

3.7 土石系

3.7.1 はじめに

わが国では、産業廃棄物が年間約5.9億t発生しており、そのうち約36%にあたる2.1億tが土石系である。土石系廃棄物等の循環利用率は67%、減量化率が26%、最終処分率は7%となっている。わが国における天然・再生土石系資源の投入量は6.7億t、循環利用量は1.4億tであるので、土石系資源の総物質投入量に占める循環利用量の割合は18%である（平成19年環境省）¹。

土石系廃棄物等の発生源としては、大別すると構造物等の既存ストックの解体に由来するものと、産業生産活動に伴い発生するものの2種類がある（図3.7.1）。具体的にいうと、建築物の解体や道路の修繕事業から発生するコンクリート塊、アスファルト塊等は、ストック解体由来の土石系廃棄物等であり、鉄鋼スラグや石炭灰等は、それぞれ鉄鋼業、石炭火力発電等の産業活動由来の土石系廃棄物等と区別できる。今後の土石系廃棄物発生量について考察すると、寿命を迎えた構造物の解体に伴い発生するコンクリート塊の増大する可能性があり、また、鉄鋼生産や石炭火力発電についてもすぐに減少するとは考えにくく、一定量の土石系廃棄物が発生し続けると考えられる。一方で、需要面について考えると、主な用途としては、路盤材、セメント原料などの土木建設分野での利用がほとんどであるが、今後の需要減が危惧されている。なお、投入された土石系資源のうち、構造物等として蓄積されるものについては、将来において解体された場合には廃棄物となる。このような土石系循環資源の蓄積は、潜在的な廃棄物として認識すべきである²。一方、土地造成に用いられるものや、廃坑の埋め戻し、窪地の埋め戻し等に用いられるものは、将来に廃棄物となる可能性は低い。環境省は、土石系資源の循環利用量の拡大及び最終処分量の削減に向けては、土木建築資材として、経済合理性が確保できる範囲での受入れ拡大等は考えられるものの、土木建築需要はすう勢的に減少傾向にあり、今後とも減少していく可能性もあることから、別途循環利用方策や最終処分量の削減方策の検討を視野に入れる必要があるとしている¹。

以上述べた土石系資源循環の状況を踏まえ、本稿では、今後2030年までの近未来をにらみ、土石系廃棄物の発生および再生材としての需要のバランスを考察するため、土石系廃棄物に関する現状把握と将来動向に関する考察を行った。なお、本研究においては、土石系廃棄物および副産物の総称を土石系廃棄物等、土石系廃棄物等のうち循環利用されるものを土石系循環資源、土石系の天然および循環資源の総称を土石系資源と呼ぶことにする。

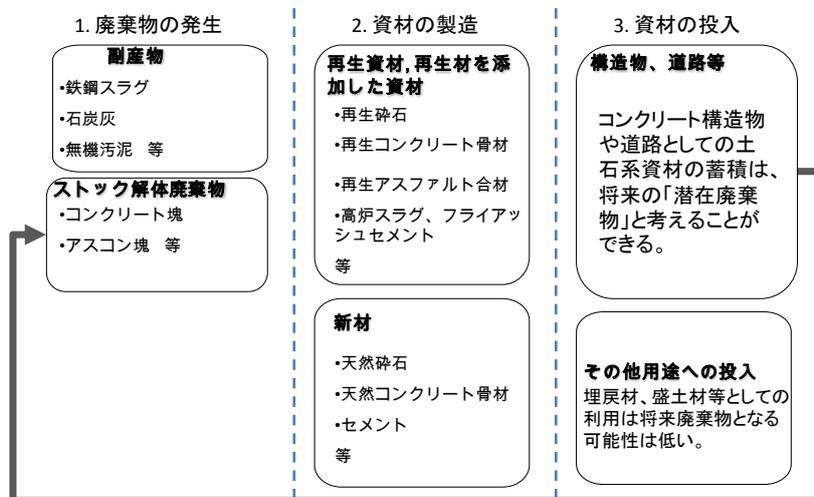


図 3.7.1 土石系廃棄物等の循環に関するイメージ

3.7.2 土石系廃棄物等の発生と利用の状況

表 3.6.1 に、主要な土石系廃棄物等の発生量を示す。データが揃っている 2005 年について、各発生量をみると、コンクリート塊が 3,220 万トン、アスファルト・コンクリート塊が 2,610 万トン、鉄鋼スラグのうち、高炉スラグ 2,405 万トン、転炉スラグが 993 万トン、電炉スラグが 349 万トンとなっている。また、石炭灰は 1,115 万トン発生している。経年的な変化をみると、コンクリート塊は微減、アスファルト・コンクリート塊は大きく減少、鉄鋼スラグは増減を繰り返している。石炭灰は増加傾向にある。

次に、土石系廃棄物等の利用用途について、図 3.7.2 に示す物質フローをみると、最も大きな利用先は砕石であり、4,674 万トンの土石系廃棄物等が砕石として有効利用されている。また、セメント・セメント製品への利用が次いで大きく、2,460 万トンとなっている。

以降では、個別の土石系廃棄物等について詳しく考察してみる。

表 3.7.1 主要な土石系廃棄物等の発生量^{3,4,5} (単位：万トン)

年度	コンクリート塊	アス・コン塊	鉄鋼スラグ			石炭灰	建設汚泥
			高炉スラグ	転炉スラグ	電炉スラグ		
1995	3,650	3,570	2,311	1,044	355	712	980
2000	3,530	3,010	2,307	1,064	347	843	830
2002	3,510	2,970	2,346	884	333	924	850
2005	3,220	2,610	2,405	993	349	1,115	750
2008	3,130	1,990	2,244	1,020	301	N/A	450

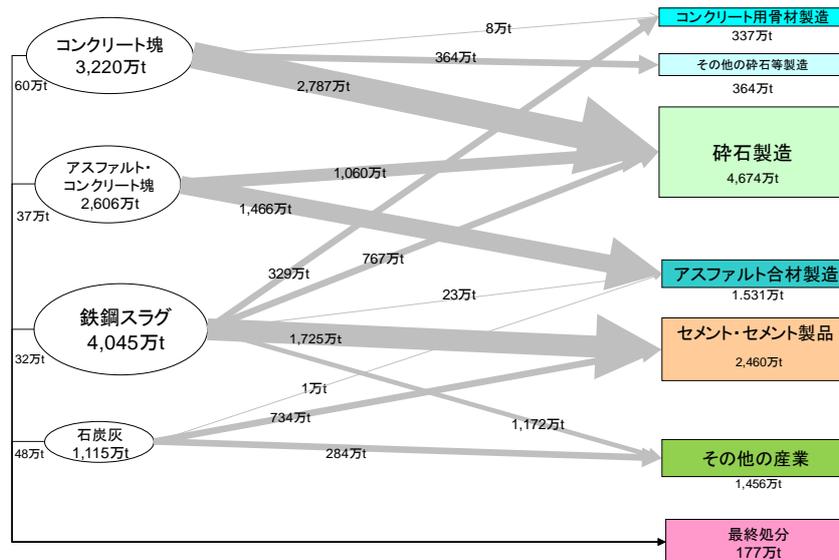


図3.7.2 2005年の土石系物質フロー

(参考文献3, 4, 5等を元に作成. 一部に著者による推定値を含むため, 表3.6.1と一致しない値がある.)

(1) ストック解体に伴い発生する土石系廃棄物等

a) コンクリート塊

コンクリート塊は, 毎年 3,000 万トン以上発生しており, 主としてコンクリート構造物の解体により発生することから, 今後のコンクリート塊の発生量の推移を分析するためには建築物の滅失床面積 (図 3.7.3) に影響を及ぼす政策や計画に注目していく必要がある. 図 3.7.3 に示すように, 近年では滅失床面積が減少する傾向にあるが, 高度経済成長期に建設された構造物が今後寿命を迎え, 構造物の解体が増加していくとする研究事例 (例えば, 橋本ら (2000) ⁶⁾ は多くあり, 今後とも注視していく必要がある.

コンクリート塊発生量増加の要因としては, 老朽化した建築物の解体推進策が上げられる. 例えば, 老朽化したマンションについては安全性確保のために建替の円滑化のための方策が検討されている. 国土交通省によると平成 18 年のマンションストック数は 505 万戸で, このうち, 築 30 年以上の老朽化マンションの件数は平成 16 年末で 44 万戸, 10 年後には 140 万戸を超えると見込まれている⁷⁾. しかしながら, 建替えが必要と判断された老朽化マンションであっても, コストが理由で建替えが進まないため, 建替え円滑化のために補助, 融資, 税制措置等の活用が図られている. マンション等の建築物以外では, 道路橋, 河川管理施設, 下水道, 港湾岸壁などについて, 高度経済成長時代に整備されたストックのうち高齢化したものの割合が急速に増加することが指摘されている (図 3.7.4). 将来, 高齢化したストックの割合が増加すると致命的な損傷が発生するリスクが飛躍的に高まる恐れがある. そのため, 修繕, 更新が行われていくものと見られる.

一方, 逆に, コンクリート塊の発生量減少の要因として, 既存ストックの有効活用策が

あげられる。既存住宅流通市場の整備，住宅リフォーム市場の整備，住宅の長寿命化などがある。既存住宅の性能表示制度や瑕疵（かし）保証制度の普及，不動産市況情報の提供，既存住宅の質を考慮した価格査定システムの導入等が進められている。

なお，東日本大震災では多くの建物が倒壊し，多量の災害廃棄物が発生している。京都大学の平山(2011)⁸によると，被災地域5県で合計2,673万トンの廃棄物が発生したと推定されている。この中にはコンクリート塊が相当量含まれると考えられる。有効利用のために各種の方策が検討されているが，量があまりにも膨大であるため，処理には相当期間が必要と考えられる。

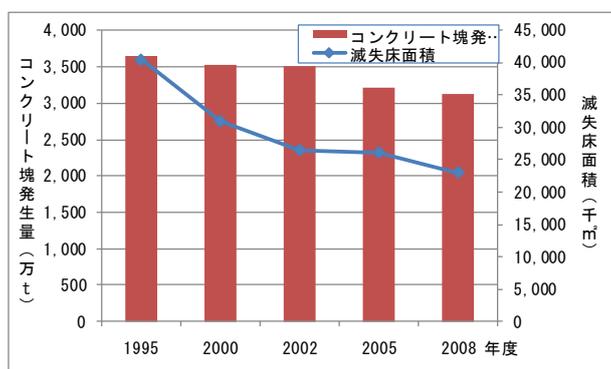


図 3.7.3 コンクリート塊発生量と建物減失床面積^{2,9}



図 3.7.4 建設後50年以上経過する社会資本の割合⁵

表 エラー! 指定したスタイルは使われていません。7.2 コンクリート塊の要因整理表

10, 11, 12, 13

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
減失床面積の減少	既存住宅流通市場の環境整備 (平成19年度国土交通白書)	<ul style="list-style-type: none"> ○既存住宅の性能表示制度や瑕疵保証制度の普及 ○不動産市況情報の提供 ○既存住宅の質を考慮した価格査定システムの普及等 ○平成17年度から住宅ローン減税等の税制特例において、一定の耐震性を備えた既存住宅については、築後経過年数要件にかかわらず対象とする
	住宅リフォーム市場の環境整備 (平成19年度国土交通白書)	<ul style="list-style-type: none"> 既存ストックが有効活用されるためには、適切な維持管理、耐震性の向上、省エネ化、バリアフリー化に向けたリフォームが重要である。 ○増改築工事における瑕疵(かし)保証制度の普及 ○リフォームに係る様々な情報の提供等を行うリフォームネットの普及 ○耐震化に係る総合的な助成等の施策を推進 ○消費者が安心して適切なリフォームを実施できる環境を整備するため、各地域にリフォーム相談窓口を設置 ○建設業法に基づく事業者への指導・監督の徹底、住宅リフォームに関する情報提供の強化 ○部屋単位で壁や配管、配線の着脱を容易にする設計などで必要部分に絞った改修をしやすくして前面建替を抑え、余分な廃材の発生を減らす
	住宅の長寿命化(「200年住宅」)促進税制の創設 (平成19年度国土交通白書)	<ul style="list-style-type: none"> ○建替えコストの削減による国民の住宅負担の軽減を図るため、一定の基準に適合する認定を受けた長期優良住宅(後述の「200年住宅」)の普及を促進 ○平成20年度税制改正において、当該住宅の新築を支援するため、登録免許税、不動産取得税及び固定資産税について、一般の住宅に比べ更に軽減する特別措置を創設する ○長寿命化の推進に向け、「長期優良住宅の普及の促進に関する法律案」を第169回国会へ提出
	建設リサイクル推進計画2008	<ul style="list-style-type: none"> ○部屋単位で壁や配管、配線の着脱を容易にする設計などで必要部分に絞った改修をしやすくして前面建替を抑え、余分な廃材の発生を減らす
	賃貸住宅市場の整備 (平成19年度国土交通白書)	<ul style="list-style-type: none"> <持家ストックの賃貸化等を通じたストックの質の向上> ○定期借家制度の普及 ○サブリース事業(注)の適正化
減失床面積の増加	高度成長期時代の大量のストック	<ul style="list-style-type: none"> ○築区30年以上の平成16年末に44万戸、10年後には140万戸を超える見込み(国土交通省)
	マンション管理の適正化と建替えの円滑化 (平成19年度国土交通白書)	<ul style="list-style-type: none"> <適正な管理の推進> ○マンション建替組合の設立 ○管理組合の運営状況等を登録し、閲覧できる「マンションみらいネット」の普及を推進 ○マンション管理組合の運営等の標準的な対応を示した「マンション管理標準指針」の周知 <老朽化マンションの建替えの円滑化> ○補助、融資、税制措置等の活用を促進 ○19年10月1日までに「マンションの建替えの円滑化等に関する法律」を活用したマンション建替事業の実績は、全国で36件になる ○、「マンション耐震化マニュアル」を19年6月に策定 ○危険又は有害な状況にあるマンションの建替えの促進のための措置

b) アスファルト・コンクリート塊

我が国の道路事業は新設工事よりも修繕工事が多いことから、道路修繕により発生するアスファルト・コンクリート塊発生量と道路事業費を比較すると相関関係が見られる(図3.7.5)。近年では道路事業費は年々減少する傾向にあり、それにともないアスファルト・コンクリート塊の発生量も減少傾向にある。厳しい財政事情の下で引き続き社会資本整備を進めていくため、この中の施策の一つとして将来の維持管理費の縮減があるが、この施策において適切な道路管理による道路構造物の延命化に注力し、将来にわたる道路劣化状況をあらかじめ予測し、その上で最適な修繕計画をたてるアセットマネジメントの手法が

検討されている。これは修繕間隔を長くして大規模な打ち替え工事を行うよりも、小規模な表層修繕を比較的頻繁に実施する方が、ライフサイクルコストを考慮すると有利な場合が多いという考えに基づいている。アスファルト・道路修繕の間隔や工法もそれに応じて変化している。なお、大規模な打ち替えを実施した場合、路盤層を入れ替える必要があるため、この場合には、既設路盤材が建設発生土として大量に発生するが、表装修繕であれば、この問題を回避することができる。さらに、利用者の視点に立った路上工事時間の縮減にも重点が置かれており、共同溝の設置等による掘り返し工事の防止等の対策が検討されている。以上のことを考慮すると、今後道路工事から発生するアスファルト・コンクリートが増加するとは考えにくく、現状維持または減少するものと考えられる。

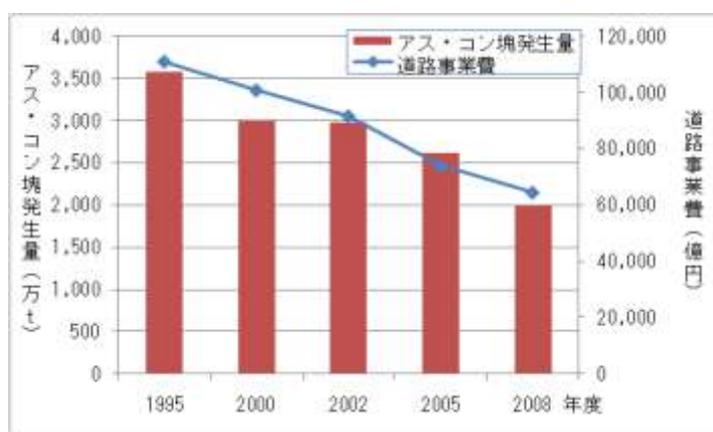


図 3.7.5 アス・コン塊発生量と道路事業費^{2,14}

表 エラー！ 指定したスタイルは使われていません。7.3 アスファルト塊の要因整理表¹⁵

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
道路工事面積・工法の変化	適切な道路管理による道路構造物の延命化 (平成19年度業績計画書)	○安全で良好な道路交通環境の提供のために道路舗装の性状を評価 ○舗装の予防的修繕工法の施工
	利用者の視点に立った路上工事縮減 (平成19年度業績計画書)	<路上工事時間の縮減> ○路上工事調整会議による縮減 ○アウトカム指標設定によるマネジメント ○掘り返し対策重点エリア ○年度末工事の抑制 ○共同溝の整備による掘り返し工事の防止
	ヒートアイランド対策	○保水性舗装の技術の確立と普及 ○遮熱性舗装の技術の確立と普及
	低騒音舗装の敷設 (平成15年度達成度報告書・平成16年度業績計画書)	○夜間の騒音の要請限度を超える箇所を中心として、低騒音舗装の敷設を継続して実施していく

(2) 生産活動に付随し副産物として発生する土石系廃棄物等

a) 鉄鋼スラグ

鉄鋼スラグは、銑鉄の生産過程で生成される高炉スラグと粗鋼の生産過程で生成される製鋼スラグの総称である。銑鉄は主に輸送用機械用、一般機械用の銑鉄鋳物の生産に利用される。そのため銑鉄の国内生産量はこれらの鋳物製造業の業績に左右され、さらに銑鉄生産に必要となるコークスの価格によっても影響を受ける。一方、粗鋼は自動車産業などへ利用される量が多いため生産量が自動車産業の生産計画に大きく左右される。海外向けの鉄鋼生産については、都市部において超高層建築や都市間高速鉄道の建設が続く中国等、アジアでの需要の高まりからアジア向け輸出用に鉄鋼が増産されている。近年、リーマンショックにより一時的に減産したものの最近では回復してきている¹⁶。ただし、銑鉄、粗鋼の生産に伴い発生する鉄鋼スラグの量は国内、国外の経済状況の変化によって決定されるため、近未来であっても正確に予測することは難しい。今後の鉄鋼スラグの生成量を分析するには、日本周辺各国の経済状況、国内の鋼材ユーザーの生産量をシナリオとして与え、分析することが必要である。

2011年3月11日の東日本大震災により、東北地区や北関東を中心として鉄鋼関連メーカーの製造設備や港湾設備等に被害が出ており、操業を停止している工場がある。また、特に夏以降における東京電力・東北電力管内の電力制限による操業への影響もあり、今後の鋼材生産は極めて不透明であるとされている¹⁶。

b) 石炭灰

石炭は可採埋蔵量が150年以上あり、他の化石燃料に比べて供給安定性が高く、経済性にも優れていることから、不可欠なエネルギー源として位置づけられている。電力供給においては、長時間継続運転を行い安定的に電気を供給するベース電源として重要な役割を果たしている。従って、石炭の更なる安定供給の確保を目指して、産炭国との関係を強化する必要があるとされている¹⁷。一方、石炭は他の化石燃料に比し、燃焼過程における単位熱量当たり二酸化炭素の排出量が大きいため、環境面での制約要因が多いため、環境への適合を図る観点からの技術開発が望まれている。

なお、大震災により停止に追い込まれた発電所のうち、東北電力の原町火力発電所1、2号機(各100万kW)、東京電力の常陸那珂火力発電所1号機(100万kW)の他、新地発電所、勿来発電所等が石炭火力である。2011年5月16日時点において、上記のうち、常陸那珂火力発電所はすでに復旧しているが、その他は依然停止中であるため、一時的に石炭灰の発生量は減少すると考えられる。

一方、原子力発電所の事故に伴い予想される夏場の電力供給不足への対処として、東京電力はガスタービンの新規設置、横須賀等の石油火力発電所の再起動、揚水発電の活用等を計画している¹⁸が、今のところ石炭火力発電の拡大につながる発表は出されていないようである。

表 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.4 鉄鋼スラグ・石炭灰の要因整理

表 19, 20, 21, 22, 23

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
銑鉄国内生産量の推移	銑鉄需要量の変化	○鑄物製造業の銑鉄鑄物の生産量(輸送機械用と一般機械の業績に左右される) ○銑鉄価格の変化(コークスの価格に係る)
粗鋼国内生産量の推移	粗鋼減産計画	○主要ユーザーの自動車産業などが減産へ
	アジア向け輸出の純化	○アジア経済の変化
	粗鋼輸入量の変化	○アジア経済の変化
	高炉の改修・一次休止	○高炉製造年月
石炭利用量の変化	石炭の特徴(豊富な資源・安定的な価格)	○電力業界は消費量を近年増やし続け、石炭への依存が強まっている
	石炭利用の効率化(エネルギー基本計画)	○石炭ガス化発電(IGCC(ガス化複合発電)、IGFC(ガス化燃料電池複合発電)) ○酸素燃焼技術開発 ○石炭液化事業 ○低品位の石炭の有効利用(選炭・改質・脱灰・コールクリーニング等の技術開発・普及)
	電源の多様化(電力供給計画)	○RPS法(電力会社のどの電気を供給する者に対して供給する電気のうち一定量以上を新エネルギー由来の電気とする義務を課しているもの) ○新エネルギー等発電設備からの供給総量が年々増加
	電力需要量の増加(電力供給計画)	○高齢化の進展 ○IT化の進展 ○オール電化住宅等の増加による電化率の上昇等
石炭輸入量の変化	輸入量を減少させるもの	○経済成長に伴いエネルギー需要が急増するアジア地域において、石油価格の高騰等を背景に、需要が増大
	供給源の多様化による輸入の確保	○透明で安定的な国際石炭市場の形成 ①政策対話などの実施 ②マルチフォーラムの活用 ○ネットワークの構築 ①石炭情報ネットワークの構築 ②研究会などを通じたネットワーク ○供給源や調達手段のポートフォリオの模索 ①既存の上流関連施策の効果的運用 ②金融から技術協力までを包含する戦略的上流開発支援 ○エネルギーや石炭の安定供給に資する技術開発 ①技術ロードマップの推進と国際協力 ②エネルギー及び石炭の安定供給に資する技術開発政策 ○技術の面的普及の推進 ①人材育成施策の推進と再編 ②面的普及への展開促進
石炭の品質変化		○灰分・硫黄分が少なく発熱量の大きい高品位の石炭の需給が逼迫

c) 建設汚泥

建設汚泥は、新築工事の杭基礎工事や、土木工事のシールド工事などにより発生する。発生量は、平成 20 年度 450 万トン（建設副産物実態調査データ）である。発生量自体は、平成 7 年度と比較して減少傾向にあるが、今後は、地下空間利用拡大等による発生量の増大も予測される状況にある。

これまで、発生抑制の方策としては、場所打コンクリート杭を、根固液注入及び杭建込などを通じて、高支持力杭としたり、シールド工事の汚泥を一連の処理機械を通して、脱水し、流動化処理土などとして、基底部等への埋め戻しを行うなどの候補開発がなされてきた。

一方、建設汚泥の再資源化率は平成 17 年度 48%となっており、脱水減量化を含めた再資

源化等率では75%程度である。再利用用途は、建設汚泥処理土として利用される場合には、裏込め、埋め戻し、盛土、土地造成、河川築堤、水面埋立などの用途に利用される。一方、製品（市販品）として利用される場合には、再生砕石、ドレーン材、流動化処理土、インターロッキングブロックなどに製品化されている。

建設汚泥は、新築工事や土木工事を通じて、ある程度の発生は免れないことから、再資源化後の需要先の確保をいかに進めるかが重要である。そうした点からは、建設汚泥は、再生品が建設発生土等と競合する上、コストが高いこと（建設発生土と比べて、建設汚泥は発生量が少ない上、発生土と同じ品質にするにはかなりコストがかかるので、再生利用が非常に進みにくい）、再生利用の方策が煩雑・不明確であること、再生品の統一的な品質基準がないこと、再生利用を促進する制度が十分には定まっていないことが課題となっている。また、汚染土壌の拡がりなどへの管理対応として、民間工事由来の建設汚泥処理土については、品質、環境安全性の担保措置などを考慮した仕組みが必要であるとされている。

課題解決に向けては、建設汚泥を「リサイクル原則化ルール」に位置付け、発注者（排出側）の取組責任の強化や、再生利用の手続きの明確化を図り、品質基準の明確化などを進める「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」等の策定（H18.6）がなされてきたが、さらに、廃棄物処理法に基づく個別指定制度、再生利用認定制度の積極的活用に加えて、自ら利用、有償売却の適正な運用も必要であるとされている。

建設副産物推進計画2002では、平成22年度までに建設汚泥の再資源化等率の目標を75%としており、そのためには、施設立地が不足している地域における新たな施設立地や、建設汚泥改良土の利用用途が建設発生土とほぼ同一であり、利用が競合することを考慮し、建設汚泥と建設発生土を一体したリサイクルのルールづくりを行う必要がある、建設産業以外で市場の育成を図ることとしている。

また、建設汚泥の発生から再資源化・適正処理及び製品化までの一連の流れについて物流の「見える化」し再資源化の適正性を図るための情報追跡・管理方策（サプライチェーン・マネジメント）を検討すべきとしている。

d) 建設発生土

建設発生土は、土木工事の造成工事、新築工事の基礎工事から平成17年度約1億9千万 m^3 が搬出されている。このうち、新規工事における搬入土砂利用量のうち、建設発生土の有効利用率は、平成17年度に63%となっている。建設発生土自体は、内陸部工事、海面事業等における工事間利用で6千万 m^3 （約30%）、内陸受入地で1億3千万 m^3 程度（約70%）が利用されているものの、先の有効利用量と、搬出量との需給のアンバランスが大きく、建設発生土搬出量が土砂利用量の2倍程度となっている状況にある。一方、多量の土を捨てる一方で、捨てた土の3割に相当する量の新材を購入するなどの状況もあるが、これらは地域内での需給状況でみると、広域的な連携の余地はあるものの、都道府県単位でみれば

ば、土砂利用の抑制と建設発生土の有効利用の取組みはある程度は進められている状況にある。

この間、公共工事土量調査の実施や、建設発生土の指定処分の徹底を図るため、建設発生土等の有効利用に関する行動計画（平成 15 年 10 月）を策定するなど対応されており、平成 22 年度までに有効利用率を 90%とする取組が進められている。

建設発生土の利用課題は、需給のアンバランスが大きく利用が進まないとしているが、問題解決に向けた対応を考慮した場合においても、土砂のフローを管理するシステムが不十分で土砂の実態が未把握、工期の不一致、土質の不一致などから工事間利用が進みにくい、工事間で利用されない土砂の一部が、放置などの形で不適正処理されているなどの課題が指摘されている。

今後、建設発生土の利用促進を図るためには、将来的には建設工事に必要となる土砂は原則として工事間利用でまかなうことを目標に、土砂を管理するシステムを構築し、ストックヤード・土質改良プラントの整備・活用及び、建設発生土情報交換システムの積極的な活用による工事間利用の徹底を行う必要がある。さらに、工事間利用できない場合については、適正かつ透明性を確保して受け入れるしくみの構築が不可欠であり、利用促進に向けて砂利採取跡地等の自然修復を図るための仕組みの必要性などが検討されつつある。

表 エラー! 指定したスタイルは使われていません。7.5 建設汚泥・建設発生土の要因整理表

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
建築工事床面積の増大	新築工事の増大	<ul style="list-style-type: none"> ○業務系ビル、住宅などRC、SRC、S造などの高層建築物の増加 ○中心市街地活性化、都市部への集中 ○国内の産業立地シフトに伴う工場建屋の建設(海外進出との差別化)
土木工事の増大	国際水準の物流ネットワークの整備	<ul style="list-style-type: none"> <環状道路の整備> ○首都圏3環状の整備(関東地方整備局) ○近畿圏環状道路の整備(近畿地方整備局) ○名古屋圏環状道路の整備(中部地方整備局) <空港・港湾へのアクセス道路の整備> ○車線の拡幅 ○高規格幹線道路等のネットワーク整備
	大規模地下利用	<ul style="list-style-type: none"> ○都市域における幹線道路整備 ○都市域における鉄道の複線化、地下鉄整備 ○都市域における大深度地下利用 ○港湾利用プロジェクトなどの進展
	土地造成工事	○国内の産業立地シフトに伴う工業団地の新規開発

(3) 土石系廃棄物等の有効利用状況

土石系循環資源の主な利用先は建設業であるが、前述したとおり、利用先は大きく分けて、投入された循環資源が潜在廃棄物となる利用先と、そうでないものに分類できる。潜在廃棄物として蓄積される利用先については、今後の廃棄物処理計画を考える上で、ストック量を定量的に把握するとともに、将来廃棄物となったときのために再リサイクル性を考慮しておく必要がある。

土石系循環資源のうち、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、鉄鋼スラグ、石炭灰、建設汚泥についてその利用の内訳をみると図 3.7.6 のようになる。路盤材や舗装材料として道路へ投入されるものや、セメント原料やコンクリート骨材として構造物へ投入されるものについては潜在廃棄物として蓄積されることになるが、この割合が大きいことが分かる。

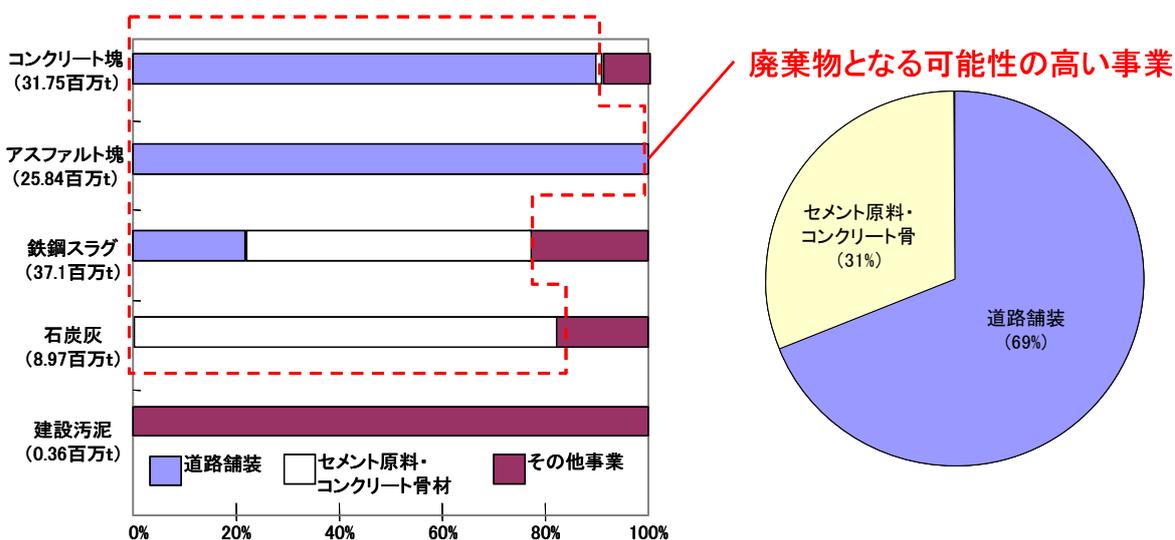


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.6 土石系循環資源の種類別にみた利用先の内訳

a) 土石系循環資源が潜在廃棄物として蓄積される利用先

道路は、コンクリート塊、アスファルト塊、鉄鋼スラグ等からの再生路盤用砕石、再生アスファルト合材の受け入れ先として、土石系廃棄物等の重要な有効利用先に位置付けられる。道路事業における土石系資源利用の推移をみるため、原ら(2003)²⁴の手法に基づき、路盤用砕石の利用量をマテリアルバランスによって算定した結果を図 3.7.7 に示す。これをみると、路盤用砕石の利用量は年々減少していることがわかる。これは、道路事業の規模が縮小したことと、道路修繕工法が打ち替え工法から切削オーバーレイや路上表層再生工法にシフトしたことが大きく影響しているためである。この結果、路盤用砕石の利用量は年々減少していることがわかる。これは、道路事業の規模が縮小したことと、道路修繕工法が、路盤材をすべて交換する打ち替え工法から、表層部分のみを補修する切削オーバーレイや路上表層再生工法にシフトしたことが大きく影響していると考えられる。このような道路や構造物等の既存ストックの更新に際しては、全面的な更新を避け、小規模な補修を頻繁に行うことで寿命を延長し、廃棄物等の発生量を抑制する等の努力がなされているが、それは同時に更新時に新たな資材が不要になることを意味しており、土石系循環資源の受け入れ可能量が減少することにつながる。また、道路打換についても、セメント・フォームスタビ工法²⁵等による既設路盤材の再利用の技術が進んでいる。この結果、既設舗装材及び既設路盤材の有効利用(再資源化)が可能となり、水平リサイクルが成立するため、新たに外部から調達する資材の量は減少すると考えられる。

一方、国土交通省ではコンクリート塊の利用用途の拡大に向けて、再生コンクリート骨材の利用システムの構築を施策として掲げている²⁶。利用のシステムの整備の過程で近年ではコンクリート骨材の回収技術の開発が進んでいる。これらの方式としては、①コンクリート塊を300℃程度に加熱し、セメントペースト部分を脱水、脆弱化した後に摩擦作用によって骨材の周りに付着するモルタルやセメントペーストを除去する加熱すりもみ方式、②内筒部と外筒部がそれぞれ偏心回転する装置にコンクリート塊を供給し、内筒部と外筒部の隙間においてコンクリート塊が相互に擦り揉み合うことでモルタル分を分離する偏心ローター式、③投入口から排出コーンまでの間にコンクリート塊が相互に接触することによって表面のモルタル分を除去するスクリー磨砕方式などがある。現状ではこれらの再利用の技術はコスト面の問題でそれほど普及していないが、今後この課題をクリアできれば、コンクリート骨材に関しては水平リサイクルが進むことが予想される。また、コスト面以外にもコンクリート用再生骨材の利用促進に向けての課題として生コンのJIS規格(A5308)においてコンクリート用再生骨材の使用が規定されていないため生コンには利用できない実態がある。これに対して国土交通省では建築基準法第37条に基づく告示の改正に取り組んでいる。

これらの水平利用は、今後技術の発展とともに活性化することが予想され、廃棄物等の発生を抑制するために全面的な改修から補修による維持管理によって既存ストックの長期的な利用を行う維持補修へのシフトが進んでいる。建設業における水平利用が進展すれば、

鉄鋼スラグ、石炭灰等の他産業からの土石系循環資源の受入れが進まないことが懸念される。このような建設業以外から供給される土石系循環資源によって物質フローが供給過多になることを防ぐためには、土石系循環資源の再利用の状況を体系的に踏まえ、新たな利用先を創出していく必要があるといえる。

一方、自治体によるリサイクル製品認定制度等により、土石系循環資源の利用拡大が検討されているが、認定されても利用されない製品も多い。その理由として認定を行う環境部局と、利用を進める土木部局との連携が不足している問題や、品質や安全性に関する認識が進んでいないことが挙げられる。そもそも**エラー! 参照元が見つかりません。**に示すように道路事業等における需要自体が減少していることも大きな原因である。

また、循環資源の利用に対してのマイナスイメージの払拭なども課題としてあげられる。鉄鋼スラグは現在、リサイクル材としてその多くが再利用されている。しかし、山積みされていた鉄鋼スラグからホウ素、鉛、ヒ素などの有害物質が溶出し、県の管理不足が問われていた事例もあり、これらに対してリサイクル資材の認定制度の見直しをはかり、最新の**JIS**等の規格に合わせ、より環境に配慮した製品を目指すことが必要である。

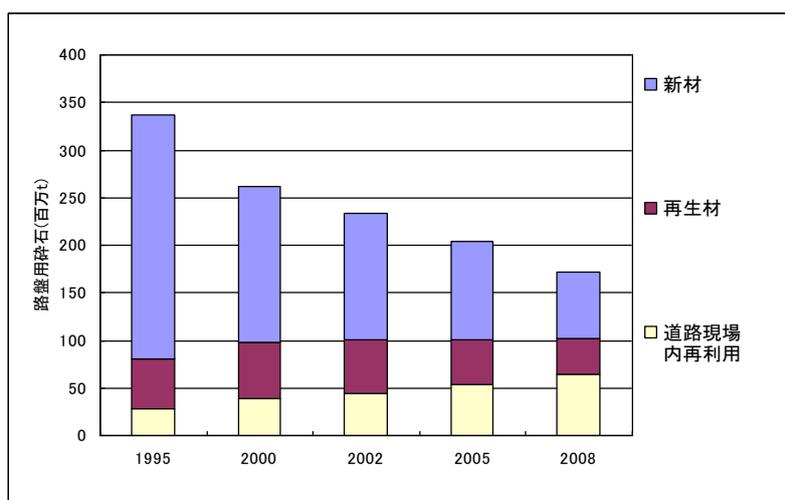


図 3.7.7 路盤用碎石利用量の推定結果

表 3.7.6 利用側要因整理表 (潜在廃棄物となる利用先) 27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
利用量の減少	適切な道路管理による道路構造物の延命化 (平成19年度業績計画書)	○安全で良好な道路交通環境の提供のために道路舗装の性状を評価 ○舗装の予防的修繕工法の施工
	利用者の視点に立った路上工事縮減 (平成19年度業績計画書)	<路上工事時間の縮減> ○路上工事調整会議による縮減 ○アウトカム指標設定によるマネジメント ○掘り返し対策重点エリア ○年度末工事の抑制 ○共同溝の整備による掘り返し工事の防止
利用量の増加	「国等による環境物品等の調達の推進に関する法律」(グリーン購入法)による二酸化炭素排出削減対策 (京都議定書目標達成計画:環境省)	<グリーン購入法による混合セメントの利用拡大> ○国及び独立行政法人等のグリーン購入の責務化 ○国による環境物品等の調達の推進に関する基本方針の制定 ○環境物品等購入の目標の義務化 ○調達実績の概要の公表 ○地方公共団体での環境物品等の調達の推進
	産業廃棄物由来の熔融スラグのJIS化	○産業廃棄物の減量化 ○スラグを建設資材として利用
	技術発展	○焼却灰を道路の路盤材に利用する人口砂として再利用 ○石炭灰から有害物質を除去し再生資源化する技術 ○焼却灰からエコセメントを製造する世界初の事業 ○飛灰に含まれる亜鉛、鉛、銅などの有用金属を回収し、残渣は製鉄原料としてペレット化し、製鉄所の熔融炉向けとして活用 ○石炭灰を舗装道路の保水材に再利用により、都心のヒートアイランド現象を抑える ○コンクリート塊から低コストでセメントを除去し、コンクリートの骨材となる碎石を再生する装置
	道路事業の最適化によるコストの縮減 (平成19年度業績計画書)	○建設発生土の有効利用、再生骨材、再生アスファルト合材の利用
	国際水準の物流ネットワークの整備	<環状道路の整備> ○首都圏3環状の整備(関東地方整備局) ○近畿圏環状道路の整備(近畿地方整備局) ○名古屋圏環状道路の整備(中部地方整備局) <空港・港湾へのアクセス道路の整備> ○車線の拡幅 ○高規格幹線道路等のネットワーク整備
	産業廃棄物等の使用拡大 (セメント協会)	○石炭灰、下水汚泥、都市ごみ等の活用により、天然原料の使用低減 ○エネルギー代替物として利用することでエネルギー消費の削減
	「新環境型舗装技術研究会」の設立	○アスファルト舗装の100%リサイクルを目指す ○舗装の長寿命化によるアスファルト舗装維持管理コスト削減

b) 土石系循環資源が潜在廃棄物とならない利用先

利用拡大に大きな影響を及ぼす要因として大規模な土地造成工事（たとえば関西空港 2 期工事）がある。さらに、近年では、海洋の環境修復を目的としたシーブルー事業での人工干潟の造成や浚渫窪地の埋め戻し、陥没の恐れのある特殊地下壕や廃坑を埋め戻すための事業の検討がはじまっている。

シーブルー事業では各地の港湾において人工干潟の造成事業や底層のヘドロへの覆砂や貧酸素水塊防止のための浚渫深堀り跡埋戻し事業などが実施されている。それらの対象地域の一つである愛知県に位置する三河湾は典型的な閉鎖水域であり、富栄養化や赤潮や青潮の被害が頻発している。三河湾では過去の港湾整備の際の浚渫深堀り跡によって貧酸素水塊が増加し、それが青潮の発生を促し、漁業に被害をもたらしている。これらの背景からシーブルー事業により浚渫深堀り跡は現在までに約 320 万 m³が埋め戻されているが、同等の規模の浚渫深堀り跡が存在すると考えられている。これまでの研究により、この埋め戻しに土石系循環資源を利用することで十分な受け入れ容量を確保することが可能となり、土石系循環資源を利用することで事業実施の際の費用削減効果を得られることもケーススタディによって確認することができている。また、三河湾にはアサリやカレイをはじめとする魚介類が豊富に生息している。特にアサリの生産海域として三河湾は全国一である。深堀り跡埋戻しによって、貧酸素水塊を減少させ、苦潮の発生を抑制させることでこれらの魚介類の生息数は増加することが予想され、漁獲量の増加を便益として算定すると非常に大きな金額になることが予想される。以上から土石系循環資源の利用量の面のみならず、費用と便益の面でも大きな効果が得られると考えられる。

特殊地下壕廃坑埋戻し事業も今後の土石系循環資源を利用先として期待できる。著者らは過去に岐阜県の亜炭廃坑の埋戻し事業では土石系循環資源として石炭灰と熔融スラグの利用を検討し、ケーススタディを行ったが、その結果最大で 3 億 1 千万円の費用削減効果を得ることができた⁴⁵。また、亜炭廃坑は時間の経過とともに各所で陥没し、地上の構造物に被害を及ぼしており、埋戻しを行うことで被害を防ぐことができ、回避できた被害額を便益として算定することができる。便益の算定では大規模な地震によって対象とした構造物が全て被害にあったとした場合、地震が起きずに過去の陥没と同等の確率で今後も被害が発生するとした場合の 2 通りで算定を行っている。いずれにおいても、埋戻しによって大きな便益が生じることが確認できている。以上から廃坑の埋め戻しに土石系循環資源を利用する際にも土石系循環資源の利用先確保の面、事業実施の際の費用削減と社会的な便益の面で大きな効果が得られるといえる。

近未来の土石系循環資源の需要拡大のためのシステム設計においては、上記のような災害や環境汚染などの外部費用を発生させるリスクを有する「負の遺産」のリスク低減を図るための環境修復や、大きな経済価値を生む財を生産するための土地造成などの事業が必要不可欠であり、これらの事業形態をどのように成立させていくかが鍵となる。そのため、法制度、ステークホルダーとの合意形成などの社会的側面や経済合理性のある利用技術の

開発，システムを支える周辺技術として流通システムやトレーサビリティシステムなども含めて技術的側面からの検討が必要となる．このうち，検討の際に特にポイントとなる事項としては，①循環資源を利用する事業に相当するものがどのような性格の事業であるのか（事業の特性・計画），②廃棄物を起源とする循環資源の安全性，品質管理面などについての安全・安心の管理・利用システムの構築，③事業展開にあたり，コスト面や，主体連携などによる事業システムの構築などがあげられ，事業実施にあたっては対象事業においてこれらのポイントごとに検討を行い，最適な事業のスキームを構築していくことが重要となる．

表 エラー! 指定したスタイルは使われていません。7.7 利用側の要因整理表（潜在廃棄物とならない利用先） 46,47,48,49,50,51,52,53,54,55

要因(大)	要因(中)	現象・影響・原因など
利用量の増加	大規模工事による資材の利用	○例1) 関西国際空港2期工事
	海域環境創造事業(シーブルー事業)	○浚渫土砂の覆砂への利用の計画 ○浚渫土砂の干潟造成への利用の計画
	海浜や干潟などの再生・創出、臨海部における大規模な森の創出などの自然再生型事業を、出来る限りNPOや地域住民などの多様な主体の参画を図りつつ実施	○港湾整備に伴って発生する浚渫土砂を活用
	特殊地下壕対策事業 (国土交通省)	<以下の事業への国による補助> ○市街地に現存する特殊地下壕で、陥没、落盤又は壁面のひび割れ、出水等が顕著となっており、建築物等に対する危険度が増し、放置し難いものの全部又は一部の埋戻し等を行う事業 ○都市計画区域内の都市施設が被災しその復旧に伴い特殊地下壕の埋戻し、防災処理等が必要となったものについて、壕の埋戻し及び壕口並びにその両側に土留壁を設けて施工する等必要最小限度の工事を行う事業
	構造改革特区の申請による無価物の埋戻し	○例)『環境・リサイクル経済特区』認定(新日鐵 広畑製鐵所) ○例)大谷石採石場跡地の一部を埋め戻す構造改革特区計画(途中で断念)
	鉄鋼スラグ利用普及にむけた活動 (鉄鋼スラグ協会)	○水砕スラグの港湾工事用材料としての適用拡大
	建設リサイクル推進計画2008	○民間工事を含めた建設発生土の工事間利用のルール策定(建設発生土)
	建設発生土の有効利用に関する行動計画	○民間へ建設発生土等を売却する仕組みの構築 ○公共工事から搬出される建設発生土を民間工事に搬入する仕組みの構築 ○建設発生土の広域利用の促進
	技術発展	○ごみ焼却灰を超音波によって無害化し、人工ゼオライトを製造 ○高炉水砕スラグを用いた底質改善材の開発
利用量の減少	浚渫土砂海洋投入の規制	○政令で定める基準を満たす水底土砂以外の浚渫土砂の投入禁止 ○浚渫土砂の海洋投入処分を実施する場合には、「環境大臣の許可」が必要 ○実際に海洋投入処分する前には、「海上保安庁長官の事前確認」が必要 ○監視計画の策定、実施及び報告
	パーゼル法による規制	○石炭灰の輸出量の変化

3.7.3 近未来の土石系循環資源の発生と利用に影響する要因構造

以上の内容を整理し、近未来の土石系循環資源の発生あるいは利用に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、各要因をフィッシュボーン図として整理した。

(1) 発生側の詳細構造

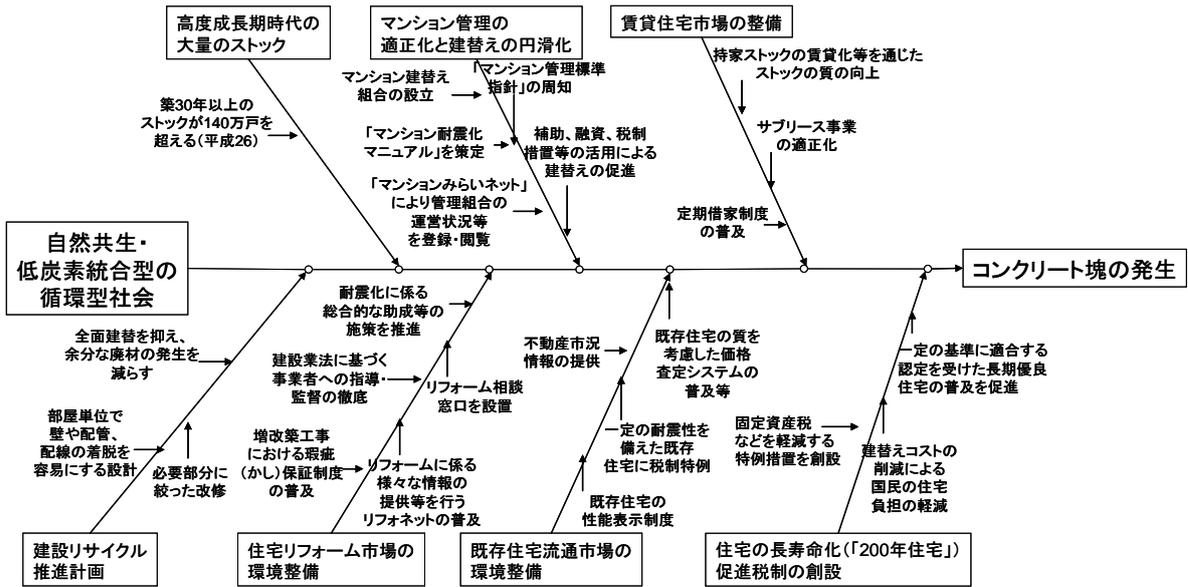


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.8 コンクリート塊発生 の要因構造

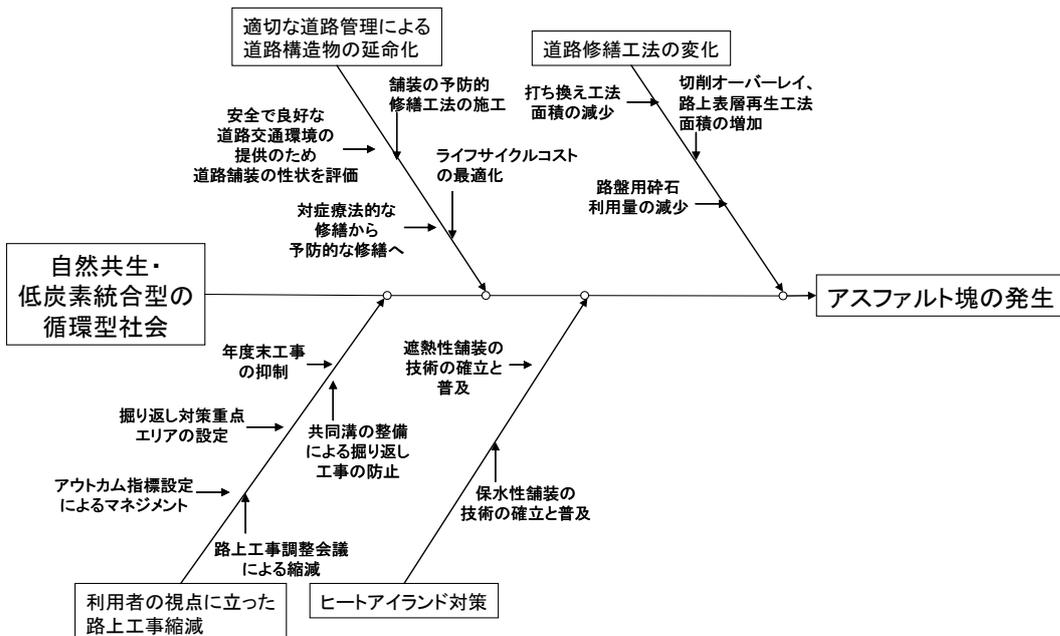


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.9 アスファルト・コンクリート塊発生

生の要因構造

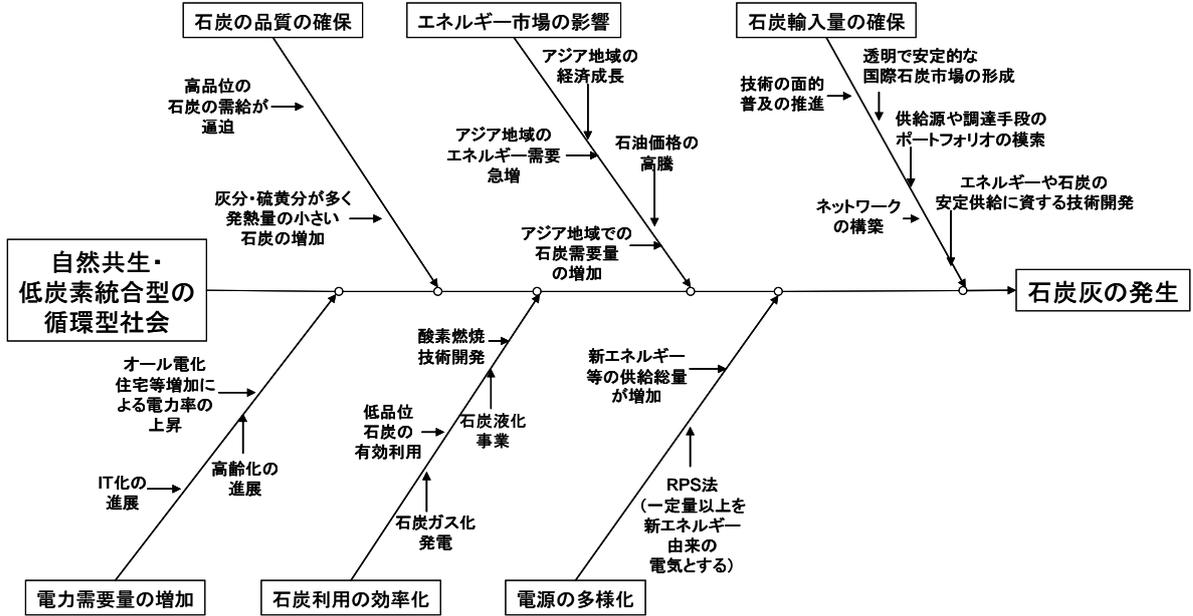


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.10 石炭灰発生の要因構造

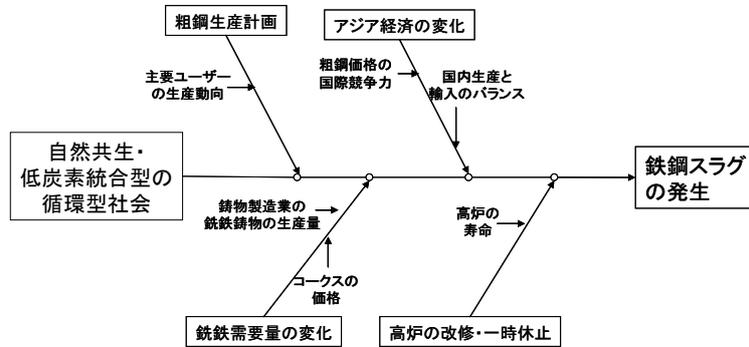


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.11 鉄鋼スラグ発生の要因構造

(2) 利用側の詳細構造

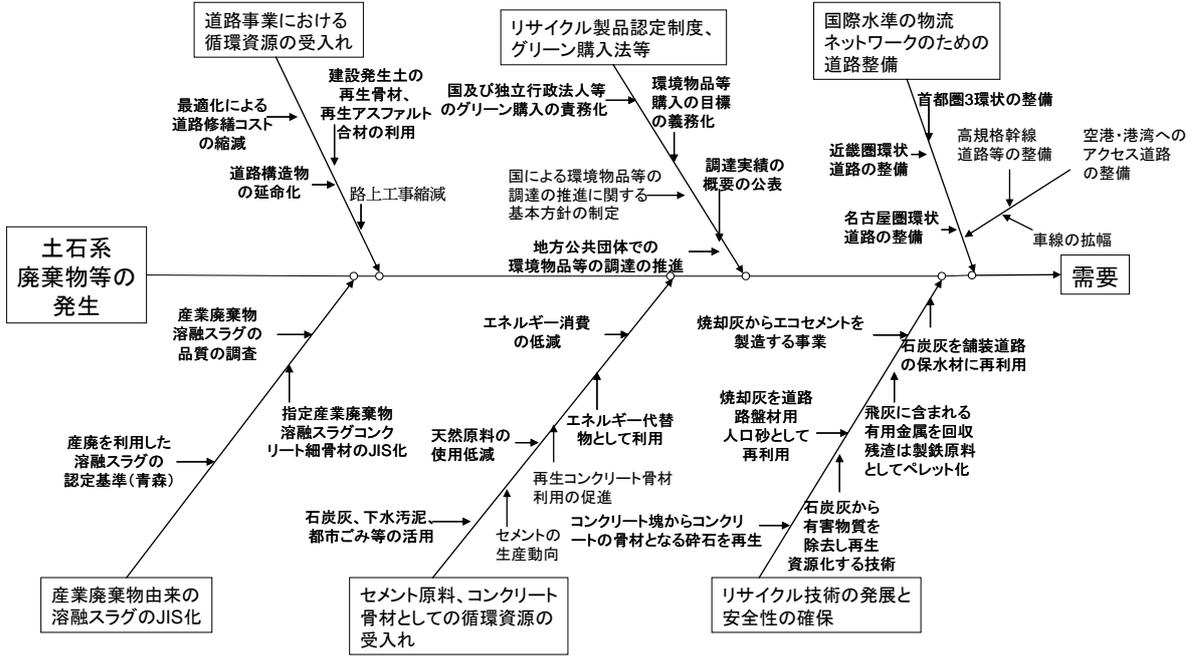


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.12 土石系循環資源の利用（潜在廃棄物となるもの）の要因構造

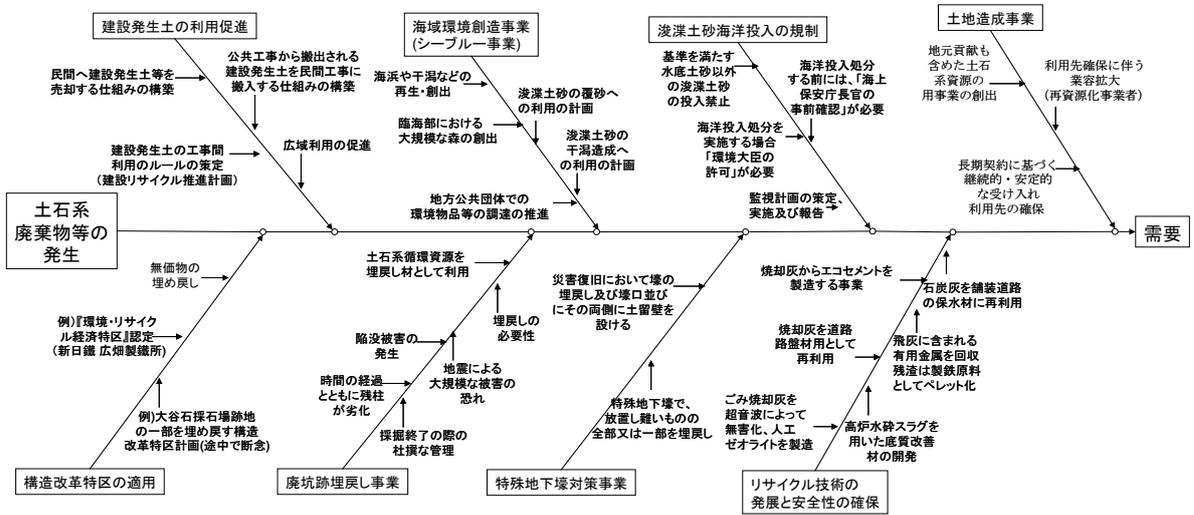


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 7.13 土石系循環資源の利用（潜在廃棄物とならないもの）の要因構造

1) 発生および利用側の主要因構造のまとめ

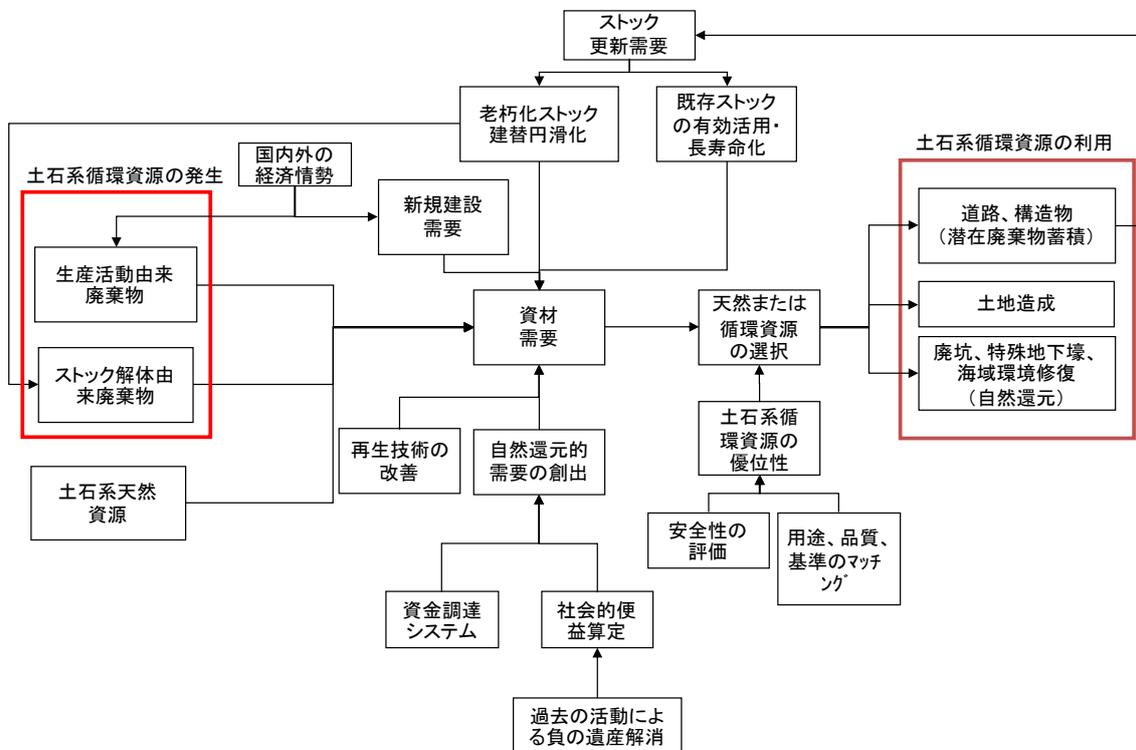


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。7.14 近未来の土石系資源循環システムに影響する主要因構造

3.7.4 近未来の土石系資源循環フロー

次に、将来における土石系廃棄物の最終処分量削減策と土石系廃棄物の物質フローを検討することを目的とし、線形計画法による分析を行った。具体的には、2005 年度を基準として 2030 年度での産業廃棄物の土石系廃棄物の最終処分量の削減目標を設定し、あわせて CO₂ 排出量の削減を考慮した土石系廃棄物の有効利用方法およびフローについて検討した。

(1) 対象とする物質と関連産業

図 3.7.15 に本研究の分析の範囲を示す。本研究では土石系廃棄物のうち、建築物の解体や道路の修繕事業から発生する①コンクリート塊と②アスファルト・コンクリート塊、鉄鋼製造工程において副産物として発生する③鉄鋼スラグ、電力業より発生する④石炭灰を対象とした。この 4 品目の発生までを「供給」、利用までを「需要」とした。利用用途は、道路用砕石、コンクリート用骨材、その他の砕石、アスファルト合材、セメント（原料、混合材）とした。また、発生した土石系廃棄物等のうち再利用されないものは最終処分される。

また、本研究では、土石系廃棄物等の物質フローだけでなく、CO₂ 排出量の算定を併せて行った。CO₂ 排出量は図 3.7.15 の破線で囲まれる範囲を対象とした。

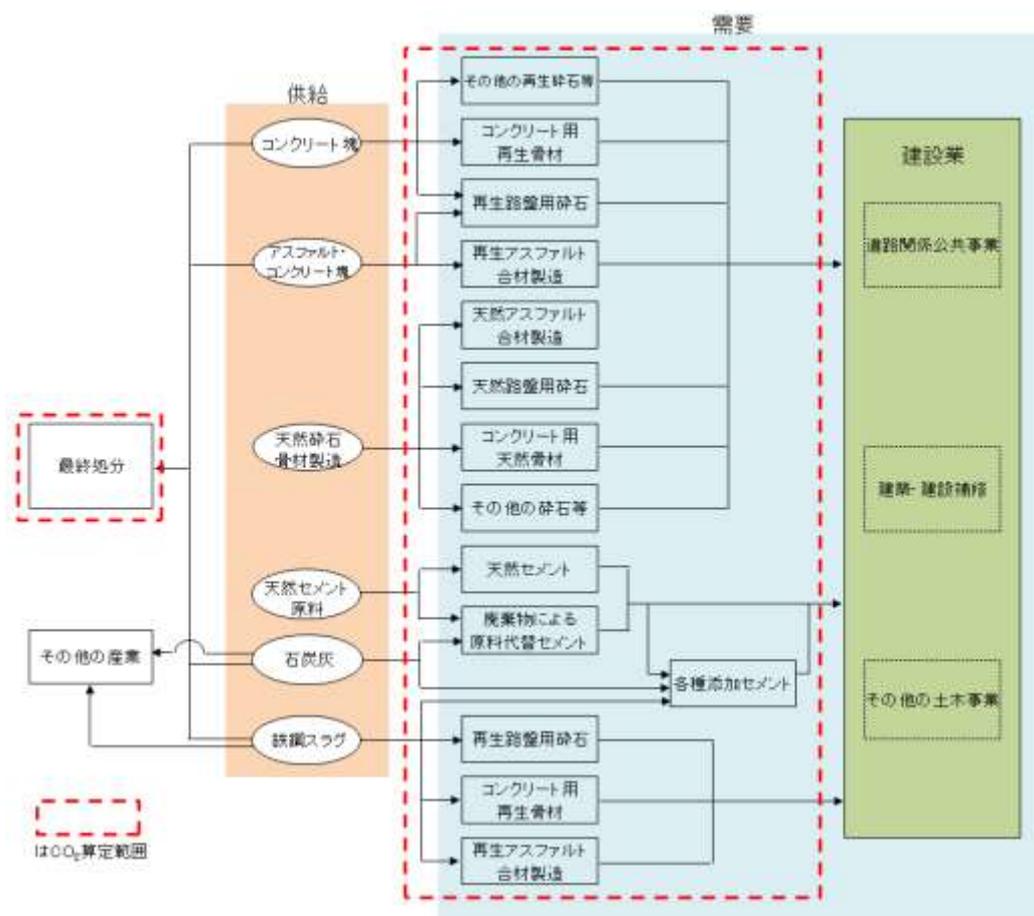


図 3.7.15 土石系資源循環のフローおよび CO₂ 排出量の算定範囲

(2) 土石系資源分析用産業連関表の作成

本研究では、土石系廃棄物等と土石系循環資源の物質フロー、および関連する産業間の金銭フローと CO₂ 排出量を一体的に把握するために土石系資源分析用産業連関表を作成した。通常の産業連関表は、産業、家計、政府などの各部門間の財・サービスの金銭的な取引関係を行列形式で計上した表であるが、金銭フローだけでなく計上範囲を廃棄物やエネルギー・フローなどの環境負荷にも拡張することで、環境・資源の分析にも数多く適用されている。(例えば吉岡⁵⁶、中村⁵⁷など)

本研究では平成 17 年産業連関表⁵⁸、平成 17 年建設部門分析用産業連関表⁵⁹、および各種統計資料を基に土石系資源分析用産業連関表の作成を行った。

まず産業部門の分割と再統合を行った。土石系資源の供給を伴う産業は、産業連関表の基本分類では「砂利・砕石」、「舗装材料」、「銑鉄」、「粗鋼」、「事業用電力」「廃棄物処理（産業）」などである。これらの産業は必ずしも土石系資源のみを産出するわけではないので、本研究では土石系資源の素材に応じてこれらの産業を分割した。一方、土石系資源を需要する主な産業は建設業やセメント産業であり、これらの産業は土石系資源の投入量に応じて基本分類を統合した。表 3.7.8 は本研究で作成した土石系資源分析用産業連関表の産業分類をまとめたものである。

表 3.7.8 土石系資源分析用産業連関表の産業分類

既存の産業連関表の基本分類 (建設のみ大分類)	土石系資源分析用産業連関表 投入部門 (列)	土石系資源分析用産業連関表 産出部門 (行)
砂利・砕石	天然砕石 天然コンクリート骨材 その他の砕石等	道路用砕石 コンクリート骨材 その他の砕石等
舗装材料	天然アスファルト合材 再生アスファルト合材	アスファルト合材
セメント	セメント	セメント
生コンクリート	生コン・セメント製品	生コン・セメント製品
セメント製品		
銑鉄	銑鉄・粗鋼	銑鉄・粗鋼
粗鋼 (転炉)		
粗鋼 (電気炉)		
上記3部門以外の鉄鋼	その他の鉄鋼	その他の鉄鋼
建設	建築・建設補修 道路関係公共事業 その他の土木建設	建築・建設補修 道路関係公共事業 その他の土木建設
事業用電力	電力	電力
自家発電		
廃棄物処理 (公営)	廃棄物処理業	廃棄物処理
廃棄物処理 (産業)	再生道路用砕石 再生コンクリート用骨材 その他の再生砕石等	
上記以外の産業	その他の産業	その他の産業

本研究では部門分割をする方法として、井田⁶⁰による規模別産業連関表の作成方法を参考にした。まず素材別の土石系資源の国内生産額を導出するために、砕石統計年報⁶¹、鉄鋼スラグ統計年報⁶²、石炭発生量データ⁶³、平成17年度建設副産物実態調査結果⁶⁴、建設物価2006 6月号⁶⁵、電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)⁶⁶を用いて、生産量、単価、単位容積質量、さらには主な販売先を把握した。表3.7.9に各土石系資材の生産量、単価、単位容積質量および国内生産額を示す。

表 3.7.9 土石系資源の生産量，単価，単位容積質量および国内生産額

品目	生産量 (千t)	単価 (円/m ³)	単位容積質量 (t/m ³)	国内生産額 (百万円)	文献番号
天然道路用砕石	103,866	3,150	1.64	199,499	61),65),66)
天然コンクリート骨材	128,451	3,300	1.69	251,868	61),65),66)
その他の砕石等	31,061	2,800	1.67	53,180	61),65),66)
天然アスファルト合材	8,180	8,840(円/t)	-	72,311	54),65)
再生アスファルト合材	40,550	8,840(円/t)	-	358,462	62),63),64),64)
再生道路用砕石	3,150	45,451	1.64	87,299	62),64),65),66)
再生コンクリート用骨材	3,300	3,366	1.69	6,573	62),64),65),66)
その他の再生砕石等	2,800	3,640	1.67	6,103	62),64),65),66)

さらに本研究では，島らによる文献⁶⁷，平成17年度建設副産物実態調査結果⁶⁴および鉄鋼スラグ協会の環境資材鉄鋼スラグ⁶⁸を利用し品目は同じだが製造プロセスの異なる再生材の業種の分割を表3.7.10のように行った．土石系資源を再生材として有効利用する際に，コンクリート塊，アスファルト・コンクリート塊，鉄鋼スラグおよび石炭灰はそれぞれ異なった過程で処理をされ，CO₂排出原単位が異なるため，再生材を生産過程別に分割を行った．再生材の国内生産額を算出後，土石系循環資源の投入量の比で需要部門の分割を行った．したがって本研究で作成された土石系資源分析用産業連関表は産出部門が14部門，投入部門が21部門となる．

表 3.7.10 分割された業種，投入される土石系循環資源および処理・製造過程の設定内容

品目	原料となる土石系循環資源	再生材の製造工程
再生道路用砕石1	コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊	廃棄物の収集・運搬→破碎→粒度調整
再生道路用砕石2	鉄鋼スラグ	破碎→粒度調整
再生コンクリート骨材1	コンクリート塊	廃棄物の収集・運搬→加熱すりもみ→粒度調整
再生コンクリート骨材2	鉄鋼スラグ	破碎→粒度調整
再生アスファルト合材1	アスファルト・コンクリート塊	廃棄物の収集・運搬→破碎→粒度調整→アスファルト合材製造
再生アスファルト合材2	鉄鋼スラグ	破碎→粒度調整→アスファルト合材製造

表 3.7.9 に示される国内生産額を基準にして，各土石系資源の内生部門や外生部門の取引額を推計した．本研究では，既存の投入係数と上述の統計資料から把握した販売先に基づく産出比率を初期値としてRAS法により推計した．RAS法とは，すでに得られている投入係数表，産出係数に基づいて，他の投入係数表を，現在の投入係数に行単位，列単位ごとに同じ乗数をかけることにより，予測時点の中間需要合計と中間投入合計に一致するよう

に将来の投入係数を構成していく推定するための、広く使われる手法である（RAS法の概要や具体的な計算方法については例えば金子⁶⁹を参照）。

また、CO₂排出量については、土石系資材製造業（新材・再生材）および最終処分業におけるCO₂排出原単位を島ら⁶⁷の文献の中に示されている砕石・骨材製造におけるCO₂排出原単位、および国立環境研究所⁷⁰より公表されている各産業部門のCO₂排出原単位を参考に算定を行った。表3.7.11に本研究で使用したCO₂排出原単位を示す。

各協会の統計や公表データを基に国内生産額を算出し、業種を分割後、RAS法を用いて産業連関表の整合性を調整した。以上により、産業連関表の整合性を保ったまま、土石系に拡張した産業連関表を作成し土石系資源循環の体系的な把握が可能となる。

表3.7.11 分析に用いたCO₂排出原単位

土石系資材	文献12の値 kg-CO ₂ /t	文献15の値 t-CO ₂ /百万円	本研究で 用いた値 t-CO ₂ /百万円	備考
天然道路用砕石	5.30	0.56	0.56	文献63の「砂利・砕石」の平均値を使用。
再生道路用砕石1	6.92	—	0.73	天然道路用砕石の計算で用いた値に、文献62の再生道路用砕石1/天然道路用砕石の比を乗したものの。
再生道路用砕石2	6.74	—	0.71	天然道路用砕石の計算で用いた値に、文献62の再生道路用砕石2/天然道路用砕石の比を乗したものの。
天然コンクリート骨材	5.30	0.56	0.56	文献63の「砂利・砕石」の平均値を使用。
再生コンクリート骨材1	41.52	—	4.39	天然コンクリート骨材の計算で用いた値に、文献62の再生コンクリート骨材1/天然コンクリート骨材の比を乗したものの。
再生コンクリート骨材2	6.74	—	0.71	再生路盤用砕石2と同じ値を使用。
天然アスファルト合材	—	0.27	0.83	天然道路用砕石(0.56)+天然アスファルト合材(0.27)を足した値を使用。
再生アスファルト合材1	—	—	1.00	再生道路用砕石1(0.73)+天然アスファルト合材(0.27)を足した値を使用。
再生アスファルト合材2	—	—	0.99	天然道路用砕石2(0.71)+天然アスファルト合材(0.27)を足した値を使用。
その他の砕石等	5.30	0.56	0.56	文献63の「砂利・砕石」の平均値を使用。
その他の再生砕石等	6.92	—	0.73	再生道路用砕石1と同じ値を使用。
セメント	—	124.35	124.35	国立環境研究所の「セメント」の値を使用。
生コンクリート・セメント製品	—	0.75	0.75	国立環境研究所の「生コンクリート」と「セメント製品」の平均値を使用。
最終処分	13.09	—	13.09(kg-CO ₂ /t)	—

(3) 線形計画法による土石系資源循環の物質フローの検討

a) モデル式・設定条件について

以上で作成した土石系資源分析用の産業連関表を用い、ここでは線形計画法を用いて、将来における土石系資源の物質フローについて検討した。まず政策目標をあらわす目的関数を設定する。本研究のシナリオはCO₂排出量の最小化であり、具体的には各産業から排出されるCO₂排出量の総和Zを最小にすることとし、目的関数は以下のように与えられる。

$$Z = \sum A_1 X \quad \dots (1)$$

ここで、A₁は土石系関連産業および最終処分業より排出されるCO₂排出原単位、Xは国内生産額を表す。

次に制約条件として各産業の財・サービス生産部門と廃棄物部門における需給均衡式を

設定する。これらの制約式は順に以下のように与えられる。

$$X = A_2X + F \quad \dots (2)$$

$$W + A_3X - A_4X = L \quad \dots (3)$$

ここで、Fは最終需要、Wはコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊および石炭灰の発生量、Lは最終処分量の目標値、 A_2 、 A_3 、 A_4 は、それぞれ産業連関表の投入係数、鉄鋼業より発生する鉄鋼スラグの発生原単位、各種再生材製造業への土石系廃棄物の投入原単位を示している。

財・サービス生産部門は各産業の産出部門と投入部門とで部門数が異なっており内生部門が正方行列ではないので、作成した産業連関表から直接的に式(2)を導出することはできない。本研究では道路用砕石、コンクリート骨材、その他の砕石等、アスファルト合材の4部門において天然・再生材を統合するような配分行列を用いて、財・サービス生産部門を正方行列化させることで式(2)を導出している。

表 3.7.12 に分析で使用した線形計画法のモデル式と設定条件を示す。表 3.7.12 の最終需要 F について、建設分野は島らの文献 1) を参考に建設投資額の予測値を基に設定し、建設分野以外は日本経済研究センターの「長期経済予測 (2006~2050 年)」を参考に設定した。表 3.7.12 で示されているように建設分野以外は毎年一定比率で最終需要が増大することを想定しているため、経済全体の GDP は対象期間中は常に成長することになる。したがって、本研究が想定する CO₂ 排出の最小化は国内経済の衰退を伴うものではなく、経済の規模や成長を一定水準確保した上で温暖化対策が実施されるという状況を含意しており、政策目標シナリオとして一定の妥当性を有すると考えられる。

廃棄物発生量 W については、コンクリート塊およびアスファルト・コンクリート塊については 2005 年の実績値から 2020 年の国土交通省の発生量の予測値までの推移のまま 2020 年以降も発生量が推移するとの仮定に基づき、表 3.7.12 のように設定した。石炭灰については電気事業連合会の「原子力・エネルギー」図面集の電源別発電電力量の実績および見通しを参考に、2005 年以降石炭による発電量はほぼ横倍に変化すると仮定し、表 3.7.12 のように設定した。鉄鋼スラグについては発生原単位 A_4 によって内生的に発生量が決定するとした。

表 3.7.12 モデル式および設定条件

モデル式	目的関数	$Z = \sum A_1 X$	(総CO ₂ 排出量の最小化)
	制約式	$A_2 X + F = X$ $W + A_3 X - A_4 X = L$	(各産業における需給均衡制約式) (廃棄物の需給制約式)
	非負条件	$X \geq 0$	(国内生産額の非負条件)
設定条件	F 最終需要	<ul style="list-style-type: none"> ・建設分野…2005～2010年を-1.5%、2011～2020年を-1.1%、2021～2030年を0% ・建設分野以外…2005～2010年を1.6%、2011～2030年を1.5% と設定 →建設投資額の予測値およびGDP成長率の予測値を基に設定 	
	W 廃棄物発生量	<ul style="list-style-type: none"> 各廃棄物の発生量 ・コンクリート塊…3220万t(2005年)から5478万t(2030年)まで増加 ・アスファルト・コンクリート塊…2606万tから1727万t(2030年)まで減少 →国土交通省の予測値を参考に設定 ・石炭灰…2005年の発生量と等しく1115万tと設定 →電気事業連合会の「原子力・エネルギー」図面集2010を参考に設定 	
	L 最終処分量	<ul style="list-style-type: none"> 最終処分量の目標値 ・コンクリート塊…60万t(2005年)から20.4万t(2030年)まで減少 ・アスファルト・コンクリート塊…37万tから12.6万t(2030年)まで減少 ・鉄鋼スラグ…31.7万t(2005年)から10.8万t(2030年)まで減少 ・石炭灰…47.9万t(2005年)から16.3万t(2030年)まで減少 →環境省の2015年度における廃棄物全体の最終処分量の目標値を基に設定 	
	Z CO ₂ 排出量	<ul style="list-style-type: none"> 算定の対象とした部門 ・砕石、骨材(天然・再生)製造 ・アスファルト合材製造 ・セメント、生コンクリート、セメント製品製造 ・最終処分 →土石系循環資源の利用が製品の製造および施工に伴うCO₂排出量の算定に影響を与えない場合は算定の対象外とした。 	
A ₁ ～A ₄		<ul style="list-style-type: none"> A₁: CO₂排出原単位[t-CO₂/百万円] A₂: 産業連関表の投入係数 A₃: 土石系廃棄物発生原単位[千t/百万円] A₄: 土石系廃棄物投入原単位[千t/百万円] 	

表 3.7.12 の最終処分量の目標値の設定については、図 3.7.16 に示す環境省による 2015 年度の全廃棄物の最終処分の目標値を参考にした。2005 年の実績値から 2015 年の目標値までの推移と同様に 2015 年以降も最終処分量が推移すると仮定し、廃棄物の最終処分量を 2005 年比で 66%削減の 1056 万 t と設定した。土石系産業廃棄物については上記のように設定した 2030 年における全廃棄物の最終処分量の目標値に 2005 年度における廃棄物全体の最終処分量に占める土石系産業廃棄物の最終処分量の割合を乗ずることで 2030 年の最終処分量の目標値を表 3.7.12 のように設定した。

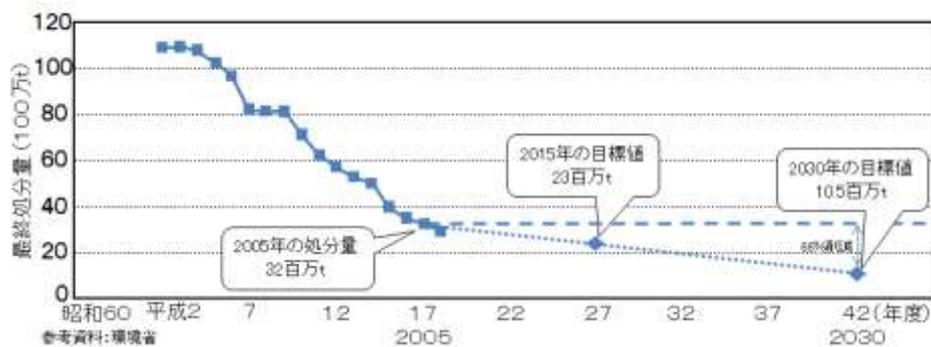


図 3.7.16 最終処分量の推移および2030年の最終処分量の設定値

b) セメント原料、混和材としての土石系資源の利用に関するシナリオ

セメント分野への土石系資源の利用としては、原料の一つである粘土を石炭灰や鉄鋼スラグで代替する原料用途と、高炉スラグやフライアッシュコンクリート等のように混和材として利用する用途がある。本研究では、単位セメント生産量あたりの原料用途の土石系資源投入量は一定と仮定した。一方、混和材としての利用については、現状のセメント代替率のままとするシナリオ1と、代替率を向上させるシナリオ2の2種類を設定した。一般土木・建築構造物用として最も広く使用されている高炉セメントBにおける高炉スラグの代替率は3~4割程度であるが、日本工業規格 JIS R 5211 高炉セメントでは6割まで代替したものを高炉セメントBとして認めている。そこで、シナリオ2では高炉スラグのセメント代替率が今後拡大すると仮定し、現状の1.5倍に設定した。

c) 計算結果と考察

ア) CO₂ 排出量

以上のモデル式と設定条件により、最終処分量の目標値を達成しつつ、CO₂を最小化する土石系物質フローの算定を行った。

表 3.7.13 に対象とした土石系関連産業のCO₂排出量の内訳を示す。基準年とした2005年では、土石系関連産業のCO₂排出量は53.1百万t-CO₂であり、そのうち98.49%に相当する52.3百万tがセメント分野からの排出、1.46%に当たる0.78百万tが砕石や骨材等の製造からの排出であり、最終処分からの排出は小さく0.04%に過ぎない。計算の結果、2030年の土石系関連産業のCO₂排出量は50.4千百万t-CO₂へと5.2%の減少(シナリオ1)、42.3百万t-CO₂へと20.4%の減少(シナリオ2)という結果が得られた。土石系関連産業のCO₂排出量のほとんどがセメント産業からの排出であるため、シナリオによる結果の差はセメント混和剤としての鉄鋼スラグの利用量の設定条件の違いと考えてよい。一方、砕石・骨材系の製造からの排出量の内訳をみると、路盤用砕石およびコンクリート骨材においては、新材製造からのCO₂排出量が減少し、再生材製造では逆に増加している。ただし、アスファ

ルト合材については再生材も減少している。

表 3.7.13 土石系関連産業からの CO2 排出量

(単位：t-CO₂，括弧内は構成比%)

土石系関連産業		2005	2030 シナリオ1	2030 シナリオ2
砕石・ 骨材	天然路盤用砕石	112 (0.21)	57 (0.11)	65 (0.15)
	再生路盤用砕石	64 (0.14)	99 (0.22)	89 (0.22)
	天然コンクリート骨材	141 (0.27)	105 (0.21)	105 (0.25)
	再生コンクリート骨材	5 (0.02)	65 (0.17)	65 (0.20)
	天然アスファルト合材	60 (0.11)	60 (0.12)	60 (0.14)
	再生アスファルト合材	360 (0.69)	284 (1.13)	284 (1.34)
	その他の砕石等	30 (0.06)	25 (0.05)	25 (0.06)
	その他の再生砕石等	4 (0.01)	5 (0.01)	5 (0.01)
	小計	777 (1.46)	702 (1.39)	700 (1.66)
セメント	セメント	50,355 (94.83)	47,818 (94.97)	39,722 (94.01)
	生コン・セメント製品	1,943 (3.66)	1,824 (3.62)	1,824 (4.32)
	小計	52,299 (98.49)	49,642 (98.59)	41,547 (98.33)
	埋立処分	23 (0.04)	8 (0.02)	8 (0.02)
	合計	53,099 (100.00)	50,352 (100.00)	42,254 (100.00)

イ) 土石系資材の利用量およびフロー

図 3.7.17 に砕石、骨材系の土石系の天然資材および再生資材の利用量と内訳を示す。計算では将来の建設業の最終需要の減少を設定しているため、図 3.7.17 の全資材について利用量が減少する。シナリオ1について、種類別の内訳をみると、路盤用砕石については、全体の利用量が 149 百万 t から 124 百万 t へと減少する中で、再生材の割合が 30.2% から 57.4% へ増加している。コンクリート骨材に関しては利用量が 132 百万 t から 116 百万 t へと減少する中で、再生材の割合が 2.5% から 17.1% へ増加した。その他の砕石等に関しても利用量が 35 百万 t から 31 百万 t へと減少する中で、再生材の割合が 10.3% から 13.8% へ増加した。一方、アスファルト合材については、全体の利用量が 49 百万 t から 41 百万 t へと減少する中で、再生材の割合が 83.2% から 79.9% へ減少した。シナリオ2では、路盤用砕石における再生材の割合が若干減少して 51.2% となっているが、その他は概ねシナリオ1と同様である。

図 3.7.18 は、セメント製造における土石系循環資源の投入量を示す。建設業の最終需要減少の影響を受けてセメント製造量が減少するため、シナリオ1では循環資源の投入量も減少し、2005年の24.6百万tから、2030年には23.2百万tへと変化する。用途別にみると、原料用が33.3%、混和材が66.7%である。シナリオ2では、混和材における鉄鋼スラグの利用量を1.5倍に拡大する設定としているため、混和材としての土石系循環資源利用量が2005年の16.5百万tから2030年には23百万tへと増加している。

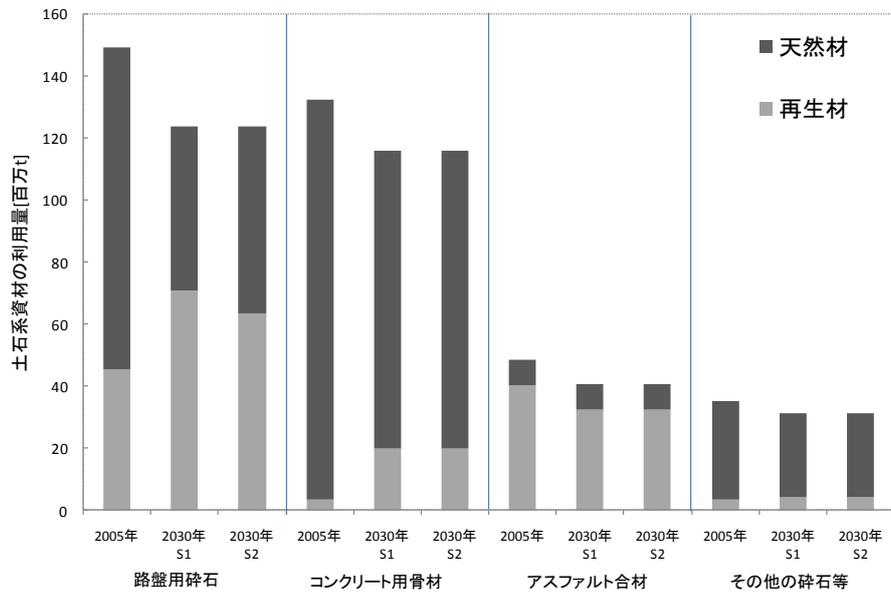


図 3.7.17 砕石、骨材系の土石系資材の利用量

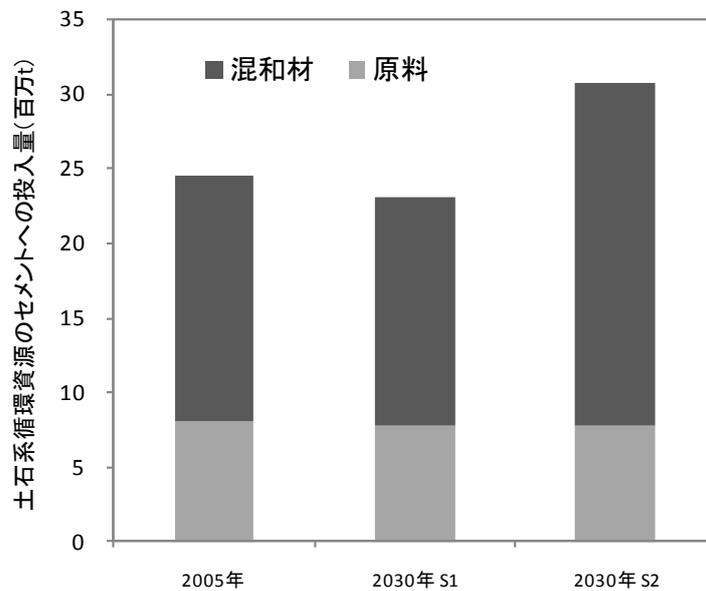


図 3.7.18 セメント製造へ土石系循環資源の投入量

図 3.7.19～21 にそれぞれ 2005 年，2030 年（シナリオ 1），2030 年（シナリオ 2）の土石系の物質フローを示す。まず，シナリオ 1 についてみると，2005 年では，コンクリート塊発生量が 3,220 万 t であり，そのうち 2,878 万 t（87%）が再生路盤用砕石に利用されているが，2030 年にはコンクリート塊の発生量が 5,478 万 t へと増加する設定となっているた

め、再生路盤用砕石への利用 4,508 万 t に加え、再生コンクリート骨材への利用が 520 万 t へと拡大するという結果となっている。アスファルト・コンクリート塊については、2005 年にはアスファルト合材への利用が 1,466 万 t、路盤用砕石への利用が 1,060 万 t であったのが、2030 年にはすべてが路盤用砕石への利用となっている。鉄鋼スラグの発生量は、2005 年の 4,045 万 t から 2030 年には 6,523 万 t へと増加する設定としており、それに伴いコンクリート骨材への投入量が 337 万 t から 1,986 万 t へと増加し、アスファルト合材への投入も 23 万 t から 1230 万 t へと増加している。一方、セメントへの投入は 1725 万 t から 1621 万 t へと減少しているが、これは建設業の縮小に伴うセメント需要の減少によるものである。石炭灰については、2005 年から 2030 年において発生量が変化しないと設定しているため、フローにおいても大きく変化しなかった。

一方、シナリオ 2 では、鉄鋼スラグのセメントへの利用が増大し、2005 年の 1,725 万 t から 2030 年には 2,378 万 t へと変化している。その分、砕石へと流れていた量が減少している。

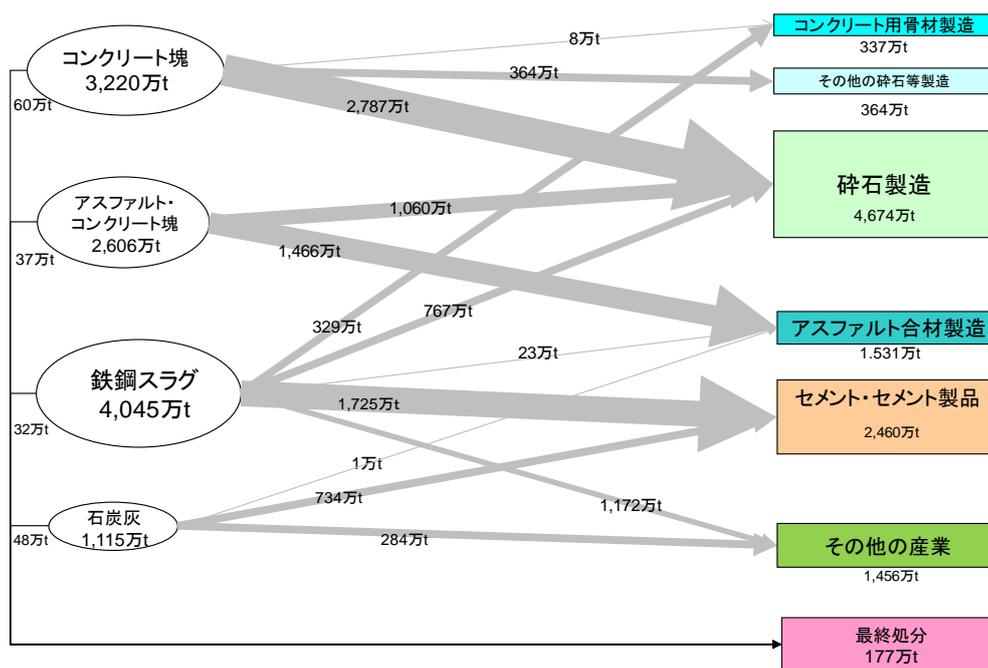


図 3.7.19 2005 年の土石系物質フロー

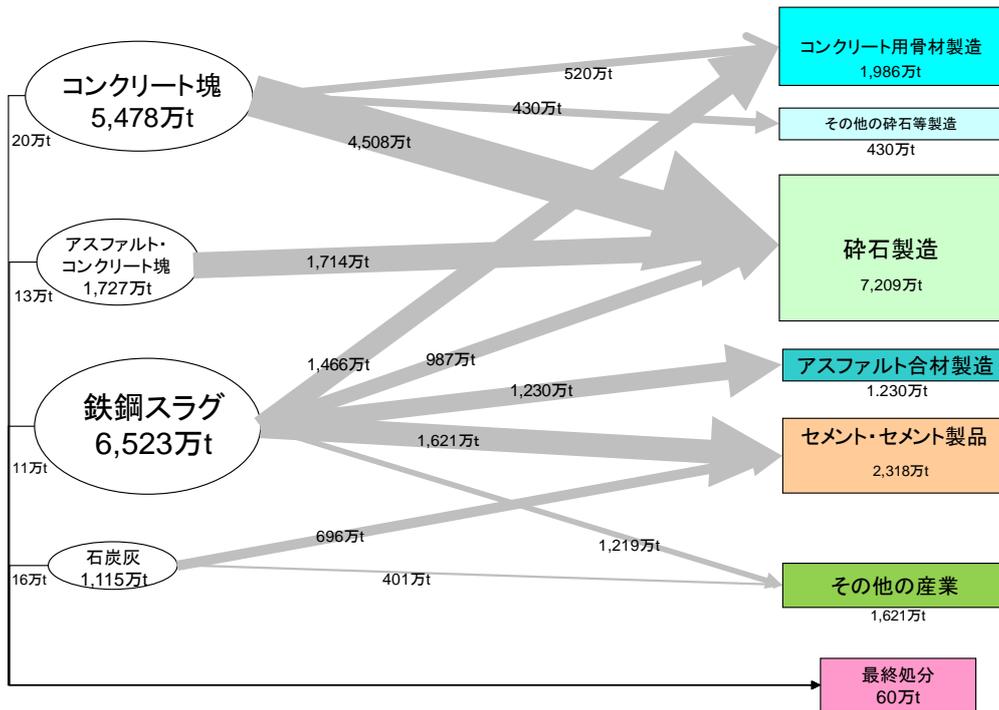


図 3.7.20 2030年の土石系物質フロー (シナリオ1)

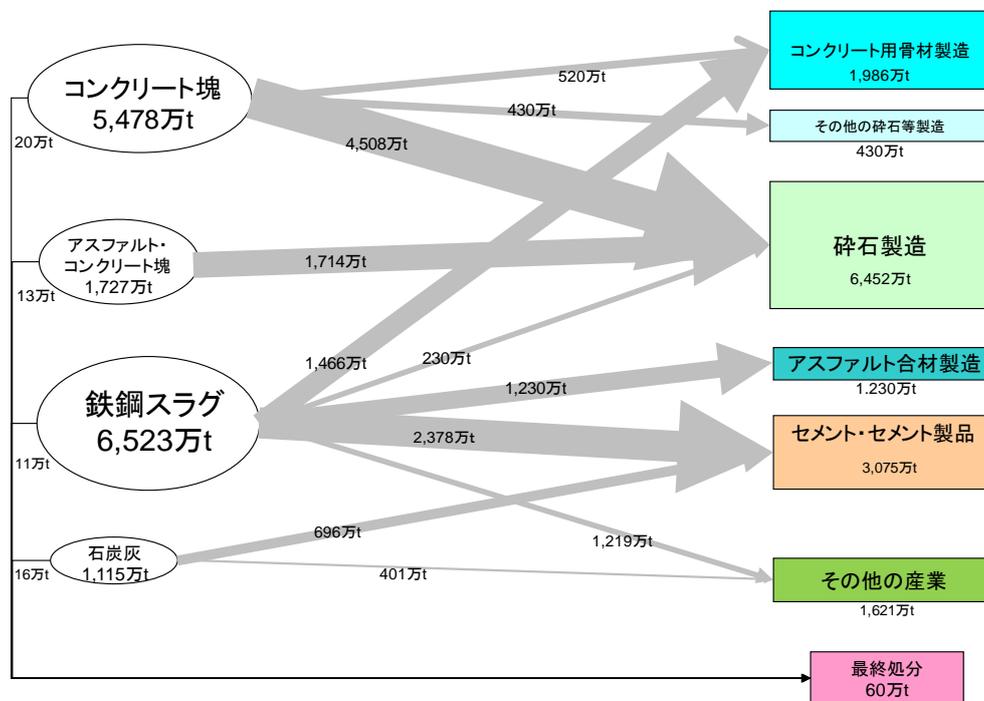


図 3.7.21 2030年の土石系物質フロー (シナリオ2)

ウ) 2030年の最終需要と土石系資源循環の関係を考慮した算定結果

最後に、2030年における建設業の最終需要を変化させた場合の土石系資材の利用量の推移について分析した。2030年において建設業の最終需要は2005年に比べて10.5%減少する設定となっているが、これを2005年比5%減少、15%減少させた場合の結果を図3.7.22に示す。建設需要の減少にともない、天然材の利用量が減少する一方、再生材についてはほとんど変化していない。なお、建設需要を15%以上減少させた場合、線形計画法による解がえられなかった。この場合、最終処分量を2005年比66%削減するという条件では土石系資材の需給バランスを保つことができないことになる。

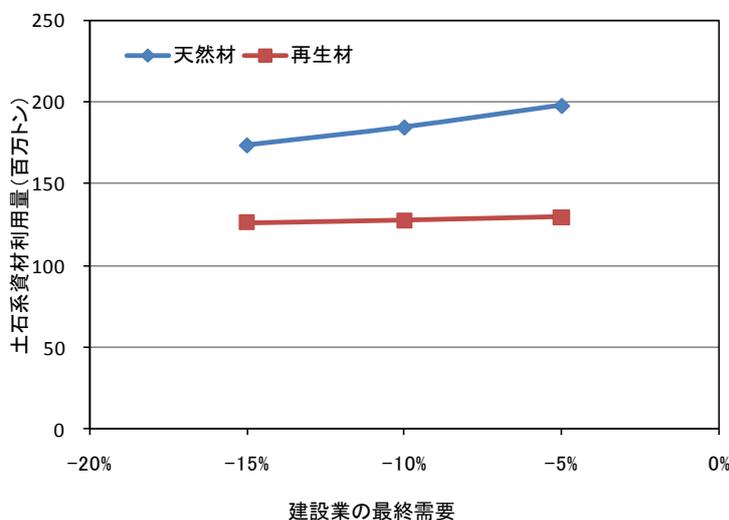


図 3.7.22 土石系資材の利用量と建設業の最終需要の関係

(4) まとめ

ここでは循環型かつ低炭素型の持続可能な社会システムの実現に資する知見を得ることを目的とし、以下の流れで土石系循環資源物質フローの分析を行った。得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- ・土石系関連産業のCO₂排出量は2005年では、53.1百万t-CO₂であったが、2030年には50.4千百万t-CO₂へと5.2%の減少(シナリオ1)、42.3百万t-CO₂へと20.4%の減少(シナリオ2)という結果が得られた。土石系関連産業のCO₂排出量の98%以上がセメント産業からの排出であるため、シナリオによる結果の差はセメント混和剤としての鉄鋼スラグの利用量の設定条件の違いに起因する。
- ・土石系資材における再生材の利用割合は、シナリオ1では路盤用砕石については、再生材の割合が30.2%から57.4%へ増加した。コンクリート骨材に関しては再生材の割合が2.5%から17.1%へ増加した。その他の砕石等は再生材の割合が10.3%から13.8%へ増

加した。一方、アスファルト合材については、再生材の割合が 83.2%から 79.9%へ若干減少した。シナリオ 2 では、路盤用砕石における再生材の割合が減少して 51.2%となっているが、その他は概ねシナリオ 1 と同様であった。

- ・セメント製造における土石系循環資源の投入量は、シナリオ 1 では 2005 年の 24.6 百万 t から、2030 年には 23.2 百万 t へと減少した。シナリオ 2 では、混和材における鉄鋼スラグの利用量を 1.5 倍に拡大する設定としているため、混和材としての土石系循環資源利用量が 2005 年の 16.5 百万 t から 2030 年には 23 百万 t へと増加した。
- ・土石系の物質フローについては、コンクリート塊のうち再生路盤用砕石への利用が 2,878 万 t から 4,508 万 t へと増加し、再生コンクリート骨材への利用が 8 万 t から 520 万 t へと拡大するという結果となった。アスファルト・コンクリート塊については、2005 年にはアスファルト合材への利用が 1466 万 t、路盤用砕石への利用が 1,060 万 t であったのが、2030 年にはすべてが路盤用砕石への利用となった。鉄鋼スラグは、コンクリート骨材への投入量が 337 万 t から 1,986 万 t へと増加し、アスファルト合材への投入も 23 万 t から 1230 万 t へと増加した。一方、セメントへの投入は、シナリオ 1 では 1,725 万 t から 1621 万 t へと減少したが、鉄鋼スラグのセメントへの利用の拡大を想定したシナリオ 2 では、2005 年の 1,725 万 t から 2030 年には 2,378 万 t へと増加した。

3.7.5 土石系資源循環システムのビジョン

土石系資源の利用先である建設業を見ると、社会資本の整備が進んだ現在、わが国では、新規の建設需要が減少し、既存ストックの補修や更新を主とした維持管理の時代に入っている。既存の構造物ストックの補修、更新に伴い、土石系廃棄物等が発生し、それが循環資源として有効利用されるシステムである。

ここで、近年では、道路や構造物等の既存ストックの全面的な更新を避け、小規模な補修を頻繁に行うことで土石系廃棄物等の発生量を抑制しようとする努力がなされている。しかしながら、それは同時に更新のために必要な資材が不要になることを意味しており、土石系循環資源の受け入れ可能量を減少させる面を併せ持つ。さらに、打ち換えを必要としない道路修繕工法や、コンクリート骨材の回収技術の普及により、水平リサイクルが進展すれば、これらの利用先での土石系循環資源の受け入れ量はさらに減少するものと考えられる。また、近年の建設投資の減少もこの状況に一層拍車をかけている。一方で、土石系循環資源は、建設業に起因するものだけでなく、鉄鋼スラグや石炭灰等のように、他産業からも大量に流入してくる。このため、土石系循環資源のマスマランスは供給過剰になりやすい性質を持つが、そのバランスを取る役割を果たしているのが、土地造成のように補修や更新の必要がなく、利用された土石系循環資源が将来における廃棄物（潜在廃棄物）として蓄積しない利用先である。ただし、人口減少がはじまり、経済も成長から維持の時代へと移行した現在、住宅や工業用地等の土地需要にも限界があると考えられる。

今後の土石系循環資源の需給バランスを安定させる鍵を握るのは、これまでなされていなかった新規の需要先の開拓であると考えられる。特に循環資源として副産物を自然に戻し、さらに負の遺産を解消し、負の価値を0にするという「自然還元」の考えが重要と考えられる。現在、浚渫深堀跡の埋め戻し、人工干潟の造成等の海洋環境の修復事業や、亜炭廃坑、特殊地下壕の埋め戻しといった利用先の検討が始まっている。これらの事業は、いずれも社会的便益を生み出すものであるが、現状では投資費用を回収することが困難であるため、低コストのリサイクル技術の開発だけでなく、円滑に事業をすすめるための制度やシステムづくりが必要である。再生利用認定制度や経済特区等のさらなる活用のための基準作りとともに、資金調達システムの確立が必要である。

参考文献

- 1)環境省：平成 22 年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書，2010 年
- 2)Seiji Hashimoto , Hiroki Tanikawa , Yuichi Moriguchi: Where will large amounts of materials accumulated within the economy go? - A material flow analysis of construction minerals for Japan, Waste Management 27 (2007), pp1725-1738, 2007
- 3)国土交通省：平成 20 年度建設副産物実態調査結果参考資料，2010 年 3 月
- 4)鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報（平成 21 年度実績），2010 年 7 月
- 5)財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書（平成 19 年度実績），
- 6)橋本 征二；寺島 泰（2000）建築物解体廃棄物の発生予測，廃棄物学会論文誌，11(5) 271-279
- 7)国土交通省：国土交通白書
- 8)平山修久：東北地方太平洋沖地震における津波廃棄物発生量の推定結果について，東日本大震災の災害廃棄物に関する緊急報告会資料，2011 年 4 月
- 9)財団法人建設物価調査会：建築統計年報平成 21 年度版
- 10)国土交通省：平成 19 年度国土交通白書, 2007
- 11)総合政策局事業総括調整官室:国土交通省・建設リサイクル分野, INDUST, 第 22 巻, 4 号, pp50~53, 2007
- 12)山梨日日, 2008. 3. 18
- 13)国土交通省住宅局住宅生産課長坂本努：住宅の長寿命化の推進について
- 14)全国道路利用者会議：道路統計年報（平成 20 年度），2010 年
- 15)峰岸順一, 小林一雄：環境舗装発生材の再生に関する検討, 平 18. 都土木技センター年報, pp39~50, 2006
- 16)一般社団法人日本鉄鋼連盟：鉄鋼需給の動き，2011 年
- 17)財団法人石炭エネルギーセンター：石炭政策に係る要望，2009 年
- 18)(財)日本エネルギー経済研究所：東日本大震災による電力供給への影響について（第二報），2011 年 4 月

- 19) 経済産業省：エネルギー基本計画, 2007
- 20) 経済産業省：Cool Earth-エネルギー革新技術計画, 2008
- 21) 朝日新聞, 2007. 1. 18
- 22) 中国新聞, 2007. 11. 10
- 23) 眼目佳秀: RPS 法による再生エネルギーの利用促進について, INDUST, 第 22 巻, 第 11 号, pp6~9, 2007
- 24) 原卓也, 吉田好邦, 松橋隆治: 建設廃棄物に着目した道路のマテリアルバランス, 土木学会論文集 No. 734/VII27, pp85~97, 2003
- 25) 独立行政法人緑資源機構農用地業務部技術課中嶋史雄: セメント・フォーム・スラブ工法
- 26) 国土交通省総合政策局: 建設リサイクルに関する今後の動向, 2005
- 27) 国土交通省道路局: 平成 18 年度道路行政の達成度報告書 平成 19 年度道路行政の業績計画書, 2007
- 28) 関東地方整備局: <http://www.ktr.mlit.go.jp/3kanjo/>
- 29) 近畿地方整備局: <http://www.kkr.mlit.go.jp/road/kansen/kanjo/index.htm>
- 30) 中部地方整備局: <http://www.cbr.mlit.go.jp/road/nagoyakenkanjyou/>
- 31) 国土交通省道路局: <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/butsuryu/Top03-02-03.htm#4>
- 32) 山梨日日, 2007. 3. 1
- 33) 辻幸和: 廃棄物溶融スラグ骨材 JIS (コンクリート用), INDUST, 第 22 巻, 10 号, pp7~9, 2007
- 34) 坪井晴人: エコスラグの利用促進と JIS 制定, INDUST, 第 22 巻, 10 号, pp10~13, 2007
- 35) 肴倉宏史: 青森県における産業廃棄物溶融スラグ使用コンクリート二次製品認定基準制度の取り組みについて, INDUST, 第 22 巻, 10 号, pp14~17, 2007
- 36) 北辻政文: ごみ溶融スラグの建設材料としての利用, INDUST, 第 22 巻, 10 号, pp18~21, 2007
- 37) 上埜秀明: 産業廃棄物由来溶融スラグ JIS 化に向けて, INDUST, 第 22 巻, 10 号, pp27~33, 2007
- 38) 朝日新聞, 2006. 11. 18
- 39) 河北新報, 2008. 2. 16
- 40) 月刊廃棄物, 2006 6 月号, pp6
- 41) 日刊工業, 2006. 8. 22
- 42) 朝日新聞, 2006. 9. 19
- 43) 日刊工業, 2006. 10. 13
- 44) 総合政策局事業総括調整官室: 国土交通省・建設リサイクル分野, INDUST, 第 22 巻, 4 号, pp50~53, 2007
- 45) 中山裕文, 島岡隆行, 日名子慶, 大迫政浩, 小林均: 土石系資源循環における環境修復事業の役割に関する一考察, 第 38 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 389-394, 2010

- 46) 鉄鋼スラグ協会スラグニュース http://www.slg.jp/slag_news/news1906/index.htm
- 47) 国土交通省 都市・地域整備局 都市・地域安全課 都市地域防災対策推進室
<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/chikago.htm>
- 48) 国土交通省港湾局環境整備計画
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/11/110619_.html
- 49) 新日本製鐵
http://www.nsc.co.jp/CGI/news/whatsnew_detail.cgi?section=0&seq=00010284
- 50) 国土交通省：建設リサイクル推進計画
- 51) 国土交通省：建設発生土の有効利用に関する行動計画, 2003
- 52) 国土交通省：国土交通白書
- 53) INDUST, 第 23 巻, 4 号, pp30, 2008
- 54) 千葉日報, 2006. 3. 13
- 55) 港湾局環境整備計画室:国土交通省・港湾分野, INDUST, 第 22 巻, 4 号, pp54～58, 2007
- 56) 吉岡完治：環境分析用産業連関表, 慶應義塾大学出版会, 2001
- 57) 中村慎一郎：廃棄物産業連関の理論と応用, 94-1, pp. 5-22, 2001
- 58) 総務省：平成 17 年産業連関表, 2009
- 59) 国土交通省：平成 17 年建設部門分析用産業連関表, 2009
- 60) 井田憲計：規模別産業連関表からみた大企業・中小企業部門の構造変化ー全国・他県と比較した大阪の中小企業部門の特徴, 産開研論集, 第 12 号, pp. 1～11, 2000
- 61) 経済産業省：平成 17 年度砕石統計年報, 2005
- 62) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報 (平成 17 年度実績)
- 63) 財団法人石炭エネルギーセンター：石炭発生量データ
- 64) 国土交通省：平成 17 年度建設副産物実態調査結果, 2005
- 65) 財団法人建設物価調査会：建設物価 2006 6 月号
- 66) 土木学会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針 (案), pp. 108～115, 2005
- 67) 島裕和, 原卓也, 松橋隆治, 吉田好邦, 立屋敷久志:高品質再生骨材によるコンクリートリサイクルシステムに関する研究, 第 23 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp. 85～88, 2004
- 68) 鉄鋼スラグ協会：環境資材 鉄鋼スラグ, 2010
- 69) 金子敬生：産業連関表の理論と実践, 日本評論社, 1971
- 70) 南斉規介, 森口祐一：産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) ーWeb Editionー, 国立環研究所 <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031>