記述と評価量

以上の各オブジェクトの行動によって、解体木質材が各種処理を受けて、圏域内を移動することになる。これらの量的変化は、単位時間の変化量が各種オブジェクトの各種属性として与えられているので、一階差分を前進的に解くことになる。モデルの全体挙動の骨格部分は、各オブジェクトの相対的位置関係から計算される道路距離評価に基づく行動決定関係とその間の木質材移送にある。そしてこれらを制約したり、助長したりする政策シナリオが関数記述として表現されている。

モデルからの出力は、木質材の各種処理量と移送コストの地理分布と時系列である。除却解体は実際の一棟一棟を数値的に発生させており、何十年単位での挙動を想定していない。現状との比較のために単年解析が中心になるので、季節条件が深刻な地域でないかぎり時系列はあまり意味を持たず、年間総量が重要な出力結果となる。また、モデルの表現精度に比べ、与えているパラメータの情報精度が低いので、出力量はオーダー程度で吟味するものとし、解析パラメータの違いによる出力量の構成比に着目するべきと考える。

以上のような挙動をシミュレートし必要なパラメータ設定と入出力を行うコードをプログラム開発した。図1はそのメインインターフェイスである。

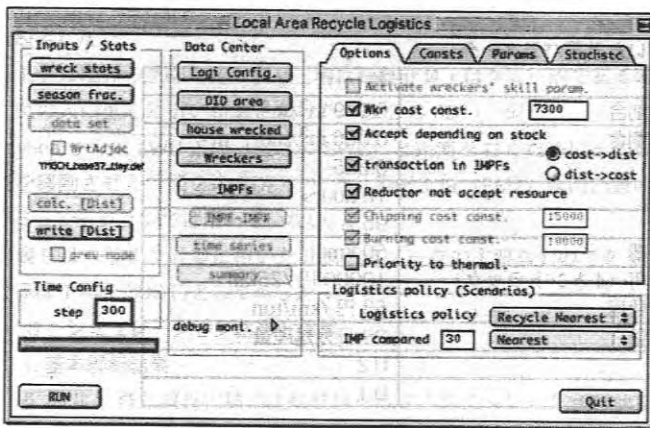


図1 シミュレーションプログラムメインインターフェイス

表7 設定政策シナリオ

記号	内容
Base	現況をシミュレーションするもの
Dxn	ダイオキシン類対策特別措置法および改正廃棄物処理法に基づきダイオキシン非対応焼却炉を有する工場を除外した場合
RcyThrml	縮減用チップ工場にその移送先としてサーマルリサイクル工場を優先させる
RcyForce	解体木質材を製品用チップ工場へ優先移送する場合
RcySep	解体木質材を共同集積場に優先移送し、共同集積場が特定の製品化工場に契約接続する場合

上記で「優先」という意味は、道路距離50km圏内に対象移送先がある場合は必ずそこへ移送することを指す

#### 5. 政策シナリオの設定と適用事例

##### 5.1 政策シナリオ

4で述べたように、WRECKERオブジェクトの解体木質材移送とIMPFSオブジェクト間の処理材移送は、各オブジェクトに内在しない政策的な誘導、すなわち政策シナリオに従うことが決められている。また、この政策シナリオによって、圏域内の住宅除却由来木質材のマスバランスの違いや移送コスト変動を検討することが本モデルの目的でもある。政策シナリオのあり方は、法的な論拠と木質資源の市場価値を勘案して定められるもので、論理的な設定法が求めにくいものである。本研究ではモデルの表現力・記述力をはかる目的で、ある程度妥当と考えられる5つの基本シナリオを表7のように定めた。このうち、RcySepは政策シナリオは他の現実的なシナリオとは異なり、政策が新たな工場立地を誘導したもので対象圏域の将来のリサイクルネットワークの理想像のひとつを形にしようとしたものである。

これらのシナリオは計算プログラムではオブジェクトがとる行動の関数によって実装されている。また、同一のシナリオでも、後述の表9に示す計算パラメータや定数の設定の組合せで多様な表現ができるようになっている。

##### 5.2 適用対象概要

本ロジスティクスモデルは多くの計算パラメータの設定が必要であり、実在のわが国の都道府県において当てはめるためには、ある程度調査資料が充実している圏域を選定する必要がある。本研究で選定した圏域は山口県である。ここでは、国内ではリサイクル政策への取り組みが先進的な自治体のひとつで、モデル適用対象として統計資料も充実している<sup>4)</sup>。そこで既存の統計資料に独自の調査を加えて本モデルの計算パラメータを設定し、山口県の解体木質材のロジスティクスシミュレーションを行った。

##### 5.3 山口県モデルパラメータ

山口県の統計資料および調査資料からロジスティクスモデルに与えた基本条件は表8の通りである。各オブジェクトには3章で述べた属性が付与されている。AREAオブジェクトには統計資料に基づいて属性を与えた。但し、DID中心は各市町村の行政中心とした。また、隣接市町村間のネットワークは、地図上の県道以上の主要道路の接続関係から道路距離を測って与えている。

WRECKERオブジェクトについては、解体業者の統計実態がほとんど不明で総数も未知である。そこで、計算時に発生除却家屋が地域内のWRECKERオブジェクトに割り当てられればよいとし、WRECKERオブジェクトの待ち行列に数件以内で納まる程度の解体業者数を想定した。結果的には必要解体業者総数は県内工務店数の3分の1ぐらいになり、これを地域の人口比に応じて地域内に一様に分布させた。また、同様の理由からWRECKERオブジェクトの属性は全て一律にした。したがって、本解析ではWRECKERオブジェクトの個々の特性は捨象されている。

中間処理業のモデルでの取り扱いを述べておく。収集した山口県の中間処理施設データで、能力や施設位置などがはっきりしているも

表8 山口県モデル基本データ

AREA オブジェクト	56 県内市町村数						
住宅除却総床面積	木造 665000m <sup>2</sup> , 非木造 323000m <sup>2</sup> (2000年実績)						
WRECKER オブジェクト	2199 仮定総解体業者数 (市町村に人口比で配分)						
IMPFS オブジェクト	種類	C	C-RCY	R	C&R	C&R-RCY	計
	ダイオキシン対応前	18	10	27	9	10	74
	ダイオキシン対応後	18	10	14	6	7	55

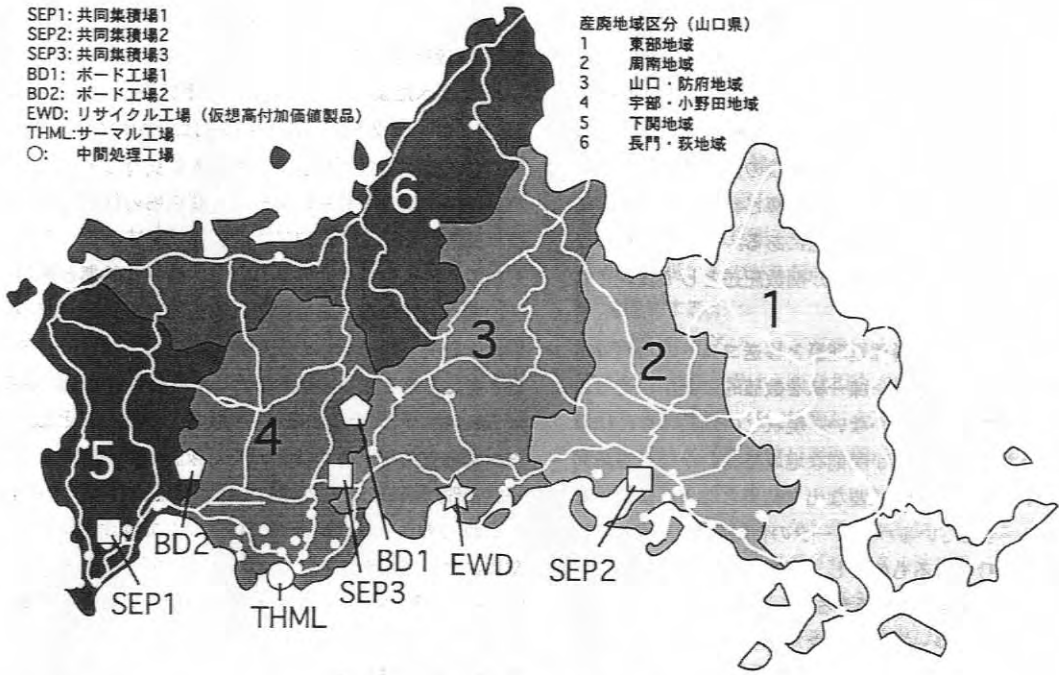


図2 山口県圏域概要

産廃6地区区分 (図注番号), 主要道路およびシミュレーションに用いた主要な各種処理工場

表9 シミュレーションに用いた計算パラメータ

名称	内容	値
軸材率	家屋分別解体時に軸材の占める割合	0.179 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
面材率	家屋分別解体時に面材の占める割合	0.066 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
かさ比重	解体木質材のみかけ比重	0.205
稼働時間	中間処理施設日平均稼働時間	10 hours
減容率	焼却縮減時体積現象割合	95 %
政策移送距離限界	政策シナリオに従う最大移送距離	50 km
解体材移送費	解体業の除却木質材平均移送費用 (4トントラック)	10000 円 /25km
チップ移送費	中間処理工場のチップ平均移送費用	53 円 /km/ton
プレストック量	中間処理施設未処理材蓄積可能量	28 日分処理量
除却家屋床変動	住宅平均面積の変動係数	0.2
除却家屋日変動	日当り除却発生率の変動係数	0.1

の、あるいはそれらが仮定できるものの数は74施設である。これらの施設の処理の種類は、調査結果によれば(1)破碎,(2)焼却,(3)破碎と焼却である。しかし、チップ化工場でも、実際にリサイクル原料として製品化工場へ売却しているか、縮減用チップとしているかなどの実態は全ての施設について分かってはいない。また、処理後の移送先も分かっているものはわずかである。従って、シミュレーションデータとしては、製品用チップとしてリサイクル工場へ販売していることがわかっている場合以外のチップ工場は焼却縮減している場合が多いと考えられるので焼却用として扱った。

表8のダイオキシン対応工場数は基本的には調査結果に従ったが、調査回答が不明の焼却工場は、全て未対応として扱った。また、山口県には焼却処理能力が極めて高いセメント工場が存在するが、実際の受け入れはあまり行われていないこと、また、これを考慮すると影響が強すぎるので扱わないこととした。

山口県内の産廃地域6区分(山口県独自の定義による)とIMPfを図2に示した。また、これらがシミュレーション時に表示された一例を図3に示した。図3でネットワークは直線で表わされているが、プ

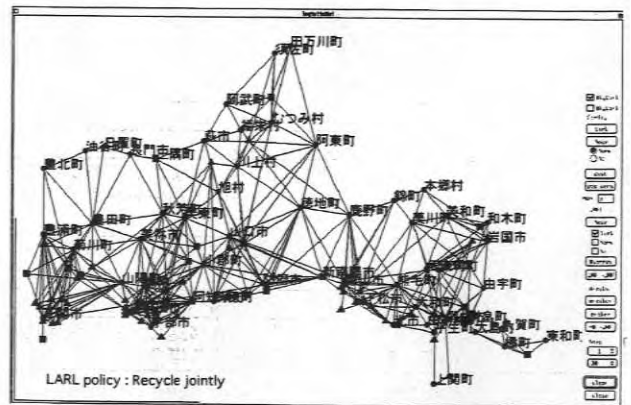


図3 シミュレーションプログラムでのネットワーク表示

ログラム内部のリンク距離は直線距離ではなく地図上の道路距離を測定して与えた。

#### 5.4 政策シナリオと計算パラメータ

山口県の平成12年度(2000年度)実績の県内木くず発生量が報

表 10 山口県産廃地域毎の除却木質材発生量

地区番号	地区名	2000 年度実績 < ton >	計算値 (変動係数) < ton >	計算値/実績値
1	東部地域	10831	8941 (0.008)	0.83
2	周南地域	7767	8631 (0.007)	1.11
3	山口・防府地域	10830	10016 (0.009)	0.92
4	宇部・小野田地域	10904	9481 (0.007)	0.87
5	下関地域	9493	9662 (0.007)	1.02
6	長門・萩地域	5366	3808 (0.009)	0.71
	県全体	55191	50539	0.92

告されている。この統計量と比較しうる基本解析を行った後に、各種政策シナリオを設けてシミュレーションを行った。設定したシナリオは表 7 に示したものをを用いたが、シナリオ Base は統計量が存在する 2000 年度の山口県を対象とした。また、シナリオ RcySep として、

1) RcySep1: 下関近郊に仮想共同集積場 (図 2 の SEP1) を設け、契約工場として近傍の 4 箇所の製品用チップ工場 (図中○印) に接続した場合

2) RcySep2: 仮想共同集積場を下関近郊と徳山近郊に 2 つ (図 2 の SEP1, SEP2) 設けて、そのそれぞれが近傍 4 箇所の製品用チップ工場を契約工場として持つ場合

3) RcySep3: 防府市付近 (瀬戸内海側の県中央部) に高付加価値型材料を想定して新規に RCY 工場オブジェクトを配置し (図 2 の EWD)、共同集積場を 3 箇所にした場合 (SEP3 を追加)

を設定した。

モデル境界の意味を持つ製品工場は距離計算上はダミー的であるので県の人口重心に近い位置に設けた (図 2 の BD1)。但し、シナリオ RcySep 3 では EWD 工場 (図 2 の EWD) と距離をおくためにその位置を移動させた (図 2 の BD2)。また、製紙工場 (PMF) は山口県のシミュレーションでは用いていない。

表 9 は本解析で計算に用いた計算パラメータの主要なものである。計算は 1 年を 300 日として行った。

### 5.5 シミュレーション結果と考察

#### (1) 基本解析結果

表 10 に計算と調査実績の比較結果を示す。シミュレーション計算では、発生除却面積やオブジェクトの行動順序など事象の発生を確率的に与えている点が多々ある。従って、基本解析では 10 回の計算を行いその平均値で結果を検討している。AREA (市町村) 毎に計算が実行されているので、表のように産廃地域 (山口県が設定したもの) 毎にシミュレーション結果をまとめることが可能である。シミュレーションパラメータとして与えている実資料は、年間総除却面積だけであるので、表 10 のように計算値 / 実績値がおおむね 1.0 前後におさまっていることから、モデルのマクロな精度としては充分であると思わ

れる。地域毎に 1.0 のまわりにばらつくのは、モデルでは総除却面積を各 AREA に人口比で割り当てているのに対し、実情は AREA 毎の除却発生に偏りがあるためと思われる。県全体の総除却木質材発生量は計算/実績 = 0.92 であった。計算値が小さいのは、モデルの解析時間が実態より小さくなっている可能性があること (工場稼働時間 8 時間、週末休止を仮定して計算)、分別解体の解体率や歩留りの設定、解析終了時点で未解体家屋が存在することなど複数の要因によるものと思われる。解析時間の調整で計算値を実績値に恣意的に近づけることは可能だが、現段階では家屋解体処理現状全般の高精度な再現は目標にしていないので、表 10 の結果はマクロな量的検証として充分なものとして判断した。

#### (2) 政策シナリオ解析結果

表 11 に、各種政策シナリオのシミュレーション結果を、処理内訳と移送コスト比としてまとめた。基本解析の結果、変動係数が極めて小さいことが分かったので、各政策シナリオの解析では 5 回の計算の平均値を求めた。

コスト比は製品化チップ工場とリサイクル工場間の移送コスト (記号: C-Rcy)、焼却用チップ工場と焼却工場間の移送コスト (記号: C-R)、共同集積場とリサイクル用チップ工場間の移送コスト (記号: Sep-C、シナリオ RcySep1, RcySep2, RcySep3 の場合) および解体業から各種中間処理工場への移送コスト (記号: wrecker) の総和を、基準移送コスト (シナリオ Base の C-R のコスト値及びシナリオ Base の wrecker のコスト値) の比で表している。

計算プログラム内部では、解体費、処理費、チップ売却費も計算しているが、実情のデータが非常に粗いので、オブジェクトの行為をコストで決定するシミュレーション方略はかえって挙動の不整合を引き起こしやすい。したがって、実際には動的に変化する諸単価を一律に扱い、上述のように距離に基づいた移送コストの比率を考察対象とした。設定した各シナリオから得られた知見は次のようにまとめられる。

(a) シナリオ Base: これは 2000 年現状のうち、家屋除却解体由来分の廃木質材の処理を見たものだが、ほぼ 1/3 のマテリアルリサイクル率になり、これは山口県の全木くずの処理現況と対応している数値

表 11 各種政策シナリオ毎のシミュレーション結果

シナリオ 記号	処理内訳 (%)								移送コスト比			
	マテリアル リサイクル	サーマル リサイクル	高付加価値材	縮減	破碎待	縮減待	移送待	waste	C-Rcy	C-R	Sep-C	wrecker
Base	34.9			55.3	1.3	4.3	0.3	3.9	2.90	1.00		1.00
Dxn	32.0			44.4	2.2	4.4	12.7	4.4	2.19	2.72		1.14
RcyThrm1	30.3	62.9		0.0	2.2	0.0	0.3	4.2	1.87	8.89		1.13
RcyForce	94.6			0.8	1.5	0.0	0.3	2.8	6.62	0.02		1.59
RcySep1	52.8			36.4	2.9	3.5	0.4	4.1	3.46	1.06	0.82	1.76
RcySep2	81.9			11.9	2.5	0.6	0.3	2.7	6.27	0.36	4.00	2.40
RcySep3	33.6		50.4	10.4	1.7	0.6	0.3	3.0	3.32	0.34	4.07	1.82

となった。

(b) シナリオ Dxm: ダイオキシン非対応処理場を除くことにより、マテリアルリサイクル分はあまり変化しないが縮減量が減り焼却工場への移送待ち量が増加している。モデルで扱っている対象が解体工事由来の廃木質材で、山口県の現実はその2倍の処理量が要求されていることを考えると、焼却場不足は明らかである。また、処理されているものも、対応以前の3倍弱の移送コスト(C-R)がかかっている。

(c) シナリオ RcyThrm1: 縮減にまわる廃木質材を50km圏内にサーマル工場がある場合はそちらへ移送するという政策を取ると、全縮減量とマテリアルリサイクルの一部がサーマルリサイクルにまわった結果となる。ただし、処理工場からサーマル工場への移送コスト(C-R)が大きく増大することは避けられない。

(d) シナリオ Rcy-Force: 全て製品用チップ化することを強制すると、解体から製品用チップ工場へ移送するコストが約1.6倍になる。また製品用チップ工場からの移送コストも増大している。このときのチップ供給量は約46000トンで過剰供給が心配される。またこの結果は、山口県で縮減分を全て製品用チップに移行させようとしてそれができただけのチップ工場の総能力があるということも意味している。

(e) シナリオ RcySep1: 下関に仮想共同集積場を設けて製品用チップ工場と4箇所と接続した場合、縮減量が約19%減少し、その分のマテリアルリサイクルが増加する。この場合、解体業者の共同集積場への移送コスト増が生じ1.8倍になる。

(f) シナリオ RcySep2: 下関と徳山にそれぞれ仮想共同集積場を設けて製品用チップ工場とそれぞれ4箇所接続した場合、山口県の除却木質材がほとんど配送圏内に入るので、マテリアルリサイクルが8割以上に上昇する。リサイクルの観点から見ると好ましく思えるが、実際にはチップの過剰供給に陥る可能性があり必ずしも有効な政策とは限らない。また、共同集積場からの移送コストは、徳山の共同集積場とこれに接続する処理場の距離が遠いため、上昇している。また、共同集積場が増えたことで、解体移送コストも上昇する。

(g) シナリオ RcySep3: 意図的に防府市付近に構造材などに使用可能な高付加価値型材料を想定して新規にRCY工場オブジェクトを配置した場合である。また、共同集積場配置はシナリオ RcySep1, RcySep2の結果からみてわかるように、人口集中地域に適切に分散配置することが望ましい。ここでは、宇部市近郊に一箇所増やしている。これらの結果、リサイクルのうち、通常のボード類など(表中マテリアルリサイクル)と高付加価値型材料の割合がオーダー的にはほぼ同程度になり、移送コスト比もシナリオ RcySep2に比べるとSep-C以外は下げることができている。高付加価値型材料工場には2000年実績の家屋除却木質材からは約21600トンが供給できており、現実的な値になっていると思われるので、安定的なチップ供給を行える可能性は指摘できる。

## 6. まとめ

市町村規模の圏域内の住宅除却由来の廃木材資源が、リサイクルに関する政策シナリオに従って、道路ネットワークからなる圏域内で資源循環される材料移送状況をシミュレーションする地域ロジスティクスモデルを構築した。山口県を適用事例とした数値計算から、設定したシナリオ毎に生じる具体的なリサイクルの姿と問題点のある程度指摘できた。本モデルは、最善の政策や政策誘導工場立地の最適解を直接導くものではないが、地理情報システムなど他の立地用件解析システムからいくつかのパターンの配置案が与えられたときには、取るべき政策と域内でのロジスティクスに基づいたリサイクル率と移送コストの検証が可能である。

木質材の廃棄物問題については、総合科学技術会議において「ゴミゼロ型・資源循環型技術研究」が重点領域として挙げられ、重視すべき事項として「循環型社会変革シナリオ研究」が示されている。建築物のライフサイクルを通して、(各フェーズが連携した)モノと情報の円滑な流れを促進する高度な資源循環社会システム(規格・法令・制度等を含んだ総合的概念)を構築していくことが今求められており、適正な政策立案に際して、本論で報告した地域リサイクルロジスティクスモデルが活用されることが期待される。

## 謝辞

本研究は、総合技術開発プロジェクト「循環型社会及び安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発」の中課題「木質系建築廃棄物発生抑制技術の開発」(平成12年度～14年度)の一環として実施されたものであり<sup>9,10</sup>、(財)日本建築センターに設置された「社会システム分科会 資源循環社会モデルWG(主査:野村希晶)」において検討されたことを記し、関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会地球環境委員会資源利用小委員会: 建築における資源循環のモデル化、資源利用委員会活動報告書(1999-2000年度), 2001.
- 2) 高口洋人, 尾島俊雄: 木造住宅と森林資源の日本型循環モデル構築に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.544, pp.85-92, 2001.6.
- 3) 下田吉之, 井上晋一, 山岸源, 水野稔: 大阪府におけるマテリアルフローの推定と評価—都市における物質・エネルギー代謝と建築の位置づけ—その1—, 日本建築学会計画系論文集, No.546, pp.83-90, 2001.8.
- 4) 山口県環境生活部: 平成13年度山口県産業廃棄物実態調査報告書, 2002.
- 5) 野村希晶, 有川智, 武藤正樹, 小林均, 福田展淳, 野城智也: 木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究—その11リサイクルロジスティクスモデルの開発—モデル概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集A-1, 1099-1100, 2003.
- 6) 有川智, 野村希晶, 武藤正樹, 小林均, 福田展淳, 野城智也: 木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究—その11リサイクルロジスティクスモデルの開発—結果概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集A-1, 1101-1102, 2003.

(2004年5月10日原稿受理, 2004年10月13日採用決定)

# ひずみエネルギー密度関数を用いた 遮水シートの二軸引張変形挙動評価

狩野真吾<sup>1</sup>・小田勝也<sup>2</sup>・近藤三樹郎<sup>3</sup>

本研究では廃棄物最終処分場に敷設される軟質PVC, HDPE, SMePEの各遮水シートを対象に、ひずみエネルギー密度関数(W関数)を用いた遮水シートの二軸引張変形時の応力-ひずみ曲線の推定精度を検討した。軟質PVC, HDPE, SMePEの各遮水シートについて、一軸拘束二軸引張試験結果からそれぞれのW関数を求め、均等二軸引張変形時の応力-ひずみ曲線を計算した。この計算値と二軸引張試験における実測値とを比較した結果、軟質PVCでは15~40%, HDPEでは3~4%, SMePEでは6~15%までのひずみ領域に対して、W関数は10%以内の誤差で実験値の応力を推定可能であることがわかった。ここで、敷設面不陸に追従した際の軟質PVCに発生するひずみは最大でも15%程度であるという既往の研究結果を考慮すると、たとえば軟質PVCの裏込不陸への追従性を検討する場合、W関数による推定手法は十分に適用可能であると考えられる。

キーワード：遮水シート，二軸引張試験，ひずみエネルギー密度関数，応力-ひずみ曲線

## 1. はじめに

廃棄物最終処分場に敷設される遮水シートの性能値を規定する場合、遮水シートに発生する応力状態を考慮し、それを再現できるような試験方法および解析手法によって検討がなされるべきである。これに対し、設計に用いられる遮水シートの性能値は一軸引張試験による結果が主となっている。海面処分場の場合、遮水シートは地盤の不等沈下、自重や上載荷重等の引き込み力による引張変形、敷設面不陸への追従、突起物の貫入等、二次元的な変形挙動を示す場合が少なくない。陸上処分場および海面処分場に敷設される遮水シートの力学的性質に関して、これまでさまざまな検討が行われてきた。その結果、突起物の貫入による遮水シートの変形破断挙動<sup>1-3)</sup>、海面処分場に敷設された遮水シートの変形状態<sup>4)</sup>、地盤の不等沈下への変形追従性の評価手法<sup>5, 6)</sup>等が明らかにされた。しかし、二軸応力下での遮水シートの性能値は設計に反映されていないのが現状である。その理由としては、二軸応力下での遮水シートの挙動を検証するための二軸引張試験が一軸引張試験に比べて手間がかかり、工学的には一軸引張試験がより汎用性の高い試験方法であること等が挙げられる。

一方、ゴム材料の力学を対象とした研究分野では、ゴム材料のひずみエネルギー密度関数(以下、W関数と記す。)の関数形が明らかにされ、ゴム材料の二軸引張変形時における応力ひずみ挙動のW関数による検討がなされている<sup>7)</sup>。これに対し、W関数による評価手法が遮水

シートの設計に用いられた例はない。遮水シートの力学的性質を正しく把握し、その結果が遮水シートの設計に反映されることは、管理型廃棄物最終処分場の信頼性設計法の構築に必要な不可欠な検討事項である。

そこで、本研究では、遮水シートの二軸引張変形時の挙動を明らかにするため、シート供試体を用いた二軸引張試験を実施した。その際、供試体の厚さの変化、および引張速度が変形挙動に及ぼす影響について考慮した。また、ゴム材料のW関数に関する上述の検討例を基礎にして、一軸拘束二軸引張試験結果を用いて遮水シートのW関数を求めた。さらに、二軸引張変形時の応力-ひずみ曲線について実験値とW関数を用いた計算値とを比較することにより、W関数による遮水シートの応力-ひずみ曲線の推定精度を検討した。

## 2. 二軸引張試験

### (1) 二軸引張試験機

二軸引張試験は大阪府立産業技術総合研究所所有の二軸引張試験機を使用して行った。試験機の概略図を図-1に、装置の写真を写真-1に、主な仕様を表-1にそれぞれ示す。この試験機は水平軸、鉛直軸が個別にコンピュータ制御されており、鉛直軸を自動荷重-ひずみ制御で荷重拘束し、水平軸に荷重をかけて引張る一軸拘束二軸引張試験、および鉛直軸、水平軸に均等に同時に荷重を負荷する均等二軸引張試験を行うことが可能である。試料のつかみ部は試料の1辺あたり各4個のチャックで均

<sup>1</sup>正会員，東北大学大学院環境科学研究科，研究員（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20）

<sup>2</sup>正会員，国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室，室長（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

<sup>3</sup>正会員，土木シート技術協会，理事（東ソー・ニッケミ株式会社（〒105-0014 東京都港区芝2-5-10））

表 - 1 二軸引張試験機の主な仕様

有効試験片寸法	最大200mm x 200mm
最大荷重容量	X軸, Y軸ともに49kN
最大測定変位	X軸, Y軸ともに400mm
引張速度範囲	0.1 ~ 500mm/min
試験温度範囲	-20 ~ 200

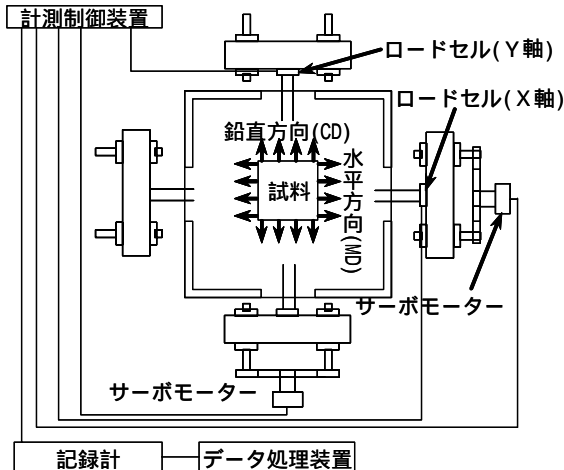


図 - 1 二軸引張試験機概念図



写真 - 1 二軸引張試験機 (大阪府立産業技術総合研究所所有)

等に把持し、試験時に各チャックが試験片の自由変形に応じて連動し移動することが可能である。

一軸拘束二軸引張試験および均等二軸引張試験の各試験方法と現実の遮水シートの変形挙動の対応については、以下のように考えられる。すなわち、法面平行方向はシート相互が溶着され変形が拘束されているのに対し、法面垂直方向はシートの自重や上載荷重による引き込み力によって引張変形が生じやすい。一軸拘束二軸引張試験はこのような片側を拘束された状態でのシートの変形挙動に対応する。また、突起物が貫入した場合、あるいは遮水シート敷設面に陥没等があり上載圧等の影響でシートが陥没内に向かって変形する場合等においては、遮水シートには局所的に等方的な引張応力、すなわち均等二軸応力が発生すると考えられる。

(2) 試験に使用した材料

二軸引張試験の供試体には、海面処分場への施工実績が多いポリ塩化ビニル系シート（軟質PVC：厚さ3.0 mm）、および陸上処分場で施工実績のあるポリエチレン系シート（HDPE：厚さ1.5 mm, SMePE：厚さ3.0 mm）の計3種類の材料を使用した。供試体の寸法と形状は一辺が15 cmの正方形とした。

(3) 試験方法

試験の手順はまず、15 cm x 15 cmの大きさに成形した供試体を二軸引張試験機の試料つかみ部に設置し、チャックで均等に把持した。その後、一軸拘束二軸引張試験を50 mm/minの一定速度で、また、均等二軸引張試験を

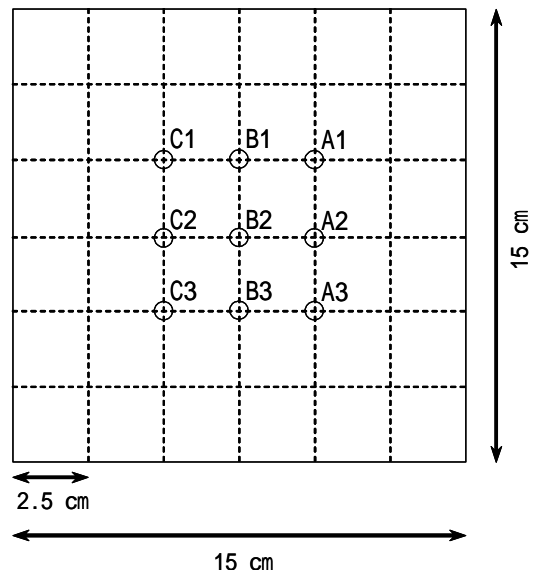


図 - 2 供試体の寸法および厚さの測定箇所

表 - 2 試験ケース

		軟質PVC	HDPE	SMePE
一軸拘束二軸引張試験				
均等二軸引張試験	引張速度 (mm/min)	5		
	50			
厚さ測定				

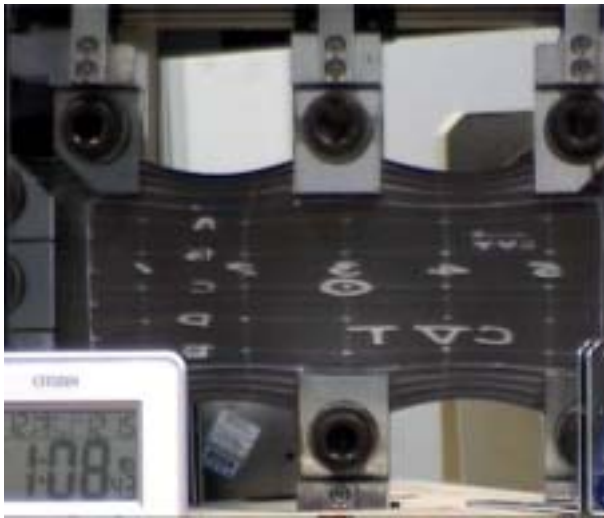


写真 - 2 一軸拘束二軸引張試験で変形する軟質PVC



写真 - 3 一軸拘束二軸引張試験で破断する軟質PVC

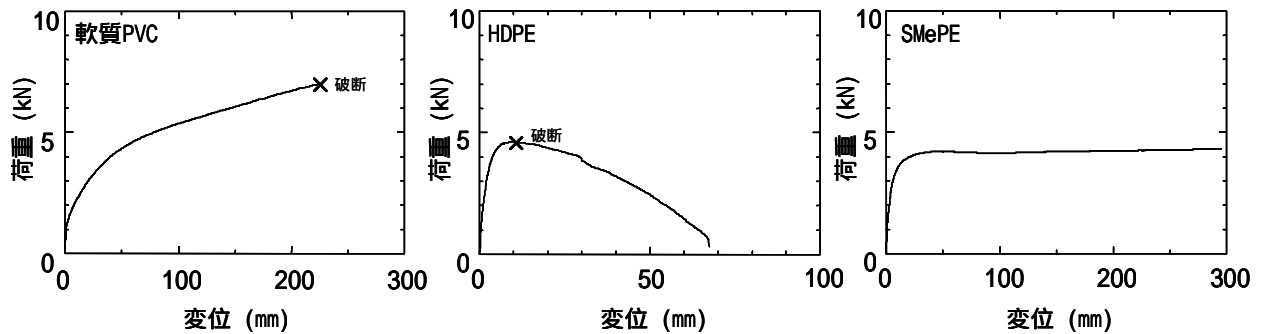


図 - 3 一軸拘束二軸引張変形時の荷重 - 変位曲線

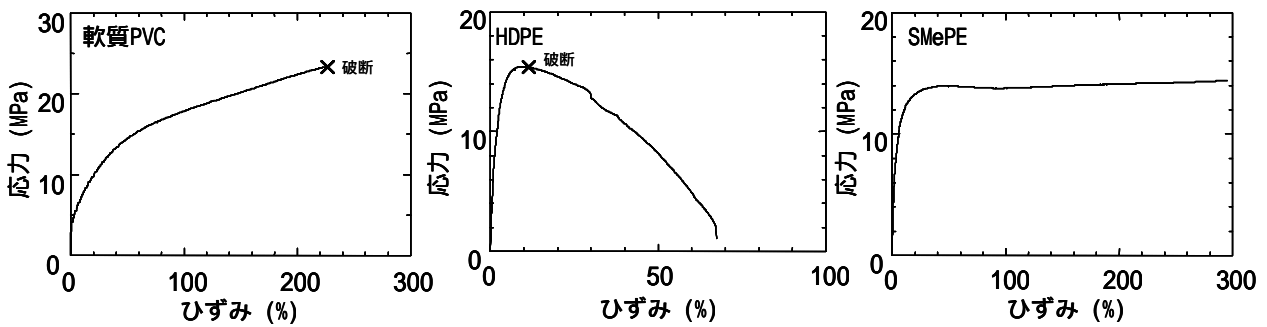


図 - 4 一軸拘束二軸引張変形時の応力 - ひずみ曲線

50 mm/minあるいは5 mm/minの一定速度で実施し、供試体が破断するまでの荷重と変位を計測した。その際、荷重はロードセルで測定し、変位はクロスヘッドの移動量（チャック間距離）を測定した。なお、試験室の温度は23℃に保ち、また、試験回数は1回とした。

#### (4) 厚さの測定方法

均等二軸引張変形中の供試体の厚さの変化を把握するため、試験中に数回、载荷を数分程度一時的に停止し、供試体の厚さを外側キャリパーゲージで測定した。供試体にはあらかじめ格子線を引いておき（図 - 2），厚さの測定は中心部の9点（A1～A3, B1～B3, C1～C3）を対象

に行った。なお、あらかじめ別途の試験で供試体の破断伸びを測定しておき、その破断伸びを5等分した各段階で初期状態も含めて5回測定した。

#### (5) 試験ケース

試験ケースを表 - 2 に示す。

### 3. 試験結果

#### (1) 一軸拘束二軸引張時の変形および破断挙動

供試体の変形の様子を写真 - 2 に、破断の様子を写真



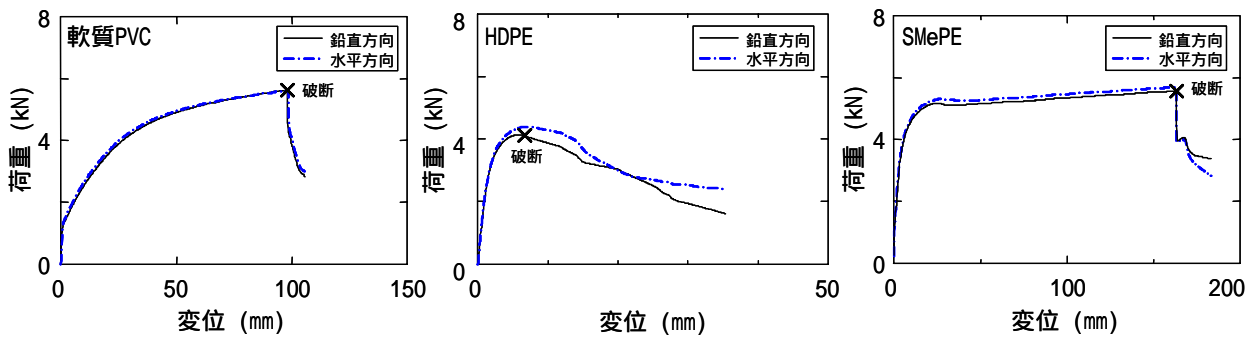


図 - 5 二軸引張変形時の荷重 - 変位曲線

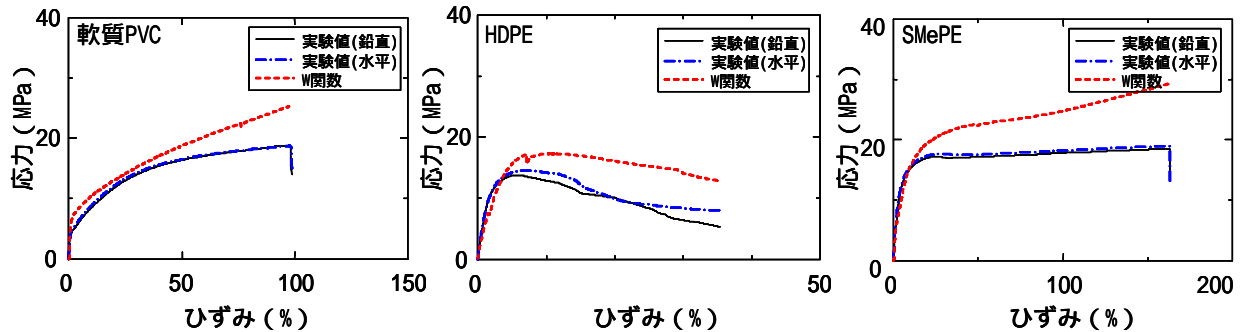


図 - 6 二軸引張変形時の応力 - ひずみ曲線に関する試験値とW関数による計算値との比較

- 3にそれぞれ示す。破断は、いずれの供試体のケースも供試体のつかみ部分（角部）が引き裂かれることにより発生した。これは、隣り合うチャック間において局所変形による応力集中が発生したためと考えられる。とくに角部は供試体が縦、横方向に引っ張られるため、他の部分より大きな応力集中が作用したと考えられる。このような破断は引張変形時の二軸応力が原因で発生したものであるのではないため、材料の二軸応力下における破断時性能を評価することはできなかった。

軟質PVC、HDPE、SMePE各供試体の荷重と変位の関係を図 - 3に、測定した荷重を断面積で除して得られた応力（MPa）と初期の試料幅に対するひずみとの関係を図 - 4にそれぞれ示す。図中の×印は破断点を示している。荷重 - 変位曲線および応力 - ひずみ曲線ともに、軟質PVCは変位（ひずみ）の増加とともに連続的に荷重（応力）が増加し、明確な降伏点は存在しなかった。一方、ポリエチレン系供試体であるHDPEとSMePEは変形初期に急激に荷重（応力）が増加した。HDPEは荷重（応力）の最大点で破断が発生した。一方、SMePEは変位が300 mmを越えた時点で試験を終了した。これら3種類の供試体の荷重（応力）増加傾向は一軸引張変形時に一般的に見られる挙動と類似するものである。なお、図中における最大点は供試体のつかみ部分における破断を示し、これは前述のように供試体の真の破断点とは異なる。なお、変形のごく初期に見られる曲線の急激な立ち上がり（たとえば軟質PVCにおいて約1 kNの荷重まで、もしくは約5 MPaの応力までを指す。）は試験機の測定上の誤差の影響を受けた結果であり、供試体の本来の変形挙動ではな

い。

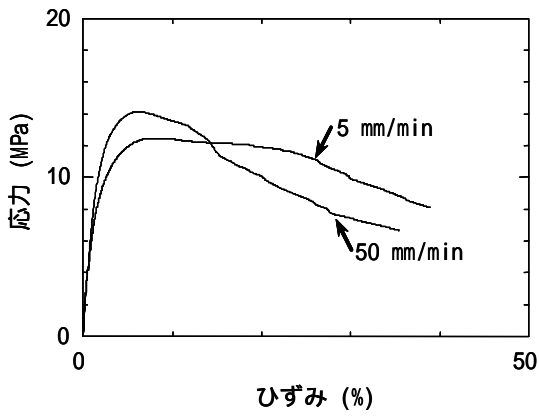
### (2) 均等二軸引張時の変形および破断挙動

均等二軸引張試験における供試体の破断は、一軸拘束二軸引張試験の時と同様、供試体の角部から発生した。これもやはり、つかみ部分で発生した応力集中が原因と考えられる。

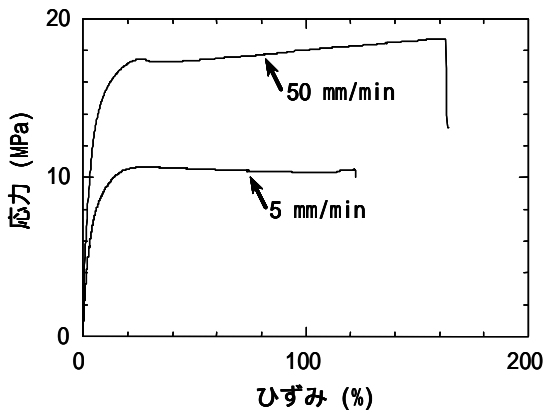
軟質PVC、HDPE、SMePE各供試体の荷重と変位の関係を図 - 5に、荷重を断面積で除して得られた応力（MPa）と所期の試料幅に対するひずみとの関係を図 - 6に示す。図中の実線は鉛直方向の挙動を、破線は水平方向の挙動をそれぞれ示している。また、図中の×印は破断点を示している。鉛直方向と水平方向の曲線の傾向はどの供試体も同じことから、供試体は両軸方向に均等に变形したことがわかる。軟質PVCは変位（ひずみ）に対して荷重（応力）が徐々に増加したのに対し、ポリエチレン系供試体であるHDPEとSMePEは変形初期に急激に荷重（応力）が増加した。この荷重増加傾向は、一軸引張変形時や一軸拘束二軸引張変形時の挙動と類似するものである。なお、変形のごく初期に見られる曲線の急激な立ち上がりは一軸拘束二軸引張試験結果と同様、試験機の測定上の誤差の影響を受けた結果である。

### (3) 引張速度の違いが二軸変形挙動に及ぼす影響

2種類のポリエチレン系シートについて、引張速度を50 mm/minおよび5 mm/minでそれぞれ一定とした時の試験結果を図 - 7に示す。ただし、図中の曲線はどちらの引張速度についても鉛直、水平両軸の算術平均値を示して



(a) HDPE



(b) SMePE

図 - 7 異なる引張速度における二軸引張試験結果

いる。原点と5%ひずみ時のプロットを直線で結んだ5%割線弾性係数は、HDPEの50 mm/minでは14.0 MPa、5 mm/minでは11.9 MPaだった。一方SMePEの50 mm/minでは12.8 MPa、5 mm/minでは7.5 MPaだった。また、最大応力は、HDPEの50 mm/minでは14.2 MPa、5 mm/minでは12.4 MPaだった。一方SMePEの50 mm/minでは18.8 MPa、5 mm/minでは10.6 MPaだった。以上の結果から、一軸引張変形時において一般的に見られるように、二軸引張変形時にもまた、引張速度が大きい方が遮水シートは高弾性、高強度であると言える。

#### (4) 二軸引張変形時の厚さの変化について

軟質PVCについて、図 - 8 に厚さを測定したケースの応力 - ひずみ曲線を示す。厚さの測定は図中の矢印の点で行った。载荷を一時的に停止した影響による応力緩和が見られる。

厚さの測定結果を図 - 9 に示す。測定箇所ごとの厚さのばらつきは最大でも0.1 mm程度であり、供試体全体が均一に変形したことがわかる。9箇所の厚さの算術平均値は、変形が進行するにつれて、3.0 mm、2.2 mm、1.7 mm、1.3 mm、1.1 mmと減少した。

次に、鉛直、水平方向への伸び量と厚さから計算した供試体の体積を変形前の体積で規格化した結果を図 -

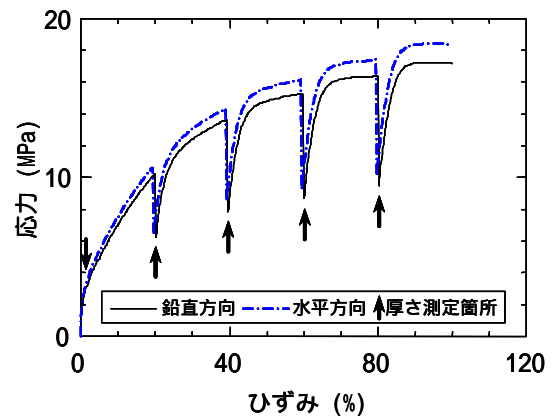


図 - 8 厚さ測定時の軟質PVCの応力 - ひずみ曲線

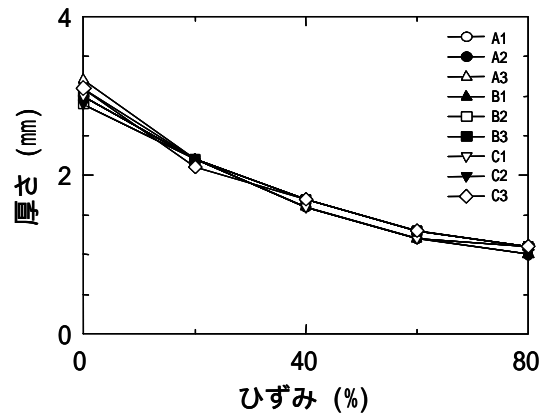


図 - 9 二軸引張時における軟質PVCの厚さ変化

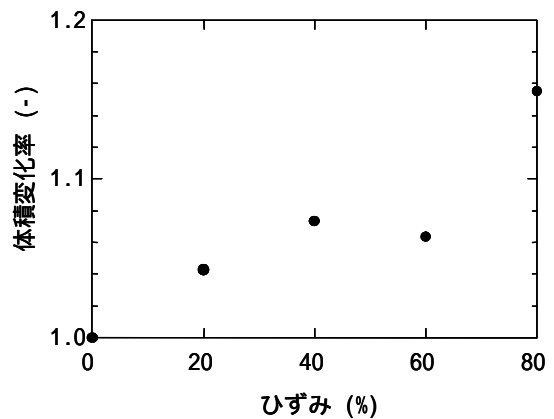


図 - 10 二軸引張時における軟質PVCの体積変化率

10に示す。その結果、供試体の体積は変形とともに徐々に増加し、80%ひずみでは変形前の約1.15倍になった。体積が増加した理由として、高分子鎖の切断に伴うマイクロボイドの発生、拡大の可能性が考えられるが、詳細については不明である。

#### 4. W関数を用いた二軸引張変形時の応力 - ひずみ

##### 曲線の推定

(1) W関数の求め方

W関数は数学的大変形理論として扱われ、主に弾性体を対象にして研究が進められてきた。一軸伸張を例にとると、試験片を伸張させるのに外力がなした単位体積当りの仕事は変形前の体積を基準にすると、

$$W(\lambda) = \int_1^{\lambda} \sigma d\lambda \quad (1)$$

与えられる。λは伸張比、Wは弾性体をひずませる仕事であるが、Wは同時に弾性体内にひずみエネルギーとして貯えられるエネルギーでもある。ここで、厳密には高分子化合物は非弾性の性質も持つため、変形時に外部からなした仕事はそのまま内部の弾性エネルギーの増加と等しくならない。ここでは仮に物体を弾性体とみなして外力と変形の関係からWを決定すると、応力とひずみの関係はこのWにより求まる。また、Wは物体が非弾性の性質を帯びる場合も外力 - ひずみの関係を推定するのに唯一の手がかりとなる関数である<sup>8)</sup>。

変形時に非圧縮性を仮定すると、二次元応力状態での応力、伸張比とひずみエネルギー密度関数の偏微分値との関係は以下のように表される<sup>8)</sup>。

$$\frac{\partial W}{\partial I_1} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[ \frac{\lambda_1^3 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2^3 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial W}{\partial I_2} = \frac{1}{2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \left[ \frac{\lambda_1 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right] \quad (3)$$

ここに、

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_1^{-2} \lambda_2^{-2} \quad (4)$$

$$I_2 = \lambda_1^{-2} + \lambda_2^{-2} + \lambda_1^2 \lambda_2^2 \quad (5)$$

均等二軸変形時は  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$  なので、応力は次式のよう表される。

$$\sigma = 2 \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^5} \right) \left( \frac{\partial W}{\partial I_1} + \lambda^2 \frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \quad (6)$$

ここに、

$$I_1 = 2\lambda^2 + \lambda^{-4} \quad (7)$$

$$I_2 = \lambda^4 + 2\lambda^{-2} \quad (8)$$

また、一軸拘束二軸引張変形での応力は次のように表される<sup>8)</sup>。

$$\sigma_1 = \frac{2}{\lambda_1} \left( \lambda_1^2 - \frac{1}{\lambda_1^2} \right) \left( \frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \quad (9)$$

$$\sigma_2 = 2 \left( 1 - \frac{1}{\lambda_1^2} \right) \left( \frac{\partial W}{\partial I_1} + \lambda_1^2 \frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \quad (10)$$

ここに、

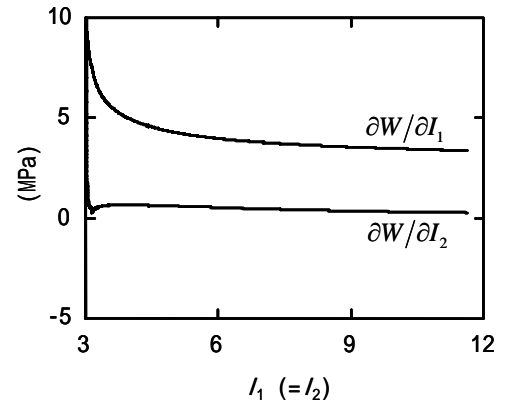


図 - 1 1 Wの偏微分値の計算結果

$$I_1 = I_2 = \lambda_1^2 + \frac{1}{\lambda_1^2} + 1 \quad (11)$$

一軸拘束二軸引張試験での実測値である  $\sigma_1, \sigma_2, \lambda_1$  を式

(9)、式(10)に代入することにより、 $I_i$  と  $\partial W / \partial I_i$  の関係が求まる。この関係を利用して、均等二軸引張変形時の供試体の応力 - ひずみ曲線を推定することが可能となる。

(2) 一軸拘束二軸引張試験結果に基づくW関数の推定

Wの偏微分値  $\partial W / \partial I_1$ 、 $\partial W / \partial I_2$  を求めるため、式(9)、式(10)を次式のように変形した。

$$\frac{\partial W}{\partial I_1} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - 1)} \left[ \frac{\lambda_1^3 \sigma_1}{\lambda_1^2 - \lambda_1^{-2}} - \frac{\sigma_2}{1 - \lambda_1^{-2}} \right] \quad (12)$$

$$\frac{\partial W}{\partial I_2} = \frac{1}{2(1 - \lambda_1^2)} \left[ \frac{\lambda_1 \sigma_1}{\lambda_1^2 - \lambda_1^{-2}} - \frac{\sigma_2}{1 - \lambda_1^{-2}} \right] \quad (13)$$

軟質 PVC について、式(12)、式(13)の  $\sigma_1, \sigma_2, \lambda_1$  に試験

値を代入することにより求められた  $\partial W / \partial I_1$ 、 $\partial W / \partial I_2$  を、

$I_1$  に対してプロットしたものを図 - 1 1 に示す。

$\partial W / \partial I_1$ 、 $\partial W / \partial I_2$  はいずれも  $I_1$  の、したがって伸張比  $\lambda$

の複雑な関数であることがわかる。すなわち、 $\partial W / \partial I_1$

は小変形領域では変形の増加に伴い最初は急激に低下するが、極小値をとった後は約 9 MPa 付近で極大値を取り、

その後は変形とともに徐々に減少した。一方、 $\partial W / \partial I_2$

は小変形領域において変形の増加に伴い最初急激に増加し、極大値を取った後は 0.2 ~ 0.7 MPa の間で変曲しながら徐々に減少した。

(3) W関数を用いた応力 - ひずみ曲線の推定精度

上述の方法で求められた  $\partial W/\partial I_1$  ,  $\partial W/\partial I_2$  を  $\lambda$  の試験値とともに式(2)に代入し、均等二軸引張変形時の応力を計算した結果を図 - 6 に示す。図中の破線は計算値を、実線および一点鎖線は試験値をそれぞれ示す。なお、横軸は伸張比をひずみに変換して表示している。また、試験値の応力は測定値である荷重を断面積で除して計算し、ひずみは初期の供試体幅に対する伸び率を計算した結果である。

試験値と計算値とを比較した結果、どの供試体も低ひずみ側では両者の傾向はよく一致したが、高ひずみ側では大きなずれが生じた。その理由としては、二軸引張変形では伸張比の 2 乗の項が  $\partial W/\partial I_2$  にかかるため、高ひずみ側では小さな誤差が無視できなくなった、あるいは、 $W$  関数は物質を弾性体と仮定しているが、高ひずみ側では供試体の非弾性的性質が無視できなくなった、等が考えられる。軟質 PVC に比べ、ポリエチレン系シートの方がその傾向が顕著だった。

図 - 12 は、 $W$  関数を用いて計算した応力値が試験値とどの程度一致するかを示した図である。縦軸は次式による計算結果である。

$$\sigma_{\text{ratio}} = 1 - \frac{|\sigma_m - \sigma_c|}{\sigma_m} \quad (14)$$

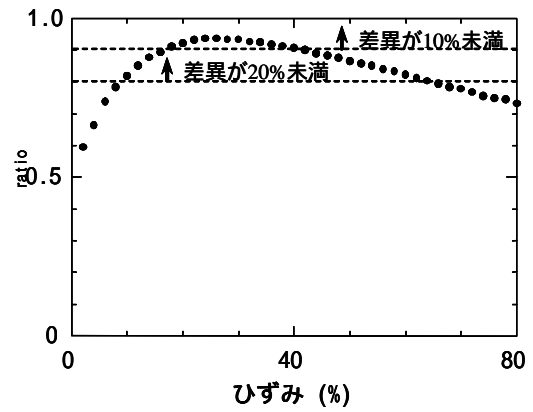
ここに、 $\sigma_m$  は試験値、 $\sigma_c$  は計算値である。

その結果、応力の試験値と計算値が 80 % 以上一致する、すなわち、両者の差異が 20 % 未満である変形領域は、軟質 PVC では約 10 % ~ 60 %、HDPE では約 2 % ~ 10 %、SMePE では約 4 % ~ 30 % の各ひずみ範囲だった。さらに、両者の差異が 10 % 未満である変形領域は、軟質 PVC では約 15 % ~ 40 %、HDPE では約 3 % ~ 4 %、SMePE では約 6 % ~ 15 % の各ひずみ範囲だった。

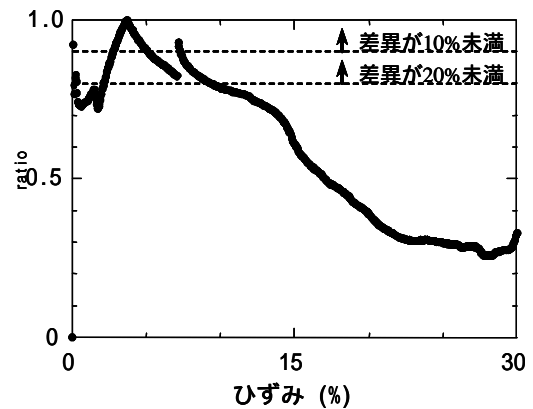
ここで、実際の廃棄物海面処分場において、遮水シートに局所的な二軸応力が発生すると考えられる敷設面不陸への追随時の挙動を土槽実験により検証した結果、静的な環境下で不陸に追随する軟質 PVC 製遮水シートに発生したひずみは最大でも 15 % 程度であった<sup>9)</sup>。この結果を考慮すると、たとえば軟質 PVC の裏込不陸への追随性を検討する場合、 $W$  関数を用いて計算した応力値は実際の値に対して 90 % 以上の推定精度を有していることから、 $W$  関数による推定手法は十分に適用可能であると考えられる。ただし、本推定手法では遮水シートの変形の時間依存性や温度依存性は考慮されていないため、実際の推定においてはこれらの諸特性を十分に考慮することが望ましい。

## 5. まとめ

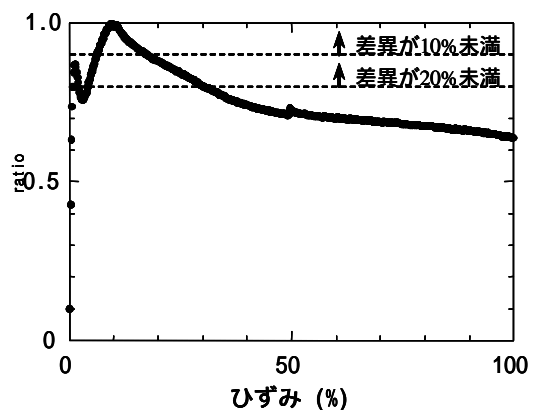
本研究では、管理型廃棄物最終処分場に敷設される遮水シートを対象とし、一軸拘束二軸引張試験ならびに均



(a) 軟質PVC



(b) HDPE



(c) SMePE

図 - 12  $W$  関数による二軸引張変形時の応力の推定精度

等二軸引張試験を行った。また、一軸拘束二軸引張試験によって遮水シートの  $W$  関数の偏微分値を求めた。さらに、得られた  $W$  関数形を用いて遮水シートの二軸引張変形時の応力ひずみ挙動の評価を試みた。以下に得られた結果を示す。

(1) 二軸引張試験により、一軸拘束二軸引張変形時および均等二軸引張変形時の軟質 PVC、HDPE、SMePE の各応力ひずみ関係が明らかになった。

(2) HDPE および SMePE について引張速度を変化させて均等二軸引張試験を行った結果、引張速度が大きい方が供試体は高弾性、高強度であることがわかった。また、軟質

PVCについて均等二軸引張変形中の厚さを測定した結果、変形中の供試体の体積は80%ひずみにおいて変形前の約1.15倍に増加することがわかった。

(3) W関数を用いて均等二軸引張変形中の遮水シートの応力-ひずみ曲線を計算した結果、どの供試体も低ひずみ側では試験値と計算値の傾向はよく一致したが、高ひずみ側では大きなずれが生じた。さらに、W関数による応力-ひずみ曲線の推定精度が明らかになった。

今後は、保護マットの二軸引張変形挙動、および遮水シートと保護マットを重ね合わせた時の二軸引張変形挙動について検討する予定である。また、突起物の貫入や引き込み力作用時の引張変形等、実際の現場を想定した遮水シートの変形挙動に対する本推定手法の適用性について、今後さらに検討を行っていく予定である。また、二軸引張試験は一軸引張試験に比べて複雑であり、計測時の誤差が供試体の性能に及ぼす影響が現時点では不明確なため、より詳細な議論をするためには同一種の供試体による再現性の検討を行う必要がある。なお、本研究の成果の一部は土木シート技術協会が大阪府産業技術総合研究所に委託した研究の結果を活用したものである。

#### 参考文献

1) 宮地秀樹, 今泉繁良, 吉直卓也: 保護マットの組合せ順序と遮水シート貫入抵抗の関係について, 第13回廃棄物学会研

究発表会講演論文集, pp.942-944, 2002.

- 2) 狩野真吾, 諸星一信, 小田勝也: 廃棄物海面処分場遮水シートの突き破り抵抗に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.142, 154p, 2004.
- 3) 平原直征, 兵動正幸, 村田秀一, 中田幸男, 吉本憲正, 黒岩正夫, 下田宏治, 松村聡, 木俣陽一, 山本和彦: 砕石を模擬したコーンの貫入による遮水シートの損傷評価, 第40回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2579-2580, 2005.
- 4) 小竹望, 北出圭介, 鶴ヶ崎和博, 馬場慎太郎, 西野好夫, 徳淵克正: 管理型廃棄物海面処分場における遮水シートの発生ひずみ, ジオシンセティックス論文集, Vol.19, pp.81-86, 2004.
- 5) 最終処分場技術システム研究会: 廃棄物最終処分場技術システムハンドブック, 730p, 1999.
- 6) (社)全国都市清掃会議: 廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領, 485p, 2001.
- 7) 山下義裕, 川端季雄: 補強ゴムのひずみエネルギー密度関数の近似式, 日本ゴム協会誌, Vol.65, No.9, pp.517-528, 1992.
- 8) 深堀美英: 設計のための高分子の力学, 技報堂出版, pp.31-36, 2000.
- 9) 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明: 管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの敷設面不陸に対する変形追随性, 海洋開発論文集, Vol.20, pp.809-814, 2004.

## EVALUATION OF BIAXIAL TENSILE BEHAVIOR OF WATERPROOF SHEETS BASED ON THE STRAIN ENERGY DENSITY FUNCTION

Shingo KANO, Katsuya ODA and Mikio KONDO

In this study, we tried to examine the accuracy of estimation for stress-strain curve in biaxial extension condition which was calculated by strain energy density function of waterproof sheets laid on a seepage structure in a controlled waste disposal site. The partial differential value of the strain energy density function was determined by the pure shear test. After a comparison between calculated stress-strain curve and that from the biaxial extension test, calculated values were correspond with the testing data within 10% error for the range from 15 to 40% strain for PVC, 3 to 4% for HDPE and 6 to 15% for SMePE. The previous study says that the strain of waterproof sheet made of PVC laid on backfilling unevenness was at most 15%. Thus, we suggest that the application of strain energy density function for the evaluation of waterproof sheet deformation due to unevenness of backfilling slope in a controlled waste disposal site should be possible.

**Keywords:** Waterproof sheet, Biaxial tensile test, Strain energy density function, Stress - strain curve.

# 海面廃棄物最終処分場における遮水シートの変形・ 破損検知技術の開発

国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室長

小田 勝也

## はじめに

海面廃棄物最終処分場（港湾施設としての「廃棄物埋立護岸」）は、大都市圏を中心として廃棄物処理等に大きな役割を果たしている。管理型廃棄物埋立護岸には、常時・異常時を問わず、護岸内部の管理型廃棄物を安定的に保管し、護岸内部の廃棄物や保有水等を護岸外部に流出・浸出させない性能（遮水性能）が求められる。この性能は、廃棄物処分の段階から廃棄物最終処分場として廃止され土地利用が行われる段階を通じて長期にわたり要求される。陸上の廃棄物最終処分場では遮水シートを用いた遮水工の漏水検知技術が実用化されている。しかし、これらの技術は、海面処分場に対して適用が困難である。廃棄物海面処分の信頼性向上を図るためには、地震動等の外力作用時も考慮した遮水工健全性評価手法の開発が必要である。

## 研究の目的と概要

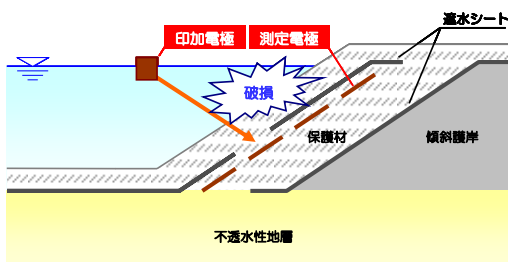
本研究は、管理型廃棄物埋立護岸遮水工に用いられる遮水シートの変形又は損傷を検知する技術を模型実験等により開発することを目的とする。

本研究は、平成16年度及び17年度に4企業グループと国総研との共同研究として実施した。開発した技術は、①印加電極からの電流測定による遮水シートの破損検知技術、②フレネル反射型光ファイバを用いた廃棄物処分場の漏水位置検知方法と遮水構造、③変光ファイバを利用した遮水シートの健全性モニタリングシステム、④電気検知方式を用いた袋状二重遮水シートの健全性評価方法、である。図-1に開発した技術のイメージを示す。

## 研究成果

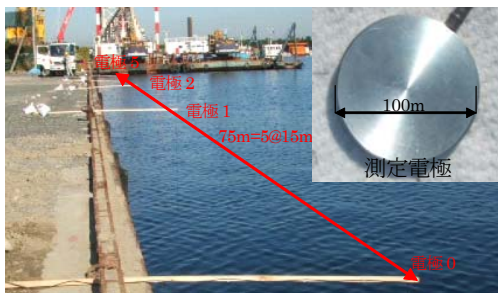
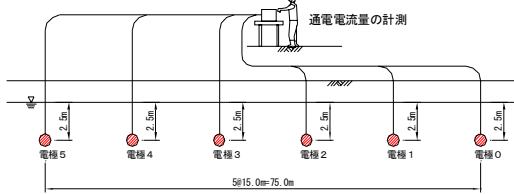
○それぞれの手法は、適用できる廃棄物埋立護岸のライフサイクルの段階、計測対象が異なっているが、施設に影響を及ぼす様々な要因に対応した遮水シートの変形・損傷が検知できる。

○破損検知技術はいずれも、損傷の大きさが 10mm 程度以下までの破損を計測することが可能で、計測方法によってはそれ以下の規模の損傷も検知可能である。損傷・変形位置の検知精度は、種々の条件によって異なるが、実験では 1m 程度以下の精度で検知が可能であった。

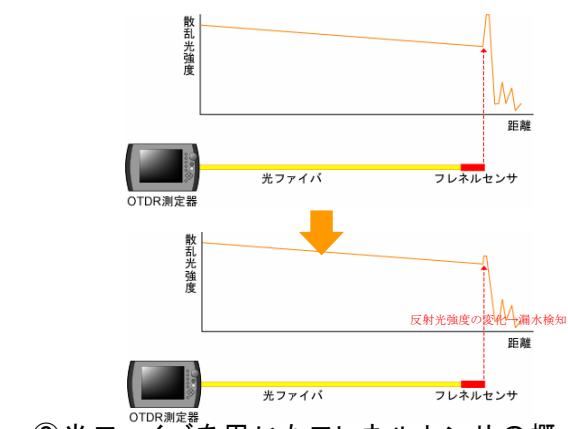


**印加電極**：電流を発生させる電極  
**測定電極**：破損を検知する電極（遮水シート背後に複数個配置）

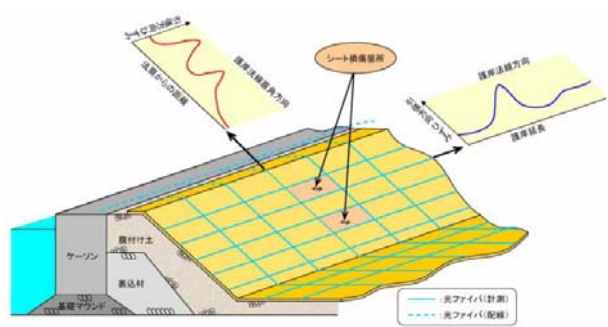
① 電気的検知による検知システムの概念



③ 電気的漏水検知システムの海域における大規模実験



② 光ファイバを用いたフレネルセンサの概念



④ 光ファイバを用いた検知システムの概念（遮水シート変形検知センサの配置イメージ）

図-1 遮水シート変形・破損検知技術の概要

おわりに

本研究の成果は、海面廃棄物最終処分の信頼性の向上、適切なリスク管理に活用され、それによって海面廃棄物最終処分場の計画的・安定的な確保、跡地利用の促進等のアウトカムが期待される。

-----  
国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

No. 15 December 2006.

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所  
-----

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1

管理調整部企画調整課