

## I-10 コンクリート副産物の発生量予測とそのリサイクルに関する研究

Estimation and Recycling Management  
of Concrete Demolition in Urban Areas

伊藤義人, 河合亜紀, アミン・ハンマード

Yoshito Itoh, Aki Kawai, Amin Hammad

【妙録】本研究では、現存の都市構造物の情報から、建築構造物の解体から発生するコンクリート副産物（塊）と、土木構造物のうち道路から発生するコンクリート副産物の予測量を算定する。また、コンクリート副産物の最適な処理方法を選択する手段として、種々のリサイクル方法などについて、名古屋市の中の例を考えた原価計算を行い、経済性の比較を行う。また、コンクリート副産物発生量予測と評価のため、空間解析が可能である地理情報システム（GIS）を用いたプロトタイプシステムについて述べる。

【Abstract】 This study aims to develop a systematic method for estimating the amount of demolished concrete in urban areas, and to evaluate and compare several recycling scenarios. At first, the amount of demolished concrete from buildings and urban infrastructure is estimated based on statistical data and using a geographical information system. Then, through a case study, the economical efficiency of recycling demolished concrete in road subgrades or as new concrete aggregates is evaluated, as well as the case of dumping the demolished concrete in landfill.

【キーワード】 コンクリート副産物, リサイクル, GIS

【Keywords】 Concrete Demolition, Recycle, GIS

## 1. 序論

近年、建設材料として用いられるコンクリートのライフサイクルの中で、石灰石および骨材の資源枯渇問題、骨材採取、コンクリート副産物（塊）の廃棄処分による環境汚染と自然破壊問題、セメント製造におけるCO<sub>2</sub>の排出など多くの問題が取り上げられ、特にコンクリート構造物解体後のコンクリート塊のリサイクルの必要性が指摘されている<sup>1)</sup>。

コンクリート構造物解体後、コンクリート塊をリサイクルするには、そのコンクリート塊が管理されていることが前提条件である。しかし、行政の管理する工事から発生するコンクリート塊に関しては、現在、再利用処理、又は最終処分されるまで監視されているものの、民間の管理する工事から発生したコンクリート塊に関しては発生量及び処分法も完全には把握されていないのが現状である。

最適なコンクリート塊の再利用処理を行うためには、まず、民間の工事からの発生量も含む全体のコンクリート塊発生量を把握することが必要である。将来のコンクリート塊の発生量は、現

存している構造物の情報より、ある程度推測することが可能であると考えられる。

そこで本研究では、名古屋市を例にとり、現存の都市構造物の情報を用いて、建築構造物から発生するコンクリート塊と、土木構造物のうち最も多くコンクリートを使用するものとして道路から発生するコンクリート塊の予測量を算定する手法を考える。ここでの予測は長期的なものであり、15年後程度までの予測を行う。その後、最適な処理方法を選択する手段として、種々のリサイクル方法、またリサイクルを行わない場合について、名古屋市の中の例を取り上げ、経済性の比較を行う。この比較は個々のコンクリート塊発生のケースについて行う短期的なものである。また、コンクリート副産物発生量予測と評価をシステム化するため、空間解析が可能である地理情報システム（GIS）のプロトタイプの適用性についても述べる。このシステムを用いることにより、長期的および短期的な両方の視野から、将来のコンクリート副産物の最適処理・再利用計画をたてる事が可能になると考える（図-1）。

連絡先：〒464-01 名古屋市千種区不老町 名古屋大学理工科学総合研究センター

電話：052-789-2737 Fax：052-789-3734 E-mail：itoh@cirse.nagoya-u.ac.jp

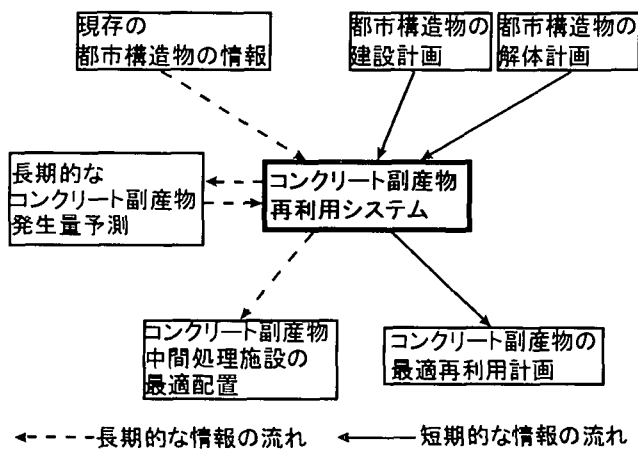


図-1 コンクリート副産物再利用システムの役割  
2. 建築構造物からのコンクリート副産物発生量予測

コンクリート副産物発生量の予測を行う前に、発生量予測方法の確立と基礎データの収集を行った。これまでも、国レベルで建築物の耐用年数を一律と仮定して、その耐用年数後に建築物が全て解体されると仮定した予測は行われている<sup>1),2)</sup>。しかし、予測結果は、例えば30年前のコンクリート使用量が今年のコンクリート塊発生量になるといった単純なものであった。

本研究では、建築物用途別の床面積あたりコンクリート使用量<sup>3),4),5)</sup>、建築物用途別寿命<sup>6)</sup>の値を用い、また実際の建築物の寿命分布への整合性が比較的良いと言われているワイブル分布密度関数を適用して、コンクリート副産物の発生量を確率として表すことにした<sup>7)</sup>。

$t$ 年に解体された用途 $p$ 、構造形式 $s$ の建築物からのコンクリート副産物発生量 $W_{ps}(t)$ は、式(1)で表すことができる。

$$W_{ps}(t) = \sum_i C_{ps}(t-i) \cdot f_{ps}(i) \quad (1)$$

ここで、

$C_{ps}(t-i)$ :  $t-i$ 年の用途 $p$ 、構造 $s$ 建築物着工によるコンクリート使用量 (ton)

$f_{ps}(i)$ : 用途 $p$ 、構造 $s$ 建築物が $i$ 年後に解体される確率。ワイブル分布密度関数を仮定。

また、 $t$ 年のコンクリート副産物総発生量 $W(t)$

は、式(2)で表すことができる。

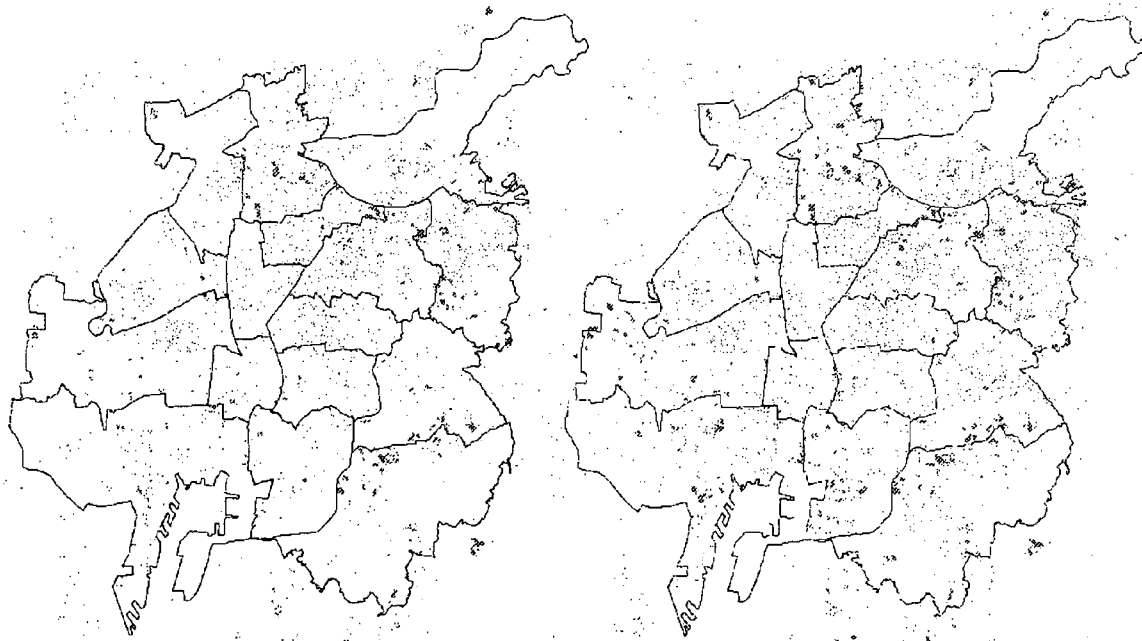
$$W(t) = \sum_p \sum_s W_{ps}(t) \quad (2)$$

以上の予測方法を用いて、発生量の予測の算定を行った。ここでは、大量の空間データを扱う必要があるため、地理情報システム (GIS) を用いた。

コンクリート塊発生量予測を行うために名古屋市の土地利用のデータと、町別の建築物棟数データを用いた。

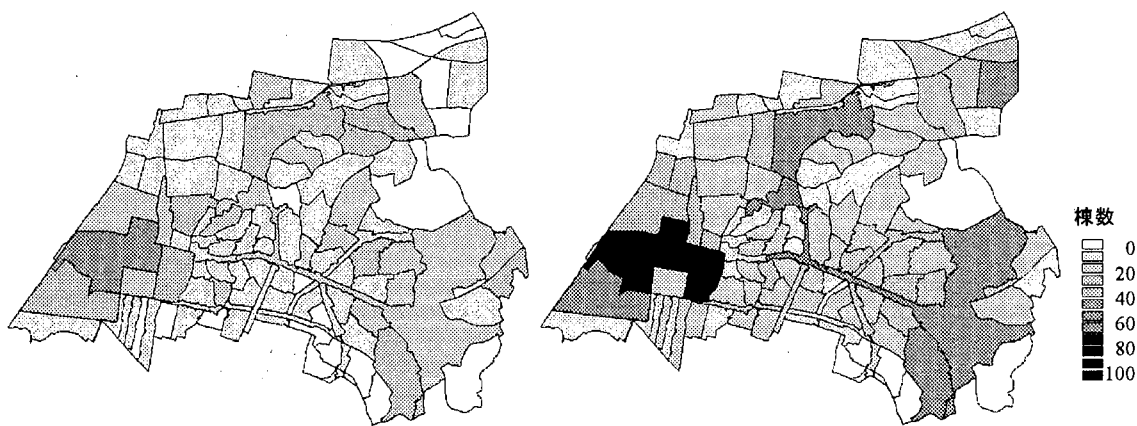
土地利用のデータは建設省国土地理院の細密数値情報<sup>8)</sup>を用いた。図-2に示したものは、名古屋市の土地利用データの一部であり、データはラスター形式 (地理情報をマトリックス構造として保有) で、10mメッシュで5年ごと4期 (1977, 1982, 1987, 1992) についての土地利用状態を知ることができる。このデータを地理情報システムのソフトウェアであるARC/INFO<sup>9)</sup>上で用いられるグリッド (ラスター) データに変換した。土地利用データにおいて土地利用コードは、農地・山林等、造成地、宅地、公共公益施設用地、河川・湖沼等、海、その他とに分類されており、その下にさらに細分類がなされている。

また、構造形式別建設年代別の棟数データは、町ごとに構造形式、建設年代、階数、用途別に建築物の棟数の統計をとったものである。図-3に示したものは、ベクター形式の国土地理院の数値地図<sup>10)</sup>から名古屋市の行政界データを取り出し、ARC/INFO上で処理しポリゴン (多角形) 化し、そこに属性として棟数データを与えたものである。棟数データにおいてデータは、構造形式、建設年代、階数、用途について区分されている。構造区分は木造、軽S造、S造、RC・SRC造に、年代区分は～1964、1965～1970、1971～1981、1982～に、階数区分は1～2階、3～6階、7～階に分類されている。また、用途区分は、専用住宅、共用住宅、併用住宅、店舗、病院、旅館ホテル、工場・倉庫、事務所、劇場映画館、その他に分類されている。



(a) 第1期(1977年)の高層住宅地の分布 (b) 第4期(1992年)の高層住宅地の分布

図-2 細密数値情報データ中の土地利用データの例<sup>8)</sup>



(a) 年代区分「~1964」の棟数

(b) 年代区分「1982~」の棟数

図-3 棟数データの例(名古屋市千種区)

このデータ作成の段階において、既存のGISデータの問題として、元の数値データの作成者が異なると、データ間に関連性を持たせることが難しいことが挙げられる。データの内容(属性)が緯度経度など不変なもので関連づけられていれば、データ間に関連性を持たせることはさほど難しくない。しかし、地名のように使用者によって定義している境界が異なっていたり、時代によって変化するもので表されていると、数値情報ごとにそれぞれ対象としている範囲が異なるなどして、関連性を持たせる以前にかなりの情報収集が必要となる。

図-4 にこれらのデータを用いて行ったコンクリート副産物発生量予測の結果を示す。図-4において、2006年以降の予測量が減っているのは1992年以降のコンクリート使用量の正確なデータがないということと、千種区の建築物の棟数の伸びが1980年代で停滞したということが主要原因と考えられる。

### 3. 土木構造物からのコンクリート副産物発生量予測

本研究では、図-5に示すように、都市部においてコンクリートを最も多く使用している土木構

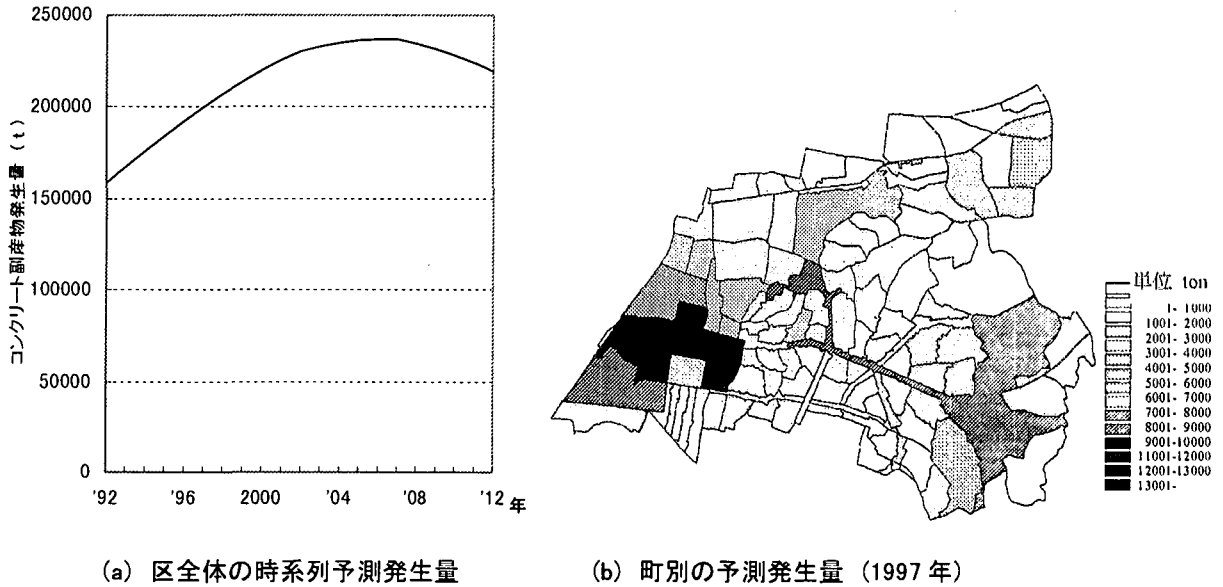


図-4 千種区のコンクリート副産物予測発生量

造物として道路を取り上げ、コンクリート副産物の発生量予測を行うことにする。

道路の舗装は、一般にアスファルトコンクリート舗装とセメントコンクリート舗装の2種類に大別することができる。コンクリート舗装の補修までの年数はアスファルトの7~8年に比べて、20~30年とかなり長い。コンクリート舗装のコストはアスファルト舗装に比べ3~5倍高いが、名古屋市などでは交通量の多い道路において共同溝建設などの機会を利用して、コンクリート舗装を増やしていく計画であると言われている。

名古屋市土木局の保管する道路台帳<sup>12)</sup>には、道路の属性情報として、図-6のように断面図や幅員などの他、舗装の種類(コンクリート舗装、アスファルト舗装)が地図上に描かれている。このようなデータは、まだデジタルデータとしては存在しない。そこで、本研究では、試行として指定区間一般国道について、舗装種地図に基づいて、国土院の細密数値情報から道路のデータを取り出したものに、舗装を属性として加え、地理情報システムで扱えるようにした。

国道のGISデータから行政区別にコンクリート舗装の面積の集計をとり、コンクリート舗装の打設された年<sup>13)</sup>に、平均耐用年数25年、標準偏差5年としてワイブル確率密度分布関数を当てはめ、

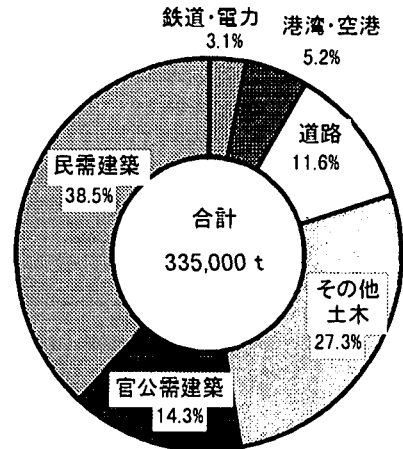
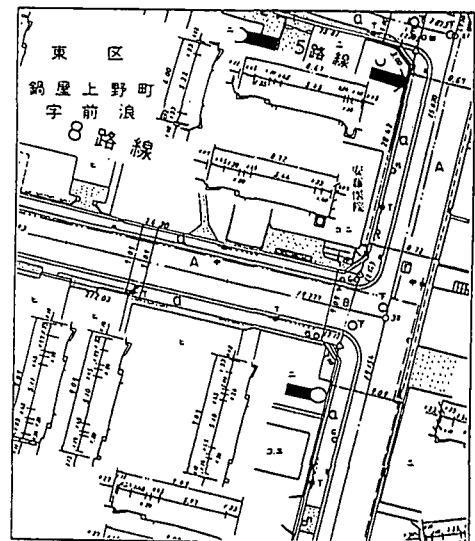


図-5 コンクリート需要部門別販売量<sup>11)</sup>



(CO:コンクリート舗装, AS:アスファルト舗装)

図-6 道路台帳の一部

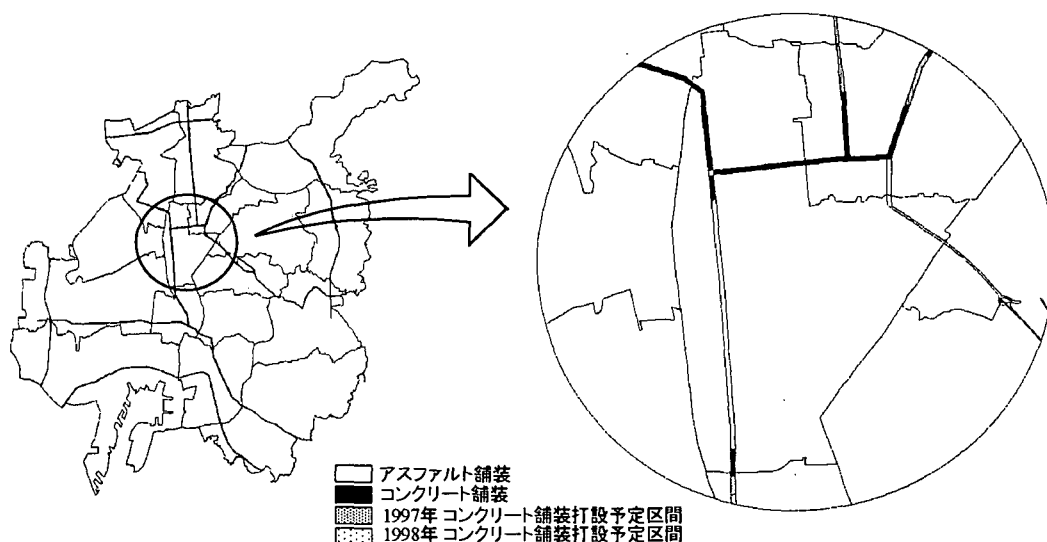


図-7 名古屋市の指定区間国道の舗装種の GIS データ

コンクリート舗装道路から出るコンクリート副産物発生量の予測を行った。

$t$  年の道路舗装からのコンクリート副産物予測発生量  $W(t)$  は、式(3)で表される。

$$W(t) = \sum_i V(t-i) \cdot f(i) \tag{3}$$

ここで、

$V(t-i)$  :  $t-i$  年に新設コンクリート舗装で使用されたコンクリート量 (ton)

$f(i)$  : コンクリート舗装道路が  $i$  年後に打ち換えられる確率. ワイブル分布密度関数を仮定.

予測の対象地域の分類は、後で輸送費を考慮に入れた経済性の比較を行うため、建築構造物の場合と同じように行政区別か、あるいは最短距離にある中間処理施設別に分けることが望ましい。しかし、本研究では舗装の打設された年の正確なデータが入手困難であったため、名古屋市全体のコンクリート副産物の発生量予測を行った。

予測結果であるが、データの量が少なかったため、年ごとの変化の激しい発生量が結果として出てしまった。これは、名古屋市の指定区間一般国道についてのみ予測を行ったためである。実際、名古屋市では県道や市道の方がコンクリート舗装がなされているところが多く、指定区間一般国道のコンクリート舗装面積は名古屋市全体のコンクリート舗装面積の 20 分の 1 程度である。今

後、これらの道路の状態をデジタル化することにより、より緻密な予測が可能となるであろう。

#### 4. コンクリートリサイクルに関する評価

発生したコンクリート塊の処理の方法は、(1)粗く砕いて最終処分(埋め立て)、(2)処理施設において細かく砕いて路盤材等として使用、(3)現場において細かく砕いて路盤材として利用、(4)処理施設において細かく砕いて骨材のみ取り出して再利用の 4 種類が一般的なものである。

2. と 3. で行った予測を基にして、個々のコンクリート塊発生の場合に対して、上の 4 種類のリサイクル方法について原価計算を行い、比較評価できる GIS を用いたシステムの構築を考える。この方法を用いることによって、1) 今後のコンクリート副産物予測発生量を考慮に入れた処理施設の建設計画をたてる、2) 新しく構造物を建設するプロジェクトを見越して、最適なコンクリートリサイクル方法を選択する、3) 新しく構造物を建設するプロジェクトにおいて、入手できる再生コンクリートの量とコストを考慮に入れて施工計画を建てるなどといったことができるようになると考えられる。また、システムに GIS を用いることによって、4) ネットワーク解析を行うことにより、運搬ルートの最適選択を行うことができ、同時に、中間処理場の最適選択も行うことができるようになると考えられる。

4.1 各リサイクル方法に関する経済性比較

図-8に原価計算を行うためのコンクリート副産物のリサイクルフローを示す。原価計算の内容を式(1)~(4)に示す。なお、記号の意味と一般的な値を表-1に示す<sup>14),15)</sup>。

1)粗く砕いて最終処分

$$C_1 = C_{c1} + C_{ly} (+C_{tx}) + C_{lr} \quad (4)$$

2)処理施設で細かく砕いて再生路盤材など

$$C_2 = C_{c1} + C_{ip} + C_{rb} - C_{rb}' + C_{lr} \quad (5)$$

3)現場で細かく砕いて再生路盤材など

$$C_3 = C_{c2} + C_{rb} - C_{rb}' + C_{lr} \quad (6)$$

4)細かく砕いて再生骨材

$$C_4 = C_{c1} + C_{ip} + C_{ag} - C_{ag}' + C_{lr} \quad (7)$$

4.2 ケーススタディー

4.1で述べた原価計算式を用いて経済性の比較を名古屋市で行うために必要なデータは、表-1の単価コストの他、道路ネットワークのGISデータ、名古屋市近辺の中間処理施設、最終処分場のGISデータ、また、構造物解体現場、再生材使用現場のデータである。

本研究では、これまでに指定区間一般国道のみの道路ネットワークデータ、名古屋市内7カ所の中間処理施設、市外数カ所の最終処分場についてのみのデータをデジタル化している。しかし、これらのデータだけでは、完全なネットワーク解析を行うのに十分ではない。ここでは、ある建築物解体プロジェクトについて、ケーススタディーのみを行い、システムの適用性のみ確認する。

図-9に示すような公営団地解体工事を例にと

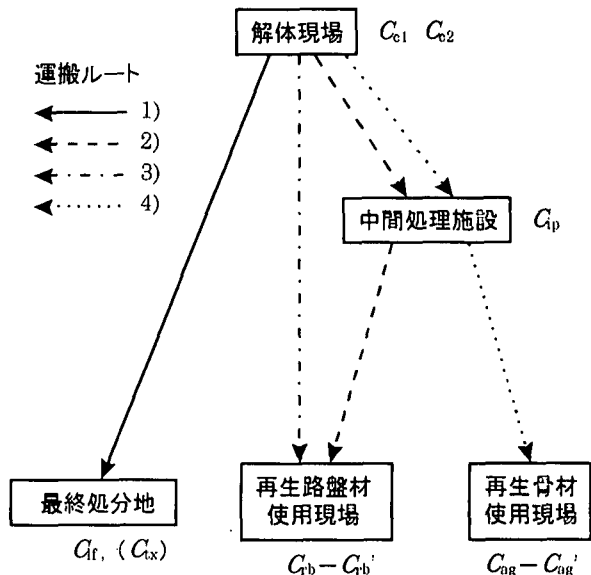


図-8 コンクリート副産物のリサイクルフロー

る。再生路盤材は、予定されている共同溝建設工事で使用されるものとし、再生骨材は、同じ共同溝建設現場で埋め戻し用の捨てコンとして用いられるものとする。コンクリート副産物の処理のコストに対し、4.1で示した4通りについて概算を行い、比較を行う。

ケーススタディーの条件

発生地:名東区内の公営団地(RC造,床面積330m<sup>2</sup>, 5階建て)

発生量:1.3 ton/m<sup>2</sup>(表2.1)×330 m<sup>2</sup>×5階=2145 ton

再生路盤材・再生骨材利用現場:北区の共同溝建設現場

中間処理施設:天白区のコンクリート副産物中間処理施設

最終処理場:瀬戸市の安定型処分場

表-1(a) リサイクルの各過程における単価コスト

		コスト	(単位)
現場粉碎処理費	粗粉碎処理費 C <sub>c1</sub>	建物上屋 724 基礎コン 7,500	円/延100m <sup>2</sup> 円/100m <sup>2</sup>
	細粉碎処理費 C <sub>c2</sub>	1,500	円/t
中間処理施設引き取り価格 C <sub>ip</sub>		1,400	円/t
運搬費 C <sub>lr</sub>		右表 参照	円/10ton車・km
路盤材価格	再生路盤材価格 C <sub>rb</sub>	1,040	円/t
	処女路盤材価格 C <sub>rb'</sub>	1,290	円/t
骨材価格	再生骨材価格 C <sub>ag</sub>	1,130	円/t
	処女骨材価格 C <sub>ag'</sub>	1,500	円/t
最終処分費 C <sub>lr</sub>		1,000	円/10ton車
環境税 C <sub>tx</sub>		処女材 100 廃棄物 2,600	円/t 円/t

表-1(b) 運搬費 C<sub>lr</sub>の単価コスト

運搬距離	円/10ton車
10km	7,920
20km	10,420
30km	13,330
40km	15,830
50km	18,330

その他の算定条件：

- 1) ダンプトラックには 10ton のコンクリート塊が積めるものとする。
- 2) 運搬ルートを GIS 上で、国道データ及び一般道路データをもとにして表示したものを、図-9 に示す。
- 3) 発生したコンクリート塊から重量で 46% の再生骨材が採取できるものとする。

表-2 に、原価計算の結果を示す。

(1) の処理方法が他の処理方法の 6 割程度のコストとなり、再利用せずに最終処分するのが事業者にとっては最もコストが小さいという結果になった。再利用する場合のコストは、どれもほぼ同じであったが、骨材としてよりも路盤材として再利用の方が、ごくわずかであるがコストが小さい。また、路盤材として再利用す

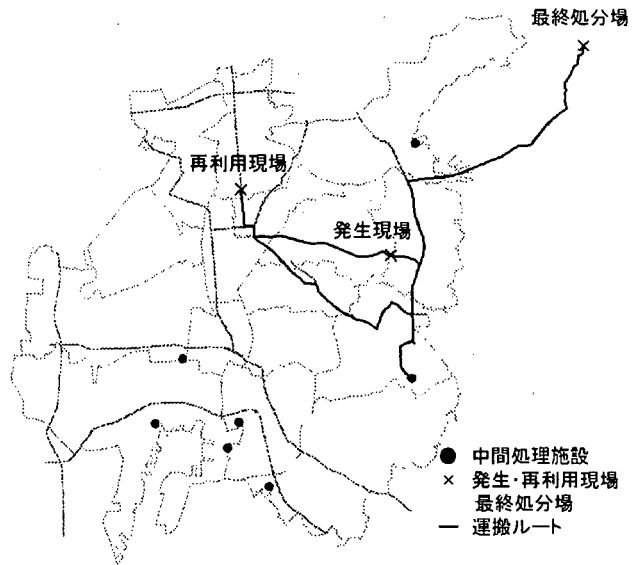


図-9 発生現場、最終処分場、中間処理施設、再利用現場、運搬ルート

表-2 原価計算の結果 (万円)

再生処理方法	中間処理費	運搬費	再生材価格	最終処分費	コスト合計
(1) 粗く砕いて最終処分	367	29	---	2	392
(2) 処理施設において細かく砕いて路盤材として再利用	667	40	-54	---	654
(3) 現場において細かく砕いて路盤材として再利用	689	17	-54	---	653
(4) 細かく砕いて再生骨材として再利用	667	28	-3	---	657

るのであれば、中間処理施設より現場で処理した方がコストが小さいという結果であった。しかし、これらの結果は、単一事業者にとってのコストであり、最終処分場の維持管理や環境負荷、材料資源の枯渇問題などをコストの中に入れておらず、社会全体から見た場合に、最終処分するのが最適処理方法というわけでは決してない。

コンクリート副産物の再利用を促進するためには、最終処分のコストとの開きを埋めるために、行政が環境税を最終処分、処女材利用等に賦課し、再生材の利用に補助金等を出す必要があると思われる。デンマークでは 2600 円/ton の廃棄物賦課金が、現在、産業廃棄物に対して課せられている<sup>21)</sup>。この賦課金を今回のケーススタディーに当てはめると、(1)のコストが 956 万円となり、再利用する場合の 1.5 倍のコストとなる。

また、運搬費は処理費に比べて少ないものの、運搬距離によってかなり違ってくることが分かった。再生処理方法の最適選択を行うのであれば、運搬ルートの選択が不可欠である。

#### 4.3 リサイクルに関する今後の課題

コンクリート副産物の今後の課題を項目別に表示す。

- 1) 環境税：環境税の導入がコンクリート副産物の処理方法に大きな影響を与えうることは、前に示した通りである。ただし、導入の前に、事業者の再利用コンクリートに対する意識、環境負荷などを考慮した詳しい費用便益分析を行う必要があると思われる。
- 2) 再利用処理技術の向上とコストの低減：コンクリート副産物の再利用コストのうち、中間処理費が 9 割近くを占めることが 4.2 において分か

った。コンクリート副産物の再利用推進のためには、中間処理費の低減化が必要である。そのためには、コンクリート副産物の再生技術がさらに向上することが必要であると思われる。

- 3) 民間からのコンクリート副産物発生量の把握：発生コンクリート副産物のほとんどを占める民間工事からのコンクリート副産物の量を把握せずして、最適なコンクリート副産物再利用システムを構築することは不可能であると思われる。発生コンクリート副産物の量の把握が可能になれば、最適な中間処理施設配置も可能になり、再利用コストの低減にもつながるであろう。
- 4) コンクリート副産物再利用情報処理システム：発生したコンクリート副産物の再利用処理方法、中間処理施設、再利用現場を最適選択する情報処理システムが構築されることにより、コンクリート副産物の再利用コストが低減し、再利用を推進することになる。また、同一システムで、コンクリート副産物の長期的な発生量予測を行うことにより、中間処理施設建設位置、環境税、賦課金額等の最適選択を行い、長期的な面からもコンクリート副産物再利用のコスト低減を図ることができるようになると思われる。

## 5. 結論

本研究により得られた結論は以下の通りである。

- 1) コンクリート副産物の発生量予測手法を示し、既存の都市構造物の情報から、今後のコンクリート副産物発生量を把握できることを示した。
- 2) 現在行われているコンクリート副産物のリサイクル方法について原価計算、経済性比較を行うための手法を示し、原価計算、経済性比較のケーススタディーを行い、リサイクル方法の原価面での最適選択の考え方を示した。
- 3) ケーススタディーより、運搬費が運搬距離によってかなり影響されることが確認され、リサイクルの方法だけではなく、運搬ルート、中間処理場についても最適選択を行う必要があることが分かった。
- 4) コンクリートのリサイクルをより推進するために、地域レベルでのコンクリート副産物再利用

システムを確立することの重要性を示した。そして、そのプロトタイプシステムを構築し、その有効性を示した。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、愛知県および名古屋市の関係者にお世話になりました。ここに深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 友澤史紀：コンクリートの完全リサイクル化に向けて、セメントコンクリート、No.578, pp.1-8, 1995.8.
- 2) Bassan, M., and Galimberti, V. : Recycling of Concrete : Foreseeable Development Possibilities in Italy, Collected Papers of R'95 International Congress, Geneva, Vol. 1, Barrage, A. and Edelmann, X.(eds.), 219-227, 1995.
- 3) 高橋照男：これだけは知っておきたいコストプランニングの知識（増補改訂版），鹿島出版会，1992.
- 4) 大島久次：建築の積算・見積，共立出版株式会社，1983.
- 5) 建築学大系編集委員会：建築学大系 15，木構造・特殊構造，彰国社，1976.
- 6) 谷重雄：建築経済学，技報堂出版株式会社，1978.
- 7) 崔俊栄ほか：建物の寿命とその分布の推定に関する研究－K市の公共建築を対象とした場合，日本建築学会計画系論文報告集，pp.87-95，1989.8.
- 8) 建設省国土地理院監修：細密数値情報説明書，1989.
- 9) ESRI：Understanding GIS，1990.
- 10) 財団法人日本地図センター：数値地図ユーザーズガイド（改訂版），1994.
- 11) 社団法人セメント協会：セメントハンドブック，1995.
- 12) 名古屋市土木局：道路台帳.
- 13) 名古屋市土木局：名古屋市道路統計，1996.
- 14) 財団法人建設物価調査会：建設物価 1月号，No.852，1997.1.
- 15) 財団法人積算資料：積算資料 1月号，No.881，1997.1.