土石系資源の都道府県別循環利用量と二酸化炭素排出量の推計

名古屋大学　学生会員　○稲垣空
名古屋大学大学院　学生会員　松井健吾
名古屋大学大学院　正会員　奥岡桂次郎，谷川寛樹

1. はじめに

持続可能な社会を構築するためには低物質・低炭素化が欠かせず，社会全体における物質代謝と蓄積(マテリアルストック・フロー，以下 MSF)を詳細に把握し，資源生産性を上げ，社会への投入量・廃棄量を削減し，循環量の増加をすることが有効手段である．社会への投入の半量以上を占める国内資源の投入量は年々減少しているが，リサイクル量は増加し続けており頭打ちとなる可能性があるため，現在の循環利用先や方法を再考することが重要である．将来的に建設物の取り壊し量は増加するが新規建設量の大幅な増加は見込めず，一度社会に蓄積した建設物の廃棄量が増加すると考えられるため，建設に関わる資源の多量を占める土石系資源に着目する．国内資源の約 85%を占める砕石，砂利，石灰石は土石系資源と呼ばれており，投入量・廃棄量・循環量が日本の MSF に大きな影響を及ぼすと考えられる．建設副産物実態調査[1]によると土石系資源の95%以上が循環利用されており，代表的な資源である砕石[2]の循環利用は，産業連関表[3]によると路盤材への再利用が 98%と限られた利用先である．道路の建設量が徐々に減少しているため将来循環利用量の減少が考えられる．砕石と砂利を含んでおり，使用済みコンクリートを砕いて製造する再生骨材に着目すると，現在循環利用量が微小な建築基盤への循環利用量を増加することや，新規循環利用先である海岸設備を検討することが可能となり，循環利用先が増加するため，高効率な循環利用に繋がる． また低物質・低炭素化に有効な手段として高炉セメントや FA セメントといった代替セメントの利用が考えられる．代替セメントの原料は副産物であり，資源投入量と二酸化炭素排出量の削減が共に可能である．

本研究では，都道府県別に土石系資源の投入量・廃棄量を算出し，再生骨材の循環利用先を検討した上でシナリオを作成し，循環利用量と二酸化炭素排出量の将来推計を行う．

2. 推計方法

2.1. 土石系資源の投入量・廃棄量推計

建築部門では人口から延床面積を算出し，土石系資源の出荷量を建築物着工面積[4]で除して建築における資材投入原単位を算出する．延床面積に資材投入原単位を乗じることで投入量と廃棄量を推計する．道路部門では人口から道路面積[5]を算出し，土石系資源の出荷量を道路改良延長で除して道路における資材投入原単位を算出する．道路面積に資材投入原単位を乗じることで投入量と廃棄量を推計する．延床面積と道路面積の推計フローを**図-1** に示す．また土石系資源の出荷量は，セメント販売高[6]，砕石出荷量[2]，砂利出荷量[7]から算出する．一例として建設部門の計算式を以下に示す．

$$MS_t^{building} = \sum_k^t \sum_{n,i} \left(I_{n,i,k} \times R_n(t-k) \times A_{n,i,k} \right) \qquad \text{(式 1)}$$

なお，MS：マテリアルストック[kg]，I：資源投入原単位[kg/m^2]，$R(t\text{-}k)$：建築物残存率[5]，A：着工面積[m^2]，n：構造種，i：業種，t：推計する年代，k：着工された年代である．

2.2 シナリオ設定

再生骨材の循環利用先を海岸設備，建築基礎構造，建築下部構造，路盤材とし再生骨材の循環利用シナリオを設定する．海岸施設の対象は海岸や河川を護岸する消波ブロックとする．検討に際して，建築物と道路の将来着工量・廃棄量を参考とする．都道府県ごとに値が大きくかわるので，2050 年に路盤材と建築基盤は現在の再生骨材循環利用割合の 2 倍，海岸設備は再生骨材を使用するシナリオを設定する．また，代替セメントについては IEA (2009)[8]を参考にして将来代替セメント導入シナリオを作成し，**表-1** に示す．

表-1　代替セメント導入シナリオ

セメント種	ポテンシャル
高炉セメント	全セメントの 6 割
FA セメント	全セメントの 2 割

表-2　二酸化炭素排出原単位

原単位 (kg-CO_2/t-cement)	
普通ポルトランドセメント	746.6
高炉セメント B 種	464.1
高炉セメント A 種	605.4
フライアッシュセメント	674.6

2.3 将来推計

土石系資源の将来投入量・廃棄量，再生骨材と代替セメントの将来シナリオを用いて将来の土石系資源の循環利用量と二酸化炭素排出量を都道府県別に推計する．二酸化炭素排出量の原単位[9)10)]は**表-2** に示す．

3. 結果と考察

3.1 土石系資源の将来投入量・廃棄量

図-1 に建築部門の土石系資源の将来投入量・廃棄量を示した．2010 年では投入量が廃棄量を 4Mt 上回っているが，その後投入量は緩やかに減少していき，廃棄量は増大した後緩やかに減少していき，2050 年では廃棄量が投入量を 42Mt 上回る推計結果となった．持続可能な社会構築のためには廃棄量の削減または廃棄物の有効利用が重要であることが明らかになった．

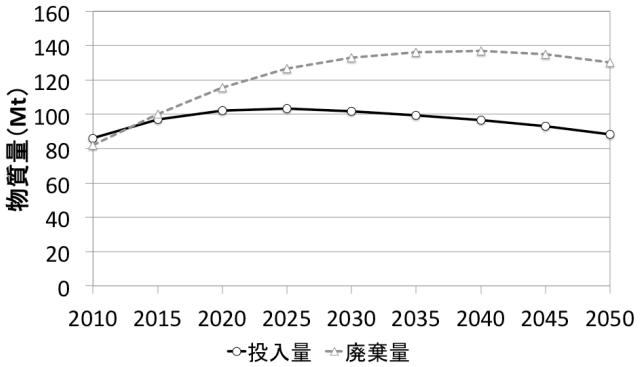

図-1 建築部門の将来投入量・廃棄量

3.2 循環利用量推計

1993 年から 2012 年の土石系資源の循環利用量は年々増加しており，循環型社会の構築が進行していることが明らかとなった．**図-2** に再生砕石の路盤材への将来循環利用量の結果を示す．再生骨材を考慮したシナリオと，現状維持シナリオを示した．2050 年にシナリオが BAU を 11.8Mt 上回る結果となった．

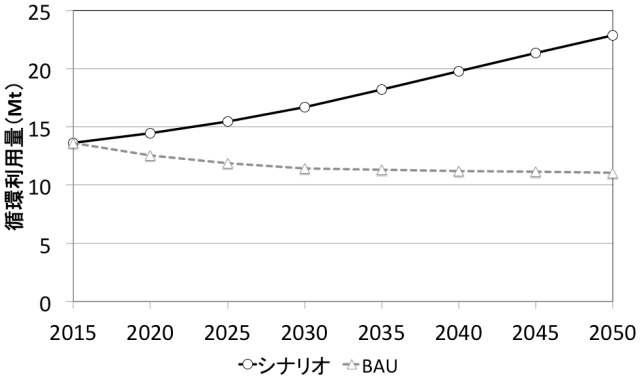

図-2 路盤材への循環利用量

3.3 二酸化炭素排出量推計

図-3 に全国の代替セメントシナリオ導入時の二酸化炭素排出量の推計結果を示す．代替セメント導入シナリオでは 2010 年比で 12.8%減少し，現状維持シナリオでは 2010 年比で 2.7%増加した．両シナリオとも社会への投入量の減少に伴い二酸化炭素排出量は削減されるが，二酸化炭素排出原単位の小さい代替セメントの利用増大により，2050 年時点で代替セメント導入シナリオが現状維持シナリオを約 2Mt 上回った．

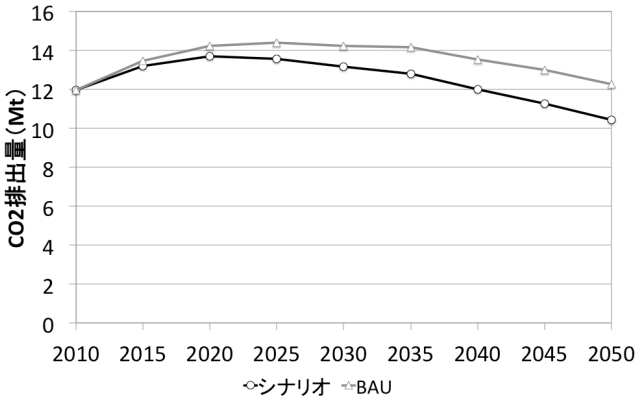

図-3 二酸化炭素排出量

4. おわりに

本研究では土石系資源の建設部門と道路部門の投入量・廃棄量を算出し，再生骨材に着目することで多様な循環利用先の検討が可能となった．その上でシナリオ作成により循環利用量と二酸化炭素排出量の将来推計を行った．但し、本研究では，海岸設備を消波ブロックに限っているため、今後は堤防など他の海岸設備を考慮することが課題として挙げられる．

謝辞： 本稿は，環境省環境研究総合推進費(1-1402，2-1404)，科研費(基盤研究(B)26281056)，の一環として行われたものである．記して謝意を表する．

参考文献

1) 国土交通省(2012)：建築副産物実態調査
2)砕石等統計年報(1981-2013)：経済産業省．
3)総務省(1960-2011)： 産業連関表
4) 国土交通省(1945-2010)：建築着工統計
5)国土交通省(1980-2008)：道路統計年報
6)一般社団法人セメント協会(1966-2012)： 都道府県別需要部門別販売高
7)経済産業省(1970-2012)： 砂利採取業務状況報告書
8)IEA(2009)：Cement Technology Roadmap 2009
9)谷田貝敦，二戸信和，宮澤伸吾，坂井悦郎(2012)：鉱物組成を調整したクリンカーを用いた高炉セメント A 種の特性，Cement Science and Concrete Technology，Vol.66，2pp.338-345
10)一般社団法人セメント協会(2013)：セメントの LCI データの概要