

常時及び地震時を考慮した解体副産物の発生量予測・管理システム とその利用に関する研究

STUDY ON DEMOLITION WASTES MANAGEMENT SYSTEM FOR URBAN STRUCTURES CONSIDERING ORDINARY AND SEISMIC SCENARIOS USING GIS

伊藤 義人*, 佐竹 禎司**
Yoshito ITOH and Sadashi SATAKE

*工博 名古屋大学教授 理工科学総合研究センター (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

**工修 東京都建設局 (〒170-0014 東京都新宿区西新宿 2-8-1)

In this study, a prototype system for management of demolition wastes from urban structures is developed using geographic information system. It is concluded that demolition wastes management should totally consider both ordinary and seismic cases. At first, the quantity of demolition wastes from buildings is estimated for ordinary and seismic scenarios. Nagoya is used as the model city for the case study. Then, possible locations and areas for temporary stacking of seismic demolition wastes are discussed. Finally, this system is applied to the recycling and landfill stages to check the ability of the wastes management of the study area against a great earthquake.

Key Words: demolition wastes, ordinary and seismic scenarios, GIS

1. まえがき

1992年の地球環境サミット以来、「持続可能な発展」¹⁾(Sustainable Development)を合言葉に、世界各国が環境共生社会の実現を目指し始めた。日本においても、1993年の「環境基本法」の制定と、それを基にした「環境基本計画」の設定によって、環境負荷の少ない循環を基調とする社会システムの構築が目指されることになった。

現行のシステムにおいて、大量生産は大量消費、大量廃棄に直結している。大量消費は天然資源を枯渇させ、大量廃棄は自然環境を圧迫することは明らかであるため、このような社会は持続不可能である。一方、リサイクルを中心としたシステムでは、天然資源の使用と廃棄物の発生を抑制することは、生産・消費活動の維持や緩やかな拡大と両立する。従って、このような「循環型社会」は持続可能であるとされる。リサイクルは、「回収」・「再生」・「再利用」という3つの主要なプロセスから成り、環境基本法に先立つ1991年に成立した「再生資源の利用の促進に関する法律」(リサイクル法)に基づいて、すでに制度化されている。産業廃棄物の発生量の業種別内訳をみると、建設業の占める割合は、全体の21%と大きい。リサイクル法は、建設業を「特定業種」に指定し、建設工事に伴い副次的に

得られる物品を「建設副産物」として、そのリサイクルを特に積極的に行うよう定めている²⁾。その結果、特にアスファルトコンクリート塊とコンクリート塊について、リサイクル率が向上している³⁾⁴⁾。国は、建設副産物対策行動計画(リサイクルプラン 21)に従って、アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊、発生木材のリサイクル率を、2000年までに90%に向上させることを目指している。

しかし、このような国や地方自治体主導のリサイクル計画が推進されている一方で、民間から発生する副産物については、その発生量や処理状況が正確に把握されているとは言えない。産業廃棄物の不法投棄量とその種類について、1993年度から1995年度までの平均によると、不法投棄量の約85%は建設系の廃棄物である⁵⁾。このような不法投棄は近年増加傾向にあり、それに伴って、廃棄物処分施設の設置をめぐる地域紛争の発生件数は増加し、廃棄物最終処分場の新規立地件数は減少傾向にある⁶⁾。厚生省は、産業廃棄物の最終処分量が1993年度レベル(約8400万トン)で保たれ、最終処分場の新規立地が現在の減少傾向をたどると仮定した場合の残余容量の見通しを2008年には残余容量がゼロとなるとしている。すなわち、リサイクルを中心とした循環型社会であっても、廃棄物の発生を完全に回

避することはできない。従って、最終処分場の残余容量不足の問題は、今後も持続的発展を妨げる大きな要因となる。1997年の「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃棄物処理法)の改正は、このような状況に対応するため、廃棄物の減量化とリサイクルの一層の推進を図り、最終処分場の新規立地を妨げる不法投棄への対応を強化するものである。

一方、1995年の阪神・淡路大震災は、自然環境が人間社会に与えるインパクトの大きさもあらためて認識させた。この震災で、倒壊または損傷が大きいために解体された建設物から生じた副産物(解体副産物、いわゆる「がれき」)は、2100万 m^3 (2000万トン)に達し、大災害という特別な状況下、多くが埋立処分された⁶⁾。震災後の解体副産物のリサイクルに関する状況のリサイクル率は明らかに低い。阪神・淡路大震災の被災地付近では、大阪湾広域臨海環境整備センター(大阪湾フェニックス)が、1990年より先駆的に稼働していたため、低いリサイクル率であっても解体副産物の全量を処分することができた。しかし、このようなフェニックス事業が実施されているのは大阪湾のみであり、他の地域では依然として最終処分場の残余容量が不足していることを考えれば、地震時であっても、常時と同様にリサイクルを促進を考えるべきである。ただし、地震時のこのいわゆるがれき問題を扱う上では、救援・救急・復旧活動を促進する減災の視点から、発生した解体副産物の迅速な処理に関しても検討されなければならない⁷⁾。阪神・淡路大震災では、被災現場各所における大量の解体副産物の早急な撤去要請と、最終処分場投入基準に基づく分別作業及び減容化・リサイクルの実施を両立するため、「仮置場」が数多く設置され、大きな役割を果たした⁸⁾。

本論文では、今後も都市の周辺や直下で大地震が起こりうると推測される以上、常時及び地震時の双方に役立つ統合的な解体副産物の管理システムを構築しておくことが、社会の持続的な発展にとって重要であると考え、そのための基礎研究として、以下の順に検討を加えることとする。まず、第2章では、構築すべきシステムの全体像を描く。第3章以降、システムの各部分について、発生量の事前予測、仮置場設置可能場所の把握、リサイクル及び最終処分プロセスの管理などの手法を、ケーススタディーを中心に考え、結論をまとめる。なお、本論文において、「解体副産物」という用語には、常時における建設副産物と、地震時におけるがれきの両方を含めている。

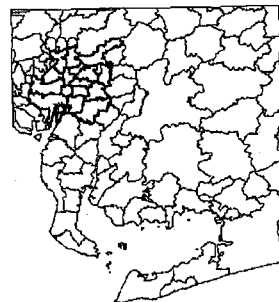
2. 解体副産物発生量予測・管理システムの概要

本研究では、まず、常時及び地震時における解体副産物の管理体制の確立に関して、文献3)や6)などを参考にし、問題の枠組みを設定を行った。そして、これらの課題は地域レベルで総合的に解決する必要があるために、地理情報システム(GIS)を導入した。以降、本論文において、データの管理や活用はすべて、GIS上で関連する地理的テーマごとに構成された「レイヤー」に対して行っている。図-2.1(a)、(b)は、本システムで基本となる行政界レイヤーを示したものであり、解体副産物の発生源となる地域と、発生した解体副産物を搬出・管理する際に考慮する地域を

それぞれ示している。本論文においては、発生源としては名古屋市を、管理地域としては愛知県とその周辺地域を、具体的なスタディーエリアとして選択した。



(a) 解体副産物発生地域(名古屋市)



(b) 解体副産物管理地域(愛知県周辺)

図-2.1 本研究におけるスタディーエリア

次に、本システムで達成すべき目標を定める。ここで、1996年に発効した、国際標準化機構(ISO)の「環境管理システム」(“Environmental Management System”)に関する規格(ISO14001)の構成をみると、以下のようになる⁹⁾。

- 1) 環境方針の策定
- 2) 計画(Plan)
- 3) 実施及び責任ある運用(Do)
- 4) 点検及び是正措置(Check)
- 5) 経営者による見直し(Action)

これらの手順は、PDCAサイクルと呼ばれる循環を形成し、その結果、企業の生産活動による環境影響が継続的に低減される。近年、この環境管理システムを、廃棄物管理に適用することが考えられ始めている。これは、廃棄物の発生場所・量・性状を事前に把握し、それに対する削減目標を策定した後、PDCAサイクルを実行することによって、リサイクル率の向上とそれに伴う最終処分量の削減を目指すものである。本研究では、この考えを、建設物から生ずる解体副産物の管理にも適用することとし、以下の目標をもったシステムについて考察する。

- 1) 解体副産物の発生量を予測し、その結果を最終処分場容量と比較検討することによって、達成すべきリサイクル率を把握する。その際、第1章で述べたように、常時及び地震時の双方を想定する。
- 2) 中間処理及び最終処分能力が不足していることが判明した場合、新規に設置すべき仮置場、中間処理施設、最終処分場の規模を提案する。
- 3) 解体副産物が適切にリサイクルまたは最終処分されて

いるかを総合的に検討するために、リサイクルや最終処分に至るプロセスを把握する。

以上が構築すべきシステムの構成である。

3. 解体副産物発生量予測

3.1 通常のライフサイクルに従って解体される建築物からの発生量

ここでは、いわゆる常時における解体副産物の発生量を、種類別に予測する。

本システムでは、これまでに着工された建築物が、確率的な寿命に従って解体され、副産物を発生させると捉える。副産物の種類としては、コンクリート塊、木材、鉄くず、の3種類を想定する。発生量の具体的な予測手順は以下の通りである。

1) y 年における、用途 p に対する着工建築物床面積 A_{yp} の集計：

ここでは、これまで名古屋市中で着工された建築物の床面積に関する時系列データ¹⁰⁾を使用した。このデータは、各区ごとに、1977年から1995年の19年間に着工された用途別、構造別の建築物床面積を集計したものである。用途は、「居住専用」、「居住産業併用」、「農林水産業用」、「鉱工業用」、「公益事業用」、「商業用」、「サービス業用」、「公務文教用」の8種類である。1976年以前における同種のデータでは、名古屋市中全体の値のみが集計されており、各区に対しては与えられていない。従って、1976年以前の各区における着工床面積は、1977年と同じであると仮定した。また、1996年以降の着工床面積も、1995年と同じであると仮定した。

2) A_{yp} のうち、構造区分 s が占める比率 r_{yys} の集計：

1)と同じデータを用いた。対象とする年代についても、1)と同様である。今回考慮した構造区分は、木造、S造、RC/SRC造の3種類である。

3) y 年における、用途 p に対する構造区分 s ごとの着工建築物床面積 A_{yys} の計算：

これは、すなわち、

$$A_{yys} = A_{yp} r_{yys} \quad (1)$$

である。本システムでは、この結果を、属性データとして、名古屋市中行政界レイヤー上で各区ごとに保持している。

4) 用途 p 、構造区分 s に対する建築物の平均寿命の設定：

大きな自然外力が作用しない常時において、建築物の寿命は、物理的減耗と機能的・社会的減耗の2種類の効用低下によってもたらされ、機能的・社会的寿命が先につきることが多い¹¹⁾。本システムでは、用途別、構造別に、表-3.1に示す平均寿命を用いた。これらは、東京都、大阪市、名古屋市で、大きな災害の発生していないある期間に実際に解体された全建築物の寿命の平均値¹²⁾を基に設定した値である。ただし、この調査は、高度経済成長下都市化の進展が著しい時期なされたものであるため、その後の建築物の長寿命化は考慮されていない。

表-3.1 建築物の平均寿命(年)

用途区分 \ 構造区分	木造	S造	RC/SRC造	
居住専用・居住産業併用	44.1	12.5	25.8	
農林水産業用		22.5	27.5	
鉱工業用		21.2	27.5	
公益事業用		12.5		29.9
商業用				27.7
サービス業用				28.0
公務文教用			29.9	

5) T_{ps} をあてはめた確率密度関数を用いた建築物の寿命分布 $f_{ps}(t)$ の設定：

建築物の寿命を確率的に計算するためのモデルとしては、信頼性工学の分野で用いられるワイブル分布関数の導入が考えられている^{13), 14)}。この確率密度関数は、 t を建築物が取り壊されるまでの存在期間とすると、次式のように表される。

$$f(t) = \frac{m}{\alpha} (t - \xi)^{m-1} \exp\left(-\frac{(t - \xi)^m}{\alpha}\right) \quad (2)$$

式(2)において、 m 、 α はそれぞれ形状と尺度の母数と呼ばれるパラメータである。 ξ は位置の母数と呼ばれるパラメータであり、文献14)より、 $\xi = 0$ と考える。パラメータ m と α は、平均 E と分散 V を用いて、以下のよう表される。

$$E = \alpha^{\frac{1}{m}} \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad (3)$$

$$V = \alpha^{\frac{2}{m}} \left[\Gamma\left(\frac{2}{m} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{m} + 1\right) \right] \quad (4)$$

ここで、 Γ はガンマ関数である。

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} \exp(-t) t^{m-1} dt \quad (5)$$

本研究において、期待値 E には、表-3.1に示した平均寿命があてはめられる。また、標準偏差は、文献14)に従い一律に10年と仮定した。ただし、この値は、公共建築物を対象に行った調査をもとにしているため、今後は他の用途の建築物に対する値も検討する必要がある。表-3.1に示した用途・構造区分ごとのワイブル分布形より、 $(t - \xi)$ 年から t 年までの一年間に寿命となる確率は、GIS内部で、属性データと対応して保持されている。

6) 構造区分 s に対する解体副産物種類 c ごとの解体物発生原単位 d_{sc} の設定：

解体された建築物から発生する単位床面積あたりの副産物量の設定は、建設省建築研究所による解体事例調査結果¹⁵⁾や、阪神・淡路大震災後に行われた家屋解体の立ち会い調査結果¹⁶⁾などにより、表-3.2のように設定した。データの不足により、用途別には設定しない。

表-3.2 解体副産物発生原単位^{15), 16)}

副産物の種類 \ 構造区分	コンクリート塊 m ³ /m ²	木材 m ³ /m ²	鉄くず kg/m ²
木造	0.15	0.25	5
RC/SRC造	0.57	0.05	95
S造	0.40	0.05	180

なお、これらは、機械(「圧碎機」など)を使用して解体・分別され、副産物の種類ごとに搬出車両に載せられる場合の値である。通常、分別されていない混合状態の副産物は、中間処理施設において搬入を拒否される。鉄筋や鉄骨を含む場合は、破断作業を行い、現場で可能な範囲で分別仕分け作業が行われる¹⁷⁾。

7) $f_{ps}(t)$ と d_{cs} をもとにした、 $(y+t)$ 年における副産物種類 c ごとの解体物発生量 $Q_c(y+t)$ の計算：

ここでは、各区ごとに、床面積 A_{yps} に $F_{ps}(t)$ をかけることにより、構造区分 s ごとに、 y 年に着工された建築物の $(y+t)$ 年における解体床面積 $W_s(y+t)$ を、まず式(6)を用いて求める。

$$W_s(y+t) = \sum_p A_{yps} F_{ps}(t) \quad (6)$$

そして、これに解体副産物発生原単位 d_{cs} をかけることにより、各区において $(y+t)$ 年に発生する種類 c ごとの解体副産物の量 $Q_c(y+t)$ が、式(7)によって計算される。

$$Q_c(y+t) = \sum_s W_s(y+t) d_{cs} \quad (7)$$

本システムにおいては、手順 3)までに GIS 内部に作成したデータベースを互いに関連づけ、式(6)と式(7)に示した計算を行って、その結果を自動的に表示するようになっている。以下、その計算結果として、図-3.1、3.2、3.3に、1997年から2020年までのコンクリート塊と木材及び鉄くずの発生量を、それぞれ示す。

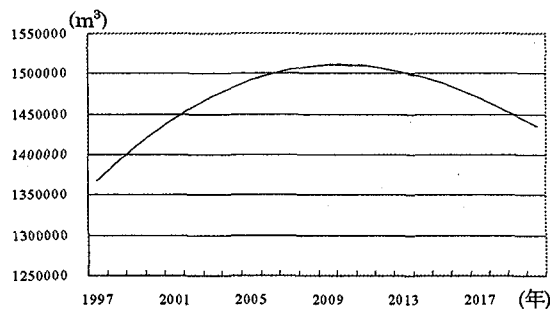


図-3.1 名古屋市の建築物からのコンクリート発生総量

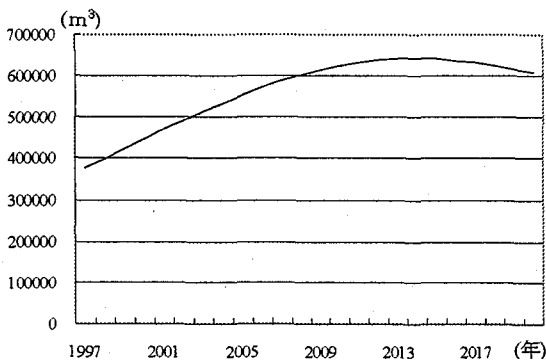


図-3.2 名古屋市の建築物からの区別の木材発生量

解体副産物の発生場所は、時期の違う土地利用レイヤーを比較することによっておおまかに推測される。ここでは、用途区分が「中高層住宅地」である土地の位置の変化を見る。図-3.4(a)、(b)は、それぞれ第III時期(1987年)と

第IV時期(1992年)における「中高層住宅地」の分布を示すレイヤーである。これらのレイヤーは、土地利用レイヤーから、属性が「中高層住宅地」であるものを検索、抽出して作成したものである。

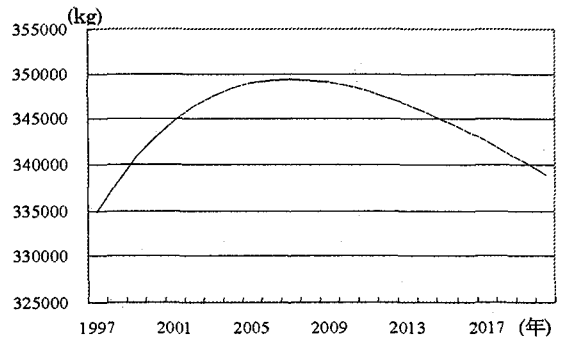


図-3.3 名古屋市の建築物からの鉄くず発生総量

ただし、これらのレイヤーだけでは、土地利用の変化が定かでない。そこで、これらのレイヤーを重ね合わせ、一致しない部分のみを取り出した。すると、以下のいずれかに該当する地区が判明する。

- 1) 1987年から1992年に至る間に、他の用途から転じて新たに「中高層住宅」が建設された。
- 2) 1987年から1992年に至る間に、「中高層住宅」が取り壊されて他の用途に転じた。

1)は、図-3.4(a)のレイヤーには存在せず、(b)のレイヤーに存在する部分が該当する。2)は、図-3.4(a)のレイヤーに存在し、(b)のレイヤーには存在しない部分が該当する。

解体副産物が生ずるのは、2)に該当する場所であると考えられる。ただし、この方法では、比較した時期の間に解体され、再び同じ場所に建設された場合が考慮できない。これは、さらに短い時期の区分でデータを収集すれば、概ね考慮することができる。しかし、解体副産物が生じた場所をおおまかに把握することは可能である。また、土地利用の将来予測に関するデータが追加されれば、同様の方法で、解体副産物が今後発生する場所を概ね知ることができる。

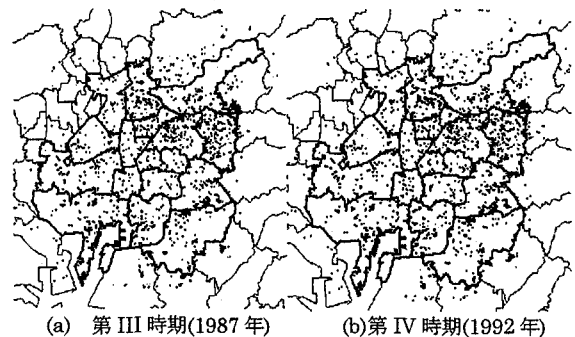


図-3.4 「中高層住宅地」の分布

3.2 地震時の建設物からの解体副産物発生量

ここでは、大規模な地震を想定した場合に発生すると思われる解体副産物の量を、主に容量ベースで算出することを試みる。発生源としては、建築物のみを考えた。土木構造物からは、解体副産物は生じないものと仮定した。また、

常時の解体副産物の発生量予測については、時系列で発生量予測を行ったが、地震時については現在の建物データを用いて、確定的な発生量を予測することにする。すなわち、1)経年劣化した場合の地震時の倒壊率変化の予測は困難である。2)地震時の解体副産物の発生量が非常に大きく常時と比較して考察する場合にそれほどの精度は要求されない。3)1982年以降に建てられた建築物は耐震上問題ないと考えられる、等のため、現時点以降の発生量は、ほぼ変わらないとし、最新の建物データを基に計算した。

本システムでは、図-2.1(a)に示した名古屋市行政界レイヤーにおいて、各区、または町ごとに、様々な区分に従って、建築物の棟数が入力されている。

発生量予測において、加速度分布は、内陸型地震として1891年の濃尾地震(M8.0)を、海洋型地震として東海地震(M8程度)を想定した。図-3.5(a), (b)は、地表面における最大水平加速度の予測値を示したものであり、名古屋市地域防災計画書¹⁸⁾よりデジタル化したものである。なお、この予測は、適切な断層モデルを選択後、マグニチュードと震源からの距離及び地盤特性を考慮して設定した基盤地震動に、表層地盤の伝達特性を加味して設定したものである¹⁹⁾。

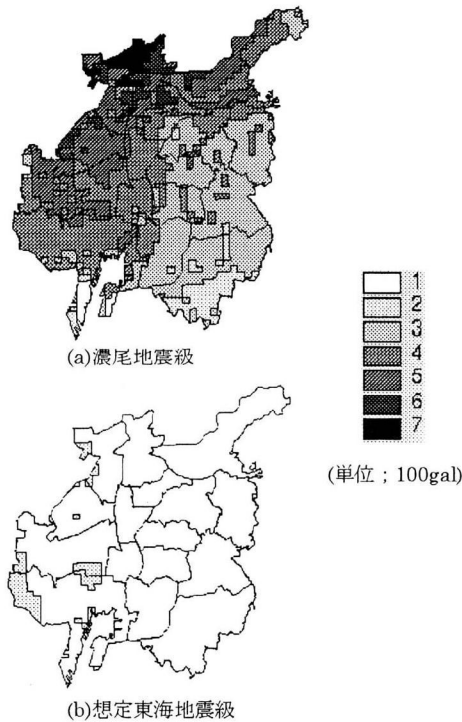


図-3.5 地表面最大水平加速度に関するレイヤー

- (1) 解体の対象は、「倒壊」または「大破」した建築物である。
- (2) 建築物の種別として、構造種別としては木造、S造、RC/SRC造の3区分を、建築年代としては、建築基準法の施行や改正等を基準として、1971年以前、1972年～1981年、1982年以降の3区分を設定した。高さについては中低層、高層の2区分を設定した。
- (3) 建築物の倒壊率、大破率は、阪神・淡路大震災における被害状況のマクロ分析結果²⁰⁾を援用して、建築物の種

別ごとに、図-3.5に示した加速度レベルに応じて設定した。なお、本研究においては、地震動の継続時間や建築物の固有周期等は考慮せず、時間軸を考慮しない。

(4) 倒壊した建築物は、道路を閉塞する危険性が高いうえに、迅速な人命救助が要求されることもあり、分別解体を行う時間的余裕はなく、混合状態のまま搬出せざるを得ないとする。大破した建築物は分別解体するものとする。従って、倒壊した建築物からは混合物が、大破した建築物からはコンクリート塊、木材、粗大ゴミその他の可燃物、鉄くず、の4種類が発生する。

(5) 発生量を求める際には、解体副産物発生原単位を用いる。これは、基本的に表-3.2と同様のものである。ただし、(4)の仮定に従って、ミンチ解体時の原単位¹⁶⁾を追加した。

以上より、各区に対して、倒壊建築物数は式(8)のように計算される。

$$H_{myk} = \sum_{m=1}^3 \sum_{y=1}^3 \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^7 (N_{myk} \times l_i \times t_{myk}) \quad (8)$$

ここで、添字 m, y, k は、それぞれ建築物の構造種別、建築年代及び高さの区分を示し、 i は図-3.5における加速度レベルを示す。 N はその区における添字 m, y, k に該当する建築物の棟数を示す。 l は、その区において添字 i に該当する加速度レベルの地域の面積が区全体の面積に占める割合を示し、行政界及び加速度分布のレイヤーを重ね合わせることによって得られる。 t は添字 m, y, k に該当する建築物における加速度レベル i の場合の倒壊率を示す。大破建築物数も同様に計算される。

解体副産物発生量は、解体副産物発生原単位を用いて、例えば混合物の発生量 Q_{mix} であれば、式(9)のように計算される。

$$Q_{mix} = \sum_{m=1}^3 (T_m \times d_m \times A_m) \quad (9)$$

ここで、 $T_m = \sum_{y=1}^3 \sum_{k=1}^2 T_{myk}$ である。 d_m は添字 m に該当する建築物の解体副産物発生原単位を示す。 A_m は、添字 m に該当する建築物の平均床面積であるが、現在保持しているデータには床面積を示すものがないため、名古屋市発行の統計年鑑²¹⁾をもとにして得た値を用いた。

本システムでは、以上に示した考え方で、GIS上でプログラミングが行われており、必要なデータを読み込ませて実行するようになっている。予測結果の例として、図-3.6(a), (b)に、濃尾地震を想定した場合の倒壊建築物数と大破建築物数を、それぞれ示す。また、図-3.7に、このときの解体副産物発生量を示す。

図-3.7に示した解体副産物発生量の予測結果は、阪神・淡路大震災における実例(建築物からの総計1760万 m^3)に比べると、5割程度と少ない。この原因としては、主に以下のことが推測される。

- 1) 予測の対象とした地域が名古屋市のみであり、周辺の都市域を考慮しなかったこと。
- 2) 基本となる加速度分布が、阪神・淡路大震災における実例ほど大きくはないこと。

3) 名古屋市は、土地区画整理事業がわが国で最も進んだ都市であり、従って、阪神地域と比べて新しい建築物の比率が大きいと思われること。

将来的には、関連する他のデータを入力していくことで、より詳細な考察を行うことが可能となる。

本システムでは、基本となる加速度分布レイヤーにおいて、加速度レベルの値を変更することで、さまざまな地震規模に対する予測を行うことができる。

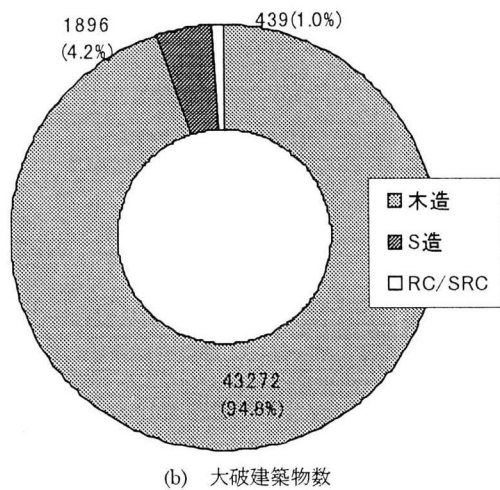
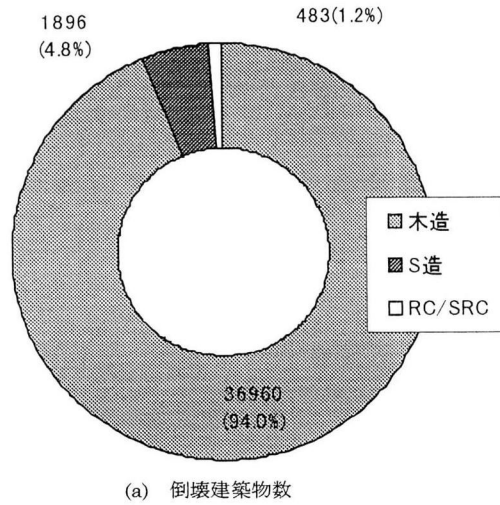


図-3.6 濃尾地震を想定した場合の損壊建築物数

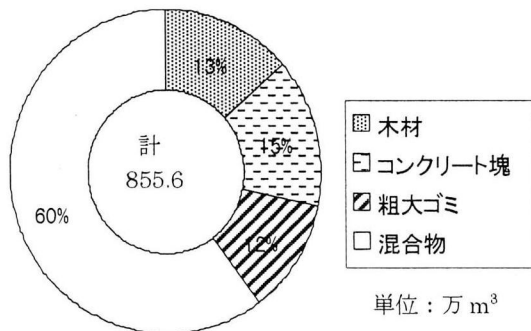


図-3.7 濃尾地震を想定した場合の解体副産物発生量

また、図-3.8(a), (b)に、GIS 上での表示例として、このときの解体副産物発生量の分布を示す。

4. 地震時における仮置問題

阪神・淡路大震災によって引き起こされた被害は、極めて深刻で、多岐にわたるものであった。とりわけ、倒壊した建設物から生じた解体副産物の処理は、重大な問題であった。それは、単に環境面の理由からだけではなく、道路上の障害物となって交通を妨げ、救急・救援・復旧活動を妨げたからである。従って、震災時の迅速ながれき処理は被害の軽減に不可欠であり、そのための処分用地の確保が重要課題であることが分かる。阪神・淡路大震災の被災地において、解体副産物処理体制の確立のために最も緊急でかつ重要なことは、解体副産物をとりあえず搬入する「仮置場」の確保であった。仮置場は、被災地全体で46箇所、合計面積125万m²におよび、最も緊急避難的な仮撤去には、住宅地の中の公園も用いられた⁶⁾。解体副産物は、コンクリート塊などの不燃物と、木質系可燃物、混合物に分類され、それぞれ専用の仮置場が確保された。この震災以降、各自治体において、この「仮置場」への注目が広くなされるようになった。名古屋市地域防災計画書¹⁸⁾でも、1997年版で初めて仮置場の確保に関する記述がなされるようになった。

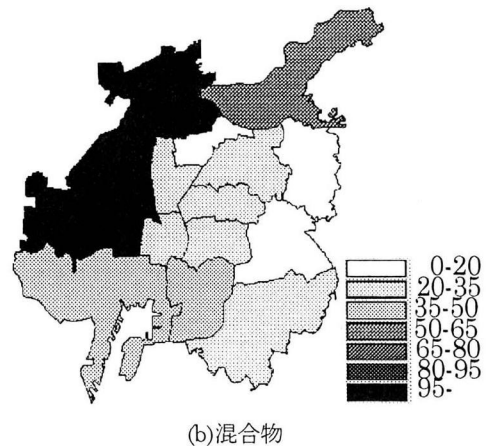
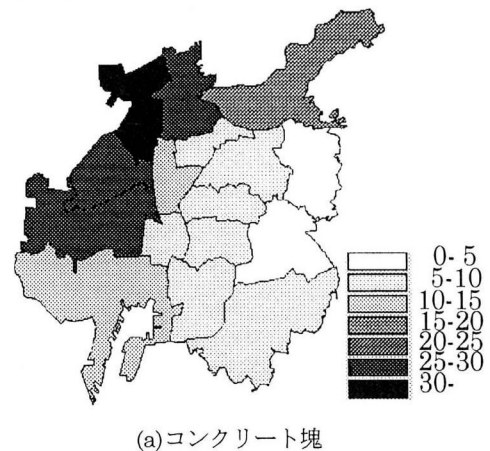


図-3.8 濃尾地震を想定した場合の解体副産物発生量分布

本システムでは、名古屋市において、仮置場として利用可能な場所を事前に把握することが可能である。ただし、その際に以下の仮定に従うものとする。

1) 仮置場として利用できるのは、平坦な更地のうち公共に属するものとする。非常時といえども、私有地を利用することは簡単でないはずである。ただし、民間業者が主体となって解体する場合には、その業者の所有地が利用できるが、ここではとりあえず考えない。実際、阪神・淡路大震災での例を調べると、解体副産物の多くが公共のオープンスペースに仮置されている。

2) 仮置場として利用できるのは、保護林に覆われておらず、かつ傾斜の少ない場所とする。非常時といえども、法律で保護が定められている森林を伐採して仮置場とすることは不可能であると思われるからである。また、傾斜が大きければ、安全に仮置を行うことができない。

本システムでは、以上の条件を満たす土地を求めめるために、土地利用と地形に関するレイヤーを重ね合わせ、空間検索を行った。その結果を、図-4.1に示す。これによると、合計面積は約 576 万 m^2 となる。阪神・淡路大震災での値である約 125 万 m^2 と比べると、相当大きいことが分かる。また、前章で示したように、濃尾地震級の地震を想定した場合でも、生じる解体副産物量は、阪神・淡路大震災におけるそれと比べて小さい。従って、仮置に関してみれば、名古屋市は阪神地域と比較して有利であると言える。なお、図-3.4に示した検索結果には、土地利用と地形に関するレイヤーを重ね合わせて求めた位置に加え、航空写真や運輸省第5港湾建設局へのヒアリング結果などを参考にして、臨海部での仮置場の追加がなされている。その値は、先に示した値の 576 万 m^2 のうち、約 30 万 m^2 である。

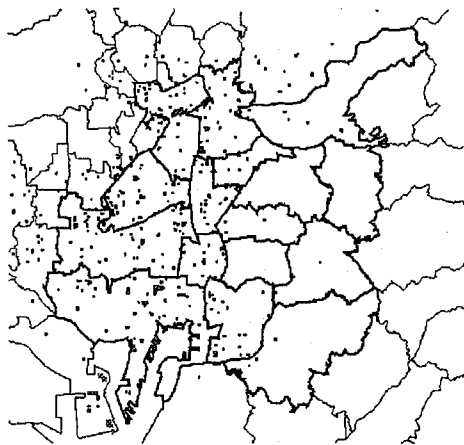


図-4.1 仮置場予測結果

5. リサイクル及び最終処分段階における本システムの利用

5.1 常時及び地震時における解体副産物の総合的な取り扱いに関する考え方

第1章で述べたように、今後も都市域で大地震が発生する可能性を無視できない以上、常時及び地震時の双方に対応できる解体副産物管理システムを整備しておかなければ、

社会の持続的な発展を確保することはできない。国の「建設副産物対策行動計画」(リサイクルプラン)¹⁸⁾は、2000年までにアスファルトコンクリート塊、コンクリート塊、発生木材のリサイクル率を90%に向上させることを定めている¹⁹⁾ものの、この計画は、常時における公共建設工事から生ずる副産物のみを対象としている。このような、発生する場とリサイクルを行う場が同じであるリサイクルを、ライフサイクルアセスメント(LCA)の議論では”closed recycling”(「閉じたりサイクル」)と呼ぶ²⁰⁾。本来、こうした「閉じたりサイクル」は、大規模な地震など緊急の事態に効率的に対応することはできない。「閉じたりサイクル」の場では、その中で、需要と供給の関係が、常時を基準として完結しているからである。

阪神・淡路大震災で、大量の解体副産物が全量処分できたことは、第1章で述べたように、大阪湾フェニックス事業が存在していたことによる「幸運」であったと捉えることができる。フェニックス事業が、近い将来に他の地域でも実現する予定は今のところない。従って、「閉じたりサイクル」を「開いたりサイクル」に変化させ、建設物から生ずる解体副産物の全てを対象とした、大規模な管理システムを構築しておくことが、阪神・淡路大震災級の大災害の再来への備えとして重要であると考えられる。本研究では、そのような総合的な管理システムを構築するための第一段階として、地域の現状での解体副産物管理能力を定量的に把握し、改善すべき点を提案することを考えた。加えて、「開いたりサイクル」の具体的提案として、建築物から生ずる解体副産物を社会基盤施設整備にリサイクル材として用いることを考えた。以下、それぞれについて簡潔にまとめる。

5.2 地域レベルでの解体副産物管理能力の定量化

本システムでは、図-2.1に示した地域における中間処理施設と最終処分場に関するレイヤーを、GIS上で保持している。表-5.1は、名古屋市における1996年度の中間処理施設の処理能力を集計した結果である。

表-5.1 名古屋市における中間処理能力の合計(1996年)

	受入能力(m^3 /日)
コンクリート塊	4090
アスファルトコンクリート塊	6380

一方、この地域の最終処分場の処理能力は、表-5.2(a)のようになる。比較のために、阪神地域における最終処分場の処理能力を、表-5.2(b)に示した。両地域間の、供用期間ごとの埋立容量の比較を、図-5.1に示す。

図-5.1が示すように、愛知県周辺の最終処分能力は、大阪湾周辺地域と比較して、明らかに低い。ここで、図-3.5(a)に示したような濃尾地震級の震災が名古屋市に発生したと仮定すると、解体副産物は、今回想定した地域だけで3.2で予測したような発生量が見込まれる。その際、「混合物」は、前章で述べたように仮置場で分別されるものの、不純物の混入は避けられず、阪神・淡路大震災における事例に基づくと、中間処理施設に搬入してリサイクル材として再生されることはない²¹⁾。従って、混合物全量の約775万

m³ は最終処分される。ただし、木材は焼却後、残りが埋め立てられるため、この775万m³全てが最終処分場残余容量を圧迫するわけではない。一方、特に焼却による減量化が不可能なコンクリート塊に着目すると、分別されて生じるものは223万m³である。

表-5.2 最終処分場の規模
(a) 愛知・岐阜

名称	愛知臨海環境整備センター (ASEC)	豊田加茂環境整備公社	衣浦港ポートアイランド環境事業センター
立地	臨海	内陸	臨海
計画容量 (万 m ³)	491	149	98
稼働開始年	1992	1992	1998

名称	愛岐処分場	大清水処分場	守山南部処分場
立地	内陸	内陸	内陸
計画容量 (万 m ³)	1350 (推定)	156 (推定)	810 (推定)
稼働開始年	1982	1988	1974

(b) 大阪湾・神戸⁹⁾

名称	大阪湾フェニックス	布施畑環境センター	淡河環境センター
立地	臨海	内陸	内陸
計画容量 (万 m ³)	4500	2350	770
稼働開始年	1990	1972	1990

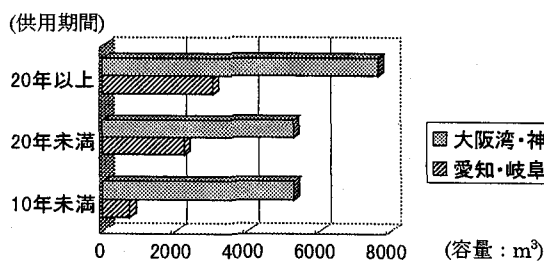


図-5.1 最終処分場の供用期間別埋立容量の比較

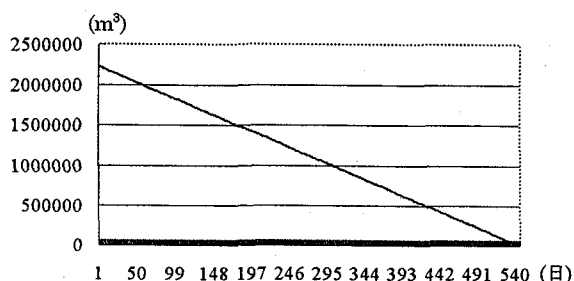


図-5.2 中間処理能力が一定とした場合のコンクリート塊の中間処理完了日数

ここでは、最終処分場残余容量の確保を最優先に考え、これら全てをリサイクルすることを考える。このように考えると表-5.1 に示した中間処理場の処理能力より、全量を処理するまでの期間が求められ、図-5.2 のように示すことができる。図-5.2 によると、全量をリサイクル材として再生するためには、約1年半かかることになる。阪神・淡路大震災では、全量をリサイクルまたは最終処分するために、約2年を要した⁹⁾。

未処理のコンクリート塊は、仮置場で仮置される。前章の予測結果より、地震時に利用可能な仮置場の総面積は、577万m²である。仮置場の単位面積(1m²)あたりに置くことのできるコンクリート塊の容量は、文献8)から試算すると、地震直後の最大値で約9.6m³である。これは、地震発生当日から全てのコンクリート塊を仮置場に置くことができたとした場合の値である。従って、地震直後にコンクリート塊223万m³を仮置するためには、約23万m²の仮置場をコンクリート塊の仮置に用いる必要がある。これは、仮置場総面積の約4%である。図-5.3に、この場合の必要仮置場面積を時系列で示す。阪神・淡路大震災では、コンクリート塊の仮置に用いられた面積は、仮置場全体の約6%であり、使用期間は約1年間であった⁹⁾。しかしながら、阪神・淡路大震災におけるコンクリート塊の仮置場は、全て臨海部の未利用地を活用したものであり、内陸部の公園緑地は、被災者の避難や救難活動拠点などに主に用いられた。前章で述べたように、名古屋市において、臨海部で利用可能な仮置場の面積は約30万m²であるため、このうちから、コンクリート塊の仮置のみに23万m²を確保することは難しいと思われる。仮置場は、大量の混合物のために最も多く確保されるべきだからである。

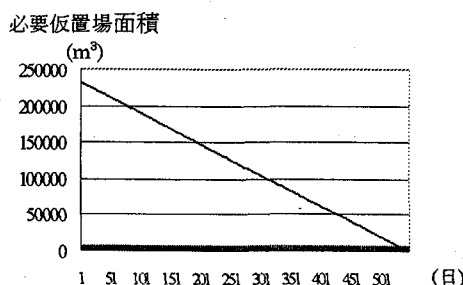


図-5.3 仮置場を内陸部も含めて長期間確保する場合の必要面積の経過

5.3 公共建設事業の役割

公共工事における建設副産物のリサイクルは、第1章で述べた通り、リサイクルプラン21に従って推進されている。名古屋市において、例えばコンクリート塊については、ほぼ全量のリサイクルが達成されている²³⁾。

しかし、公共工事から発生する副産物の量は、第3章で予測した建築物(ほとんどが民間建築物)から生ずる発生量と比較すると、コンクリート塊の場合1割以下である。従って、大災害時にも対応できる、より総合的な「開かれた」リサイクルシステムを構築するためには、公共工事において、建築物から生ずる副産物もあわせてリサイクルす

ることを考えなければならない。

コンクリート塊のリサイクルについて、建設省は、再生骨材の品質や種類ごとに、その用途を指定している²⁴⁾。リサイクルの用途は、各種類に対して表-5.3のように指定される。

表-5.3 再生骨材コンクリートの適用構造物の例

再生骨材 コンクリート の種類	構造物
I	橋梁下部工, 擁壁, トンネルライニングなど
II	コンクリートブロック, 道路付属物基礎, 側溝, 集水枿基礎, 重力式擁壁, 重力式橋台, 法枠, 中埋めコンクリート, 消波根固めブロック, 砂防ダム及びその付帯工
III	捨てコンクリート, 均しコンクリート, 強度の必要ない裏埋めコンクリート, 土間コンクリート, その他建築物の非構造物

表-5.3からも分かるように、現時点では、再生骨材を用いたコンクリートは、ほとんどが捨てコンクリートや裏込めコンクリートなどの非構造物として用いられている。これは、現在の技術では、十分な強度を持った再生骨材コンクリートを経済的に造ることは難しいからである。従って、ここでは、コンクリート塊のリサイクル先として、使用実績の多い²⁵⁾道路路盤を選択した。そこで、まず、第I時期から第IV時期までの4つの土地利用レイヤーより、それぞれ道路のみを抽出した。

次に、これら4つの時期における道路網の総面積を検索し、各時期ごとの伸び率を算出した。さらに、その伸び率と道路路盤に用いられる再生骨材コンクリート量をもとに、今後新規に建設される道路で必要となるコンクリート量を予測した。その結果を図-5.4に示す。ただし、これらの試算において、現在保持しているデータでは舗装種別が不明であるため、適宜道路統計²⁶⁾を援用した。

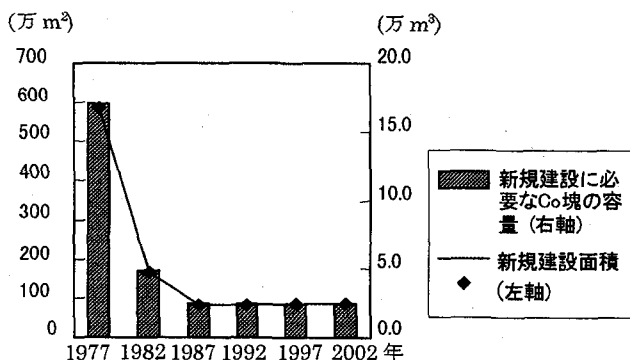


図-5.4 コンクリート舗装道路の新規建設面積と必要再生骨材コンクリート量

図-5.4から分かるように、再生骨材コンクリートの最も有望なリサイクル先である道路路盤であっても、大量の需要は望めない。今後は、さらに多くの用途に用いることを考えなければならない。特に、民間建築物の新規建設への再生骨材コンクリートの使用を検討するべきであろう。

6. 結論

本研究では、建築物からの解体副産物発生量を、常時及び地震時を対象として予測し、その予測結果を基に、名古屋市とその周辺地域における解体副産物の管理能力を考察した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) GISを用いて、常時と地震時の双方の解体副産物の発生量予測・管理システムを試作し、その有用性を実証した。
- 2) 常時における建築物からの解体副産物発生量をおおまかな発生位置とともに予測することができることを示した。その結果、市の中心部よりも周辺部での増加が著しいことが分かった。
- 3) 地震時における建築物からの解体副産物発生量を、区や町ごとに予測することができることを示した。その結果、濃尾地震を想定した場合、解体副産物の発生量は名古屋地域では約1300万m³であり、阪神・淡路大震災における発生量よりも少ないことが分かった。
- 4) 地震時の仮置場として利用可能な場所を、事前に把握することができることを示した。その結果、名古屋地域における総面積は約580万m²であり、阪神・淡路大震災における仮置場面積125万m²よりも広いことが分かった。阪神・淡路大震災での実例と比較すると、仮置に関してはこの地域の能力は高いと言える。
- 5) 濃尾地震を想定した場合の解体副産物の処分所用日数を、コンクリート塊を例にとりて予測した。その結果、最終処理までに約540日必要であることが分かった。また、その場合の、確保すべき仮置場面積の経過も試算した。
- 6) 常時及び地震時の双方に対応できる解体副産物のリサイクルの基本的なあり方として、従来の「閉じたリサイクル」から、「開かれたリサイクル」への転換を提案した。具体的には、建築物からのコンクリート副産物をリサイクル材として、コンクリート舗装の打ち換えに用いることを提案し、その利用可能量を推定した。ただし、現状では、多くのリサイクル材の需要は見込めないことが分かった。

今回のシステム化の考え方は、他の地域でも可能と考えられる。今後、さらに広域なケーススタディーを行い、ある地震がその被害地域全体に与える影響を考慮する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 国際連合: Indicators of Sustainable Development-Framework and Methodologies, インターネットホームページ, <http://www.un.org/>.
- 2) 環境庁: 環境白書(総説)平成9年版, 大蔵省印刷局, 1997.
- 3) 建設副産物リサイクル広報推進会議: 総合的建設副産物対策一現場での実効ある推進のために, 1997.
- 4) 建設省: 建設白書 平成9年版, 大蔵省印刷局, 1997.
- 5) 坂本弘道: 廃棄物処理法の改正について, 廃棄物学会

- 誌, Vol.8, No.5, 1997, pp.8-17.
- 6) 春風敏之: 兵庫県における災害廃棄物とその対策, 廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集, 1995, pp.21-27.
 - 7) 河田恵昭: 都市大災害, 近未来社, 1995.
 - 8) 藤原輝夫: 神戸市の災害廃棄物対策, 廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集, 1995, pp.28-41.
 - 9) Richard B. Clements: Complete Guide to ISO 14000, Prentice Hall, 1996.
 - 10) 建設省建設経済局調査情報課: 建築統計年報, 1978-1996.
 - 11) 橋本生五: 建築経済入門, 鹿島出版会, 1983.
 - 12) 谷重雄: 建築経済学, 技報堂出版, 1978.
 - 13) 崔俊栄ほか: 建物の寿命とその分布の推定方法に関する研究—K市の公共建築物を対象とした場合, 日本建築学会計画系論文報告書, 1989, pp.87-95.
 - 14) 伊藤義人, 河合亜紀ほか: 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, 土木情報システム論文集, Vol.6, 1997, pp.71-78.
 - 15) 建設省土木研究所, 同建築研究所: 省資源・省エネルギー型建設技術の適用性に関する調査, 土木学会土木建設業環境管理システム研究小委員会第二部会第3回部会資料, 1995.
 - 16) 高月紘ほか: 災害と廃棄物性状—災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化, 廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集, 1995, pp.42-50.
 - 17) 建設物価調査会: 建設副産物の再生・処理の積算, 1995.
 - 18) 名古屋市防災会議: 名古屋市地域防災計画 地震災害対策編, 1997.
 - 19) 名古屋市防災会議: 名古屋市地震被害想定調査報告書, 1997.
 - 20) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
 - 21) 名古屋市総務局企画部統計課: 名古屋市統計年鑑 平成7年版, 1996.
 - 22) 後藤典弘: 環境への負荷の少ないリサイクル, 都市問題, Vol.88, No.7, 1997, pp.3-12.
 - 23) 名古屋市建設副産物対策協議会: 名古屋市建設副産物対策実施計画, 名古屋市土木局技術管理課, 1994.
 - 24) 解体工法研究会: 解体工法と積算, 経済調査会, 1995.
 - 25) 名古屋市土木局道路部路政課: 名古屋市道路統計, 1997.

(1998年9月18日受付)