

— 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6年度の解体工事業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	所 属
1	・解体工事における安全性に関する研究	
	青 木 孝 義	建築構造技術研究所（名古屋市立大学大学院）所長
2	・保存された設計図書と現況の整合性を分析する手法の開発 —増改築を重ねた放置建築物の解体に向けて—	
	藤 本 郷 史	宇都宮大学 地域デザイン科学部建築都市デザイン学科准教授
3	・解体工事に係わる再資源化技術の評価に関する研究	
	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部環境創造工学科教授
4	・超音波技術を用いた RC 構造物の革新的解体技術の開発における発振ホーン形状の影響	
	高 橋 駿 人	東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻特任助教

令和6年度 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

解体工事における安全性に関する研究

2025年8月21日

青木 孝義¹⁾, 張 景耀²⁾

- 1) 建築構造技術研究所(名古屋市立大学)
- 2) 建築構造技術研究所(京都大学)

1

研究の背景

- ・ 築50年前後の建物がこれからは**建替え**の時期に。
- ・ 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。
- ・ サポートの**合理化**はコストダウンに。
- ・ 建物全体の揺れもモデル化によって**見える化**に。
- ・ コンクリート強度の簡易推定。
- ・ SfM技術により解体作業のモデル化によって**見える化**に。
- ・ DX(デジタルトランスフォーメーション)の可能性
- ・ 。 。 。

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 2

これまでの研究

解体工事における建造物の安全性に関して

- ・日本大学生産工学部5号館（RC造）の地上解体工事に関連して振動特性の変化
 - ・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版サポートの軸力変化
 - ・RC造の階上解体（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、LiDAR技術の活用
 - ・加速度計、変位計
- に関する研究を進めてきた。

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 3

令和6年度の研究

1. 階上解体におけるサポートのひずみ計測と解析
2. 階上解体における床版の振動、サポートの軸力計測
3. 床版・梁等のサポートの計算整理
4. 解体作業中における建造物の安全性を測定するための装置と変位計の開発
5. コンクリート強度の簡易推定

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 4

実験概要(補強サポートの配置計画および軸力計測計画)

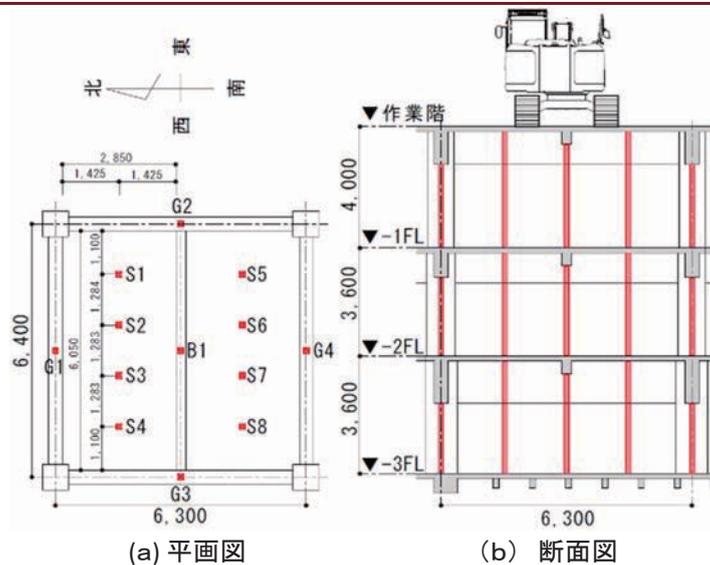


図1 補強サポートの配置計画図

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 5

実験概要(補強サポートの配置計画および軸力計測計画)



写真1 補強サポートおよびひずみゲージ設置状況

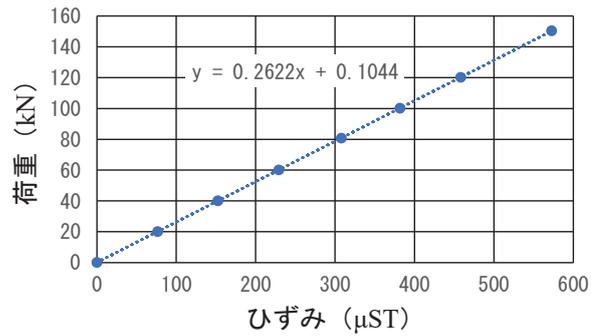


写真2 ロードセルの設置状況

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 6

補強サポート(36型)の圧縮試験結果

材料仕様			呼称	調節長さ(mm)	重量(kg)	許容耐力(ton)	内管長さ(mm)	外管長さ(mm)
名称	材質	寸法	18型	1219~2124	38	15	1209	1059
			32型	1865~3270	50	15	1809	1630
外管	STK400	φ114.3 × 3.5t	36型	2265~3670	56	14	2209	1630
内管	STK500	φ82.6 × 6t	40型	2665~4070	59	13	2609	1630
ねじ管	STK500	φ101.6 × 7.5t	50型	3665~5070	70	11	3609	1630
ピン	S450	φ19 × 160						



$$N[kN] = E \times A \times \varepsilon = 2.05 \times 10^2 \times 1218 \times \mu = 0.2497 \mu$$

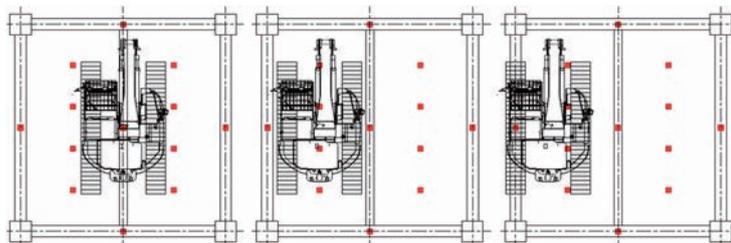
研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 7

実験パターン

パターン	ガラ	補強サポートの設置層数	重機の位置	クローラ方向	重機の動作
①	無	小梁 3層 スラブ3層 大梁 3層	スラブ 小梁 大梁	東, 北	走行, 停止, 前上げ 叩き, 衝撃
②	無	小梁 3層 スラブ3層 大梁 0層	スラブ 小梁 大梁	東, 北	走行, 停止, 前上げ 叩き, 衝撃
③	有	小梁 3層 スラブ3層 大梁 0層	スラブ 小梁	東, 北	走行, 停止, 前上げ
④	有	小梁 3層 スラブ2層 大梁 0層	スラブ 小梁	東, 北	走行, 停止, 前上げ

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 8

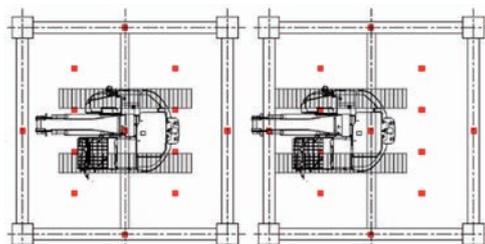
重機の配置およびクローラ方向



A) 小梁・東向き

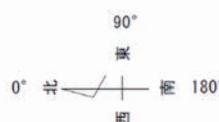
B) スラブ・東向き

C) 大梁・東向き



D) 小梁・北向き

E) スラブ・北向き

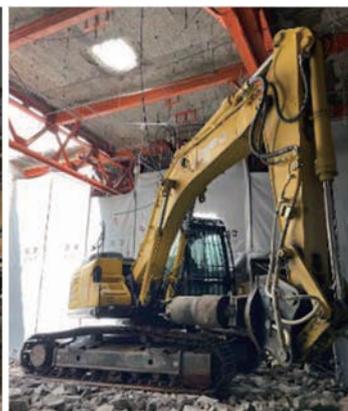


研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 9

計測状況



A) ガラ無, 東向き, 180°



B) ガラ有, 北向き, 45°

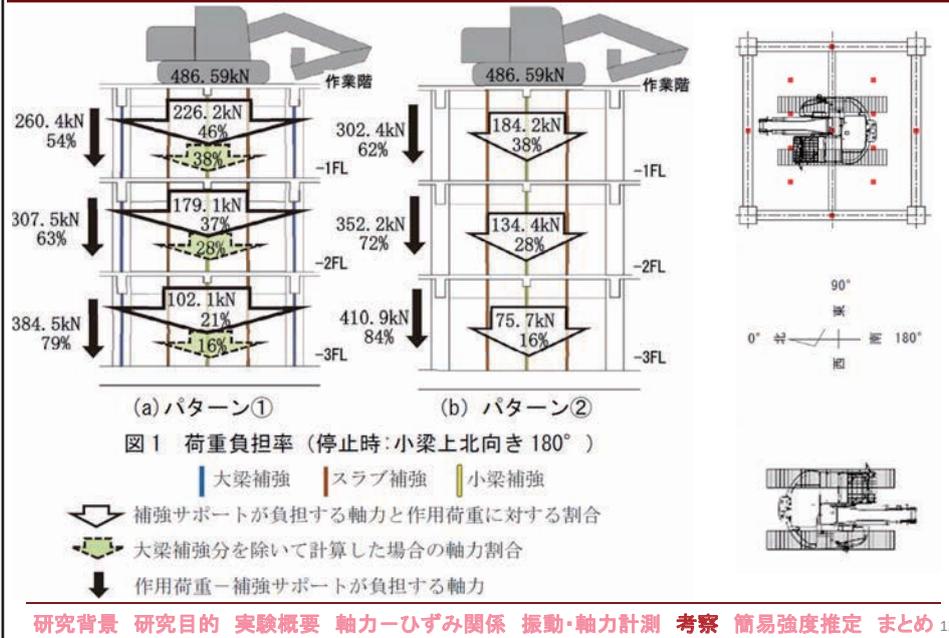
研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 10

停止時の作業姿勢

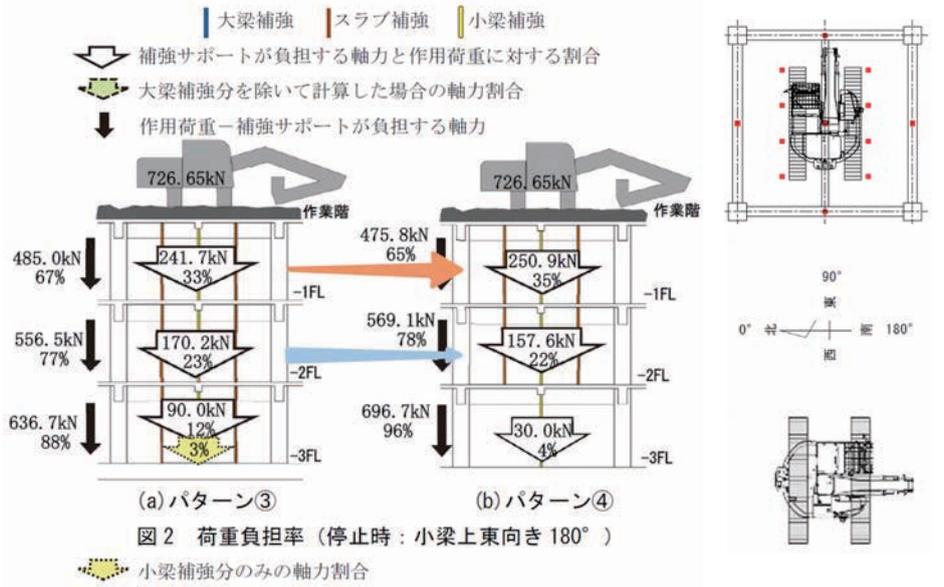
クローラ の方向	アームの方向				
	0°	45°	90°	135°	180°
北向き					
東向き					

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 11

荷重負担率(停止時:小梁上北向き180°)

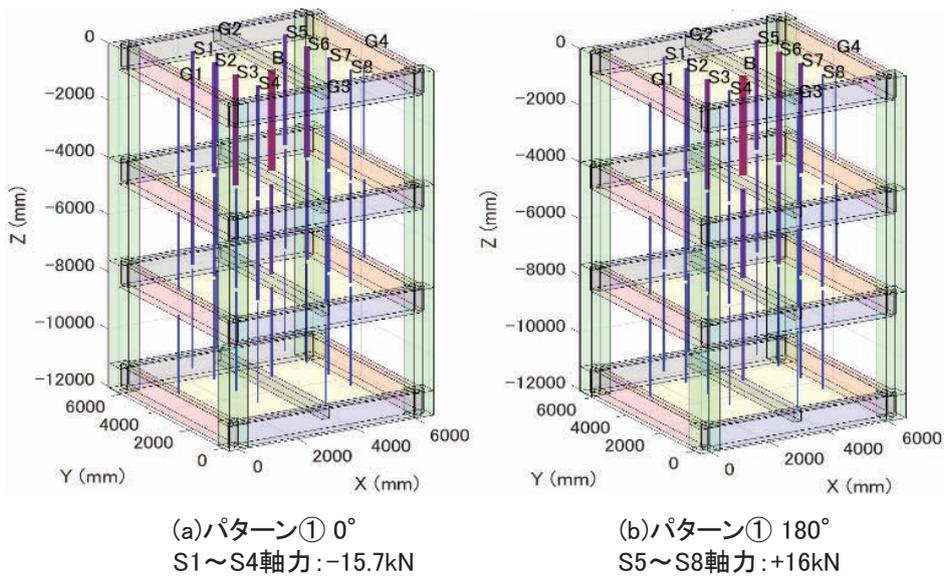


荷重負担率(停止時:小梁上東向き180°)



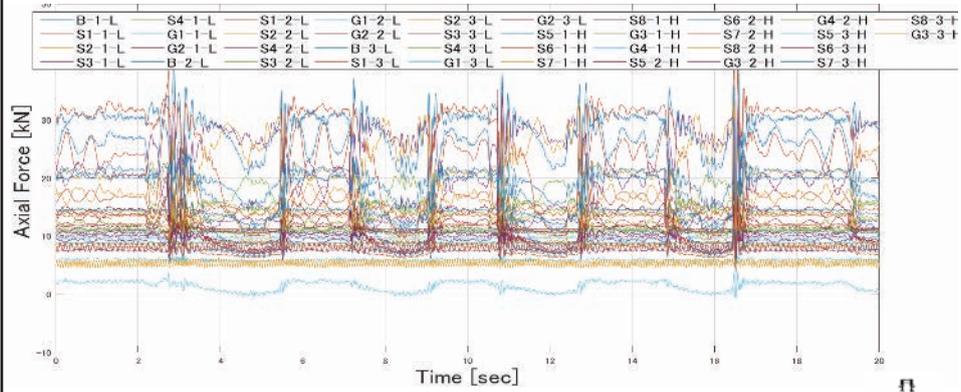
研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 13

アーム方向の変化による軸力分布の変化

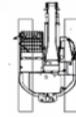


研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 14

衝撃作業時の軸力変化

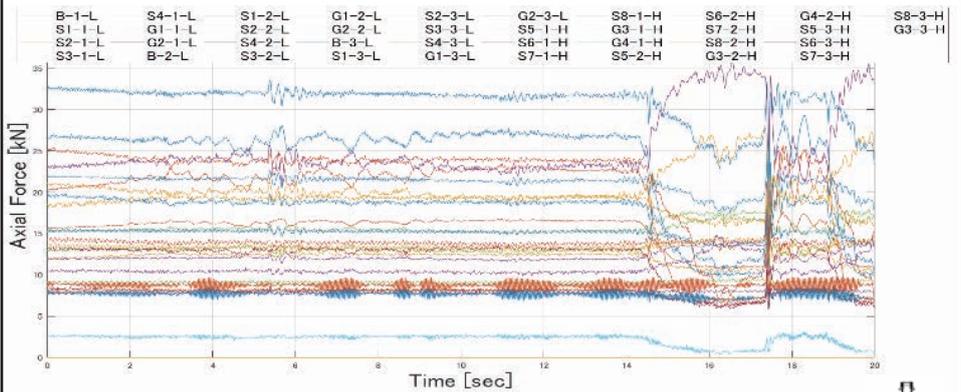


(a) 軸力の変化と重機位置 パターン①

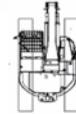


研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 15

衝撃作業時の軸力変化



(b) 軸力の変化と重機位置 パターン②



研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 まとめ 16

まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

1. 重機作業の中で衝撃荷重が最大なものは、衝撃作業の64.3kN で、参考文献の衝撃荷重と近い値となった。
2. 測定値から得られたガラ重量は、1.88kN/m²であり、参考文献より大きい値となった。

参考文献

南谷崇文, 青木孝義, 藤本郷史, 階上解体工事における建築物の安全性に関する研究—解体工事に解体用什器が床版サポートに与える影響—, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第51号, pp.105-108, 2013

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 **まとめ** 17

コンクリートの圧縮強度推定手法(小径ドリル型削孔試験)

- ・ 最大50mmまで削孔可能
- ・ ~ φ 10mm
- ・ 水を使用しない
- ・ 変位制御
- ・ 荷重制御
- ・ . . .



研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 **まとめ** 18

発表論文

1. 鈴木信也, 上西涼花, 湯浅昇, 青木孝義, 張景耀, 石丸達朗, 杉江将徳:階上解体工事中における補強サポートの軸力に関する研究 その1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), A-1(材料施工), 2025.9 (発表予定)
2. 上西涼花, 鈴木信也, 青木孝義, 湯浅昇, 張景耀, 石丸達朗, 杉江将徳:階上解体工事中における補強サポートの軸力に関する研究 その2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), A-1(材料施工), 2025.9 (発表予定)

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 **まとめ** 19

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。

実験にあたっては、

- ご協力いただきました、UR、戸田建設に感謝申し上げます。

研究背景 研究目的 実験概要 軸力-ひずみ関係 振動・軸力計測 考察 簡易強度推定 **まとめ** 20

保存された設計図書と現況の整合性を分析する手法の開発 ～増改築を重ねた放置建築物の解体に向けて～

藤本郷史, 宇都宮大学 建築都市デザイン学科, fujim@cc.utsunomiya-u.ac.jp

本報告書における留意事項

本研究は行政との共同により実施したが、対象建築物は民間団体の所有である。この報告書は全国解体工事業連合会の規程に基づき web 掲載予定となっているので、本報告書の計測結果等においては図表などの多くの掲載を控えた。したがって、いくつかの研究成果について、その成果を読み取りづらくなっている。

1. 研究の背景および目的

適正に管理されず、放置された建築物（以下、放置建築物）が近年問題視されている（表 1 参照）。本来、建築物は、所有者や管理者が自ら適正に管理をする必要がある。しかし、これらの放置建築物では、所有者や管理者が管理能力を失う、あるいは管理者が不明であるといった事態が生じており、対応が難しい状況にある。

表 1 放置建築物に関する報道の例

分類 ^註	報道内容の概略
火災	放火と思われる火災の発生 ¹⁾
人の墜落	廃墟探検中に墜落して死亡 ²⁾
飛散物	石綿が露出し、周囲に飛散 ³⁾
落下物	外壁の仕上げが道路に落下 ⁴⁾
不法侵入	数十名の不法侵入者を摘発 ⁵⁾
悪臭	管理不足による水没・悪臭 ⁶⁾
不法投棄	都市部の放置ビルの不法投棄 ⁷⁾
不法占拠	反社会勢力の占拠・使用 ⁸⁾

表 2 にこのような放置建築物に対して採りうる方策を分類して示す。解体や利活用等の方策を実施できれば、課題の多くを同時に解決できるが、対象建築物の規模が大きいくほど、計画立案、費用確保など実施には相当の困難が伴う。そこで、放置建築物への対応においては、解体や利活用などの一定規模の工事を伴う方策^{9,10,11)}だけでなく、解体等への準備期間において対象建築物や周囲の状況がこれ以上悪化しないような管理的方策を立案・実施する選択肢もありうる。

これらのいずれの対応を採る場合にも、現況を把握することが重要である。解体する場合には、解体工事の安全性の確保するために構造部材の寸法・強度などを把握する必要がある。

また、解体工事によって発生する廃棄物の発生量を推計するため、非構造部材や内部の家具・什器などの量・状態を把握することも重要である。

表2 放置建築物に対して採りうる方策^{12,13,14}を参考に作成)

分類	方策の特徴（利点：○，欠点：×）
除却（解体）	○倒壊・火災など複数の課題を同時に解決可 ×大規模建築物では解体等の費用が高額
改築等による 利活用	○成功すれば地域振興にもつながる可能性 ×立地・費用面で計画が困難な場合が多い
管理の あり方の変更	○少額な費用で実施できる可能性がある ×個別の課題点の状況改善にとどまる

改築・修繕によって利活用を図る場合には、どの部分に改築・修繕が必要であるかを把握するために、構造・非構造部材、家具・什器の状態を把握する必要がある。部屋の大きさ・配置といった基礎的な情報も当然、必要である。

管理のあり方の変更とは、例えば、清掃、定期的な換気といった比較的安価な方策によって、建築物の質の低下を防ぐ行為を指す。このような比較的安価な方法による管理においても、当然ながら放置建築物内への立入りが必要である。したがって、少なくとも部屋の位置・大きさといった空間構成の把握が必要である。

以上のような空間構成の把握、部屋にある家具・什器の把握といった情報は、一般的な建築物では、容易に入手可能である。しかし、著者らのこれまでの研究から、放置建築物においては、「図面が適切に保管されていない」「違法増築部分の床が劣化により崩落していることがある」「破壊行為によって石綿の飛散が懸念される部屋がある」「照明がないために、立入調査をおこなっても図面との整合が確認しにくい」などといった事例が多く存在しており、空間構成の把握すら容易でないことが明らかとなっている。

そこで、本研究では、三脚型3次元レーザスキャナを用いた屋内空間の計測によって、放置建築物の空間構成を把握する手法を構築することを目的とした。具体的には、入手可能な設計図書（多くの場合、平面図のみが保管されている）から3次元CADモデルを作成し、このモデルとレーザスキャナによって得られた点群形状データを比較することで、設計図書に記載された空間構成と現況の整合性を半自動的に確認する手法を構築した。この手法には、以下のような利点がある。

- 暗い屋内空間内でもレーザスキャナにより正確かつ熟練度を要せずに計測できる。
- ソフトウェア的な比較により、経験に頼らない整合性評価が可能である。

2. 研究の対象

本報で対象とした建築物は、研究開始時点では次の状況が確認されていた。なお、ここに示す複数回の増改築履歴、傾斜地・河川隣接といった立地、温泉を有する宿泊施設といった用途、不法侵入等の履歴などのいずれかの特徴を持つ建築物は当該地域だけで十数棟が確認されており、日本全体では多数に及ぶことが容易に推定される。

- ✓ 建築物の用途は宿泊施設であり、営業停止後 10 年以上が経過している。これらは（図 1 に示すように）増加傾向にある廃業宿泊施設のうち放置されたものの一例である。
- ✓ 増改築を繰り返しており、構造種別が不明な棟が含まれる。
- ✓ 一級河川に隣接する崖地に立地しており、道路、崖下、建物間の傾斜地などに異なる階で面している、内部の空間構成が極めて複雑である。
- ✓ 不法侵入、工作物落下、不法投棄、火災、床の崩落などの履歴がある。
- ✓ 崖地などに面しており、内部に照明がないために昼間でも暗い部屋がある。また、地下室も存在している。
- ✓ 石綿含有建材が使用されており、建材の破壊による飛散が懸念される。

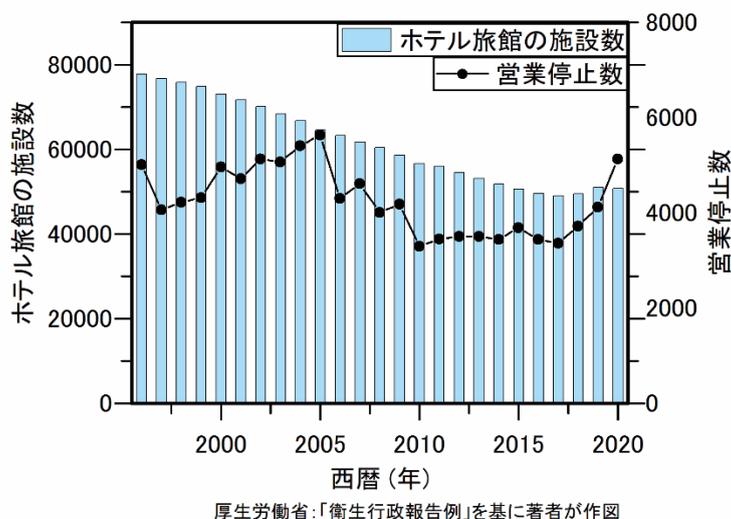


図 1 宿泊施設の数および営業停止数の推移

表 3 に本研究で対象としたホテルの図面保管状況を示す。立面図、断面図、構造図などはほとんど保管されていなかったため、後述の CAD を用いた 3D モデルの構築においては、平面図（設計図書）のみを用いた。

なお、仕上表の一部からは外装への石綿含有建材の使用が確認された。また、屋内での内装材の一部を採取したところ、石綿の含有が確認されている。これらのことから、立入にあたっては、石綿防護装備を装着した。

表3 保管資料の種類と入手の可否

資料の種類	建築物①	建築物②
配置図・敷地図	—	S47 増★
面積表・求積図	H4 改★	
平面図（設計図書等）	S56 改★,H4 改★	H10 改★
平面図（案内図等）	?	S47 増,S56,?
断面図	—	S47 増★
構造図・構造計算書	—	—
設備平面図	—	S47 増★
立面図・矩計図など	—	S47 増★
仕上表・建具表など	—	S47 増★
（税務用の）評点表	S34,36,37, 38,?も多数	—
登記簿・写真・名刺等	H11, H15	H18, H31, ?

注：—：資料なし,?：作成年不明，数字：図面の和暦作成年。昭和:S, 平成:H, 新：新築工事，改：改修・改善勧告等による工事，増：増築工事として略記。★：設計図書に分類される保管資料（名称・分類については国交省・建築工事設計図書作成基準を参照）

3. 研究の方法・手順

本研究では、以下の手順で設計図書と3D計測データの整合性を分析した。

3.1 設計図書のデジタル化

図2, 図3に作成した3Dモデルを示す。3D CADソフトウェアを用いて残存設計図書の平面図をトレースし、柱・壁・床の3次元モデル（メッシュモデル）を作成した。本研究では整合性の確認手法の構築を目的としているので、設計図書の明らかに不合理と思われる箇所も設計図書の通りにトレースした。平面図以外の詳細な断面図などは入手できなかったため階高は2400mmと仮定した。また、平面図から床レベルや壁が読み取れない場合には（これまでの立入調査における目視観察結果は反映せず）トレースしなかった。なお、後述の分析では、これらのデータ処理の作成・処理方法について検討した。

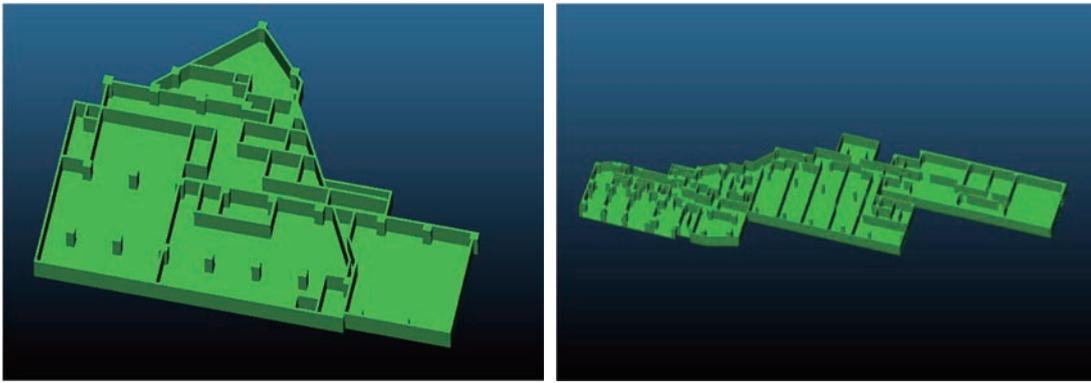


図2 ホテル② (S56 図面) の3Dモデル (左)、ホテル① (S55 図面) の3Dモデル (右)

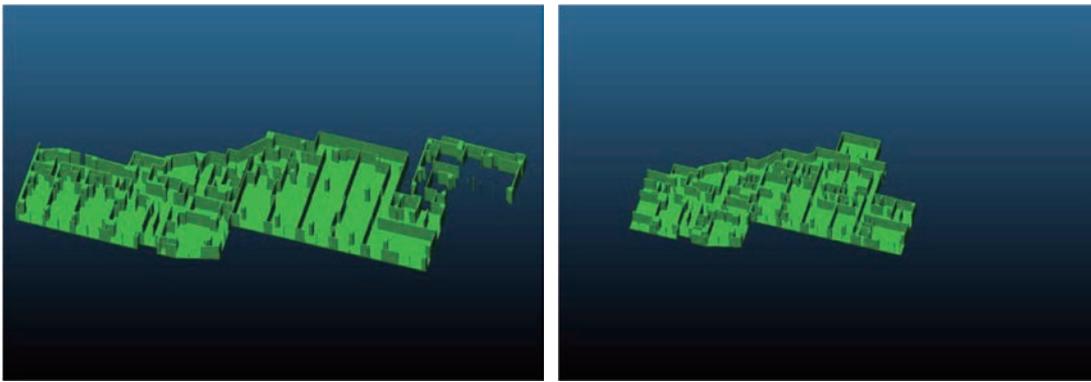


図3 ホテル① (S63図面) の3Dモデル (左) ホテル① (H5図面) の3Dモデル (右)

3.2 放置建築物の3D計測およびデータ前処理

表4に測定機器の概要を、図3に測定時の概要を示す。本研究では、暗所に適用可能な点群計測法 (LiDAR法) を採用し、3Dレーザスキャナを用いて建築物内部を測定した。LiDAR法では、その原理上、死角となる部分を測定できず、遠距離になるほど、測距精度や座標精度が低下する。そのため、複数箇所から測定し、点群を結合した。これを、設定した分析対象区域を全て計測するまで、繰り返した。なお、結合が容易となるよう、可能な限り、引き戸は全開、開き戸は45度開口に固定した。また、LiDAR法では、反射面を正確に測定することができないため、鏡面は新聞紙で覆った。

LiDAR法の特性上、窓などの透過面の外側 (屋外空間) も点群として取得された。そこで、後述の位置合わせに先立って、窓面を透過した先にある建築物の外壁を検知した点群計測点を削除した。

なお、後述の分析においては、本助成の開始時点で取得した点群データも利用した。

表4 測定装置の概要

測定方法	LiDAR 法
測定範囲	水平 360° , 鉛直 300°
測距精度 (公称)	4mm@1m/7mm@20m
座標精度 (公称)	6mm@10m/8mm@20m

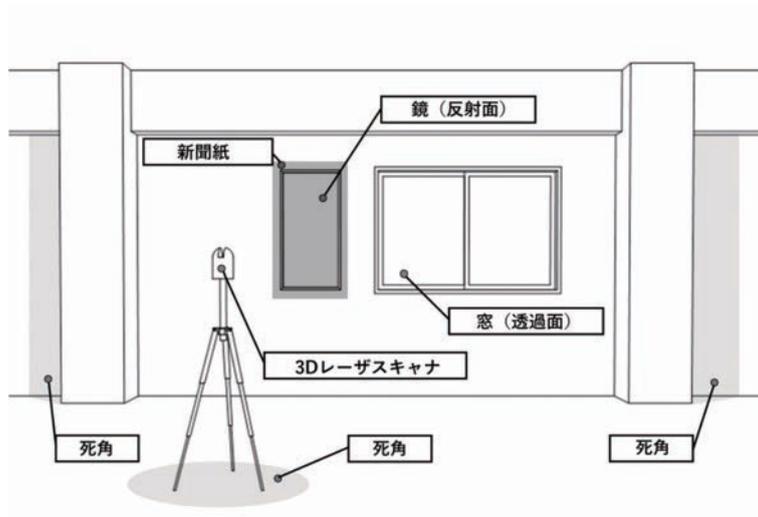


図4 3D計測の方法の概要

3.3 3次元スキャンデータと設計図書より生成したCADデータの位置合わせ

図5に点群と3Dモデルの位置合わせ例を示す。点群処理ソフトウェアを用いて、設計図書から作成した3Dモデルと3次元スキャンにより計測した点群データを位置合わせした。点群と3DCADを用いて作成した3Dモデルに差異がある場合、一致箇所が少ないと、自動による位置合わせ(ICP)は難しかった。これは、建築物の現況と残存設計図書には差異があったためである。本研究ではこれらの分析を踏まえて手動で位置合わせを行った。

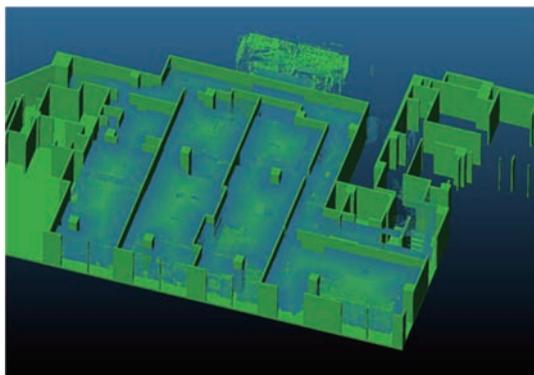


図5 スキャンデータとCADデータの位置合わせ結果の例

3.4 点群-CAD データ間の距離計算による整合性分析方法の検討

3.4.1 距離計算の方法に関する検討

距離計算方法には、メッシュを点群化せず、点群とメッシュの最短距離を算出する Cloud to Mesh 法と、メッシュを点群化し、点群とメッシュから生成した点群の最短距離を算出する Cloud to Cloud 法がある。Cloud to cloud 法の場合、点群とメッシュから生成した点群を入れ替えることができるので、増築と改築を分けて計算ができるが、距離精度は点群密度に影響される。一方、Cloud to Mesh 法の場合、点群とメッシュの法線距離が算出されるため、距離精度は点群密度の影響を受けにくい。比較を行った結果、Cloud to Mesh 法の方が整合性評価に適することが明らかとなった。

表5 整合性を評価するための計算アルゴリズムの比較

	Cloud to Mesh 法	Cloud to cloud 法
概要	設計図書から生成した 3D メッシュと 3D スキャナで取得した点群の距離を計算する	設計図書から生成した 3D メッシュを点群に変換し、点群間で距離を計算する。
利点	距離精度は、点群密度の影響を受けにくい。	点群 A⇒点群 B、点群 B⇒点群 A の距離計算方法を区別し、増改築を検出できる可能性がある。
欠点	点群 A⇒メッシュ B、メッシュ B⇒点群 A の距離計算方法を区別することはできない。	距離の計算結果が、各点群の計測密度に影響される。

3.4.2 スキャンデータの前処理に関する検討

設計図書（平面図）から 3D モデルを作成する場合、天井高さは平面図からは明らかでないため、何らかの仮定を設けて、3D モデルを作成することになる。本研究では、このような考え方に基づいて、平面図から 3D モデルを作成し、上述の距離計算を施行した（結果図は非掲載）すると、増築部分においても天井に対応する点群計測データからの距離を計算することになるために、推定によって設定した 3D メッシュデータの天井面の影響によって、「存在しない間仕切り壁」「存在しない空間」などの検出精度が低下した。これは、相対的に天井データの距離が大きくなるために、点群全体のメッシュからの距離において異常値を見つけにくくなるためである。

このような分析結果に基づいて、天井データを削除したメッシュモデルを作成し、整合性分析を行ったところ、後述のような非整合部分の検出精度が向上した。

4. 整合性分析の適用結果と考察

本研究で開発した整合性検出手法を用いて、次の 4.1 から 4.5 の成果を得た。なお、これらの成果は、本助成に先立って行った自治体との共同研究時に既に明らかになっているものが含まれており、本成果では手法の洗練、分析の追加を図ったものである。なお、1 章に述べた理由で、いずれの成果図も報告書には非掲載とした。

4.1 設計図書にない部屋の検出

本研究で開発・改良した手法を用いて、設計図書に記載のない部屋（建物外に増築）を検出することができた。このような増築部分は、建築確認を経ていないと考えられ、構造強度が適切に確保されていない可能性がある。このような空間を検出し、解体工事の作業員あるいは建築物の管理者といった立入者に提供することによって、立入者の安全性向上に資すると考えられる。

4.2 設計図書と位置・寸法の異なる柱の検出

本研究で開発・改良した手法を用いて、設計図書と位置・寸法の異なる柱が存在することを確認した。建築物の解体、建築物の修繕・活用のいずれにおいても、建築物の構造性能は最も基礎的な要件の一つであり、このような構造部材の位置の把握は有用と考えられる。

4.3 設計図書に記載されていない増築された壁の検出

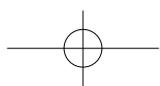
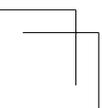
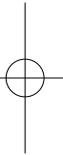
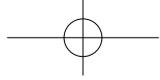
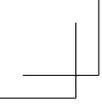
本研究で開発・改良した手法を用いて、設計図書に記載のない、間仕切り壁が存在すること、および位置が変更された壁があることを確認した。解体工事における廃棄物の適切な推計、建築物の修繕・活用のいずれにおいても、資材の把握、空間構成の把握は最も基礎的な要件の一つであり、このような壁の把握は有用と考えられる。

4.4 設計図書には記載されない設備機器・家具の検出

本研究で開発・改良した手法を用いて、設計図書に（当然ながら）記載のない家具も検出された。このような家具類の廃棄は、放置建築物の清掃あるいは解体工事に先立つ残置物の廃棄において、その費用を左右する重要な因子でありこのような残置物の把握は有用と考えられる。本報告書には含めていないが、これらの家具等のかさ容積を計算する手法も試行したので、今後、さらなる改良を進めたい。

参考文献

- 1) 東海テレビ：いずれも“心霊スポット”として知られる…愛知・南知多町と三重・菰野町の廃業ホテルで火事 放火の可能性, 2022年3月20日, (available at https://www.tokai-tv.com/tokainews/article_20220320_17041)
- 2) 朝日新聞：パチンコ店廃屋を「探検」の少年が転落死 三重, 2019年5月19日, (available at <https://www.asahi.com/articles/ASM5M3GJCM5MONFB004.html>)
- 3) 京都新聞：廃墟マンション崩壊の危険 アスベスト露出、飛散の恐れも, 2019年2月17日, (available at <https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/3679>)
- 4) 北海道放送：美しい滝で知られる温泉街に“廃墟、となったホテル…巨額の撤去費用をどうする？北海道・天人峡温泉, 2022年8月25日, (available at <https://www.youtube.com/watch?v=mKr70ovLDNQ>)
- 5) 日テレ NEWS：無断立ち入り 2年間で30人摘発 警察も対策強化 岡山, 2022年3月10日, (available at https://www.youtube.com/watch?v=Ufg4S_RiTNE)
- 6) KSB 瀬戸内海放送: 悪臭、騒音、不法侵入…「廃墟」の近隣住民から不安の声 岡山, 2022年3月14日, (available at <https://news.ksb.co.jp/article/14571619>)
- 7) ABC テレビニュース: 不法投棄の女性「一瞬置いただけ」廃墟ビルに大量ごみ…公道にあふれ崩落危機 大阪・ミナミ, 2021年10月16日, (available at <https://www.youtube.com/watch?v=BglinQL2pdk>)
- 8) 河北新報：無法地帯の廃墟ビル 大麻事件で家宅捜索、違法風俗店営業も<仙台・ホテル木町解体>, 2021年7月8日, (available at <https://kahoku.news/articles/20210708khn000029.html>)
- 9) 松村秀一: 空き家を活かす, 朝日新聞出版, 2018.11, ISBN:978-40227 37984
- 10) 尾野 加朱実, 菊地 吉信, 自治体による空き家対策の全国的動向, 日本建築学会技術報告集, 2019, 25 巻, 59 号, pp. 419-422, <https://doi.org/10.3130/aijt.25.419>
- 11) Stefano Cascone, Gaetano Sciuto: Recovery and reuse of abandoned buildings for student housing: A case study in Catania, Italy, Frontiers of Architectural Research, Vol. 7, Issue 4, 2018, pp. 510-520, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.08.004>.
- 12) 宮路和明, 西村明宏, 山下貴司: 空家等特別措置法の解説, pp2-30 など, 大成出版社, 2015.9
- 13) 宇那木正寛: 所有者不明空家の行政代執行, 第一法規, pp60-79, 2019.11
- 14) 総務省: 空き家対策に関する実態調査 結果報告書 III事例集 pp72-274, 2019.



2024年度 解体工事に係る研究助成金
解体工事に係わる再資源化技術の評価に関する研究

2025年8月21日

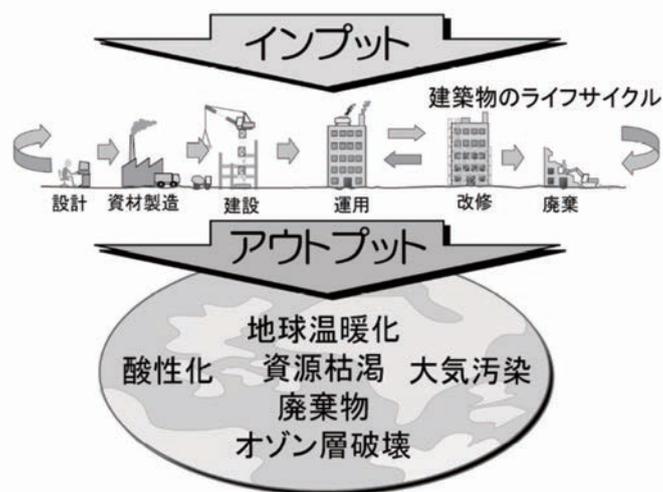
名城大学 道正 泰弘 (Dosho Yasuhiro)

名城大学理工学部環境創造工学科

1

■研究目的

- 建築物の性能は、ライフサイクル(LC)を通じて総合的に評価する必要がある。このうち、**解体工事はLCの中で重要な構成要素として位置づけられている**。解体工事に要求される性能は、最終的に何らかの物質となって存在するものではなく、そのプロセスにおいて必要な性能と解釈される。
- 具体的には、一連の工事が行われる間にのみ必要な性能であり、経済性、安全性、環境性があげられる。
- 本研究は、鉄筋コンクリート造建築物等の解体工事における性能評価方法の確立を目的に、環境性のうち再資源化技術の評価について検討を行う。



*出典 日本建築学会, 建物のLCA指針-温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール-, 2024

名城大学理工学部環境創造工学科

2

LCAの評価手法例

- 再資源化技術について、LCAに基づき低炭素性、資源循環性、環境安全性の観点から評価指標を作成する。

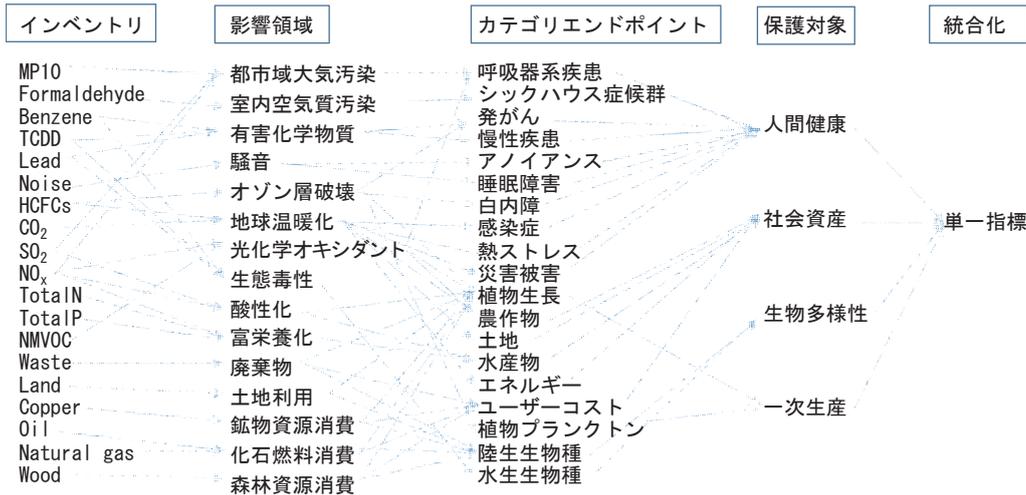
ライフサイクルアセスメント(LCA)



環境影響

被害算定型影響評価手法

LIME2(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)



出典 伊坪徳宏, 稲葉 敦: LIME2意思決定を支援する環境影響評価手法, 2010

名城大学理工学部環境創造工学科

建築物の解体工事

- 解体工事は、**新築工事に比べて危険な要素が多い**ことから、工事の安全、周辺の環境保全、建設副産物の利用促進、建設廃棄物の減量化および適正処理を行う必要がある。

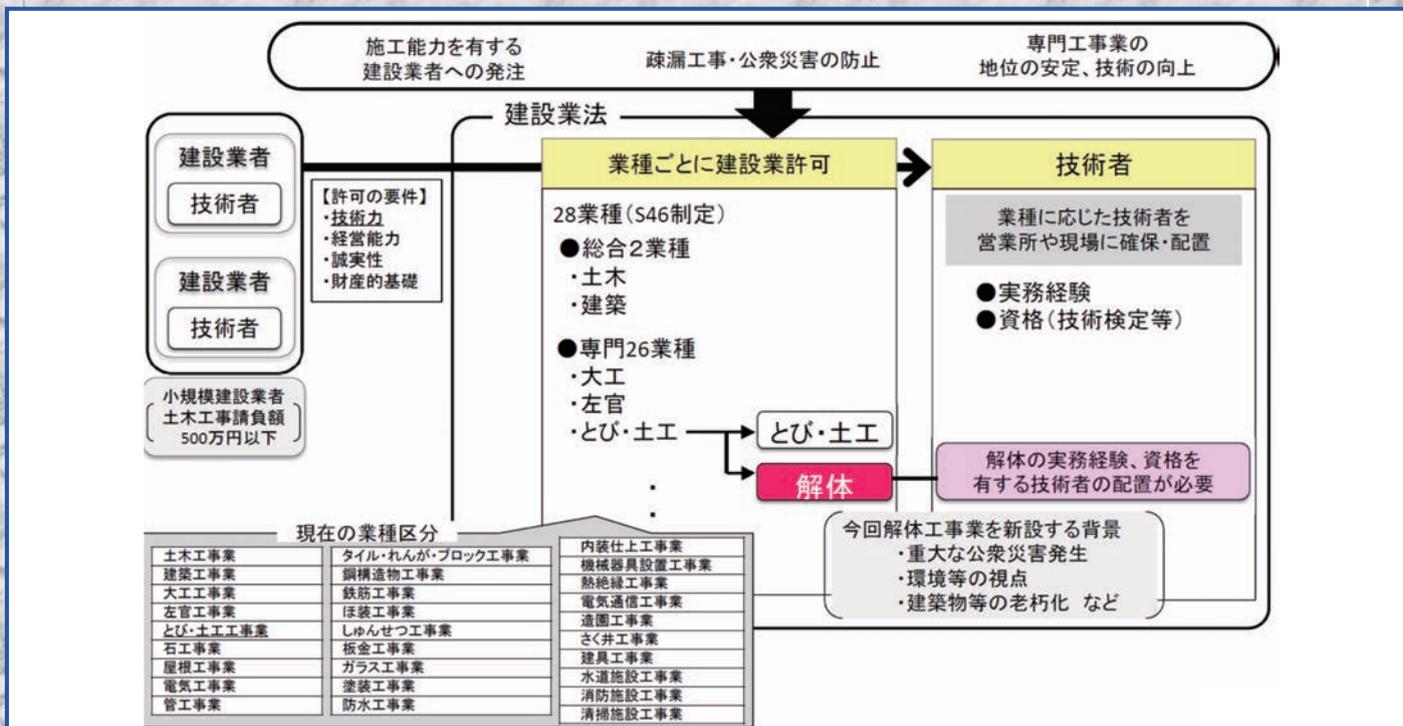
	日時	工事の概要	事故の概要	被害
公衆災害	平成15年 3月13日	8階(地下1階、地上7階)建ての建物の解体工事(静岡県富士市)	外壁部分の鉄骨を内側からワイヤーで固定する前に、既存の鉄筋を切断したため、5階部分の外壁の一部(縦3m×横15m)が公道(県道吉原停車場・吉原線)に崩落。	・作業員2名が墜落死。 ・県道信号待ちの車の搭乗者4名が崩落した外壁の下敷きとなり、車内にいた2名が死亡、2名が負傷。
	平成16年 2月28日	ビルの解体工事(東京都立川市)	重機のアームで2階部分の壁を挟み、歩道と反対側に引き倒そうとした際、アームから壁が外れて歩道に崩落。	・自転車で通りかかった男性1人が軽いけが、破片が飛び散り走行中の自動車6台に傷がついた。
	平成16年 12月6日	ホテルの解体工事(北海道旭川市)	2階から4階の建物外壁部分(高さ約10m×幅約24m)をワイヤーにて内側に引き倒す作業中、ワイヤーが切れ道路側に崩落。	・走行中の車1台が下敷き。 ・なぎ倒した電柱4本が路上に駐車中の車3台に激突。 ・一時周囲の約300戸で停電。
	平成20年 7月3日	木造2階建て建物の解体工事(東京都品川区)	解体建物が傾き、外壁を覆っていたシートと足場の金属製パイプが、隣接するJRの線路上に落下。	・JR線24本が運休し、計約6万人に影響。
	平成22年 10月14日	アルミ加工工場の解体工事(岐阜県岐阜市)	作業中のクレーンの先端が、壁に固定されていた足場にひっかかり、外そうとする動きをした直後、コンクリート製の外壁が高さ約11m、幅約18mにわたって道路(市道)側に倒壊。	・自転車で通りかかった女子高生が倒壊した壁の下敷きとなり、死亡。
環境	平成26年 4月3日	ビルの解体工事(兵庫県神戸市)	作業中、鉄骨がつかみ機から抜け、その反動で鉄骨が道路側の足場に倒れ、足場とともに道路に崩落	・通行人2名が負傷(うち1名は首の骨を折る重傷)。
	平成23年11月13日~28日	ホテルの解体工事(宮城県仙台市)	9階建てのホテルを解体するにあたりアスベストを除去しないまま作業を開始した箇所があった。	・ホテル敷地境界でWHOが定める基準値(大気1リットルあたり10本)を上回るアスベストが検出。
	労働災害	平成23年12月	平屋工場(鉄骨造)の解体工事(長野県)	屋根の上で屋根を固定しているフックとナットを取り外す作業を歩み板、防網などの踏み抜き防止措置が講じないまま行っていたところ、墜落。
平成24年2月17日		地上4階建てのビルの解体工事(東京都新宿区)	4階建てのビルの解体工事において、壁の梁を建物内に倒す予定が何らかの理由で外側に倒れ、落下。	・1名が壁の下敷きになり死亡 ・1名が転落し骨折。 (※)建材等の落下等の事故、他多数。

出典 国土交通省HP: <https://www.mlit.go.jp/common/001050229.pdf>

名城大学理工学部環境創造工学科

解体工事の業種区分の見直し

- 現在、**施工管理の不備等による事故が発生している**等の状況に鑑み、可能な限り早期に「**解体工事**」について、業種区分を新設(とび・土工・コンクリート工事からの分離独立)
- 建設業の許可に係る業種区分を約40年ぶりに見直し、**解体工事業を新設**
- 建設業法等の一部を改正する法律(平成26年6月4日公布、平成28年6月1日施行)



出典 国土交通省HP：<http://www.hrr.mlit.go.jp/kensei/sangyo/kensetsu/kyoka/160601/gaiyou.pdf>

解体工事の性能

- 解体工事の性能は以下による。
 - (1) 安全性能
 - (2) 環境性能

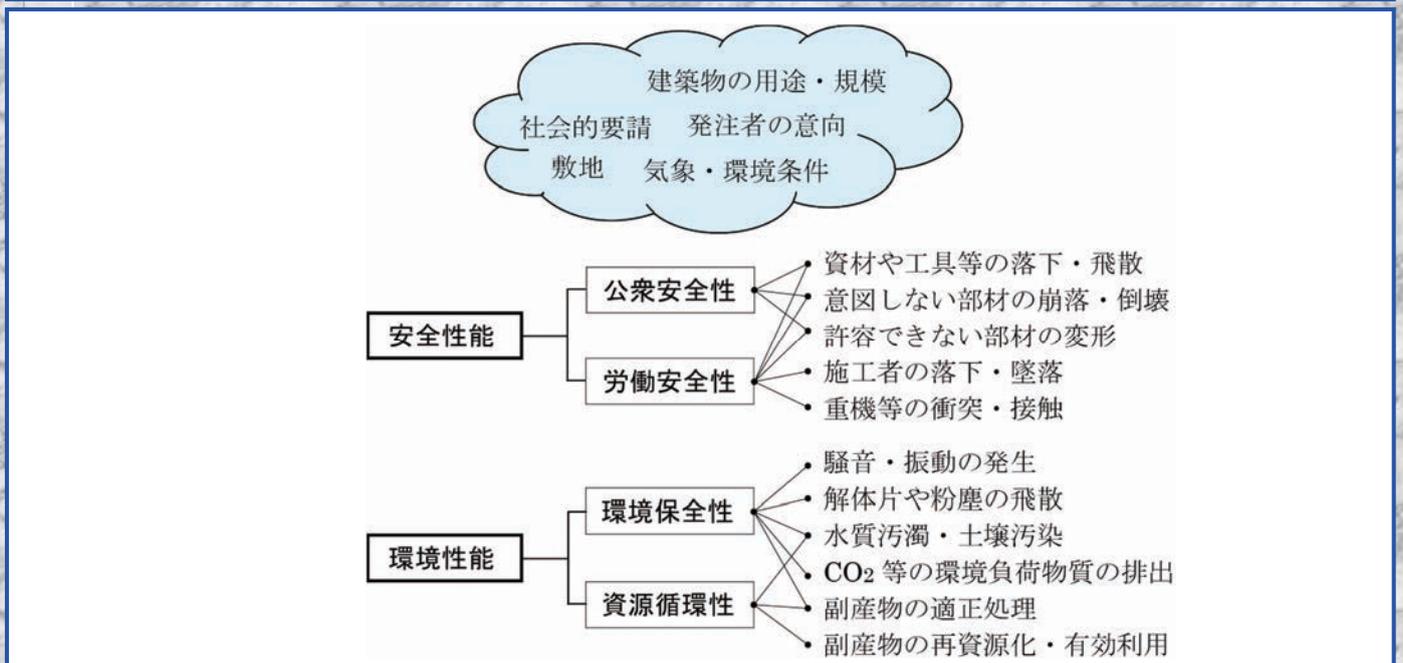


図1 解体工事の性能と関連する事象の例*

*出典 藤本郷史, 道正泰弘, 浅見琢也: 建築物の解体 その2 最近の動き「建築物の解体工事施工指針(案)・同解説(鉄筋コンクリート造編・鉄骨造編)」の発刊, 建築防災, 549号, pp.2-7, 2023.10

■解体工事における関係者の役割と責務

- 発注者は、適正な安全性能、環境性能が確保できるように、工事を発注する。
- 施工者は、安全性能、環境性能の要求条件を満足するように解体工事を計画・施工する。解体工事の方法は、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）に基づき、分別解体とする。
- 元請業者は、その下請負人に対して、適正な安全性能、環境性能が確保できるように、適正かつ明確に指示する。
- 解体工事の関係者として委託により実施する廃棄物処理の管理は、元請業者において実施する。

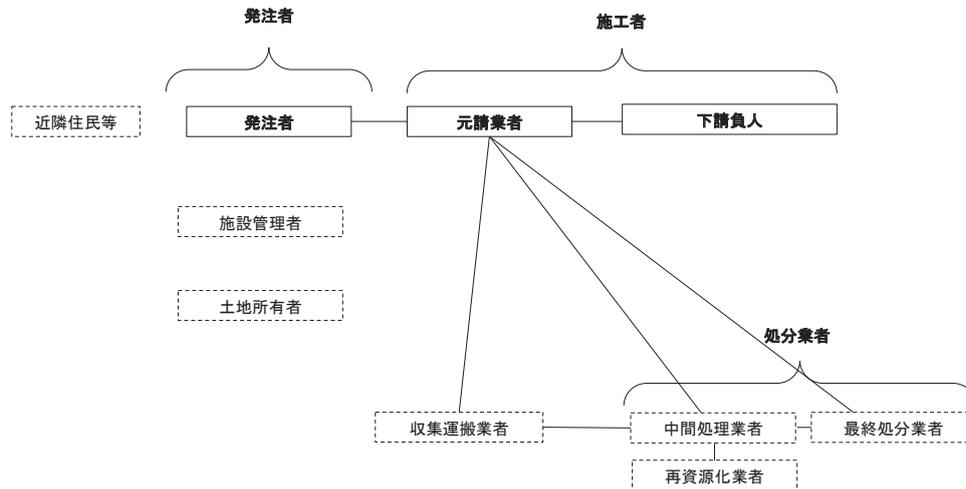


図2 解体工事の関係者とその役割の相関図*

*出典 日本建築学会：建築物の解体工事施工指針(案)・同解説(鉄筋コンクリート造編・鉄骨造編), 2024

■解体工事における環境面の配慮事項

- 今後、高度経済成長期以降に整備したインフラ・建築物が老朽化するため、解体工事の増加が見込まれる。
- 解体工事の実施に際しては、**石綿(アスベスト)対策**、騒音振動対策等の**周辺環境への配慮**や**建設廃棄物(副産物)対策**が必要である。

解体時に留意すべき主な環境面の配慮と建設廃棄物対策

解体時に留意すべき環境面の配慮	関連法など (最終改正年月)	概要
アスベスト対策	労働安全衛生法(H23.6) 石綿障害予防規則(H26.3) 大気汚染防止法(H25.6)	アスベスト使用状況の事前調査の実施 作業計画の作成、届出 立ち入り禁止、隔離等の措置 作業記録の作成、保存
騒音振動対策	騒音規制法(H23.12) 振動規制法(H23.12)	特定建設作業の事前届出 夜間、深夜作業の禁止 1日の作業時間、連続作業の制限
建設廃棄物対策	廃棄物処理法(H25.11) 建設リサイクル法(H23.8) 資源有効利用促進法(H25.5)	建設廃棄物の適正処理 分別解体等の実施 リサイクルの推進

出典 国土交通省HP：<https://www.mlit.go.jp/common/001050229.pdf>

■解体工事の要求性能

- 解体工事の要求性能は、図4に示すように、地球環境全体への影響を解体工事のシステム境界として地球(人間活動)の中に、①解体工事現場(施工者)を中心に、関係する②解体工事の発注組織(発注者)、③解体工事現場の近隣等(住民等)、④廃棄物の運搬(収集運搬業者)、⑤廃棄物の中間処理場(中間処理業者)、⑥廃棄物の最終処分場(最終処分業者)、⑦行政(監督官庁等)の7つのステークホルダーに分類した
- ステークホルダー間の流れはベクトルで示し、関係性は、指導、要求、輸送とした。
- これらを経済性(C)、安全性(S)、環境性(E)の3つの評価項目に分類して整理した。

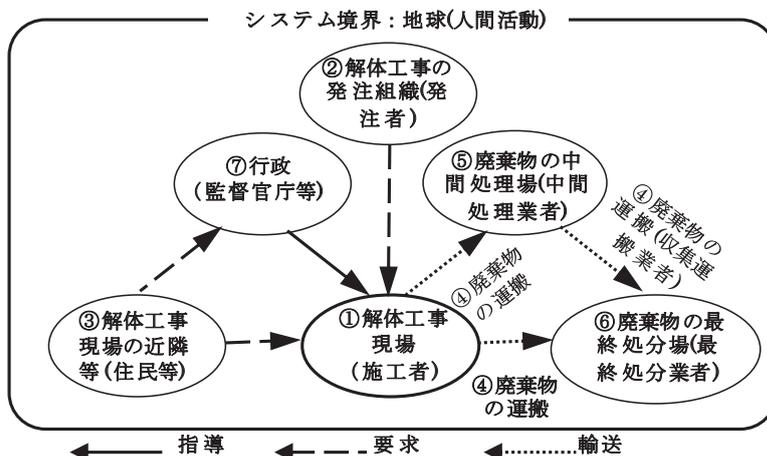


図4 解体工事のシステム境界とステークホルダー*

*出典 村上一夫, 道正泰弘: 建築物の解体工事における性能評価に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第31巻77号 pp. 109-114, 2025.2 DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.31.109>

名城大学理工学部環境創造工学科

9

■解体工事の要求性能

- 設定した解体工法の評価指標を図5に示す。この評価指標に基づき定量的評価を行った。
- 具体的には、経済性指標(T_C)、安全性指標(T_S)、環境性指標(T_E)による3つの評価指標およびこれらの評価指標から3次元座標軸上のベクトル成分として総合評価指標(T)を設定し、値が大きいほど優れていることとした。
- 本研究で設定した解体工事・工法の評価軸を図5に示す。
- 評価項目は経済性、安全性、環境保全性の3項目とした。
- 定量評価: 経済性指標 T_C (経済性:C), 安全性指標 T_S (安全性:R), 環境性指標 T_E (環境性:E)

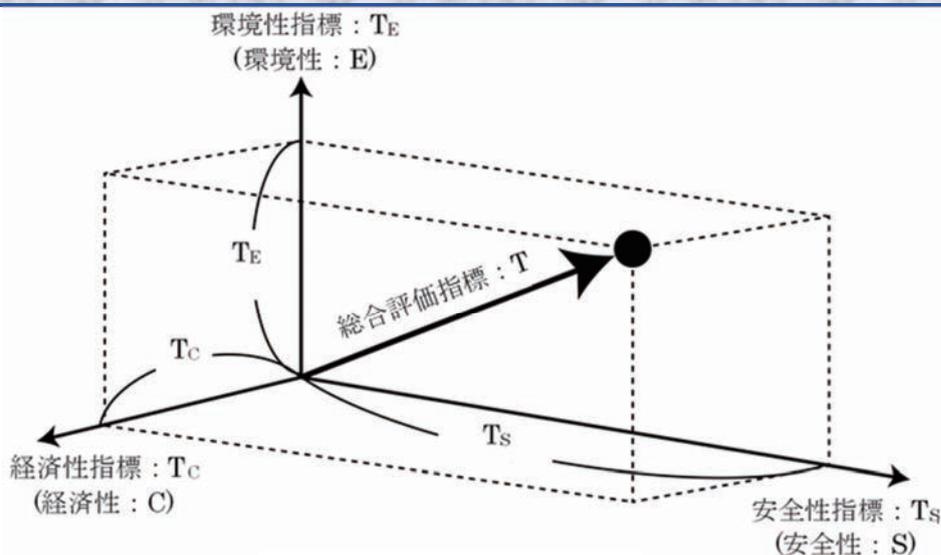


図5 解体工法の評価指標*

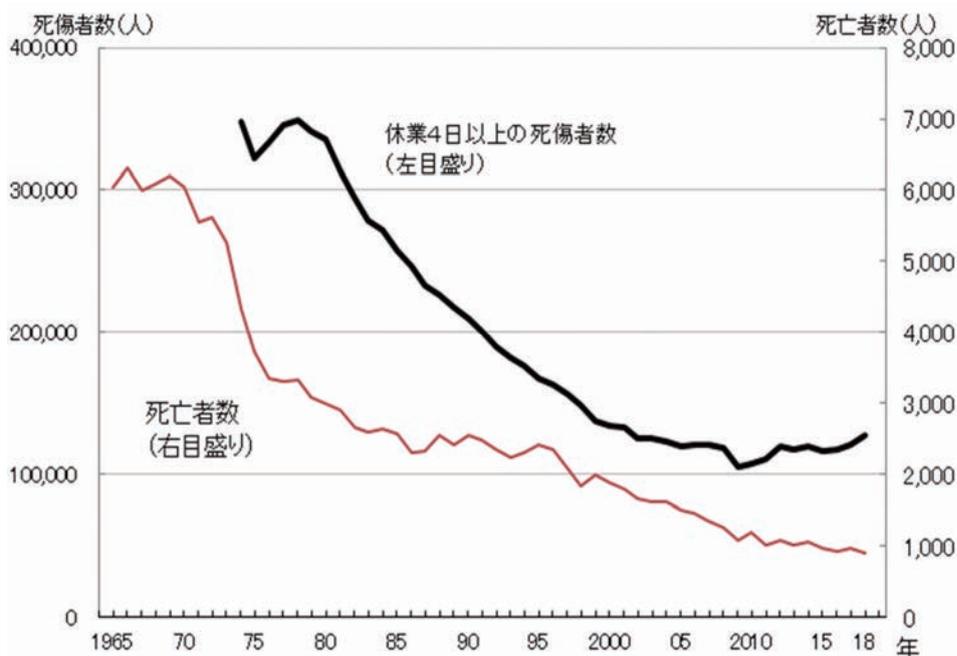
*出典 村上一夫, 道正泰弘: 建築物の解体工事における性能評価に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第31巻77号 pp. 109-114, 2025.2 DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.31.109>

名城大学理工学部環境創造工学科

10

労働災害

- 1965年～2018年における労働災害による死傷者数、死亡者数を示す。1965年の死亡者数は約6000人であったが、2018年は約1000人に減ってはいるものの、依然として多い。



注)労働者死傷病報告、死亡災害報告により作成された。2011年までは、労災保険給付データ(労災非適用事業を含む)、労働者死傷病報告、死亡災害報告により作成された。

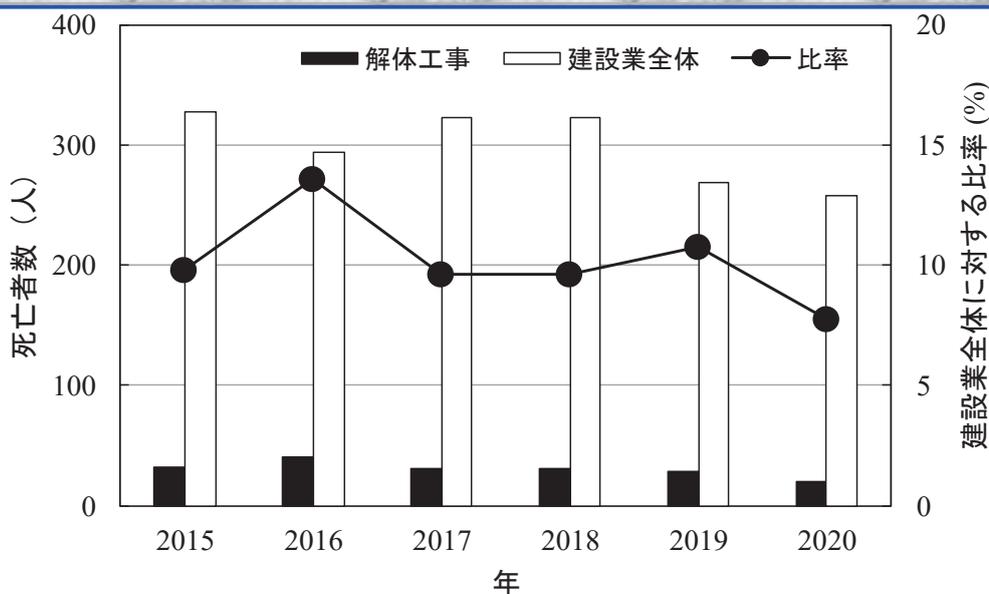
図6 労働災害による死傷者数、死亡者数(1965年～2018年)*

*出典 労働政策研究・研修機構：早わかり グラフでみる長期労働統計 VIII労働災害，2021

名城大学理工学部環境創造工学科

解体工事による労働災害の状況

- 労働災害における建設業全体の死亡者数は、300±50人/年で推移しており、そのうち解体工事は20～40人/年であり、**建設業全体の約8～14%を占める危険性を伴う作業**である。このため、安全性能を確保するためには、工事の特性に応じて労働安全および公衆安全に対し、十分な計画と対策が必要となる。



注)建設業労働災害防止協会 建設業安全衛生年鑑2015～2017年版，建設業労働災害防止協会 建設業災害統計資料2018年版，厚生労働省 労働災害統計2019～2020年版のデータを全国解体工事業団体連合会が取り纏めたものである。

図7 労働災害における建設業全体および解体工事の死亡者数の推移

名城大学理工学部環境創造工学科

■解体工事による公衆災害の例

- 2010年、岐阜市で解体中の工場の外壁が倒れ、下敷きとなった女子高生が死亡した事故*で、業務上過失致死罪に問われた工事会社「I興業」(岐阜市)の元専務、A被告と重機オペレーター、B被告に、岐阜地裁は10日、それぞれ禁錮1年2月の判決を言い渡した。求刑はA被告が禁錮1年6月、B被告が禁錮2年だった*。

*出典 日本経済新聞電子版 2013年7月10日

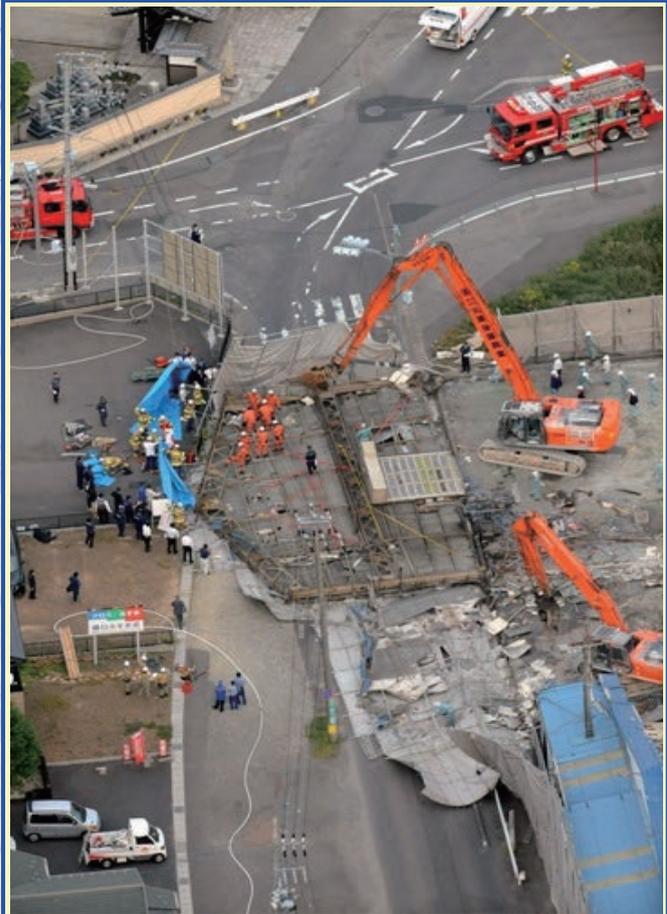
<https://www.nikkei.com/article/DGXNZO57194620Q3A710C1CC0000/?msclid=0bd7057fc2d511ec9fad1a0dbdbc45e>

- ※ 現場は金属加工会社「K」(岐阜市)のアルミ工場を解体作業中だった。壁が道路側に倒れたという。現場前には中央分離帯のない狭い市道があり、道路を拡張する計画だった。Cさんは、市道脇を学校から帰宅する際に巻き込まれたとみられる**。

**出典 日本経済新聞電子版 2010年10月14日

https://www.nikkei.com/article/DGXNASDG1404A_U0A011C1CC1000/?msclid=fb6fc7e2c3a811ec9175151cec58e82f

- 事故は2010年10月14日午後3時半ごろ発生。高さ約11メートル、幅約17メートル、重さ約20トンの壁が市道に倒れ、下校中だった岐阜県大垣市の高校2年、Cさん(当時17)が下敷きになった。壁の材質は鉄筋やコンクリート等だった*。



出典 朝日新聞朝刊 2010年11月14日

名城大学理工学部環境創造工学科

13

■廃棄物処理法

■廃棄物処理制度専門委員会

I. 廃棄物の適正な処理を巡る課題

- ① 不法投棄等の不適正処理は依然として多数発覚。産業廃棄物の排出事業者の処理責任の徹底等が必要。
- ② 廃棄物処理施設(最終処分場等)による環境汚染への住民不安に配慮し、維持管理対策の強化が必要。
- ③ 優良な廃棄物処理業者の育成が必要。

II. 廃棄物の適正な循環的利用の促進を巡る課題

- ① 再生利用は進んでいるが、産業廃棄物の排出抑制が不十分。
- ② 廃棄物の循環的利用の確保が必要
- ③ 廃棄物の焼却時の熱利用が進んでいない。

■廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部を改正する法律(平成23年4月施行)

1. 廃棄物を排出する事業者等による適正な処理を確保するための対策の強化
2. 廃棄物処理施設の維持管理対策の強化
3. 産業廃棄物処理業の優良化の推進等
4. 排出抑制の徹底
5. 適正な循環的利用の確保
6. 焼却時の熱利用の促進

■廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部を改正する法律(平成30年4月～令和2年4月施行)

1. 廃棄物の不適正処理への対応の強化
2. 有害使用済機器の適正な保管等の義務付け

*出典 環境省HP http://www.env.go.jp/recycle/waste_law/kaisei2010/attach/diagram_revise.pdf
<http://www.env.go.jp/recycle/waste/laws/kaisei2017/mat01.pdf>

名城大学理工学部環境創造工学科

14

有害物質対策

- 建築物に使用される建設資材にはアスベストや重金属類等、有害・危険物質が含有されたものがあり、多くはある時期大量に使用され、現在も用いられているものもある*。
- 有害物質については、欧州を中心に化学分野におけるREACH規制、機電分野のWEEE指令やRoHS指令が示されたことから、今後これらの及ぼす影響の検討が必要*。

出典 日本建材・住宅設備産業協会 3R推進委員会 資源循環調査検討部会 情報開示検討分科会建材産業協会、平成18年度3R推進委員会報告書、「持続的発展を目指した建材分野における有害物質等の情報開示の現状と対応」、2007.3
https://www.kensankyo.org/kankyo/hyoka_system/pdf/H18jyouhoukaiji.pdf

砒素・鉛・シム含有石膏ボード
●石膏ボード

石綿含有建材(非飛散性アスベスト)
●住宅屋根用化粧シート

残存物品
●家具・家電製品・台所用品・敷物類・生活用品等

石綿含有建材(非飛散性アスベスト)
●石綿シート(天井・壁)
●石綿含有ロックウール吸音天井板等
●石綿シート板OP
●ビニル床タイル

CCA (Cr, Cu, As) 処理木材
●土台・大引き
浴室・台所水廻り

石綿含有建材(非飛散性アスベスト)
●石綿セメントサイディングボード(外壁)
●ケイ酸カルシウム板第一種

残存物品
●特定家庭用機器(IAPJ)

木造建築物等に使用されている主な有害物質等*

■ REACH(リーチ)*
 ・平成18年12月:欧州では化学物質の登録、評価、認可及び制限に関する規則(REACH)が成立。
 → 既存化学物質・新規化学物質という従来の規制の枠組みを越えた新たな登録等の制度を始め、リスクの観点からの化学物質管理の推進、事業者へのリスク評価の義務づけ、流通経路を通じた情報伝達、製品中に含まれる化学物質対策といった新しい考え方が盛り込まれている。

■ WEEE(ワイ),RoHS(ロース)各国法制化の動向*
 → 製品のライフサイクルを考慮し、すべての段階で環境負荷低減を目指す「包括的製品政策(IPP)」の一環として廃電気・電子製品(WEEE)指令と電気・電子機器における特定有害物質使用制限(RoHS)指令が2003年に公布された。
 ・RoHS指令:環境・人体に有害な化学物質が自然環境に暴露されないように、電気・電子製品の製造段階で特定有害物質6種類の使用を制限。
 ・WEEE指令:廃電気・電子機器の不法な処理により、自然環境が汚染される事をリサイクルシステムの構築により防ぐ事を目的とする。

石綿(アスベスト)

- 石綿(アスベスト)*
 石綿(アスベスト)は、天然に産する繊維状けい酸塩鉱物で、体内に吸引することによる発ガン性を理由に、建築工事における石綿の吹付け作業は昭和50年に原則禁止に、スレート材、ブレーキライニング、ブレーキパッド、防音材、断熱材、保温材等石綿を原材料として使用した製品(石綿含有製品)は、現在は原則として製造禁止となっている。平成17年6月に石綿製品製造工場で作業歴のある従業員等に中皮腫等の健康被害が多発していることが公表され、これを契機に石綿の大気環境中への飛散に伴う健康被害についての懸念が高まり、「石綿による健康被害の救済に関する法律」が平成18年3月27日に施行。

*出典 日本産業廃棄物処理振興センターHP <https://www.jwnet.or.jp/waste/knowledge/sekimen/>

- アスベストを巡る海外や国内の動き(読売新聞2010.5.20)
- ・1937~40年:旧内務省保険院調査。大阪泉南地域等の工場労働者の健康実態を調査し、石綿肺患者確認
- ・1952~55年:複数の専門医らが大阪や奈良の工場で石綿肺の発生状況を調査。調査の中で55年に国内初の石綿肺患者の死亡を確認
- ・1955年:イギリスのドール医師がアスベストと肺がんの因果関係を公表
- ・1956年~:旧労働省が石綿肺患者の実態把握を目的に大阪や東京、北海道等の工場労働者に検診を実施
- ・1958年:旧労働省が各工場に排気装置の設置を求める行政指導
- ・1960年:旧じん肺法制定。粉塵作業を行う企業と労働者に粉塵の発生抑制や保護具の使用等を課す。
- ・1971年:旧労働省が粉塵の飛散防止に効果的な局所排気装置の設置を義務付ける規則を制定。
- ・1972年:ILO(国際労働機関),WHO(世界保健機関)がアスベストと肺がん、中皮腫の因果関係を発表
- ・1975年:旧労働省が危険性が高いアスベストの吹付け作業を原則禁止
- ・1986年:ILOが毒性の強い青石綿の使用を原則禁止する条約を採択
- ・1995年:旧労働省が青石綿、茶石綿の使用禁止。泉南の石綿紡織で多く使用されている白石綿は対象外
- ・2004年:厚生労働省が代替困難な製品を除き、全石綿の使用等を禁止
- ・2005年:クボタが旧工場周辺でのアスベスト被害公表
- ・2006年:厚労省、全石綿の使用等を全面禁止。石綿健康被害救済法施行。泉南アスベスト訴訟提訴

■石綿による健康被害

■ 石綿によって生じる疾患は、(1)~(4)であり、これらを総称して石綿関連疾患と呼んでいる。

- (1) 石綿肺
- (2) 肺がん
- (3) 中皮腫
- (3) その他の胸膜疾患

■ 肺に吸い込まれた長さ 5μより大きく、長さ(径)の比が3:1以上の繊維が中皮腫発症の原因となるとされている。



- (1) 石綿肺(肺が弾力性を失い硬くなる)
 - ・ 暴露から10年以上後に発症
 - ・ 根治療法はない
- (2) 肺ガン
 - ・ 暴露から20年~30年後に発症(高濃度暴露の場合は10数年後).60~80歳の発症が最も多い。
 - ・ 喫煙者は非喫煙者のリスクが10倍。石綿ばく露の肺がんのリスクが5倍(両者が揃うと約50倍のリスクになる)。
 - ・ 早期ガンの外科療法以外に根治療法はない。
- (3) 中皮腫(中皮細胞の存在する胸膜、腹膜、心膜に発生する悪性腫瘍)
 - ・ 暴露から平均40年弱で発症する。
 - ・ 石綿肺や肺ガンよりも低濃度暴露でも発症する。根治療法はない。
- (4) その他
 - ・ 石綿良性胸水
 - ・ びまん性胸膜肥厚
 - ・ 円形無気肺
 - ・ 胸膜プラーク

発がん性弱い ← → 発がん性強い



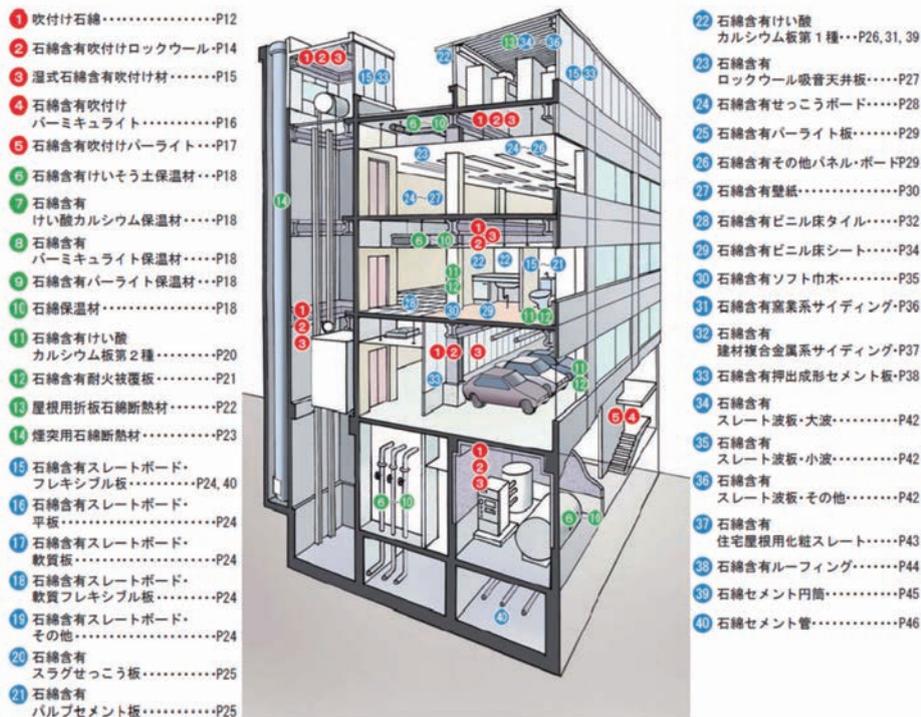
石綿の種類と発がん性*

*出典 環境再生保全機構HP
<https://www.erca.go.jp/asbestos/what/whats/whatAsbestos.html?msclkid=2edc26e8c3c911ecba4f2b83afdda034>

■建築物における石綿の使用部位

- 石綿は、多くの優れた性質を持っているため、下記の石綿製品に使用された。
- 例：繊維強化セメント板、吹付け材、保温材、窯業系サイディング等の建築資材

<RC・S造>



出典 国土交通省「目で見えるアスベスト建材(第2版)」
<https://www.mlit.go.jp/common/000026960.pdf>

■アスベストの放置例-1

- K市の百貨店駐車場，石綿むき出しで13年「費用捻出できず」放置
- 甲府市の中心街にある山梨県内唯一の百貨店Oが所有していた立体駐車場で，建材に使われた吹付材から健康に被害を及ぼすアスベスト(石綿)が広い範囲で検出され，むき出しの状態のまま10年以上にわたり放置されていたことがわかった。



アスベストを含む吹付け材がむき出しとなっているOの第1駐車場の内部=2023年2月*

出典 朝日新聞デジタル 2023年4月29日 6時00分

<https://www.asahi.com/articles/ASR4X6S6PR4DUZOB00G.html?msocid=052e1c1ef1196b0f0c850960f0926aca>

■アスベストの放置例-2

- 愛知県一宮市で健康被害のおそれがあるアスベストを含む廃棄物を，飛散を防ぐ対策を取らずに放置したなどとして，愛知労働局は名古屋市産業廃棄物収集運搬会社とその社長を労働安全衛生法違反の疑いで書類送検した。

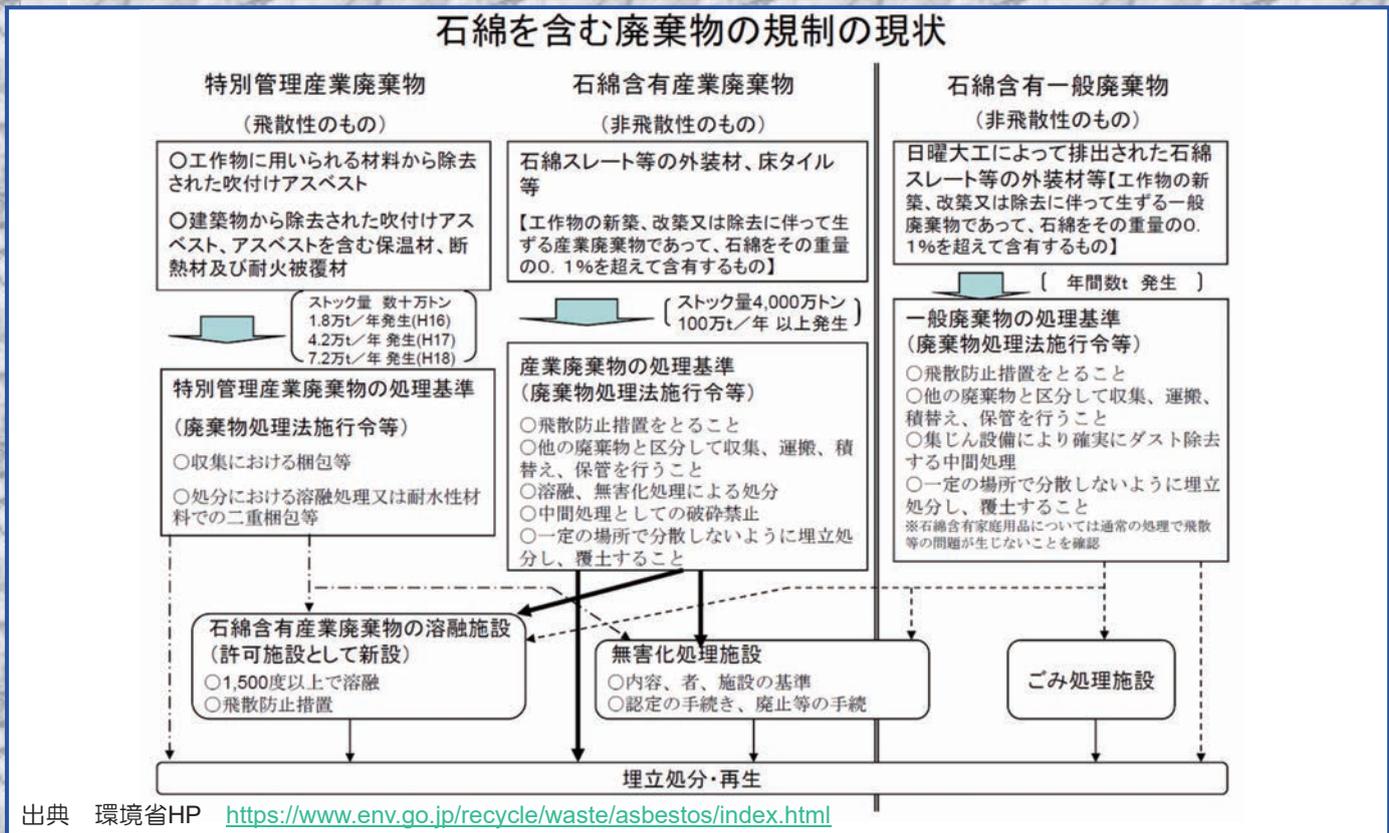


建築資材の保管現場 愛知県一宮市 2025年1月(東海テレビ)

出典 yahooニュース 2025年6月20日 12:04 <https://news.yahoo.co.jp/articles/0ed6a600618351dd15f96ef450170c947a5caf44>

石綿を含む廃棄物の規制の現状

- 石綿を含む廃棄物は、その飛散性の違いから「廃石綿等」、「石綿含有産業廃棄物」及び「石綿含有一般廃棄物」(まとめて「石綿含有廃棄物等」という。)があり、廃棄物処理法に基づいて、適正に処理する必要がある。



石綿含有廃棄物等の受入価格・受入条件

- 表1に全国における石綿含有廃棄物等の受入単価，受入条件等を示す。
- 石綿含有廃棄物等の受入は、全国でも限定されている。価格や条件にはばらつきがある。

表4 全国における石綿含有廃棄物等の受入単価，受入条件等(出典 建設物価調査会，建設物価，2025.7)

受入区分	場所	料金	受入条件等
廃石綿等	東京都中央防波堤外側埋立処分場・新海面処分場	9.5円/kg	概ね10kg以下かつ最大径30cm以下にセメント固化し，十分な強度を有するプラスチック袋に入れ，二重に梱包すること。
廃石綿等	札幌市環境局	360円/10kg	最終処分場で受入
廃石綿(特別管理産業廃棄物)	いわてクリーンセンター	640円/10kg	飛散する恐れのあるもの，固化・薬剤による安定化その他これらに準じる処理をした後，厚さ0.15mm以上の耐水性のビニール袋で二重に梱包すること。
廃石綿等	クリーンプラザ宮崎	30,000円/t	固化，薬剤による安定化その他これらに準じる処理をした後，厚さ0.15mm以上の耐水性の材料で二重に梱包すること。
廃石綿等	秋田県環境保全センター	520円/50kg	特別管理産業廃棄物に限る。
ガラス，コンクリート，陶磁器くず-石綿含有産業廃棄物	エコフロンティアかさま(茨城県)	32,900円/t	半透明のフレコンバック又は半透明の(又は透明)のシートで梱包すること。
石綿含有廃棄物(非飛散性)	新小山最終処分場(三重県)	19,000~25,000円/t	中小企業の場合割引あり。
石綿含有産業廃棄物	水島埋立処分場第2処分場(岡山県)	23,500円/t	最大長おおむね3m以下，粉末状や小片は袋詰，筒状のものは内径500mm以下。
廃石綿等(飛散性)	高知県エコサイクルセンター	69,000円/t	以下の飛散防止措置が両方とも確実に行われているもの。 1.あらかじめ固化，薬剤による安定化その他これらに準じる飛散防止措置を行っているもの。 2.さらに耐水性の材料で二重に梱包され，フレキシブルコンテナに入れ，梱包に破れ等の損傷が見られないもの。
廃石綿等(特別管理産業廃棄物)	熊本県公共関与産業廃棄物管理型最終処分場	110,000円/t	関係法令や「石綿含有廃棄物等処理マニュアル(環境省)」に基づき飛散防止措置が講じられていること。
石綿含有廃棄物	エコパークかごしま	22,000円/t	シート等により梱包されていること，最大長が概ね2m以下であること。

■再生骨材，再生骨材コンクリートの価格

- 再生骨材コンクリートの販売費用(表2)
- 再生骨材コンクリート普及連絡協議会(ACRAC)が東京都からの依頼で下記の積算単価票を提出(2025年4月1日～2026年3月31日)
- 固定単価ではなく，普通コンクリートからの値引きという考え方で設定。
- 大阪協組の再強コンクリートは普通コンクリートと同価格で設定。
- 再生骨材の販売費用(表3)
- 製造コストから設定した固定価格はない。
- RC40-0と普通骨材単価を見据えた変動単価設定が多い。

表2 再生骨材コンクリートの販売単価(東京都，ACRAC価格調査部会 2025.1)

単価見積	内容
再生骨材コンクリートH	(一財)建設物価調査会 建設物価，(一財)積算資料のレディーミクストコンクリート(普通コンクリート)の単価の平均値
再生骨材コンクリートM	再生骨材コンクリートHの単価から100円引き
再生骨材コンクリートL	再生骨材コンクリートHの単価から200円引き

表3 再生骨材の販売単価(ACRAC価格調査部会 2025.1)

単価見積(概算)	内容
再生骨材H	砕石と同等
再生骨材M	再生骨材Hの単価から500円引き
再生骨材L	再生骨材Hの単価から1000円引き

■環境性

- 本検討においては，評価対象を地域環境，地球環境への影響に大別し，環境の評価を行うこととした。環境性評価の階層構造を図6に示す。

$$T_E = \sum E_i / E_{ii} \quad (1)$$

ここに， T_E ：環境性指標

E_i ：各種解体工法を用いた場合のCO₂排出量(kg・CO₂) で式(2)により算定

$$E_i = \text{時間当りのCO}_2\text{排出量原単位(kg}\cdot\text{CO}_2\text{/h)} \times \text{作業時間(h)} \times \text{作業日数(日)} \quad (2)$$

$\sum E_i$ ：各種解体工法のCO₂排出量の総和(kg・CO₂)

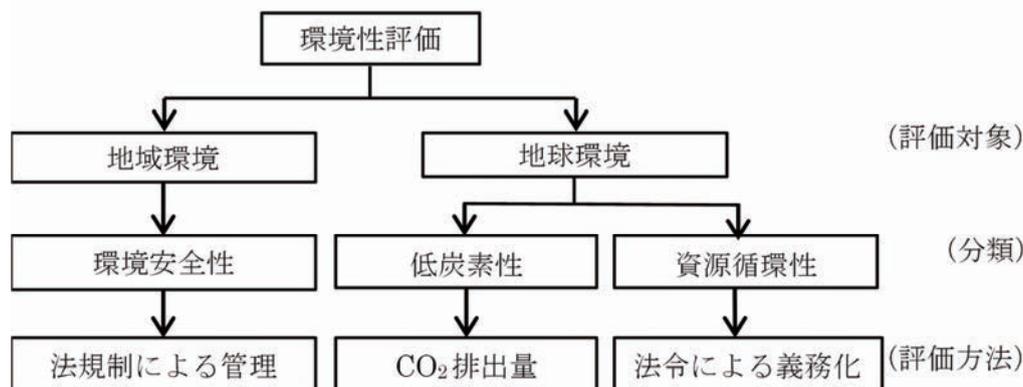


図8 環境性評価の階層構造*

*出典 村上一夫，道正泰弘：建築物の解体工事における性能評価に関する検討，日本建築学会技術報告集，第31巻77号 pp. 109-114，2025.2 DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.31.109>

■ シミュレーション-1

- 対象建築物
対象建築物は、都内の地下1階(RC造)地上8階(一部SRC造)の事務所ビルとした。表4に対象建築物の概要、図7に対象建築物の伏図(基準階)を示す。
- 解体工法
解体工法は、実際の施工で採用した圧砕機による解体工法(解体工法A)と、ワイヤーソーをベースマシンに搭載した自走式ワイヤーソーを採用した解体工法(解体工法B)の2種類とした。

表4 対象建築物の概要*

用途	事務所ビル	
経年	31年	
敷地面積	642m ²	
建築面積	582m ²	
延床面積	5,863m ²	
階数	地上8階 地下1階	
軒高	31m	
工事期間	2021年4月～2022年8月	
主要資材 物量	コンクリート	5,900m ³
	鉄筋	750t
	鉄骨	370t

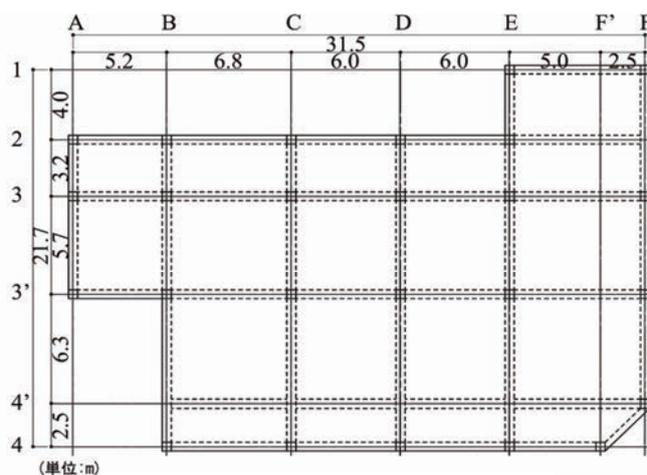


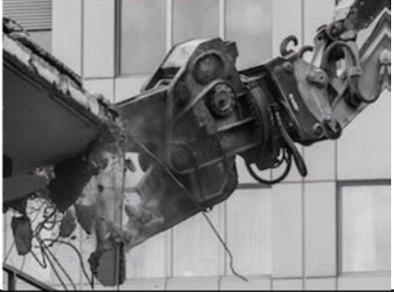
図9 対象建築物の伏図(基準階)*

*出典 村上一夫, 道正泰弘: 建築物の解体工事における性能評価に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第31巻77号 pp. 109-114, 2025.2 DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.31.109>

■ シミュレーション-2

- 解体工法の概要を表5に示す。

表5 解体工法の概要*

解体工法 使用機械	A 圧砕機	B 自走式ワイヤーソー
概要		
	ハサミ状の圧砕機をアーム先端に取付け、RC、SRC、Sを圧砕	油圧ショベルにワイヤーソーを装着し、RC、SRCを押し切り切断
特徴		
経済性	工期	—
	仮設	養生シート, 散水設備が必要
安全性	巻込れ	危険性有
	飛来落下	危険性有
	高温物接触	危険性少
	動作の反動	危険性少
環境性	騒音	比較的小さい
	振動	比較的小さい
	粉塵	多い
		解体工法Aに比較し若干延びる
		解体工法Aに比較し大幅削減可能
		危険性少
		危険性少
		危険性有
		危険性有
		周辺交通騒音程度
		不感知レベル
		解体工法Aに比較し半分以下

*出典 村上一夫, 道正泰弘: 建築物の解体工事における性能評価に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第31巻77号 pp. 109-114, 2025.2 DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.31.109>

■ シミュレーション-3

- 試算結果を表6に示す。

表6 試算結果*

解体工法	階	階高 (m)	床面積 (m ²)	機械台数 (台)	作業員数 (人)	稼働日数 (日)	環境安全性	低炭素性			資源循環性
								E_i	Σe_i	T_E	
A	PH	4.9	77	大型:1	運転員:1	1	騒音：比較的小さい 振動：比較的小さい 粉塵：多い	461	84000	1.2	法令に準拠して実施
				中型:1	補助員:1	1		335			
	2~8F	3.6	640	大型:2	運転員:3	6		38700			
				中型:1	補助員:2	6		14100			
	1F	4.8	640	大型:2	運転員:3	7		6450			
				中型:1	補助員:2	7		2350			
	B1F	12.3	640	大型:4	運転員:5	10		1840			
				中型:2	補助員:3	10		6700			
計							70900				
B	PH	4.9	77	ワイヤー:1	運転員:1	1	騒音：周辺交通騒音程度 振動：不感知レベル 粉塵：解体工法Aに比較し半分以下	35	6.4	6.4	法令に準拠して実施
				カッター:1	補助員:1	1		63			
	2~8F	3.6	640	ワイヤー:3	運転員:3	8		5930			
				カッター:1	補助員:1	8		440			
	1F	4.8	640	ワイヤー:3	運転員:3	11		1160			
				カッター:1	補助員:1	11		692			
	B1F	12.3	640	ワイヤー:4	運転員:4	18		2540			
				カッター:2	補助員:2	18		2270			
計							13100				

■ まとめ

- 解体工事に関わる適正な再資源化技術の判断基準の構築について検討を行った結果、以下のことがいえる。
 1. 現状の建築解体廃棄物の再資源化技術を対象に文献調査、実態調査等によりデータベースを構築した。また、モデル現場にてシミュレーションを行った。
 2. 再資源化技術について、LCAに基づき低炭素性、資源循環性、環境安全性の観点から評価指標を作成した。
 3. 来年度は引き続き「解体工事が環境安全性に及ぼす影響の判断基準」の構築について、検討を行う。

- (a) 交付年度 : 2024年度
(b) 研究題目 : 超音波技術を用いた RC 構造物の革新的解体技術の開発における発振ホーン形状の影響
(c) 研究代表者 氏名 : 高橋 駿人
所属 : 東北大学

(d) 研究成果

概要 : コンクリート構造物を、環境負荷を低減しつつ容易に解体することができる革新的手法の開発のために超音波技術に着目し、セメント系材料に超音波加振した際の破壊メカニズムに関して基礎的な検討を行った。その結果、コンクリートでも秒単位で 30mm 程度の初期破壊を誘導することができた。また、装置の出力と荷重による仕事の比較から、装置の出力は独自の急激な増幅が見られ、その増幅量は骨材量が多い方が大きかった。また、破壊発生メカニズムは、超音波の粗密波が局所化してエネルギーが蓄積している領域があるためと推察された。

キーワード : 解体, 超音波技術, 振幅, 破壊メカニズム

1. はじめに

コンクリート構造物は寿命を迎えると、更新または撤去となり、その際には構造物の解体作業が必須となる。代表的な解体手法として、ハンマーや重機など、打撃荷重を用いた手法があるが、経済的である反面、粉塵や騒音、破片の飛散などが発生するため環境負荷が大きく、また作業員への身体負担は大きい。また、低炭素社会かつ資源循環型社会の実現のためには、二次処理を低減してリサイクルを出来ることが望ましい。したがって、大きな物理的外力を伴わず、環境負荷も低減する革新的な解体工法が求められる。ここで著者らは、軽油等を燃料とする重機よりも、省エネルギーで高効率な繰り返し作用を印加できる超音波を用いることに着目する¹⁾。

一般的に材料は、実際の強度以下の応力条件でも、応力を連続的に受ける時には疲労破壊が発生することが知られており、セメント系材料においても、疲労荷重を用いた破壊機構に関する研究が多く行われてきた^{例えば 2)}。特に一軸圧縮応力下では、コンクリートの不均一性に起因して、ひずみおよび破壊ゾーンが局所化し、その箇所から破壊すると考えられている³⁾。しかし、疲労寿命が 2×10^6 回を超える場合については、十分な知見がないことが指摘されている⁴⁾。

一方で、疲労破壊は時間に依存する破壊であると考えられており、従来の試験では数ヘルツ程度の繰り返し荷重で行われる。コンクリートでは、S-N 曲線ではサイクル数が 2×10^6 の時、疲労強度は、静的荷重の 55~65%とされ、したがって、例えば 2Hz で実施した場合、テスト期間は 10 日を超えてしまう。

ここで、コンクリートに動的な繰り返し荷重が導入されるとき、軸応力の伝播による粗密波が発生し、破壊ゾーンの局所化を生みやすい。また、弾性波が伝搬する固体材料中では、波方向に振動する P 波が共振を伴う粗密波となる。このことから、周波数が

高い（すなわち短時間で繰り返し作用が発生する）超音波領域の弾性波を用いて、主として金属材料を対象として、高サイクルまたは超高サイクル疲労試験が適用される場合がある⁵⁾。これにより、従来よりもはるかに短時間で評価するための加速試験技術として確立しており、それを用いた材料内部の破壊特性についても研究されている。また、そのようなトレンドからも、セメント系材料に適用されている事例が増えている^{例えば 6)}。したがって、解体に活用できる手法として期待できると着想した。

以上より、本研究では、超音波技術をコンクリート構造物への解体手法として確立することを目指し、セメント系材料を超音波加振した際の破壊メカニズムについて基礎的な検討を実施した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

水セメント比を 0.5 として、 $\Phi 50 \times 100$ mm のセメントペースト、モルタルおよびコンクリートを作製した。使用材料は、練混ぜ水に上水道水（密度： 1.00g/cm^3 ）、セメントに普通ポルトランドセメント（密度： 3.16g/cm^3 ）、細骨材に石灰石砕砂（表乾密度： 2.63g/cm^3 、粗粒率：3.40）を使用した。粗骨材は石灰石砕石（表乾密度： 2.70g/cm^3 、粗粒率：6.64）を 15mm ふるいで通過したものを使用した。なお、セメントペースト作製時は、ブリーディングが発生しなくなるまで 30 分ごとに練り返しを行い、型枠に打設を行った。打設後は、28 日間水中養生をして、供試体の打設面を 2~5mm 程度研磨し、2.2 の超音波加振試験開始までは湿潤状態で保管した。なお、セメントペースト、モルタル、コンクリートの圧縮強度はそれぞれ 41.3N/mm^2 、 58.0N/mm^2 、 45.5N/mm^2 であった。

2.2 超音波加振試験

作製した供試体に対して、超音波加振実験を行っ

た. 使用した装置は, 精電舎電子工業製の超音波溶着機 SONOPET J II 3600S / J II P80S である. 装置の概観および測定時のホーン-供試体間の概要を図-1, 図-2 にそれぞれ示す. 装置の仕様は, 発振周波数 15kHz, 最大振幅 32 μ m, 最大出力 3600W, プレス加圧力 100~3200N, 有効ストローク 30~121mm となっており, 時間分解能 1ms, 出力分解能 1W, ストローク分解能 1 μ m となっている. 使用したホーンは Φ 60mm の超硬溶射ホーンである. 発振条件は, 振幅を一定値に設定し, ホーン先端を降下させ, 供試体に接地した時に加圧を開始し, プレス加圧力が 100N に達した時に発振を開始する. その後も加圧は継続して 2500N に達した場合はその値に保持するよう, 機械的に制御した. 発振終了は, 発振 10 秒後またはホーン先端が鋼製台座より 15mm 高さまで達した時とした (すなわち供試体上面から 80~83mm 程度まで沈むこととなる). ホーン先端の最終位置を制御した理由は, 付属のケーブル等の巻込みを防ぐためである. 破壊時の破片の飛散防止のため, 供試体はポリ袋を覆ったまま発振を実施した. 測定は精電舎電子工業製の溶着管理ソフトウェア J-Tool を用いて, 発振中の装置の出力 (パワー[W]), 荷重[N], ホーン先端位置[mm]を, それぞれを 1ms 単位で測定した. パワー[W]は, 発振時の電流負荷にのみ依存しているものと考えられる. モルタルの破壊状況の一例を図-3 に示す. 発振開始後に, 荷重が増加しながら振動し, 破壊深さの急激な変化を複数回繰り返す (その際, 荷重は瞬間的に低下する), ホーンが所定の位置まで達して発振終了している. また, 図-3 t_b , t_c の写真から, ホーン先端位置までの供試体領域は破壊していると考えられ, ホーン先端位置[mm]は破壊深さ[mm]と定義して, 以降ではそのように表記する.



図-1 超音波溶着機の装置概観

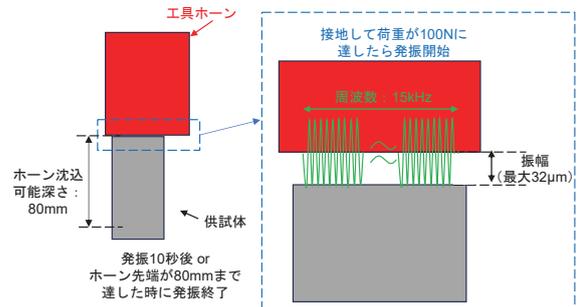


図-2 測定時のホーン-供試体間の概要

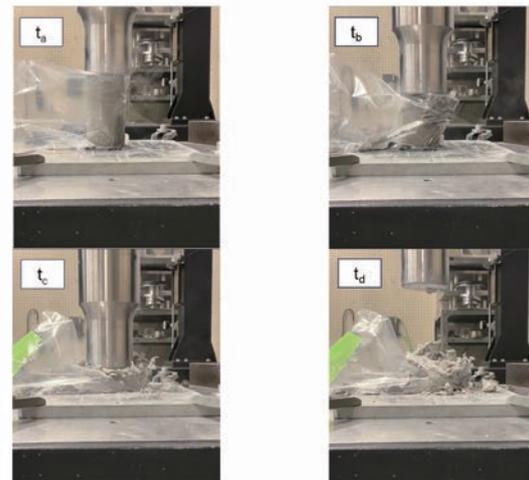
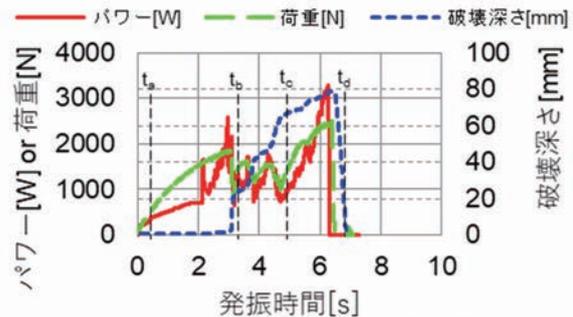


図-3 破壊状況の一例

3. 実験結果

3.1~3.3 では, セメントペースト, モルタル, コンクリートのそれぞれ 3 体に対して, 振幅 32 μ m で発振した時のパワー[W], 荷重[N], 破壊深さ[mm]についての結果を比較した. 3.4 では, モルタルを用いて, 振幅 80% (26 μ m) および 60% (19 μ m) で発振した時のパワー[W], 荷重[N], 破壊深さ[mm]についての結果を比較した.

3.1 セメントペーストの場合

図-4 (a)~(c) に, セメントペースト 3 体の測定結果をそれぞれ示す. これによると, 個体差はあるが, 概ね発振開始から 2 秒以内で初期のホーン先端位置の急激な変化が発生し, 更に数回の破壊深さの変化を繰り返して, 6 秒以内で破壊深さ限界に到達していることがわかる. また, パワーは徐々に増えていきながら, 破壊深さの急激な変化に対応して, ピークが生じていることがわかる. また, 荷重は 2500N に到達する前に破壊深さの急激な変化が発生して

いることがわかる.

3.2 モルタルの場合

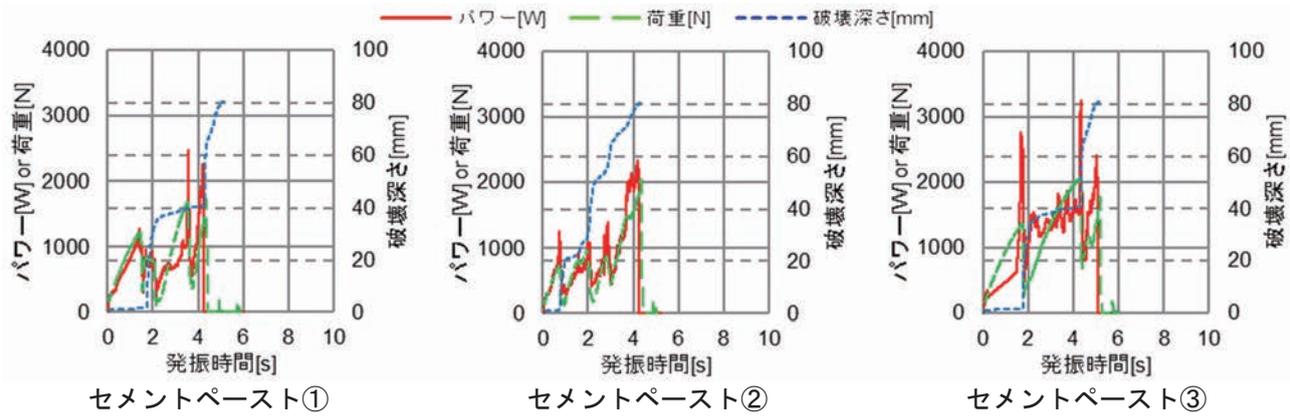


図-4 発振時間中の挙動変化（セメントペースト）

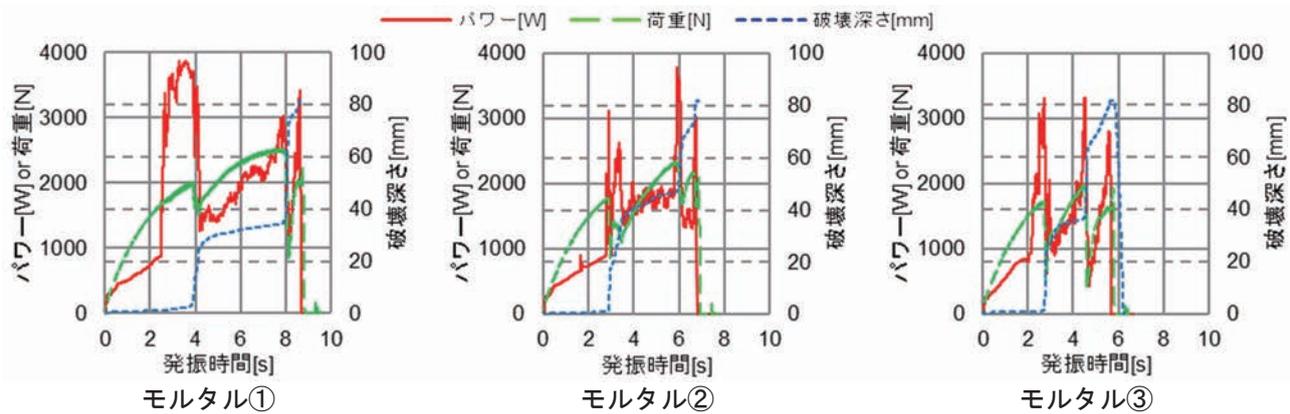


図-5 発振時間中の挙動変化（モルタル）

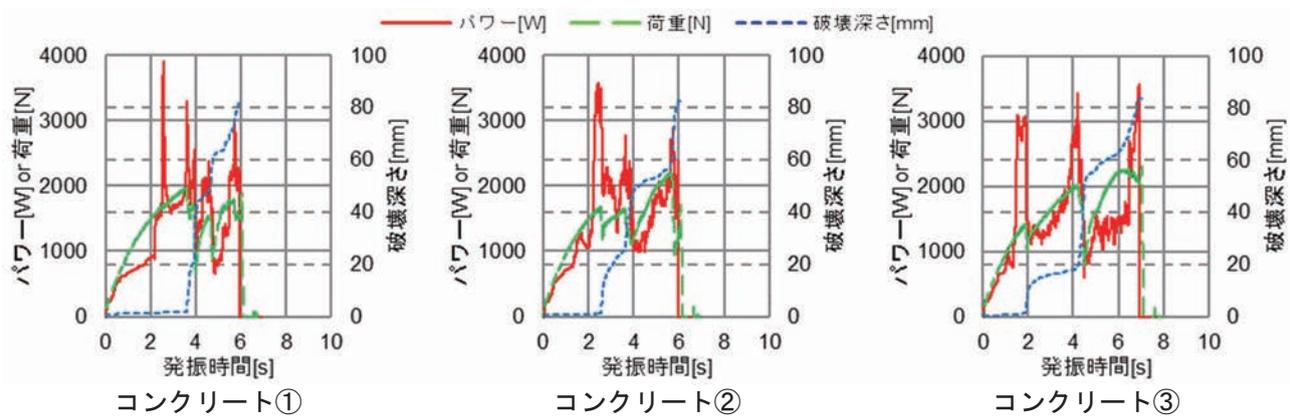


図-6 発振時間中の挙動変化（コンクリート）

図-5(a)～(c)に、モルタル3体の測定結果をそれぞれ示す。これによると、同様に個体差はあるが、概ね発振開始から2.8～4.0秒で初期の破壊深さの急激な変化が発生し、更に数回の破壊深さの変化を繰り返して、6.0～9.0秒で最終的な破壊深さに到達していることがわかる。また、パワーは同様の挙動を示しているが、最大値はセメントペーストよりも大きい傾向にある。また、荷重はモルタル①の8.0秒時点を除き、2500Nに到達する前に破壊深さの急激な変化が発生していることがわかる。

3.3 コンクリートの場合

図-6(a)～(c)に、コンクリート3体の測定結果をそれぞれ示す。これによると、同様に個体差はあるが概ねモルタルと同様の傾向である。発振開始から

2.0～4.0秒で初期の破壊深さの急激な変化が発生し、更に数回の破壊深さの変化を繰り返して、6.0～7.0秒で最終的な破壊深さに到達していることがわかる。また、パワーは同様の挙動を示しているが、最大値はセメントペーストよりも大きく、モルタルと同程度である。また、荷重は2500Nに到達する前に破壊深さの急激な変化が発生していることがわかる。

3.4 振幅を変化させた場合

図-7(a), (b)に、モルタル供試体を振幅80% (26 μ m) および60% (19 μ m) で加振した場合の測定結果をそれぞれ示す。これによると、振幅が80%となった場合は、振幅100%と比較して同発振時間での衝撃加速度が小さいため、パワーの急激な増幅

は長らく発生せず、9.5 秒に到達したところで、パワーの増幅が発生すると同時に、破壊深さが 60mm 程度変化し、10 秒に到達して発振終了している。なお、荷重は徐々に増加し 7.0 秒程度で 2500N に到達している。また、振幅が 60% となった場合は、小さなパワーのピークが 2.0 秒程度で発生し、その後も徐々にパワーは増加したが、破壊は発生していない。なお、荷重は振幅 80% の場合と同様に、7.0 秒程度で 2500N に到達している。

以上の結果を踏まえ、超音波加振した際の破壊の特徴に関して、コンクリート③のデータを参考にし、図-8 に示す。発振を開始して、破壊が始まるまでに数回、急激なパワーの増幅が発生する。その際には供試体内部で損傷などが発生している可能性が考えられる。その後、大きなパワーのピークが生じた瞬間に 40mm 程度までの破壊が発生し、そのような破壊が複数回繰り返されていることがわかる。また、グラフ上では発振中の荷重変動が見られないが、これは測定 の時間分解能上の都合と考えられる。このようなプロセスでセメント硬化体中に破壊が生じたメカニズムに関して 4 章で考察する。

4. 考察

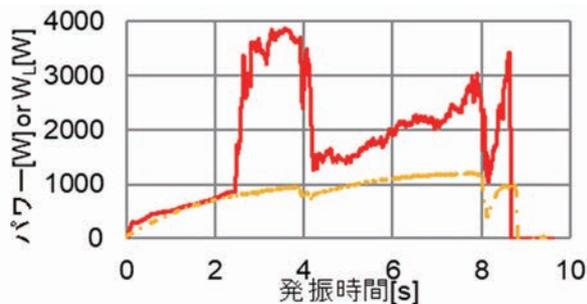
4.1 装置による出力と荷重による仕事率の比較

装置の出力（パワー[W]）と荷重による仕事率 W_L [W] を比較するため、以下のように荷重による仕事を算出した。

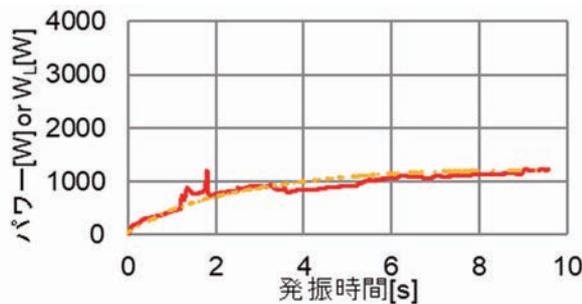
$$W_L(t) = L(t) \cdot A \cdot f \quad (1)$$

ただし、 $L(t)$ ：発振時間 t における荷重[N]、 A ：ホーン先端の設定振幅[m]、 f ：周波数[Hz = 1/s]。

モルタル①およびモルタル振幅 60% のケースを抜粋し、パワーと W_L の時間変化をそれぞれ図-9 (a)、(b) に示す。これによると、特にモルタル①とモルタル振幅 60% では、破壊が発生する前の時点では、パワーと W_L は概ね一致しているが、破壊に至る時点付近で、 W_L を大きく超えるパワーが生じていることがわかる。その他のケースでは、パワーの方が大きい傾向が多く見られたが、これは供試体とホーンの間 にポリ袋が存在していたため、過剰な摩擦負荷が生じやすく、過大な電流負荷が生じているものと考えられる。そのため、今後の実験方法は要検討



(a) モルタル① (振幅 100% (32 μm))



(b) 振幅 60% (19 μm) (モルタル)

図-9 装置の出力と荷重による仕事率の比較

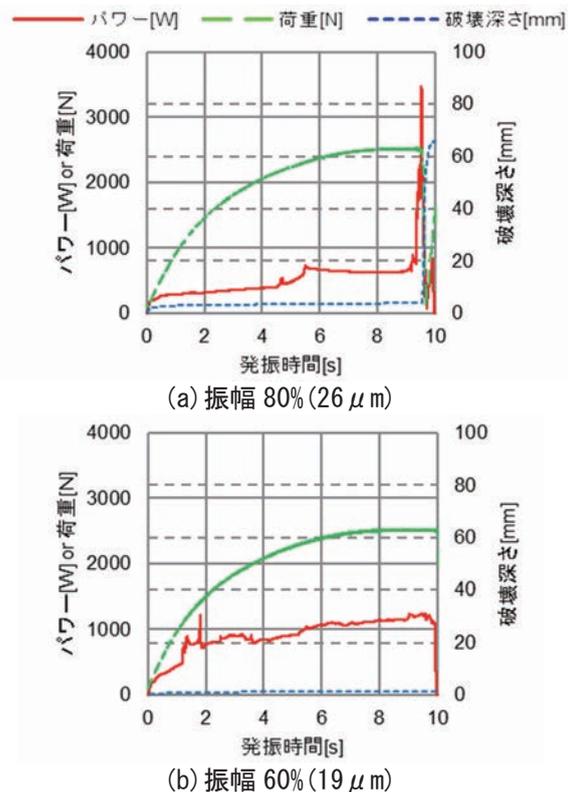


図-7 振幅の影響 (モルタル)

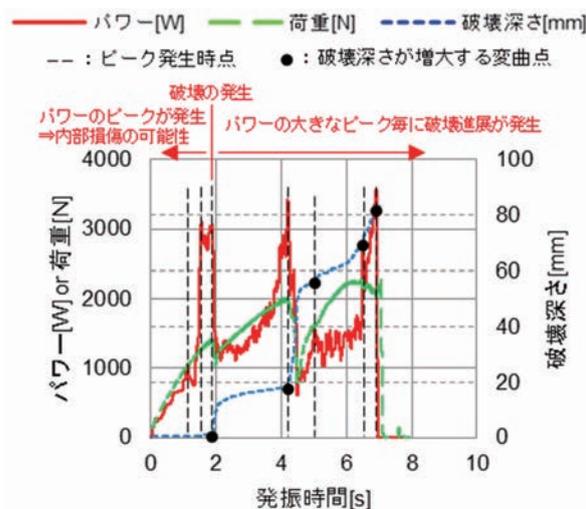


図-8 超音波加振した際の破壊の特徴 (コンクリート③のデータ参考)

としたい。しかし、破壊時にパワーが増幅することは共通していたため、セメント硬化体内部で副次的な作用が発生して、破壊直前に瞬間的に装置へ電流負荷がかかっているものと考えられる。

4.2 累積仕事差と破壊程度の関係

超音波加振による破壊の発生条件に関して検討するため、累積仕事差 $\int \Delta W dt$ ($= \int | \text{パワー} - W_L | dt$) を算出し、破壊深さとの関係を算出した。 $\Sigma \Delta W$ は、破壊時の超音波加振の影響度を示していると考えられる。なお、破壊深さを正規化するため、(破壊深さ/最大破壊深さ)×100 を破壊程度[%]として表した。図-10(a)~(c)に、3.1~3.3のデータに関して、 $\Sigma \Delta W$ と破壊程度との関係を、各供試体種についてそれぞれ示す。供試体種に関わらず、 $\Sigma \Delta W$ が一定の値に達すると、破壊程度が大きく増幅するイベントが見られており、そのイベントは今回の実験条件では2~4回程度見られている。セメントペーストでは、初期のイベント発生は概ね $0.2\sim 0.5(\times 10^6[\text{W}])$ 程度で発生しており、その後のイベント発生時も $\Sigma \Delta W$ の増加は小さく、最終的には $3.0\sim 4.2(\times 10^6[\text{W}])$ 程度でイベントが終了している。モルタルでは、供試体間でのばらつきが大きくなっており、特に①は大きく乖離しているため、ポリ袋の存在を含む実験的誤差も考えられ、今後の検討としたい。コンクリートでは、初期のイベント発生は概ね $1.4\sim 1.8(\times 10^6[\text{W}])$ 程度で発生しており、最終のイベント終了時は $4.0\sim 5.3(\times 10^6[\text{W}])$ 程度でイベントが終了している。

図-11に、図-10(a)~(c)の平均をとり、各供試体種で比較した結果を示す。なお、モルタルに関しては①のデータは除外した。これによると、初期のイベント発生から最終のイベント発生までの $\Sigma \Delta W$ は、コンクリート、モルタル、セメントペーストの順に大きく、骨材体積量に比例しているといえる。

4.3 超音波加振時のセメント硬化体の破壊メカニズムに関する推察

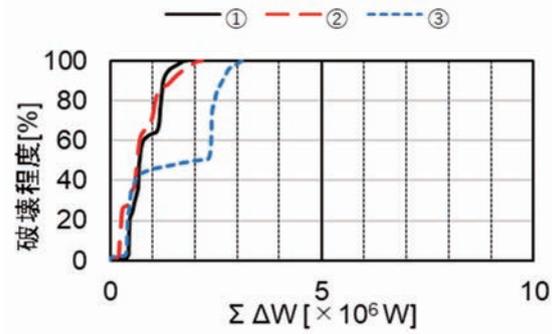
既往の文献⁷⁾によると、溶液に超音波を照射すると、キャビテーションと呼ばれるマイクロ気泡が発生し、超音波のエネルギーを時間的・空間的に蓄積することにより、機械作用や加熱作用が発生することが知られている。また、超音波エネルギーは、超音波吸収により、媒質の体質変化だけではなく、ずり変形を伴って伝搬し、熱エネルギーに変換されることも知られている。本実験では、この熱エネルギーが蓄積された箇所が破壊の起点となると考えられ、図-11のような大小関係になるのは、骨材をずり変形させようと電流負荷を要したと考えられる。

この、熱エネルギーが蓄積する箇所を推定するため、以下のような試算を行った。15kHzの超音波では減衰しないと仮定して、大津⁸⁾を参考に式(2)より縦波伝搬速度 V_p [m/s] を算出した。また、式(3)より、

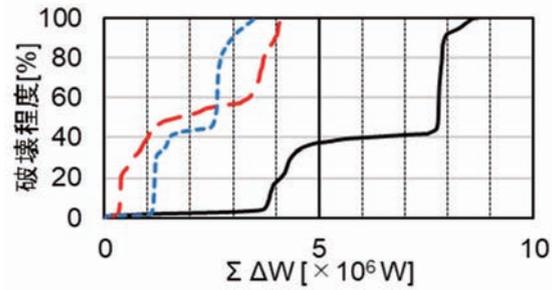
縦波波長 λ_p を算出した。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (2)$$

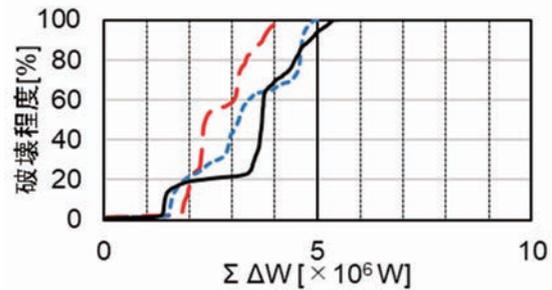
$$\lambda_p = V_p / f \quad (3)$$



(a) セメントペースト



(b) モルタル



(c) コンクリート

図-10 累積仕事差 ($\Sigma \Delta W$) と破壊程度の関係

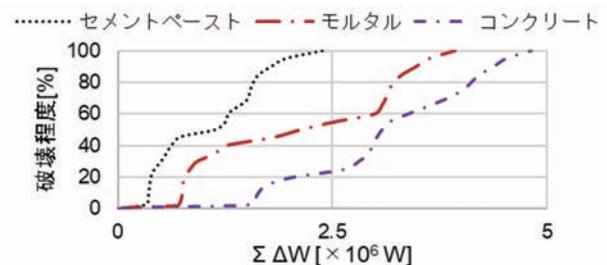


図-11 各供試体種の累積仕事差 ($\Sigma \Delta W$) と破壊程度の関係の平均

表-1 縦波弾性波速度および波長の試算

試算に 用いた値	E [kN/mm ³]	33
	ρ [kg/m ³]	2300
	ν	0.2
	f [Hz]	15,000
算出結果	V_p [m/s]	3,993
	λ_p [mm]	266

ただし、 E : 弾性係数[kN/mm²], ρ : 密度[kg/m³], ν : ポアソン比.

文献 3)を参考に、表-1 のような値を用いて算出した。その結果、 λ_p は供試体の全長を大きく超えていることがわかる。ここで、供試体を 80mm、台座から固定端反射をすると仮定し、入射波の振幅を 1 とした場合の、供試体中に発生する相対振幅波形の試算を図-12 に示す。これによると、合成波は概ね 30mm 程度までの領域が山となっており、初期のイベントでの破壊深さとほぼ一致している。よって、縦波の局所化によって破壊深さを説明できることが示唆された。今後は、サーモグラフィーを用いて発熱領域の経時変化を分析することなどにより、詳細にメカニズムを明らかにすることを検討したい。

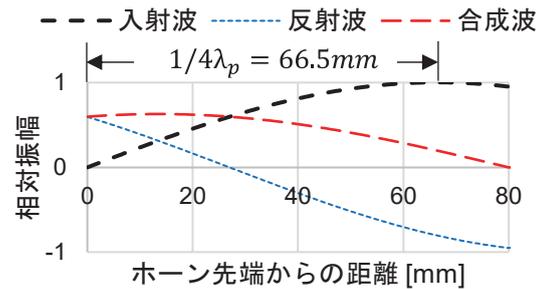


図-12 固定端反射する場合の相対振幅波形の試算

5. まとめ

本研究では、革新的な解体技術開発のために超音波技術に着目し、セメント系材料の超音波加振実験を行い、破壊メカニズムについて検討した。その結果、秒単位で 30mm 程度の破壊を発生させることができた。また、そのメカニズムは、超音波により粗密波が局所化してエネルギーが蓄積される領域から生じることが示唆された。また、装置の出力と荷重による仕事の比較から、骨材の存在量が多い方が必要なエネルギーが大きいことが示唆された。

参考文献

- 1) 辻野次郎丸：超音波エネルギーの応用について、日本音響学会誌, 72 巻, 7 号, pp.356-357, 2016.
- 2) 徳光善治, 松下博通：繰返し荷重を受けるコンクリートの疲労強度, コンクリート工学, Vol. 17, No.6, pp.13-22, 1979.
- 3) 小阪義夫, 山田和夫, 畑中重光, 谷川恭雄：一軸圧縮下のコンクリートの応力-ひずみ関係に関する研究, セメント技術年報, Vol.37, pp.279-282, 1983.
- 4) 土木学会：2022 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編], p.233, 2023.
- 5) Fitzka, M. et al.: Usability of Ultrasonic Frequency Testing for Rapid Generation of High and Very High Cycle Fatigue Data, Materials, Vol.14, No.9, 2245, 2021.
- 6) Fitzka, M. et al.: Ultrasonic Fatigue Testing of Concrete, Ultrasonics, Vol.116, 106521, 2021.
- 7) 梅村晋一郎：集束超音波による治療, 日本音響学会誌, 73 巻, 2 号, pp.114-122, 2017.
- 8) 大津政康：コンクリート非破壊評価のための弾性波法の理論と適用, コンクリート工学, Vol.46, No.2, pp.5-11, 2008.

