

令和 2 年度

解体工事に係る研究報告書梗概集

公益社団法人 全国解体工事業団体連合会

[東京都中央区八丁堀 4-1-3 安和宝町ビル 6F]

## — 趣旨 —

この梗概集は、公益社団法人全国解体工事業団体連合会が実施する令和元年度の解体工事に係る研究助成金制度を活用した研究者の当該研究報告書に基づいて作成されたものである。

## — 目次 —

No.	研究テーマ	
	研究代表者 研究協力者	
1	・ フェノール樹脂含浸法による再生骨材の強化を想定した基礎的研究	
2	藤 掛 一 典	防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科教授
3	・ 解体技術情報のグローバル化	
4	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部 建築工学科教授
5	・ フライアッシュを利用したコンクリート塊の再資源化に関する実用化研究	
6	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部 環境創造工学科教授
7	・ 解体工事における構造物の挙動把握に関する研究	
8	青 木 孝 義 石 井 優 衣 張 景 耀 湯 浅 昇	建築構造技術研究所（名古屋市立大学）所長 名古屋市立大学大学院大学院生 建築構造技術研究所（京都大学） 日本大学 生産工学部建築工学科教授
9	・ 建材の廃棄物処理およびその環境影響評価に関する調査研究	
10	小 山 明 男	明治大学 理工学部 建築学科教授
11	・ 地上躯体解体時の外壁及び外部養生足場の外側への倒壊防止装置の開発 並びに当該装置を利用した飛散防止装置に係る実証実験	
12	松 本 卓 也	三同建設株式会社 工事統括部 計画技術グループリーダー
13	・ 4次元シミュレーションを用いた解体時における動的衝撃量およびそれに伴う振動・騒音推定手法の提案	
14	國 枝 陽 一 郎	東京都立大学 都市環境学部 建築学科助教

# フェノール樹脂含浸法による再生骨材の強化 を想定した基礎的研究

防衛大学校システム工学群建設環境工学科 藤掛 一典

**要旨：**我が国では、解体鉄筋コンクリート構造物から作られる再生骨材については、コンクリート用骨材としての再利用のためにJIS規格の整備も行われている。しかしながら、そのような努力にも関わらず、実際には再生骨材の構造コンクリート用骨材としての使用は非常に少ないのが現状である。これは、再生骨材に付着したモルタル成分のために吸水率が大きく、強度的にも問題となることが多いためである。そこで本研究では、基礎的な研究として再生骨材と同様に高い吸水率と強度が問題となっている琉球石灰岩碎石に対して、フェノール樹脂を含浸することにより 1) 琉球石灰岩碎石の吸水率を低減することは可能かどうか実験により調べること、および 2) それを粗骨材として用いたコンクリートの力学的特性を把握することを目的とした。その結果、フェノール樹脂含浸を2回程度繰り返し行うこと、琉球石灰岩碎石の吸水率を3.0%以下にすることができる、ならびに一般的な石灰岩碎石を用いた場合と同程度の圧縮強度ならびに割裂引張強度を期待できることも分かった。

**キーワード：**再生骨材、琉球石灰岩碎石、吸水率、フェノール樹脂、真空含浸、通常含浸、圧縮強度

## 1. はじめに

我が国では、解体鉄筋コンクリート構造物から作られる再生骨材については、コンクリート用骨材としての再利用のためにJIS規格の整備も行われている。しかしながら、そのような努力にも関わらず、実際には再生骨材の構造コンクリート用骨材としての使用は非常に少ないのが現状である。これは、再生骨材に付着したモルタル成分のために吸水率が大きく、強度的にも問題となることが多いためである。

再生骨材と同様に、琉球諸島に広く分布している琉球石灰岩は、サンゴ礁堆積物が固結したものであるが堆積年代が新しいため、固結度が弱く空隙が多いという特徴を有している。そのため吸水率が3.0%を超えるものが多くコンクリートの粗骨材として用いるには問題も多く、水セメント比をいくら小さくしても圧縮強度の増加には限界があることが知られている<sup>①</sup>。

そこで本研究では、基礎的な研究として、琉球石灰岩にフェノール樹脂を含浸することにより、1) その吸水率を改善することは可能かどうかを実験的に調べるとともに、2) フェノール樹脂を含浸した琉球石灰岩碎石を粗骨材として使用したコンクリートの力学的特性を把握することを目的とした。

## 2. 樹脂含浸による琉球石灰岩碎石の吸水率特性の改善

### 2.1 実験の概要

#### (1) 実験で使用する琉球石灰岩碎石

今回、実験で使用する琉球石灰岩碎石は、沖縄県糸満

産の水洗いして微粒分を除去した粗骨材の最大寸法25mmのものを用いた。この琉球石灰岩碎石の吸水率、絶乾密度、表乾密度および粗粒率は、それぞれ4.53%，2.29g/cm<sup>3</sup>，2.39g/cm<sup>3</sup>および7.48であった。

#### (2) 実験で使用する樹脂および実験パラメータ

表-1に本実験で用いるフェノール樹脂の概要を示す。フェノール樹脂は熱硬化性を有しており、温度150℃の状態で15～30分で硬化する性質を有している。なお、フェノール樹脂は粘度が高く原液のままでは琉球石灰岩碎石の空隙に含浸させることは難しいと考え、水道水で濃度25および50%にそれぞれ希釈して用いることにした。

本実験パラメータは、表-2に示す通り1)フェノール樹脂の濃度、2)含浸方法、および3)含浸回数である。

#### (3) 真空含浸装置の概要

本実験では、フェノール樹脂を骨材の内部空隙まで含浸させるため、図-1に示す真空含浸装置を用いた。この真空含浸装置は、真空ポンプによって真空タンク内を-100kPa(大気圧基準)にまで減圧できる装置であり、真空ポンプと真空タンクの間に調圧弁が取り付けられ、減圧値を任意に調整できるものとなっている。実験では、真空タンク内を1/100気圧まで減圧し骨材内部に存在する空気等を脱気することで、樹脂が内部空隙まで含浸するのを促進することを期待した。

#### (4) 含浸方法

琉球石灰岩碎石へのフェノール樹脂の含浸は真空含浸および通常含浸の2種類を行った。

真空含浸では、真空含浸装置を用いて行ったものであ

表-1 本実験で用いるフェノール樹脂の概要

呼び名	フェノール樹脂
常温時の樹脂の状態	
	黄～赤褐色液体
主成分	水溶性レゾール型フェノール樹脂
不揮発分 (%)	73.0～77.0
粘度 (mPa·s)	50~1,300
pH	8.49.2
硬化方法	熱硬化(150°C 15~30分)
用途	結合剤や補強材

表-2 実験ケースの一覧

実験ケース名	濃度 (%)	含浸方法	含浸回数
P 5.0 V	5.0	真空含浸	最大4回
P 5.0 N		通常含浸	
P 25-V	25	真空含浸	最大4回
P 25-N		通常含浸	

る。琉球石灰岩碎石及び樹脂液を入れたガラス製の容器を真空タンク内に設置・密閉し、真空ポンプ及び調圧弁で減圧した。減圧の速さは、減圧されることにより泡立った樹脂液がガラス製容器から吹きこぼれない程度に調整した。減圧時間は真空タンク内が1/1気圧に到達した時刻から計測を開始し、事前実験の結果から、一律に30分と設定した。その後、真空タンク内を速やかに大気圧状態まで戻し、樹脂が含浸された琉球石灰岩碎石を取り出し、プラスチック製の水切り容器にあけ碎石と余分な樹脂を分離するために30分以上放置した。

通常含浸では、大気圧の下で骨材をフェノール樹脂液中に浸すだけである。樹脂の含浸時間は、真空含浸にあわせて一律に30分とした。その後は、真空含浸と同様に、水切り容器を用いて碎石と余分な樹脂を分離するため、30分以上放置した。

#### (5) フェノール樹脂の繰り返し含浸実験要領

フェノール樹脂の繰り返し含浸実験では、まず樹脂の含浸作業を実施する前に、その状態における試料の吸水率及び密度試験を実施した。その後、10°Cで24時間乾燥し絶乾状態にした試料に対して、前項に示した要領で真空含浸または通常含浸により樹脂を含浸した。樹脂含浸後は、液だれが起きないまで十分気中で放置した後、15°Cに設定した乾燥炉で3時間加熱することにより硬化させた。その後は、室温で十分に冷ました後、骨材同

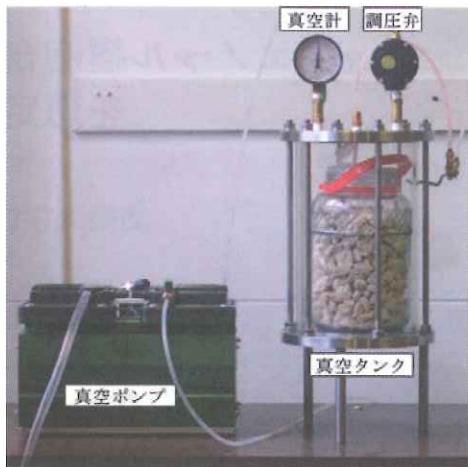


図-1 真空含浸装置

士が樹脂により付着した部分を手作業でばらした。この状態で試料の質量を記録するとともに、吸水率及び密度試験を実施し、樹脂含浸後の変化を測定した。

以後、同様の手順で同一サンプルに対し繰り返し含浸を最大4回まで行った。

#### 2.2 琉球石灰岩碎石に対する樹脂含浸実験の結果

##### (1) 樹脂含浸後の琉球石灰岩碎石の状況

図-2 および図-3 に濃度5.0%のフェノール樹脂を繰り返し真空含浸して得られた骨材の外観ならびに骨材表面に形成されたコーティング層の状況をそれぞれ一例として示す。コーティング層の状況は、フェノール樹脂含浸した骨材を切断して観察したものである。フェノール樹脂については含浸を繰り返すことで、表面に付着する樹脂の量が増加し赤褐色になっていくことが確認できる。本実験では、碎石表面の凹凸によりばらつきは生じるが、含浸1回あたり約10μmで、含浸4回で約50μmの樹脂コーティング層が形成されることも確認できた。なお、含浸方法やフェノール樹脂の濃度による骨材表面の状況の相違は認められなかった。

また、樹脂含浸した骨材の表面をマイクロスコープで観察した状況を図-4に示す。樹脂含浸前の琉球石灰岩碎石の表面には、非常に多くの空隙が認められる。フェノール樹脂を1回含浸した骨材の表面にも樹脂が完全に充填されずに残った状態になっている空隙の存在が認められる。これに対して、フェノール樹脂を2回含浸すると、ほぼ表面の空隙は樹脂で充填されることがわかる。これは、1回目の樹脂含浸がプライマーのような効果を発揮して2回目以降の骨材表面への樹脂含浸が効率よく行われたものと推察される。

次に、樹脂含浸方法の違いが骨材内部への樹脂の含浸状況に及ぼす影響を調べた。図-5 および図-6 にP 5.0 V と P 5.0 N の樹脂含浸した骨材をグラインダーで切断して得られた断面の状況をそれぞれ示す。この図の中で、



図-2 P-50-V シリーズにおけるフェノール樹脂含浸後の外観

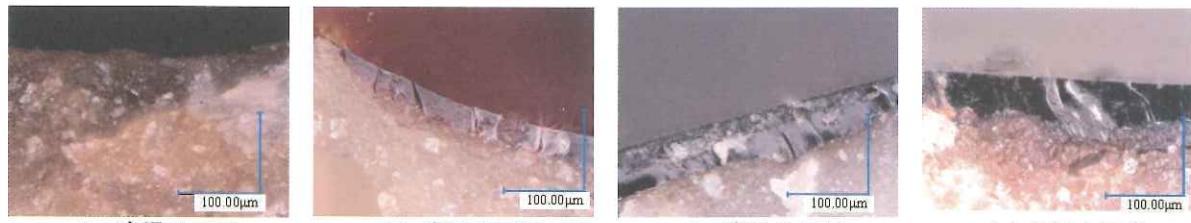
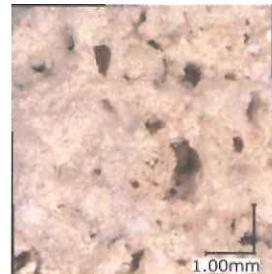


図-3 P-50-V シリーズにおける骨材表面に形成されたフェノール樹脂コーティング層の状況



含浸なし



(a) 含浸 1 回目 (b) 含浸 2 回目 (c) 含浸 3 回目 (d) 含浸 4 回目

図-4 P-50-V シリーズの骨材表面の状態

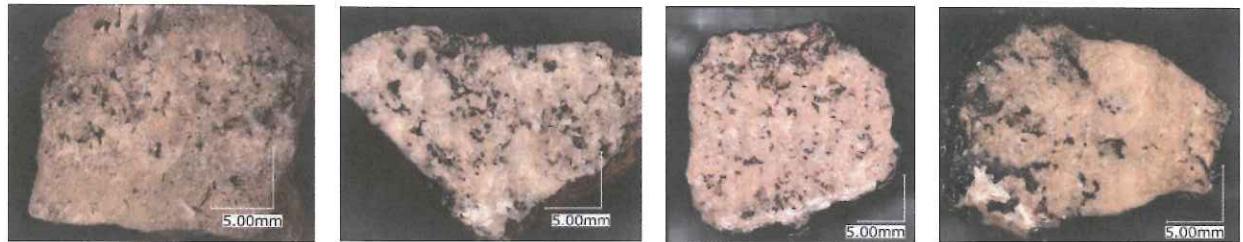
赤褐色に見える部分がフェノール樹脂を含浸した部分である。真空含浸した場合には、通常含浸した場合に比較して骨材内部の空隙への樹脂含浸領域が増えていることが確認できる。また、1回目の含浸より2回目の含浸による内部含浸された領域が増加している。しかしながら、2回目以降は、内部の樹脂含浸された領域はさほど増えないことが分かる。これは、2回目の含浸によって骨材表面の樹脂コーティングがほぼ完成し、内部への樹脂含浸が困難になることに起因していると考えられる。これは、マイクロスコープによる樹脂含浸された骨材の表面観察の結果とも一致している。

図-7に代表的な内部空隙のフェノール樹脂による充填状況を示す。この図から、内部空隙へ充填された樹脂

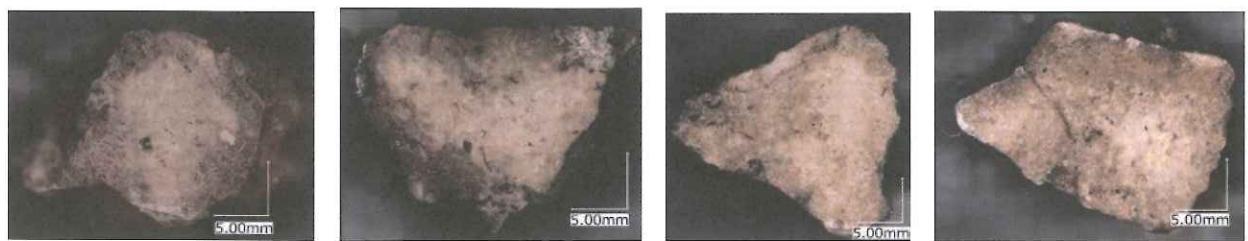
はその壁面に数  $10 \mu$ m のコーティング層を形成しており、内部空隙すべてを樹脂で充填するには至っていないことがわかる。したがって、直径が約  $10 \mu$ m 以上の空隙に対してフェノール樹脂を用いて完全に充填することは困難であることが分かった。

## (2) 実験パラメータが吸水率・密度に及ぼす影響

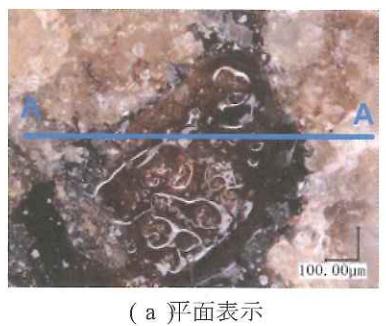
図-8に本実験で得られた吸水率とフェノール樹脂の含浸回数との関係を示す。この図から、いずれのケースにおいても樹脂の含浸を繰り返すことで吸水率が低下し、含浸を1回あるいは2回繰り返せば吸水率が 3.0% 以下となり JIS 基準 (JIS A 5000) に示される値を満たすことが分かる。また、ケース P 50-V P 50-N が含浸4回後の吸水率が約 1% だったのに対し、ケース P 25-V P 25-N



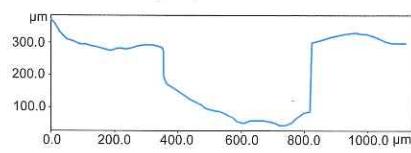
(a) 倉浸 1 回目 (b) 倉浸 2 回目 (c) 倉浸 3 回目 (d) 倉浸 4 回目  
図-5 P-50-V シリーズにおける骨材切断断面の樹脂含浸状況



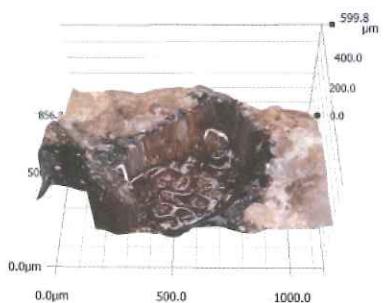
(a) 倉浸 1 回目 (b) 倉浸 2 回目 (c) 倉浸 3 回目 (d) 倉浸 4 回目<sup>1)</sup>  
図-6 P-50-N シリーズにおける骨材切断断面の樹脂含浸状況



(a) 平面表示



(b) -A 断面表示



(c) 鳥瞰図表示

図-7 フェノール樹脂による内部空隙の充填状況

の含浸 4 回目の吸水率は 2% であった。したがって、濃度 50 % のものが 25 % のものと比較して、琉球石灰岩の吸水率の低減に有効であることが分かった。ただし、濃度をこれ以上に増すと樹脂溶液の粘度も増すことから逆に吸水率を下げることができないことも懸念される。

次に、図-9 に表乾密度と含浸回数の関係を示す。この図から、樹脂含浸した骨材の表乾密度は、含浸回数が

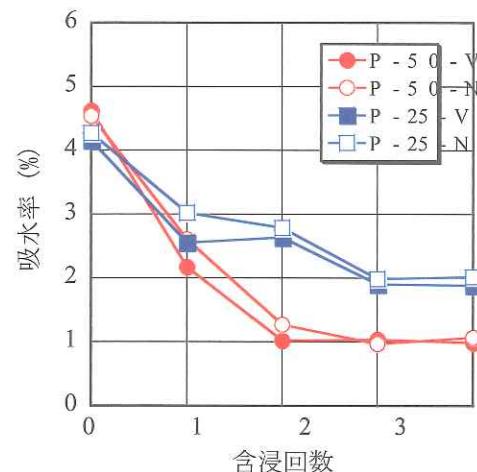


図-8 吸水率と含浸回数の関係

増えるのにともない緩やかに減少する傾向にあることが分かる。これは、琉球石灰岩碎石の密度と比較して小さなフェノール樹脂を骨材表面にコーティングしたために表乾密度が減少したことが一要因として考えられる。

### (3) フェノール樹脂含浸量と含浸回数の関係

琉球石灰岩碎石の内部空隙へのフェノール樹脂の含浸の状況が吸水率特性に与える影響を確かめるため、樹脂の含浸回数と樹脂含浸量の関係を調べた。ここで樹脂含浸量とは、樹脂含浸前の絶乾状態の骨材から、樹脂の含浸および硬化後に絶乾状態にした際、増加した質量であり次式で求められる。

$$m_{pi} = (m_{ci} - m_0) / m_0 \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに、 $m_{pi}$  :  $i$  回目の樹脂含浸量、 $m_{ci}$  :  $i$  回目の樹脂含浸後の骨材の絶乾質量、 $i$  : 樹脂の含浸回数、 $m_0$  : 樹脂を含浸していない状態の骨材の絶乾質量である。

図-10 に含浸回数 - 樹脂含浸量の関係を示す。フェ

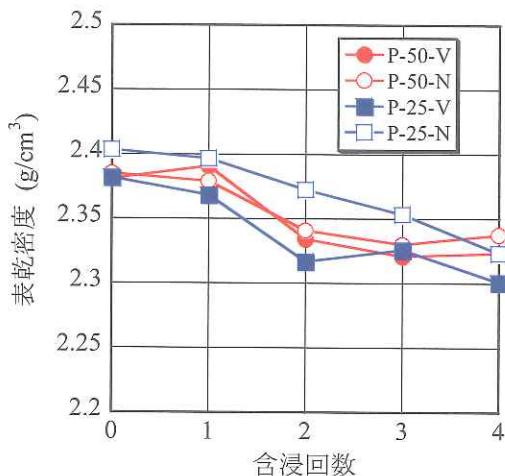


図-9 表乾密度と含浸回数の関係

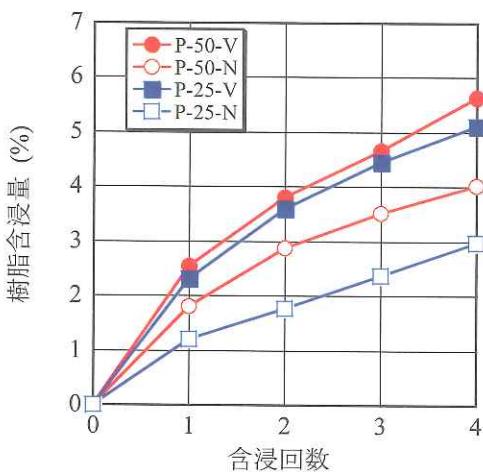


図-10 樹脂含浸量と含浸回数の関係

ノール樹脂の含浸方法の相違が樹脂含浸量に及ぼす影響を見ると、通常含浸よりも真空含浸の方が樹脂含浸量が多くなることが分かる。いずれのケースでも、含浸方法による骨材表面への樹脂の付着量は変わらないとすると、この樹脂含浸量の差は内部空隙を充填した樹脂の量の差だと考えられる。したがって、樹脂含浸量の結果から、真空含浸の方がより内部空隙を樹脂によって充填していると考えられる。ただし、これは今回のケースにおいては含浸2回目までであり、含浸3回目以降樹脂含浸量の増分がほぼ等しいので、含浸3回目以降は碎石の内部空隙に含浸される樹脂含浸量の増分は減少すると考えられる。

### 3. 樹脂含浸した琉球石灰岩碎石を使用したコンクリートの力学的特性

#### 3.1 実験の概要

ここでは、フェノール樹脂の含浸によって吸水率が改善された琉球石灰岩碎石を粗骨材として使用したコンクリートの力学的特性を調べるために表-3に示す各種粗

表-3 粗骨材の一覧

粗骨材名	粗骨材の種類	濃度(%)	含浸方法	含浸回数
P-50-V	琉球石灰岩	50	真空	2
P-50-N		50	通常	2
Control-RL				
Control-KL	高地県産石灰岩			

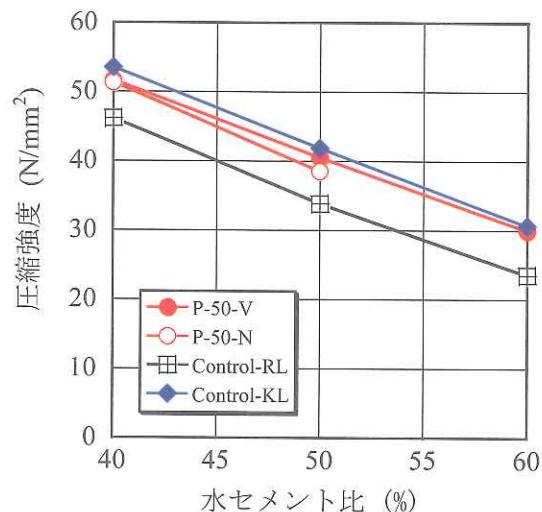


図-11 圧縮強度と水セメント比の関係

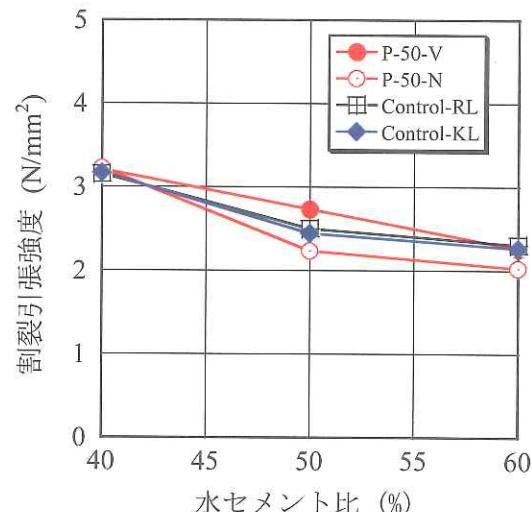


図-12 割裂引張強度と水セメント比の関係

骨材を準備した。前章における吸水率試験の結果を踏まえ、フェノール樹脂の濃度および含浸回数は、それぞれ50%および2回とした。なお、比較のために樹脂含浸を行わない琉球石灰岩碎石(Control-RL)ならびに高知県産の石灰岩碎石 (Control-KL : 表乾密度 2.60g/cm³, 吸水率 0.31%, 粗粒率 7.28) をそれぞれ粗骨材として用いることにした。なお、どちらの骨材も水洗いして微粒分を除去するとともに粗骨材の最大寸法を25mmとした。

表-3に示す各粗骨材に対して、単位水量を180kg,

細骨材率を 50%として、水セメント比を 40%, 50%, 60%の 3 種類としたコンクリートを配合し、コンクリート円柱供試体（直径 100mm、高さ 200mm）を製作した。セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm<sup>3</sup>）を使用し、細骨材には千葉県君津市利根産の砂（表乾密度 2.50g/cm<sup>3</sup>、吸水率 2.63%、粗粒率 2.17）を使用した。なお、コンクリート円柱供試体は、打設後 1 日で脱型した後、28 日間水中養生（水中温度 20°C）を行った。供試体の端面は、研磨機を用いて平滑にした。その後、圧縮強度試験ならびに割裂引張強度試験を行った。

### 3.2 実験結果

#### (1) コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

図-1-1 に圧縮強度試験で得られたコンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係を示す。ただし、P-50-N の水セメント比 60% の圧縮強度に関しては、樹脂含浸骨材の準備が間に合わず予定通りに実験を行うことができなかつたために図中への記載がない。この図から各水セメント比でコンクリートの圧縮強度が最大になったのは高知県産の石灰岩碎石を用いた Control-KL であった。これに対して、樹脂を含浸していない琉球石灰岩碎石を用いた Control-RL では、各水セメント比において Control-KL の圧縮強度よりも約 10N/mm<sup>2</sup> 程度小さな値となっている。これは、用いた琉球石灰岩自体の強度が小さいためと考えられる。

次に、フェノール樹脂を含浸させた P-50-V および P-50-N の圧縮強度は、各水セメント比において Control-KL に匹敵することは特筆に値する。フェノール樹脂でコーティングされた琉球石灰岩碎石は、モルタルペーストとの界面における付着特性は低下する可能性も考えられるが、コーティングされたことで応力集中が緩和されたことや、コーティング層による拘束効果により強度が増したこと等が圧縮強度を増加させた要因として考えられる。これらの結果から、琉球石灰岩を粗骨材として用いる場合、そのコンクリートの圧縮強度を一般的な石灰岩碎石と同様な圧縮強度に上げるためにはフェノール樹脂を含浸させることが有効であるといえる。

#### (2) コンクリートの割裂引張強度に及ぼす影響

図-1-2 に割裂引張強度試験から得られた割裂引張強度と水セメント比の関係を示す。高知県産の一般的な石灰岩碎石を粗骨材として用いた Control-KL の割裂引張強度を基準とすると、樹脂含浸なしの琉球石灰岩を用いた Control-RL の割裂引張強度は Control-KL と同程度となつた。フェノール樹脂を含浸した琉球石灰岩碎石を用いたケース（P-50-V および P-50-N）の割裂引張強度は、Control-KL 及び Control-RL の場合のそれらと同程度になっているが、各水セメント比で真空含浸したケース（P-

50-V）の方が通常含浸したケース（P-50-N）と比較して大きくなる傾向を有していることが分かる。これは真空含浸したことによって、琉球石灰岩碎石の内部空隙への樹脂含浸量が増えたことにより骨材の強度が改善されたことが一要因として考えられる。したがって、コンクリートの割裂引張強度に着目すると、琉球石灰岩碎石に対してフェノール樹脂を真空含浸することが有効であるといえる。このように琉球石灰岩碎石に対する樹脂の含浸方法が、それらを粗骨材として用いたコンクリートの圧縮強度と割裂引張強度に及ぼす影響は若干異なることから、今後更なる実験が必要であると考えている。

### 4. 結論

本研究の範囲内において得られた結果を、まとめて以下に示す。

- (1) フェノール樹脂含浸を繰り返すことで琉球石灰岩碎石の吸水率を低減することができる。2 回程度繰り返すことによって JIS 基準を満足する 3.0%以下にすることができる。
- (2) 通常含浸よりも真空含浸の方が内部の空隙まで樹脂含浸させることができる。ただし、真空含浸によつても内部の空隙を完全に充填することは困難である。
- (3) 効率よく琉球石灰岩碎石の吸水率を減少させるためには、通常含浸で十分である。
- (4) フェノール樹脂を含浸した琉球石灰岩碎石を粗骨材として使用したコンクリートは、水セメント比 40 ~ 60% の範囲で一般的な石灰岩碎石を用いた場合と同程度の圧縮強度ならびに割裂引張強度を期待できる。
- (5) フェノール樹脂の含浸において含浸方法の相違がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は小さいため、通常含浸という簡易な含浸方法で圧縮強度を向上させる方が得策である。

### 謝辞

本実験について防衛大学校研究科 2 学年の佐藤匡浩君、本科 4 学年の日高圭祐君ならびに郡司嘉一朗君の協力を得た。ここに記し謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 大岡督尚、川崎健二郎、成瀬義幸：粗骨材に宮古島産琉球石灰岩碎石を用いたコンクリートの圧縮強度および耐久性、東急建設技術研究所報、No.35, pp.27-32, 2010

# 解体技術情報のグローバル化

## Globalization of demolition technology information

日本大学 湯浅 昇

ここでは和文のみの紹介となっているが、対象とした解体技術情報 5 編は、和文および英文の  
セットで全 62 ページ、

全解工連ホームページ <https://www.zenkaikouren.or.jp/demolition/search/>  
の「報告書等」

● 令和2年度 解体工事に係る研究報告書梗概集  
から閲覧・ダウンロードできます。

### 研究の目的（申請書から）

これまで申請者らは、高強度・超高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材の解体負荷を把握する研究を行ってきた。そして、2018 年における実験の成果を裏付けた高強度・超高強度コンクリート部材の適切な解体システムの検討・提案を行った。

ただし、これらの研究の成果は、全解工連の報告会に報告しただけである。

助成を頂きたい活動は、①しかるべき審査論文の作成、②その英訳化を果たし、③英語ジャーナルへの投稿であり、可能となれば④国際会議への発表（EDA を想定）を考えている。

これらの活動を通して、日本における解体の現状と課題を海外に知らしめ、解体に関する海外との情報交換・協力に寄与する。

### 対象解体技術情報

① 日本における「解体工事業」の成立と展望

ESTABLISHMENT AND PROSPECT OF DEMOLITION BUSINESS IN JAPAN

② 日本における解体技術の変遷

THE TRANSITION OF DEMOLITION TECHNIQUES IN JAPAN

③ 日本における高層ビルの解体

DEMOLITION OF SKYSCRAPERS IN JAPAN

④ 超高強度コンクリート部材の解体負荷－圧碎工法の適用

APPLICATION OF CRUSHING METHOD TO THE DEMOLITION OF HIGH-STRENGTH AND ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

⑤ 再生微粉の有効利用

EFFECTIVE USE OF CONCRETE POWDER BY-PRODUCED FROM RECYCLED AGGREGATE

# 日本における「解体工事業」の成立と展望

日本大学教授 湯浅 昇

## 1. 建設業法改正による「解体工事業」の成立

建設業法は、1971年に建設業を「登録制」から「許可制」に切り替え、許可業種区分として、総合2業種（土木・建築）、専門26業種の計28業種が規定された。解体工事は「とび・土工工事業」に含まれ、一式工事の土木工事、建築工事、とび・土工工事業の間に埋没したまま、43年という長い月日を費やした。

劣悪な労働環境や労働条件が労働者を危険にさらす最大の弊害となっており、解体工事中の重大事故の発生を防止するうえで、解体業を独立した許可業種として追加することは、解体業界の長年の悲願であり、全国の解体事業者で構成される全国解体事業団体連合会（全解工連）が国に何度も訴えかけていた。20年前の全解工連の発足も、これが契機であった。

そして、2014年6月、改正建設業法が公布され、晴れて解体業が許可業種として独立することが決まった。研究者という第三者の立場で見ても、これは大変喜ばしいことであった。

解体工事の業種区分は、それまでの「とび・土工工事業」から分離独立する形で、全体で29番目（専門業種として27番目）の業種として設けられた（図参照）。解体だけを手掛ける専門の業種であり、土木や建築の全体計画の中で行われる解体工事はそれぞれの「一式工事」区分で対応される。1件当たり日本円で500万円以上の解体工事を実施する場合は許可取得が必要になった。

その後、解体工事業許可については2016年6月から施行され、施行日時点で「とび・土工工事業」「コンクリート工事」の許可を受けて解体工事を営んでいた建設業者は、引

き続き2019年5月までは、解体工事業の許可を受ければ解体工事を施工できた。その間に順次、解体業としての許可登録を進めていった。

「解体工事業」成立により、解体工事に配置される技術者に求められる、技術・知識を認定する資格制度の確立が必要となり、

- (1)解体工法の専門知識、技術的知識
- (2)安全管理、施工管理能力
- (3)環境面の課題に対する知識
- (4)建設廃棄物対策に関する知識
- (5)関係法令の知識
- (6)マネジメント能力（現場管理）

の観点から議論され、2016年6月技術者要件・資格が発表された。この技術者要件・資格についても、2021年3月までは、「とび・土工工事業の技術者（既存の者に限る。）も解体工事業の技術者とみなす」とされた。

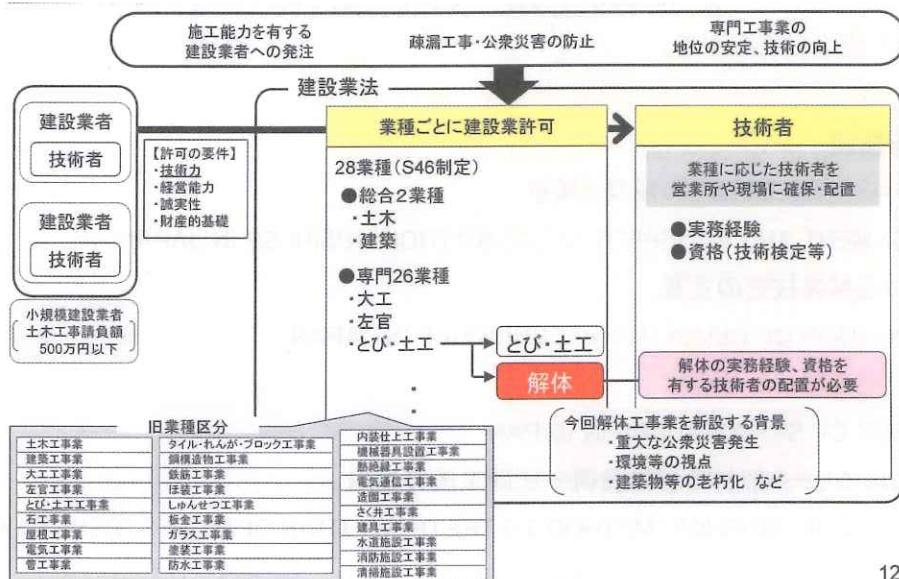
## 2. 解体工事中の事故を未然に防ぐ

今回、解体業の業種区分が新設されたことで、解体工事の安全管理に対するハードルもさらに一段上がった。

構造物を「作る」側の安全は確立されているが、「壊す」側の安全はまだ十分とは言えず、統計的にみると、簡単には比較できないが、解体工事は新築工事に比べ事故の発生割合が多いと言える。

事故には、「公衆災害」と「労働災害」がありますが、工事当事者以外の第三者に危害が及ぶ公衆災害は絶対に起こしてはならない。

解体工事の事故の原因を探っていくと、そのほとんどは



「管理」の部分で発生している。解体工事に対する技術的な理解が足りないということではなく、「たぶん大丈夫だろう」といった、ちょっとした不注意やケアレスミスが大きな事故につながっている。国土交通省はそこを問題にしていて、今回「解体工事業」の業種区分を設けることで、事故防止を確立していこうとしている。

管理マニュアルは整備されていて、全解工連でも、解体工事に関する事故原因を分析し、その発生を未然に防ぐべく地道な活動を続けていた。「解体工事施工技士」(国土交通省令に基づく登録資格)の技術講習会や、解体工事施工技術講習を実施しているほか、2008年には「解体工事KYTシート集」というビジュアルなテキストもまとめており、イラストで現場の状況を提示し、その状況において考えられるリスク、発生するかもしれない事故を予測し、事前はどういう配慮をすればよいかを自分の頭で考えられるように編集されている。非常に優れた資料だと思っている。

### 3. 解体工事の技術開発

さまざまな解体工法がありますが、解体工事業者は多くの種類の資機材を保有していて、対象となる建築物の規模や形状、構造、立地条件などに応じて、どの解体工法を採用するか、受注した解体業者が判断して決定している。

そして、それぞれの資機材や工法において、解体工事業者が日々の解体工事を通して感じている技術的な課題についても、改善に向けて地道に活動している。

日本の都市部では、高層建築物の解体に際し、油圧ショベルを最上階のスラブ上に設置し、上部から順次解体していく「階上工法」が用いられることが多い。油圧ショベルを支持するためにサポートパイプで上下層スラブを接続し、複数層で支持する方法をとるのが一般的であるが、このサポートパイプの代わりに無筋コンクリートを打設しておき、後で床版ごと解体するという方法もある。無筋だから壊しやすいし、価格的にもあうとのことである。

全解工連では、研究助成金を提供して、解体技術の進化に向けた取り組みを行っており、年に一回、その成果をまとめた研究発表会を開催している。この助成金を私の研究室も利用しているが、こうして開発された技術を業界で共有し、共通の技術体系に組み込んでいくことで業界全体のレベルアップが期待されます。

解体工法の研究は、ゼネコンとの共同研究という側面もありますが、解体技術そのものは解体工事業者が保有し蓄積しているものなので、ゼネコンとしては、それをシステム化したり、仕組みを考えたりするということで、お互いの役割分担が出来ているように思える。近年、社会の注目を集めた赤坂プリンスホテルの解体工事でも、全体のシステムを構築したのはゼネコンですが、破碎したり切断したりする要素技術の部分は解体工事業者が一手に担当していた。

現在は、「解体」技術といえば、既存の技術、とりわけ「圧碎」が最も使われているといえる。だいたいの建築物は圧碎の技術で、対応可能であり、泥くさいけれども最も効率が良いといえる。圧碎技術によっても太刀打ちできない場合に、別の方法を考慮するという形が多いようである。ワイヤーソーや手こわしなども大事な技術であるが、あくまで補助的な位置づけである。圧碎に多くの経験値を積み重ねているので、新技術を積極的に採用していくというモチベーションは、現在はあまり高くないように思える。

振り返れば、圧碎工法もかつては新技術であり、コンクリートをノミで壊すところから解体工法ははじまったわけで、それを圧碎に進化させるまでに、大変な進歩があったといえる。これ以上の大幅な進化は、もう望めないかもしれません。

### 4. 解体工法のこれからの課題について

これからの解体工法の課題として、①高層化、②高強度化への対応が挙げられる。

#### 4.1 高層化への対応

日本の超大手ゼネコンでは、2010年前後に、超高層ビルの解体工法を一斉に開発・実用化してきた。詳細は別途みていただきたいが、「上から壊す」、「下から壊す」という違いはある、全体として共通する部分が感じられる。おそらくゼネコン各社は、騒音・振動対策、廃棄物対策などを含め、今までの解体工事のままではだめだと思っていて、新しい解体工事のあり方・戦略を、超高層ビルを題材としてアピールしようとしたように私は思う。

ただ、これらの工法は鉄骨造を想定しており、鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造の建築物にそのまま適用することは難しい。

都市部の高層建築物は、近隣建築物と接続していることが多く、解体工事の施工条件が大変厳しい。騒音・振動、副産物の搬出などによる周辺環境への影響を最小限にとどめ、アスベストやダイオキシンといった有害物質の飛散にも配慮しなければならない。超高層ビルの解体工法では、解体階をパネル等で覆って外部への飛散を防ぎ、閉鎖的な施工環境で解体工事を実施しているが、最近では中高層の建築物でも同様の対処が行われるようになった。防音パネルについては、特に解体工事用の特殊なものを開発するのではなく、従来の一般的な防音パネルで十分対応できているようだ。

#### 4.2 高強度化への対応

日本における圧縮強度試験は $\phi 20 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体で行うので、以下に示す日本の値は、 $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ の試験体を使っている国の方にとっては、 $\times 1.2$ 程度を掛けた値で考える必要がある。

さて、一般的な鉄筋コンクリート建築物で使われるコンクリートの圧縮強度は $18\sim36\text{N/mm}^2$ が標準であるが、コ

ンクリート技術の進化とともに、日本では  $60\text{N/mm}^2$  クラスの高強度コンクリートが広がり、現在は  $150\text{N/mm}^2$  を超える超高強度コンクリートも実用化されている。かつて超高層建築は鉄骨造がメインであったが、コンクリートの高強度化・超高強度化が進んだことから、とくに集合住宅などでは、居住性などの点でメリットが大きい高強度鉄筋コンクリート造が主流になっている。

鉄骨造であれば、鉄骨部材を切断することで解体するが、鉄筋コンクリート造では、鉄筋が中にあるコンクリートを圧碎して行うのが一般的である。しかし、コンクリートが高強度化し、鉄筋も太径化すると、コンクリートの破碎も鉄筋の切断も困難となる。機械の損耗も早くなり、施工効率も落ちる。

私の研究室では、 $150\sim180\text{N/mm}^2$  クラスの試験体を作製して実験を行っている。結論としては、現行の圧碎技術でも対応できる。なぜかというと、圧碎が圧縮力ではなく引張力のメカニズムで破壊させる工法であるからである（コンクリートは圧縮強度が高くなつても引張強度はさほど変わらない）。

ただし、圧碎工法の経済活動に見合った、現実的な採用限度は、設計基準強度  $60\text{N/mm}^2$  以下程度までとし、それ以上ではアタッチメントに掛かる負荷が大きく、騒音・振動での難しいと考える。

そこで、設計基準強度  $60\text{N/mm}^2$  以下を上回る部材では、①解体现場で、カッタもしくはワイヤーソー工法で対象部材をトラックに載せられる大きさまで切断し、搬出する。②部材のままリユース or 作業フィールドで圧碎・破碎・分級の上、高品質のリサイクル材とする。ことを提案する。

超高強度・高強度レベルのコンクリートが使われている部材は、建物全てではなく、下層階の一部に限られることが多い。また、超高強度・高強度レベルのコンクリートは、セメントがリッチであり、リサイクル価値は高いし、高級な再生骨材にもなり得る。

これらを結論づけた研究についてはまたの機会に紹介したい。

## 5. 新設時に解体に配慮した設計を

私はかつて、鉄筋コンクリート造の柱や梁などの部材をそのまま次の構造物に使えないかと、複数の解体工事業者に聞いてみたことがある。しかし彼らの答えは「採算に合わない」「考える余地もない」といったものだった。奇麗に切断して再利用するより、小塊に崩してリサイクルしたほうが、今は現実的のようである。解体される建築物は既存不適格の建築物が多く、現行の耐震規定に照らしあわせると転用部材としてそぐわないという点もある。

高強度コンクリートの解体について触れたが、新設構造物において、強度レベルが高くなればなるほど、施工管理上、場所打ちよりは PCa (プレキャスト) 部材を現場に搬

入して建方する方法が有利といえるが、私は解体もこのことを逆手にとって実施できないだろうかと考えている。昔のものは限界があるが、今現在および将来にわたり、施工される構造部材は十分に転用できるほど、技術レベル・管理レベルは高いと私には思える。また、高強度で壊しにくくほど転用部材としての付加価値は高いともはずである。

設計時に、部材のジョイントを工夫し、施工時と解体時に共用できるようにするのは、それほど困難なことではない。設計時に解体時を想定して工夫を盛り込んでおくことで、解体工事が容易になり、副産物も低減するというメリットを実現できる。

システムチックかつ安全な解体を考慮すべきである。ゼネコンは、絶対にそういう方向で考えているはずである。数年後にはそれを売りにした工法が出てくるかもしれない。

## 6. 解体工事業への期待

1995 年の阪神・淡路大震災でも、2011 年の東日本大震災でも、早期復旧・復興に向けた最大の課題は、がれきの早期処理であった。

解体工事業者は多くの重機を保有し、「どかす技術」を持っている。自治体と協定を締結しており、こうした非常時にはいち早く出動し、がれき処理に尽力してきた。これらの貢献で、全解工連として、国土交通大臣、環境大臣から表彰も受けている。

今回の建設業法改正では、「離職者の増加、若年入職者の減少等による将来の工事の担い手不足が懸念される」ことから、「建設工事の適正な施工とその担い手の確保が喫緊の課題」と指摘している。今後、解体市場はますます増加する。若く熱意にあふれた技能者入職、熟練工の定着を図るためにも、労働環境や労働条件の改善が図られ、人材の教育を進めて行くことが重要と思える。

今まで土木・建築一式工事の中に含まれていたが、「解体工事業」成立に伴い、今後は解体工事の分離発注が進むことが期待される。それには、多様な建築物に適用できる公的な積算基準を整備し、積算の透明性を高めていくことが必要と思える。ただし、解体工事においては官庁工事より民間工事が非常に多く、見積り方式もまだあまり機能していないことや、地域による施工規模や単価の相違があるんで、難しいことと思える。解体工事でも価格だけでなく技術提案も加味して発注を行う、技術提案総合評価制度の導入も望まれるところである。

今回、国が解体業の許可区分を設けたことについて、ある意味で「パンドラの箱を開けた」ことになつたいわれている。それだけ国土交通省も強い信念・確信をもって決断したわけである。

難しい課題はまだまだあるが、これから各方面で検討を重ね、あるべき解体業の姿を確立していただければと思う次第である。

# 解体工事の姿と解体技術の変遷

日本大学 湯浅 昇

## 1. はじめに

解体の沿革を考える時、木造については長い歴史があるものの鉄筋コンクリート造については新築の記録はあっても解体に関する記録はきわめて少なく1965年頃までは、当時の経験者の話を集約する以外に手掛かりがない状態であった。また本格的な鉄筋コンクリートの解体が行われだしたのは昭和30年（1955年）以後のことである。

## 2. 鉄筋コンクリート造の解体の概要

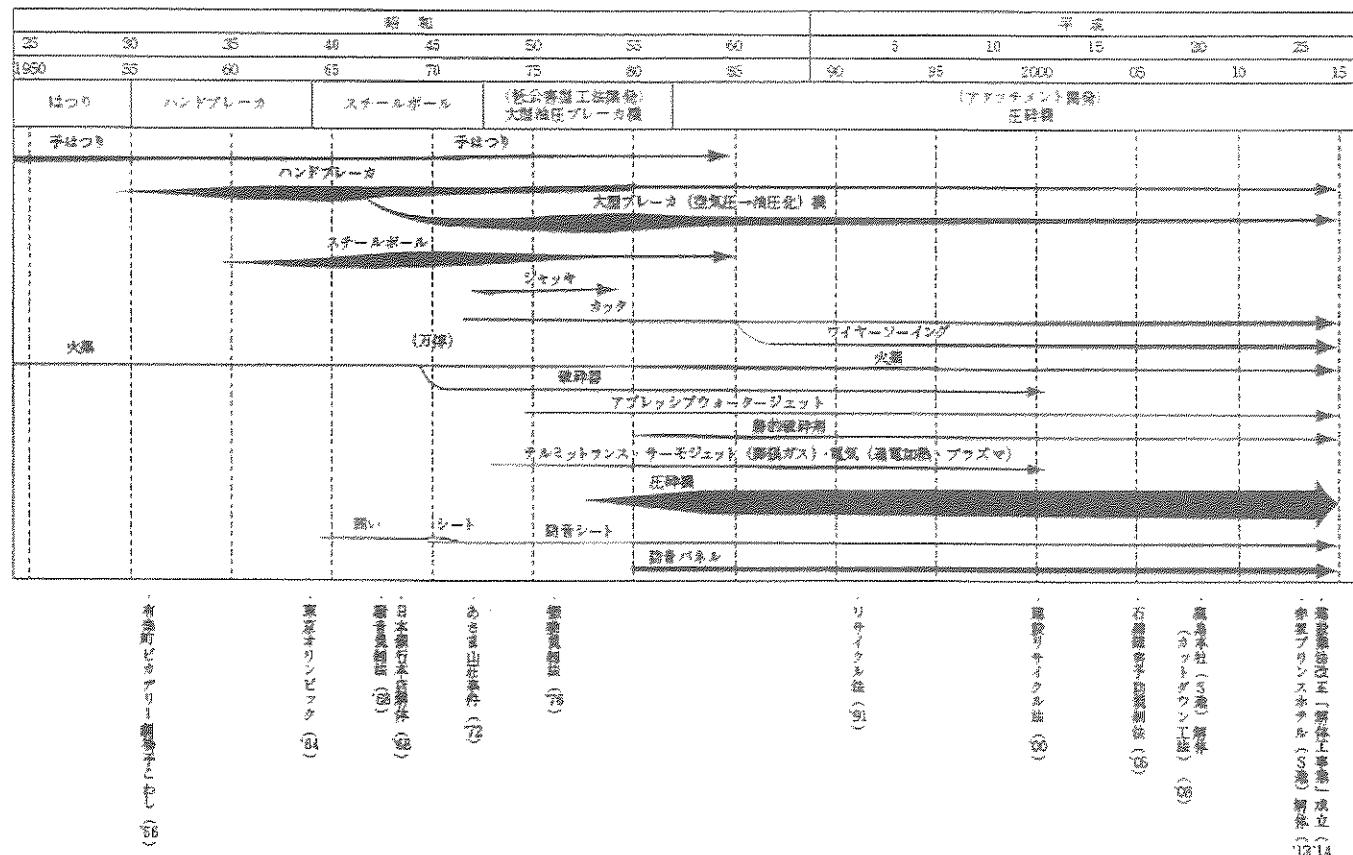
鉄筋コンクリート造の解体は、第二次大戦中に煙突などの引倒しはあったが、戦後は新築工事より遅れ1950年代に入り、はつり工法によりはじめられた。玄能（両手持の大ハンマ重さ5～20kgくらい）を用いて矢（楔）をコンクリートに打ち込み、大割りしてこわした。1958年の有楽町ピカデリー劇場の解体では、昼夜50人くらいの解体工（やま屋：元々石切を専門に行っていた業者）が働き、この工法でまさしく人海戦術で解体を行った。梁などでは上からスターラップを平のみで叩き切って、軸方向主筋の間に矢を打ち込み、柱は横倒ししてから帶筋を切り、解体した。ここでは、コンクリートの中にある鉄筋は綺麗に取り出していた。

第1図は、鉄筋コンクリート構造物の解体工法の変遷を示したものである。その後、ブレー

カ工法、スチールボール工法、そして大型ブレーカ工法と破壊工法に近い形で工法が進んだが、環境問題等の発生でスチールボールは衰退し、大型ブレーカも次第に空気圧から油圧へ転換された。1970年代に入ると、カッタ工法による部材別解体、静的破碎剤・電気的間接破碎工法、ジャッキ工法などが試みられたが、圧碎工法がスチールボール、大型ブレーカ工法にかわって汎用工法となって現在に至っている（第1図）。

鉄筋コンクリート構造物の解体工法の進歩のスピードは遅かったといわれているが、その理由として、主として次のようなことが推察される。

- ① 鉄筋コンクリート造の解体工事は歴史が浅く、解体工法の開発研究が始まったのは1970年以降である。
- ② 従来は公害問題に対して、近隣住民があまりクレームをつけなかった。
- ③ スチールボール、ブレーカによる解体の能率が良かった。
- ④ 解体工事の発注形式に問題が多かった。すなわち解体後に建設される工事を受注するためには、極端に低い価格で請け負うことが多く、安く、早くが最重点目標とされ公害対策は二の次であった。
- ⑤ 鉄筋コンクリートは、強固な材料であり、下記のような性質のため解体しにくい。



第1図 鉄筋コンクリート構造物解体工法の変遷

- (a) 通常の刃物による切削、ボーリングなどが困難である。

(b) 質量および容積が非常に大きく、取扱いが困難である。

(c) 燃焼せず、融点が高い。

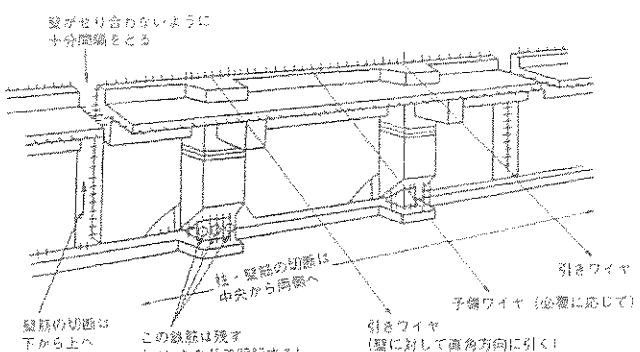
(d) 酸その他の薬剤によって侵されるが、液体の浸透性が小さく、短時間に変質させることはきわめて困難である。

⑥ 解体発生材（副産物）の発生量が多く、再利用は限定されている。

3. 1955~1965年

### (ハンドブレーカ工法展開の時代)

床スラブや梁を壊し、壁柱を引き倒す転倒工法が取り入れられはじめた（第2図、写真1）。これを当時、「大倒し」と称し、解体屋の「男の華」などとして、「心意気と技術」を誇ったようである。一方、土間や屋上シンダーコンクリートのはつりにピックハンマーが使用されは



第2図 外隨面側の構成図

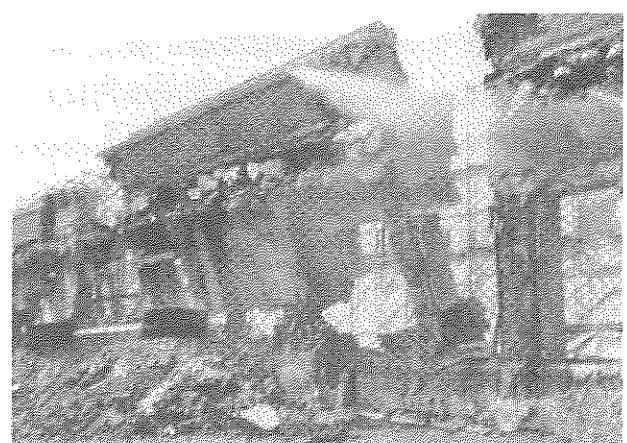


写真1 転倒による解体（1963年頃）

じめている。

朝鮮事変後、解体工事にもブレーカが使用されだす。当初は米軍の貸与で、重さは45kg程度であった。これにより解体工事はようやく機械化しはじめた。

それまでの解体は、1階分を解体するのに1ヶ月を要し遅いペースだったが、工期短縮化の時勢に相まって、徐々に機械化の方向に向かった。当時のピックやブレーカは、主として基礎や土間あるいは舗装の取壊しに多く用いられたようである。一方で、三叉を組んでスチールボールを落とす方法も試みられ、コンクリート中の鉄筋はコンクリートを小塊にすることで分別し回収されることが多かったようである。

そして、軽くて使いやすいピックやブレーカが国内でも生産されるようになった。

#### 4. 1965~1980年（スチールボールから大型ブレーカ工法、そして無公害解体工法模索の時代）

クレーン車などの大型機械が使用されるに及んで、1965年頃には本格的にスチールボールによる工法が解体工法の一つとして定着している。すなわち上階から順次床スラブを打撃して抜き、梁を切断し、最後に柱、壁を引き倒す工法である。

1968~69年に行われた日本銀行本店の解体工事では、クローラクレーン・トラッククレーンを使い、1~2.5tの重錘（スチールボール）を垂直に落下や横振させ、コンクリート部材を叩き壊した（写真2）。また、太く重いホースを引き回して、手持ちのニューマチックブレーカを何台も使ってコンクリートを壊した（写真3）。なお、この解体工事では、金庫室の鉄網コンクリート（幅約8mm、厚さ約6mmのエクスパンデットメタルの網を約25mm間隔で積層し、豆砂利コンクリートを打ち込んだもの）の発破解体をしている。

しかしながら、1970年頃には、社会的な変化

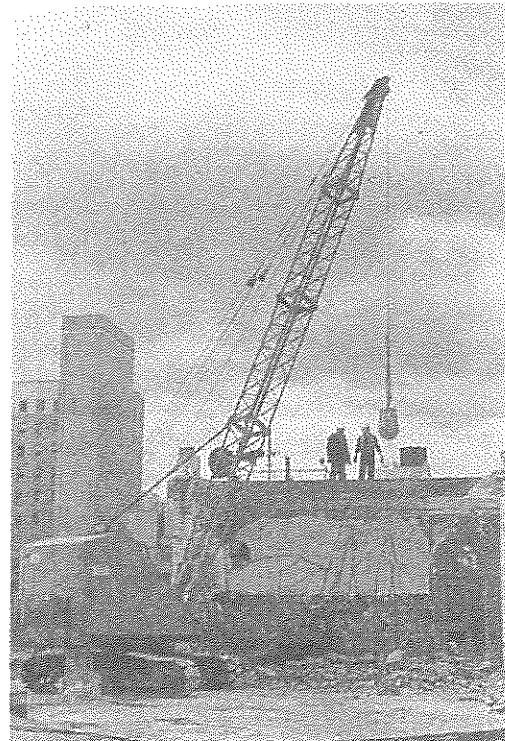


写真2 スチールボールによる解体  
(日本銀行本店1970年頃)

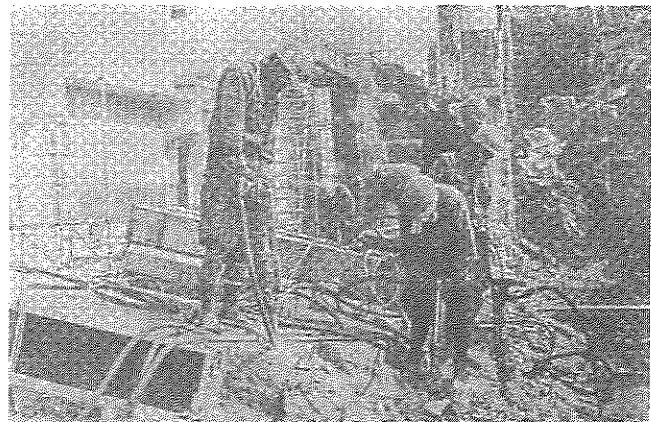


写真3 ハンドブレーカによる解体  
(日本銀行本店1970年頃)

に伴い振動、騒音、粉塵に対する公害がクローズアップされてきたことから、スチールボールにかわる鉄筋コンクリート構造物の解体工法が望まれるようになる。

その結果、油圧を利用したジャッキ工法（下から梁・床版をジャッキにより突き上げて破壊する工法：写真4）や圧碎工法（写真5）、カッタで切る部材別解体工法（写真6）が考案・使用されるようになった。しかし、これらの工法



写真4 ジャッキ工法

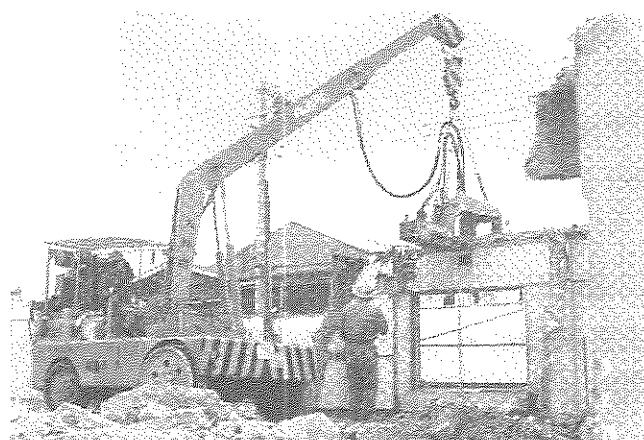


写真5 1978年頃の圧碎工法



写真6 カッターによる部材解体

は実用的にはやや費用がかさむため、防音対策をしながらスチールボールや大型ブレーカ（写真7）により解体が行われた。



写真7 大型ブレーカによる解体

この頃、「鉄筋コンクリート造の無公害破壊工法指針」が建築業協会によって作成され、爆速の速い破碎器（緩速火薬）や静的破碎剤による工法、ウォータージェット工法、さらには通電加熱工法、ワイヤソーイング切断工法などが、原子炉容器の解体ロボット化工法とも関連して研究開発された。

## 5. 1985年～現在（圧碎工法の時代）

1976年に英国から曲げを伴いかみ碎く“ニブラー”が導入されると、解体専業者・機械メーカーの手によって新しい解体機が製作され、使用されるようになった。これは、これまで建設業者が主導してきた解体工法の開発が、解体専業業者・機械メーカーに移ったことでもあった。

騒音・振動が比較的少なく、能率も高い圧碎機は、スチールボールを駆逐し、大型ブレーカにも取って代わって解体機械の主流となり、圧碎工法は、最も一般的な工法として位置づけられ、2015年の今日に至っている（写真8）。そして、対象構造物の構造・形状・立地条件などにより、(1)上層階に重機を揚重し上階から各階毎に解体を行う階上解体工法、もしくは(2)地上に置いた重機により上階から順に解体する地上

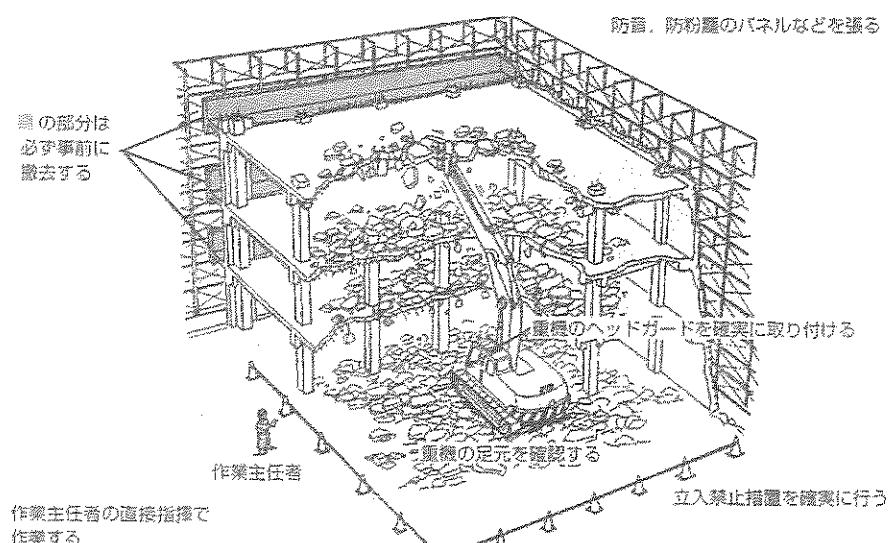
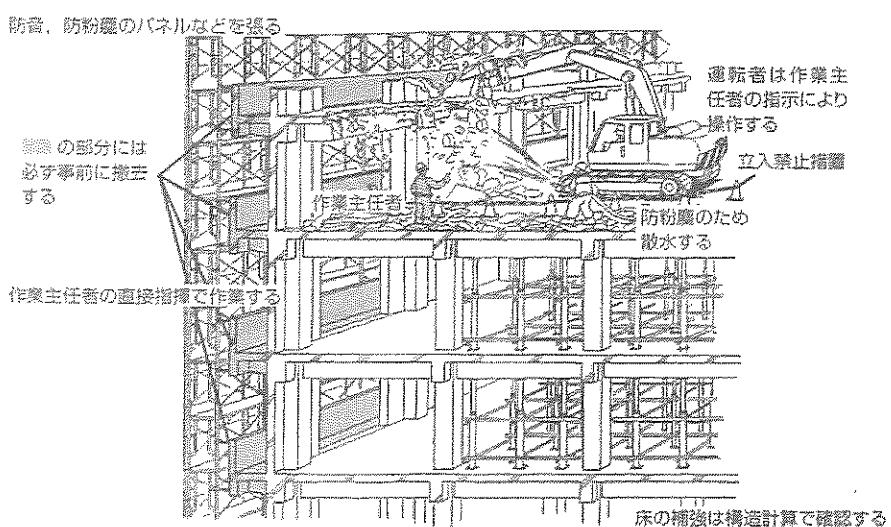


写真8 現在の圧碎アタッチメントと重機

解体工法で解体が進められている。

地上解体工法（第3図）は、3～4階くらいまでの高さの建物に1980年頃から適用されていったが、近年、40～60m級のロングブーム圧碎機が開発され、建物周囲に解体機が移動できるような空き地がある場合、高さ35mくらいまで、地上から解体できるようになった。オペレータは、ブームの上部に付けたカメラの画像を見ながら圧碎機を操作することになった。

階上解体工法（第4図）は、1980年頃から行われ、現在では市街地における高層建物の解体で積極的に適用されている。この工法では、最

第3図 地上解体の作業<sup>2)</sup>第4図 階上解体の作業<sup>2)</sup>

上階に圧碎機を吊り揚げるためのクレーンが必要で、クローラクレーンなどを用いる場合は、その揚重性能に対応した重量の圧碎機に限定されることになる。一般に、15t程度の圧碎機が限度である。

近年、構造物新設における最新技術が圧碎工

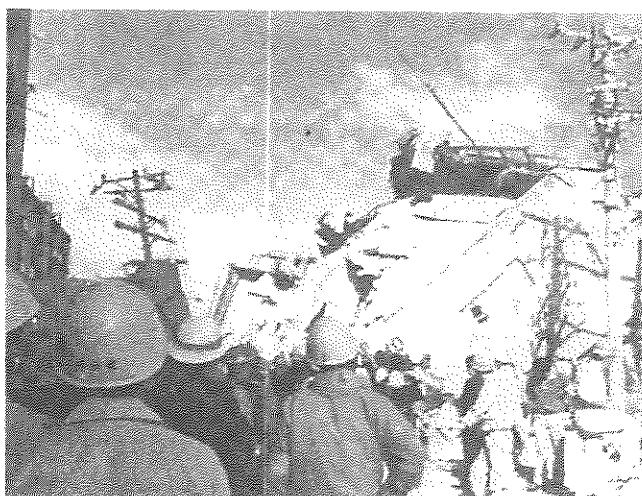


写真9 三菱炭鉱高島社宅の爆破解体実験（1988年）

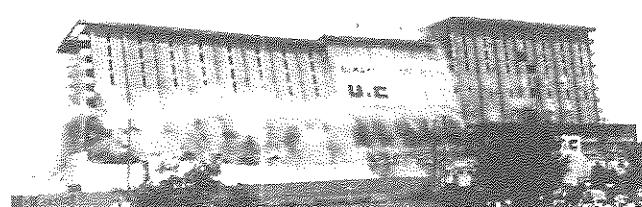


写真10 レイクサイドビルの爆破解体実験（1992年）

法の適用を困難にしているケースもみられるようになつた。SRC造、CFT造、そして高強度・超高強度コンクリートを使用したRC造は、圧碎工法で解体することが極めて困難である。解決しなければならない重要な課題である。

さて、アメリカでみられる火薬による一括解体は、わが国においては、1988年つくば科学万博ドーム、三菱炭鉱高島社宅（写真9）、そして1992年のレイクサイドビル（写真10）で試みられた。しかし、わが国における発破工法の建築物への適用は、経済性・安全性・経済活動制限・防犯性の観点を含めて容易ではないとされている。

一括解体は今後も困難であると思われるが、できる限り少ない爆薬を用いて部材・ブロック割レベルの解体を行うミニプラスティングやマイクロプラスティングと称される技術は有用であり、今後の展開を期待したいところである。

## 6. おわりに

ここまで、日本における解体技術の変遷について解説した。

解体工事では、更地にするまでの過程が解体工事業の腕のみせどころとなる。(1)「安全に」解体し、(2)騒音、振動、粉塵などで「周辺に迷惑をかけず」に、(3)解体材の処理に関して「自然環境を破壊につながらせず」に、そして(4)なるべく「安く」、(5)「早い」ことが、その評価軸となる。つまりは、誰もがストレスを感じずに、すっきり綺麗に更地にすることが解体における心得となろう。

### ＜参考文献＞

- (1) 全国解体工事業団体連合会：“解体工事技術講習テキスト（解体工事技術編）”，p.248 (2018.9)
- (2) 中橋博治：“RC造の解体工事”，まるごと「解体工事」NOW、建築技術、pp.150-153 (2011.7)

（筆者紹介はp.71掲載）

# 日本における超高層ビルの解体

日本大学教授 湯浅 昇

日本では、現在高さ 100m 以上の超高層ビルが 700 棟以上ある。竣工当初は時代の最先端だった超高層ビルも 30~40 年も過ぎれば機能・性能は陳腐化し、近年、大地震時の長周期地震動が高層ビルでは問題となることがわかつてきた。補強・リニューアルには限界があり、今後、超高層建物の建替が増加していくと予想されている。

2012~2013 年、東京の赤坂プリンスホテル新館（地上 39 階・塔屋 1 階・地下 2 階、高さ 138.9m）が解体され、日本では、テレビや新聞で大きく取り上げられ、広く一般市民や国際社会の興味を引くことになった。

高さ 100m を超える超高層ビルの解体は、従来の解体工法では、解決しなければいけない問題が山積している。超高層ビルは、都市部に立地し、解体工事上の制約条件が多い。上空の風は地上の数倍にもなり、仮設足場や養生材の設置・撤去が高所危険作業となることに加え、粉じんの広範囲への飛散、解体部材の飛来落下の危険性、騒音・振動の伝播などに、配慮しなければならなく、解決すべき課題多岐にわたる。

日本における 5 大ゼネコン各社は、超高層ビルの解体を、様々な技術開発を経て提案、先導的に手がけてきた。

各社が、日本建設業連合会において、超高層ビルの解体に関して公開した資料、ホームページでの公開情報に基づき、概要を紹介する。

## （1）鹿島建設「鹿島カットアンドダウント工法」

下層部の各柱位置に設置されたジャッキで、建物全体を支持しつつ、下階を解体する。各柱は解体された層ごとに、速やかにジャッキを操作し上階荷重を支え、建物全体の同じ層の解体が終了した時点で、全ジャッキで建物全体をダウントする。これを繰り返して解体工事を進める工法である。

従来工法に比し騒音や粉じんの飛散を抑制できる。また、常に地上付近で一定の作業を繰り返して行うため、環境対策設備や施工設備を盛り替える必要がなく、周辺環境への影響因子について、一定の場所で確

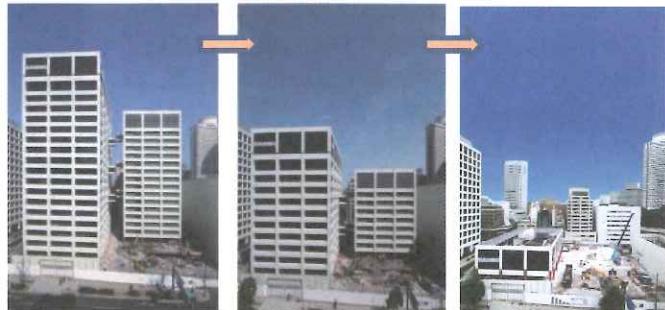


図-1 鹿島カットアンドダウント工法

実に対策でき、高所作業削減による安全性向上に効果がある。

下階に設置されたジャッキにより、上層階の全荷重を支えることになるが、地震対策のため、鉄筋コンクリート造のコアウォールを解体前に設置し、荷重伝達梁による耐震機構により、耐震性を確保している。

2008 年、鹿島建設旧本社ビル（S 造）解体工事ではじめて適用された。

## （2）大成建設「テコレップシステム」

まず、最上階の躯体を壊さずに有効利用して解体を行う閉鎖空間をつくる。そして、ジャッキを内蔵した仮設の柱を設置し、1 フロアごとにジャッキで解体階を自動降下させていく。解体する空間を閉鎖空間として、部材の飛散・落下、粉じんの飛散、騒音・振動などの問題を大幅に改善できる。

最上階の躯体には水平搬送用のスライド式天井クレーンを、床面開口部には垂直搬送用のテルハを設

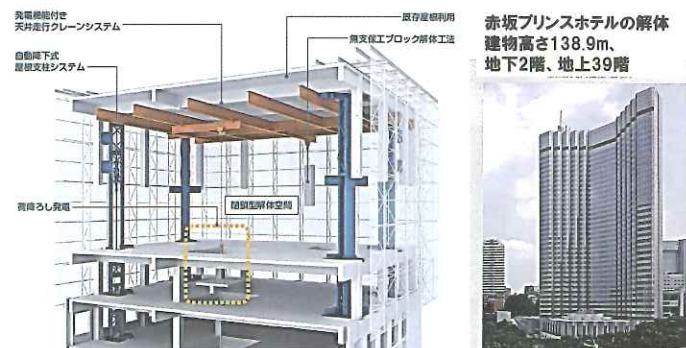


図-2 大成テコレップシステム

置し、分解した部材をクレーンで荷降ろしする。また、荷降ろしの際に生じる解体材の自由落下エネルギーを利用し発電を行い、徹底したエネルギー削減を図っている。

2011年東京・大手町フィナンシャルセンター（S造）で初適用し、引き続き2012年東京・赤坂プリンスホテル新館（S造）で適用され、日本では高層ビル解体として大きな話題を振りまいた。その後、鉄筋コンクリート造の超高層建物にも適用可能な「テコレップ - Light システム」の開発し、2019年、実構造物に適用した。

#### (3) 清水建設「シミズ・リバース・コンストラクション工法」

同工法はもともと「ブロック解体工法」とネーミングされ、建物をビル上層部から、コンクリートのスラブはカッターにより切断などしてプロック化した解体部材を、通常では新築工事で使うタワークレーンを使い、地上まで吊り下げて、専用の処理サイトで分別処理するシステムである。

信頼性が高く、実績の多い既存技術を巧みに組み合わせ、効率よく作業を繰り返して解体することで、工程を極めてシンプルし、不要な仮設設備の省略につなげている。適用に際し制約がほとんどなく、優れた汎用性を有している。

ここでは、柱・梁の切断作業に必要な一切の機能を集約したアタッチメントの開発も行うなどで更に効率化を図っている。

2008年、地下2階、地上14階（2階～14階はCFT柱）のS造建物に適用された。

#### (4) 大林組「キュープカット工法」

床・梁・柱の構造部材を圧碎せずに、切断してタワークレーンで地上に下ろし、地上で分別処理する



図-4 大林キュープカット工法



図-3 清水リバース・コンストラクション工法

ことで、騒音や振動、粉じんの発生を大幅に低減する。

振動・騒音の小さい機械により切断解体を先行して進め、クレーン作業の効率化を図り、短工期化を実現する。

同時に、構造フレームの切削手順・倒壊防止対策により、解体工事中の地震に対しても切断された部材の安全を確保する仕組みとなっている。

#### (5) 竹中工務店「竹中ハットダウン工法」

ビル上部に周囲を覆った移動式解体工場“ハット”を設置し、下階へ移動させながら順次ビルの解体を行う工法である。

ハット内部には、天井クレーンを含む解体設備が一体設置されており、解体する建物躯体を包みながら隙間なく降下し、解体材も全て建物内部を通して降ろすため、従来工法に比しより安全で環境にやさしい。

ハットの内部でカッターやワイヤーソーを用いてプロック単位に切断するため、粉じんや騒音の拡散を低減できる。解体したプロックは建物内部から天井クレーンで降ろすので周辺への飛来落下の恐れがなく、都心部の工事に有効である。

2012年、大阪・旧ホテルプラザ（地上1～4階SRC造、5～23階S造、地下RC造、高さ88m）適用させている。高層部がRC造でも適用とされる。



図-3 竹中ハットダウン工法

# 高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷に関する研究

APPLICATION OF CRUSHING METHOD TO THE DEMOLITION OF HIGH-STRENGTH AND ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

湯浅 昇<sup>※1</sup>

Noboru Yuasa

## 1.はじめに

2014年6月、建設業法が43年ぶりに改正され、「解体工事業」が業種として確立した<sup>1)</sup>。

1960年頃、我が国は高度経済成長期を迎える。数多くの建築物が建てられた。しかし、その頃の建築物が老朽化や美観性の低下などで解体され、近年解体工事件数は増加している<sup>2)</sup>。設計基準強度が $60\text{N/mm}^2$ を超える高強度コンクリートを用いた建築物が1990年代から建設されているが、今では設計基準強度が $200\text{N/mm}^2$ を超える超高強度コンクリートも実用化されている。今後高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体技術が必要になると考えられる<sup>2) 3)</sup>。

しかし、これまで建物の「建築」に関する研究に重きを置いていたため、「解体」に関する研究は少なく、高強度・超高強度コンクリート構造物解体技術は未だ確立されていない<sup>4)</sup>。

本研究は、高強度・超高強度コンクリート構造物解体技術の開発を目的に、高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷を検討するものである。まず、無筋コンクリート試験体により加圧方法が破壊荷重に及ぼす影響を明らかにし、次に模擬梁部材により圧碎室内実験及び実機圧碎実験を行った。



写真-1 油圧シャベルとアタッチメント

※1 日本大学生産工学部建築工学科 教授・博士（工学）

表-1 コンクリートの調合及び性状

水セメント比 (%)	骨材	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	質量(kg/m <sup>3</sup> )			No.70 (g)	SP-8N (g)	ssp104 (g)	303A* (g)	スランプ値 (cm)	フロー値 (cm)	空気量 (%)	練り温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
			セメント	繊骨材	粗骨材										
60	大井川	185	308	836	938	771	—	—	1993	18.5	—	4.5	22.0	31.4	2.98
40	大井川	185	463	671	977	—	1852	—	3239	23.0	—	5.1	22.0	34.9	3.12
20	大井川	155	775	647	801	—	—	6200	—	58.0×56.2	8.0	20.0	103	5.46	
	飯淵	155	775	650	798	—	—	6200	—	46.6×46.0	9.5	22.0	113	5.86	
16	大井川	155	969	573	708	—	—	2980	—	70.0×68.0	7.5	21.0	138	4.90	
	飯淵	155	969	575	708	—	—	2960	—	69.0×67.5	5.8	20.5	151	3.74	
13	大井川	155	1192	603	603	—	—	35770	—	67.5×67.0	5.0	21.0	168	5.12	
	飯淵	155	1192	601	601	—	—	35770	—	59.0×58.0	3.8	21.0	211	4.37	

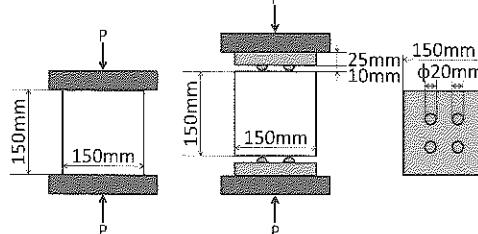


図-1 立方供試体加圧試験方法  
(左から全面加圧、四点半球加圧)

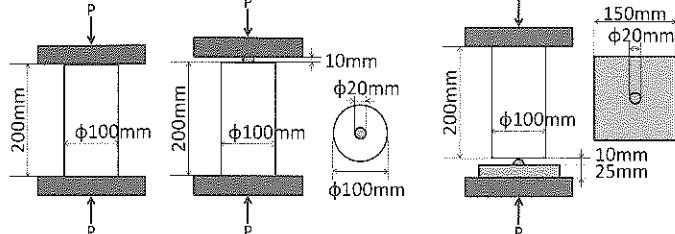


図-2 円柱供試体加圧試験方法  
(左から全面加圧、一点面加圧、一点半球加圧)

## 2. 加力方法が破壊荷重に及ぼす影響 に関する実験

### 2.1 実験概要

#### (1) 使用材料、調合および打ち込み

表-1 に示す調合表に基づき、W/C=60%、40%、20%、16%、13%のコンクリートを練り混ぜた。水セメント比40%以上では、M社製普通ポルトランドセメント、大井川水系川砂(表乾密度 2.63g/cm<sup>3</sup>)、大井川水系川砂利(表乾密度 2.64g/cm<sup>3</sup>)、水セメント比20%以下では、M社製シリカフュームプレミックスセメント、飯淵産碎石(表乾密度 2.62g/cm<sup>3</sup>)、飯淵産碎砂(表乾密度 2.65g/cm<sup>3</sup>)を使用した。化学混和剤は、表-1 に従いB社製No.70・SP-8N・303A、T社製Ssp-104を使用した。水は習志野市水道水である。150×150×150mm立方供試体鋼製型枠およびφ100×200mm円柱供試体型枠に打設した。

#### (2) 養生条件

打ち込み後、材齢3日で脱型を行い、その後、60°Cの高温室内で封緘養生を行なった。

#### (3) 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」に基づき、材齢28日に圧縮強度試験を行なった。その際、150×150×150mm立方供試体には図-1に示す全面加圧および四点半球加圧を、φ100×200mm円柱供試体では図-2に示す全面加圧、一点面加圧、一点半球加圧を行った。

#### (4) 割裂引張強度試験

JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試

験方法」に基づき、打ち込みから材齢28日後に割裂引張強度試験を行なった。

### 2.2 結果および考察

#### (1) 加圧方法と圧縮荷重の関係

図-3に150×150×150mm立方供試体に対する全面加圧荷重、四点半球加圧荷重、及びφ100×200mm円柱供試体に対する全面加圧、一点面加圧荷重、一点半球加圧荷重を、図-4に圧縮強度、割裂引張強度を示す。全面加圧に比し、小さな点で加重すると通常より小さな荷重で破壊できた。

150×150×150mm立方供試体の場合、四点半球加圧も、水セメント比が低くなる程、破壊荷重は増加したが、破壊荷重の水セメント比依存性は小さかった。

φ100×200mm円柱供試体の場合、加圧面積が小さい一点半球加圧に作用した破壊荷重が最も低く、水セメント比が13%となっても圧縮破壊荷重は100kN以下であった。

割裂引張強度は、水セメント比が低くなつても増加は小さく、割裂引張強度は10N/mm<sup>2</sup>以下であった。

#### (2) 加圧方法と加圧荷重比率の関係

図-5は150×150×150mm立方供試体およびφ100×200mm円柱供試体の全面加圧荷重を100%とした時の四点半球加圧荷重、一点面加圧荷重、一点半球加圧荷重の割合を示したものである。150×150×150mm角柱供試体の場合、四点半球加圧は水セメント比の違いによる差はあまり見られず、常に全面加圧荷重の10~

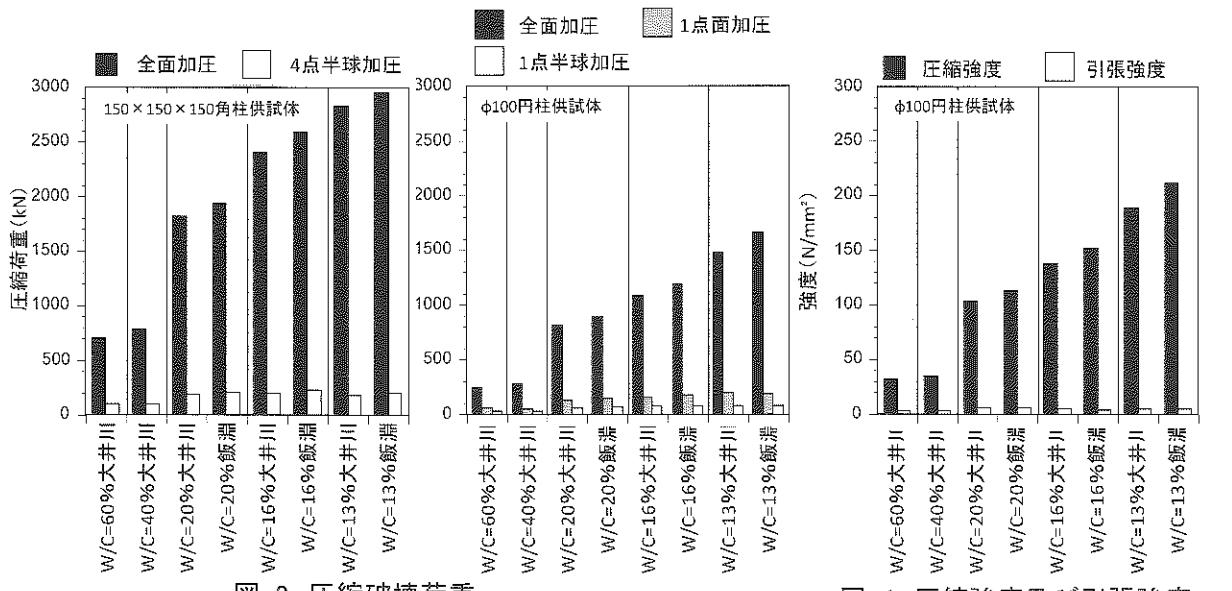


図-3 圧縮破壊荷重

15%の荷重で破壊した。  
 $\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体の場合、一点半球加压および一点面加压は水セメント比が低くなるにつれて、圧縮破壊荷重比率は低下していく。

### (3) 水セメント比 60% 試験体に対する比率

図-6 は水セメント比 60% の四点半球加压、一点面加压荷重、一点半球加压荷重それぞれを 100%とした時の比率を示したものである。

150×150×150mm 角柱供試体の場合、4 点半球加压は、水セメント比 20%以下では水セメント比 60%に比し、圧縮試験結果は 2.5 ~4.5 倍であるが、2 倍程度の破壊荷重であった。

$\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体の場合、一点面加压および一点半球加压は、水セメント比 20%以下では水セメント比 60%に比し、圧縮試験結果は 3.5~7 倍であるが、2.3~3.7 倍の破壊荷重であった。

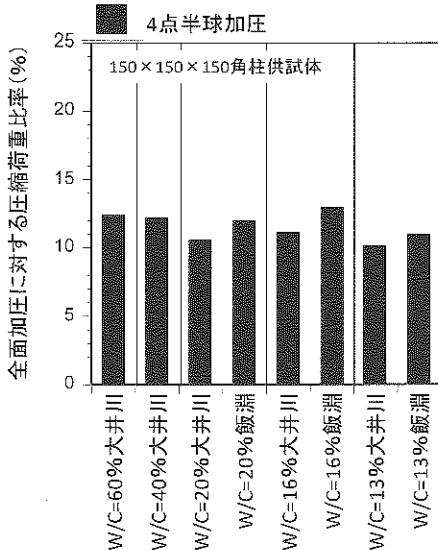


図-4 圧縮強度及び引張強度

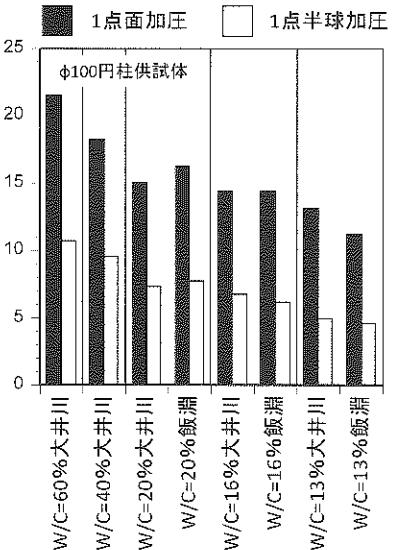


図-5 全面加压に対する比率

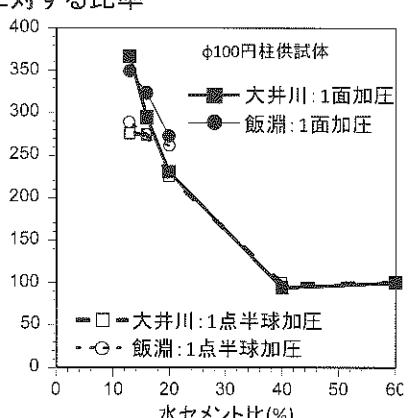
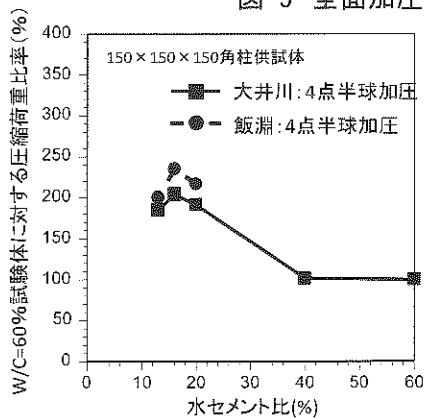


図-6 水セメント比 60% 試験体に対する比率

### 3. 模擬部材による圧碎実験

#### 3.1 試験体の作製

表-2 コンクリートの調合と性状

W/C (%)	単位 水量 (kg/m <sup>3</sup> )	質量(kg/m <sup>3</sup> )				化学混和剤(g/m <sup>3</sup> )			スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	練り温 (°C)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		引張強度(N/mm <sup>2</sup> )		
		セメント	シリカ フューム	シリカフューム ブレミックス セメント	細骨材	粗骨材	No.70	SSP104	303A			材齢28日	材齢161日 (解体時)	材齢28日	材齢161日 (解体時)	
60	185	308	-	-	765	1011	770	-	2009	19.7(スランプ*)	4.8	20.5	31.5	34.4	2.7	2.9
20	157	659	116	-	630	780	-	11070	833	72.2 × 71.4	8.1	19.5	126.5	128.9	4.8	4.8
16	164	-	-	969	578	701	-	29063	-	88.0 × 86.4	7.4	18.5	113.8	140.6	3.7	5.0
13	166	-	-	1192	491	596	-	35769	-	75.8 × 72.5	5.9	19.0	142.2	177.2	3.8	4.8

z 試験体は、梁部材を模擬したもの（300×300×900mm）とした。型枠として、鋼製型枠を使用し、鉄筋として、主筋（D19）8本、あばら筋（D10）20本使用した。配筋は、図-7示す通りとした。

コンクリートの水セメント比は、60%、20%、16%、13%とした。調合を表-2に示す。使用材料として、水セメント比20%において、M社製普通ポルトランドセメントとE社製シリカフュームを使った以外は、2.1(1)記載の通りである。

材齢28日及び解体実験時（材齢161日）における圧縮試験と引張試験の結果を表-2に併記した。

表-3は、それぞれのコンクリートにおけるW/C=60%を基準とした時の圧縮強度比、同一コンクリートにおける引張強度／圧縮強度（%）、W/C=60%を基準とした時の引張強度比を示す。

水セメント比を小さくさせることによる圧縮強度の伸びに比し、引張強度の伸びは小さく、圧縮強度が5.1倍となつても引張強度は1.6倍程度でしかなく、超高強度コンクリートの解体では引張荷重をうまく与えることが有利といえる。

### 3.2 圧碎加圧試験（室内実験）

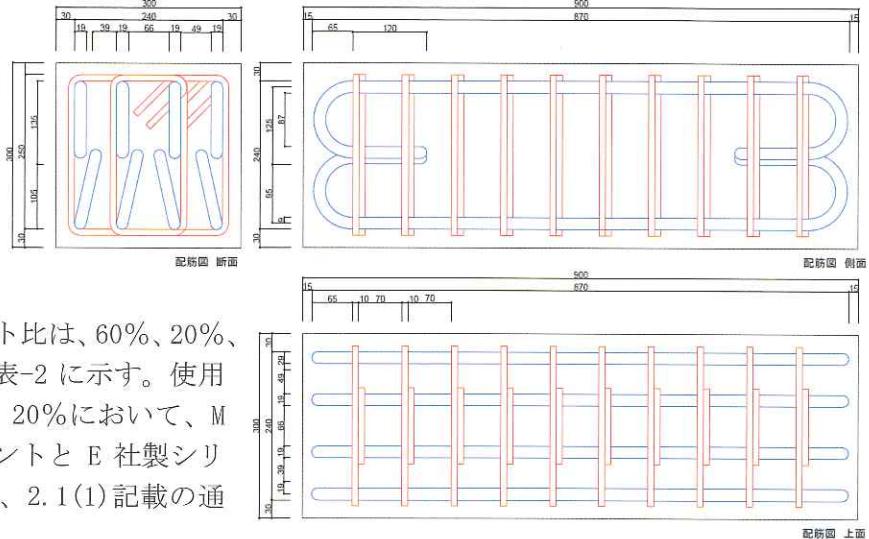


図-7 配筋

表-3 強度比（解体時：材齢161日）

W/C (%)	W/C=60%を 基準とした時 の圧縮強度比	同一コンク リートの引張 強度/圧縮強 度(%)	W/C=60%を 基準とした時 の引張強度比
60.0	1.0	8.5	1.0
20.0	3.7	3.8	1.7
16.0	4.1	3.6	1.7
13.0	5.1	2.7	1.6

表-4 圧碎荷重

W/C (%)	最大圧碎荷重 (kN)	W/C60%コン クリートに対す る最大圧碎荷 重比
60	1706	1.0
20	2395	1.4
16	2280	1.3
13	2452	1.4



写真-2 室内圧碎試験状況



写真-3 圧碎刃



写真-4 アタッチメント



写真-5 試験体とアタッチメント

写真-6 コンクリート片の飛散

表-5 実機による最大圧碎荷重

W/C (%)	最大油圧 (MPa)	最大圧碎刃 先端荷重 (kN)	W/C60% の荷重に 対する比
60	30.0	780	1.00
20	30.0	780	1.00
16	29.0	754	0.97
13	29.5	767	0.98

写真-7 W/C13%模擬梁でみられた  
力不足感(何度もかんだ後の状況)

試験体として、室内実験で圧碎試験に供した試験体を使用し、室内実験で圧碎加圧した側の反対の端 300mm の位置の中央部分に対して、梁両側面をアタッチメントでかむ形で行った（写真-5）。

## （2）実験結果

表-4 は、各試験体における最大圧碎荷重を示したものである。普通強度コンクリートに比し、超高強度コンクリートの最大圧碎荷重は大きいものの、W/C20%～W/C13%の範囲ではさほど変わらず、W/C13%の超高強度コンクリート部材で観察された最大圧碎荷重は、普通コンクリート部材（W/C=60%）における最大圧碎荷重の 1.4 倍程度でしかなかった。

## （2）実験結果

表-4 は、各試験体における最大圧碎荷重を示したものである。普通強度コンクリートに比し、超高強度コンクリートの最大圧碎荷重は大きいものの、W/C20%～W/C13%の範囲ではさほど変わらず、W/C13%の超高強度コンクリート部材で観察された最大圧碎荷重は、普通コンクリート部材（W/C=60%）における最大圧碎荷重の 1.4 倍程度でしかなかった。

## 3.3 実機による圧碎実験

### （1）実験概要

写真-1 に示す最大油圧 30MPa の油圧シャベルを用いた。アタッチメント（大割用圧碎機）として、S 社製 SDS250-SRC を用いた（写真-4）。なお、圧碎刃は新品ではなく、使いこなされた通常の状態のものを使った。30MPa 油圧がかかると刃のおおよそ 800kN の荷重がかかる。

しかしながら、かむ位置を変える、鉄筋位置に刃を当てるなど、圧碎解体過程で通常行うアタッチメントの操作により、コンクリートの亀裂発生を契機に、一挙にコンクリートが鉄筋から抜けでて圧碎解体が可能であった。破壊されたコンクリート片は、鋭利に角張っていた。

表-5 は、本実験による最大油圧、最大圧碎荷重を示している。普通コンクリートも含めて油圧ショベルの能力を最大限使っていったこと

がわかる。

### 3.4 超高強度コンクリート部材圧碎解体に関する総合的知見

#### (1) 普通コンクリート試験部材に対する超高強度コンクリート試験部材の破壊倍率

図-8は、解体時（材齢161日）におけるW/C60%の普通コンクリートに対する超高強度コンクリートの強度（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱供試体による圧縮強度、引張強度、模擬梁部材における室内実験最大圧碎荷重、実機による最大圧碎荷重）倍率を示したものである。

W/C13%コンクリートの倍率をみると、圧縮強度については5.1倍であったが、引張強度は1.6倍となり、圧碎荷重では室内実験で1.4倍、実機による実験では変わらないといえる。超高強度コンクリート部材といえども現在の圧碎解体方法が適用できるとともに、超高強度コンクリート部材こそ、圧碎による解体工法は、壊し方のメカニズムとして有利であることが明らかになった。

#### (2) 圧碎時の騒音と飛散

超高強度コンクリート部材の圧碎解体では、刃がコンクリートに入りにくく、刃がはねる現象がみられ、爆裂音といえる普通コンクリートレベルではない高音域の騒音が発生する。

また、 $\phi 100 \times 200$  圧縮強度試験同様、圧碎解体でも力をため込んで一挙に破壊するため、破壊された破片は普通コンクリートの破片と比べて鋭利であり、飛散力も大きい。

## 4. まとめ

- 高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷について、加力方法を検討した実験から、
- (1) 全面に圧縮をする場合に比し、点で加重すると、通常より小さな荷重で破壊できる。
  - (2) 小さな点として、面で加重する場合に比し、球で加重する方が小さな荷重で破壊できる。
  - (3) 一般的なコンクリート(W/C=60%)に対し超高強度域のコンクリート(W/C=20%以下)の圧縮強度が6~7倍であっても点加重同士での比率は2倍程度であった。
  - (4) 超高強度コンクリートは、強度レベルが上がっても引張強度が伸びないことを確認した。
- ことがわかった。

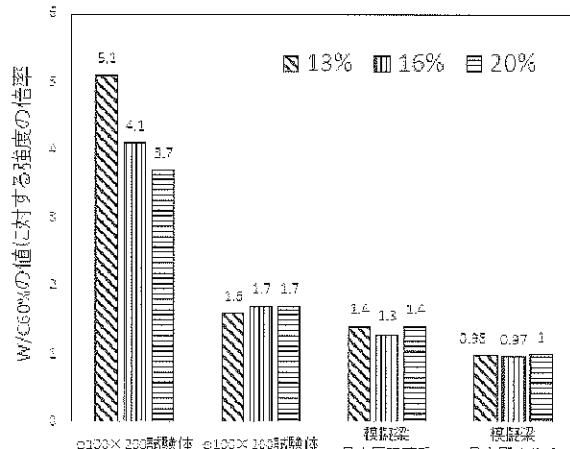


図-8 各試験のW/C=60%コンクリートに対する超高強度コンクリートの強度倍率

また、圧碎実験から

- (5) W/C20%からW/C13%の範囲では、強度レベルが上がっても室内実験における最大圧碎荷重がさほど大きくならないことを確認した。普通コンクリートに比し、超高強度コンクリートでは、圧碎荷重に対して刃の食い込み量が小さくなることを確認した。
- (6) 超高強度コンクリート部材では、圧碎により、高音域の爆裂騒音が発生すること、鋭利なコンクリート片が勢いよく飛散することを確認した。
- (7) W/C13%レベルの超高強度コンクリート部材でも現行の実機による圧碎解体工法・技術により、同じ位置ばかりをかんだのではなく圧縮荷重という意味で力が不足するともいえるが、かみ位置を変えるなどの一般的なアタッチメントの操作の範囲で、解体できることを確認した。
- (8) 超高強度コンクリート部材の解体は、圧縮強度に比べ引張強度の比が小さいことから、引張のメカニズムにより行うことが有利であるが、現行の圧碎解体工法はこの点で理に適った方法であることが理解できた。

### [参考文献]

- 1) 新時代の「解体工事業」の確立に向けた取り組みと展望：湯浅昇、積算資料 SUPPORT10月号解体特集 pp. 特集22・特集26, 2014.10
- 2) 山田久司・角一行・末吉康一：高強度コンクリートを使用した建築物の解体例、日本コンクリート工学協会、コンクリート工学、29(7), pp. 77-82, 1991.7
- 3) 長谷部廣行・鈴木信也・半田雅俊・鹿籠泰幸・和田高清：100 N/mm<sup>2</sup> 級超高強度コンクリートを使用したRC構造物の解体実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1275-1278, 2007.8
- 4) Lauritzen, E. K., (2019). "Construction, demolition and disaster waste management: an integrated and sustainable approach." Boca Raton, USA: CRC Press.

# 再生骨材製造過程で発生するコンクリート微粉末の有効利用に関する研究

湯浅 昇（日本大学生産工学部）

## 1. はじめに

解体によって生じたコンクリート塊から再生骨材を製造する際、再生骨材10トンあたり、1トン程度の微粉が発生する。将来、一般コンクリート構造物へ本格的に再生骨材が適用される時代が到来し、更に高性能再生骨材が要求される傾向が強まると、この微粉の処理・処分が深刻な問題となるのは必須であろう<sup>[1]</sup>。骨材製造時の破碎によって生じ、エアセパレータで集められる微粉は、コンクリート塊の最も弱い部分であるセメントペーストを多く含んでいると予想される。これまでにも粉碎によりあらわれる未水和セメントの新たな水和を期待し、セメントの内割及び外割で、コンクリート粉体を混入した研究<sup>[2]、[3]、[4]</sup>が多くみられる。しかしながら、その結果をみると、どれも微粉が強度発現に寄与しているとは言い難く、微粉の水和性は低いとの評価が定着しつつあり、最近では、分離低減材としての利用法を模索する研究<sup>[5]、[6]、[7]、[8]</sup>がみられようになった。

本研究では、予備実験において、加熱を行った微粉に活性が認められたので、①微粉を加熱処理した時、更に、②微粉を再粉碎処理した時のワーカビリチーおよび再水和性について、モルタルを作製し、フロー、曲げ強度、圧縮強度、長さ変化について検討する。次に、③微粉を混入したコンクリートを作製し、そのスランプ、圧縮強度を検討するものである。

## 2. 微粉の性質

使用した微粉は、一般の構造物の解体によって生じたコンクリート塊から再生骨材を製造し、リサイクルコンクリートを製造している実機プラントから、異なる日時に採取し、半日、天日で乾燥させた微粉A、微粉Bである。表-1は、微粉および実験に使用した普通ポルトランドセメントの化学成分を示したものである。微粉A、微粉Bのig. loss、insol.を除いた化学成分は、ほぼ普通ポルトランドセメントの成分と同等であった。なお、粉末X線回折の結果、微粉の構成鉱物には、石英(SiO<sub>2</sub>)、カルサイト(CaCO<sub>3</sub>)、ポルトランダイト(Ca(OH)<sub>2</sub>)がみられ、この他、微粉Aには、輝石、雲母、微粉Bには、長石の含有が認められた。

## 3. 微粉の加熱処理に関する検討

### 3. 1 微粉の加熱処理

微粉の結合水を加熱によって除去すれば、微粉の活性が増加し、再水和性が向上するものと考えられ

表-1 微粉、セメントの化学成分  
および性質

粉体の種類	微粉A	微粉B	セメント
化学成分量(%)	ig. loss <sup>*1</sup>	29.22	25.78
	insol.	29.12	33.44
	SiO <sub>2</sub>	9.37	9.75
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.81	2.76
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.12	1.32
	CaO	25.60	24.33
	MgO	1.55	0.72
	SO <sub>3</sub>	0.91	1.00
	Na <sub>2</sub> O	0.12	0.14
	K <sub>2</sub> O	0.11	0.16
	TiO <sub>2</sub>	0.15	0.10
	MnO	0.07	0.04
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.07
total	100.24	99.61	99.8
Cl <sup>*2</sup>	0.054	0.034	0.005
結合水率(%)	27.5	30.4	—
溶解率(%)	69.8	65.4	—
比重	2.17	2.15	3.16
比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	1330	1380	3260

\*1 ig. lossは1000°Cで測定

\*2 Clはtotalには含まれない

る。そこで、微粉Aを100、500、600、700、800、900、1000°Cまで加熱し、2時間保持した後、炉内で徐冷した。図-1は、加熱温度と微粉の結合水率、溶解率、比重の関係を示したものである。加熱温度の上昇に伴って結合水率は低下し、加熱温度が600°C以上であれば、微粉のほとんどの結合水を除去でき、微粉中の溶解率が低下し、比重が増加した。

### 3. 2 加熱微粉を用いたモルタルの品質

#### (1) 実験の概要

ここでは、微粉の成分のうち、10%の塩酸に2時間溶解させた時の溶解分をセメントとし、不溶残分を骨材として取り扱うこととする。

3. 1において加熱処理した微粉Aにおけるセメント分（溶解分）により、M社製普通ポルトランドセメントの5、10、20、30、40%を置換し、JIS R 5201に準じて、表-2に示すモルタル（細骨材はJIS A 5201に規定される標準砂）を練り混ぜ、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の試験体を作製した。試験体は、20°C恒温室において材齢2日まで封か養生し、材齢28日まで水中養生（20°C）した。なお、強度試験は、JIS A 5201（セメントの物理試験方法）に準じて行った。

#### (2) 結果および考察

図-2はそれぞれのモルタルのフロー値を示したものである。どの温度で加熱しても微粉の置換率が大きくなるほど、フロー値は低下し、この調合条件では、微粉の置換率はセメント分換算で20%が限界であった。なお、フロー値に及ぼす加熱温度の影響は、小さいようであった。

図-3、図-4は、それぞれ曲げ強度、圧縮強度を示したものである。非加熱及び加熱温度100、500°Cの微粉を用いると、置換率の増加に伴う強度の低下が大きいが、結合水の大半が除去できる600°C以上で加熱すると、置換率20%までは、強度低下が比較的小さかった。しかし、900、1000°Cに加熱した微粉では、

他の温度で熱処理した微粉に比し、強度が若干小さかった。Free Lime生成による影響が伺われる。

以上の結果と、処理に要する消費エネルギー抑制の観点から、微粉をセメント代替材として有効に利用するためには、600°Cで熱処理し、置換率10%（微粉のセメント分換算）以下で使用することが望ましいことがわかった。

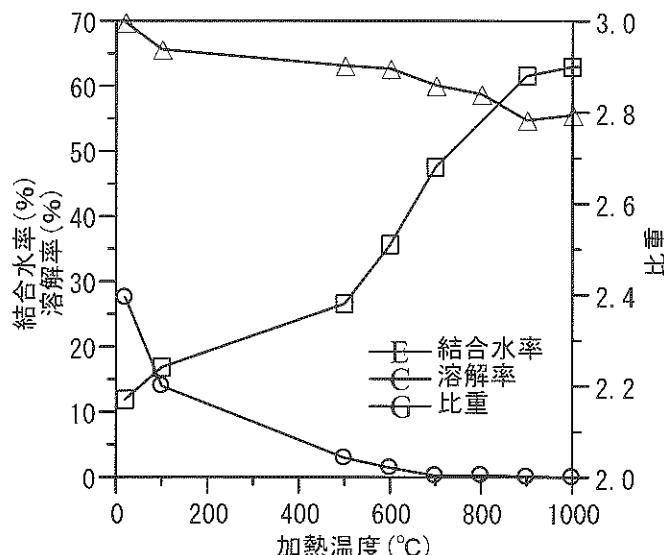


図-1 加熱温度と結合水率、溶解率および比重

表-2 加熱温度を変化させた微粉を混入したモルタルの調合

加熱温度 (°C)	微粉 置換 率 (%)	水セ メント比 (%)	骨材 セメント 比	セメントを100とした質量比				細骨 材
				セメント	水	微粉A		
				セメント 分	骨材 分	水分		
非加熱	0	50	2	100	50.0	—	—	200
	5			100	51.6	5.17	2.78	208
	10			100	53.1	10.9	5.86	216
	20			100	57.1	24.5	13.2	237
	30			100	62.1	42.0	22.6	263
100, 500, 600, 700, 800, 900, 1000	5	50	2	100	52.6	5.28	2.77	208
	10			100	55.5	11.1	5.84	216
	20			100	62.5	25.1	13.1	237
	30			100	71.3	42.9	22.5	263
	40			100	83.3	66.9	35.1	298

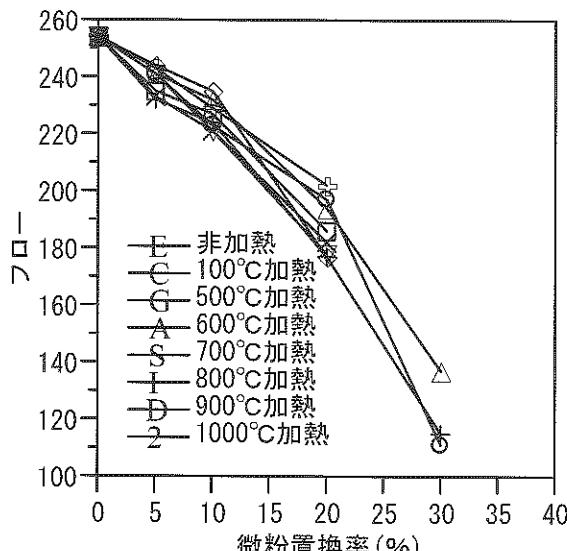


図-2 微粉置換率とフロー

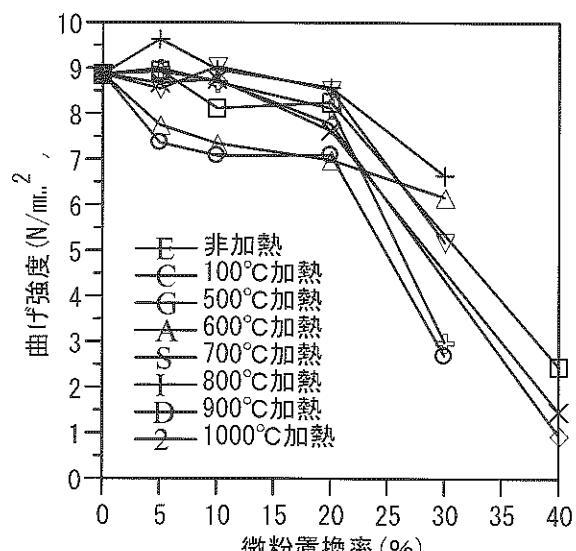


図-3 微粉置換率と曲げ強度

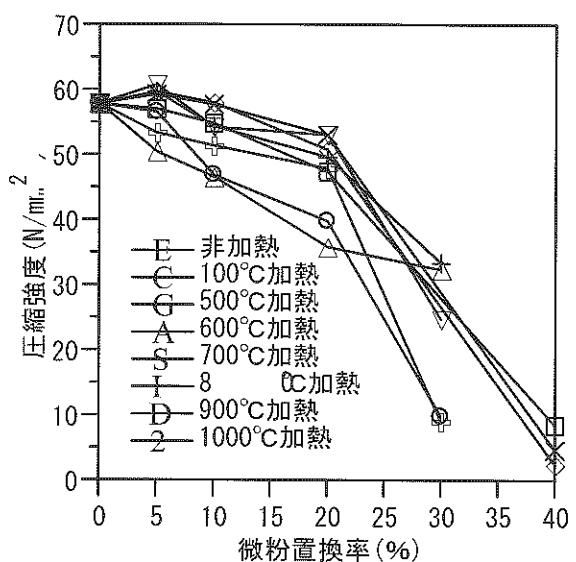


図-4 微粉置換率と圧縮強度

#### 4. 微粉の再粉碎処理に関する検討

##### 4. 1 再粉碎処理

加熱微粉を粉碎すれば、微粉の活性は更に増加し、再水和性が向上するものと思われる。また、微粉の形状は丸みを帯び、流動性の向上も期待できる。そこで、600°Cで加熱後の微粉Bを試験用ルーレットミルで、1、3、10分間粉碎した。

##### 4. 2 再粉碎処理した微粉を用いたモルタルの品質

###### (1) 実験の概要

4. 1において粉碎処理した微粉B（600°C加熱後における溶解率は55.7%）、M社製普通ポルトランドセメント、JIS A 5201に規定される標準砂を用いて、表-3に基づき、モルタルをJIS R 5201に準じて $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の試験体を作製した。試験体は、20°C恒温室において材齢1日まで封かん養生し、その後、材齢7、28日まで水中養生（20°C）した。

###### (2) 結果および考察

図-5は、微粉置換率とフロー値の関係を示したものである。粉碎時間の増加に伴い、フロー値の低下が小さくなることがわかった。微粉の再粉碎は、モルタルの流動性を高めることが確認できた。

図-6、図-7は、それぞれ曲げ強度、圧縮強度を示している。粉碎により、強度は改善され、むしろ置換率の増加とともに高くなる傾向となった。これは、再粉碎により、微粉がセメントよりも微細化（3分間で比表面積 $10,450\text{ cm}^2$ ）されたこと、セメント

表-3 粉碎時間を変化させた微粉を混入したモルタルの調合

微粉置換率 (%)	水セメント比 (%)	骨材セメント比	セメントを100とした質量比				
			セメント		微粉B		細骨材
			セメント分	水分	セメント分	骨材分	
0			100	50.0	—	—	300
5	50	3	100	52.6	5.20	4.14	311
10			100	55.6	11.1	8.44	325

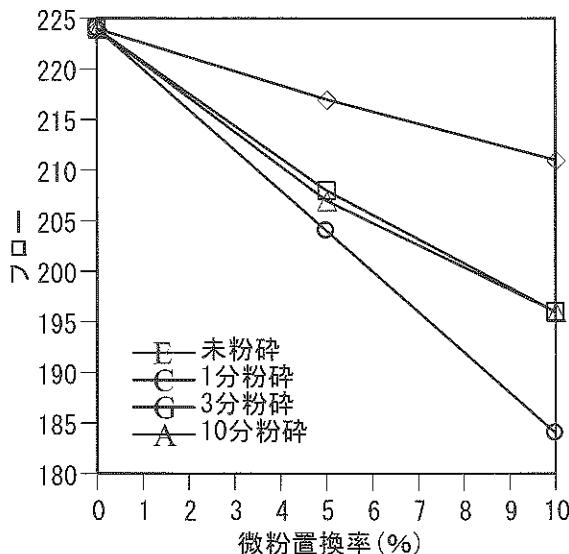


図-5 微粉置換率とフロー

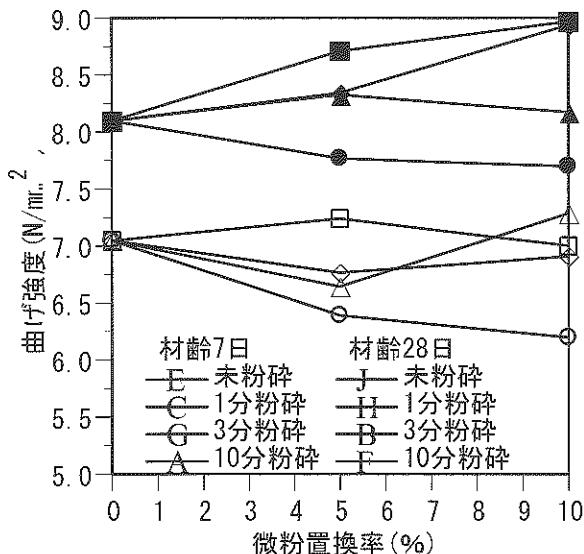


図-6 微粉置換率と曲げ強度

分とともに微細された微粉中の骨材分によるフィラー効果によるものと思われる。

また、強度発現の推移をみると、粉碎を行わない場合は、行う場合に比し、材齢28日強度に対する材齢7日強度の比率が小さいことがわかる。

以上の結果、本実験条件では微粉をセメント代替材として有効に利用するには、処理に要する消費エネルギー抑制の観点も考慮すると、微粉を600°Cで熱処理した後、更に3分間粉碎処理（比表面積10,450 cm²）を行い、置換率10%（微粉のセメント分換算）程度で使用することが望ましいことがわかった。

## 5. 加熱粉碎した微粉を用いたコンクリートの品質

### 5. 1 実験概要

ここでは、微粉を600°Cで熱処理した後、比表面積10,450 cm²まで粉碎し、これをセメントの代替材として、10%置換（微粉のセメント分換算）したコンクリートにおける微粉の再水和性について検討する。

実験では、表-4に示すように、①微粉を含まないスランプ18cm、空気量4.5%の普通コンクリート（M社製普通ポルトランドセメント（比重3.16）、大井川水系川砂（表乾比重2.62、粗粒率2.83）、大井川水系川砂利（表乾比重2.66、粗粒率6.96）及び化学混和剤（リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体を主成分としたA-E減水剤、アリキルアリルスルホン化合物系陰イオン活性剤を主成分とした空気調整剤）を使用）の調合に基づき、セメントの10%を、600°Cで熱処理し3分間粉碎した微粉B（比表面積10,450 cm²）中のセメント分により代替した。②のコンクリートは、①のコンクリートと同一調合の微粉入りのもの、③のコンクリートは、①と同等のスランプ、空気量となるように化学混和剤を用いて調整したもの、④のコンクリートは、①と同等のスランプ、空気量となるように単位水量と空気調整剤で調整したものである。

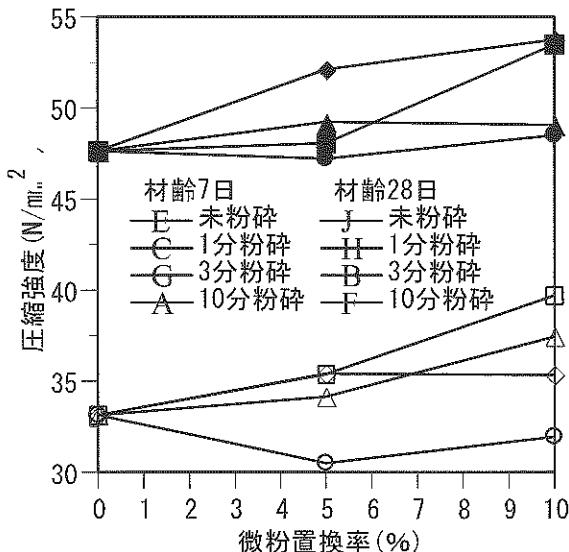


図-7 微粉置換率と圧縮強度

表-4 微粉を混入したコンクリートの調合

*1 調合種	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	質量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(g/m <sup>3</sup> )			空気量 (%)	スランプ (cm)	練り温 (°C)			
				セメント セメント 分	微粉B		細骨材	粗骨材	*2 AE減水剤 (g/kg)	*3 No.303A (g/kg)						
					セメント 分	骨材 分										
①	60	48.5	165	275	—	—	893	956	688 (2.50)	1145 (4.16)	4.8	18.1	19.0			
②			165	247.5	27.5	20	873	956	688 (2.50)	1145 (4.16)	2.1	13.6	19.0			
③			165	247.5	27.5	20	873	956	1727 (6.28)	2289 (8.32)	4.4	18.3	19.0			
④			171	256.5	28.5	21.5	860	943	713 (2.50)	2803 (9.80)	4.2	18.5	19.0			
⑤		46.0	165	247.5	27.5	16.5	831	1002	2750 (10.0)	67 (0.244)	4.4	18.0	23.0			
⑥			165	247.5	—	48	827	1002	688 (2.50)	820 (2.98)	4.3	18.0	23.0			

\*1 ①普通コンクリート(水セメント比60%、単位水量165kg/m<sup>3</sup>、スランプ18cm、空気量4.5%)

②加熱粉碎微粉置換コンクリート(①と同一調合)

③加熱粉碎微粉置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

④加熱粉碎微粉置換コンクリート(②の単位水量、空気調整剤添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

⑤乾燥微粉置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

⑥標準砂置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

\*2 調合種①～④、⑥はN社製AE減水剤No.70(リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体)を使用

調合種⑤(乾燥微粉置換コンクリート)はN社製高性能AE減水剤SP-8N(ポリカルボン酸エーテル系複合体)を使用

\*3 No.303A: N社製空気調整(增量)剤(アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤)1%溶液

また、⑤のコンクリートは、微粉を40°Cで恒量となるまで乾燥(溶解率62.6%)し、これを①と同等のスランプ、空気量となるように化学混和剤で調整したもの、⑥のコンクリートは、③のコンクリートにおいて、加熱粉碎微粉の替わりに標準砂を混入し、①と同等のスランプ、空気量となるように化学混和剤で調整したものである。

φ10×20cmの圧縮試験用供試体は、20°C恒温室にて、材齢1、7、28、91日まで封かん養生し、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験に供した。

## 5. 2 ワーカビリチー及び化学混和剤の使用量

①のコンクリートに比し、②のコンクリートのスランプは4.5cm小さくなり、空気量は2.7%減少した。加熱粉碎微粉のセメント代替使用は、ワーカビリチーを低下させ、空気の混入量を減少させる。

③のコンクリートの化学混和剤使用量をみると、同じ調合で、同等のスランプ、空気量を確保するには、AE減水剤を2.5倍、空気調整剤を2倍用いる必要があった。李・坂井・大門・長瀧らの研究<sup>[4], [5]</sup>によれば、再生微粉末は、未水和セメントに比し、減水剤の吸着量が大きいことが知られている。微粉の形状に加え、結果に及ぼす重要な要因となったと思われる。

また、④のコンクリートでは①に対し、単位水量を6kg/m<sup>3</sup>高め、空気調整剤をセメント比換算で2.35倍用いなければならなかった。

しかしながら、これらの結果をみると、加熱粉碎微粉のセメント分をセメントに10%置換して使用し、同等のスランプ、空気量を確保するためにあらたに必要な化学混和剤量あるいは単位水量は、現実的な範囲であり許容できるものと考える。

## 5. 3 加熱粉碎微粉の再水和性

図-8は、①、③、④、⑤、⑥のコンクリートの若材齢における強度発現状況を示している。⑥のコンクリートの強度変化を、加熱粉碎微粉が再水和性を全く持たない場合に予想される強度変化を考えると、②、③のコンクリートの強度ははるかに大きく、①の未水和セメント100%の基準コンクリートに対しても若干大きい結果を示している。加熱粉碎微粉のセメント分は強度発現に寄与し、未水和セメントとほぼ同等の水和性をもっていることがわかる。これらの結果に対し、微粉を40°Cで恒量となるまで乾燥(溶解率62.6%)し、セメントに10%置換した④のコンクリートの強度は、⑥のコンクリートよりも大きいものの、①のコンクリートの強度には及ばなかった。

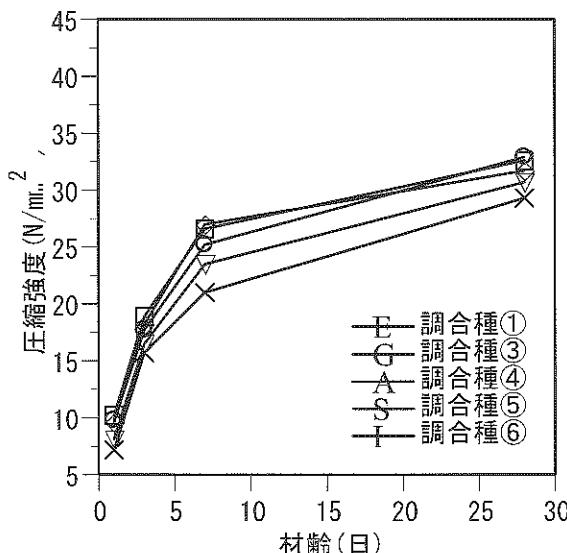


図-8 材齢と圧縮強度

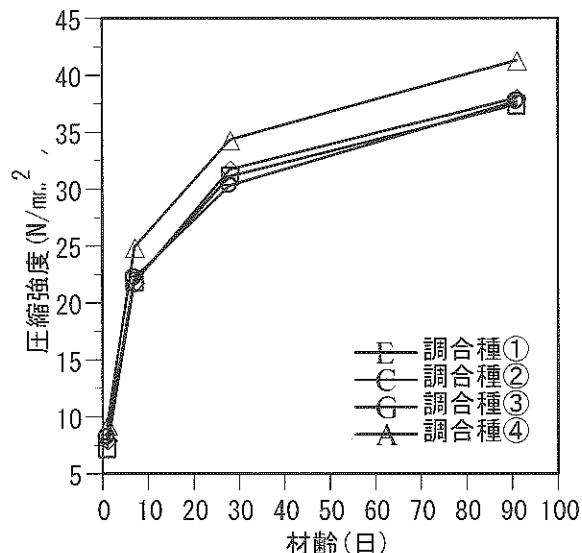


図-9 材齢と圧縮強度

図-9は、①、②、③、④の材齢3ヶ月までの強度変化を示している。①、③、④のコンクリートの強度発現はほぼ等しいことがわかる。なお、②のコンクリート強度がこれら3者のコンクリートよりも上回るのは、小さい値を示した空気量の影響と考えられる。

## 6. まとめ

- 再生骨材製造過程で発生する微粉の有効利用を検討した結果は、下記の通りである。
- (1) 微粉を600°Cで加熱し、更に3分間ルーレットミルで粉碎（比表面積10,450cm<sup>2</sup>）したものは、セメントの代替材として有効に利用できる可能性がある。
  - (2) 有効な微粉の利用を考えると、処理微粉のセメント代替率（微粉のセメント分換算）は10%程度までが望ましい。
  - (3) (1)の処理微粉を(2)で示した範囲で代替し、モルタル、コンクリートに混入した場合、ワーカビリチーの低下、空気量の減少がみられる。ただし、これらは、現実的な範囲における混和剤の增量もしくは単位水量の増加で対応可能である。
  - (4) (1)の処理微粉を(2)で示した範囲で代替し、モルタル、コンクリートに混入した結果、微粉のセメント分がセメントと同等に強度発現に寄与していることが確認された。

## 謝辞

立石建設工業㈱ならびに宇部三菱マテリアルセメント研究所に協力いただいた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1]笠井芳夫：建設副産物の再利用の障壁とコンクリート塊の再利用の現状、骨材資源通巻、No.118、pp.77-86、1998
- [2]毛見虎雄・中田善久・荒井光興・古川猛：コンクリート微粉末のリサイクル化に関する研究、第48回セメント技術大会講演集、pp.544-549、1994
- [3]毛見虎雄・中田善久・西山直洋・平石信也・古川猛：再生粉体を混入したコンクリートの性状、第49回セメント技術大会講演集、pp.406-411、1995
- [4]李琮揆・坂井悦郎・大門正機・長瀧重義：再生微粉末の水和と吸着特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21 No.1、pp.193-198、1999
- [5]毛見虎雄・宮池隆・中田善久・高野肇：再生粉体を用いた高流動コンクリートの性状、第50回セメント技術大会講演集、pp.340-341、1996
- [6]毛見虎雄・宮池隆・中田善久・西山直洋：再生粉体を用いた高流動コンクリートの実大施工実験、第50回セメント技術大会講演集、pp.342-343、1996
- [7]星野穂・荒島猛・嵩英雄：再生骨材微粉を混和した高流動コンクリートの諸性質、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp.163-164、1999
- [8]李琮揆・坂井悦郎・大門正機・長瀧重義：再生微粉末を混和したセメント・モルタルの性質、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.22 No.2、pp.1117-1122、2000

(公社)全国解体工事業団体連合会2019年度解体工事に係る研究助成金報告書梗概  
**フライアッシュを利用したコンクリート塊の  
 再資源化に関する実用化研究**

2020年5月29日

名城大学理工学部環境創造工学科  
 道正 泰弘 (Doshio Yasuhiro)

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■コンクリート塊と再生骨材

2

■ 目的

- ⇒ 低品質再生骨材コンクリートについて安定的な利用拡大の実現
- ⇒ 再生骨材置換率の調整、フライアッシュ(FA)、高炉スラグ微粉末(BFS)といった汎用的な混和材の効果的な利用によるコンクリートの品質改善
- 災害廃棄物として半減期の長い放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ :約30年)を含んだ構造物の解体を想定
- ⇒ Csが付着した再生骨材を使用した場合の溶出抑制効果検討



■コンクリート塊の構成

→元の粗骨材(原骨材)にモルタル(付着モルタル)やセメントペースト(付着ペースト)が付着

■原骨材の問題点

→アルカリシリカ反応性をもつ骨材が使用されていた可能性有り。

→1986年以前は評価することが推奨されていなかったため、評価が行われていない場合が多い。

■付着モルタル、付着ペーストの問題点

→微量成分(六価クロム等)溶出の可能性有り。

→再生細骨材、微粉のように付着モルタル、付着ペースト分の含有が多い状態を避ける。

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■ 結合材

3

- 普通ポルトランドセメント(JIS R 5201) : N
- フライアッシュⅡ種(JIS A 6201) : FAII-1, FAII-2
- 高炉スラグ微粉末4000(JIS A 6206) : BFS-1, BFS-2

品質項目	N	FAII-1	FAII-2	BFS-1	BFS-2
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.16	2.30	2.29	2.91	2.91
ブレーン値 (cm <sup>2</sup> /g)	-	3740	3570	-	-
比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	3300	-	-	3950	4260
湿分 (%)	-	0.5≥	0.5≥	-	-
MB吸着量 (mg/g)	-	0.29	0.23	-	-
SiO <sub>2</sub> (%)	-	59.7	60.1	-	-
MgO (%)	1.49	0.95	1.69	5.75	5.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	-	28.45	22.37	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	-	4.38	6.07	-	-
CaO (%)	-	2.10	4.18	-	-
SO <sub>3</sub> (%)	2.13	-	-	2.07	2.09
Cl <sup>-</sup> (%)	0.011	-	-	0.004	0.004
強熱減量 (%)	2.29	2.2	1.8	-	0.08
91日活性度指數(%)	-	-	-	121	116
フロー値比 (%)	-	-	-	103	100
Na <sub>2</sub> O (%)	0.35	-	1.43	-	0.29
K <sub>2</sub> O (%)	0.56	-	1.00	-	0.26

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■ 原コンクリートと再生骨材の品質

4

- 再生細骨材(RLS), 再生粗骨材(RLG) : 建築物(詳細は不明)の解体からの発生物を原コンクリートとして, 再生骨材製造工場において破碎・分級等により製造
- 普通骨材 : 摂斐川産川砂(NS1, NS2), 春日井産硬質砂岩碎石2005(NG1, NG2)
- RLS : 吸水率12.31%, 微粒分量5.4%, 不純物量の合計は0.16mass%
- ⇒ JIS A 5023附属書Aの規定を満足
- RLG : 絶乾密度2.29g/cm<sup>3</sup>, 吸水率5.34%, 微粒分量1.0%, 不純物量の合計は0.2mass%
- ⇒ JIS A 5023附属書Aの規定を満足
- 再生骨材のアルカリシリカ反応性の区分 : B

種類	原コンクリート*	製造方法
再生細骨材L:RLS	建築物(詳細不明)	破碎・分級
再生細骨材L:RLG		

※マニュフェストおよび製造工場へのヒヤリングにより確認

品質項目	試験方法	NS1* <sup>1</sup>	NS2* <sup>1</sup>	NG1* <sup>2</sup>	NG2* <sup>2</sup>	RLS	RLG
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	JIS A 1109	2.59	2.56	2.65	2.63	1.95	2.29
吸水率(%)	JIS A 1110	1.24	1.67	0.65	0.94	12.31	5.34
粗粒率(F.M.)	JIS A 1102	2.61	2.42	6.65	6.69	3.29	6.49
微粒分量(%)	JIS A 1103	4.6	2.9	0.8	0.3	5.4	1.0
実積率(%)	JIS A 1104	65.9	65.3	60.8	63.7	64.1	60.9
粒形判定実積率(%)	JIS A 5005	-	-			60.0	60.0
不純* <sup>3</sup>	A					0.14	0.1
物量 (mass%)	C	JIS A 5023				0.02	0.1
合計						0.16	0.2

※1 : 摂斐川産川砂 ※2 : 春日井産硬質砂岩碎石2005

※3 : A~Gの分類はJIS A 5023附属書Aによる。

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの調合-1

5

- 水結合材比は55%一定
- RLGの置換率は0%, 25%, 50%, 75%, 100%の5水準
- RLSの置換率は0%, 25%, 50%, 75%, 100%の5水準
- N：結合材としてNのみを使用したコンクリート 15種類
- 目標スランプ：18±2.5cm, 目標空気量：4.5±1.5%
- 単位水量は175kg/m<sup>3</sup>を基準としたが, BFSを用いたものは試し練りにより2%低減。
- 化学混和剤：変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系AE減水剤(高機能タイプ)
- 空気量調整剤：樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤, 消泡剤：ポリエーテル系抑泡剤

種類	調合条件						
	結合材 の種類	混和材 使用量	置換率(%)		W/B (%)	s/a (%)	
			RLG	RLS			
NGNS-55	N	-	0	0	55	46.3	175
NGRLS25-55				25			
NGRLS50-55				50			
NGRLS75-55				75			
NGRLS100-55				100			
RLG25NS-55			25	0			
RLG25RLS25-55				25			
RLG25RLS50-55				50			
RLG25RLS75-55				75			
RLG50NS-55			50	0			
RLG50RLS25-55				25			
RLG50RLS50-55				50			
RLG75NS-55			75	0			
RLG75RLS25-55				25			
RLG100NS-55			100	0			

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの調合-2

6

- FAII：細骨材の一部を置換して使用(砂代替) N+FAIIに対して20%を置換 10種類
- BFS：高炉セメントB種相当として、セメント質量に対して40%置換 10種類

種類	調合条件							
	結合材 の種類	混和材 使用量	置換率(%)		W/B (%)	s/a (%)		
			RLG	RLS				
FANGNS-55	N, FAII	FAII=( (N+FA) ×20%	0	0	55	43.4	175	
FANGRLS50-55				50				
FANGRLS100-55				100				
FARLG25NS-55			25	0				
FARLG25RLS75-55				75				
FARLG50NS-55				0				
FARLG50RLS50-55			50	50				
FARLG75NS-55				0				
FARLG75RLS25-55				25				
FARLG100NS-55			75	0				
BFSNGNS-55	N, BFS	BFS= N×40%		0	46.4	172		
BFSNGRLS50-55				50				
BFSNGRLS100-55				100				
BFSRLG25NS-55		25	0					
BFSRLG25RLS75-55			75					
BFSRLG50NS-55			0					
BFSRLG50RLS50-55		50	50					
BFSRLG75NS-55			0					
BFSRLG75RLS25-55			25					
BFSRLG100NS-55		75	0					
BFSRLG100NS-55			25					
BFSRLG100NS-55		100	0					

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■溶出抑制：セメントペースト試料の配合

7

- セメントはN単味(N)
- フライアッシュ：フライアッシュセメントB種およびC種相当
- ⇒ セメント質量に対しFAIIを15%および25%置換したセメントペーストの試料(FA15, FA25)
- 高炉スラグ微粉末：高炉セメントA種, B種, C種相当
- ⇒ セメント質量に対しBFSを20%および40%置換した試料(BFS20, BFS40)
- セシウム源として特級試薬の塩化セシウム(CsCl, 比重:3.988)を練混ぜ水に溶解
- 試料の水結合材比(W/B)：練混ぜ後のブリーディングの発生を避けるために30%
- 練混ぜ水には、水道水を粗ろ過、逆浸透膜、イオン交換、254nmUV照射で処理した純水

(質量比:%)

試料名	N	FA15	FA25	FA30	FA50	FA70	BFS20	BFS40	BFS70
	-	FB相当	FC相当		大量使用		BA 相当	BB 相当	BC 相当
<b>養生条件</b>									
50°C水中									
N	100	85	75	70	50	30	80	60	30
FAII-1	-	15	25	-	-	-	-	-	-
FAII-2	-	-	-	30	50	70	-	-	-
BFS-1	-	-	-	-	-	-	20	40	-
BFS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	70
W*	30	30	30	30	30	30	30	30	30
CsCl	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

※ W (kg/m³) = W (kg/m³) + W (kg/m³) × 0.3% (CsCl)

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■溶出抑制：モルタル試料の配合

8

- セメントはN単味(N)
- フライアッシュ：フライアッシュセメントB種およびC種相当
- ⇒ セメント質量に対しFAIIを15%および25%置換したセメントペーストの試料(FA15, FA25)
- 高炉スラグ微粉末：高炉セメントA種, B種, C種相当
- ⇒ セメント質量に対しBFSを20%および40%置換した試料(BFS20, BFS40)
- セシウム源として特級試薬の塩化セシウム(CsCl, 比重:3.988)を練混ぜ水に溶解
- 試料の水結合材比(W/B)：練混ぜ後のブリーディングの発生を避けるために30%
- 練混ぜ水には、水道水を粗ろ過、逆浸透膜、イオン交換、254nmUV照射で処理した純水

(質量比:%)

試料名	NS-1	NS-2	FA30S	FA30FS20	FA30FS40	BFS70S
	-	-	FC相当	FC相当, 砂代替		BC相当
<b>養生条件</b>						
水中浸漬試験、細孔径分布	20°C 水中			50°C水中		
結合材(B)	圧縮強度、促進中性化*	20°C 水中	50°C 水中	20°C水中		
	N	100	100	70	70	30
	FAII-2	-	-	30	30	-
FAII-2**	BFS-2	-	-	-	-	70
	S***	100	100	100	11	29
	W	50	50	50	50	50
CsCl****	試験体中:0.063% 原子量CsCl: 168.358, Cs:132.905, Cs(0.05%)×168.358/132.905=0.063%					

※1: 前養生の温潤養生を示す。※2: FAII-2を(B+FAII-2)に対し、砂代替で置換した。※3: 新城産硬質砂岩碎砂(絶乾密度:2.61g/cm³, 吸水率: 1.37%), ※4: 試験体中で0.05%のCs濃度となるよう練混ぜ水に混入(W/kg/m³) × 0.5%

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■試験項目、試験方法

- フレッシュ性状：スランプ、空気量、単位容積質量、コンクリート温度、塩化物含有量
- 硬化性状：圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率、促進中性化、凍結融解
- 溶出抑制：pH、電気伝導率(EC)、Cs、細孔径分布

試験項目	試験方法	備考
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	単位容積質量	JIS A 1116
	コンクリート温度	JIS A 1156
	塩化物含有量	JIS A 5023 電極電流法による
硬化性状	圧縮強度	JIS A 1108
	静弾性係数	JIS A 1149 材齢4週、13週
	長さ変化率	JIS A 1129-3
	促進中性化深さ	JIS A 1153
	耐久性指数	JIS A 1148 A法
溶出抑制	pH	JIS Z 8802
	EC(電気伝導度)	JIS K 0130 養生期間4週: 材齢4週、8週※、12週時に測定
	Cs	JIS K 0133 養生期間12週: 材齢4週時、12週時に測定
	細孔径分布	水銀圧入法

※細孔径分布は除く。

全国解体工事業団体連合会 2019

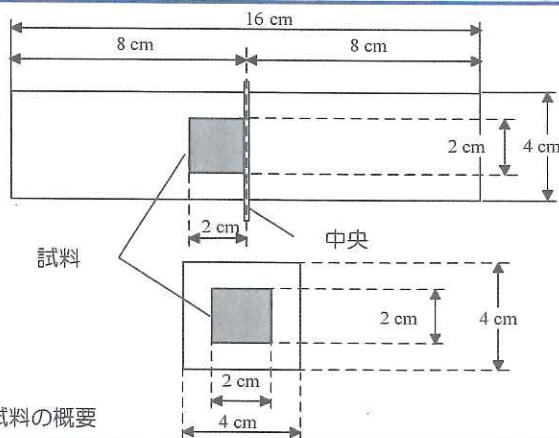
## ■溶出抑制試験方法

### ■ 試料の作製および養生

- 5L練りホバート型モルタルミキサ(JIS R 5201 9.2.3)を使用
- 4cm×4cm×16cmのモルタル供試体成形用型で成形後、湿気箱にて24時間養生後に脱型
- 水道水で満たした50°Cの恒温水槽にて、4週、12週の養生
- 養生後は、4cm×4cm×16cm供試体の中心部近傍から2cm×2cm×2cmの立方体を1個切り出し、浸漬試験用試料として用意。試料は水準毎に4個作製(内1個は細孔径分布測定用)

### ■ 浸漬試験方法

- 浸漬液：超純水(比抵抗値18.2MΩ・cm)
- 試料は2cm角の試料を500mlの超純水に浸漬し、恒温恒湿室(20°C、湿度60%)に設置した窒素ガスを充填したグローブボックス内で保管
- 保管中は定期的に容器内の浸漬液を攪拌
- 浸漬液：誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)にて分析

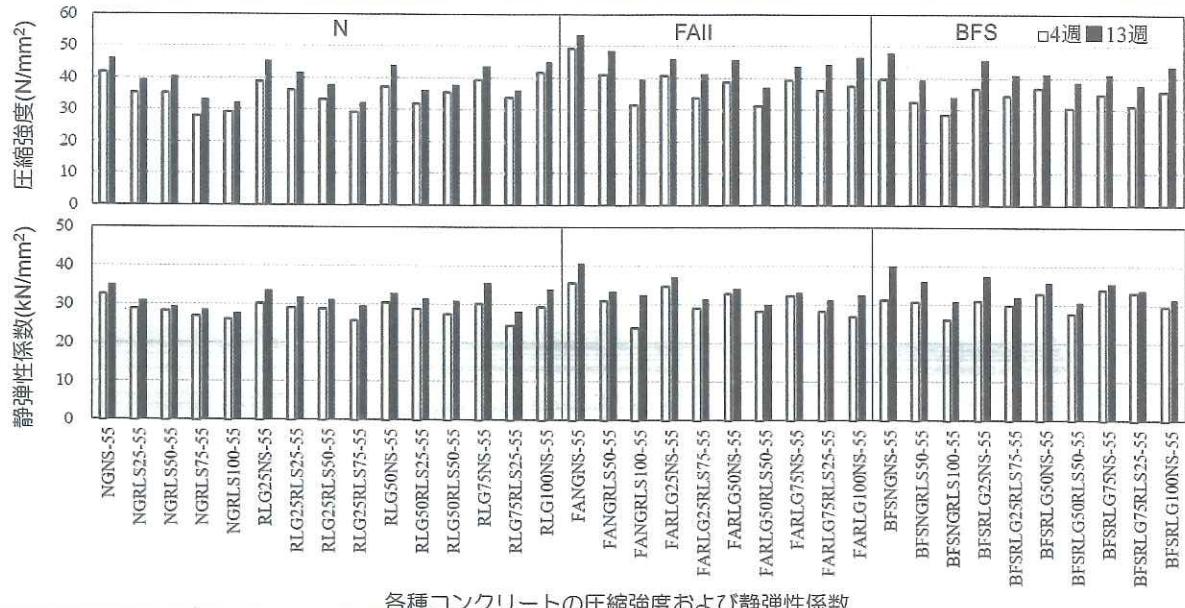


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの圧縮強度・静弾性係数

11

- 圧縮強度は、再生骨材の置換率の影響が明確にみられた
- ⇒ RLSを50%以上混入したものは顕著
- FAIIを砂代替で混入した場合、Nに対して材齢13週時にかけての強度発現が大きくなる
- BFSをBB相当で用いた場合、材齢13週時はNとほぼ同等
- ⇒ 再生細骨材Lの置換率が大きい場合でも混和材の使用により、長期強度の低下を低減
- 静弾性係数については、圧縮強度と同様の傾向

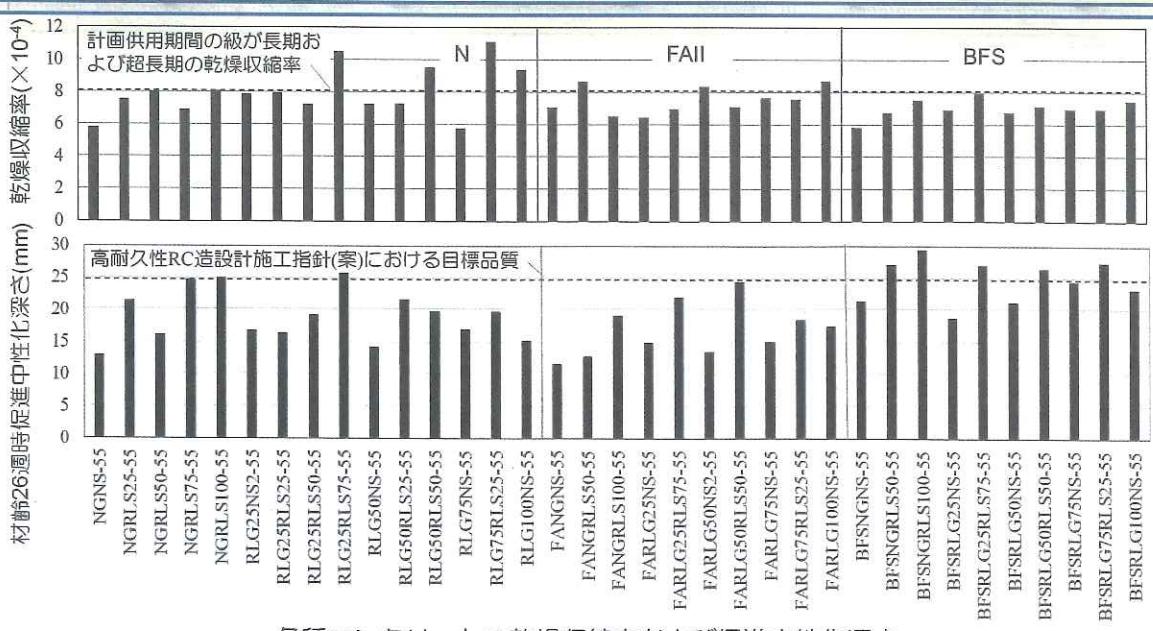


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの乾燥収縮・促進中性化

12

- 乾燥収縮：全体的にRLSとRLGを併用し、いずれか50%以上置換したものが大きくなる
- 再生骨材コンクリートMに規定された置換率の範囲内、高炉セメントB種(BB)相当の使用
- ⇒ 所要の品質が確保できる
- 促進中性化：相対的にRLSを50%以上、RLGを75%以上置換したものが大きくなる
- FAIIを砂代替で一定量使用
- ⇒ 結果的に結合材量が増え長期強度が増進したことにより、中性化は遅くなる

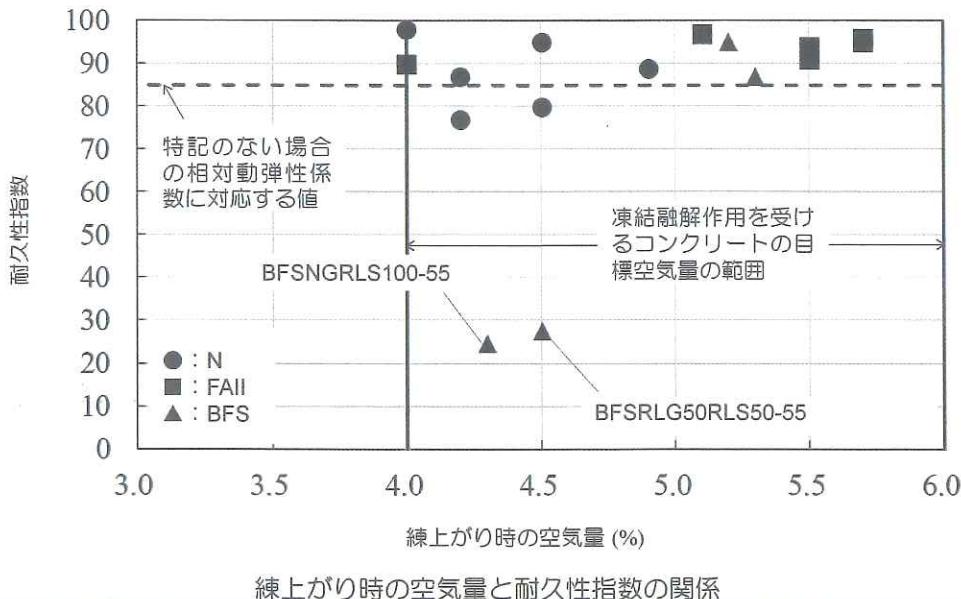


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの凍結融解

13

- 練上がり時のフレッシュコンクリートは、凍結融解作用を受けるコンクリートの目標空気量4.0～6.0%(4.5±1.5%かつ空気量の下限値4.0%)の範囲
- ⇒ 再生骨材の置換率に係わらず、耐久性指数は、おおむね80以上
- BFSを用いたコンクリート
- ⇒ RLSの置換率が50%以上では、30以下と大幅に低下
- ⇒ 経時に伴う空気量の低下傾向を考慮



全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの性能評価-1

14

- 相対品質値法(JIS A 5022：再生骨材コンクリートM 解説)
  - ⇒ 普通骨材と再生骨材の主要物性(吸水率等)と置換率から相対品質値を算出
  - ⇒ コンクリートの主要な性能との相関性を評価
  - ⇒ 既往実験等の結果から実験式を導き、乾燥収縮や中性化を考慮した要求品質の閾値に対応する強度域の計画調合を設定し、製造工場で検証した後、最終調合を決定
  - ⇒ 乾燥収縮や耐久性の評価を包含した性能設計が可能
- FAを砂代替として利用したことから主要物性には吸水率と相関性の高い密度を用い、式(1)に示す相対密度(容積比)を算出し、コンクリートの主要な性能との関係を評価
- 圧縮強度において、Nでは材齢4週、FAIIとBFSは材齢13週で評価するなど、混和材の影響を明確化するため、いずれの性能も結合材ごとに関係式を作成

$$Qdt = \frac{a \cdot QdvG + b \cdot QdvN + c \cdot QdrG + d \cdot QdrN + e \cdot QFA}{a + b + c + d + e} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $Qdt$ :骨材の相対密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$QdvG$ :普通粗骨材の絶乾密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$QdvN$ :普通細骨材の絶乾密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$QdrG$ :再生粗骨材の絶乾密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$QdrS$ :再生細骨材の絶乾密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$QFA$ :フライアッシュの密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

a, b, c, d:使用骨材の絶対容積( $\text{L}/\text{m}^3$ )

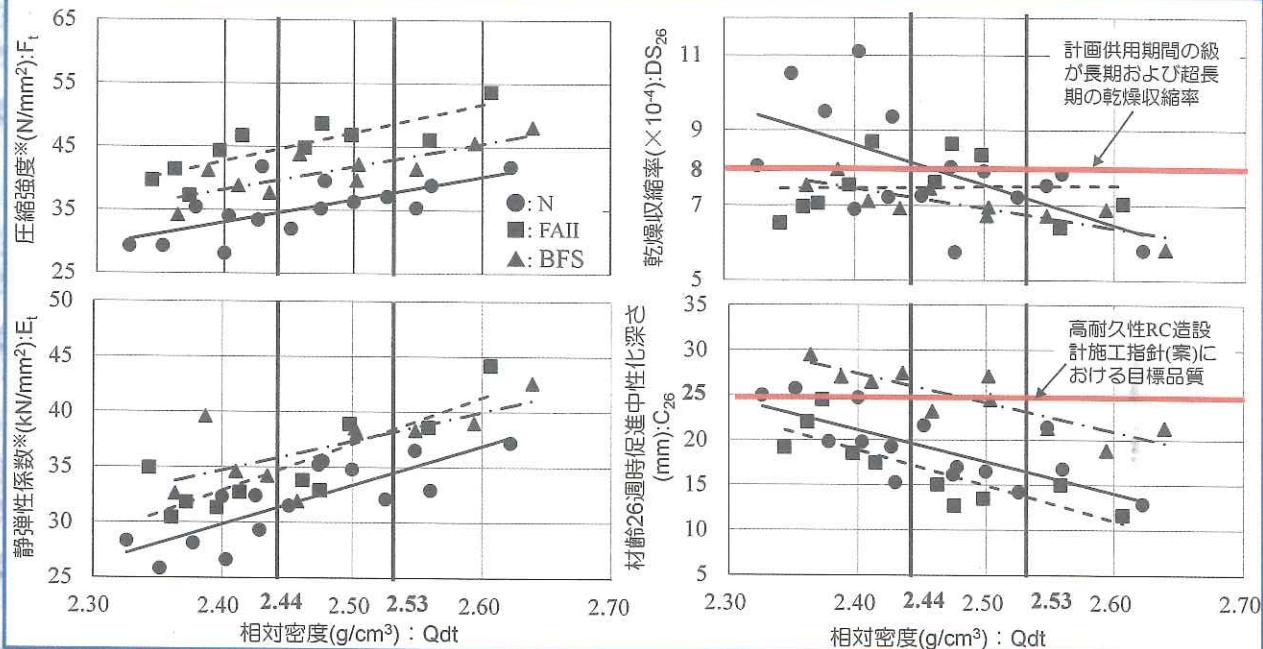
e:フライアッシュの絶対容積( $\text{L}/\text{m}^3$ )

全国解体工事業団体連合会 2019

## ■再生骨材コンクリートの性能評価-2

15

- 全体的に相対密度が小さくなるのに伴いコンクリートの主要な性能は低下
- 圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮率(FAIIを除く)、促進中性化深さ⇒関係性が得られた
- 乾燥収縮率と促進中性化深さ
- ⇒ 再生骨材コンクリートM1種に該当する相対密度( $2.44\text{g/cm}^3$ )であれば目標値を満足
- ⇒ 再生骨材コンクリートM2種の場合( $2.53\text{g/cm}^3$ )は、混和材によっては目標値を満足

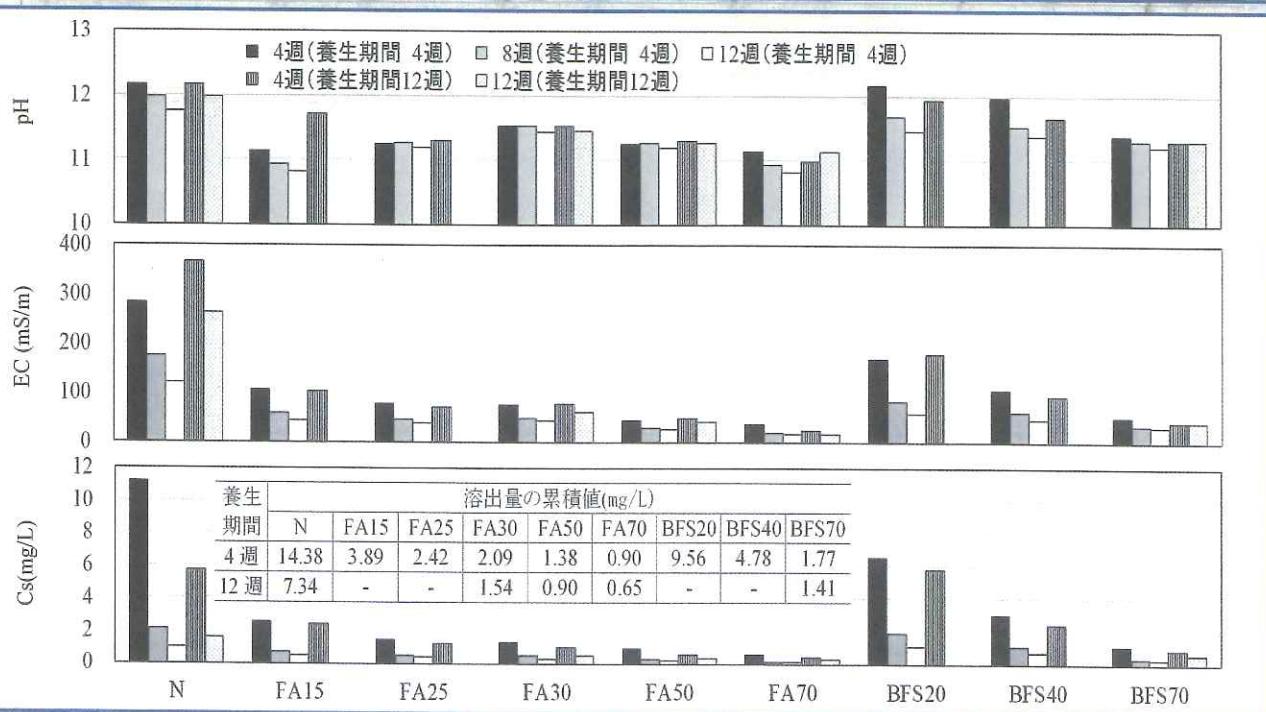


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■ペースト試料における溶出抑制試験結果

16

- 一定量以上のFAIIの混入によりCsの溶出量を大幅に抑制でき、更に置換率を増加
- ⇒ 具体的には、FAIIを15%以上、BFSを40%以上といったセメントでB種相当以上置換
- いずれの試料も4週に比べて12週の溶出量が小さくなる傾向
- ⇒ 所定の養生期間を確保することで、溶出量の低減が可能

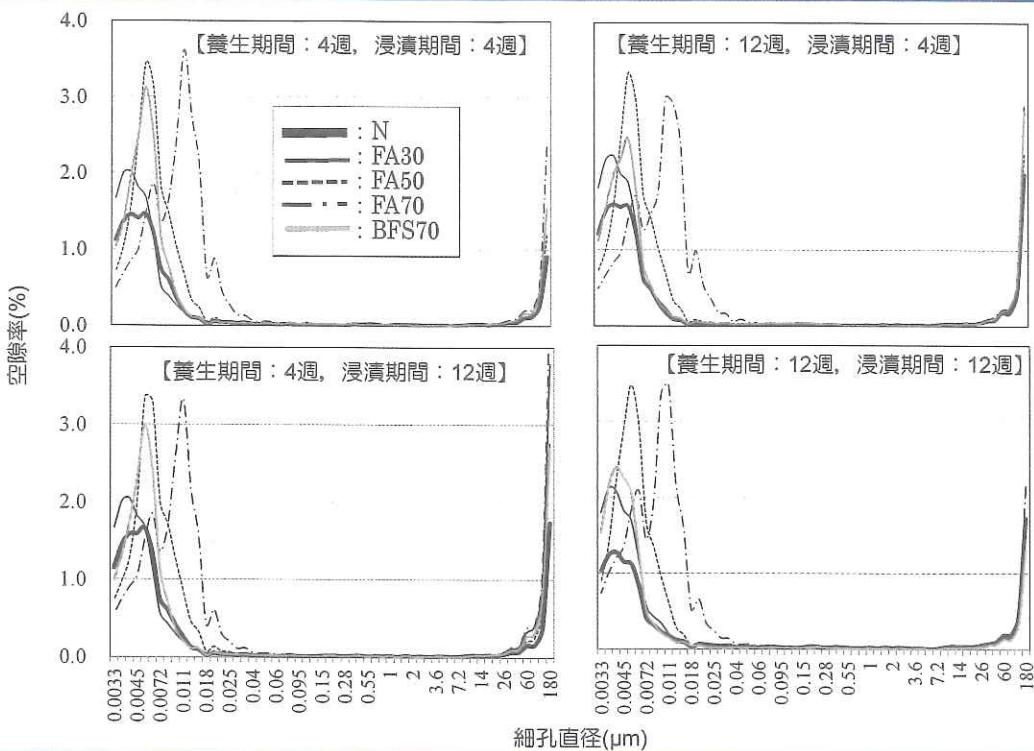


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■ペースト試料における細孔径分布

17

- 養生期間と浸漬期間によらず、孔径20nm以下の微細空隙が大部分を占める
- ⇒ FAの置換率が大きくなるほどその微細空隙の量が高まる傾向
- FA70では、他の試料ではほぼ存在しない孔径20~40nmの空隙も形成

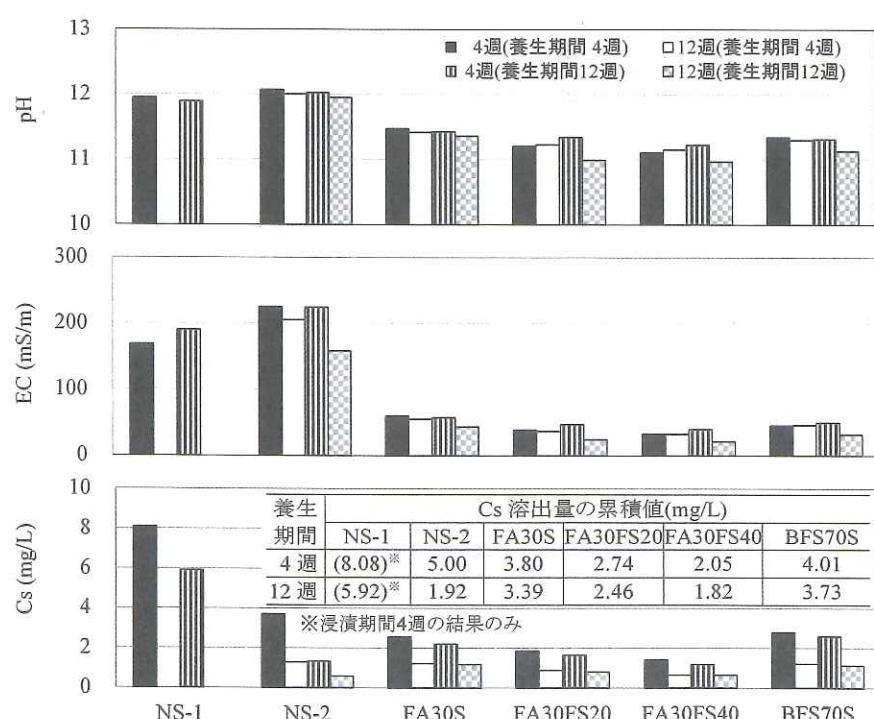


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■モルタル試料における溶出抑制試験結果

18

- モルタル試料は、FAIIをC種相当と多量に置換したものほどCsの溶出量が小さくなる
- FAIIはセメント置換のみならず、砂代替として用いることにより、更に溶出量を低減

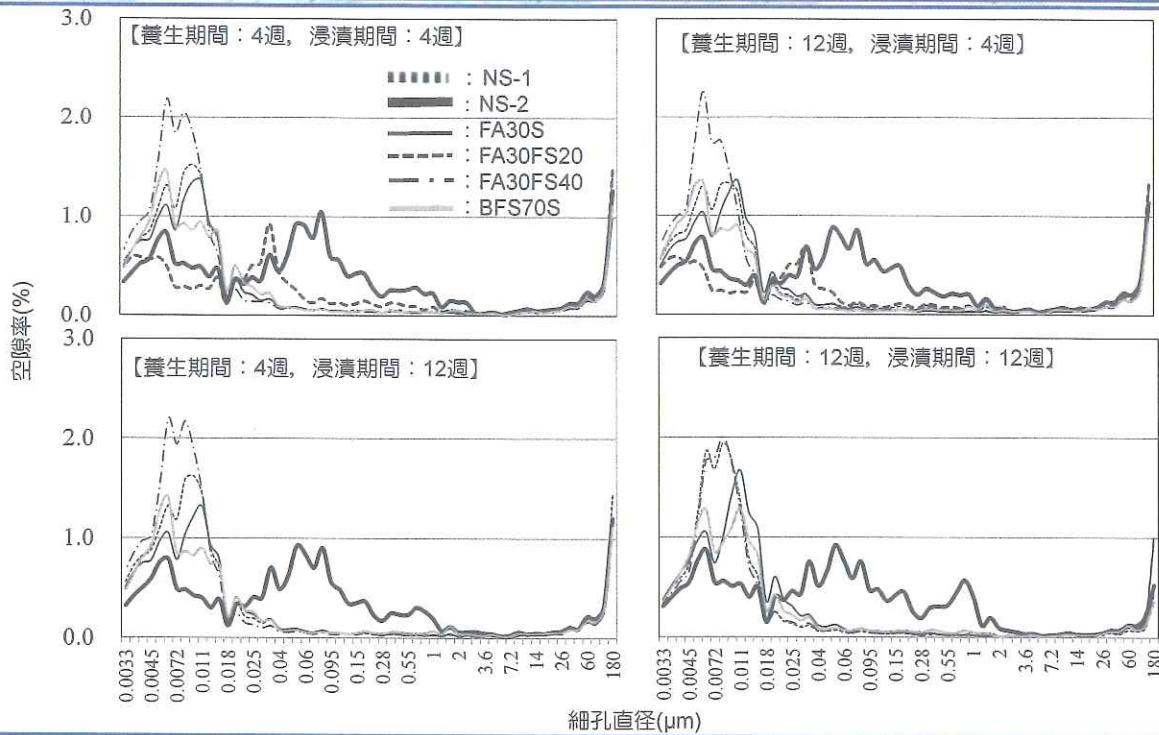


全国解体工事業団体連合会 2019

## ■モルタル試料における細孔径分布

19

- 砂代替で使用したFAもポゾラン反応を生じる
- ⇒ 結合材量が多くなることで骨材界面の遷移帯の影響が低減し、ペースト試料と同様に結合材中の屈曲度が高まる影響、C-S-Hの低Ca/Si比化によるCs吸着量の増大による影響
- ⇒ Cs溶出量の低下



全国解体工事業団体連合会 2019

## ■まとめ

20

汎用的な混和材であるフライアッシュ(FA)を使用した低品質再生骨材コンクリートの性能ならびに災害廃棄物を想定した混和材によるセシウムの溶出抑制効果について検討を行った。

1. 再生骨材置換率の増加に伴い圧縮強度、静弾性係数は低下するが、FAII種(FAII)を砂代替で一定量の使用により長期材齢での圧縮強度、静弾性係数の低下を小さくできる。
2. 再生粗骨材Lと再生細骨材Lを50%以上置換した場合は乾燥収縮率が大きく、中性化は速くなる。しかし、BFSをBB相当で使用することにより乾燥収縮率を低減できる。また、FAIIを砂代替で一定量使用することにより中性化を遅くすることが可能である。
3. 耐凍害性は、適切に空気が運行されていれば所要の品質を満足するが、BFSをBB相当で用い、再生細骨材Lの置換率が高い場合は、経時に伴う空気量の低下傾向を考慮する必要がある。
4. 相対密度と再生骨材コンクリートの主要な性能の間には、ばらつきがあるものもみられるが、おむね関係性が認められることから、FAIIを使用した場合でも、相対品質値法による性能設計が可能となる。
5. ペースト試料は、FAIIやBFSを一定量置換することによりCs溶出量を抑制できた。具体的には、FAIIを15%以上、BFSを40%以上といったセメントでB種相当以上置換した場合の溶出抑制効果は顕著であった。
6. モルタル試料においては、FAIIをC種相当と多量に置換したものほどCs溶出量が小さくなる。特に、FAIIはセメント置換のみならず、砂代替として用いることにより、更に溶出量を低減できる。

低品質再生骨材コンクリートの性能は、一般的な調合設計上の配慮に加え、再生骨材置換率の調整、混和材としてFAの効果的な利用により所要の品質を得ることが可能である。また、FAは、一定量の混入によりセシウムの溶出抑制対策としても有効である。

全国解体工事業団体連合会 2019

令和元年公益社団法人全国解体工事業団体連合会  
解体工事に係る研究発表会

## 解体工事における構造物の挙動 把握に関する研究

2020年7月22日

石井優衣<sup>1)</sup>、青木孝義<sup>2)</sup>、張景耀<sup>3)</sup>、湯浅昇<sup>4)</sup>  
 1) 名古屋市立大学大学院 大学院生  
 2) 建築構造技術研究所(名古屋市立大学)  
 3) 建築構造技術研究所(京都大学)  
 4) 日本大学生産工学部建築工学科

### これまでの研究

解体工事における構造物の安全性に関して

- ・日本大學生産工学部5号館（RC造）の地上解体工事に関する振動特性の変化
- ・名古屋市立大学薬学部校舎（RC造）の地上解体における建造物の振動特性
- ・名古屋市立大学芸術工学部体育館（S造）の地上解体における建造物の軸力の変化と振動特性
- ・RC造の階上解体における床板サポート（サポートの軸力の変化）
- ・RC造建物の階上解体（減築）における建造物の振動特性
- ・HPシェルの解体工事における軸力の変化と振動特性、ドローン、SFM技術の活用

に関する研究を進めてきた。

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#)

### 令和元年度の研究

- ・築50年前後の建物がこれからは建替えの時期に入る。
- ・特に、敷地が限られている都市中心部の建物の解体は、階上解体が主流になる。
- ・サポートの合理化はコストダウンにつながる。
- ・建物全体の揺れもモデル化によって見える化にする。

Cビルの階上解体時の振動及びサポートの軸力などを調べることにより、今後の解体現場の合理的かつ経済的な計画に役に立つ、重要なデータの蓄積を目的とする。

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#)

### 令和元年度の研究

1. 解体時振動測定による階上解体時の建物の揺れ状況の確認
2. ひずみ測定による階上解体時の下部サポートの軸力の確認
3. SRC柱のひずみ測定による地下SRC柱の軸力の確認

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#)

### 令和元年度の研究

1. 解体時振動測定による階上解体時の建物の揺れ状況の確認  
 ① B4F、1F、4F、7F、12Fにおける常時微動測定
2. ひずみ測定による階上解体時の下部サポートの軸力の確認  
 ② 6F、5F、4Fのサポートのひずみ測定
3. SRC柱のひずみ測定による地下SRC柱の軸力の確認  
 ③ B4FのSRC柱のひずみ測定

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#)

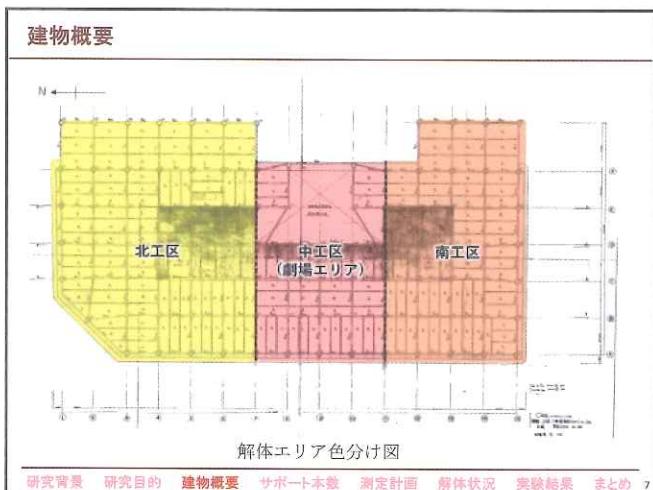
### 建物概要

- ・工事名称：Cビル解体工事
- ・建築地：名古屋市中区
- ・竣工年：1966年4月（昭和41年・築53年）
- ・構造：SRC+S造
- ・規模：B4、F12、P4（地下4F～2FSRC造、3F以上S造）
- ・建築面積：5,772.4m<sup>2</sup>
- ・延床面積：84,491.7m<sup>2</sup>
- ・基礎形式：直接基礎
- ・建物高さ：GL+40.7m
- ・掘削深さ：GL-16.15m



建物3Dモデル

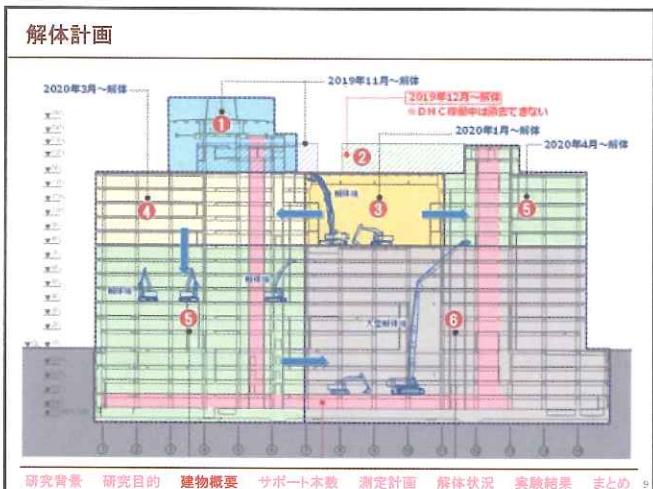
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#)



**建物概要(躯体解体ステップ)**

躯体解体のステップ	
Step1	屋上にある展望レストランの解体
Step2	北工区の8F～12Fの解体
Step3	北工区の7F～B3Fの中央部の解体 南工区の7F～12Fの解体
Step4	南工区の6F～B3Fの階上解体
Step5	北工区の7F～B3Fの外周部の解体
Step6	北工区GL-9mより南へ躯体解体
Step7	全建物をGL-9mにレベルを下げる後、地中障害物撤去工事、新築工事に向けた杭工事（杭工事は逆打工法の予定）

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 8



**サポート本数の計算**

1.荷重条件

本工事では解体使用重機ZX350LCK（パケット容量1.2m<sup>3</sup>）を対象にサポートの検討をした。検討時の荷重は作業荷重、スラブ自重、解体ガラ自重及び重機自重が作用するものとする。それぞれの荷重条件を以下に示す。

- ・鉄筋コンクリートの単位体積重量=24 [kN/m<sup>3</sup>]
- ・スラブ厚=120 [mm] ⇒スラブ自重=2.88 [kN/m<sup>2</sup>]
- ・ガラ厚み=300 [mm] 空隙率50%⇒ガラ自重3.6 kN/m<sup>2</sup>
- ・作業荷重として1.47 kN/m<sup>2</sup>を全面に見込む。

以上より、スラブ全面一樣に7.95 kN/m<sup>2</sup>が作用するものとする。

2.重機荷重

重機自重は46.0tonとなっている。  
衝撃係数を1.2とすると、  
重機自重=46.0ton×1.2=55.2ton=541.0 [kN]  
片輪自重=270.5 [kN]  
接地圧=541.0kN / (4.05m×0.06m×2輪)=111.3 [kN/m<sup>2</sup>]  
キャビラ幅0.6mであるため、  
設置圧を下式の通り等分布荷重に置き換える。  
 $w = 111.3 [\text{kN}/\text{m}^2] \times 0.60\text{m} = 66.8 [\text{kN}/\text{m}]$

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 10

**サポート本数の計算**

3.大梁計算

1) 断面性能

		端部	中央部
H型鋼 (H×B×t <sub>w</sub> ×t <sub>f</sub> )		600×300×11×17	600×200×11×17
断面積 A	[cm <sup>2</sup> ]	164.3	130.3
ウェブ断面積 Aw	[cm <sup>2</sup> ]	56.1	56.1
断面係数 Zx	[cm <sup>3</sup> ]	3443.9	2480.6
基準強度 F	[kN/cm <sup>2</sup> ]	23.5	23.5
許容曲げ応力度 sfb	[kN/cm <sup>2</sup> ]	19.6	19.6
許容せん断応力度 sfs	[kN/cm <sup>2</sup> ]	11.3	11.3

2) 分布荷重

床荷重負担幅 b	[m]	7.85
スラブ厚 t	[m]	0.12
作業荷重 q <sub>w</sub>	[kN/cm <sup>2</sup> ]	5.07
単位体積荷重 γ	[kN/cm <sup>3</sup> ]	24.0

スラブ荷重  $W_s = b \times t \times \gamma = 22.6 [\text{kN}]$   
作業荷重  $W_w = b \times q_w = 39.8 [\text{kN}]$   
S梁自重  $W_h = A \times 77.08 / 10^3 = 1.3 [\text{kN}]$   
大梁に作用する分布荷重の合計は、 $W_s + W_w + W_h = 63.7 [\text{kN}/\text{m}]$

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 11

**サポート本数の計算**

3) 断面性能

集中荷重	P1	66.8	kN
集中荷重	P2	66.8	kN
支点寸法	a	3.150	m
支点寸法	b	2.590	m
支点寸法	c	3.150	m
梁スパン	L	8.890	m
分布荷重	w	63.67	kN/m

(1) 反力

$$R_A = P_1 \cdot \frac{(b+c)^2 \cdot (3a+b+c)}{L^3} + P_2 \cdot \frac{c^2 \cdot (3a+b+c)}{L^3} + \frac{wl}{2} = 66.8 + 283 = 349.8 [\text{kN}]$$

$$R_B = P_1 \cdot \frac{(b+c)^2 \cdot (3a+b+c)}{L^3} + P_2 \cdot \frac{c^2 \cdot (3a+b+c)}{L^3} + \frac{wl}{2} = 66.8 + 283 = 349.8 [\text{kN}]$$

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 12

### サポート本数の計算

(2) モーメント

$$M_A = P_1 \cdot \frac{a \cdot (b+c)^2}{l^2} + P_2 \cdot \frac{(a+b) \cdot c^2}{l^2} + \frac{w \cdot L^2}{12} = 555.2 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_B = P_1 \cdot \frac{a \cdot (b+c)^2}{l^2} + P_2 \cdot \frac{(a+b) \cdot c^2}{l^2} + \frac{w \cdot L^2}{12} = 555.2 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{C1} = M_A - R_A \cdot a + \frac{w \cdot a^2}{2} = -230.8 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{C2} = M_B - R_B \cdot c + \frac{w \cdot c^2}{2} = -230.8 \text{kN}\cdot\text{m}$$

(3) せん断

$$Q_{\max} = R_A \text{ or } R_B = 349.8 \text{kN}$$

(4) 曲げモーメントの検討

(1) 端部

$$S_{\text{部}} \cdot M_t = f_b \cdot Z_x = 19.6 \times 3443.9 = 674.4 \text{kN}\cdot\text{m}$$

許容曲げモーメント = 674.4[kN·m] > M<sub>max</sub> = 555.2[kN·m] O.K.

(2) 中央部

$$S_{\text{部}} \cdot M_t = f_b \cdot Z_x = 19.6 \times 2480.6 = 485.8 \text{kN}\cdot\text{m}$$

許容曲げモーメント = 485.8[kN·m] > M<sub>c</sub> = 230.8[kN·m] O.K.

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 13

### サポート本数の計算

(5) せん断耐力の検討  
S部  $Q_s = s A_s \cdot f_s = 634.3 \text{kN} > Q_d = 349.8 \text{kN}$  O.K.

(6) サポートによる補強  
(4) 及び (5) の結果より荷重の負担に必要な大梁本数は  
 $N = \max(555.2/674.4, 230.8/485.8, 230.8/485.8) = 0.9$  本  
→2層の補強とする。

7) 使用サポートの検討  
使用サポート：サポートCH32(1.87~3.27) 許容耐力147[kN]  
また、サポートの本数は

a. 大梁に作用する荷重  
 ①  $63.7 \times 8.890 = 566.1 \text{kN}$   
 ②  $P_1 = 66.8 \text{kN}$   
 ③  $P_2 = 66.8 \text{kN}$   
 ① + ② + ③ = 699.6 [kN]

b. 大梁の許容荷重 =  $35.0 \times 8.890 = 311.6 \text{kN}$   
 $a - b = 388.0 \text{kN}$

必要サポート本数  $\frac{388.0}{147.0} = 2.6$  [本]  
 ⇒ 3本@2000程度でスパン間にバランスよく配置する。

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 14

### サポート本数の計算

4.まとめ

スラブ・小梁も大梁同様に算出し、下記の検討結果が得られた。

スラブ サポート3層受けとする。  
等間隔で5本配置する。

大梁 サポート2層受けとする。  
等間隔で3本配置する。

小梁 サポート2層受けとする。  
等間隔で3本配置する。

実際の補強は、

スラブ サポート3層受けとする。  
等間隔で5本配置する。

大梁 サポート2層受けとする。  
等間隔で4本配置する。

小梁 サポート2層受けとする。  
等間隔で3本配置する。

サポートには、水平つなぎを直角2方向に設け、上下の間隔は2000mm以内とする。

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 15

### 測定計画(①B4F、1F、4F、7F、12Fにおける振動測定)

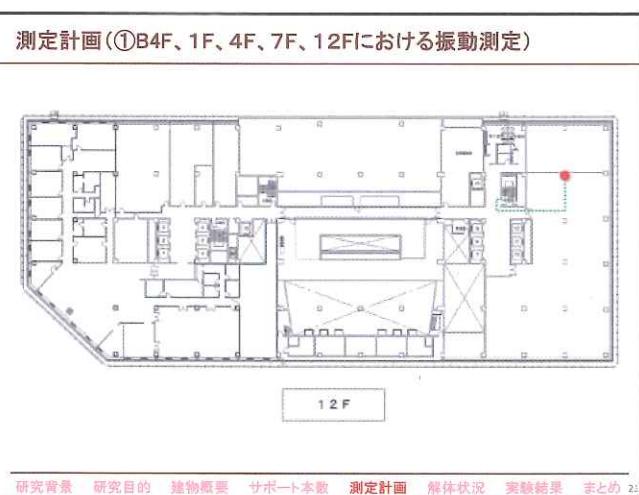
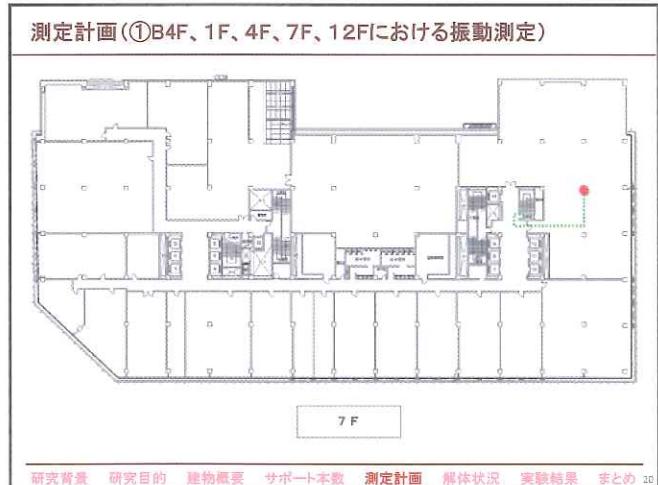
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 16

### 測定計画(①B4F、1F、4F、7F、12Fにおける振動測定)

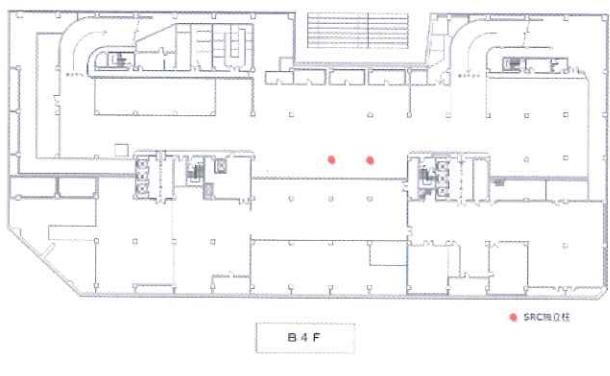
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 17

### 測定計画(①B4F、1F、4F、7F、12Fにおける振動測定)

[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 18



### 測定計画(③ B4FにあるSRC柱のひみず測定)



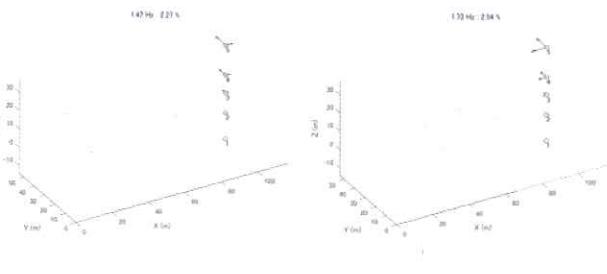
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 25

### 解体状況



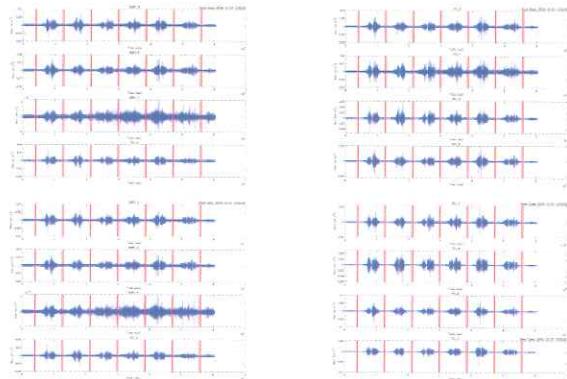
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 26

### 加速度記録(振動モード)



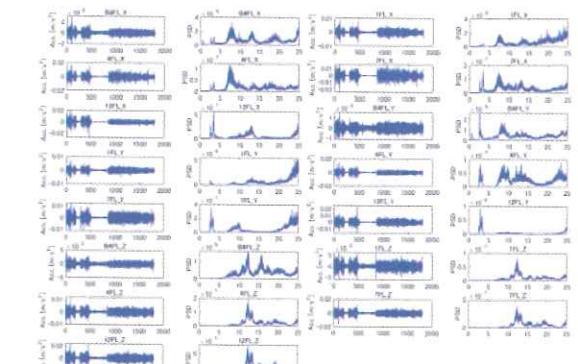
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 27

### 加速度記録(12/1~12/8)



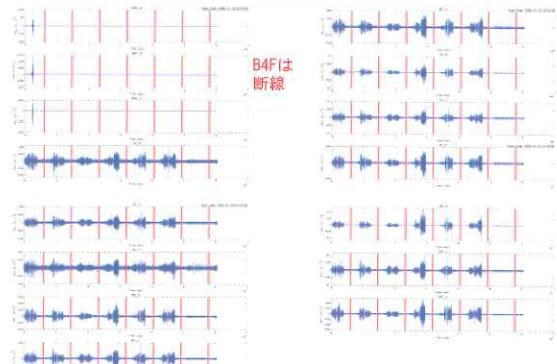
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 28

### 加速度センサー(常時微動)

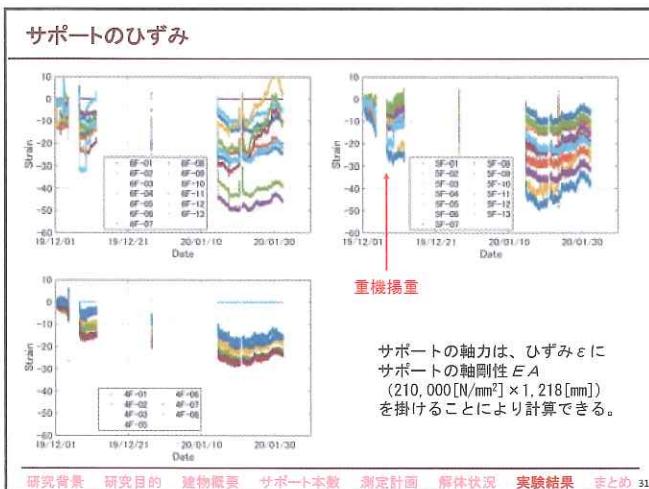


[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 29

### 加速度記録(1/20~1/27)



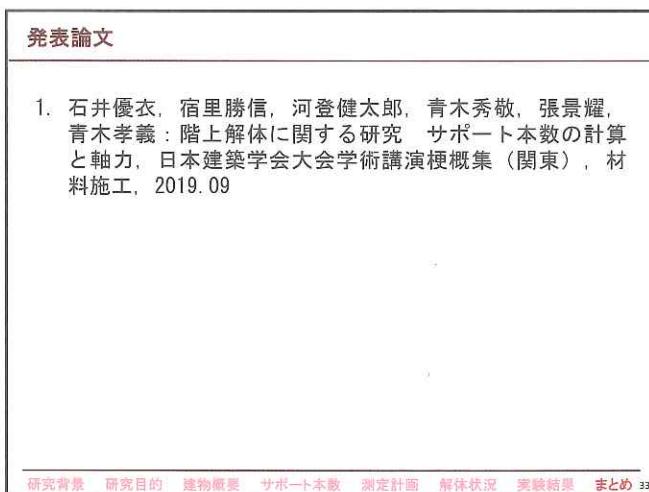
[研究背景](#) [研究目的](#) [建物概要](#) [サポート本数](#) [測定計画](#) [解体状況](#) [実験結果](#) [まとめ](#) 30



### まとめ

1. 解体時振動測定による階上解体時の建物の揺れ状況確認  
解体工事中の振動は、常時微動に対して数十倍と大きいものの、その大きさは15gal程度であることが分かった。
2. ひずみ測定による階上解体時の下部サポート軸力の確認  
サポート本数の計算方法を示した。また、ひずみ  $\varepsilon$  から計算される測定対象範囲のサポートの軸力の最大値は 12.8kN であることが分かった。サポートの軸力は、下階になる程小さいことが分かった。
3. SRC柱のひずみ測定による地下SRC柱の軸力の確認  
解体工事中にひずみゲージの線を切断されてしまったため、初期値しか計測できなかった。1. の振動測定、2. のひずみ測定も同様であるが、解体工事中のデータ測定は、工事中の更なる養生の工夫が必要である。

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 32



### 謝辞

本研究の実施にあたっては、

- 研究助成をいただきました、公益社団法人 全国解体工事業団体連合会に感謝申し上げます。

実験の実施にあたっては、

- 株式会社竹中工務店

の協力を得ました。

ここに記して感謝申し上げます。

研究背景 研究目的 建物概要 サポート本数 測定計画 解体状況 実験結果 まとめ 34

# 建材の廃棄物処理およびその環境影響評価に関する調査研究

明治大学理工学部  
小山明男

**Key-word:** 建設廃棄物、廃棄物排出量予測、再資源化、環境負荷

## 1. はじめに

2000 年以降、建設廃棄物の再資源化率は急激に向上了。これは地球環境への意識の高まりに加え、環境基本法を中心とした循環型社会形成推進基本方法や建設リサイクル法など具体的な法律が整備されたことに起因している。図 1 に再資源化等に関する法律のヒエラルキーを示す<sup>1)</sup>。

上記の法整備により建設廃棄物の再資源化率は図 2 に示すように向上している。しかし、建設混合廃棄物（以下、混廃）の再資源化率は依然として低い現状にある<sup>2)</sup>。また、産業廃棄物の約 2 割、不法投棄の約 7 割を建設廃棄物が占める現状がある<sup>3)</sup>。よって、ごみ問題における影響は大きいと言える。

図 3 に建設廃棄物の排出量推移を示す<sup>2)</sup>。2012 年における建設廃棄物の総排出量は約 7270 万 t であり、過去 15 年間での排出量および排出比率ともに低下傾向であったが、東日本大震災の影響で 2012 年度の排出量は増加した。また、品目別排出量は東日本大震災の影響を除けば、アスファルトコンクリート塊と混合廃棄物の排出量が減少傾向を示し、建設汚泥に関しては漸減している。これは公共工事の減少と、廃棄物の分別が進んだためである。

しかし、1970 年代以降に需要を伸ばした、繊維板、石膏ボードなどのいわゆる新建材と呼ばれるものは建設廃棄物としての排出量増大が見込まれる。よって、建設廃棄物の処理方法が変化し、現在の高い再資源化率の維持が困難になることが予想される。

以上の背景より本研究室では、循環型社会形成の発展に資することを研究目的とし、以下に示す二つの検討を継続的に行っている。

一つ目は、廃棄物量削減効果についての試算である。建設混合廃棄物となりやすい建材を中心に廃棄物量予測およびリサイクル率向上による廃棄物量削減効果について試算し、建設廃棄物におけるリサイクルの重要性について検討した。

二つ目は、中間処理施設における環境負荷についての調査である。処理に困難をきたしている建材の種類や量、他の建材に比べて再資源化が進んでいない建材における再資源化の可能性および建設廃棄物処理に係るエネルギー使用量についてアンケート調査を行うことで、建設廃棄物処理の現状や処理に係る環境負荷等について検討し、廃棄物排出量削減および環境負荷低減に向けて必要な取り組みの提案を行った。

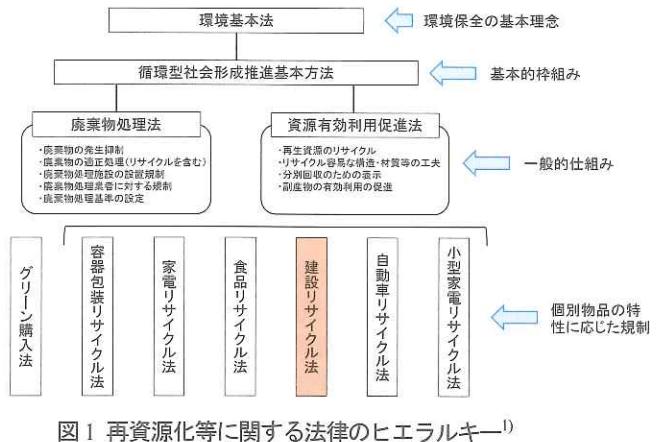


図 1 再資源化等に関する法律のヒエラルキー<sup>1)</sup>

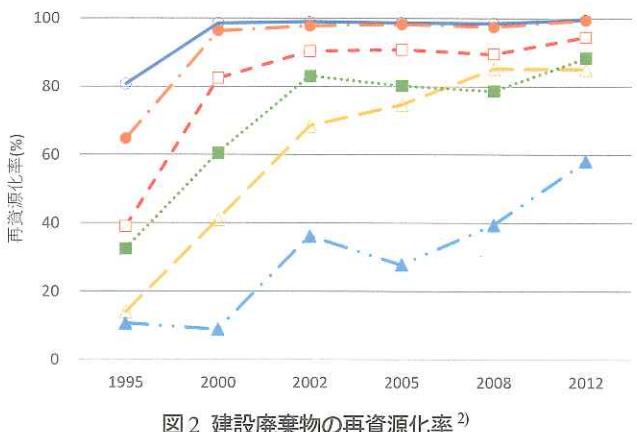


図 2 建設廃棄物の再資源化率<sup>2)</sup>

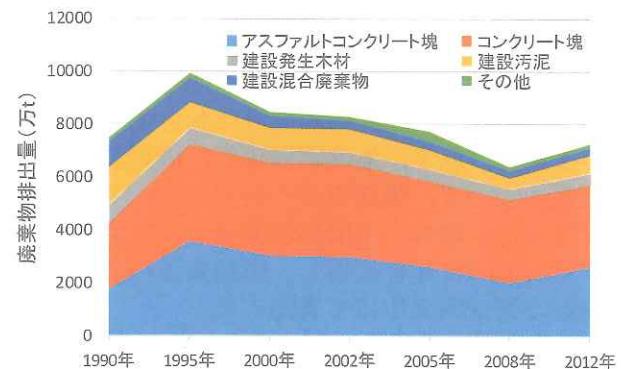


図 3 建設廃棄物の排出量推移<sup>2)</sup>

表 1 試算対象建材

建材分類	主な試算対象建材	種類
木質系	普通合板、集成材、パーティクルボード	13種
窯業系	窯業系サイディング、石膏ボード、ALC ボード	34種
プラスチック系	プラスチックサッシ、塩ビ管継手、ポリスチレンフォーム	18種
金属系	鋼製下地材、アルミニウムサッシ、金属サイディング	11種
機能性建材系	建設用接着剤、防水シート、合成樹脂塗料	11種

## 2. 調査研究方法

### 2.1 建材由来による廃棄物排出量予測

表1に示す木質系、窯業系、プラスチック系、金属系および多機能性建材系の分類で、1960年～2015年までの出荷統計が収集できた建材87種類の廃棄物排出量およびストック量を試算した。なお、出荷統計の調査には、建材・住宅設備要覧<sup>4)</sup>を用いた。廃棄物排出量およびストック量予測式を図4に示す。試算は木造住宅、RC造、S造、SRC造それぞれの住宅および非住宅、その他8種類の建築構造用途ごとに行い、各建材の出荷統計、製造業者への調査結果をもとに仮定した建築構造用途別の出荷比率および建物の減失確率を用いた。なお、2016年以降の出荷量は2015年のものを使用し、新築系廃棄物の排出量は出荷量の10%と設定し、解体系廃棄物は減失面積に各建材の解体廃棄物発生量原単位（単位延床面積あたりに発生する解体系廃棄物発生量）を乗じることによって算出した。構造用途別減失率は図5に算出される値を用いた<sup>5)</sup>。また、今回の試算では1960年以前に出荷された建材由来による廃棄物および建材ストックは考慮していない。

### 2.2 リサイクル向上による廃棄物削減効果の試算

広域認定制度を取得している建材の中から、表2に示す出荷統計が収集できた建材9種類を試算対象とした。また、2060年における目標リサイクル率を新築系廃棄物については100%，解体系廃棄物については5%，10%，20%とし、それぞれの目標リサイクル率を組み合わせた計4パターンにおける廃棄物量削減効果について試算した。

### 2.3 建設廃棄物処理の実態に関するアンケート調査

アンケート調査の概要を表3に示す。調査対象は、優良産廃処理業者認定制度において優良認定を受けており、建設廃棄物を1品目以上受け入れている中間処理業者429社とし、回答があったのは103社であった。また、中間処理施設において処理に困っている建材（以下、処理困難建材）の再資源化の可能性等について、製造業者へのアンケート調査を併せて行った。なお、中間処理業者へのアンケート調査はGoogle formを使用し、製造業者へのアンケート調査は郵送調査法にて実施した。

### 2.4 エネルギー使用量に関するアンケート調査

本調査の対象は、2.3にて更に詳細な調査に協力可能との回答が得られた42社とした。処理に係るCO<sub>2</sub>排出量の算出範囲は図6に示すように中間処理から最終処理（自社再生、他社再生および埋立処分の3つの処理）までとし、図7に示す算出式を用いて建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量を算出した。なお、燃料使用および埋立処分に係るCO<sub>2</sub>排出係数は環境省が公表しているもの<sup>6)</sup>を用いた。

$W_n = NW_n + DW_n$	… (1)式
$NW_n = V_n \times N$	… (2)式
$DW_n = \sum_{\alpha=k}^n (U_\alpha \times R_{n-\alpha})$	… (3)式
$S_n = \sum_{\beta=k}^n [(1 - N)V_\beta + \sum_{\alpha=k}^{\beta} (U_\alpha \times R_{\beta-\alpha})]$	… (4)式
建材出荷年kおよび任意の年nにおける W <sub>n</sub> :n年の廃棄物排出量、NW <sub>n</sub> :n年の新築系廃棄物排出量 DW <sub>n</sub> :n年解体系廃棄物排出量、S <sub>n</sub> :n年ストック量 V <sub>n</sub> :n年の出荷量、N:新築端材率(本研究では一律10%と仮定した) U <sub>n</sub> :n年の構造用途別出荷量、R <sub>n-k</sub> :築年(n-k)年後の減失率	

図4 廃棄物排出量およびストック量予測式

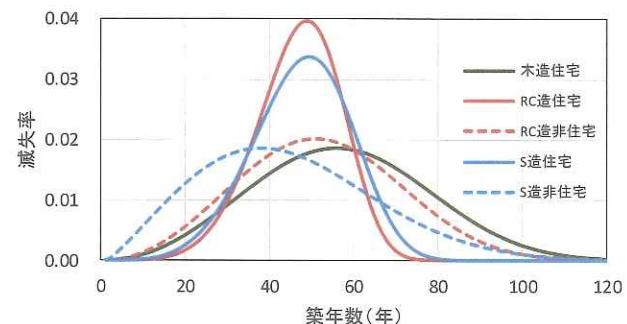


図5 構造用途別減失率<sup>5)</sup>

表2 広域認定制度を取得している建材

主な広域認定制度取得建材	試算建材	2015年における出荷量(万t)
石膏ボード	石膏ボード	471.4
	石膏ラスボード	4.5
軽量気泡コンクリート(ALC)	ALCボード	83.4
ロックウール	ロックウール	33.1
	吹き付けロックウール	10.1
	ロックウール化粧吸音板	7.8
グラスウール	グラスウール	14.5
押出ポリスチレン	押出ポリスチレンフォーム	6.9
窯業系サイディング	窯業系サイディング	150.1

表3 アンケート調査概要

	対象業者	主な調査内容	回答数
建設廃棄物処理の実態に関するアンケート調査	中間処理業者	・建設廃棄物の受入量 ・廃棄物中の有害物質の種類、対処方法 ・処理困難建材の種類、対処方法、理由 ・処理費用	103社
	製造業者	・構造用途別の出荷比率 ・リサイクルの現状 ・処理に困難をきたしている原因への対策方法	6団体 (協会団体)
エネルギー使用量に関するアンケート調査	中間処理業者	・建設廃棄物の受入割合 ・中間処理後の扱いについて ・中間処理施設における電力などの燃料使用量、用途	42社

### 3. 調査結果および考察

#### 3.1 建材由来による廃棄物排出量予測

図8に廃棄物量予測の結果を示す。各種建材由來の廃棄物排出量は今後増加し2020～2030年頃にやや横ばいになるものの、その後再び増加していくと予想される。これは、建物着工面積のピークである1980年頃に建設された建物の多くが今後解体時期を迎えるためである。また、現在あまりリサイクルが進んでいない窓業系建材由來の廃棄物が今後増加していくことにも留意すべきである。

図9に建材ストック量予測の結果を示す。2060年には約18億tもの建材ストック量をかかることが予想され、将来的にこれら建材が廃棄物として排出されることにも留意すべきである。

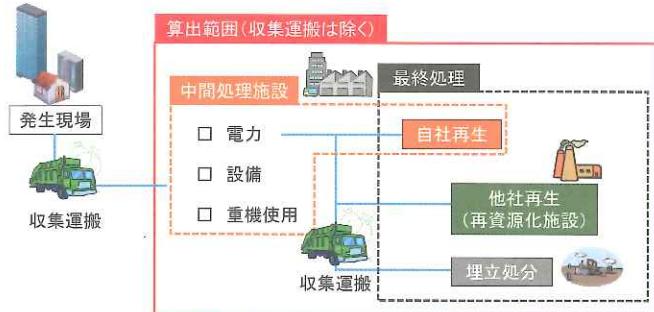
#### 3.2 リサイクル率向上による廃棄物削減効果の試算

図10にリサイクル率の向上による廃棄物量削減の推移を、表4に削減量試算結果を示す。広域認定制度を取得している建材の中では、せっこうボードなどで新築系廃棄物を中心にリサイクルが進展している。しかし、せっこうボード以外の建材における広域認定制度の利用は限定的であり、その原因是運搬効率の悪さに起因していることが明らかとなっている<sup>7)</sup>。出荷量のうち10%が新築系廃棄物として排出されると仮定し、広域認定制度の有効活用等によりその全てが2060年では新材の原料等としてリサイクルされたとすると、せっこうボードでは2016年から2060年までの45年間分の廃棄物量を345万t削減することができる。それに加えて解体系廃棄物の目標リサイクル率を10%とすると新築系廃棄物の目標リサイクル率100%のみの場合と比べて、約1.5倍の廃棄物削減効果が期待できる。そのため、解体系廃棄物におけるリサイクル技術の開発等は廃棄物量削減という観点において非常に重要な要素となる。また、せっこうボードと同様の出荷量が多い窓業系サイディングなどはリサイクル向上による廃棄物削減効果が大きいため率先して解体系廃棄物のリサイクルに取り組むべきである。

#### 3.3 建設廃棄物処理の実態

##### 3.3.1 廃棄物に含まれる頻度の高い有害物質

中間処理施設にて受け入れられた廃棄物に含まれる頻度の高い有害物質は図11に示すように、非飛散性アスベストの回答が最も多かった。これは、含有の判断が難しいことや、有害物質に対する意識が低い解体業者がいるためと考えられる。なお、製造業者では、アスベスト含有建材を示すaマークを成形板の見やすい箇所に表記し、識別を容易にする取り組みを行っているが、解体系廃棄物の際にはマーク確認が難しいことやこの取り組みが1989年以降の製造建材に限られているなどにより、必ずしも効果的に機能しているとはいえない。



■燃料使用によるCO <sub>2</sub> 排出量(燃料法)
CO <sub>2</sub> 排出量 = 使用燃料量 × CO <sub>2</sub> 排出係数 <sup>6)</sup>
■廃棄物の収集運搬に係るCO <sub>2</sub> 排出量(改良トンキロ法)
CO <sub>2</sub> 排出量 = (輸送重量 × 輸送距離) × 燃料使用量原単位 × CO <sub>2</sub> 排出係数 <sup>6)</sup>
■埋立処分に係るCO <sub>2</sub> 排出量
CO <sub>2</sub> 排出量 = 埋立量 × 埋立処分に係るCO <sub>2</sub> 排出量原単位 <sup>4)</sup>

図7 CO<sub>2</sub>排出量算出式

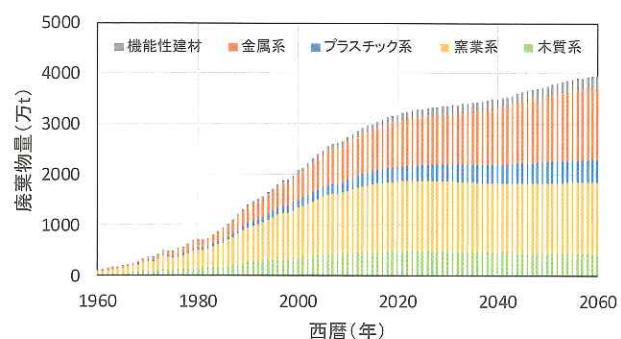


図8 建材由來の廃棄物排出量予測

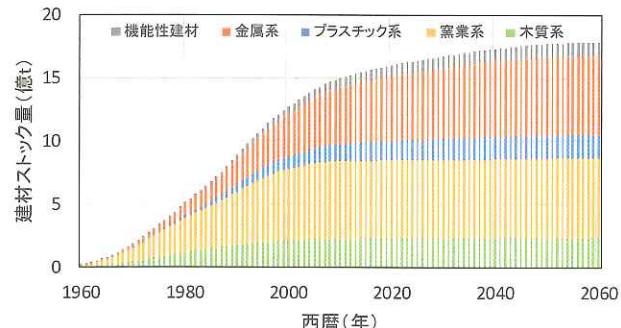


図9 建材のストック量予測

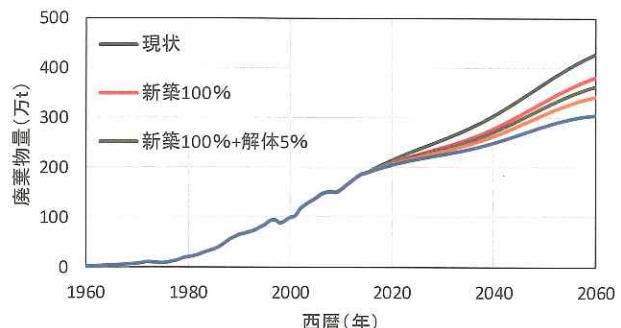


図10 リサイクル率向上による廃棄物削減の推移

(せっこうボード)

有害物質が混入した際の中間処理業者の対処方法を図12に示す。一度受け入れた有害物質を含んでいる廃棄物をそのまま排出業者に返品する業者は、二次処理先への委託または自社にて適正処理する施設と殆ど同じ割合であった。よって、中間処理業者の半数ほどは、有害物質が不意に受け入れた廃棄物に混入している際にも自社で対応するとの結果であり（専門処理業者の紹介も含む）、中間処理業者は有害物質の処理にも注力しているといえる。

### 3.3.2 処理困難建材

処理困難建材を木質系、窯業系、プラスチック系、その他の4種類に分類し調査を行った。各分類における処理困難建材を図13～16に示す。また、処理に困っている理由を表5、製造業者より調査した処理困難建材におけるリサイクルの現状を表6に示す。

最も処理に困っている木質系建材は薬品処理木材であり、処理に困っている理由として、防腐剤にヒ素などが含まれているためにリサイクルできないことや破碎処理の際に薬品による従業員への影響が懸念されるなどが挙げられた。木材を腐食等から守る薬品処理がかえって中間処理施設での処理を困難にさせているという結果であった。なお、製造メーカーへのアンケート調査より、繊維板に関しては、一部メーカーが排出業者から回収してマテリアル原料に一部再生していることが判明した。

窯業系建材では、他の建材系と比べて偏りは比較的みられず様々な種類の建材が処理に困難をきたしているという結果であった。処理に困っている理由としては、異物や有害物質が混入しているために再生材に不適などが挙げられ、窯業系建材の新規リサイクル方法の確立や有害物質混入の簡易な見分け方が求められていることがわかる。しかし、アンケート調査により、窯業系建材の多くは、回収率は低いものの製造業者が排出事業者から回収してマテリアル原料に再生していることが判明した。

プラスチック系処理困難建材ではビニール床シートなどの塩化ビニル建材の処理に困っているとの回答が多かった。処理に困っている理由として、塩素濃度が高いためにRPF処理（マテリアルリサイクルが困難な古紙および廃プラスチック類を主原料とした固形燃料を製造するサーマルリサイクル）ができず、埋立処分するしかないと回答が多かった。よって中間処理業者は、塩素濃度の高い塩化ビニル系建材のリサイクル技術を求めていることがわかる。なお、製造業者へのアンケート調査より、廃プラスチック類のリサイクルは以前に比べると進歩しているものの、廃塩化ビニル建材のリサイクルには課題が多いことが判明した。

表4 リサイクル率向上による廃棄物量削減効果

試算対象建材	削減量【2016年～2060年の合計】(百万t)			
	新築100%	新築100% +解体5%	新築100% +解体10%	新築100% +解体20%
窯業系サイディング	345	446	547	749
セコウボード	1095	1446	1797	2500
グラスウール	33	40	47	60
ロックウール	117	166	214	310
ALC	192	284	377	562
発泡ポリスチレン	16	21	25	34

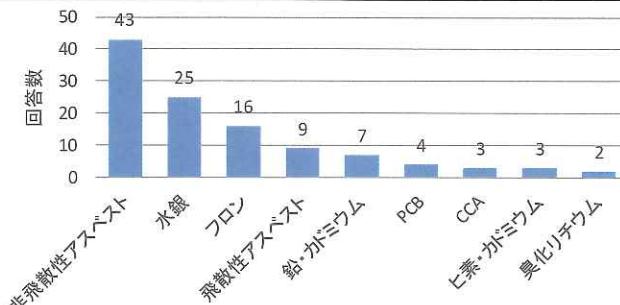


図11 廃棄物に含まれる有害物質

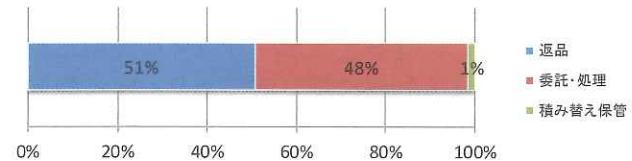


図12 有害物質が混入した際の中間処理業者の対処方法

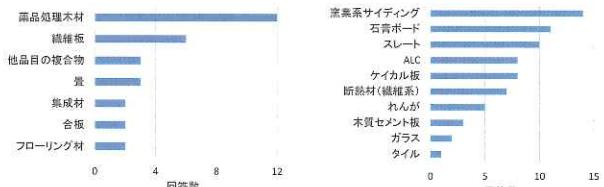


図13 木質系処理困難建材

図14 窯業系処理困難建材

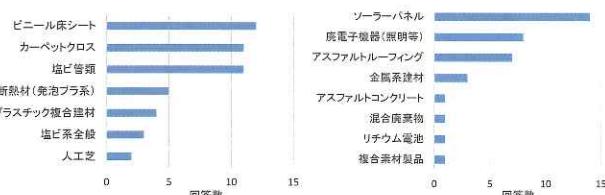


図15 プラスチック系

処理困難建材

図16 その他処理困難建材

表5 処理に困っている主な理由

建材分類	処理に困っている理由
木質系	・リサイクルできず、埋立処分するしかない
	・異物が混入している
	・破碎機が痛む
窯業系	・リサイクルできず、埋立処分するしかない
	・異物が混入している
	・アスベストなどの有害物質が混入している(含有の判断が困難)
プラスチック系	・塩素濃度が高い
	・処理に手間がかかる
その他	・複合建材は分離が困難
	・処理後のリサイクル先がない
	・処理に手間がかかる

その他建材では、ソーラーパネルの回答が多く、処理に困っている理由として、廃ソーラーパネルの取り扱いに関する指針がない、複合素材の分別が困難、処理後のリサイクル策がないことなどが挙げられた。ソーラーパネルは普及して久しくないため、処分に対して法律が定められていない。現在こそ廃ソーラーパネルの排出量はあまり多くないが、多くのソーラーパネルが寿命を迎える 2040 年ごろに約 80 万 t もの廃ソーラーパネルが排出されるともいわれている<sup>8)</sup>。よって、廃ソーラーパネルの取り扱い方法の確立は、率先して取り組むべきである。なお、太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン<sup>9)</sup>が発行されており、この普及によりソーラーパネルのリサイクル推進が期待される。

以上より、中間処理業者が処理に困っている建材の多くに共通するのは、リサイクルができず埋立処分するしかない建材であり、それに対して製造業者は、製造の際に発生する副産物や新築系廃棄物は異物混入や汚れが少ないと新材の原料などにマテリアルリサイクルできるが、解体系廃棄物に関してはリサイクルが難しいとの見解を示している。

処理困難建材を受け入れ拒否した際に生じる問題を表 7 に示す。中間処理業者は処理困難建材を受け入れ拒否することにより、取引関係に支障をきたすことの他に、不法投棄の増加に繋がることや最終処分場の逼迫を懸念しているとの回答が多く、中間処理業者は廃棄物問題の解決にも注力している。

### 3.3.3 処理費用

建設廃棄物処理費用は、表 8 に示すように受入基準によって処理費用を設定している処理業者と、受入基準の明記がない処理業者に分類し調査を行った。なお、処理費用に幅があるものは下限値をリサイクル可、上限値をリサイクル不可とした。

図 17 に全国における建設廃棄物の処理費用を示す。品目に関わらず、リサイクル可能な状態で持ち込むことにより、リサイクル不可能な状態で持ち込んだ場合と比べて処理費用を半額近くに抑えられるという結果であった。よって、廃棄物処理に掛かるコストを削減できることから、多少の手間が掛かっても解体現場における分別が重要と考えられる。

また、処理費用には地域差がみられ、図 18 に示すように建設混合廃棄物の場合、リサイクル不可において関東が最も処理費用が高く、北海道では最も安いという結果であった。これは、建設混合廃棄物は地域によって処理業者の受け入れ体制が異なっていることや北海道では広大な大地をもつことから本州とは異なり、埋立処分費用が安価である<sup>10)</sup>のに対して、関東では最終処分場の逼迫などにより埋立処分費用が高額なためと考えられる。

表 6 処理困難建材におけるリサイクルの現状

建材名	リサイクルの現状	
	製造の際発生する副産物	解体系廃棄物
繊維板	・新材の原料へリサイクルされている (一部サーマルリサイクル)	・化粧板や塗装仕上げ等がされたものは分別が難しくサーマルリサイクルされている ・製造メーカーが回収し、マテリアルリサイクルしているものもある
石膏ボード	・新材の原料へリサイクルされている	・30%はセメント原料やセメント固化材へリサイクルされている
ケイカル板	・カルシウム源として他のものと混ぜてセメント原料としてリサイクルされている	・完全な分別がなされている場合にはマテリアルリサイクル可能
ALC ボード	・ALC 原料としてリサイクル可能	・塗料等が付着しているため ALC 原料へのリサイクルは厳しいが、焼却させることで、セメント原料へのリサイクルは可能
窯業系 サイディング	・新材の原料へリサイクルされている	・異物混入や経年変化により基材が変質している可能性があり、リサイクルは難しい
ビニール 床シート	・おおよそ 95% は新材原料へリサイクルされている	・異物混入のためリサイクルは不可

表 7 処理困難建材を受け入れ拒否した際に生じる問題

建材分類	受入拒否した際に生じる主な問題点
木質系	・今後の取引関係に支障をきたす
窯業系	・今後の取引関係に支障をきたす ・最終処分場の逼迫 ・不法投棄の増加
プラスチック系	・今後の取引関係に支障をきたす ・不法投棄の増加
その他	・他に受け入れ先があまりなく、持込事業者へ負担がかかる ・不適正処理の発生

表 8 処理費用のグレード分け

グレード	備考
リサイクル可	他建材、付着物等の混入が少なく、リサイクルに適しているもの
リサイクル不可	他建材、付着物等の混入が多く、そのままではリサイクルが難しいもの
基準無し	廃棄物の状態に関して記載がないもの

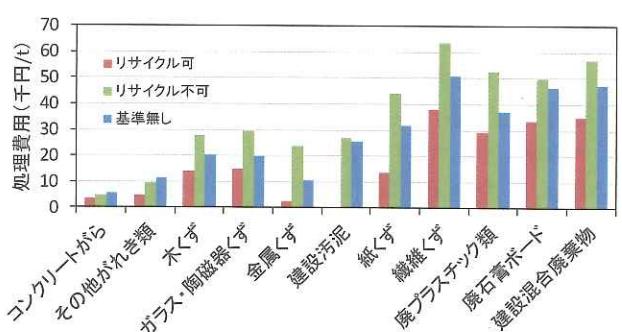


図 17 建設廃棄物の処理費用

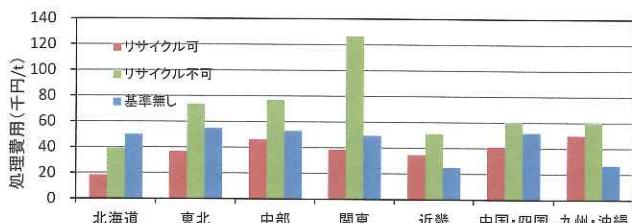


図 18 建設混合廃棄物の処理費用

### 3.4 建設廃棄物の中間処理に係る環境負荷

#### 3.4.1 中間処理施設の受入体制の違いによる比較

図19に示すように建設混合廃棄物を受け入れている中間処理施設は、建設混合廃棄物を受け入れていない中間処理施設と比較して建設廃棄物1t当たりの処理に係るCO<sub>2</sub>排出量が4倍ほど多いという結果であった。これは、混合廃棄物処理は選別フローが多く、単品処理と比べてより多くの燃料などのエネルギーが処理に必要なためと考えられる。よって、混合廃棄物の排出はリサイクル率向上を妨げ、中間処理業者の手間になっているだけでなく、環境負荷の観点からも処理効率が悪いといえる。

#### 3.4.2 建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量原単位

アンケート調査結果より各品目における各最終処理の比率を表す最終処理率を算出した。なお、アンケート調査結果より算出した埋立処分率は総じて環境省が公表している処分率<sup>2)</sup>と比べて低い（リサイクル率が高い）結果であった。これは、アンケート調査結果より算出した埋立処分率は中間処理施設が受け入れた廃棄物が埋立処分される割合であり、実際には排出現場から直接埋立処分場へ持込まれる場合などがあるためである。そこで、埋立処分率は環境省が公表している処分率を用いて補正した。最終処理率を表9に示す。

自社再生、他社再生および埋立処分の3つの最終処理におけるCO<sub>2</sub>排出量原単位に最終処理率を乗じ、その和を建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量原単位として、算出した。なお、他社再生におけるCO<sub>2</sub>排出量原単位はアンケート調査にて自社再生率が高かった中間処理施設のCO<sub>2</sub>排出量原単位を用いた。図20に算出手順、表10に算出結果を示す。单一品目受入施設からの回答があったコンクリートがら、木くずおよび汚泥では、单一品目処理施設における建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量原単位の方が複数品目受入施設より小さい結果となった。この結果より、特定品目の処理に特化している中間処理施設の方が、環境負荷が小さく、解体現場における細部に亘る分別により単品排出させることが建設廃棄物処理に係る環境負荷削減には効果的であるといえる。

#### 3.5 中間処理施設の選定によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

3.4.2の結果より、特定品目の処理に特化している中間処理施設の方が建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量を削減できることが明らかとなった。しかし、3.4.2にて算出したCO<sub>2</sub>排出量では、収集運搬に係るCO<sub>2</sub>排出量を考慮していない。しかし、実際の建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量を試算するうえで、廃棄物の収集運搬に係るCO<sub>2</sub>排出量の考慮は不可欠である。そこで、排出量に適した車両（2t, 4t, 10t トラックのいずれか）を収集運搬に用いると仮定し、収集運搬に係るCO<sub>2</sub>排出量を改良トンキロ法により

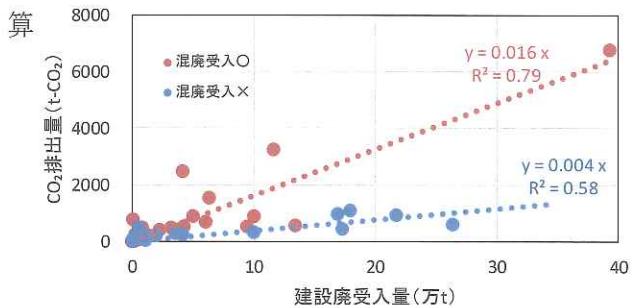


図19 中間処理施設における処理に係るCO<sub>2</sub>排出量

表9 各建材の最終処理率

コンクリートがら		紙くず			木くず			
自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分
96.3	1.7	2.0	11.4	86.6	2.0	76.6	20.4	3.0
繊維くず			ゴムくず			金属くず		
自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分
50.8	35.2	14.0	84.0	0.0	16.0	62.8	35.2	2.0
廃プラスチック			汚泥			廃石膏ボード		
自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分	自社再生	他社再生	埋立処分
48.3	36.7	15.0	98.9	0.1	1.0	41.4	30.8	27.8
ガラス陶磁器								
自社再生	他社再生	埋立処分						
64.8	18.2	17.0						

#### ①中間処理 & 自社再生に係るCO<sub>2</sub>排出量

$$= \text{中間処理施設における原単位(t-CO}_2/\text{t})^*$$

\*中間処理施設の受入体制により原単位は異なる

#### ②他社再生に係るCO<sub>2</sub>排出量

$$= [\text{他社再生率}] \times \text{再生処理施設における原単位(t-CO}_2/\text{t})$$

#### ③埋立処分に係るCO<sub>2</sub>排出量

$$= \text{埋立処分率} \times \text{埋立処分に係る原単位(t-CO}_2/\text{t})$$

#### ■廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量原単位

$$= ①+②+③$$

図20 建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量の算出手段

表10 建設廃棄物処理に係るCO<sub>2</sub>排出量原単位

建設廃棄物品目	CO <sub>2</sub> 排出量原単位(t-CO <sub>2</sub> /t)	
	単一品目受入施設	複数品目受入施設
コンクリートがら	0.005	0.022
紙くず	—	0.087
木くず	0.065	0.078
繊維くず	—	0.408
ゴムくず	—	0.024
金属くず	—	0.026
廃プラスチック類	—	0.041
汚泥	0.003	0.028
廃石膏ボード	—	0.040
ガラス陶磁器くず	—	0.039

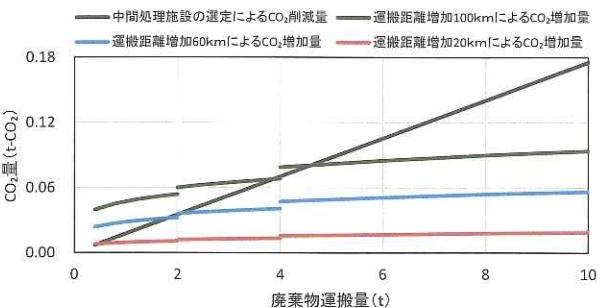


図21 中間処理施設の選定によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

(コンクリートがら)

出した。建設混合廃棄物として排出した場合と单一品目として排出した場合の中間処理に係るCO<sub>2</sub>排出量の差を中間処理施設選定によるCO<sub>2</sub>削減効果とし、中間処理施設選定によるCO<sub>2</sub>排出削減量と運搬距離増加によるCO<sub>2</sub>排出增加量を比較した。図21に示すように、廃棄物運搬量が多くなるのに伴い中間処理施設の選定によるCO<sub>2</sub>排出削減量が運搬距離増加によるCO<sub>2</sub>排出增加量を上回る可能性が示唆された。よって、単純に近距離の中間処理施設を持込先として選択するのではなく、中間処理施設の受入体制の違いによって生じる処理に係る環境負荷の違いを考慮して中間処理施設を選択することが建設廃棄物処理に係る環境負荷削減には必要である。

### 3.6 廃棄物・環境負荷低減に向けて必要な取組み

廃棄物問題の解決に必要な取組みは図22に示すように、製造業者、排出事業者、運搬業者および処理業者の四者の協力は不可欠であり、各事業者が抱えるリサイクルの課題や問題点について意見交換する場が求められる。また、各事業者に求められる取組みとして、製造業者ではリサイクル推進のためにリサイクル可能な建材の状態などを他事業者と知識共有することや有害物質に対する情報開示・周知方法の改善、ならびに廃ソーラーパネルの取り扱いに関する指針の作成が挙げられる。排出事業者では分別が義務化されている特定建設資材以外の品目についても現場での分別の徹底、解体・運搬業者では環境負荷を考慮した処理業者の選定、処理業者では処理に係る環境負荷の開示が求められる。複数事業者が協力して行うべき取組みをし、広域認定制度の有効活用のために小口巡回回収システムの構築、塗料などの異物分別技術の開発や特定品目の処理に特化した施設の設置が求められる。

## 4. 結論

- 1) 各建材の廃棄物排出量は増大することが予想され、その削減のためには新築系廃棄物に加えて、解体系廃棄物のリサイクルに関する取組みが必要となってくる。特に石膏ボードなどの出荷量の多い建材は率先して取組むべきである。
- 2) 中間処理施設にて処理に困難をきたしているのは、主に異物混入などによりリサイクル不可な建材であり、その改善ために塗料などの異物分別技術や有害物質含有の簡易的判定手法が求められる。
- 3) 中間処理に係る環境負荷を削減するためには、単品排出が効果的であり、そのため、排出現場での細部に亘る分別が必要である。
- 4) 廃棄物削減および環境負荷低減のために、異物分別技術の開発や特定品目の処理に特化した施設の設置などが必要であり、今後は建材製造業者、解体工事業者（排出事業者）、収集運搬業者および廃棄物処理業者の四者協力がより求められる。

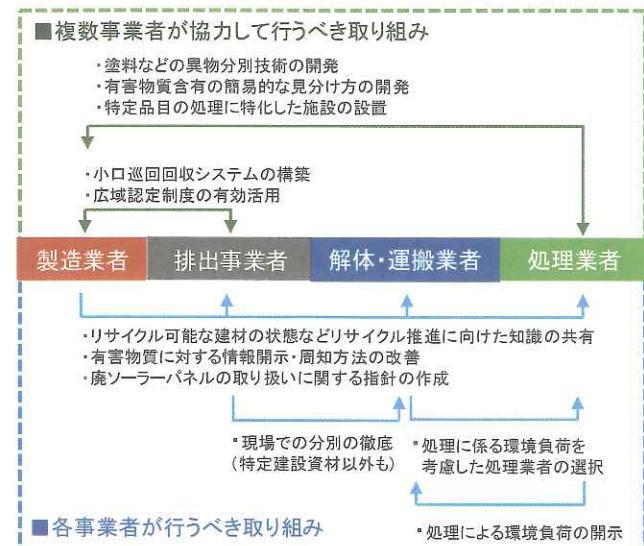


図22 廃棄物削減および環境負荷低減に  
向けて必要な取組み

【謝辞】 本研究の実施にあたり、当研究室所属の高橋侑布人氏、卒業生の追田翔太氏、小川敦也氏に多大な協力を得ました。厚く謝意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 国立環境研究所：政策・法令、環境法令ガイド、循環型社会形成推進基本法、  
<http://tenbou.nies.go.jp/policy/description/0055.html>, 2020.04.23 参照
- 2) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査  
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d02stastus/d0201/page\\_020101census.htm](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/d02stastus/d0201/page_020101census.htm)
- 3) 環境省：報道・広報、報道発表資料、産業廃棄物の不法投棄等の状況について、<https://www.env.go.jp/press/107565.html>, 2020.04.23 参照
- 4) 一般社団法人 日本建材・住宅設備産業協会：建材・住宅設備統計要覧
- 5) 小見康夫ほか：長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション、日本建築学会計画論文集, 75 (656), p2459-2465, 2010年10月
- 6) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース (Ver.2.5), 2018年3月  
[https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply\\_chain/gvc/files/tools/DB\\_V2.5.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/DB_V2.5.pdf)
- 7) 竹尾健一ほか：建設廃棄物の再資源化における広域認定制度利用の現状と問題点に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 2016年8月
- 8) 環境省：太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に向けた検討結果について、2015年6月  
<http://www.env.go.jp/press/101130.html>
- 9) 環境省：太陽光発電設備のリサイクル等の差億審に向けたガイドライン、2016年3月
- 10) 北海道経済連合会：建設混合廃棄物の再生利用促進のための基本的な考え方、2013年7月

地上躯体解体時の外壁及び外部養生足場の外側への倒壊防止装置の開発  
並びに当該装置を利用した飛散防止装置に係る実証実験



三同建設株式会社 松本卓也

1

1、開発の背景 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】

現 状

- 1) 解体建物の多様化
  - ・最適な外壁解体工法選定が難しい  
(経年・改修履歴・構造種別・外壁形状・外装種別・設計図書の有無・施工の信頼度・周辺環境・etc)
- 2) 社会及び顧客要求の高度化
  - ・倒壊事故による行政・顧客の指導強化  
(安全施工に対する裏付けの要求)
  - ・近隣の解体工事に対する関心の高まり
- 3) 解体工法開発改善の停滞(解体工事業界)
  - ・未だに安全よりコスト重視の受注が主流  
(施工計画・安全管理・安全施設・育成コストが軽視)
  - ・個々の経験や技能に頼る度合いが非常に高い

開発方針

- 1) 多様で不確実な建物情報に対する倒壊防止策の立案
- 2) 実効力と説得力のある倒壊防止策の立案
- 3) 解体工事安全意識の改善
  - ・「押ナシボ！」⇒「安全コストの効果的投入」
  - ・顧客に対し安全コストの必要性の認識働きかけ
  - ・新たな視点の倒壊防止策の立案



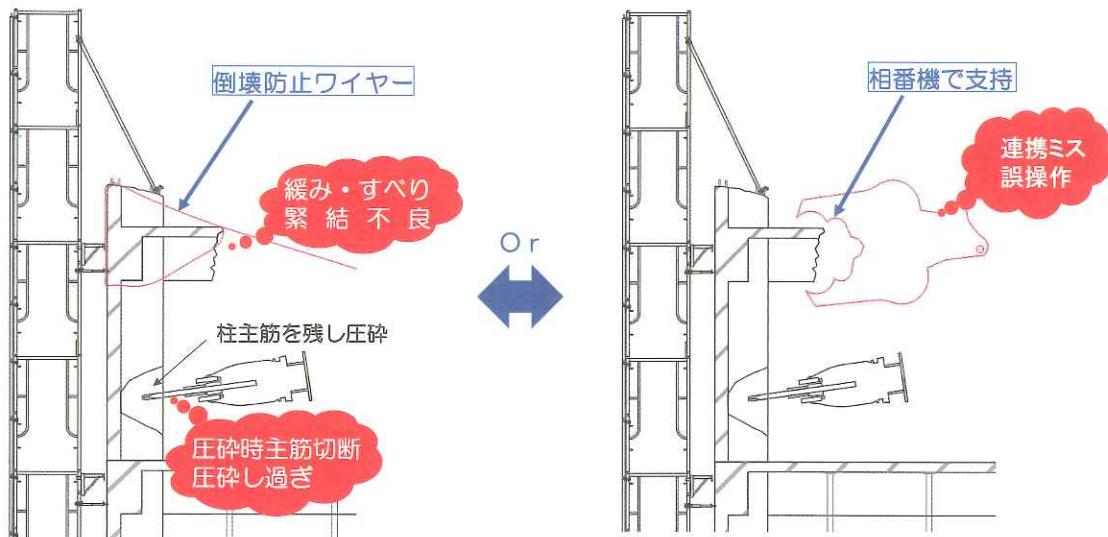
地上躯体解体時の外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発

2

## 2. 開発の課題と対策 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】

### ※ 現状の倒壊防止策

外 壁

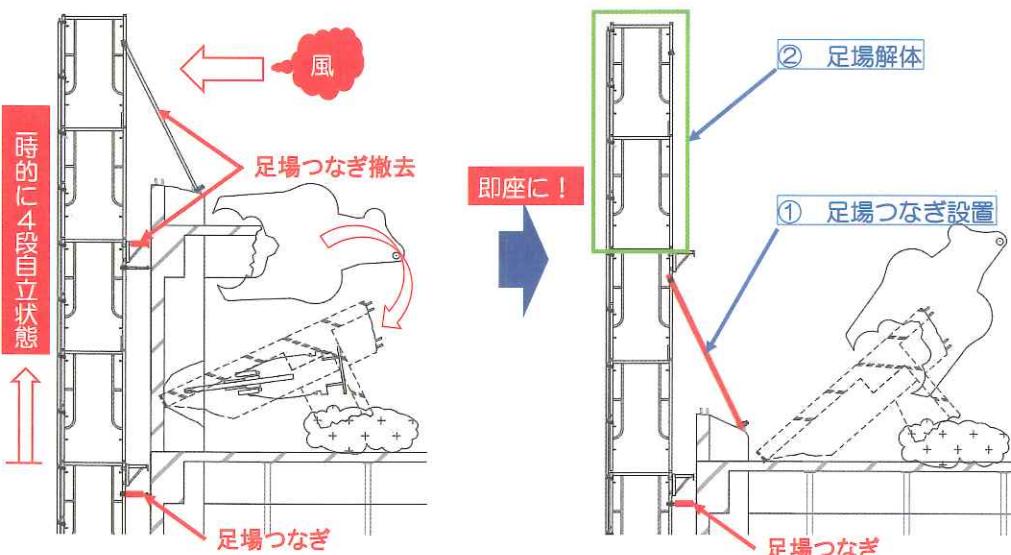


3

## 2. 開発の課題と対策 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】

### ※ 現状の倒壊防止策

足 場



4

## 2. 開発の課題と対策 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】

### ※ 主要な課題と改善策



① 外壁躯体と外部足場の倒壊を同時に防止



・外部足場と外壁との間に支持材を設置

② 外壁躯体の構造種別・形状・重量  
・重心位置等は多様な為外壁全重量  
を一律に支持することは困難



・外壁が外部側へ傾く初動を止める

③ 解体工事の場合揚重設備がない



・小型機械及び人力で設置可能

5

## 2. 開発の課題と対策 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】

### ※ 開発の課題

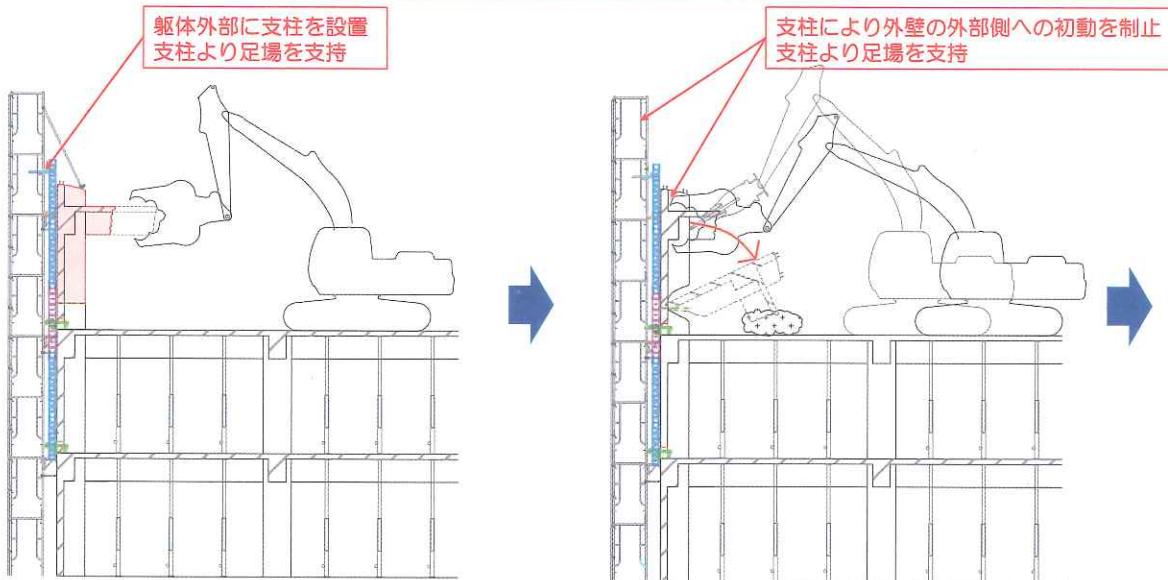
- 1) 重機階上解体及び重機地上解体に対応可能
- 2) 外壁解体直後の外部足場の支持が可能
- 3) 外壁躯体の外部側への転倒の初動を制止する
- 4) 多種の躯体構造種別・形状に対応可能
- 5) 人力で運搬・揚重・組立解体が可能
- 6) 容易に下階への盛蓄が可能
- 7) EVシャフト等の人が立入不可の部位も対応可能
- 8) 耐久性があり繰返し使用が可能
- 9) 他の用途にも使用可能
- 10) 資材のメンテナンスが可能

### ※ 対策

- ★ 1) 下階外壁躯体に固定・上階へ跳出して支持
- ★ 2) 鋼製・組立ラチス・L=1800程度連結式
- ★ 3) 小断面で高い断面性能の部材を設計  
(外壁が外部側へ傾く初動を制止する)
- ★ 4) 外壁・手摺・スラブ躯体を挟み込み支持
- ★ 5) 外部足場からのみの取付・盛蓄
- ★ 6) 足場解体相判鳶工による施工
- ★ 7) 溶融亜鉛メッキ・塗装仕上
- ★ 8) 足場受け跳出桁・大引等に使用できるようにする
- ★ 9) 仮設資材メーカーと共同開発

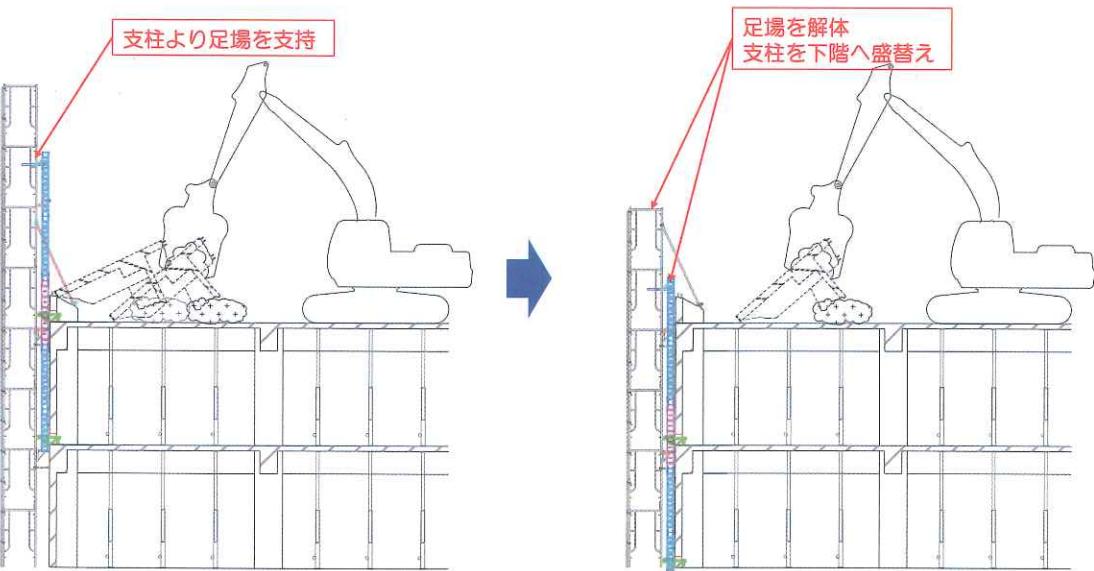
6

### 3. 工法の概要 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】



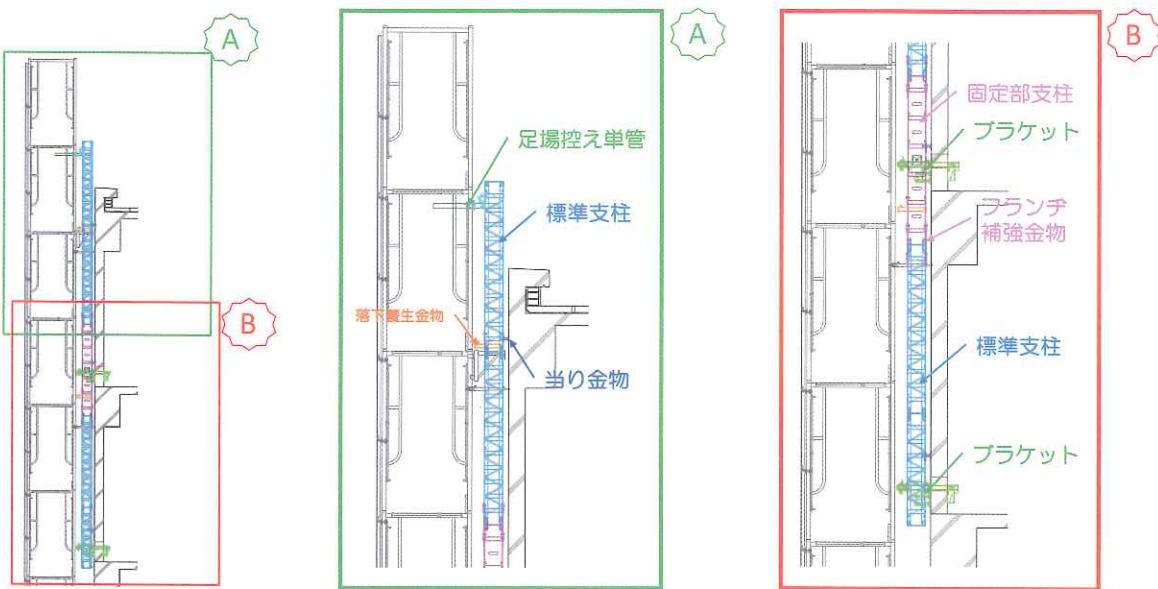
7

### 3. 工法の概要 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】



8

### 3、工法の概要 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】



9

### 4、支柱強度試験 【外壁及び養生足場倒壊防止工法の開発】



外壁及び養生足場の外部側への倒壊防止に有効であることを確認

10



# 4次元シミュレーションを用いた 解体時ににおける動的衝撃量および それに伴う振動・騒音推定手法の提案

2020/07

東京都立大学 都市環境学部 建築都市コース  
助教 國枝 陽一郎

## 目次

- 1. 自己紹介
- 2. 2018年度 助成研究の紹介
  - ⇒ 解体時の振動・騒音推定手法の提案
  - 3. 2018年度 助成研究の追加成果報告
    - ⇒ 実計測を含めた騒音推定手法の提案
    - ・周波数解析を含めた騒音特性の把握
    - ・解体時の騒音影響推定手法の提案

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

1

## 1.自己紹介

▶所属

東京都立大学 建築学域 助教 (2016.10~)

▶研究分野

- 建築材料(コンクリート)
- 解体構造物・解体リサイクル技術(再生骨材等)
- 廃棄物マネジメント
- 解体
- BIM/4Dモーデリング

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

3

## 2. 2018年度 助成研究の紹介

<解体時の振動・騒音推定手法の提案>

### 振動・騒音推定の概念



- Step1: 重機機械
- Step2: 衝撃量推定
- 振動・騒音量を衝撃量から推定
- ⇒ 構造解析(有限要素法)による4次元推定の拡張

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

4

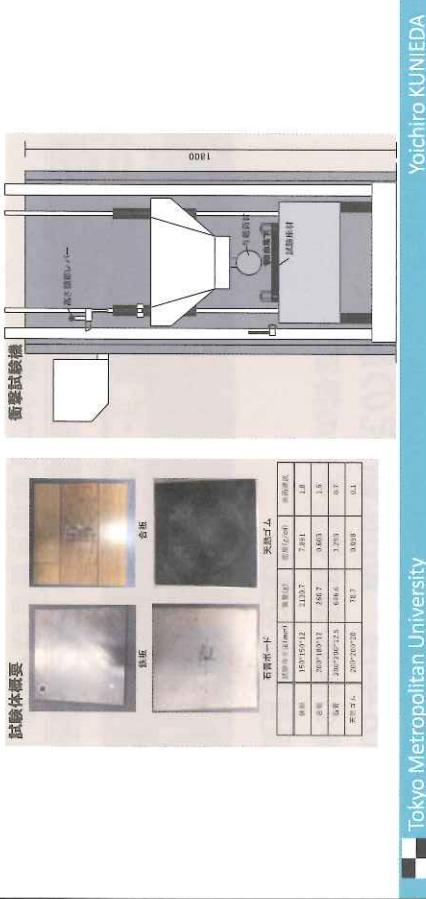
## 実験概要

1. 予備試験  
⇒ 衝撃試験による騒音・振動計測
  2. 本試験 <計測延期>  
⇒ 解体現場における騒音・振動計測
  3. シミュレーション比較 <構造解析への拡張>  
⇒ 本試験結果のシミュレーション内再現  
>計測結果との比較検証
- ↓

5

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

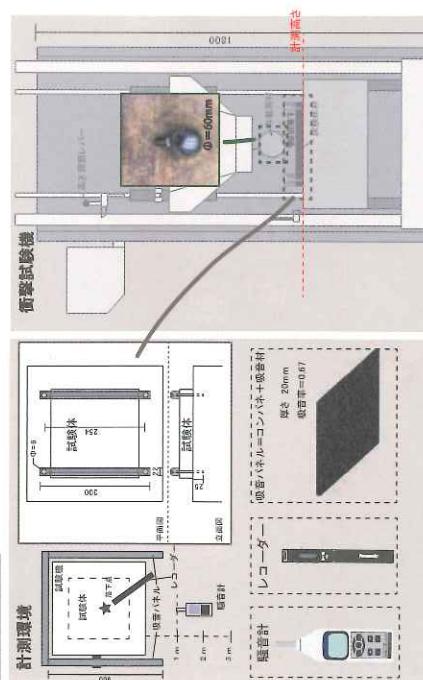
## 予備試験概要



6

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

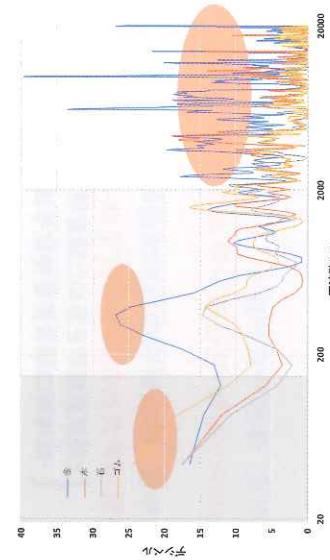
## 予備試験概要



7

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

## 結果1: 周波数解析

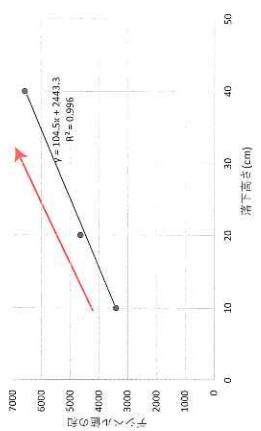


材料によって、大きさだけでなく周波数分布が異なる

8

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

## 結果2：落下高さの影響



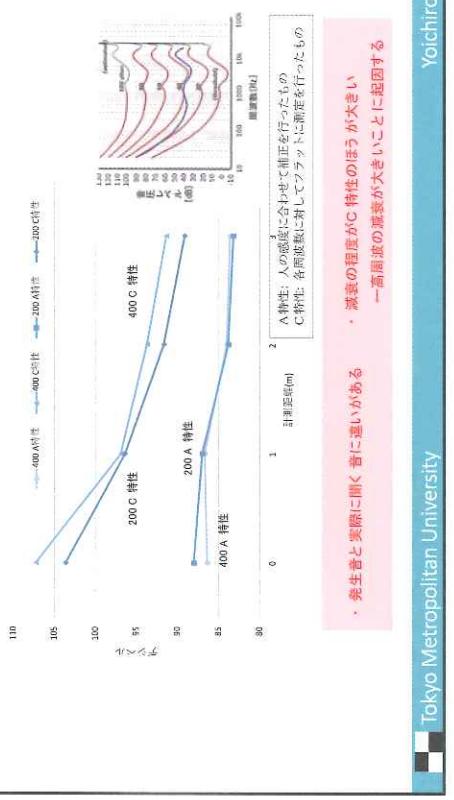
落下高さと音の大小には  
落下高さに比例した相関が見られた

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

9

## 結果3：減衰傾向



・発生音と実際にくぐる音に違いがある  
→高周波の減衰が大きいことに起因する

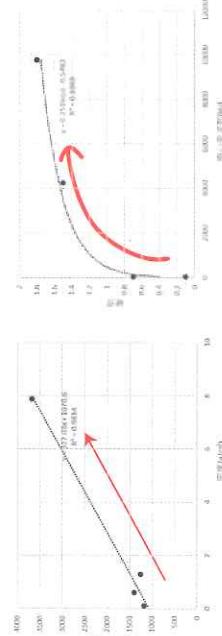
Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

10

## 結果4：材料特性

### 密度と音の大きさ



密度と音の大小、表面硬度と音の大きさ  
それぞれ高い相関が見られた

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

11

## 3. 2018年度 助成研究の追加成果報告

<本試験>  
研究フロー

1. 計測	・周波数計測(音) ・振動数計測(動作) ・動画撮影(動作・位置)
2. 解析	・作業分類(音一動作) ・距離推定(動作一位置)
3. 評価	・物理的評価(dB) ・心理的評価(スコア)

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

12

## ①-1: 測定概要

計測日時：2019年12月18,19,23日  
解体建物：RC造4階建壁式構造2棟

使用重機：建物解体専用重機  
解体仕様重機  
小割マネット仕様機

解体仕様重機



Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

13

## ②-1: 作業工程区分

今回着目した主な作業を以下に示す

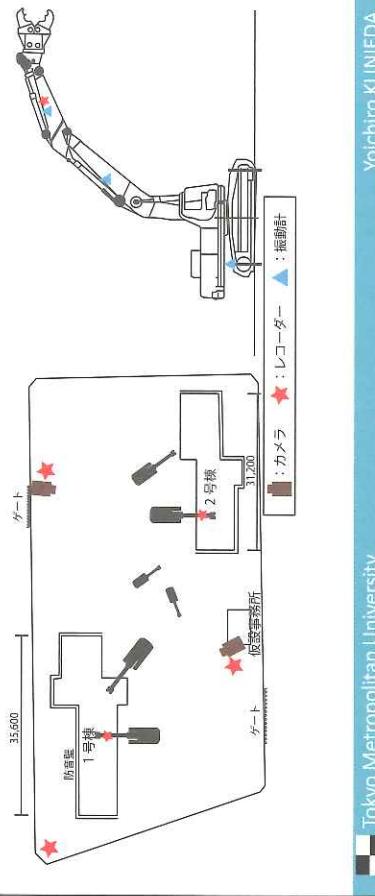
1. 衝突 重機アタッチメントと建物との衝突による音
2. 切断 圧鉗によるかみ砕いてる間に発生する音
3. 移動 重機の移動に伴う音
4. 落下 解体がれきの地面との衝突音
5. エンジン 上記の作業をおこなっていない際の音

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

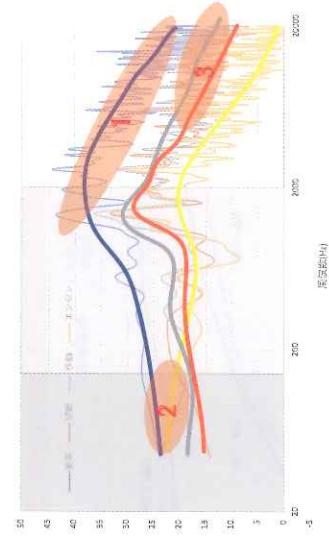
15

## ①-2: 計測器の設置場所



14

## ②-2: 工程ごとの周波数解析



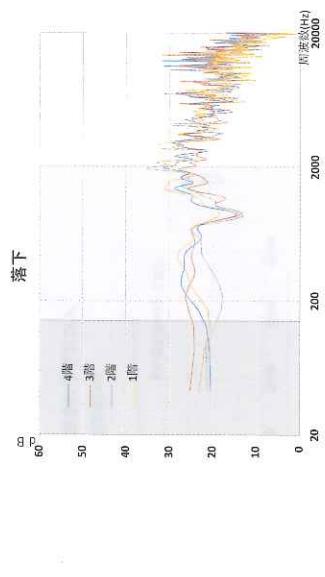
1. 噴突：中間波域以上が大きい
2. エンジン音：低周波域が比較的大きい
3. 重機の移動音は切断音と比べ高周波域が少しだ大きい

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

16

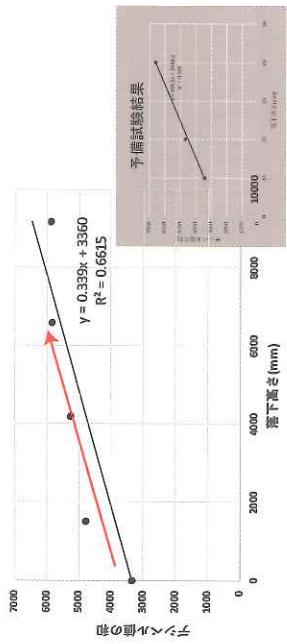
## ②-3:がれき落下方音(周波数分析)



Tokyo Metropolitan University

17

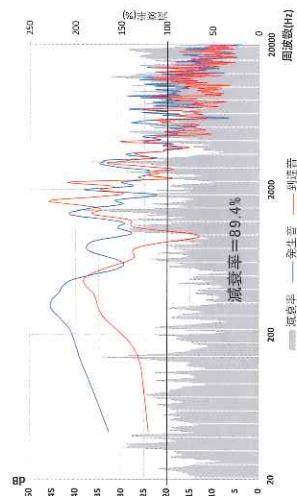
## ②-3:がれき落下方音(落下高さの影響)



Tokyo Metropolitan University

18

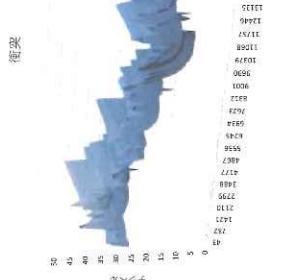
## ②-4:減衰傾向



Tokyo Metropolitan University

19

## ③-1:物理量推定(周波数別)



Tokyo Metropolitan University

20

周波数(Hz)	物理量
250	$y = -0.373 \ln(x) + 34.61$
500	$y = -1.356 \ln(x) + 33.912$
1000	$y = -4.603 \ln(x) + 37.69$
2000	$y = -8.237 \ln(x) + 36.75$
3000	$y = -12.255 \ln(x) + 35.81$
4000	$y = -16.971 \ln(x) + 34.734$
5000	$y = -20.486 \ln(x) + 34.639$
6000	$y = -23.809 \ln(x) + 34.547$
7000	$y = -26.931 \ln(x) + 34.455$
8000	$y = -30.053 \ln(x) + 34.363$
9000	$y = -33.175 \ln(x) + 34.271$
10000	$y = -36.297 \ln(x) + 34.179$
11000	$y = -39.419 \ln(x) + 34.087$
12000	$y = -42.541 \ln(x) + 33.995$
13000	$y = -45.663 \ln(x) + 33.893$
14000	$y = -48.785 \ln(x) + 33.791$
15000	$y = -51.907 \ln(x) + 33.691$
16000	$y = -55.029 \ln(x) + 33.591$
17000	$y = -58.151 \ln(x) + 33.491$
18000	$y = -61.273 \ln(x) + 33.391$
19000	$y = -64.395 \ln(x) + 33.291$
20000	$y = -67.517 \ln(x) + 33.191$

Tokyo Metropolitan University

21

予備試験ごとの推定式により測定の程度の差異が理解できた

周波数ごとの推定式により測定の程度の差異が理解できた

### ③-1: 物理量推定(全体)

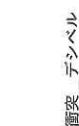
#### ③-1: 物理量推定(工程比較)



周波数 (f) と 距離 (d) による  
音の物理量推定が可能となつた  
旨の物理量推定(スコア算出)

Tokyo Metropolitan University

21



周波数 (f) と 距離 (d) による  
音の物理量推定が可能となつた  
旨の物理量推定(スコア算出)

Tokyo Metropolitan University

22



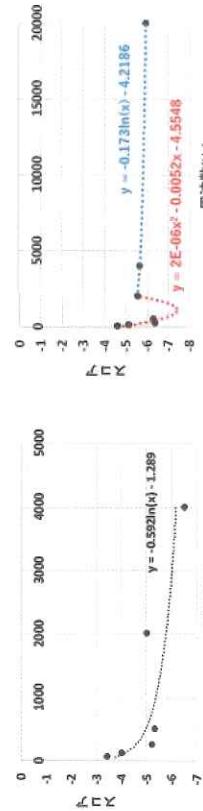
周波数 (f) と 距離 (d) による  
音の物理量推定が可能となつた  
旨の物理量推定(スコア算出)

Tokyo Metropolitan University

22

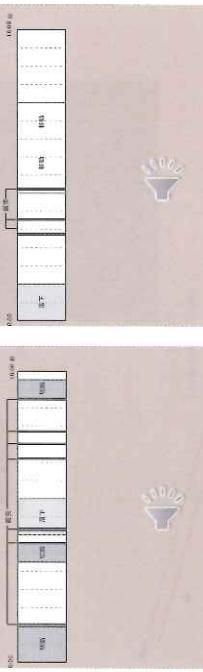
### ③-2: 心理量推定(スコア算出)

#### ③-2: 心理量推定(評価例)



a : 心拍数上昇によるスコア

<参考文献>  
豊川勝男・市原恒一・澤口勇男、様々な周波数分布を持った衝撃騒音に対する人間感覚評価、森科学社、12(1), 97, pp.27-34

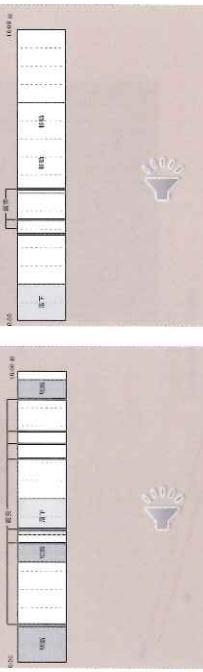


b : 心理評価値によるスコア

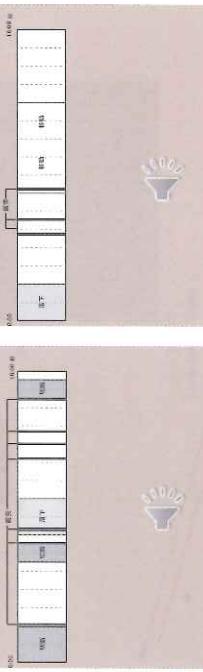
Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

23



作業フロー①



作業フロー②

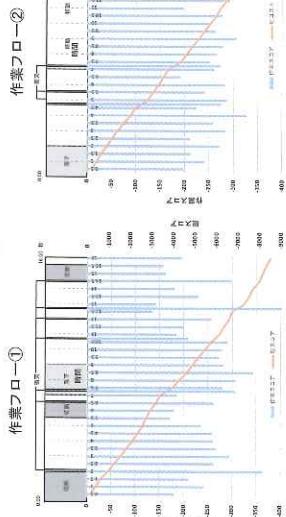
Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

24

### ③-2: 心理量推定(評価結果1)

作業スコア = Average (スコア係数 × d日)



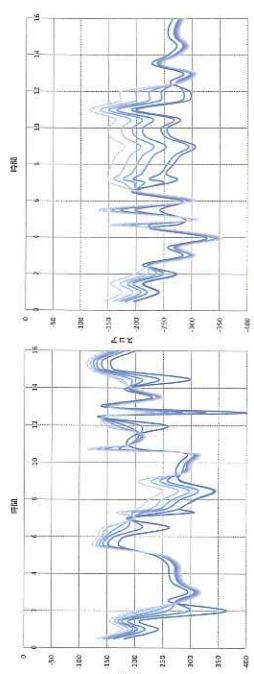
作業ごとのスコアを時間を追って把握することが可能となった

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

### ③-2: 心理量推定(評価結果2)

作業①



\* 全体を通して距離が離れるとスコアも向上する  
\* 低音作業（ここではエンジンのみの音）はあまり変動しない

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

### ③-2: 心理量推定(全体)

衝突\_スコア



$$S = (-0.592 \ln(f) + 2 \times 10^{-6} f^2 - 5.2 \times 10^3 f + 10.8) \cdot B \cdot s + (-0.4 \cdot f - 200) \cdot C \cdot d - 5.49 \times (-0.173 \ln(d^2) + 1.46) \quad (f \leq 2000)$$

$$- (-0.756 \ln(f) - 5.49) \times (-0.173 \ln(d^2) + 1.46) \quad (f > 2000)$$

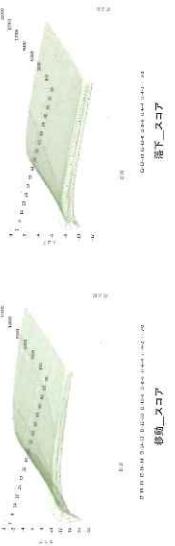
(f: 周波数, d: 距離)

Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

### ③-2: 心理量推定(工程比較)

衝突\_スコア



Tokyo Metropolitan University

Yoichiro KUNIEDA

## まとめ

本研究により以下が達成された

- [・材料密度、表面強度、衝撃量による衝撃音特性の把握]
- [・工事内容ごとの周波数分布の傾向把握]
- [・周波数・距離による騒音の物理量・心理量推定]

## <展望>

- [・動画、振動、周波数データによる工程把握手法への拡張]
- [・シミュレーション結果による重機作業の影響定量化の実現]