

平成 29 年度

解体工事に係る研究報告書梗概集

《研究発表会》

日 時 平成 29 年 7 月 26 日（水） 13：00～

会 場 TKP 東京駅八重洲カンファレンスセンター
[東京都中央区京橋 1-7-1]

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平成 28 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	所 属
1	・建築物の解体工事における死傷災害の調査・分析	
	高 橋 弘 樹	独立行政法人労働安全衛生総合研究所主任研究員
	堀 智 仁	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
	大 嶋 勝 利	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
	高 梨 成 次	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
2	・コンクリート充填鋼管（CFT）柱の解体方法に係る研究	
	中 田 善 久	日本大学 理工学部・建築学科教授
3	・コンクリート用膨張材を用いたモルタルによるコンクリート構造物の静的破砕に関する基礎的研究	
	大 塚 秀 三	ものづくり大学 技能工芸学部・建設学科准教授
	中 田 善 久	日本大学 理工学部建築学科教授
	田 鶴 大 樹	ものづくり大学 ものづくり学研究科
4	・解体工事における構造物の安全性に関する研究	
	青 木 孝 義	名古屋市立大学 建築構造技術研究所所
	青 木 秀 敬	名古屋市立大学 芸術工学部建築都市デザイン学科
5	・建設業における「解体工事業」における諸制度とその留意点	
	尾 形 正 明	協同組合徳島県解体工事業協会 理事長
	庄 野 義 明	協同組合徳島県解体工事業協会 専務理事
6	・解体副産物の再資源化技術の現状と問題点に関する調査研究 -再生骨材について-	
	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
7	・高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体方法に関する検討	
	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部・建築工学科教授
8	・建築解体工事の労働・公衆安全性向上のための画像動作解析手法の応用に関する基礎的研究	
	藤 本 郷 史	国立大学法人 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
9	・コンクリート塊の低品質再生骨材への再資源化に関する研究	
	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部環境創造学科教授
10	・解体工事および廃棄物処理における環境負荷に関する調査研究	
	小 山 明 男	明治大学 理工学部建築学科教授

建築物の解体工事における 死傷災害の調査・分析

高橋 弘樹（労働安全衛生総合研究所）
○堀 智仁（労働安全衛生総合研究所）
大幢 勝利（労働安全衛生総合研究所）
高梨 成次（労働安全衛生総合研究所）

（公社）全国解体工事業団体連合会 研究発表会
2017年7月26日（水） 13:10-13:30 TKP八重洲カンファレンスセンタ ホール7C

研究の背景

高度経済成長期等に建設された建築物が老朽化して、解体・更新が必要になり、解体・改修工事による労働災害の発生が懸念されている

建築物の解体工事における労働災害は少なからず発生していると考えられる

建築物の解体工事における死傷災害の
発生件数等の全体像は分かっていない

目的

建築物の解体工事における労働災害防止

災害の調査を行い、災害の現状の全体像を把握する

研究の目的と内容

目的

建築物の解体工事における労働災害防止

災害の調査を行い、災害の現状の全体像を把握する

平成20～24年に発生した休業4日以上[※]の死傷災害及び
死亡災害を対象として調査（年次別、災害の型別等に分類）

災害原因の問題と技術的課題の検討

将来の研究と労働災害防止につなげる

災害件数の調査方法

厚生労働省HPの「職場のあんぜんサイト」に公開されている
労働災害データベースを参考に調査

労働災害データベース

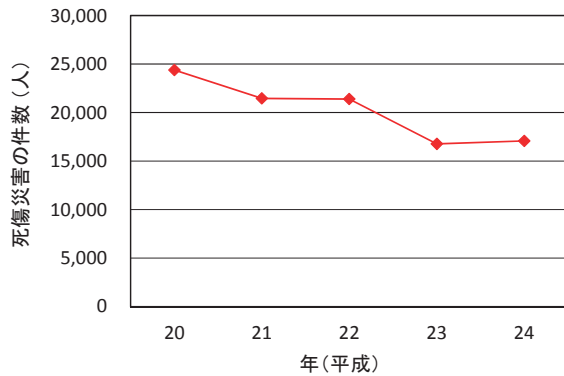
- ・死傷データ：休業4日以上[※]の労働災害のうち、災害発生年ごとに1/4を無作為に抽出した事例を公開
- ・死亡データ：死亡労働災害事例を公開

災害件数の調査方法

- ・「業種（大分類）」内を「建設業」の用語により検索、「業種（中分類）」内を「建設工事業」の用語により検索、「災害状況」内を「解体」の用語により検索して抽出
- ・足場等の仮設材の解体作業における事例等を除く
- ・死傷データについては、4倍にして示した

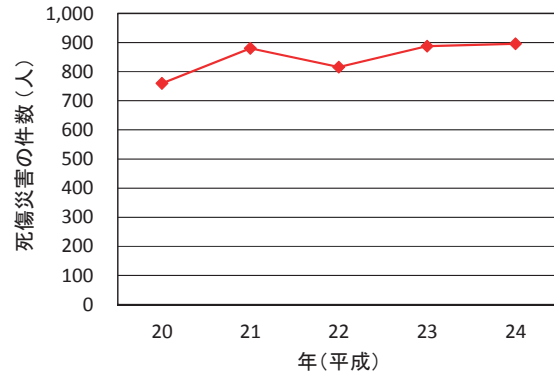
死傷災害の年次別の件数

- ・年間16,800～24,400人が被災
- ・概ね減少傾向



建設業(年次別)

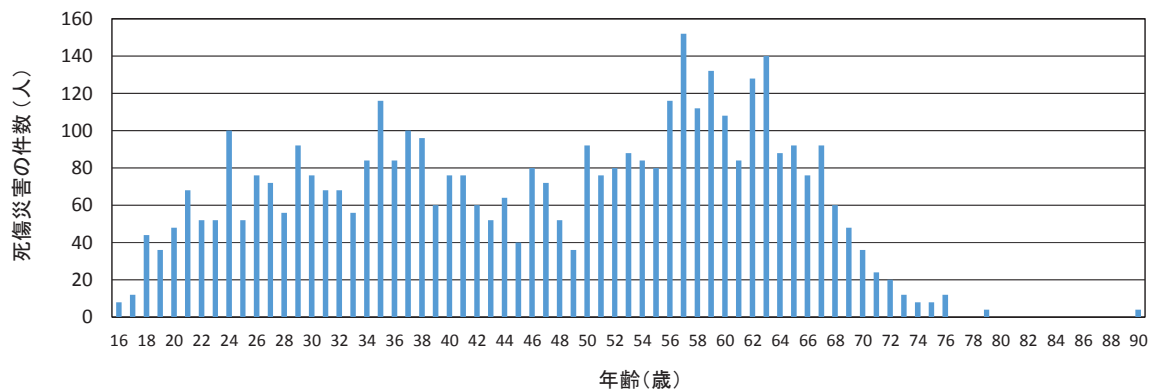
- ・年間760～900人が被災、緩やかに増加
- ・建設業の労働災害に占める建築解体工事の割合は3～5%



建築物の解体工事(年次別)

建築物の解体工事における死傷災害の件数

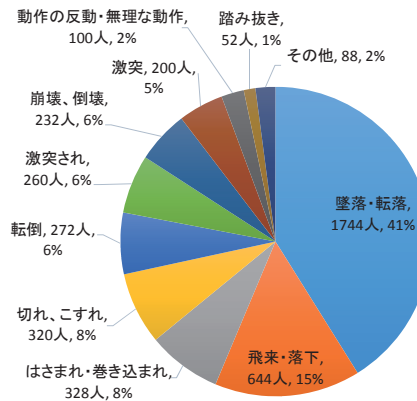
56～63歳の範囲で災害件数が多い



年齢別

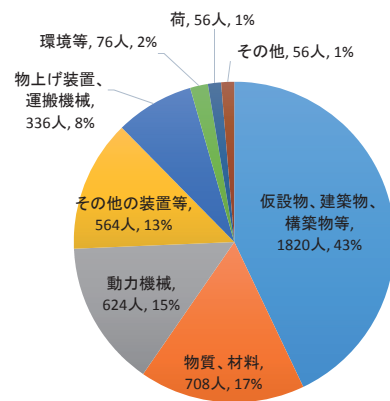
建築物の解体工事における死傷災害の件数

- ①墜落・転落： 41%
②飛来・落下： 15%
③はさまれ・巻き込まれ： 8%



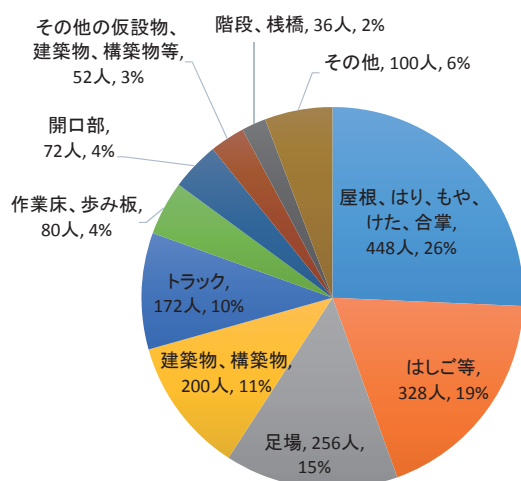
事故の型別

- ①仮設物・建築物・構築物等： 43%
②物質・材料： 17%
③動力機械： 15%



起因物別

墜落・転落による死傷災害の件数



墜落・転落の起因物別

調査結果

- ①屋根、はり、もや、けた、合掌： 26%
②はしご等： 19%
③足場： 15%

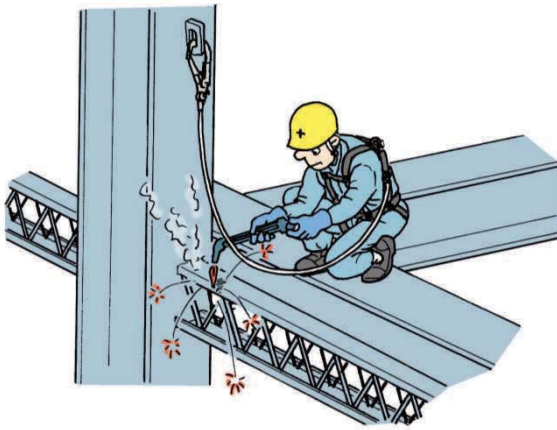
災害事例

- 【安全帯の不適切な使用】
・鉄骨溶断中に火花がランヤードに当り墜落
・鉄骨の角でランヤードが切れて墜落
- 【解体作業における不安定な姿勢による墜落】
・瓦、天井材等をはがした反動で墜落

災害の特徴

- ・安全帯の不適切な使用および、安全帯を使用していなかったために墜落した事例が多かった。

墜落・転落による死傷災害の件数



鉄骨溶断中に火花がランヤードに当り墜落

調査結果

- ①屋根、はり、もや、けた、合掌： 26%
- ②はしご等： 19%
- ③足場： 15%

災害事例

- 【安全帯の不適切な使用】
 - ・鉄骨溶断中に火花がランヤードに当り墜落
 - ・鉄骨の角でランヤードが切れて墜落
- 【解体作業における不安定な姿勢による墜落】
 - ・瓦、天井材等をはがした反動で墜落

災害の特徴

- ・安全帯の不適切な使用および、安全帯を使用していなかったために墜落した事例が多かった。

墜落・転落による死傷災害の件数



天井材をはがした反動で墜落

調査結果

- ①屋根、はり、もや、けた、合掌： 26%
- ②はしご等： 19%
- ③足場： 15%

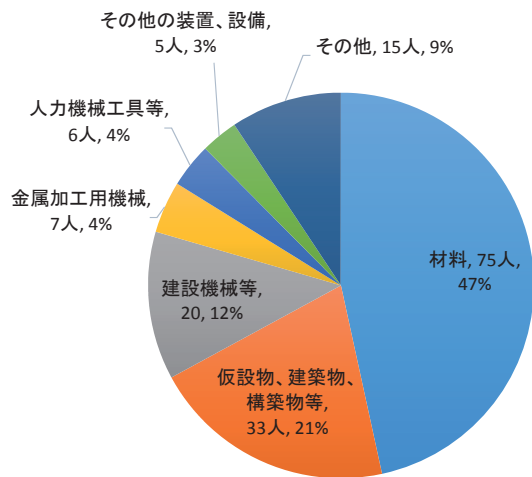
災害事例

- 【安全帯の不適切な使用】
 - ・鉄骨溶断中に火花がランヤードに当り墜落
 - ・鉄骨の角でランヤードが切れて墜落
- 【解体作業における不安定な姿勢による墜落】
 - ・瓦、天井材等をはがした反動で墜落

災害の特徴

- ・安全帯の不適切な使用および、安全帯を使用していなかったために墜落した事例が多かった。

飛来・落下による死傷災害の件数



飛来・落下の起因物別

調査結果

- ①材料(木材や砂、金属等): 47%
- ②仮設物、建築物、構築物等: 21%
- ③建設機械等: 12%

災害事例

- ・重機でコンクリート壁を解体中に破片が飛んで、水まきをしていた作業員に当たり負傷。
- ・解体中に天井が落下して被災。

災害の特徴

- ・重機と人による作業が一定の範囲内で同時に行われることが多いため、重機による災害がみられた。
- ・解体により不安定になった部分が落下して被災する事例がみられた。

飛来・落下による死傷災害の件数



破片が飛んで 水まきをしていた作業員に当たり負傷

調査結果

- ①材料(木材や砂、金属等): 47%
- ②仮設物、建築物、構築物等: 21%
- ③建設機械等: 12%

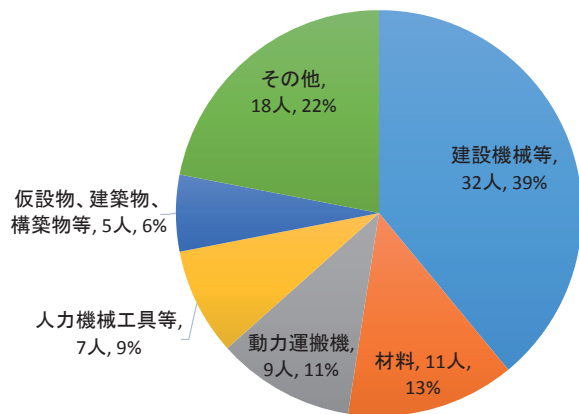
災害事例

- ・重機でコンクリート壁を解体中に破片が飛んで、水まきをしていた作業員に当たり負傷。
- ・解体中に天井が落下して被災。

災害の特徴

- ・重機と人による作業が一定の範囲内で同時に行われることが多いため、重機による災害がみられた。
- ・解体により不安定になった部分が落下して被災する事例がみられた。

はさまれ・巻き込まれによる死傷災害の件数



はさまれ・巻き込まれの起因物別

調査結果

- ①建設機械等(掘削用機械、解体用機械等)： 39%
- ②材料(木材や砂、金属等)： 13%
- ③動力運搬機(高所作業車)： 11%

災害事例

- ・不安定ながれきの上で作業をしていた重機が転倒して下敷きになる。
- ・後進してきた重機にひかれる。

災害の特徴

- ・重機と人による作業が一定の範囲内で同時に行われることが多いため、重機による災害が多かった。

はさまれ・巻き込まれによる死傷災害の件数



不安定ながれきの上で作業をしていた重機が転倒

調査結果

- ①建設機械等(掘削用機械、解体用機械等)： 39%
- ②材料(木材や砂、金属等)： 13%
- ③動力運搬機(高所作業車)： 11%

災害事例

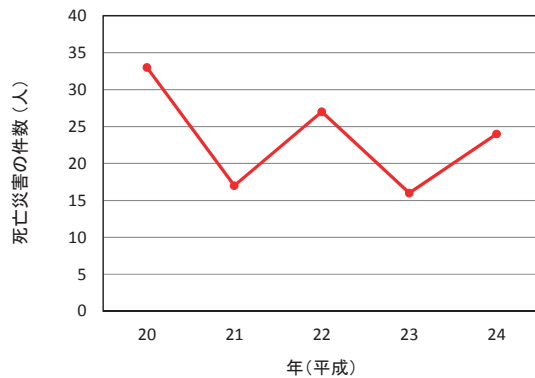
- ・不安定ながれきの上で作業をしていた重機が転倒して下敷きになる。
- ・後進してきた重機にひかれる。

災害の特徴

- ・重機と人による作業が一定の範囲内で同時に行われることが多いため、重機による災害が多かった。

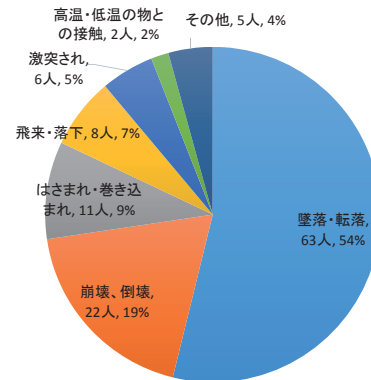
建築物の解体工事における死亡災害の件数

- ・年間16～33人が被災
- ・建設業の死亡災害に占める建築解体工事の割合は約6.5%



建築物の解体工事(年次別)

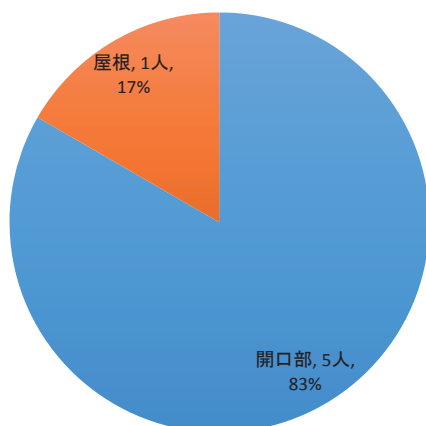
- ①墜落・転落: 54%
- ②崩壊・倒壊: 19%
- ③はさまれ・まきこまれ: 9%



事故の型別

墜落・転落による死亡災害件数(建物構造別)

開口部からの墜落が多い



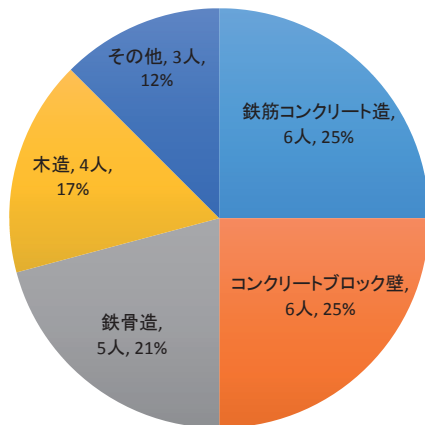
鉄筋コンクリート建物



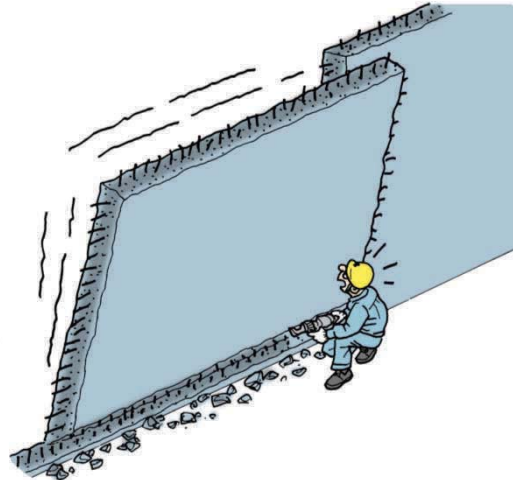
解体材を廃棄するために設けた開口部から墜落

倒壊・崩壊による死亡災害の件数

外壁の倒壊による災害が多い



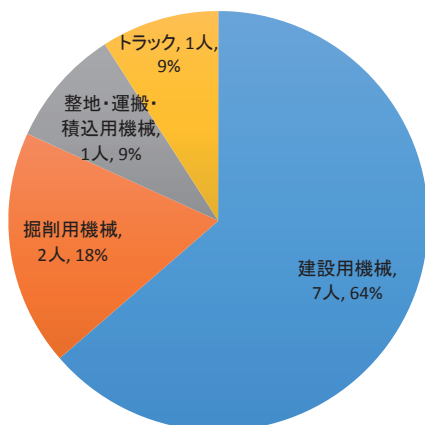
倒壊・崩壊



壁に切れ込みを入れているときに壁が倒壊

はさまれ・巻き込まれによる死亡災害の件数

重機にはさまれる・ひかれる災害が多い



はさまれ・巻き込まれ



不安定ながれきの上で作業をしていた重機が転倒

災害調査のまとめ

- ・平成20～24年に発生した建築物の解体工事における死傷災害件数は、調査期間内において緩やかに増加している。
- ・56～63歳の範囲で死傷災害件数が多かった。
- ・墜落・転落の災害が多く、安全帯の不適切な使用により墜落、開口部から墜落等の事例があった。
- ・解体工事では、重機と人による作業が一定の範囲内で同時に行われることが多いため、重機による災害が多かった。
- ・死亡災害においては、外壁の倒壊による事例が多かった。

災害原因の問題点と技術的課題

災害原因の問題点と技術的課題

墜落

- ・解体工事における墜落防止工法（安全帯の使用方法等）が確立されていない。

→ 安全帯の使用方法（工法）の検討

崩壊・倒壊

- ・具体的な柱縁切り量が不明。

→ 壁の転倒工法における柱縁切り量の検討

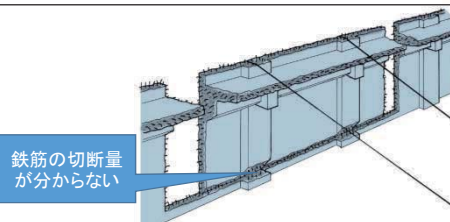
はさまれ・巻き込まれ

- ・がれきの上での重機の安定性が不明。

→ がれきの上における重機の安定性



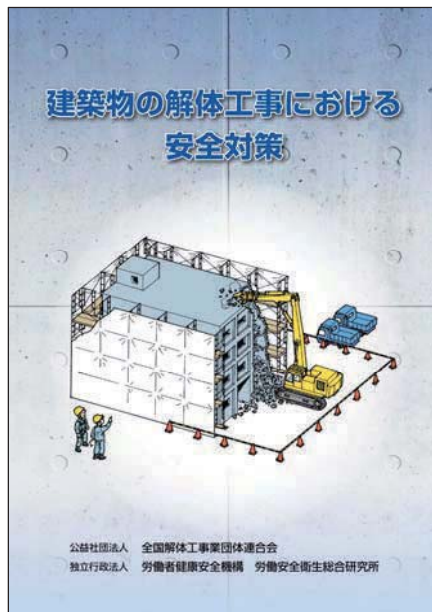
解体作業中の墜落



鉄筋の切断量が分からない

壁の転倒による解体工法

リーフレットの作成



鋼管充填コンクリート柱の解体工法に関するアンケート調査

日本大学理工学部建築学科 中田 善久

1. はじめに

鋼管充填コンクリート構造(以下、CFT構造とする)は構造性能の利点から、構造特有の力学的性質や施工方法について研究が進んだ1990年頃から急速に普及した構造である。さらに、近年のCFT構造は、高層建築物に採用される事例が多く、高さ300m、設計基準強度150N/mm²を超える高層建築物に採用された事例も報告されている¹⁾。このようにCFT構造が普及する一方で、今後CFT柱の解体工事の増加が見込まれるものの、CFT柱の解体方法は確立されておらず、現状のCFT柱の解体工法には様々な問題点がある。

そこで、本研究は、CFT柱の解体工法の確立に向けた手掛かりを得るために、施工実験により作製したCFT柱の解体を対象としてアンケート調査を実施した。ここでは、解体したCFT柱の概要、解体手法、現状の課題について調査した。

2. アンケート調査の概要

アンケートの対象者は、総合建設業社24社(67名)とし、調査期間は平成28年12月から平成29年2月とした。なお、アンケートの回答数は10件であった。

調査項目と設問項目を表1に示す。アンケートは、施工実験によって作製したCFT柱の解体を対象とし、調査項目を、CFT柱の解体に関連する「施工実験におけるCFT柱の概要」「CFT柱の解体方法」および「解体の計画と実務」の3項目とした。また、設問形式は、選択式もしくは記述式とした。

3. CFT柱の解体方法

3.1 CFT柱の解体手順

CFT柱の解体手順を図1に示す。解体手順は、「CFT柱を地上に下ろし解体をした」とする回答が6件であり、このうち「CFT柱を転倒させた」とする回答が4件、「CFT柱をブロックに切断・分割してクレーンによって吊り下した」とする回答が2件であった。そのため、CFT柱の解体に

表1 調査項目および設問項目

調査項目		設問項目
施工実験におけるCFT柱の概要	CFT柱の構成	(1)鋼管の形状
		(2)鋼管の寸法
		(3)コンクリートの強度
		(4)鋼管内の鉄筋
		(5)ダイヤフラムの形式
	ダイヤフラム下の充填率の確認方法	(1)充填率の確認の有無
		(2)目視での確認方法
CFT柱の解体方法		(1)解体手順
		(2)鋼管とコンクリートの分別方法
		(3)CFT柱の切断方法
		(4)CFT柱の切断箇所
		(5)CFT柱の切断に要した時間・作業員の人数
		(6)解体方法を選定した理由*
		(7)選定した解体方法で懸念される事項*
		(8)コンクリートの破砕について
		(9)解体後のコンクリートの再資源方法
解体の計画と実務		(1)解体の計画と実際の作業の差違
		(2)CFT造の解体方法についての所見*

*複数回答可

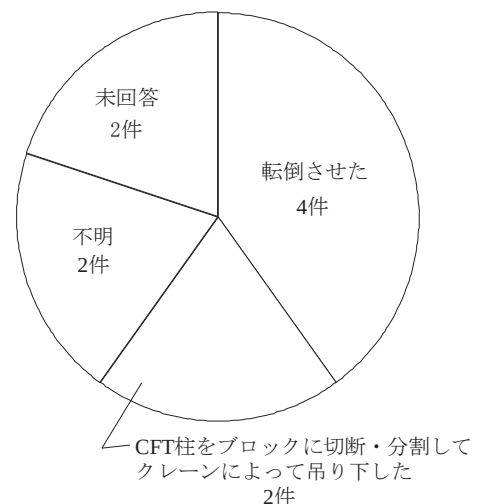


図1 CFT柱の解体手順

クレーンを設置するための広いスペースが必要であると考えられる。

3.2 鋼管とコンクリートの分別方法

鋼管とコンクリートの分別方法を図2に示す。鋼管とコンクリートの分別方法は、「鋼管のみを切断し、皮を剥くように鋼管を剥ぎ取った」とする回答が1件、「鋼管を切断後、鋼管の切断箇所から別の方法でコンクリートを切断し、鋼管を剥ぎ取った」とする回答が2件、「鋼管とコンクリートを一緒に切断し、鋼管を剥ぎ取った」とする回答が2件であった。また、「組立て方式の鋼管を用いた」とする回答が4件あった。これは、施工実験に用いられたCFT柱は、実際の建築と異なり施工後に短期間で解体を行うことから、容易に解体を行えるように計画されていたと言える。

3.3 鋼管のみを切断し、皮を剥くように鋼管を剥ぎ取った事例

1) CFT 柱の概要

CFT柱の概要を表2に示す。鋼管の形式は、内ダイヤフラム形式の角形鋼管であり、充填されたコンクリートは、設計基準強度が48～60N/mm²の高強度コンクリートであった。

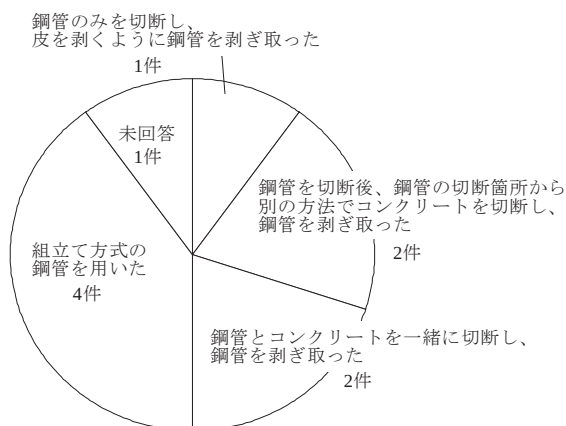


図2 鋼管とコンクリートの分別方法

2) 解体方法

CFT柱の解体は、アセチレンを用いたガス切断機とワイヤーソーを併用して鋼管を切断した後、写真1のように鋼管を剥ぎ取る方法であった。そして、コンクリートの破砕は圧碎機によって行われていた。

鋼管の切断作業は、作業員1人で行われ、1面あたり3時間程度の時間を要した。

3) 懸念される事項

ガス切断機を用いた解体は、鋼管の切断時に飛び散った火花によって、作業員が熱傷を負う恐れがあることや、充填されたコンクリートがガス切断機によって急激に熱せられると、表面が爆ぜ散る危険があることが懸念される。また、ガス切断機の火炎が、鋼管を貫通せずに、CFT柱内に充填されたコンクリートによって跳ね返されるため、切断効率が悪くなることも懸念される。

ワイヤーソーを用いた解体は、切断する対象の材質によってワイヤーの仕様が異なるが、CFT柱の解体において、鋼管とコンクリートを同一のワイヤーで切断するため、切断効率の低下や、ワイヤーの摩耗が激しくなることが懸念される。そし

表2 CFT 柱の概要

項目		仕様
鋼管の形状		角型鋼管
鋼管の寸法(mm)	外径	不明
	高さ	不明
	板厚	不明
コンクリートの強度(N/mm ²)	設計基準強度	48～60
	コア強度	不明
鋼管内の鉄筋		無し
ダイヤフラムの形式		内ダイヤフラム



写真1 鋼管とコンクリートの分別作業の様子

て、ワイヤーソーを用いた解体において、ワイヤーの摩擦熱を冷やすために水を多量に用いる。そのため、水を供給するための設備や、鉄やコンクリートの切粉を含んだ水の処理を行う設備が必要になることも懸念される。

さらに、解体作業の懸念事項として、切断後の鋼管を剥ぎ取る作業に時間が掛かる点や、解体するために大きなスペースが必要となる点もあげられる。

3.4 鋼管を切断後、鋼管の切断箇所から別の方法でコンクリートを切断し鋼管を剥ぎ取った事例

1) CFT 柱の概要

CFT 柱の概要を表3に示す。鋼管の形式は、外径 600 × 600mm、高さ 9,600mm、板厚 22mm の角型鋼管であり、ダイヤフラムは内ダイヤフラム形式であった。充填されたコンクリートは、設計基準強度が 60N/mm²、コア強度が 74.6 ～ 85.1N/mm² の高強度コンクリートであった。

2) 解体方法

CFT 柱の解体方法は、CFT 柱を転倒させ、地上

に下ろした後にアセチレンを用いたガス切断機と高速カッタを併用して、図3に示す位置において鋼管の切断を行った。また、コンクリートの破碎は、大型ブレーカを用いて 1m 角程度となるように行われた。

3) 懸念される事項

本事例は、前者の事例と同様に、ガス切断機を用いていたため、作業員が熱傷を負う恐れがある事や、鋼管単体に比べて切断効率が悪いことが懸念される。

また、高速カッタを用いた解体方法は、ワイヤーソーと同様に、カッタの摩擦熱を冷ますために水を多量に用いる。そのため、水を供給するための設備や、泥分を含んだ水の後処理のための設備が必要なが懸念される。

さらに、鋼管とコンクリートを分別する際の懸念事項として、切断後の鋼管を剥ぎ取る作業に時間がかかるということや、解体するために大きなスペースを必要とすることもあげられる。

3.5 鋼管とコンクリートを一緒に切断し、鋼管を剥ぎ取った事例

1) CFT 柱の概要

CFT 柱の概要を表4に示す。鋼管の形式は、外径 600 × 600mm、高さ 10,862mm、板厚 19mm の角型鋼管であり、ダイヤフラムは内ダイヤフラム形式だった。充填されたコンクリートは、設計基準強度が 60N/mm²、コア強度が平均 100N/mm² の高強度コンクリートであった。

2) 解体方法

CFT 柱の解体は、CFT 柱を転倒させ地上に下ろし、その後、ワイヤーソー切断機によって、図4に示す位置において鋼管とコンクリートを3箇所切断する方法だった。そして、コンクリートを鋼管から剥ぎ取り、破碎する方法で解体を行って

表3 CFT 柱の概要

項目		仕様
鋼管の形状		角型鋼管
鋼管の寸法(mm)	外径	700×700
	高さ	9,600
	板厚	22
コンクリートの強度(N/mm ²)	設計基準強度	60
	コア強度	74.6~85.1
鋼管内の鉄筋		無し
ダイヤフラムの形式		内ダイヤフラム

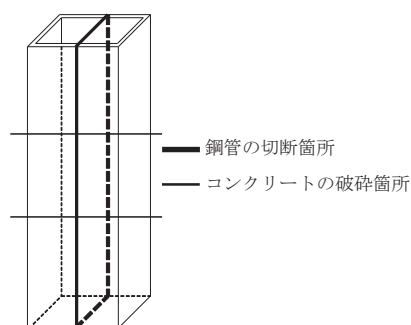


図3 鋼管とコンクリートの切断箇所

た。

3) 懸念される事項

ワイヤーソーを用いた解体方法は、前述したように、CFT柱の解体において、鋼管とコンクリートを同一のワイヤーで切断するため、切断効率が低下し、解体に時間がかかる点が懸念される。また、ワイヤーの摩耗が激しくなり、コストが高くなってしまう点も懸念される。

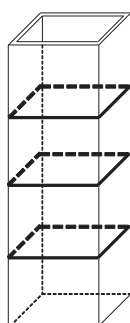
2.5 組立て方式の鋼管を用いた事例

1) CFT柱の概要

CFT柱の概要を表5に示す。鋼管の形式は、外径500×500mm、高さ10,000mm、板厚16mmの角型鋼管であり、ダイヤフラムは内ダイヤフラム形式だった。充填されたコンクリートは、設計基準強度が48N/mm²、コア強度が81.2N/mm²の高强度

表4 CFT柱の概要

項目	仕様
鋼管の形状	角型鋼管
鋼管の寸法(mm)	外径
	高さ
	板厚
コンクリートの強度(N/mm ²)	設計基準強度
	コア強度
鋼管内の鉄筋	無し
ダイヤフラムの形式	内ダイヤフラム



鋼管とコンクリートの切断箇所

図4 鋼管とコンクリートの切断箇所

表5 CFT柱の概要

項目	仕様
鋼管の形状	角型鋼管
鋼管の寸法(mm)	外径
	高さ
	板厚
コンクリートの強度(N/mm ²)	設計基準強度
	コア強度
鋼管内の鉄筋	無し
ダイヤフラムの形式	内ダイヤフラム

度コンクリートであった。

2) 解体方法

鋼管は、製作する段階で、ダイヤフラムの上下をボルト接合として、容易に分割できるように作製された。そのため、CFT柱の解体方法は、ダイヤフラム高さで分割し、クレーンによって吊り下した方法だった。

3) 懸念される事項

本事例は、解体を意識して鋼管をボルト接合とする計画だったため、比較的容易にCFT柱の解体を行う事ができる。しかし、この解体方法は、鋼管の作成に時間やコストが掛かることが懸念される。また、ボルト接合による組立て式の鋼管は、実構造部材に採用しにくいことが考えられる。

4. CFT造の解体方法についての所見

4.1 鋼管とコンクリート分別方法の選定理由

鋼管とコンクリートの分別方法の選定理由を図5に示す。「考えられる分別方法のうち、最も安全性が高いため」という理由が最も多く、7件回答された。次に、「考えられる分別方法のうち、最も短時間で解体できるため」という理由が多く、4件回答された。「その他」の理由は、「鋼管内の充填率を確認するため」という回答であった。ま

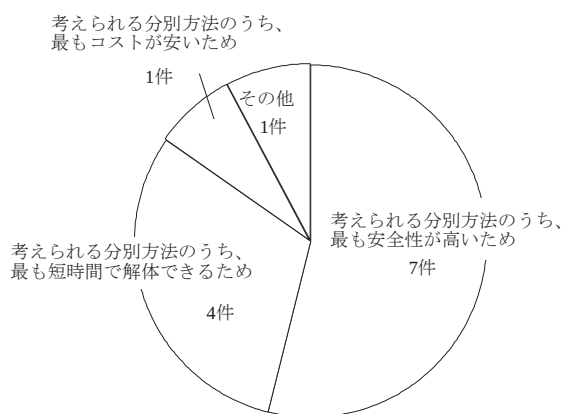


図5 鋼管とコンクリート分別方法の選定理由

た、「この方法以外では分別できないから」との選択肢は回答されなかった。このことから、各解体の事例において、複数の分別方法が選択肢にあったことが示唆される。そして、回答された理由によって合理的に解体方法が選択されたことが窺える。

4.2 CFT造の解体方法に対する所見

CFT造の解体方法に対する所見を図6に示す。「現状の解体工法で問題ない」とされる回答が1件あった。しかし、「より安全な解体工法の開発が望まれる」とされる回答が6件、「より低コストの解体工法の開発が望まれる」とされる回答が5件、「より工期の短い解体工法の開発が望まれる」との回答が6件あった。

この所見は、鋼管とコンクリートの分別方法の選定理由とほぼ同一の傾向を示し、安全性が高いことや、解体時間が短いために選ばれた分別方法はあるものの、CFT柱の解体において、現状CFT柱独自の解体工法でないため、より安全性が高い解体工法や、解体時間が短い解体工法の開発が望まれていると言える。

また、「その他」の所見は、「騒音や振動の少ない解体工法の開発が望まれる」との回答と、「CFT

柱のままリユースする方法が考えられる」とされる回答であった。「騒音や振動の少ない解体工法の開発が望まれる」との回答は、CFT造のみならず、建築物全般の解体は、周辺環境に配慮する必要があることが影響しているといえる。さらに「CFT柱のままリユースする方法」は、運搬方法等の課題はあるものの、CFT柱の解体手順が少なく済むことが考えられる。そのため、解体時間の短縮につながる可能性があるといえる。

5. まとめ

本研究は、施工実験におけるCFT柱の解体方法に関して、アンケート調査を行った。そして、得られた知見を以下に示す。

- (1) 施工実験におけるCFT柱の解体事例は、解体方法が確立されていないため少ない。
- (2) 施工実験の計画の段階で、CFT柱の鋼管を組立て方式として、比較的容易に解体できるようにしている事例が多く見られた。また、解体方法は安全性や解体時間を重視して選ばれる傾向にあった。
- (3) CFT柱の分別方法の選定理由と今後の解体工法の開発に期待されることは、ほぼ同一の傾向を示し、安全性が高いことや工期が短いことが望まれていた。

【参考文献】

- 1) 青木義彦, 岩清水隆, 山田佳博, 永野浩一 :
Fc=150N/mm² 超高強度コンクリートCFT柱の施工—高さ300m超高層複合ビル「あべのハルカス」—, コンクリート工学, Vol.50, No.8, pp.683-688, 2012.8
- 2) 日本建築学会: コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 2008.10

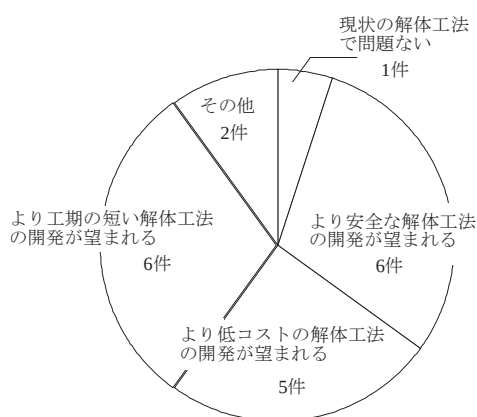


図6 CFT造の解体方法に対する所見

コンクリート用膨張材を用いたモルタルによるコンクリート構造物の 静的破碎に関する基礎的研究

ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 大塚 秀三
日本大学 理工学部建築学科 教授 中田 善久
ものづくり大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻 ○田鶴 大樹

1. はじめに

昨今の鉄筋コンクリート造構造物の解体工事は、周辺環境の保全に対する要求が高度化しており、周辺環境に配慮した解体が求められる状況¹⁾にある。鉄筋コンクリート造構造物の解体工事には、圧砕工法や大型ブレーカ工法などの重機を用いる解体工法が主流である。これらの解体工法は、作業性がよい反面、騒音、振動および粉塵が発生するため、周辺環境への影響が多大である。

これに対して、静的な解体工法として、充填物の膨張圧により鉄筋コンクリートの破碎を行う静的破碎剤工法²⁾が普及している。静的破碎剤工法は、鉄筋コンクリートの穿孔箇所に静的破碎剤のスラリーを充填し、主成分である生石灰が水和反応することにより見掛けの体積が増加し、その膨張圧により破碎する工法である。この工法は、重機を用いる工法と比較し、静的にコンクリートを破碎できるため、周辺環境への影響を低減できる特長がある。

一方で、静的破碎剤と同様に生石灰が主成分の混和材料としてコンクリート用膨張材(以下、膨張材とする)がある。この混和材料は、コンクリートの硬化過程で水和反応により膨張し、乾燥収縮によるひび割れの発生を抑制するために用いられる。また、膨張材は、現場打ちコンクリートに用いられることが年々増加する傾向³⁾にあり、現場においては比較的入手しやすい。

本研究では、膨張材を多量に混入したモルタル(以下、膨張モルタルとする)を用いて、静的にコンクリートを破碎できる新たな解体工法を開発することを最終目的とする。これまでに筆者は、既報の研究⁴⁾において、膨張モルタルの無拘束状態での性状および鉄筋コンクリート試験体に充填した際の破碎性状について基礎的性状を明らかとしたが、膨張圧については検討を行っていない。そのため、ここでは、膨張モルタルの膨張圧の基礎的性状について明らかにすることを目的とし、静的破碎剤に関する既往の文献^{5),6)}に基づいた膨張圧

の測定方法の膨張モルタルへの適用性を確認するとともに、調合要因の相違が膨張圧に及ぼす影響について検討を行った。

2. 膨張圧の測定時間の設定に関する検討

静的破碎剤の膨張圧は、長期にわたり徐々に上昇し続けるとした報告⁷⁾がある。ここでは、膨張モルタルの膨張圧の時間変化を確認し、膨張圧の測定時間を定めることを目的に実験を行った。なお、以降では、膨張モルタルおよび静的破碎剤を総称し、充填材料と呼称する。

2.1 実験概要

2.1.1 実験の要因と水準

本実験では、充填材料を膨張モルタルおよび静的破碎剤とした。膨張モルタルの調合は、水結合材比(以下、W/Bとする)を30%とし、結合材と細骨材の質量比(以下、B:Sとする)を1:0、膨張材とセメントの質量比(以下、E:Cとする)を1:0とした調合(調合A)、B:Sを1:2、E:Cを1:2とした調合(調合B)の計2水準とした。静的破碎剤の調合は、水粉体比を30%とした。

2.1.2 充填材料の使用材料

充填材料の使用材料を表-1に示す。既報の研究⁴⁾により、膨張モルタルの長さ変化は、普通ポルトランドセメントと比較して低熱ポルトランドセメントを用いた方が大きくなったため、本実験では低熱ポルトラン

表-1 充填材料の使用材料

使用材料			品質
水(W)		上水道水	—
結合材(B)	セメント(C)	低熱ポルトランドセメント(L)	密度: 3.22g/cm ³
	膨張材(E)	石灰系低添加型	密度: 3.16g/cm ³ CaO: 76.3%
静的破碎剤(P)		充填孔内部の温度が10~20℃の範囲で用いられるタイプ	密度: 3.19 g/cm ³ CaO: 65%
細骨材(S)		栃木県栃木市尻内町	表乾密度: 2.61g/cm ³

ドセメントを用いた。膨張材は、JIS A 6202:2008「コンクリート用膨張材」に準拠した石灰系の低添加型を用いた。静的破砕剤は、充填孔内部の温度が10～20℃の範囲で用いられるタイプとした。また、使用材料は、以降の実験においても同様のものを用いた。

2.1.3 測定方法の概要

膨張圧の測定方法は、副田ら⁵⁾の提案した圧力計による膨張圧測定法(以下、圧力計法とする)を準用した。圧力計法の測定装置の概要を図-1に示す。圧力計法は、φ38mmの鋼管の上下面を鉄板で拘束し、鋼管の中央にフラッシュダイヤフラム型圧力計(以下、圧力計)を取り付け、直接的に膨張圧を測定する方法である。膨張圧の測定は、モルタルミキサを用いて充填材料を練り混ぜてから鋼管内に充填後、拘束し、室温20±2℃、相対湿度60±5%の一定の環境下で2分ごと80時間測定を行った。

2.2 実験結果

充填材料ごとの膨張圧の経時変化を図-2に示す。膨張圧の経時変化は、充填材料にかかわらず測定開始から40時間まで急激に上昇し、それ以降からは緩やかな変化となる傾向を示した。40時間後の膨張圧は、80時間後の膨張圧と比較し、静的破砕剤では、8割程度であり、膨張モルタルでは、いずれの調合においても7割程度であった。以上より、膨張圧は、測定開始から40時間が経過した時点で充填材料ごとの相対比較において評価できると考えられた。また、解体工事がおおよそ2日後程度で行われるのが現実的であろうことを考慮し、以降の実験においては、40時間後の膨張圧により検討した。

3. 膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法の検討

本報告における実験の構成を表-2に示す。ここでは、膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法を定めることを目的とし、静的破砕剤を対象とした既往の膨張圧の測定方法⁵⁾⁶⁾を準用し、測定高さ、拘束条件および充填深さを変化要因として、膨張モルタルの膨張圧の測定方法への適用性を検討した。

3.1 実験概要

3.1.1 測定方法の検討(検討項目1)

ここでは、既往の研究⁵⁾⁶⁾で提案された膨張圧の測定方法に基づき、膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法への適用性を明らかにすることを目的に実験を行った。

(1) 実験の要因と水準

本実験では、膨張圧の測定方法、充填材料、調合および容積を変化要因とした。膨張圧の測定方法は、上

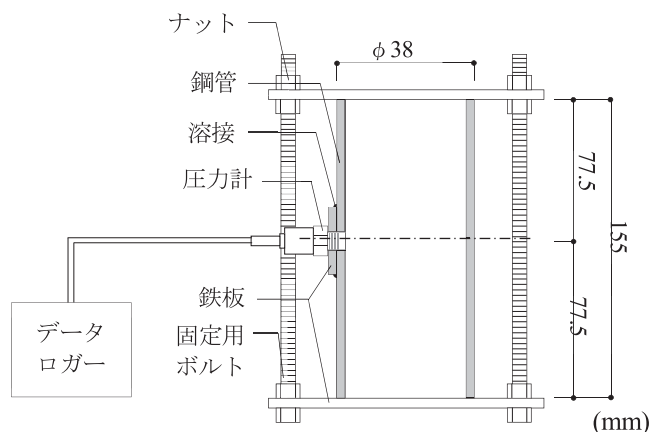


図-1 圧力計法の測定装置の概要

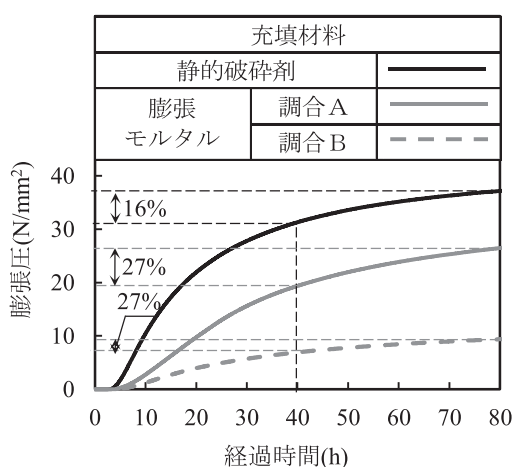


図-2 充填材料ごとの膨張圧の経時変化

下面を拘束した外管法⁶⁾(以下、A法とする)、下面を拘束した外管法⁵⁾(以下、B法とする)および圧力計を対象に実験を行った。

(2) 充填材料の調合

充填材料の調合を表-3に示す。膨張モルタルの調合は、W/Bを30%とし、B:SおよびE:Cを変化させた計9水準とした。静的破砕剤の調合は、前章と同一とした。B法は、膨張モルタルのB:Sを1:1、E:Cを1:1および静的破砕剤とした。

(3) 膨張圧の測定方法

鋼管の寸法を表-4に示す。なお、以降の実験においても同様の鋼管を用いた。A法は、鋼管の上下面を鉄板により拘束し、鋼管の中央の一箇所に貼り付けた軸方向および円周方向の2軸タイプのひずみゲージにより得られたひずみを用いて、式(1)によって膨張圧を算出する測定する方法である。B法は、鋼管の下面を鉄板と溶接し、A法と同様に軸方向および円周方向の2軸タイプのひずみゲージを用いて測定する方法である。膨張モルタルの練混ぜにはモルタルミキサを用い、充

表-2 実験の構成

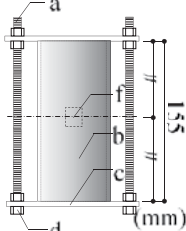
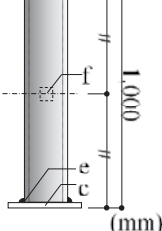
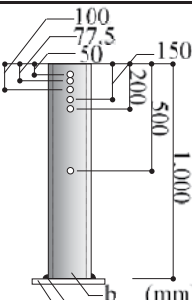
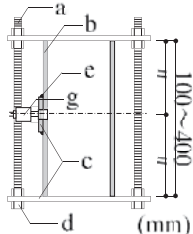
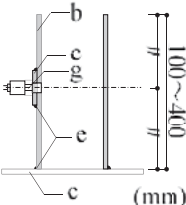
検討項目	測定方法の検討(検討項目 1)				測定高さにおける膨張圧の分布の検討(検討項目 2)	充填深さおよび拘束条件の検討(検討項目 3)	
測定装置の概要	図-1に示す。						
		○: 測定箇所					
		a:固定用ボルト, b:鋼管, c:鉄板, d:ナット, e:溶接, f:ひずみゲージ, g:圧力計					
測定装置	圧力計法の測定装置	A法の測定装置	B法の測定装置	膨張圧の分布の測定装置	上下面拘束の測定装置	下面拘束の測定装置	
測定機器	圧力計	ひずみゲージ	ひずみゲージ	圧力計	圧力計	圧力計	
環境温度	20±2℃(気中)		20±2℃(水中)	20±2℃(気中)	20±2℃(気中)		
相対湿度	60±5%		—	60±5%	60±5%		
測定高さ(mm)	77.5		500	50, 77.5, 100, 150, 200, 500	50, 77.5, 100, 150, 200		
拘束条件	上下面拘束		下面拘束	下面拘束	上下面拘束	下面拘束	
充填深さ(mm)	155		1,000	1,000	100, 155, 200, 300, 400		
呼び充填径(mm)	φ 38, φ 50, φ 75, φ 100		φ 38	φ 38	φ 38, φ 50, φ 75, φ 100		
充填材料	膨張モルタル	静的破砕剤	膨張モルタル	静的破砕剤	膨張モルタル	膨張モルタル	
B:S	1:0, 1:1, 1:2	—	1:1	—	1:1	1:1	
E:S	1:0, 1:1, 1:2	—	1:1	—	1:1	1:1	

表-3 充填材料の調査(検討項目 1)

充填材料の種類	W/B (%)	B:S	E:C	単位量(kg/m³)				
				P	E	C	W	S
膨張モルタル	30	1:0	1:0	—	1,622	0	487	0
			1:1	—	815	815	489	0
			1:2	—	544	1,088	490	0
		1:1	1:0	—	1,000	0	300	1,000
			1:1	—	502	502	301	1,003
			1:2	—	335	670	301	1,004
		1:2	1:0	—	723	0	217	1,446
			1:1	—	362	362	217	1,449
			1:2	—	242	484	218	1,451
静的破砕剤	—	—	—	1,630	—	—	489	—

表-4 鋼管の寸法

呼び充填径(mm)	外径(mm)	肉厚(mm)	内径(mm)
φ 38	48.6	5.1	38.4
φ 50	60.5	5.5	49.5
φ 75	89.1	6.6	78.1
φ 100	114.3	6.0	102.3

充填材料を鋼管内に充填後、鋼管を拘束し、圧力計法および A 法は室温 20±2℃、相対湿度 60±5%、B 法は水温 20±2℃の一定の環境下で測定を行った。

$$p = \frac{Es(k^2 - 1)}{2(1 - \nu_s^2)} (\varepsilon_\theta + \nu_s \varepsilon_z) \quad (1)$$

ここで、 p : 膨張圧(N/mm²)、 ν_s : 鋼管のポアソン比(0.3)、 Es : 鋼管の静弾性係数(2.06×10^5 N/mm²)、 k : 鋼管の内径に対する外径の比(外径/内径)、 ε_θ : 円周方向のひずみ、 ε_z : 軸方向のひずみ

3.1.2 測定高さにおける膨張圧の分布の検討(検討項目 2)

既往の研究⁸⁾により、静的破砕剤は、下面拘束条件の場合、測定位置が上面に近づくにつれ膨張圧は小さくなる傾向を示しており、測定高さによって異なる膨張圧の分布となることが分かる。ここでは、膨張モルタルにおける測定高さの相違が膨張圧に及ぼす影響について明らかとすることを目的に実験を行った。

(1) 実験の要因と水準

本実験では、呼び充填径を $\phi 38$ 、充填深さを 1,000 mm の鋼管を用い、上面からの異なる測定高さにおいて測定を行った。膨張モルタルの調合は、W/B を 30%、B:S を 1:1、E:C を 1:1 とした。

(2) 膨張圧の測定方法

膨張圧の分布の測定装置は、鋼管の下面を鋼管と鉄板とを溶接して拘束し、膨張圧を鋼管の測定高さごとに設置した圧力計を用いて一定環境下で測定を行った。

3.1.3 鋼管の高さ方向および拘束条件の検討（検討項目 3）

静的破砕剤工法は、穿孔箇所には充填後、孔は塞がないため上面は無拘束状態となる。膨張モルタルを用いた場合もこれと同様に、上面は無拘束となることが想定される。ここでは、充填深さおよび拘束条件が膨張圧に及ぼす影響について明らかとすることを目的に実験を行った。

(1) 実験の要因と水準

本実験では、変化要因を鋼管の呼び充填径、充填深さおよび拘束条件として測定を行った。拘束条件は、上下面拘束および下面拘束とし、測定方法は圧力計法を用いた。また、膨張モルタルの調合は、W/B を 30%、B:S を 1:1、E:C を 1:1 とした。

(2) 膨張圧の測定方法

上下面拘束の測定装置は、鋼管の上下面を鉄板で拘束し、下面拘束の測定装置は、鋼管の下面を鉄板と溶接して拘束したものを用いた。なお、膨張圧の測定は、圧力計法と同様に、鋼管中央部に取り付けた圧力計を用いて一定環境下で行った。

3.2 実験結果

3.2.1 測定方法の比較（検討項目 1）

測定方法ごとの膨張圧の比較を図-3 に示す。同図は、縦軸に圧力計法の膨張圧、横軸に A 法および B 法の膨張圧を示したものである。膨張圧は、測定方法の相違による膨張圧の差異はわずかであった。

3.2.2 膨張圧の分布（検討項目 2）

充填材料ごとの測定高さと膨張圧の関係を図-4 に示す。同図は、本実験で測定を行った膨張モルタルの膨張圧および同様の測定方法を用いた既往の研究より抜粋した 24 時間後の静的破砕剤における膨張圧をそれぞれ示したものである。静的破砕剤の膨張圧は、上面からの測定高さが大きくなると膨張圧が上がり、一定の測定高さ以降になると膨張圧が上昇しなくなる傾向を示した。しかし、膨張モルタルの膨張圧は、上面からの高さが 50~100mm および 100mm 以上の範囲

における挙動の差異はわずかであり、静的破砕剤を対象とした既往の研究とは乖離した結果となった。これは、鉄板にて拘束されていない上面のスラリーが粉体化することにより、膨張圧が上面より開放されたためと推察される。膨張モルタルの膨張圧は、混入しているセメントが硬化することにより上面が拘束されたため、上面からの測定高さによる影響はわずかであったと推察される。また、同一の膨張モルタルの水準の B 法の $\phi 38$ の水中と膨張圧の分布の高さ 500mm の気中を比較したところ、同等の値を示した。そのため、膨張圧の差異がわずかであったことから外部環境での差異がないことが確認された。

3.2.3 高さ方向および拘束条件（検討項目 3）

各拘束条件における充填径ごとの充填深さと膨張圧の関係を図-5 に示す。膨張圧は、上下面拘束の $\phi 100$ の水準を除き、充填深さおよび拘束条件による差異はわずかであった。これは、膨張圧の分布の検討と同様

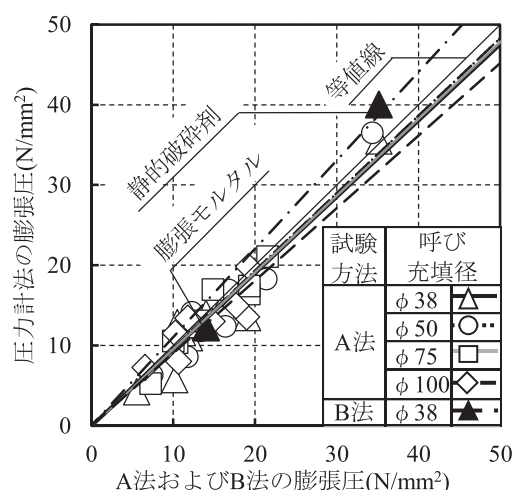


図-3 測定方法ごとの膨張圧の比較

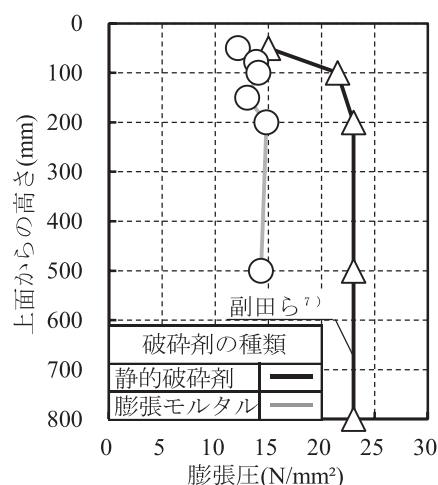


図-4 充填材料ごとの測定高さと膨張圧の関係

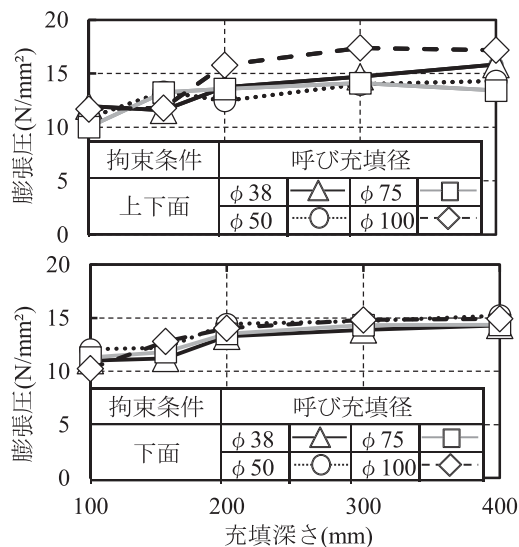


図-5 各拘束条件における充填径ごとの充填深さと膨張圧の関係

に、セメントの硬化により上面拘束されたためと推察される。

上下面拘束の $\phi 100$ の水準においては、鉄板にて拘束することにより、水和熱が蓄積しやすくなったため膨張圧が大きくなったと推察される。

4. 膨張モルタルの調合要因が各種要因に及ぼす影響

ここでは、膨張モルタルの調合要因が、フロー値、温度性状および膨張圧に及ぼす影響を明らかにすることを目的に実験を行った。

4.1 実験概要

4.1.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-5に示す。本実験では、変化要因を膨張モルタルの W/B, B:S, E:C および呼び充填径とし、フロー値、温度および膨張圧に及ぼす影響について実験を行った。なお、フロー値については、膨張モルタルの穿孔箇所における充填性を確認することを目的に測定を行った。また、一部水準において静的破砕剤を用い、比較検討を行った。

4.1.2 充填材料の調合

充填材料の調合を表-6に示す。膨張モルタルの調合は、W/B, B:S および E:C を変化させた計 27 水準とした。静的破砕剤の調合は、前章と同一とした。

4.1.3 測定項目および測定方法

温度測定装置の概要を図-6に示す。膨張モルタルのフロー値の測定は、JIS R 5201:1997「セメントの物理試験方法」に準拠した。温度の測定方法は、鋼管の中心部に T 型熱電対を埋め込み、測定を行った。膨張圧の測定方法は、圧力計法を用い、噴出現象が生じた水準においては、水中にて A 法を用い、それぞれ前章と同様の環境下で測定を行った。

表-5 実験の要因と水準

要因	水準
充填材料の種類	膨張モルタル, 静的破砕剤
水結合材比(W/B)(%)	20, 30, 40
B:S	1:0, 1:1, 1:2
E:C	1:0, 1:1, 1:2
呼び充填径(mm)	$\phi 38$, $\phi 50$, $\phi 75$, $\phi 100$

表-6 充填材料の調合

充填材料の種類	W/B (%)	B:S	E:C	単位量(kg/m³)				
				P	E	C	W	S
膨張モルタル	20	1:0	1:0	—	1,936	0	387	0
			1:1	—	974	974	389	0
			1:2	—	650	1,301	390	0
		1:1	1:0	—	1,112	0	222	1,112
			1:1	—	558	558	223	1,115
			1:2	—	372	744	223	1,116
		1:2	1:0	—	780	0	156	1,559
			1:1	—	391	391	156	1,563
			1:2	—	261	521	156	1,564
	30	1:0	1:0	—	1,622	0	487	0
			1:1	—	815	815	489	0
			1:2	—	544	1,088	490	0
		1:1	1:0	—	1,000	0	300	1,000
			1:1	—	502	502	301	1,003
			1:2	—	335	670	301	1,004
		1:2	1:0	—	723	0	217	1,446
			1:1	—	362	362	217	1,449
			1:2	—	242	484	218	1,451
	40	1:0	1:0	—	1,396	0	558	0
			1:1	—	701	701	561	0
			1:2	—	468	936	561	0
		1:1	1:0	—	909	0	364	909
			1:1	—	456	456	365	912
			1:2	—	304	608	365	913
		1:2	1:0	—	674	0	270	1,349
			1:1	—	338	338	270	1,352
			1:2	—	225	451	270	1,352
静的破砕剤	—	—	—	1,630	—	—	489	—

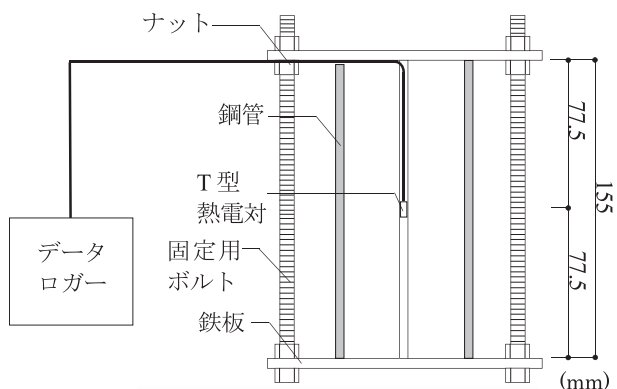


図-6 温度測定装置

4.2 実験結果

4.2.1 フロー値

調査要因ごとのフロー値の関係を図-7に示す。フ

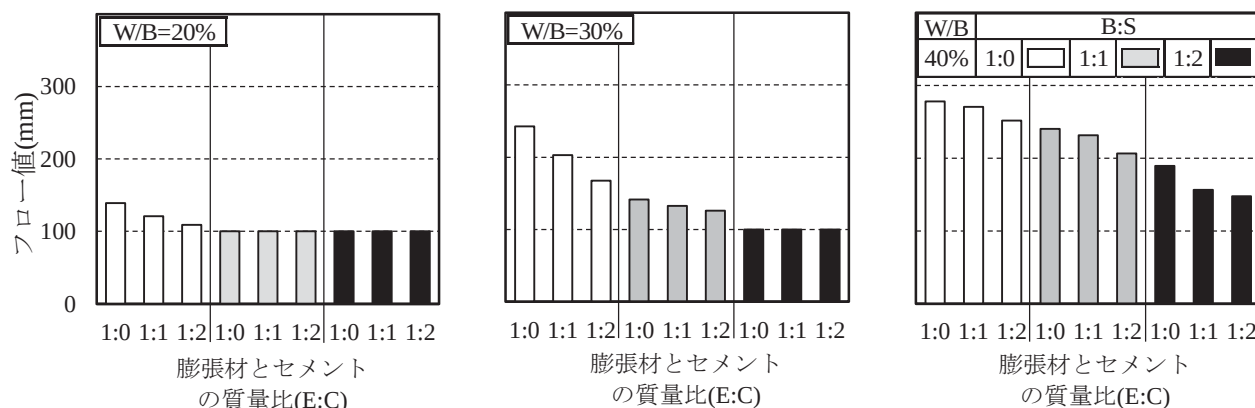


図-7 調査要因ごとのフロー値の関係

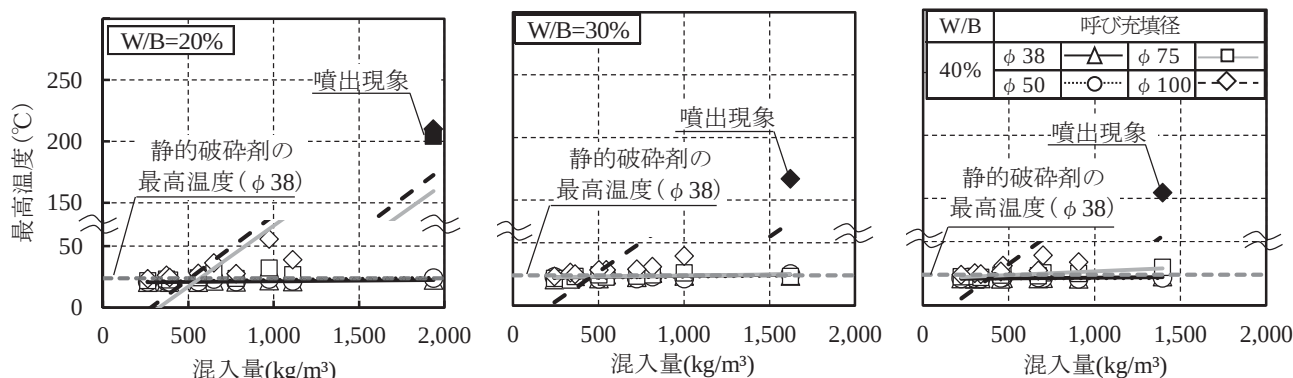


図-8 W/B ごとの膨張材の混入量と最高温度の関係

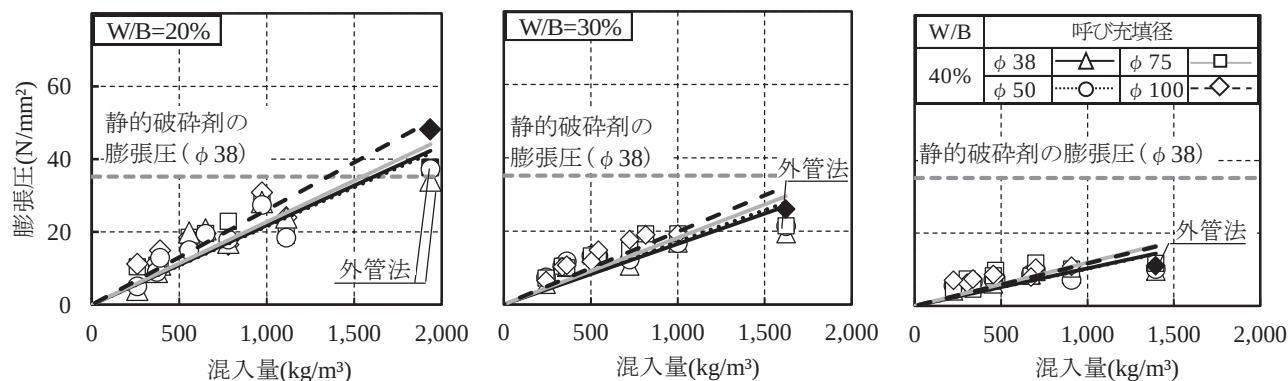


図-9 W/B ごとの膨張材の混入量と膨張圧の関係

ロー値は、W/B が大きく、細骨材の混入量およびセメントの混入量が小さくなるほど大きくなる傾向を示した。

4.2.2 温度性状

W/B ごとの膨張材の混入量と最高温度の関係を図-8 に示す。W/B の相違による最高温度は、差異はわずかであり、呼び充填径の小さい水準においても膨張材の混入量に関わらず同様の傾向を示した。しかし、呼び充填径が大きい水準では、膨張材の混入量が多くなるほど最高温度が高くなる傾向を示し、一部水準において噴出現象が確認された。これは、体積が大きくな

るにつれ水和熱が蓄積しやすくなるため⁸⁾と推察される。

4.2.3 膨張圧

W/B ごとの膨張材の混入量と膨張圧の関係を図-9 に示す。W/B の相違による膨張圧は、W/B が小さくなるにつれて大きくなる傾向を示した。これは、単位水量が減少することにより、膨張モルタルが密実となり、膨張圧が効率よく伝達したため³⁾と推察される。膨張材の混入量の相違による膨張圧は、膨張材の混入量が多くなるにつれて、大きくなる傾向を示したが、呼び充填径の相違による差異はわずかであった。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 膨張圧は、測定方法の相違による膨張圧の差異はわずかであった。
- (2) 膨張モルタルの膨張圧は、拘束条件、使用する鋼管および測定の高さによる差異はわずかであった。
- (3) フロー値は、W/B が大きく、細骨材およびセメントの混入量が小さくなるほど大きくなる傾向を示した。
- (4) 最高温度は、呼び充填径が大きい水準においては、膨張材の混入量が多いほど高くなる傾向を示した。
- (5) 膨張圧は、W/B が小さく、膨張材の混入量が多くなるにつれて、大きくなる傾向を示した。

参考文献

- 1) 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，日本建築学会東海支部研究報告集，第51号，pp.105-108, 2013.2
- 2) 山崎之典：静的破砕剤，石膏と石灰，No.208，pp.175-183，1987.5
- 3) 日本建築学会：膨張材・収縮低減剤を使用したコンクリートに関する技術の現状，pp.1-29，2013.7
- 4) 鈴木直，大塚秀三，中田善久，樫村啓：膨張モルタルを用いた鉄筋コンクリートの静的破砕に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.38，pp.1653-1658，2016.7
- 5) 副田孝一，原田 哲夫，上林 真幸，細野 克夫：フラッシュダイヤフラム型圧力計を用いた静的破砕剤の簡易膨張圧測定法，土木学会論文集 No.478，pp.145-148，1993.11
- 6) 副田孝一：生石灰の水和膨張を利用した静的破砕剤の開発およびその応用に関する研究，九州工業大学博士論文，pp.15-21，1994.1
- 7) 副田孝一，土屋和義，松久真人，原田哲夫：静的破砕剤の長期膨張圧特性，石膏と石灰，No.248，pp. 37-43，1994.1
- 8) 百瀬晴基，関田 徹志，鈴木 康範，小林 隆芳：低熱ポルトランドセメント及び膨張材を用いたコンクリートの膨張収縮挙動に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.495-500，2004.6

平成28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

解体工事における構造物の 安全性に関する研究

2017年7月26日

青木秀敬¹⁾, 青木孝義²⁾, 張景耀²⁾, 湯浅昇³⁾

1) 名古屋市立大学芸術工学部建築都市デザイン学科

2) 名古屋市立大学建築構造技術研究所

3) 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

- ・日本大学生産工学部5号館（RC造）の解体工事に関連して振動特性の変化に関する研究
- ・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に関する研究
- ・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に関する研究
- ・RC造の階上解体における床板サポートに関する研究
- ・RC造建物の階上解体（減築）における建造物の振動特性に関する研究を進めてきた。

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ

平成28年度の研究

H建物（HPシェル）の解体工事における安全性に関する研究

- ・解体順序、ひずみ、振動などの測定、SiM活用
→解体工事における安全性の検討



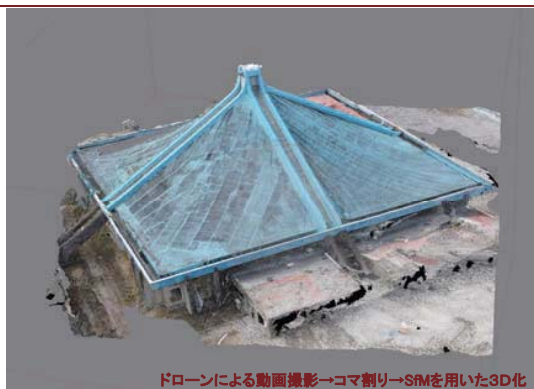
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ

H建物の外観（北東面より）



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ

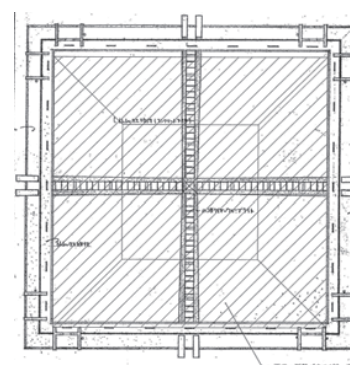
H建物の外観（SiMを用いた3D化）



ドローンによる動画撮影→コマ割り→SiMを用いた3D化

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ

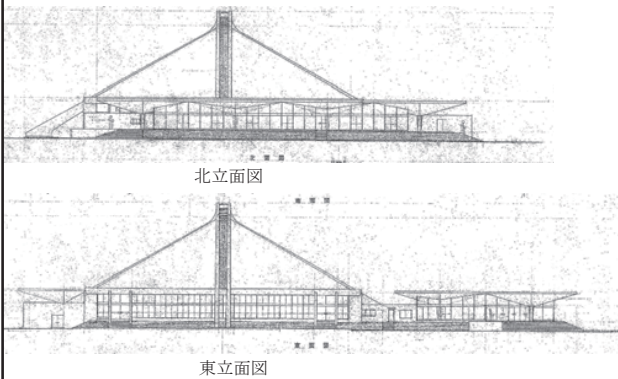
H建物平面図



建物名称：H建物
用途：プール
建設時期：昭和47年
建築面積：約2,275m²
構造種別：RC造
基礎：杭基礎
平面規模：65.45m×65.45m
軒高：4.8m
最高高さ：18.532m
シェル厚：
端部：90mm
中央：60mm
D10-@200斜めクロス
ギール梁断面
基部：2000×740mm
頂部：840×440mm

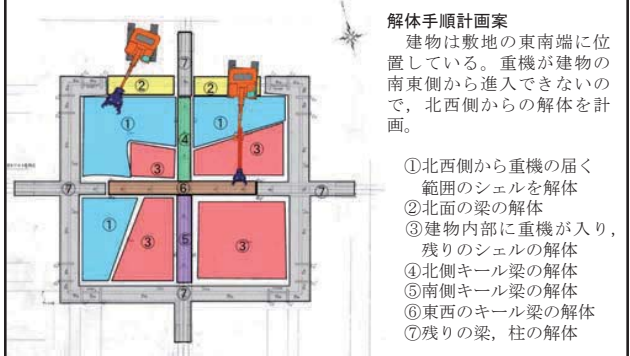
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ

H建物立面図



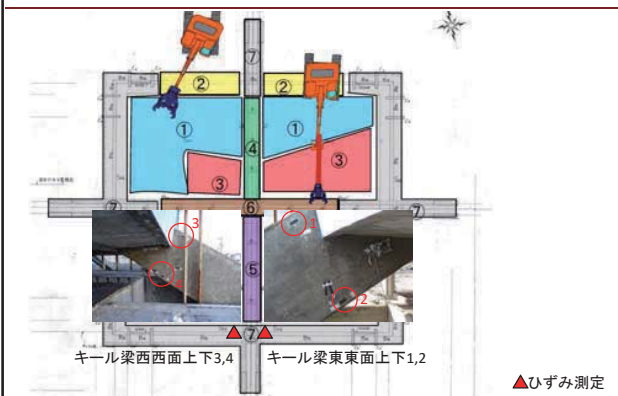
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 7

解体手順計画案



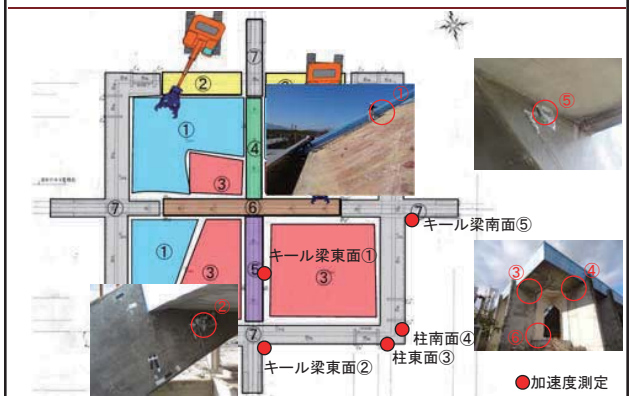
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 8

測定計画(ひずみ)



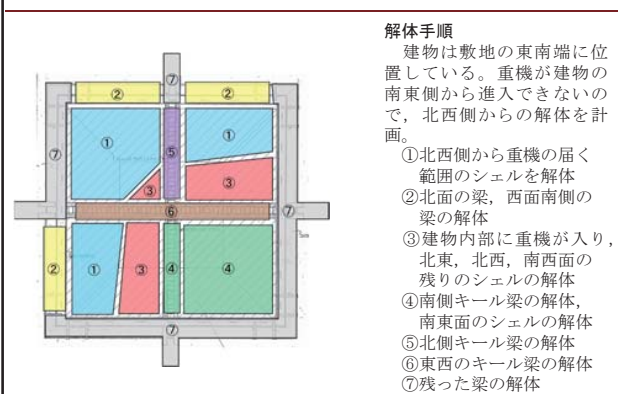
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 9

測定計画(振動)



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 10

解体手順



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 11

解体工事状況(1)



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 12

解体工事状況(2)



9時58分



13時39分



14時06分



14時20分

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 13

解体工事状況(3)



14時38分



14時44分

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 14

解体工事(地上から撮影)



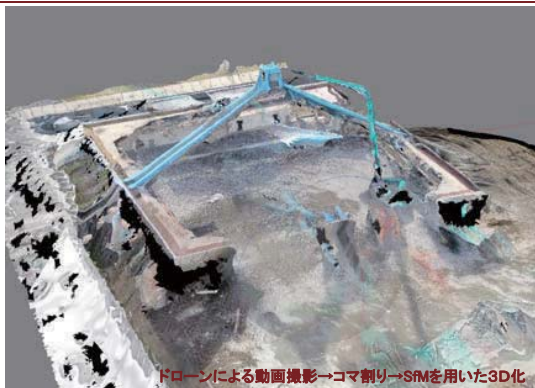
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 15

解体工事(ドローンによる撮影)



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 16

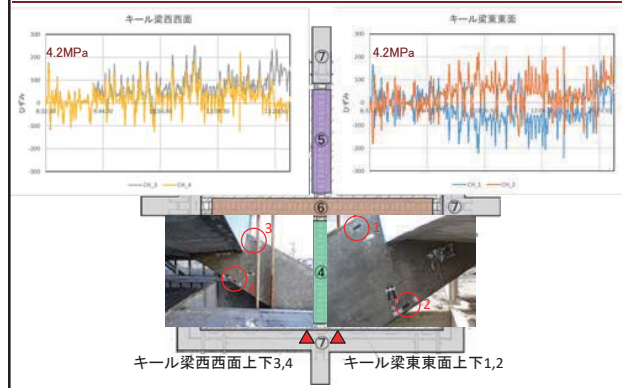
H建物の外観(SfMを用いた3D化)



ドローンによる動画撮影→コマ割り→SfMを用いた3D化

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 17

キール梁のひずみ



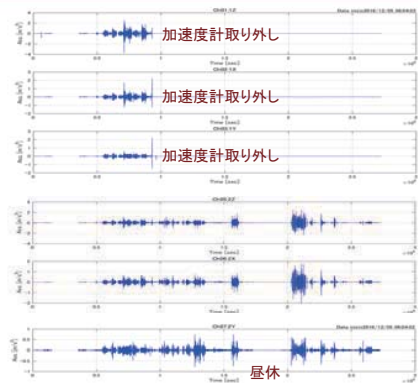
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 18

振動(1)

キール梁①



キール梁②



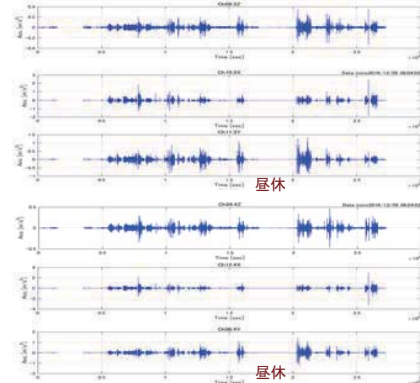
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 19

振動(2)

柱東面③



柱南面④



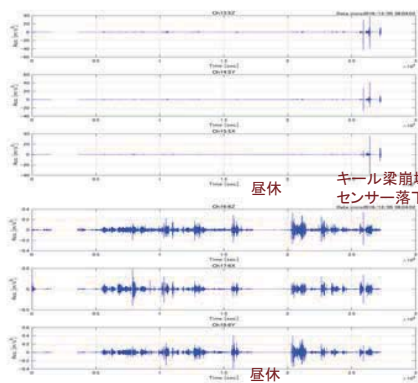
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 20

振動(3)

キール梁⑤



地盤⑥



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 21

まとめ

- 解体工事におけるキール梁のひずみを計測した結果、圧縮ひずみ、引張ひずみ、それぞれ200 μ 程度変動があったことが分かった。圧縮応力、引張応力、それぞれ4.2MPa程度の変動である。
- 頂部に近い位置のキール梁の振動は、他の位置の振動に比べ大きいことが分かった。また、上下方向の振動が大きくなっていることが分かった。
- 頂部に近い位置のキール梁以外、すなわち周辺梁で拘束された下部構造については、上下方向の振動に比べ、水平方向の振動の方が大きいことが分かった。
- ドローンによる動画撮影→コマ割り→SfM (Structure from Motion)を用いた3D化を行った。

研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 22

今後の予定

ドローンによる動画撮影→コマ割り→SfM (Structure from Motion)を用いた3D化

- 3Dデータによる解体手順の検証
- 3Dデータを用いて構造解析モデルを作成し、構造解析を行うことで解体途中における構造物の安全性の検討



研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 23

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 浦野設計
- 北村組 有限会社

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 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 まとめ 24

解体工事業について

業種区分の新設に伴う諸制度

平成29年7月26日

協同組合 徳島県解体工事業協会
庄野 義明

建設業の許可29番目の解体工事業

建設業法

改正建設業法について

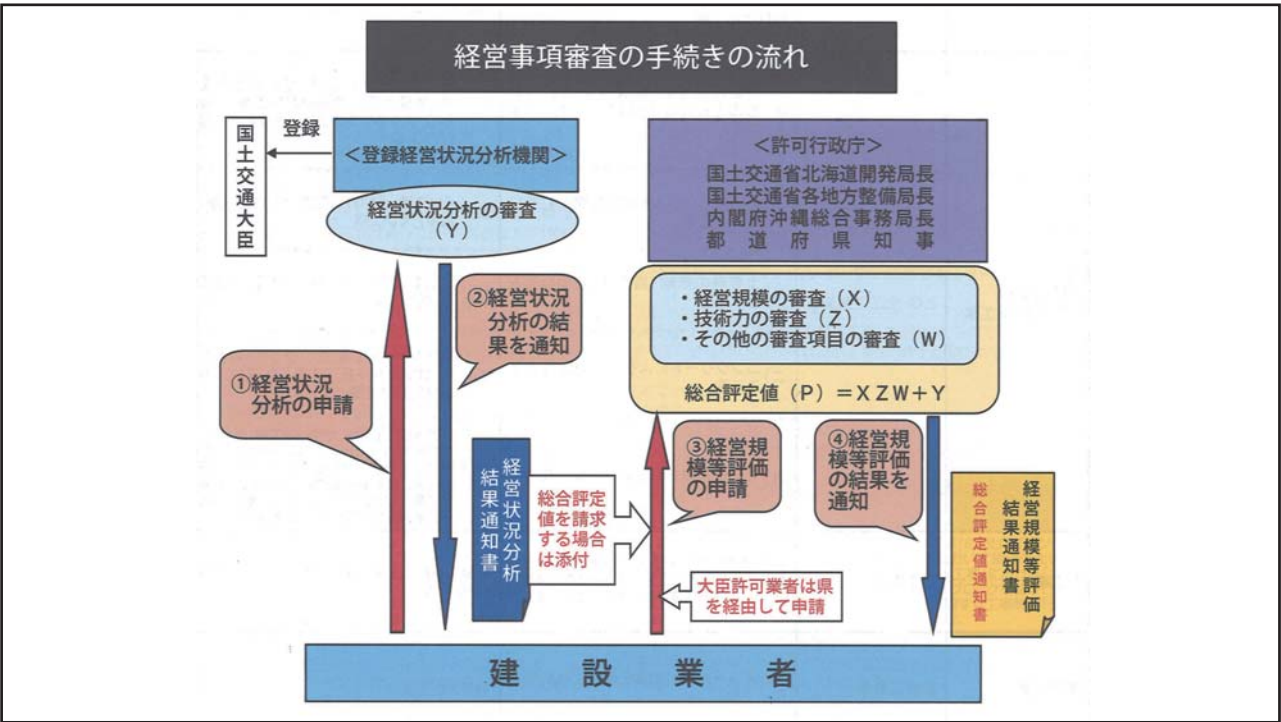
労働安全衛生法について

技能講習等補助金制度について

入札・契約制度・落札方式の評価基準

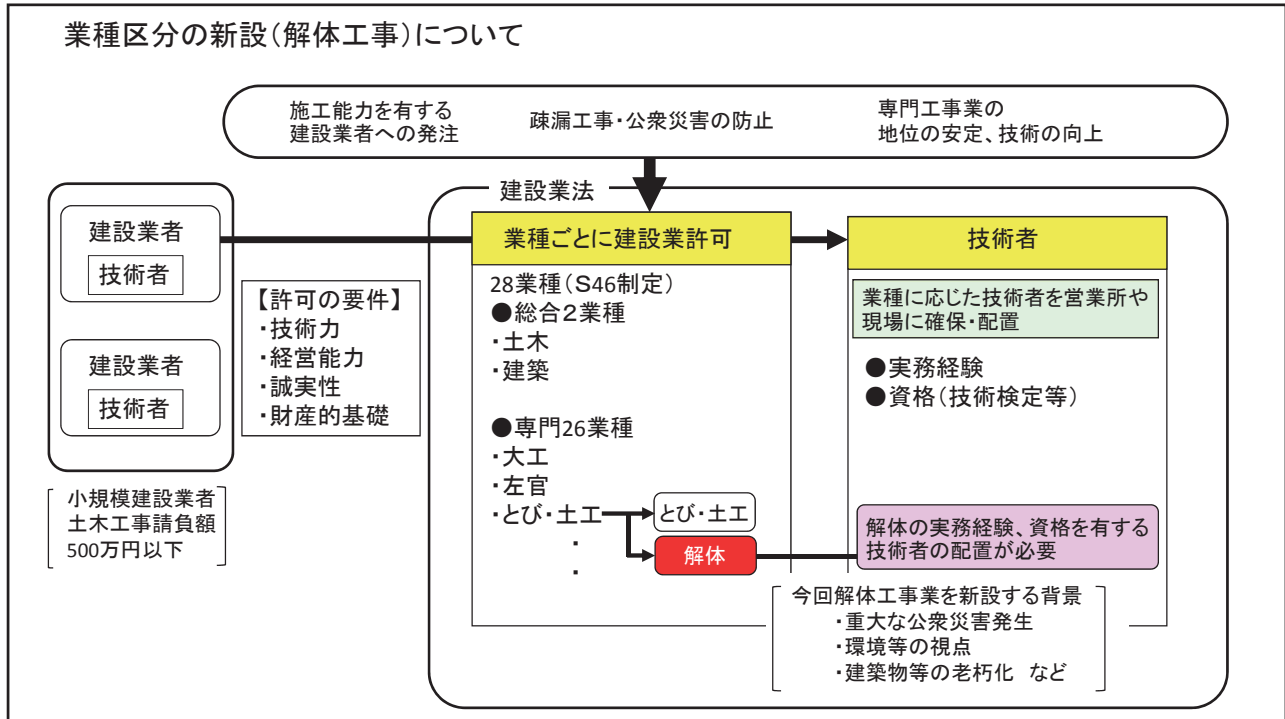
建設業法

法令の名称	内容
建設業法	下請負人の保護に関する規定、技術者の配置に関する規定等本法の全ての規定が対象とされているが、特に次の項目に注意すること。 (1) 建設業の許可(第3条) (2) 一括下請負の禁止(第22条) (3) 下請代金の支払(第24条の3、第24条の5) (4) 検査及び確認(第24条の4) (5) 主任技術者の配置等(第26条、第26条の2)
建築基準法	(1) 違反建築の施工停止命令等(第9条第1項、第10項) (2) 危害防止の技術基準等(第90条)
宅地造成等規制法	(1) 設計者の資格等(第9条) (2) 宅地造成工事の防災措置等(第14条第2項、第3項、第4項)
労働基準法	(1) 強制労働等の禁止(第5条) (2) 中間搾取の排除(第6条) (3) 賃金の支払方法(第24条) (4) 労働者の最低年齢(第56条) (5) 年少者、女性の坑内労働の禁止(第63条、第64条の2) (6) 安全衛生措置命令(第96条の2第2項、第96条の3第1項)
職業安定法	(1) 労働者供給事業の禁止(第44条) (2) 暴行等による職業紹介の禁止(第63条第1項、第65条第8項)
労働安全衛生法	危険・健康障害の防止(第98条第1項)
労働者派遣法	建設労働者の派遣の禁止(第4条第1項)



改正建設業法について

業種区分の新設(解体工事)について



労働安全衛生法について

①解体工事技能講習・作業指揮者・特別教育

(配置予定技術者の施工能力)	ユニット数	CPDS	CPD
1. コンクリート造の工作物の解体等作業主任者技能講習	1008名	7ユニット	13ユニット
2. 建築物等の鉄骨の組立て等作業主任者技能講習	420名	7ユニット	12ユニット
3. 石綿作業主任者技能講習	361名	7ユニット	12ユニット
4. 木造建築物解体工事の作業指揮者	462名	7ユニット	7ユニット
5. コンクリート橋架設等作業主任者技能講習	今年度より実施予定		
6. 鋼橋架設等作業主任者技能講習	今年度より実施予定		

上記講習(1)(2)(5)(6)等については技能実習コース(経費助成)
 [雇用保険被保険者数20人以下の中小建設事業主]支給対象経費の3/4
 [雇用保険被保険者数21人以下の中小建設事業主]支給対象経費の3/5

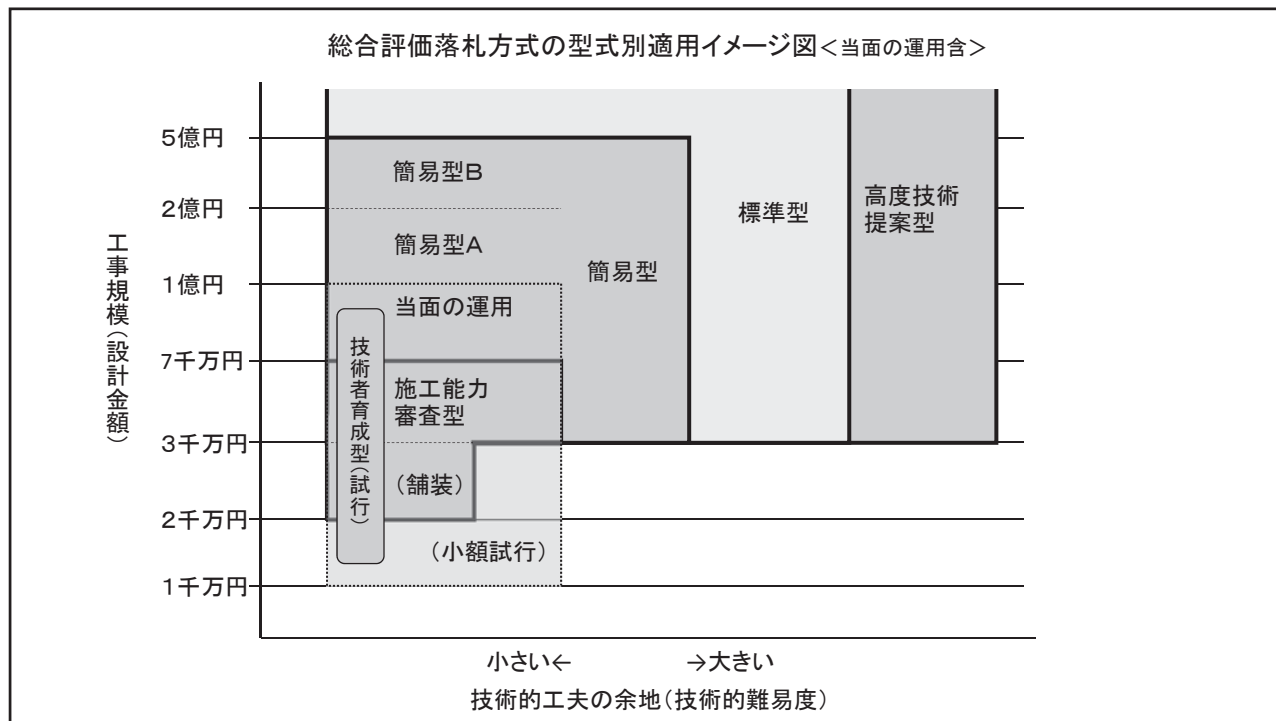
上記講習(1)(2)(5)(6)等については技能実習コース(賃金助成)
 [雇用保険被保険者数20人以下の中小建設事業主]支給1人7,600円
 [雇用保険被保険者数21人以下の中小建設事業主]支給1人6,650円

②解体工事の機械保有状況(評価項目)

コンクリート圧碎機
 鉄骨鉄筋カッター
 つかみ器

①と②については評価基準(配点)徳島県に対して要望

入札・契約制度・落札方式の評価基準



総合評価落札方式の評価基準{施工能力審査型}その1

企業の施工能力

工事成績・ISO・エコアクション21等・手持工事数

企業の施工能力・表彰

総合評価落札方式の評価基準{施工能力審査型}その2

配置予定技術者の施工能力

技術者の資格・CPD・工事成績

総合評価落札方式の評価基準{施工能力審査型}その3

地域貢献度

ボランティア活動の実績・地域防災能力・機械保有・

地元雇用・県内企業活用・地域精通度・減点措置

総合評価落札方式の評価基準{簡易型A}その1

簡易な施工計画・企業の施工能力

同種工事の施工実績・工事成績・建設業BCP・登録基幹技能士・ISO・エコアクション21等・手持工事・表彰

総合評価落札方式の評価基準{簡易型A}その2

配置予定技術者の施工能力

配置予定技術者の資格・CPD・同種工事の施工経験・工事成績

総合評価落札方式の評価基準{簡易型A}その3

地域貢献度

ボランティア活動の実績等・地域防災力・(協定等)

(機械保有状況)地元雇用・県内企業活用・地域精通度・減点措置

総合評価落札方式の評価基準{簡易型B・標準型}その1

技術提案

総合的なコストの縮減・工事目的物の性能・機能向上・社会的

要請への対応

簡易な施工計画

工程管理の適切性・品質・施工の確認方法管理方法の適切性・

施工上配慮すべき事項の適切性・施工上の課題への対応の

的確性・コスト削減に対する考え方

総合評価落札方式の評価基準{簡易型B・標準型}その2

企業の施工能力

同種工事の施工実績・工事成績・建設業BCP・登録基幹技能者・ISO・エコアクション21等・手持ち工事数・表彰

配置予定技術者の施工能力

CPD・同種工事の施工経験・工事成績

総合評価落札方式の評価基準{簡易型B(2億円以上)・標準型}その3

地域貢献度

ボランティア活動の実績等・地域防災力(協定等・機械保有状況)・地元雇用・県内企業活用(県内下請け・県内産資材)

地域精通度

減点措置

平成29年5月1日現在
解体工事等入札参加資格
150000千円まで解体工事業（とび・土工・コンクリート工事）
150000千円～200000千円まで 建築Aランク
200000千円以上 建築特Aランク（過去事例として建築特Aと解体工事業AランクとのJVで発注）

平成31年6月以降について200000千円以上に付いても解体工事業に参加資格

解体工事業許可業者（許可申請済）Aランク～Bランク業者平成29年4月現在12社
Aランク～Bランク業者64業者（とび・土工・コンクリート工事）

まとめ・参考文献

解体工事業協会の取り組み

地域貢献度	地域防災力・災害時支援協定等	5点
地域貢献度	地域防災力・広域的災害時相互支援協定	3点
地域貢献度	地域防災力・家畜伝染病支援協定実施(研修・訓練参加)	5点
地域貢献度	地域防災力・(支援活動に関する研修・訓練参加)	2点
配置予定技術者の施工能力	CPD・CPDS有効取得 50ユニット以上	5点
配置予定技術者の施工能力	同上 30ユニット以上	3点

企業の施工能力	建設業BCP認定企業	5点
企業の施工能力	ISO,エコアクション21	5点

—— 団体での講習会実施など協力体制の実施 ——

関連資料

建設業法のポイント 適正な施行体制と元下関係
(国土交通省 四国地方整備局 平成28年6月版)

改正建設業法について (国土交通省 平成28年6月)

平成28年度入札・契約制度の改正について (徳島県 平成28年度)

総合評価落札方式の実施方針 (徳島県 平成28年5月1日以降)

総合評価落札方式の評価基準 (徳島県 平成28年5月1日以降)

※上記のコンテンツを引用して編集・加工等しております。

解体副産物の再資源化技術の現状と問題点に関する調査研究 — 再生骨材について —

防衛大学校
システム工学群
建設環境工学科
藤掛一典

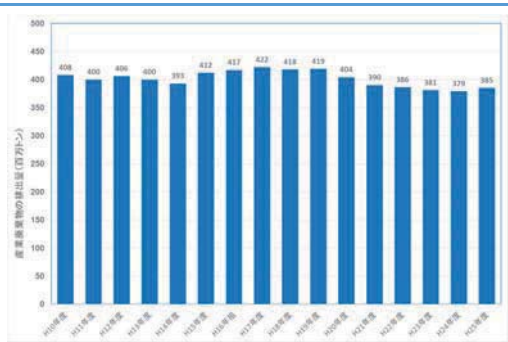
1

本日の発表のアウトライン

- 建設廃棄物の現状と建設リサイクル法
- コンクリート塊の再生骨材としてのリサイクル
 - 最近の再生骨材の生産量と用途
 - 天然骨材と再生骨材の違い
 - 再生骨材の品質向上に関する研究の現状
 - 再生骨材の製造プロセス
- 再生骨材の経済性
- コンクリート用再生骨材の用途と品質の現状
- 海外における再生骨材の状況
 - バンクーバー
 - シンガポール
- まとめ

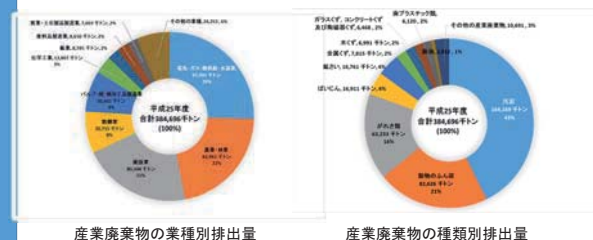
2

産業廃棄物量の推移



3

建設廃棄物の状況



4

建設廃棄物に関する諸問題

- 建設廃棄物量は大きく環境への負荷が大きい
- 最終処分場の不足と残余容量のひっ迫
- 不法投棄の増加
- 天然資源の枯渇
- 地球温暖化の問題

5

産業廃棄物に関する法律

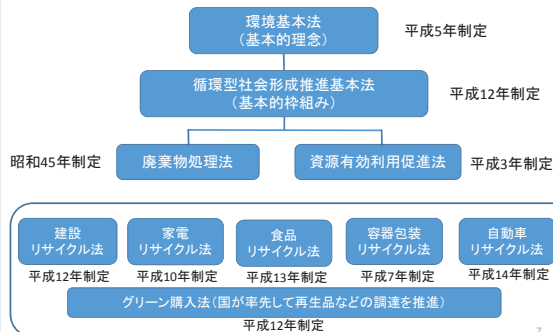
- 環境基本法 1993年（平成5年）制定
 - 我が国の環境政策の根幹を定める基本法
- 循環型社会形成推進基本法 2000年（平成12年）制定
 - 『大量生産、大量消費、大量廃棄』型の社会からの脱却を図り、循環型の社会の実現するための考え方を定めた法律
 - 処理の優先順位を規定



- 事業者や国民の『排出者責任』を明確化し、特に生産者には自ら生産する製品等について、使用した後の廃棄物となるまで一定の責任を負うという『拡大生産者責任』の原則を規定

6

循環型社会を形成するための階層的な法体系



建設リサイクル法

リサイクルの対象となる特定建設資材	リサイクル品
コンクリート塊	再生骨材
アスファルトコンクリート	再生アスファルトコンクリート
木材	木質ボード、紙

建設リサイクルの概念



最近の再生骨材の生産量と用途

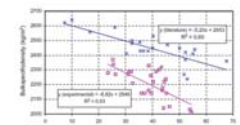
年度	道路用・その他 (千トン)	コンクリート用 (千トン)	合計 (千トン)
H19年度	21,338	121	21,459
H20年度	19,511	472	19,983
H21年度	16,533	77	16,610
H22年度	18,129	58	18,187
H23年度	18,442	90	18,532
H24年度	19,613	49	19,662
H25年度	19,842	101	19,944
H26年度	20,321	93	20,414
H27年度	19,378	140	19,519

経済産業省 砕石等統計年報から

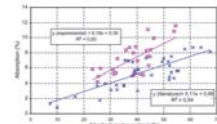
再生骨材の物理的特性 (天然骨材と再生骨材の違い)



製造された再生骨材



付着モルタル含有量と骨材密度の関係



付着モルタル含有量と吸水率の関係

再生骨材の品質向上に向けた既往の研究

付着モルタルの除去

- 摩砕処理
- 加熱処理と摩砕
- 水中における超音波洗浄
- 酸性溶液(希塩酸, 希硫酸)を浸透



付着モルタルの強化

- ポリマー含浸(PVAポリマー, シラン系ポリマー)
- ポゾランスラリー含浸(シリカフェーム, フライアッシュ)
- バクテリアによる自己治癒
- ケイ酸ナトリウム溶液含浸
- 中性化

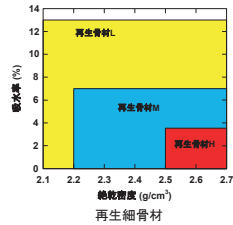
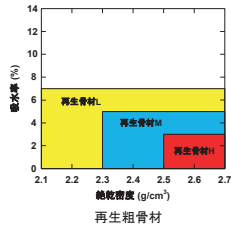
再生骨材に関するJIS規格の整備とその用途

- JIS A 5021 コンクリート用再生骨材H(平成17年3月制定)
- JIS A 5022 再生骨材Mを用いたコンクリート(平成19年3月制定)
- JIS A 5023 再生骨材Lを用いたコンクリート(平成18年3月制定)

クラス	用途
再生骨材H	高強度コンクリートを除くコンクリート(構造用コンクリート)に使用する
再生骨材M	杭, 耐圧版, 基礎梁, 鋼管充填コンクリートなど乾燥収縮や凍結融解の影響を受けにくい部分に使用する
再生骨材L	均しコンクリート, 裏込めコンクリート, 間詰めコンクリート, 捨てコンクリート等の高い強度・高い耐久性が要求されない部分に使用する。

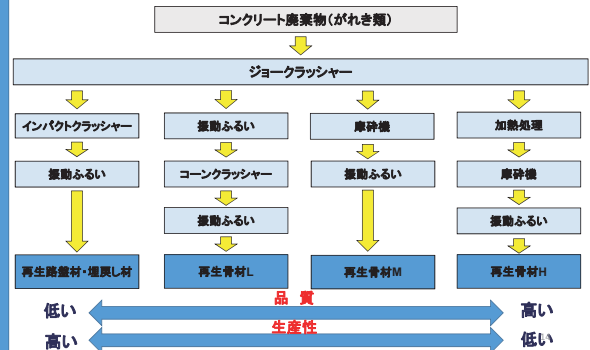
再生骨材のJIS規格

	再生骨材H		再生骨材M		再生骨材L	
	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材
吸水率	3.0%以下	3.5%以下	5.0%以下	7.0%以下	7.0%以下	13.0%以下
絶対密度	2.5g/cm ³ 以上	2.5g/cm ³ 以上	2.3g/cm ³ 以上	2.2g/cm ³ 以上	—	—



13

再生骨材の製造プロセス



再生骨材Hの製造施設の一例 (加熱すりもみ装置)

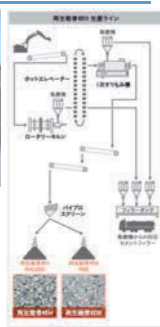


成友興業(株)城南島第一事業所
生産能力:45トン/時間

- 再生骨材Hを製造できる施設が少ない
- 製造量も限られることから大規模工事への供給は難しい



製造された再生粗骨材Hの状況



再生粗骨材Hの生産ラインの状況

14

再生骨材の経済的なメリットは？



15

再生コンクリートを使用した住宅建替のケーススタディ 吉兼ら, コンクリート工学, Vol.49, No.11, 2011年

検討対象とする工事: 鉄筋コンクリート造の住宅団地の建替え



建替え前の建物の状況



既存住宅の解体工事				建替え住宅の新築工事			
街区	戸数・棟数	延べ床面積	コンクリート量	街区	戸数・棟数	延べ床面積	必要コンクリート量
I	160-4	6,756 m ²	3,221 m ³	I	120-3	8,636 m ²	6,051 m ³
H	90-3	4,622 m ²	2,254 m ³	H	96-2	7,401 m ²	5,180 m ³
F	230-6	9,363 m ²	5,023 m ³	F	180-5	13,088 m ²	9,180 m ³
C-1	120-3	5,700 m ²	2,306 m ³	C-1	72-2	4,774 m ²	3,334 m ³
計	600-16	26,341 m ²	12,704 m ³	計	964-12	33,899 m ²	23,725 m ³

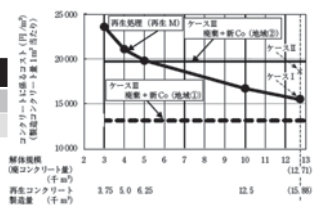
再生コンクリートを使用した住宅建替のケーススタディ 吉兼ら, コンクリート工学, Vol.49, No.11, 2011年

検討ケース一覧

検討ケース	解体RC造	再生骨材の製造	新設RC造のためのコンクリートの製造
ケースⅠ	再生利用	現場内の骨材プラント	現場内のコンクリートプラント
ケースⅡ	再生利用	現場外の中間処理プラント	現場外の生コンプラント
ケースⅢ	廃棄処分	—	現場外の生コンプラント

検討に用いる各種コスト

地域	廃棄運賃 (円/t)	中間処理費 (円/t)	生コン費 (円/m ³)
地域①	1,000	1,200	9,000
地域②	1,250	2,900	12,000

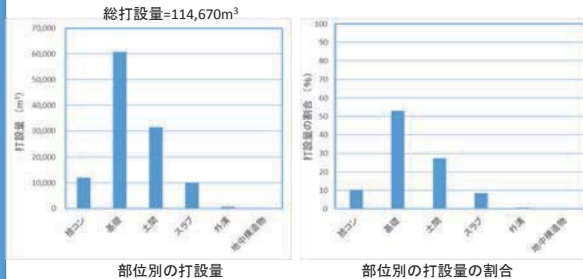


解体規模とコストの関係

16

建築工事における再生骨材コンクリートの使用実績(ACRAC調査)

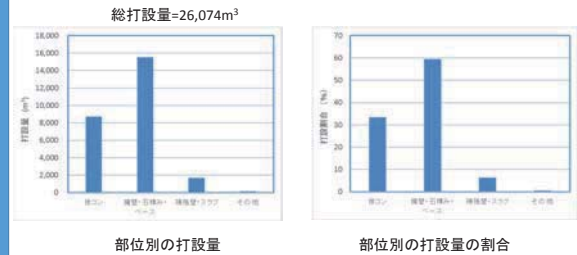
調査期間: 1996年～2014年



19

土木工事における再生骨材コンクリートの使用実績(ACRAC調査)

調査期間: 2010年～2014年



20

建築・土木工事における再生骨材の品質



21

海外における再生骨材の現状

- カナダのバンクーバーにおける再生骨材に関する調査
 - University of British ColumbiaのMindess教授を訪問
 - Lafarge Mitchell Island Plant訪問
- シンガポールにおける再生骨材に関する調査
 - SamGreen社を訪問

22

British Columbia大学のMindess教授を訪問



23

カナダで再生骨材は必要か？



24

Lafarge Mitchell Island Plant訪問



25

再生骨材の生産状況



26

シンガポールのSamGreen社を訪問



再生骨材に関する自社技術の展示

27

シンガポールにおける再生骨材の適用例



チャンギ空港



空港舗装の路盤に適用

28

シンガポールにおける高品質の再生骨材製造を難しくさせている要因

シンガポールの典型的な解体現場の状況



コンクリート塊のみならずレンガやブロックが混在している

29

まとめ

品質	クラス	適用	現在の利用状況	将来の利用状況
低い	再生路盤材	道路路盤		
	再生骨材L	均しコンクリート		
	再生骨材M	基礎部分		
高い	再生骨材H	構造用コンクリート		

- 環境に関する積極的なインセンティブの導入
- 生産コストを下げる新たな生産方法の研究開発

30

高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体方法に関する検討

平成29年7月26日

日本大学生産工学部
湯浅 昇

目的

問題・課題

1990年代から設計基準強度が 60N/mm^2 を超える高強度コンクリートを用いた建築物が建設されているが、今では設計基準強度が 200N/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。しかし、現在の油圧シャベル・圧砕アタッチメントによる圧砕工法では、高強度コンクリートへの適用は困難であるとされている。



経済活動に見合った
高強度コンクリート・超高強度コンクリートの
適正な解体工法の開発・選択・整備・システム化

今回の実験

=カッターによる電力負荷の検討

これまでの経緯

2014年 7月報告

結論＝ 177N/mm²を
超えたRC部材も壊せた

しかし、
解体業者の方からは
30×30cmと断面が小さいから壊せただけ。
断面が大きいと、60N/mm²
級でも無理だといわれた。

W/C (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		引張強度 (N/mm ²)	
	材齢28日	材齢161日 (解体時)	材齢28日	材齢161日 (解体時)
60	31.5	34.4	2.67	2.92
20	126.5	128.9	4.77	4.84
16	113.8	140.6	3.71	5.00
13	142.2	177.2	3.78	4.78



2015年7月発表

試験体の作製・準備の都合上、**96.6N/mm²レベル**のみで
部材断面を

①**30×30cm**、②**60×60cm**、③**80×80cm**、④**100×100cm**
として圧砕実験を行った。

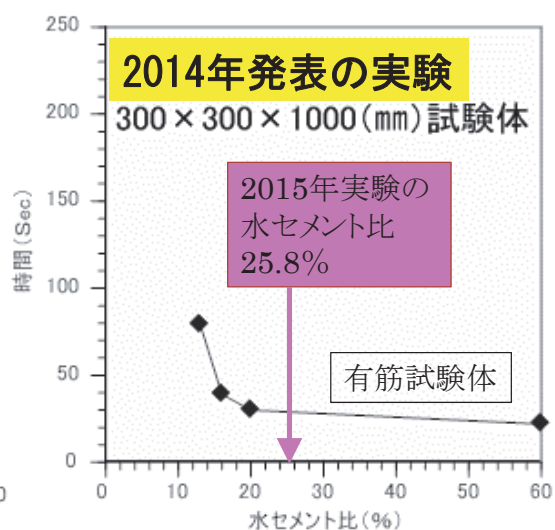
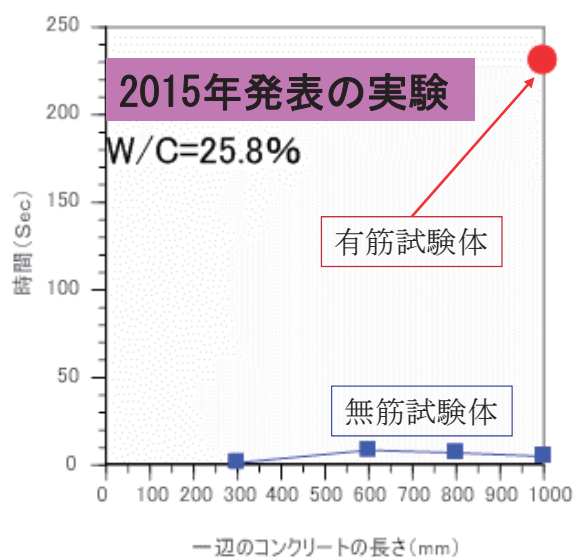
結論＝ **100×100cm**の断
面のRC部材も何とか壊せた

しかし、
経費等
試験体の作製・準備の都合上、
①有筋試験体は**100×100cm**の
みだった。
②強度レベルは、**96.6N/mm²レベ
ル**のみで、2014年に行った**超高強
度レベル**での検証はできなかった。

目的に対して中途半端であった！



所要時間で見える解体の困難さ



2014年発表の水セメント比
シリーズ実験

2015発表の断面厚シリーズ実験



1000 × 1000 × 1000 (mm) 配筋側面

2016年 7 月発表の試験体



1000 × 1000 × 1000 (mm) 配筋
上面



2016年7月発表

現状の圧砕の技術により

1メートル角キュービック有筋試験体で 超高強度レベルのコンクリートが壊れるか

- ①呼び強度**21**N/mm² (W/C=61.6%:普通ポルトランドセメント使用)のコンクリート
- ②呼び強度**56**N/mm² (W/C=32.9%:中庸熱ポルトランドセメント使用)のコンクリート
- ③呼び強度**100**N/mm² (W/C=23%:中庸熱ポルトランドセメント使用)のコンクリート
- ④呼び強度**150**N/mm² (W/C=17%:シリカフェューム入りセメント使用)のコンクリート

普通強度レベルよりは時間がかかるが、呼び強度56N/mm²レベル以上3試験体では解体時間にあまり違いが見られなかった

W/C=61.1%
呼び強度21N/mm²



試験体は
一回の噛
み付きで簡
単に砕ける
結果に。。。

W/C=32.9%
呼び強度56N/mm²



W/C=23.0% (呼び強度**100**N/mm²)



W/C=17.0% (呼び強度**150**N/mm²)



オペのAさんの感想：

- ・ 呼び強度**100**N/mm²、**150**N/mm²ともに石と同じ
- ・ 呼び強度**56**N/mm²級の方が粘りがあって手強かった

作業管理者のBさんの感想：

- ・ 今日は1.2m³クラスの重機を持ってきたが、0.7m³クラス
だったら今回壊せなかったかも

発表を見られた解体業者のCさんの感想：

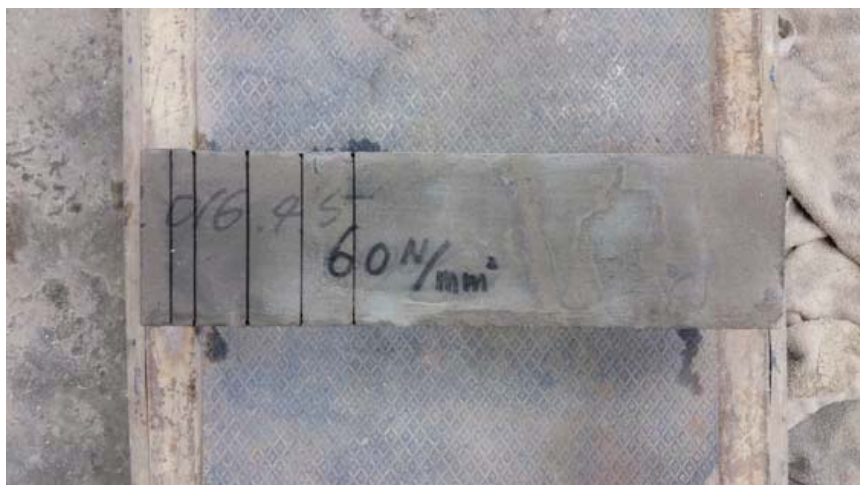
- ・ あんなのやったらアタッチメントが直ぐにやられるはずだ

- ①呼び強度**21**N/mm² (W/C=61.6%：普通ポルトランドセメント使用) のコンクリート
 ②呼び強度**56**N/mm² (W/C=32.9%：中庸熱ポルトランドセメント使用) のコンクリート
 ③呼び強度**100**N/mm² (W/C=23%：中庸熱ポルトランドセメント使用) のコンクリート
 ④呼び強度**150**N/mm² (W/C=17%：シリカフェーム入りセメント使用) のコンクリート

W/C(%)	単位水量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (kg/m ³)	スランプ値 (cm)	空気量 (%)
		セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材			
61.6	185	301	489	326	976	3.01	18	4.5
32.9	175	532	443	296	930	7.18	23	3.0
23.0	170	740	299	299	915	7.77	60	3.0
17.0	160	942	141	329	865	12.25	65	2.0

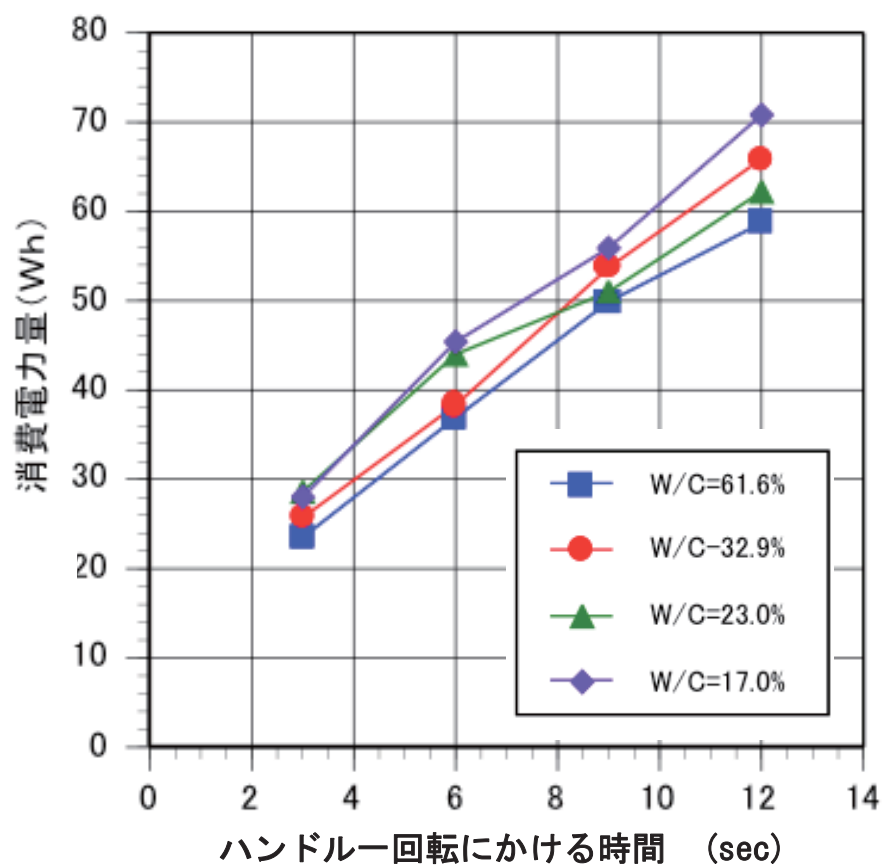
W/C(%)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
	材齢28日	材齢28日
61.1	28.2	1.9
32.9	65	
23	100.4	2.82
17	159.9	3.68

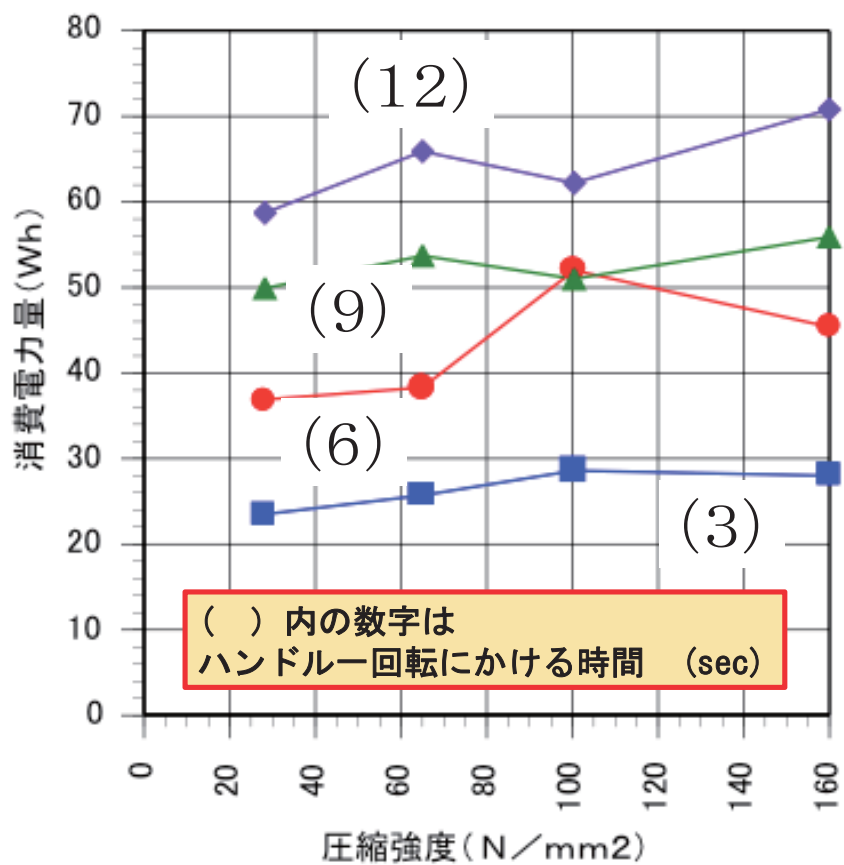
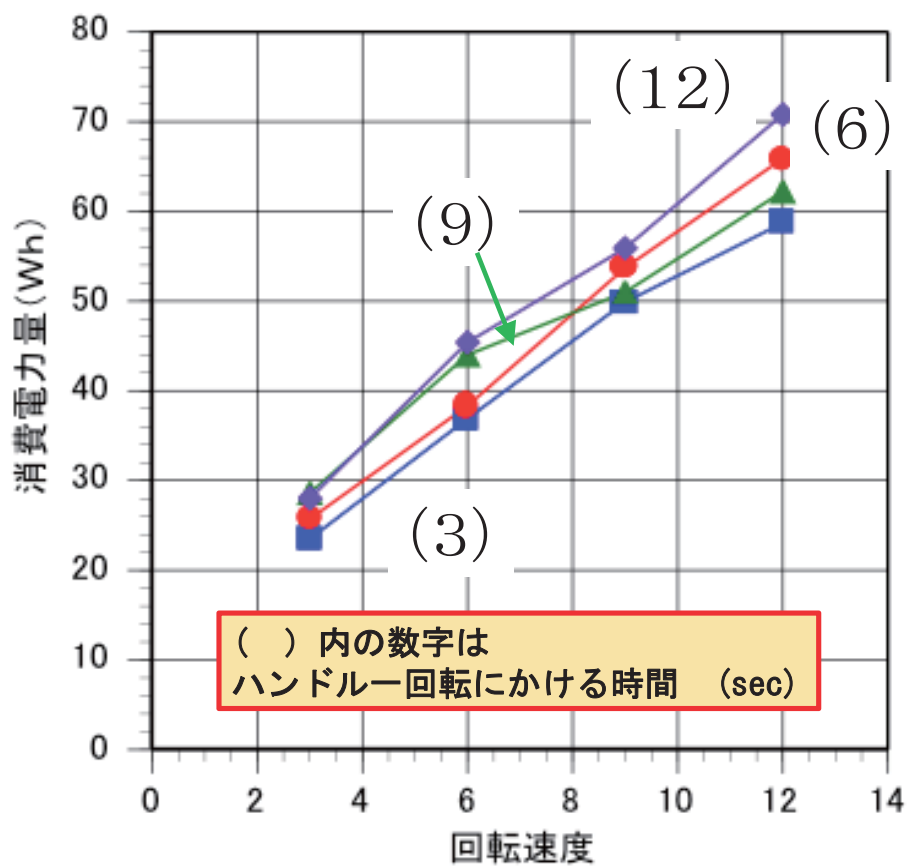
試験体
(100×100×400mm)



コンクリート 切断機

クランプオンパワーロガー (電力計)





建築解体工事の労働・公衆安全性向上のための 画像動作解析手法の応用に関する基礎研究

研究代表者 宇都宮大学 藤本郷史

キーワード：階上解体工事 センシング モニタリング 労働安全・公衆安全 画像相関法

1 はじめに

他の産業分野と比べて、建設分野では労働災害が多いことが知られている¹⁾。特に、死亡災害のような重大事故の比率が高く、昭和40年代から今日に至るまでの相当の長期間にわたって、全産業における死亡災害数の30%超を建設業が占めてきた¹⁾。建設労働安全衛生年鑑²⁾では、このような重大災害の事例がまとめられている。解体工事における重大災害は毎年のように掲載されており、顕著な割合を占めている³⁾。解体工事の建設工事全体に占める市場規模が1%程度である⁴⁾ことを踏まえると、解体工事の労働災害防止策の立案は特に緊急性が高いといえよう。また、建設業の労働災害者数は、長期にわたって減少傾向にある¹⁾が、解体工事に限ってみれば「死亡災害の減少傾向とみて取ることはできない」⁵⁾ことが指摘されており、このことから解体工事の労働安全性の向上に向けた取り組みが必要といえる。

さて、建設労働安全年鑑の分類によると、建設分野の労働災害では、「崩落・倒壊」に分類される事故が25%以上を占めており、作業員等の「墜落・落下」に次いで件数が多い²⁾。このような崩落・倒壊に分類される事故の一つに、階上解体工事（重機を階上に揚重して建築物を解体する工事）において重機の自重や作業荷重等による床スラブ崩落が挙げられる。関連指針では、この事故を防止し、被災者を最小限に抑えるために、「床の補強は構造計算で確認する」と記述⁶⁾されている。著者らの解体工事業者に対するヒアリング調査においても、スラブの崩落事故防止のために相当の配慮を重ねて工事を進めているとのことであったが、一方で、「構造解析を行っている例は限られる」、「机上の解析では定着不足など実際に懸念される施工不良による事故を予見できない」といった意見が多かった。すなわち、解析によって安全を確保しているというよりも、作業員の経験的な判断によって安全性を確保している現状にあると思われる。

他方で、コンクリートを観察する手法として、画像解析に着目した研究開発が近年盛んである。例え

ば、デジタル画像相関法は、材料試験⁷⁾、構造実験⁸⁾などの実験観察によく用いられるほか、プレストレスの施工管理⁹⁾にも実用されている。

以上のような背景の基に、本助成研究では、建築物の階上解体工事における床スラブ崩落事故を防止するモニタリング手法の開発を念頭に、デジタル画像相関法によるコンクリートひび割れ検知手法に着目して、解体現場の特殊な撮影条件がデジタル画像相関法の精度に与える影響を実験的に明らかにすることを目的とした。

2 画像相関法を用いた部材崩落モニタリングシステムの提案

2.1 本研究開発が解決しようとする課題

本研究が想定している階上解体工事の施工例を図1に示す。揚重された重機は、コンクリートがらによって荷重分散が図られた床スラブ上で作業しており、その下階ではサポートによって梁や床スラブが補強されている。ヒアリング調査によると、解体工事の実務においては、部材の崩落を未然に防止するために、作業員が立入禁止区域である作業階の下階に（重機作業を一時停止して）定期的に立ち入り、懐中電灯等を用いて目視でコンクリートのひび割れの有無等を確認している、とのことであった。従来法と本研究で最終目標とするモニタリング手



図1 本研究が想定とする階上解体工事（観察例）
左：重機作業階の直下階、右：重機作業階

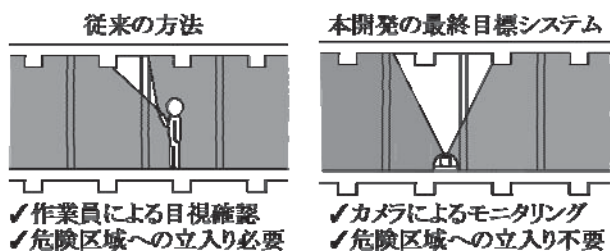


図2 従来法と本開発の最終目標システムの比較

法の比較を図2に示す。提案法では作業員が危険区域に立ち入る必要が無く、作業者の安全性向上が期待できる。

3 実験の概要

3.1 実験および分析方法

実験の手順を図3に、実験の方法を図4に示す。部材崩落の予兆であるコンクリート表面のひび割れ進展を、コンクリート円柱供試体の割裂試験(JIS A1113)によって模擬した。試験体観察面は、研磨後にパターンを施工した。撮影距離 d_s [m] と観察面の照度 E [lx] を試験前に調整した。周囲環境の照度を一定とするために実験は夜間に実施し、LED照明によって観察面の照度を調整した。載荷時には、時刻同期してビデオ撮影(144万画素、倍率は固定)および荷重・ひずみ計測を行った。撮影後に画像相関法を用いて主ひずみを算定した。以降の分析では、分析対象線 L_1 (図4参照)の主ひずみにより考察した。

3.2 実験の条件

実験の因子と水準を表1に示す。解体工事では、観察対象の作業階の梁・床から距離のある作業直下階の床にカメラを設置するのが作業上望ましい。そこで、撮影距離の影響を検討した。また、作業直下階は通常照明がなく暗い環境であることが多いので、照度の影響を検討した。デジタル画像相関法では、計測対象表面のパターンをテンプレートマッチングして変位を算定する。したがってパターンを人工的に生成・塗布すると計測精度が向上することが知られている。本報では撮影距離を因子としているので、視野角の関係でパターンの塗布方法が影響することが予想された。そこで、いくつかのパターン生成方法を比較した。

表2に画像相関法の設定パラメータについての因子と水準を示す。予備実験を行って最適な設定を探索した。表3に試験体に用いたコンクリートの計画調合を示す。比較的強度が高いので、表面の凹凸がない(テンプレートマッチングのための特徴点が少ない)調合である。

4 実験の結果と考察

4.1 デジタル画像相関法の解析パラメータの探索

撮影距離 d_s が大きくなると、ファセットサイズが同一の場合、マッチング精度に影響した。また、コンクリートのひび割れは局所的であるので、ひずみの平均化の影響を受けた。探索の結果、ファセットサイズ 32[pixel]、ポイント間距離 16[pixel]として以降の検討を行った。

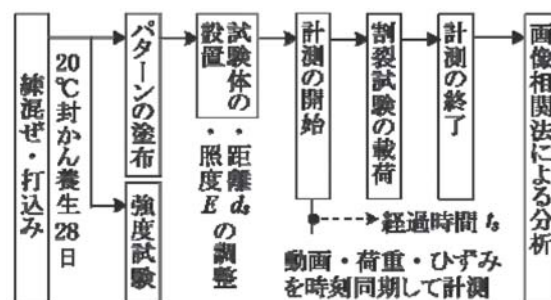


図3 実験の手順

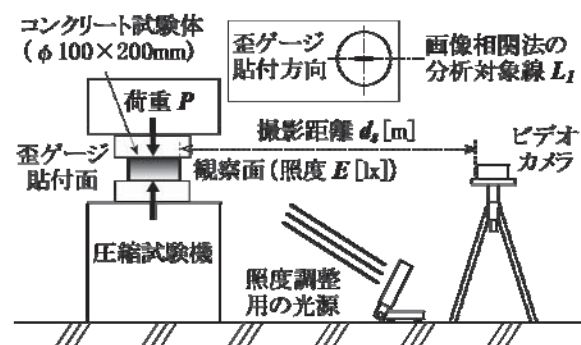


図4 実験の方法

表1 実験の因子と水準

因子	水準
撮影距離 d_s [m]	0.5, 1.0, 2.0, 3.0
観察面の照度 E [lx]	300, 700, 1000
表面パターンの生成方法*	塗布無し, スプレー 金属たわし, たわし

*いずれも白色に塗った後、黒色塗料をパターン塗布して白黒パターンを形成した。

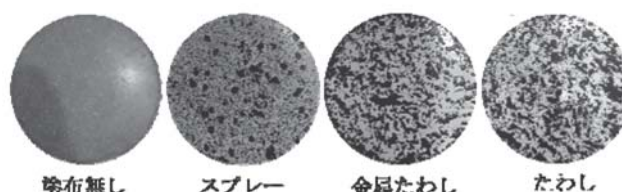


図5 表面パターンの施工例

表 2 画像相関法の解析条件に関する因子と水準

因子	水準
ファセットサイズ[pixel]*	16, 32, 64, 128, 256
ポイント間距離[pixel]	8, 16, 64, 128

*ここで、ファセットサイズとは、マッチングのための画素微小領域である。論文等によって呼称は異なるが、ここでは使用したソフトウェア上の呼称を用いた。

表 3 コンクリートの計画調合および使用材料

水セメント比	細骨材率	水	セメント*	細骨材*	粗骨材*	混和剤*
%	%	kg/m ³				
45	45	170	378	767	962	3.78

* セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産川砂、粗骨材は青梅産硬質砂岩碎石（表乾密度 2.65g/cm³, 吸水率 0.72%）、化学混和剤は、JIS A6204 に適合するリグニンスルホン酸系 AE 減水剤を用いた。スランプは 22cm, 28 日圧縮強度（20℃封かん養生）は、46.6N/mm²であった。

4.2 ひび割れの早期検知の可否

図 6 に 3 種類の方法で算定したひずみの経時変化を比較して示す。割裂荷重からのひずみ値は、JIS A1113 による引張応力および JASS 5 のヤング係数推定式から算出した。JIS A1113 では弾性を仮定しているの、最大荷重に近くなると、ひずみゲージによるひずみ値とは一致しなかったが、それ以外の時点では整合した。一方で、画像相関法によるひずみ値は載荷初期から最大荷重に至るまで、ひずみゲージによるひずみ値と全く一致していなかった。このことから、距離がある程度 ($d_s \geq 1$ [m]) 離れると、画像相関法によって、最大荷重以前にひび割れを検知するのは難しいといえる。一方で、目視によってひび割れが観察できる時点 ($t_s=246$ [sec]) よりも前に、ひずみ値が急激に上昇した。このことから、デジタル画像相関法は、本実験条件の範囲では、解体工事で通常行われる目視観察よりも高い精度でひび割れを検知できる。

4.3 ひび割れ発生後の挙動と安全性への影響

図 7 にひび割れ発生前後の画像相関法によるひずみ分布の解析結果例を示す。ひび割れが完全に開き。変形量が大きくなると、テンプレートマッチングができなくなった。後述の 5 章で提案するように、「ひずみがある閾値を超えた場合に危険と判定」する方法を採ると、ひび割れの極端な開口が生じた場合に危険性を検知できないことになる。原理的には、時系列でひずみが大きくなるので、提案手法で判定できるはずだが、慎重な検討を要する。

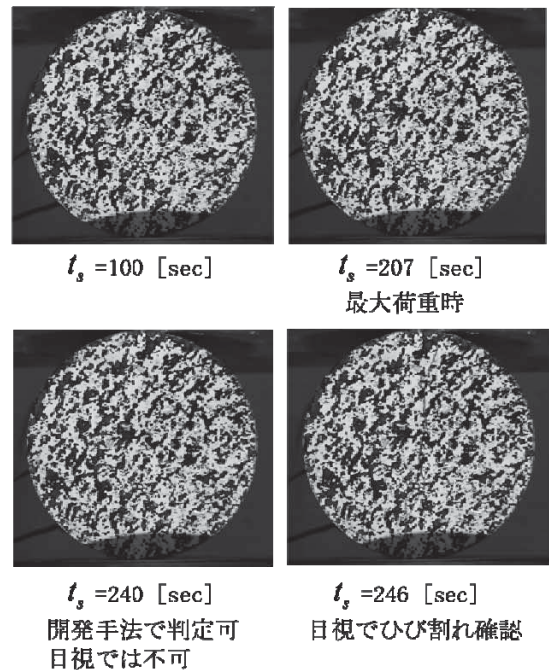
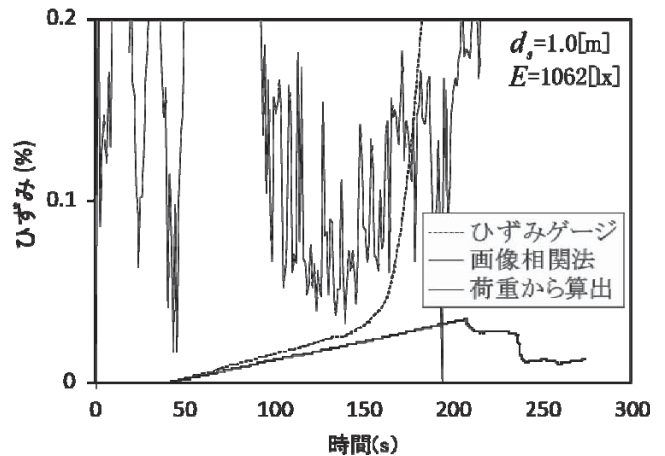


図 6 各手法で算定したひずみの比較および各時点での観察面の様子

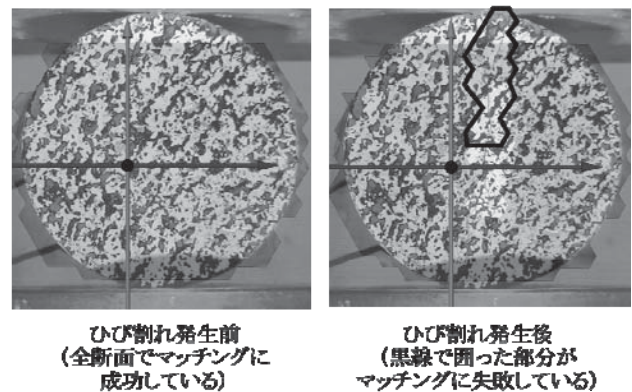


図 7 テンプレートマッチングの精度 (ひび割れの前後の比較)

4.3 各因子がひずみ検知精度に及ぼす影響

図 8 に画像相関法によって算定したひずみ値の経時変化を表面パターンの有無を比較して示す。コンクリートにパターンを塗布しなくとも、表面のひび割れ発生を検知することができた。一方で、パターンを塗布した場合には、最大荷重を超えて、目視でひび割れ発生を確認するよりも前の時点で、ひずみ値の上昇が確認されたのに対して、「塗布無し」の水準では、ひずみのばらつきが大きく、上昇は確認できなかった。このことから、塗布しない場合は目視と同等程度のひび割れ検知性能なのに対して、パターンを塗布すれば、ひび割れ発生前のひずみ上昇を捉えることができ、パターンの有無によってひずみ検知性能に差があるといえる。

照度の影響を示す例として、図 8 左と図 9 左を比較して示す。いずれの水準でも最大荷重時にはひずみ値の上昇は確認できず、目視によるひび割れ発生確認よりは先にひずみ上昇が観察された。このことから、ビデオカメラの性能に依存して表面パターンの模様が読み取れる範囲で、照度はひずみ検知性能に大きな影響を及ぼさないと判断できる。

撮影距離 d_s の異なる試験の結果を比較して図 9 に示す。撮影距離が大きくなると、ひずみの上昇面積（グラフでは幅）が大きくなった。これは、距離が離れると、1pixel あたりの実寸法が変化するためであるが、ひび割れと判定される画像領域が変化する（どこがひび割れか判断しにくくなる）ことを意味している。しかしながら、本実験の範囲で最も撮影条件の悪い図 9 右においても、目視でひび割れを確認できるよりも前の時点で、中央部のひずみ値が上昇していることが読み取れる。このことから、デジタル画像相関法は、解体工事を想定した本実験の範囲では、目視観察よりもひずみ検知性能が高いといえる。

5 定量的なひび割れ判定のための手法

前節までの分析をもとに、ひび割れ検知の定量的な判定を試みた。図 10 にひずみ下限値による判定を行った場合に、ひび割れと判定された画素領域 (facet) の比率を示す。撮影距離 $d_s=1$ [m] の場合、実際のひび割れ領域は 20%以下であったことを踏まえると、判定値が小さい場合 (例えば 0.3%以下の場合)、ひび割れでない領域をひび割れと判定している。他方で、判定値=0.4%とすると最大荷重時にひび割れと判定された領域が存在しており、ひび割れを検知できている。また、撮影距離 $d_s=3$ [m] の場合に、判定値=0.4%とすると、最大荷重時にはひび割れと判定された画素領域は 0%であるが、目視確

認より以前のある時点で、ひび割れと判定される領域が存在する。以上の分析から、判定値=0.4%程度と設定すれば、解体工事で想定される撮影条件 (撮影距離 $d_s=3$ [m], 照度 $E=300$ [lx]) の下で、目視観察より高い精度で、コンクリート表面のひび割れを検知できるといえる。

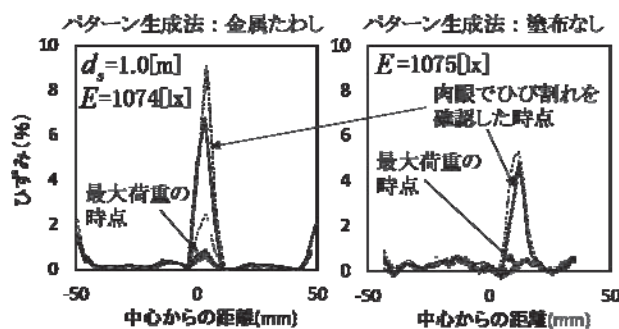


図 8 画像相関法によるひずみ値の経時変化 (表面パターン生成方法の比較, 図 4 の L_1 線上)

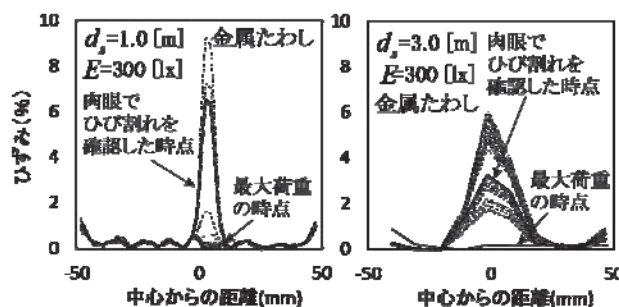


図 9 画像相関法によるひずみ値の経時変化

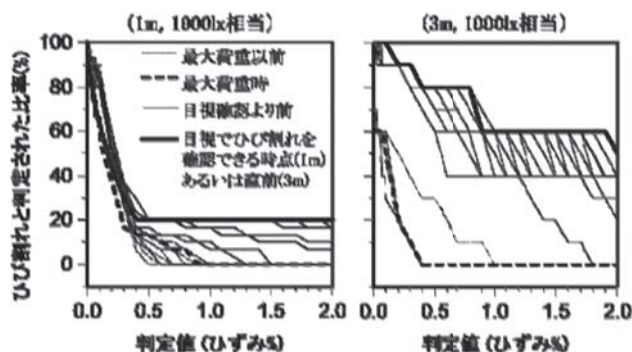


図 10 閾値とひび割れと判定される領域の関係 (適切な閾値の設定可能性についての検討)

まとめ

階上解体工事の部材崩落防止モニタリングを想定して、デジタル画像相関法によるコンクリートひび割れ検知における各種の撮影条件の影響を検討した。その結果、解体工事で現在行われている目視によるひび割れ観察より高い精度で、ひび割れお

びびり割れ発生前のひずみを検知できることを示した。

るP C構造物の現有作用応力の推定方法の開発, プレストレストコンクリート技術協会 第 19 回シンポジウム論文集, 2010

今後の課題

解体工事の撮影環境は相当に劣悪であり, 本研究開発の実用にはさらなる検討が必要である。例えば, 粉塵による視界の悪化, 振動によるひずみの誤認識などが予想される。また, 適切な視野, 解像度, 耐久性を持つカメラの選定も実用にあたっては課題と思われる。また, 安価なパターン塗布方法の開発も必要である。解析速度の関係から, デジタル画像相関法の適用にあたっては, 画像の取得時間間隔を, 本実験よりも低く抑える必要があると思われる。本報を基に, 実際の解体工事における実地試験を試みたいと考えている。

謝辞

本研究は, 全国解体工事業連合会「解体工事に係る研究助成」を受けて実施した。本報の実験実施にあたっては, 小山田康紀君, 直井聡人君, 阿部生郎君 (いずれも研究実施当時, 宇都宮大学・学部学生) の協力を得た。本研究の計画にあたっては解体工事現場での観察および工事管理者, 作業者に対するヒアリング調査を参考にしたが, これらの観察や実測は, 三同建設 (株) の関係各位のご協力によって実現したものである。画像相関法には, GOM 社製 ソフトウェア GOM Correlate を使用した。以上の関係各位に, この場を借りて感謝を申し上げる。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省: 労働災害統計
- 2) 建設業労働災害防止協会: 建設業安全衛生年鑑 平成 26 年度版, p.103-128, 2014.9
- 3) 藤本郷史, 出野政雄, 湯浅昇: 解体時の安全と信頼を確保するための「見える化」, コンクリート工学, Vol. 53, No. 5, pp. 480-484, 2015
- 4) 出野政雄: 解体業の実情, 建築技術, p. 116, 2011. 7
- 5) 山田知広: 事故災害, 建築技術, p. 121, 2011. 7
- 6) 全国解体工事業連合会: 解体工事施工技術講習テキスト, p. 245, 2015
- 7) 出水亨, 松田浩, 中島朋史, 浜岡広: 非接触全視野計測によるコンクリートの材料試験, コンクリート工学年次論文集, pp. 473-478, Vol. 28, No. 1, 2006
- 8) 渡辺 健, 東 広憲, 三木 朋広, 二羽 淳一郎: コンクリート構造実験を対象としたリアルタイム画像解析システムの開発, 土木学会論文集E pp94-106, Vol. 66, No. 1, 2010
- 9) 出水亨, 肥田研一, 伊藤幸広, 松田浩: 応力解放法によ

研究課題：コンクリート塊の低品質再生骨材への再資源化に関する研究

申請者：道正 泰弘*

1. はじめに

国土交通省の調査結果(2014 年 3 月)では、2012 年度のコンクリート塊発生量は約 30,917 千 t であり、道路路盤材等に約 99%が再資源化されている¹⁾。コンクリート塊は、セメント分に Cr(VI)等の重金属が含有されており、その溶出による土壌汚染等への影響²⁾や東日本大震災により大量に発生したがれき処理対策として、道路路盤材等以外に建設工事における先進的な利用を促進する必要がある³⁾。最も有望な用途として、コンクリート用骨材(再生骨材)があげられる。これは、量的な面と有害物質の封じ込めの可能性から期待できる。

再生骨材は、図1に示すように、原コンクリート中の粗骨材(原骨材)とそれに付着したモルタル(付着モルタル)やセメントペースト(付着ペースト)により構成されている。原骨材の課題としては、1986年に旧建設省から「アルカリ骨材反応対策に関する暫定指針」⁴⁾が示され、推奨される以前の建築物では、多くの骨材がアルカリシリカ反応(ASR)の評価をされずに使われており、ASRを生じる骨材が使用されている可能性がある。再生骨材は、付着モルタルや付着ペーストの増加に伴い低密度になる等、骨材としての品質が低下する⁵⁾。また、これらに含まれる塩分や微量成分が溶出する可能性があることから、再生細骨材、微粉のように付着モルタル分等の含有が多く、粒径が小さい状態の発生物の量が多くなることを避ける必要がある。さらに、原コンクリートには、土、木くず、仕上げ材等の不純物が混入・付着している⁵⁾。このような課題に対し、筆者らが開発した骨材置換法は、汎用的で簡便な方法で製造された概ね JIS A 5023 (再生骨材Lを用いたコンクリート)に相当する再生骨材を、要求性能に応じて一般骨材に一定の割合で置換することで所要品質を担保したコンクリートを製造す

る方法である。この方法は、日本建築学会において2014年10月に刊行された「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)」(再生骨材コンクリート指針)⁶⁾のうち、「11章 鉄筋コンクリート部材に用いる再生骨材コンクリート L」に具体的な利用方法が示された。特徴としては、再生骨材の製造にかかる環境負荷の低減やコスト削減は可能となるが、適切な設計と厳密な品質管理が必要となる⁶⁾。

本研究では、低品質再生骨材を用いたコンクリートについて安定的に所要品質を確保することで、用途拡大を実現することを目的に、セメント種類、再生粗骨材置換率を変化させた場合の再生骨材コンクリートの性能評価について検討を行った。

2. 実験概要

表1に本検討で使用した再生粗骨材の概要を、表2に使用した骨材の品質を、表3に調合概要を示す。また、試験項目および試験方法を表4に示す。なお、中品質の再生粗骨材Mについ



図1 再生骨材の外観と断面のイメージ⁷⁾

表1 本検討で用いた再生粗骨材の概要

種類	原コンクリート※	製造方法
再生粗骨材L	RLG1 建築物(詳細不明)	破碎・分級等
	RLG2 建築物基礎(詳細不明)	破碎・分級等
再生粗骨材M	RMG 病院(経年65年)	破碎・磨砕 湿式比重選別 ⁸⁾

※産業廃棄物管理票、製造工場へのヒヤリングにより確認

*名城大学理工学部環境創造学科 教授 博士(工学)

ては、再生粗骨材Lと同様に骨材置換法でコンクリートを製造し、置換率の影響を比較した。

(1) 使用材料

セメントは、フライアッシュセメント B 種 (FB, 密度:2.97g/cm³)、高炉セメント B 種 (BB, 密度:3.04g/cm³)、普通エコセメント (E, 密度:3.15g/cm³) および普通ポルトランドセメント (N, 密度:3.16g/cm³) の 4 種類、一般細骨材には川砂 (NS1, NS2)、一般粗骨材には硬質砂岩碎石 2005 (NG1, NG2, NG3) および石灰岩碎石 2005 (NG4)、再生粗骨材には再生粗骨材 L 2005 (RLG1, RLG2) および再生粗骨材 M2005 (RMG) を使用した。化学混和剤には AE 減水剤 (高機能タイプ) を用いた。

RLG1 は、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・分級等により製造されたものである。RLG1 の品質は、絶乾密度 2.30g/cm³、吸水率 6.42%、微粒分量 1.35%、不純物量の合計は 0.31wt% であり、JIS A 5023 附属書 A (コンクリート用再生骨材 L) の規定を満足する。RLG2 は、建築物 (詳細は不明) の基礎の解体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・分級等により製造されたものである。RLG2 の品質は、絶乾密度 2.21g/cm³、吸水率 6.48%、微粒分量 1.56%、不純物量の合計は 1.32wt% であり、JIS A 5023 附属書 A の規定を満足する。一方、RMG は経年 65 年の病院の解体コンクリート塊を原コンクリートとして、再生骨材製造工場にて破碎・磨砕処理後、湿式比重選別機⁵⁾により製造したものである。RMG の品質は、絶乾密度

2.40g/cm³、吸水率 3.63%、微粒分量 1.76%、不純物量の合計は 0.13wt% であり、JIS A 5022 (再生骨材 M を用いたコンクリート) 附属書 A (コンクリート用再生骨材 M) の規定を満足する。なお、いずれもアルカリシリカ反応性の区分は B である。

(2) 調査

セメントを 4 種類、一般粗骨材を 3 種類 (硬質砂岩碎石 3 種類、石灰岩碎石 1 種類)、再生粗骨材を 3 種類とし、水セメント比を 45%、55% および 65% の 3 水準、置換率を 0%、50% および 100% の 3 水準に変化させた合計 41 種類の試料コンクリートを用意した。再生粗骨材は、同一調査の普通コンクリートに対し、容積比で置換した。

置換率は、再生骨材コンクリート指針⁵⁾において、再生粗骨材 L を鉄筋コンクリート部材に用いる場合の再生粗骨材単独利用の上限値は 50% と規定されている。一方、再生粗骨材 M は、乾燥の影響を受ける構造部材に用いる場合においても全量 (100%) 使用が前提である。これらから、本検討では、50% を基準として、0% (普通コンクリート) および 100% を設定した。なお、いずれのコンクリートも目標スランプは 18±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.5% とした。FB および BB の単位水量は、日本建築学会「コンクリートの調査設計指針・同解説」⁸⁾に基づき、それぞれ N に対して 5% 減および 4% 減の補正を行った。

(3) 試験項目および試験方法

フレッシュ性状は、スランプ、空気量、単位容積質量、コンクリート温度および塩化物含有量の測定を、硬化性状では、圧

表 2 使用した骨材の品質

品質項目		試験方法	川砂 ^{※1}		硬質砂岩碎石 2005 ^{※2}			石灰岩碎石 2005 ^{※3} :NG4	再生粗骨材 L 2005		再生粗骨材 M 2005 : RMG
			NS1	NS2	NG1	NG2	NG3		RLG1	RLG2	
絶乾密度 (g/cm ³)		JIS A 1109	2.55	2.59	2.64	2.68	2.54	2.69	2.30	2.21	2.40
吸水率 (%)		JIS A 1110	1.57	1.72	0.76	0.43	1.48	0.41	6.42	6.48	3.63
粗粒率 (F.M.)		JIS A 1102	2.50	2.57	6.65	6.79	6.87	6.77	6.77	6.54	6.92
微粒分量 (%)		JIS A 1103	※4	※4	※4	※4	※4	※4	1.35	1.56	1.76
実積率 (%)		JIS A 1104	63.7	64.8	58.7	60.3	64.2	61.5	60.1	61.2	63.6
粒形判定実積率 (%)		JIS A 5005			58.4	59.6	※4	61.2	59.8	60.9	61.8
不純物量 (wt%)	A	JIS A 5022 JIS A 5023							0.16	1.17	0.03
	B								0.09	0.08	0.05
	C								0.02	0.05	0
	D								0	0	0
	E								0	0	0.02
	F								0.04	0.02	0
	G								0	0.01	0.03
	合計								0.31	1.32	0.13

※1：揖斐川産川砂 ※2：いずれも春日井産硬質砂岩碎石 2005。ただし、ロットが異なる。 ※3：藤原鉱山産石灰岩碎石 2005 ※4：実施していない。 ※5：A～G の分類は、再生粗骨材 L については、JIS A 5023 附属書 A に、再生粗骨材 M については JIS A 5022 附属書 A による。

表3 各種コンクリートの調合概要

種類	調合条件				単位量(kg/m ³)											
	セメント 種類	再生粗骨材 置換率(%)	W/C (%)	s/a (%)	W	C	NS1	NS2	NG1	NG2	NG3	NG4	RLG1	RLG2	RMG	
FBNSING1-45	FB	0	45	43.7	176	391	733	-	968	-	-	-	-	-	-	
FBNSING1RLG150-45		50							484	-	-	-	446	-	-	
FBNS1RLG1100-45		100							-	-	-	-	892	-	-	
FBNSING1-55		0	55	46.4	171	311	816	-	968	-	-	-	-	-	-	
FBNSING1RLG150-55		50							484	-	-	-	446	-	-	
FBNS1RLG1100-55		100							-	-	-	-	892	-	-	
FBNS2NG2-55		0	44.9				-	803	-	1006	-	-	-	-	-	
FBNS2NG2RLG250-55		50							-	503	-	-	-	440	-	-
FBNSING1-65		0	65	48.7	169	260	881	-	952	-	-	-	-	-	-	
FBNSING1RLG150-65		50							476	-	-	-	439	-	-	
FBNS1RLG1100-65		100							-	-	-	-	877	-	-	
BBNSING1-55	BB	0	55	46.3	173	315	813	-	968	-	-	-	-	-	-	
BBNSING1RLG150-55		50							484	-	-	-	446	-	-	
BBNS1RLG1100-55		100							-	-	-	-	892	-	-	
BBNS2NG2-55		0	44.9				-	801	-	1006	-	-	-	-	-	
BBNS2NG2RLG250-55		50							-	503	-	-	-	440	-	-
ENSING1-55	E	0	45.8	180	327	795	-	968	-	-	-	-	-	-		
ENSING1RLG150-55		50						484	-	-	-	446	-	-		
NNSING1-45	N	0	45	43.1	185	411	715	-	968	-	-	-	-	-	-	
NNSING1RLG150-45		50							484	-	-	-	446	-	-	
NNSING1-55		0							968	-	-	-	-	-	-	
NNSING1RLG150-55		50	55	45.8	180	327	798	-	484	-	-	-	446	-	-	
NNS1RLG1100-55		100							-	-	-	-	892	-	-	
NNS2NG2-55		0					-	782	-	1006	-	-	-	-	-	
NNS2NG2RLG250-55		50							-	503	-	-	-	440	-	
NNS2RLG2100-55		100							-	-	-	-	-	879	-	
NNSING1-65		0	65	48.3	176	271	868	-	952	-	-	-	-	-	-	
NNSING1RLG150-65		50							476	-	-	-	439	-	-	
NNSING4-45		0	45	41.1	181	402	689	-	-	-	-	1030	-	-	-	
NNSING4RLG150-45		50							-	-	-	514	467	-	-	
NNSING4-55		0	55	43.3	180	327	754	-	-	-	-	1030	-	-	-	
NNSING4RLG150-55		50							-	-	-	514	467	-	-	
NNSING4-65		0	65	45.9	176	271	824	-	-	-	-	1013	-	-	-	
NNSING4RLG150-65		50							-	-	-	506	459	-	-	
NNSING3-45		0	45	38.8	185	441	642	-	-	-	1010	-	-	-	-	
NNSING3RMG50-45	50	-							-	506	-	-	-	486		
NNSING3-55	0	55	39.7	180	327	692	-	-	-	1044	-	-	-	-		
NNSING3RMG50-55	50							-	-	522	-	-	-	502		
NNS1RMG100-55	100							-	-	-	-	-	-	1004		
NNSING3-65	0	65	43.4	176	271	780	-	-	-	1010	-	-	-	-		
NNSING3RMG50-65	50							-	-	506	-	-	-	486		

※AE 減水剤（高機能タイプ）として変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系化合物の複合体をセメント質量の1%添加した。なお、補助剤として空気量調整剤をセメント質量の0.05～0.1%添加した。

縮強度、静弾性係数、長さ変化率、促進中性化深さおよび相対動弾性係数を測定した。

3. 実験結果

3.1 フレッシュ性状

各種コンクリートのフレッシュ性状を表5に示す。

(1) スランプおよび空気量

いずれのコンクリートもAE 減水剤は、セメント質量の1%とし、空気量調整剤は0.05～0.1%の範囲で使用した。スランプは、

表4 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法	備考
フレッシュ性状	スランプ	JISA 1101	
	空気量	JISA 1128	
	単位容積質量	JISA 1116	
	コンクリート温度	JISA 1156	
	塩化物含有量	JISA 5022 JISA 5023	イオン電極法
硬化性状	圧縮強度	JISA 1107	材齢4週,13週※
	静弾性係数	JISA 1149	材齢4週,13週※
	長さ変化	JISA 1129-3	
	促進中性化	JISA 1153	
	凍結融解	JISA 1148	A 法

※E を用いたものは測定していない。石灰岩碎石を用いたものでは水セメント比55%のコンクリートのみ測定した。

置換率が100%で単位水量が最も少ないFBを用いた水セメント比65%のFBNSIRLG1100-65で10.5cmと目標値を大幅に下回ったが、それ以外は目標値を満足した。空気量はすべての試験体で目標値を満足した。骨材修正係数は、再生粗骨材Lを用いた場合で、置換率50%で0.4～0.7%、置換率100%では0.6～0.7%、再生粗骨材Mを用いた場合で、置換率50%で0.3%、置換率100%では0.5%であった。

(2) 単位容積質量

再生骨材コンクリートの単位容積質量は、付着モルタルあるいは付着ペーストの影響により密度の小さい再生粗骨材の置換率が大きくなるのに伴い増加する傾向がみられる。

(3) コンクリート温度

試料コンクリートは7月中旬から12月中旬に打ち込んだが、いずれの試験体も35℃を下回った。

(4) 塩化物含有量

JIS A 5022 および JIS A 5023 より、フレッシュコンクリート中の水には、セメントの全塩化物イオン量に加えて再生粗骨材Mおよび再生粗骨材Lの全塩化物イオン量の1/4が溶出すると仮定し、塩化物含有量を算定した。その結果、置換率の増加に伴い大きくなるものの、すべての試験体でJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の規制値である0.30kg/m³以下を満足した。

3.2 硬化性状

圧縮強度、静弾性係数、長さ変化、促進中性化および凍結融解の試験結果を図2から図6に示す。

(1) 圧縮強度

図2より圧縮強度は、再生粗骨材Lを用いた場合、50N/mm²以上の高強度域では、置換率の影響が明確にみられ、置換率の増加に伴い圧縮強度は低下する傾向がみられた。強度の発現傾向は、セメント種類の影響がみられ、Nに対してFB、BBは長期強度の発現が大きく、Eはほぼ同等であり、概ね一般的な傾向⁹⁾である。Nについては、4週圧縮強度では、置換率の増加に伴い低下する傾向がみられた。FBについては、材齢13週時の圧縮強度は、水セメント比45%ではいずれのコンクリートも50N/mm²を超えたことから、再生粗骨材Lの置換率の影響が明確にみられたものの、水セメント比55%以上では置換率の影響

はほとんどみられない。BBは、水セメント比55%のみであるが、材齢13週時で置換率の増加に伴い低下する傾向がみられた。

Eについても材齢4週時で同様の傾向がみられた。石灰岩碎石を用いたものは、水セメント比45%でも50N/mm²以下であったことから、置換率の影響は明確にはみられない。再生粗骨材Mを用いたコンクリートでは、材齢4週および13週ともに置換

表5 各種コンクリートのフレッシュ性状

種類	スランプ (cm)	空気量 (%) ^{※1}	単位容 積質量 (kg/m ³)	温度 (°C)	塩化物 含有量 (kg/m ³)
FBNSING1-45	20.0	3.6	2377	28.2	0.03
FBNSINGIRLG150-45	20.0	4.5 (0.4)	2274	21.1	0.02
FBNSIRLG1100-45	18.0	3.7 (0.6)	2289	20.5	0.09
FBNSING1-55 ^{※2}	17.0	3.3	2300	24.9	0.03
	18.0	5.8	2376	24.9	0.03
FBNSINGIRLG150-55	16.0	3.3 (0.4)	2310	22.1	0.03
FBNSIRLG1100-55	18.5	3.8 (0.6)	2243	22.3	0.05
FBNS2NG2-55	20.5	5.2	2371	25.3	0.02
FBNS2NG2RLG250-55	20.5	4.6 (0.6)	2310	19.2	0.09
FBNSING1-65	18.5	4.0	2351	19.3	0.03
FBNSINGIRLG150-65	16.5	4.2 (0.4)	2279	20.8	0.03
FBNSIRLG1100-65	10.5	4.4 (0.6)	2223	19.7	0.03
BBNSING1-55 ^{※2}	18.0	5.9	2281	26.1	0.04
	19.0	6.0	2289	26.7	0.04
BBNSINGIRLG150-55	18.0	4.5 (0.4)	2243	20.4	0.11
BBNSIRLG1100-55	17.0	5.1 (0.6)	2244	22.3	0.14
BBNS2NG2-55	19.5	4.4	2340	25.4	0.04
BBNS2NG2RLG250-55	20.5	5.2 (0.4)	2350	24.8	0.08
ENSING1-55 ^{※2}	18.5	5.8	2200	27.1	0.09 ^{※3}
	19.5	5.9	2287	27.1	0.10 ^{※3}
ENSINGIRLG150-55	19.5	4.8 (0.4)	2236	14.1	0.19 ^{※3}
NNSING1-45	20.5	5.6	2263	18.0	0.07
NNSINGIRLG150-45	19.0	5.0 (0.4)	2230	17.4	0.26
NNSING1-55	20.0	5.4	2244	18.6	0.05
NNSINGIRLG150-55	20.5	4.9 (0.5)	2260	18.8	0.22
NNSIRLG1100-55	20.0	4.5 (0.6)	2180	18.2	0.24
NNS2NG2-55	20.5	5.5	2397	25.9	0.03
NNS2NG2RLG150-55	20.5	4.3 (0.7)	2299	22.6	0.19
NNS2RLG2100-55	19.5	5.3 (0.7)	2173	22.8	0.22
NNSING1-65	20.0	4.4	2261	18.7	0.03
NNSINGIRLG150-65	17.5	5.2 (0.4)	2180	18.6	0.13
NNSING4-45	20.5	4.0	2214	12.5	0.03
NNSING4RLG150-45	20.5	5.1 (0.4)	2199	12.7	0.02
NNSING4-55	20.5	4.4	2343	20.0	0.05
NNSING43RLG150-55	20.0	4.9 (0.5)	2261	20.2	0.23
NNSING4-65	20.0	5.3	2306	18.5	0.04
NNSING4RLG150-65	20.0	4.9 (0.5)	2273	14.2	0.10
NNSING3-45	20.5	5.6	2286	23.8	0.08
NNSING3RMG50-45	19.5	4.4 (0.3)	2290	24.2	0.29
NNSING3-55	20.5	5.9	2274	26.6	0.03
NNSING3RMG50-55 ^{※2}	20.0	5.6 (0.3)	2240	23.0	0.20
	20.0	5.2 (0.3)	2225	23.3	0.18
NNS1RMG100-55 ^{※2}	19.5	4.0 (0.5)	2280	24.9	0.08
	19.0	5.3 (0.5)	2254	24.4	0.18
NNSING3-65	20.0	5.8	2230	23.7	0.04
NNSING3RMG50-65 ^{※2}	18.0	5.2 (0.3)	2247	23.5	0.22
	18.0	5.1 (0.3)	2307	23.6	0.24

※1 () 内は骨材修正係数を示す。なお、普通コンクリートの骨材修正係数は、いずれも0.1%未満であった。

※2 2バッチに分けて連続して打ち込んだ。

※3 塩化物イオン残存比α0.24（最大値）

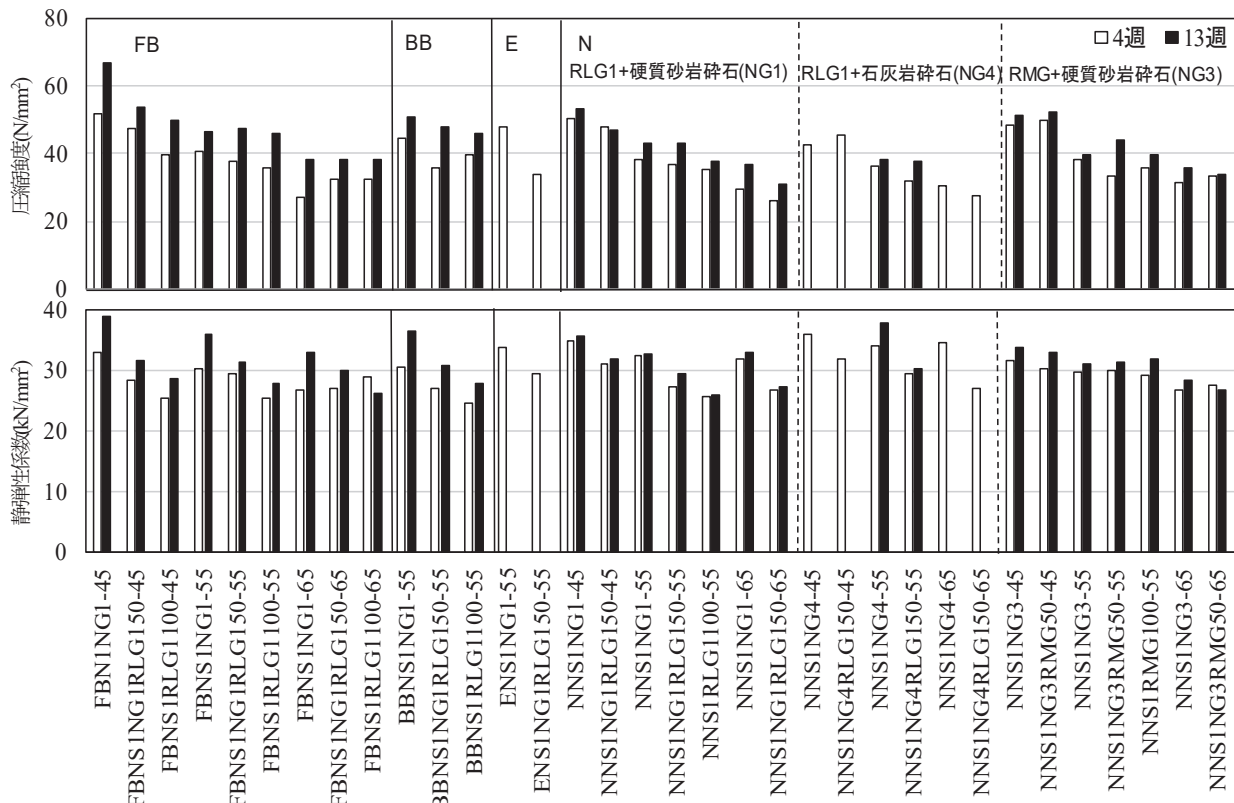


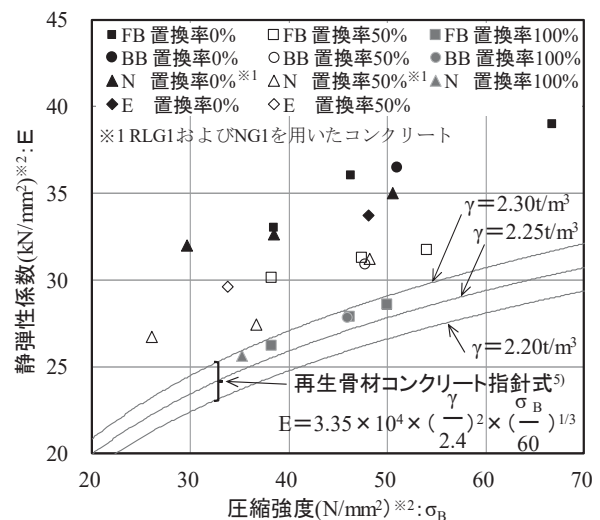
図2 各種コンクリートの圧縮強度および静弾性係数

率の影響はみられない。

(2) 静弾性係数

図2より静弾性係数については、再生粗骨材Lを用いたコンクリートにおいては、FBおよびBBにおいては材齢13週時、EおよびNにおいては材齢4週時でみると、置換率の影響が明確に認められた。一方、再生粗骨材Mを用いたコンクリートでは置換率の影響はほとんどみられない。混合使用する一般粗骨材の影響は、NにおいてNG1を用いたコンクリートと比較すると、一般的な傾向⁹⁾と同様に、圧縮強度の大きさにに対してNG4を用いたコンクリートが大きくなる傾向がみられた。このことから、静弾性係数の低下に対しては、石灰岩碎石を混合使用することが有効である。図3は、再生粗骨材Lを用いたコンクリート（一般粗骨材はNG1）の圧縮強度と静弾性係数の関係を示したもののだが、いずれのコンクリートも置換率から推定される単位容積質量(置換率0%: $\gamma=2.30 \text{ t/m}^3$, 置換率50%: $\gamma=2.25 \text{ t/m}^3$, 置換率100%: $\gamma=2.20 \text{ t/m}^3$)に対応した再生骨材コンクリート指針式⁵⁾からの推定値に比べて置換率0%で23%程度、置換率50%で15%程度、置換率100%で8%程度大きめの値が得られている。

(3) 長さ変化



※2 FB, BB は材齢13週, N, E は材齢4週の時を用いた。

図3 圧縮強度と静弾性係数の関係

図4より再生粗骨材Lを用いたコンクリートでは、置換率の影響がみられ、BBを用いた置換率50%のBBNS1NG1RLG150-55, Nで置換率100%のNNS1RLG1100-55において、JASS 5 (2015)⁹⁾に示される材齢26週時における計画供用期間の級が長期および超長期の品質目標値である 8×10^{-4} を超えた。一方、再生粗骨材Mを用いたコンクリートでは、置換率100%の場合でも 8×10^{-4} を下回り、置換率の影響はほとんどみられない。再生

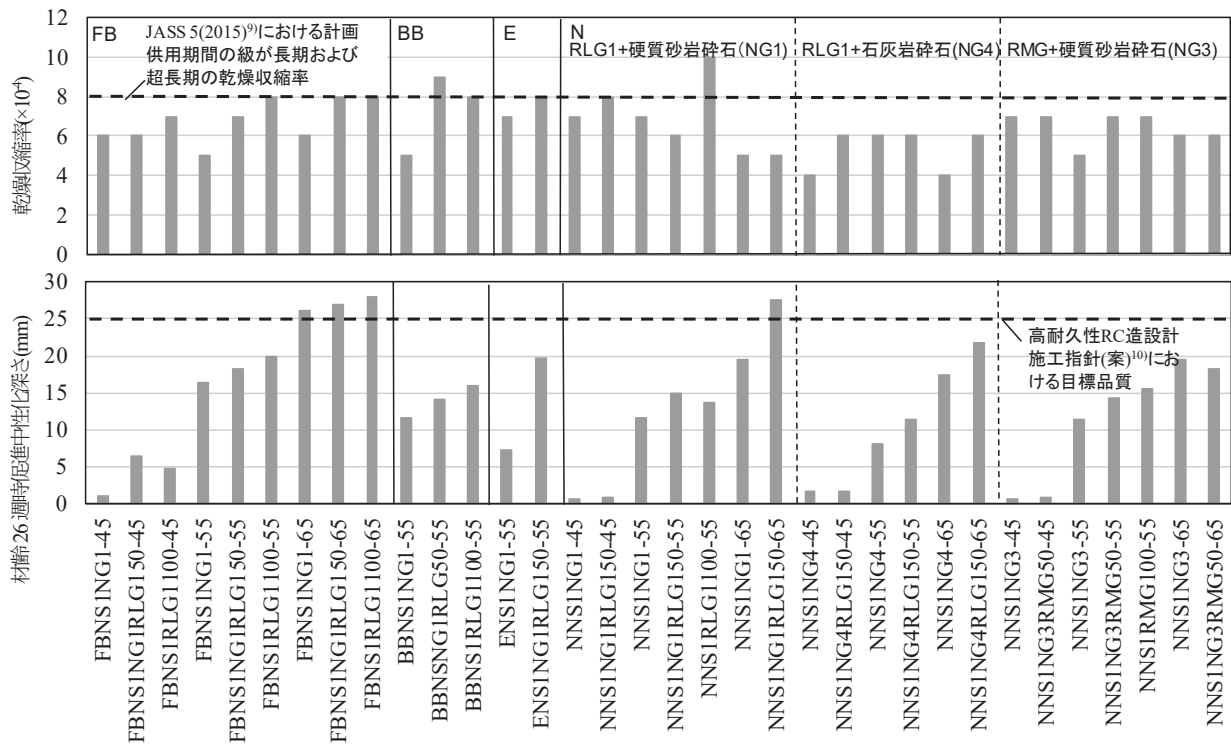


図4 各種コンクリートの乾燥収縮率および促進中性化深さ

粗骨材 L に石灰岩碎石を混合使用する一般粗骨材として用いた場合、置換率が 50%においても最大 6×10^{-4} となっており、N で単位水量の多い水セメント比 45%の NNSING1RLG150-45 と NNSING4RLG150-45 を比較すると 2×10^{-4} 程度の低減効果が認められる。なお、セメント種類の影響は、明確にはみられない。

(4) 促進中性化

図5 より促進中性化深さは、水セメント比の影響が最も大きく、水セメント比 45%のコンクリートでは、ほとんど進んでいないが、水セメント比 65%になると FB および N を用いたコンクリートのうち、置換率 50%の一部 (NNSING1RLG150-65) で、日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)」¹⁰⁾に示される目標品質の 25mm を超えるものがみられた。置換率の影響は、水セメント比 55%以上で再生粗骨材 L を用いたコンクリートで明確にみられた。一方、再生粗骨材 M を用いたコンクリートでは、水セメント比の影響はみられるが、置換率の影響は、水セメント比 55%では、置換率の増加に伴い少し速くなる傾向はみられたものの、65%では明確にはみられなかったことから影響は少ない。セメント種類の影響は、一般的な傾向¹¹⁾と同様に、FB を用いた場合で速くなる傾向がみられる。

(5) 凍結融解

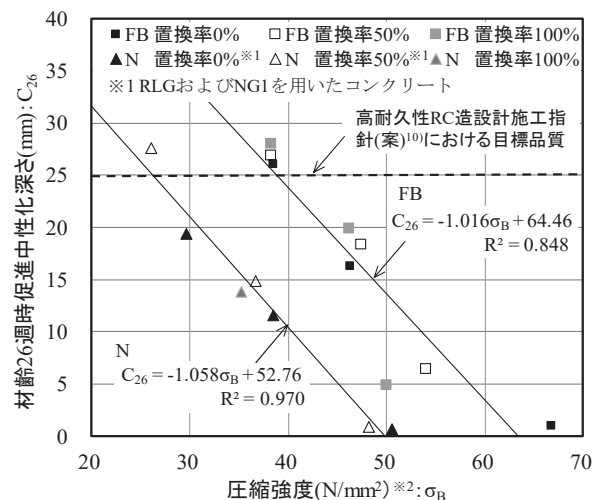


図5 圧縮強度と促進中性化深さの関係

図6 に空気量と 300 サイクル時相対動弾性係数の関係を示す。これによると、既往の結果¹²⁾と同様、フレッシュコンクリートで 4.0%以上の空気量があれば、セメント種類、置換率に係わらず、300 サイクル時の相対動弾性係数は 85%以上となっている。このことから、低品質再生粗骨材を用いたコンクリートを寒冷地で使用する場合、普通コンクリート同様⁹⁾、空気量は 4.0%以上 (目標空気量: $5.0 \pm 1.0\%$) とすれば、十分な耐凍害性を確保することが可能である。

4. まとめ

低品質再生骨材を用いたコンクリートの用途拡大を実現することを目的に、セメント種類、再生骨材置換率を変化させた場合の再生骨材コンクリートの性能評価について検討を行った結果、大要以下のことがいえる。

- (1) 再生粗骨材 L を用いたコンクリートのスランプおよび空気量は、セメント種類や置換率にかかわらず、普通コンクリートと同様の割合により所定の品質をほぼ満足する。なお、塩化物含有量は全塩化物イオン量の 1/4 が溶出すると仮定し算定したが、規定値の $0.30\text{kg}/\text{m}^3$ を満足する。
- (2) 再生粗骨材 L を用いたコンクリートの圧縮強度は高強度域では置換率の影響がみられるものの、通常の高強度域では影響は小さい。静弾性係数は、強度域にかかわらず置換率の影響がみられる。なお、静弾性係数の低下には、石灰岩碎石を混合使用することが有効である。
- (3) 再生粗骨材 L を用いた場合の乾燥収縮は、置換率の影響が大きい。なお、混合使用する一般粗骨材に乾燥収縮率の小さい石灰岩碎石を用いることで低減することが可能である。
- (4) 再生粗骨材 L を用いたコンクリートの促進中性化は、置換率の影響は比較的大きい。なお、セメント種類の影響は、FB を用いた場合に速くなる。総体的には、水セメント比の影響が支配的であり、高い置換率で使用した場合でも水セメント比を低減することにより、目標品質を満足することが可能である。凍結融解は、再生粗骨材置換率の影響はみられず、適切に空気が連行されていれば、普通コンクリートと同様の配慮で耐凍害性は確保できる。

以上のことから、低品質再生粗骨材を用いたコンクリートの性能は、一般的な割合設計上の配慮に加え、置換率の調整ならびに混合使用する一般粗骨材の選定により、所要品質の確保が可能である。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局, 平成24年度建設副産物実態調査結果, 2014. 3
- 2) 道正 泰弘, 舘 秀基, 村 雄一, 坂詰 義幸: 再生粗骨材残査からの六価クロム溶出挙動と溶出抑制対策—建築構造物の解体に伴い発生するコンクリート塊のリサイクルシステム, 日本建築学会技術報告集

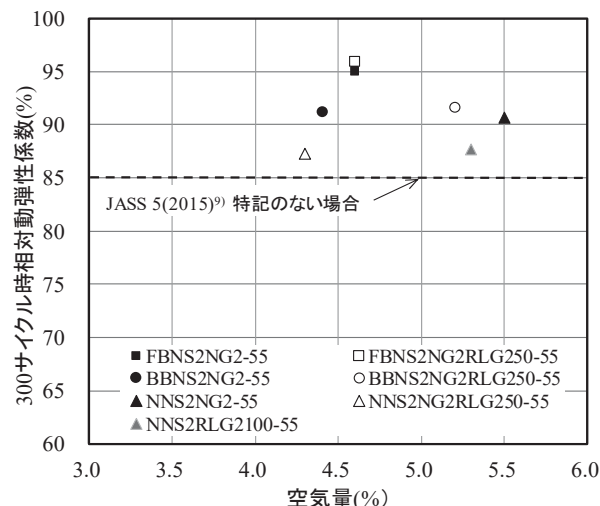


図6 空気量と300サイクル時相対動弾性係数の関係

第17巻第37号, pp. 803-808, 2011. 10

- 3) 国土交通省: 建設リサイクル推進計画2014, 平成26年9月
- 4) 建設省住宅局建築指導課長: コンクリートの耐久性確保に係る措置について, 建設省住指発第142号, 昭和61年2月2日
- 5) 日本建築学会: 再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針 (案), 2014
- 6) 道正 泰弘: 持続可能なコンクリート塊リサイクルシステム—低品質再生骨材の建築構造用コンクリートへの利用, コンクリートテクノ, 第33巻第11号, pp. 74-80, 2014. 11
- 7) 道正 泰弘: 低品質再生骨材を置換したコンクリートの構造体強度補正值, コンクリート工学年次論文集 Vol. 38, No. 1, pp. 1779-1784, 2016
- 8) 日本建築学会: コンクリートの割合設計指針・同解説, 2015
- 9) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015, 2015
- 10) 日本建築学会: 高耐久性鉄筋コンクリート割合設計施工指針 (案)・同解説, 1991
- 11) 日本建築学会: フライアッシュを使用するコンクリートの割合設計・施工指針・同解説, 2007
- 12) 舘 秀基, 溝口 信夫, 岡本 英明, 道正 泰弘: 骨材置換による再生骨材コンクリートの実構造物への適用, コンクリート工学年次論文集 Vol. 32, No. 1, pp. 1463-1468, 2010

(2017年7月14日提出)

解体工事および廃棄物処理における環境負荷に関する調査研究

明治大学理工学部
小山明男

Key-word: 解体工事, 廃棄物量, 作業時間, 中間受入費用, LCCO₂

1. はじめに

平成 25 年度における産業廃棄物排出量のうち、約 20%が建設業由来による排出¹⁾であり、最終処分される建設廃棄物量は近年横ばいとなっている。よって、建設業における産業廃棄物排出量削減および再資源化促進が望まれるが、今後、解体工事による廃棄物排出量増加が見込まれる²⁾ことから、特に解体工事において取り組まなければならない課題である。

また、産業廃棄物の不法投棄量のうち、約 80%が建設業由来である³⁾ことも問題となっている。不法投棄される建設系廃棄物は、約 60%はがれき類などのコンクリート塊であるが、これは建設リサイクル法により再資源化義務があり、かつその再資源化率は高いにも関わらず不法投棄されている現状にある。このような問題の原因は、建設リサイクル法の廃棄物取扱いが建築業界全体で十分に周知されていない、工事における建設廃棄物排出量の実態が不明瞭であり、建設工事が与える環境負荷の大きさ、適正処理による環境負荷抑制効果が明らかでないことなどが、廃棄物の不適正処理や再資源化に対する意識の低さに繋がっていると考えられる。また、解体工事費用が不明瞭であることや解体工事業者間の価格競争などにより適切な解体工事費用が支払われていないことも要因となっている⁴⁾。既往研究^{5)~10)}は廃棄物の再資源化技術に対する取り組みが主であり、解体工事から廃棄物処理を一連とした、分別解体や廃棄物処理の適正化に関する調査、研究を行っているものは少ない。

よって、本研究は一連の解体工事における廃棄物処理の適正化および再資源化の促進に資することを目的に、木造戸建て住宅を主な対象に適切な施工方法の把握を行い、解体工事現場から廃棄物処理までにかかる解体工事費用および環境負荷に対する概算システムの構築を行う。

2. 木造戸建て住宅の解体工事現場調査

表 1 に示す解体工事現場計 61 件を調査対象とし、各解体工事現場において事前調査、作業時間調査、廃棄物排出量調査を行った。

(1) 事前調査

調査対象物件の解体工事着手前に、建物情報、外部・内部仕上、外構、平面図、屋根伏せ図などの図面記入、写真撮影による物件情報の収集を行った。

(2) 作業時間調査

調査対象の解体工事現場において、表 2 に示す各作業工程に対して、作業時間および作業人工の実測を行った。また、各作業に対し、重機を使用した場合は使用重機と使用時間を別途調査し、重機使用によるCO₂排出量の把握を行った。CO₂排出量の算出は、「物流分野

表 1 調査対象物件一覧

No.	階数	延床面積 (m ²)	構造	築年数 (年)	工事場所
1	2	115.0	木造	32	東京都
2	2	138.7	木造	45	東京都
3	1	226.3	木造	45	東京都
4	2	113.9	木造	45	東京都
5	2	89.9	木造	45	東京都
6	2	94.4	木造	45	神奈川県
7	2	104.8	木造	45	神奈川県
8	2	134.2	木造	45	神奈川県
9	2	113.4	木造	45	神奈川県
10	2	183.8	木造	-	東京都
11	2	91.5	木造	-	神奈川県
12	2	156.9	木造	39	神奈川県
13	2	144.9	木造	-	神奈川県
14	2	124.2	木造	30	神奈川県
15	2	92.4	木造	33	東京都
16	2	82.4	木造	-	神奈川県
17	2	120.9	木造	-	東京都
18	2	173.1	木造	17	神奈川県
19	2	89.4	木造	-	東京都
20	2	63.3	木造	-	東京都
21	2	89.6	木造	-	東京都
22	2	85.7	木造	-	東京都
23	2	106.8	木造	-	神奈川県
24	2	232.7	木造	44	神奈川県
25	2	176.5	木造	30	神奈川県
26	1	86.1	木造	35	神奈川県
27	2	83.4	木造	65	東京都
28	1	200.8	木造	40	神奈川県
29	2	68.5	木造	13	神奈川県
30	2	62.5	木造	30	東京都
31	2	98.1	木造	40	神奈川県

No.	階数	延床面積 (m ²)	構造	築年数 (年)	工事場所
32	2	98.1	木造	40	神奈川県
33	2	115.9	木造	40	神奈川県
34	2	88.3	木造	-	神奈川県
35	2	192.1	木造	42	神奈川県
36	2	94.0	木造	-	神奈川県
37	2	109.7	木造	37	神奈川県
38	2	90.3	木造	35	神奈川県
39	1	90.3	木造	-	神奈川県
40	2	120.7	木造	33	神奈川県
41	2	68.7	木造	-	神奈川県
42	1	121.7	木造	-	神奈川県
43	2	63.3	木造	40	神奈川県
44	2	126.4	木造	40	神奈川県
45	2	96.1	木造	28	神奈川県
46	2	90.4	木造	35	東京都
47	2	107.7	木造	40	東京都
48	2	144.4	木造	30	神奈川県
49	2	216.3	木造	23	神奈川県
50	2	104.0	木造	30	神奈川県
51	2	81.7	木造	39	東京都
52	2	92.4	木造	-	神奈川県
53	1	69.3	木造	30	神奈川県
54	2	84.5	木造	33	神奈川県
55	2	63.5	木造	30	東京都
56	2	186.6	木造	36	神奈川県
57	2	138.2	木造	30	神奈川県
58	2	89.9	木造	34	東京都
59	2	82.4	木造	23	東京都
60	2	65.0	木造	42	神奈川県
61	2	75.0	木造	36	神奈川県

表 2 解体工事作業工程

	作業工程	内容
1	事前調査	解体工事施工前に法律に順じた各省市へ必要な届出等の作成、解体工事全般に係る事項を適切に調査する。
2	準備作業	発注者への説明、届出書の確認、作業員に対する告知、作業場所及び搬出経路の確保、付着物除去方法の決定を行う。
3	仮設作業	足場、養生シート等を解体物件に設置する。
4	建具類・建設設備類	畳、ドア、窓ガラス、照明器具、流し台等の撤去を行う。
5	内装材撤去	クロス、化粧板、石膏ボード等を撤去する。 建設リサイクル法により、手作業で行うことが定められている。
6	石綿含有内装材撤去	石綿障害予防規則を遵守し、保護具を着用し、湿潤化のうえ撤去作業を行う。石綿含有産業廃棄物は二重のビニル袋に詰め、他の建設廃棄物とは別に搬出する。
7	屋上・外部設置物撤去	ベランダ等、温水器・太陽光パネル等の撤去を行う。
8	外装材撤去	屋根葺座材、外装材を撤去する。
9	石綿含有外装材撤去	破損するような工事を行うと石綿が飛散するため、散水のうえなるべく原形を留めたまま撤去する。
10	躯体材撤去	躯体作業の撤去作業を行う。 また、機械撤去作業が認められている。
11	仮設撤去	基礎撤去前に仮設を撤去する。
12	残渣物撤去	コンクリートがらに他の建設廃棄物が混入することを防ぐ。
13	基礎撤去	基礎及び基礎杭の解体は機械解体が認められている。
14	付帯工事	建物以外の門、堀、地中埋設物、浄化槽等を撤去する。
15	整地作業	整地作業を行い、重機の搬出後、境界周辺の破損、及び遺構状況等を最終確認する。

のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン」¹¹⁾の燃料法を参考にした。なお、使用燃料は軽油で、CO₂排出係数は 2.62 (t-CO₂/kl) を用いた。

(3) 廃棄物排出量

各解体工事業者から提出されたマニフェストより、建設廃棄物品目ごとに集計を行った。

また、マニフェストから廃棄物が持込まれる中間処理施設を把握し、解体工事現場から中間処理施設までの距離を実走行距離調査結果、および自動車ルート検索 (<https://www.navitime.co.jp/>) を用いて算出し、廃棄物の運搬によるCO₂排出量の把握を行った。CO₂排出量の算出方法は「物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン」¹¹⁾の燃費法を参考とした。

3. 解体工事現場実態調査結果

3.1 作業時間調査

調査結果より得られた一棟の建物を解体するのに要する総作業時間と延床面積の関係を図1に示す。延床面積の増加に伴い、解体工事に要する総作業時間は長くなる相関性が確認された。しかし、工程別作業時間は、延床面積に依存しない場合がみられたため、建物条件から検討を行った。例として、仮設設営・撤去作業について表3に示す事例A、Bの作業時間詳細例をみると、延床面積の小さい事例Aにおける足場組立作業時間は延床面積の広い事例Bに比して約2倍の時間を要した。しかし、写真1より事例Aは建物と敷地境界までの距離が極端に狭く、仮設作業場所の広さが作業時間に影響したと推察される。そこで、現場写真より事例Aのように極端に作業場所が狭い場合を「狭小」、それ以外を「通常」に分類を行った。図2より、狭小は通常よりも作業時間は長くなり、延床面積との相関性がみられた。よって、外構の作業については、近隣や敷地条件に大きく影響を受けるといえる。

また、内装材撤去作業について、作業時間と延床面積の間に相関性はみられなかったことから、各物件の部屋数を調査し、作業時間との検討を行った。図3の結果より、内装材撤去時間は部屋数が多くなるほど作業時間が長くなる傾向が確認できる。

よって、総作業時間は延床面積と関係が深く、また各工程の作業時間も敷地、室内状況などの把握により、ある程度予測が可能であるといえる。本研究における総作業時間および各作業工程の作業時間予測式一覧を表4に示す。

3.2 廃棄物排出量

解体工事での廃棄物排出量と延床面積の関係について図4に示す。総廃棄物排出量は、延床面積が広くなるのに伴い増加する傾向がみられた。しかし、作業時間と同様に廃棄物種類ごとの排出量は延床面積と相関性がみられない場合があったため、建物条件から検討を行った。例として、金属くずの排出量について、各物件の屋根、または外壁など面積が広い箇所に金属が使用される場合は、金属くずの排出量が多くなると予想される。よって、「金属屋根又は金属壁」、「屋根、外壁に金属使用なし」に分類し、それぞれ検討を行った。結果を図5に示す。屋根、外壁への金属使用の有無で分類を行うことで延床面積との相関性が確認され、金属屋根、金属壁の物件は金属使用のない物件に比して排出量が多かった。

また、繊維くずについて、主な排出基が畳であると推察されるため、各物件の和室面積を調査し、検討を行った。図6より、和室面積の増加に伴い繊維くずの排出量は多くなる高い相関性がみられたことから、繊維くずの排出量は各物件の和室面積に依存することが明らかとなった。

よって、廃棄物排出量は作業時間と同様に総廃棄物排出量は延床面積と関係が深く、各廃棄物排出量はまたは室内状況や使用材料から予ある程度予測可能であるといえる。本研究における総廃棄物排

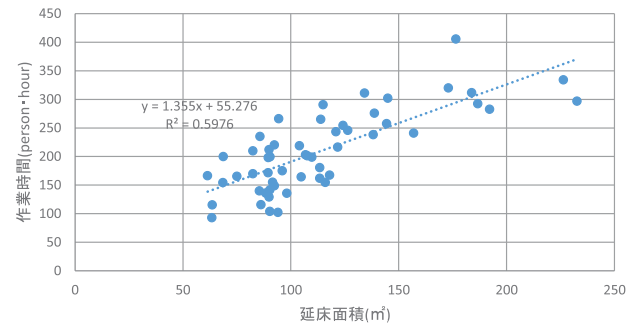


図1 総作業時間と延床面積の関係

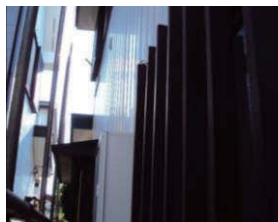
表2 解体工事作業工程

廃棄物種類	換算係数	廃棄物種類	換算係数
コンクリートがら	1.48	紙くず	0.3
その他がれき類	1.48	木くず	0.55
ガラス・陶磁器くず	1	繊維くず	0.12
廃プラスチック類	0.35	焼石膏ボード	0.3
金属くず	1.13	管理型を含む建設混合廃棄物	0.26
建設汚泥	1.1		

表3 仮設設営・撤去作業時間詳細事例

事例A: 94.4㎡									
作業内容	人数	日	作業時間						
			時間	休憩	労働時間	休憩時間	実労働時間		
設営	3	11/25	8:30	8:40	0:30	0:00	0:30		
足場組立	3	11/25	8:40	8:50	0:10	0:00	0:10		
足場組立	3	11/25	8:50	17:10	10:00	12:00	25:00	6:00	19:00
撤去	3	11/27	8:30	8:40	0:30	0:00	0:30		
撤去	3	11/27	10:30	16:10	12:00	13:30	17:00	4:30	12:30
撤去	4	12/5	13:00	18:00	15:00	15:30	12:00	2:00	10:00
			合計		55:10	12:30	42:40		

事例B: 156.92㎡									
作業内容	人数	日	作業時間						
			時間	休憩	労働時間	休憩時間	実労働時間		
設営	3	9/15	8:40	15:00	10:00	11:55	19:00	5:45	13:15
撤去	4	9/29	13:00	16:30	15:00	15:30	14:00	2:00	12:00
撤去	3	9/29	16:30	16:50			1:00	0:00	1:00
			合計		34:00	7:45	26:15		



事例A



事例B

写真1 各物件事例現場写真

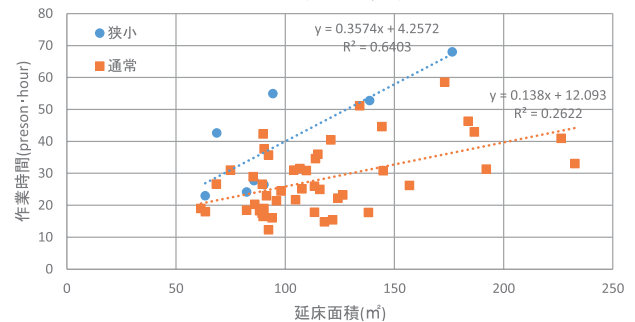


図2 作業場所広さ別仮設設営・撤去時間と延床面積の関係

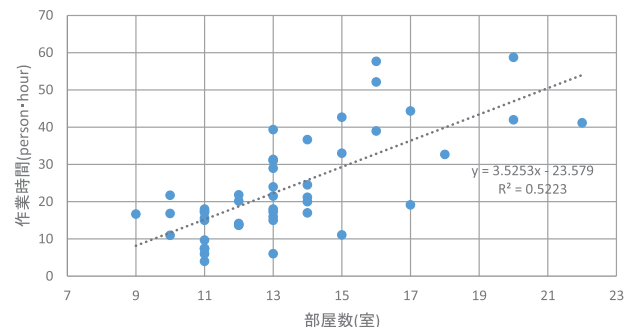


図3 内装材撤去時間と部屋数の関係

表4 解体工事作業時間予測式一覧

作業項目	予測式
準備作業	$y = 5$
仮設設置・撤去	$y = 0.1467x + 13.197$
建具・設備類撤去	$y = 0.1154x - 3.403$
内装材撤去	$y = 3.5253x - 23.579$
外装材撤去	石綿使用あり $y = 31.2$ 石綿使用なし $y = 21.6$
躯体撤去	$y = 0.5168x - 1.881$
その他作業	付帯(物置・カーポート)あり $y = 0.3892x + 22.555$ 付帯(物置・カーポート)なし $y = 0.3043x + 21.451$
総作業時間	$y = 1.335x + 55.276$

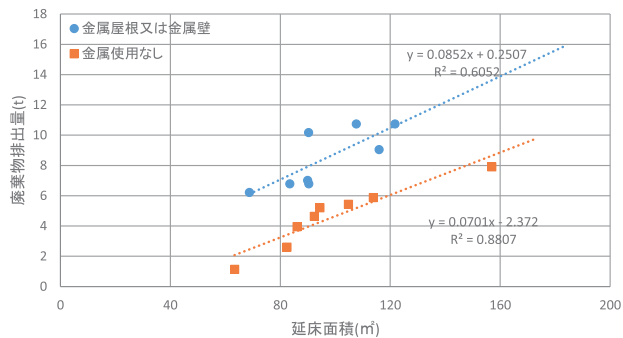


図5 屋根・壁材材料別金属くず排出量と延床面積の関係

出量および各廃棄物排出量予測式は表5のとおり求められる。

3.3 解体工事現場におけるCO₂排出量

(1) 重機使用によるCO₂排出量

建築物解体時の重機使用によるCO₂排出量と延床面積の関係を図7に示す。

図7より、重機使用によるCO₂排出量と延床面積の間に相関関係が確認できた。よって、重機使用によるCO₂排出量は延床面積から予測可能であり、本研究において(式1)より試算される。

$$\text{重機使用によるCO}_2\text{排出量(t-CO}_2\text{)} = 0.0076 \times \text{延床面積(m}^2\text{)} - 0.2314 \quad \cdots \text{(式1)}$$

(2) 運搬によるCO₂排出量

運搬によるCO₂排出量と延床面積の関係を図8に示す。運搬によるCO₂排出量は延床面積が広くなるのに伴い増加するものの、相関性は小さく、その排出量として図8に示す①、②の異なる傾向がみられた。よって、排出傾向①、②について各物件における廃棄物運搬距離から検討を行った。

①に関して、中間処理施設までの輸送距離は10km前後が多く、また最長輸送距離が40km以内であったのに対し、②はいずれの解体工事物件においても輸送距離40kmを超える中間処理施設に廃棄物を複数回に渡り持込んでいた。よって、解体工事現場の立地条件によって廃棄物持込先の中間処理施設が40km以内に立地しているかで分類を行うことで、運搬によるCO₂排出量は図9のように延床面積との間に相関性が確認できた。よって、運搬によるCO₂排出量は(式2)、(式3)より予測可能である。

$$\text{運搬によるCO}_2\text{排出量(40km未満)} = 0.0016 \times \text{延床面積(m}^2\text{)} + 0.033 \quad \cdots \text{(式2)}$$

$$\text{運搬によるCO}_2\text{排出量(40km以上)} = 0.0048 \times \text{延床面積(m}^2\text{)} + 0.0298 \quad \cdots \text{(式3)}$$

4. 中間処理施設調査

全国の中間処理施設にける廃棄物受入費用および関東圏の中間処理施設にアンケート調査を行い、中間処理施設におけるCO₂排出量

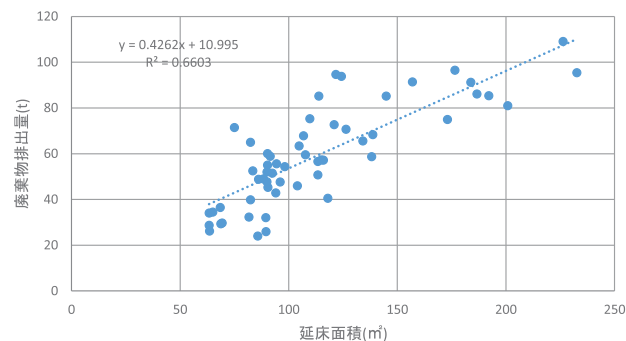


図4 総廃棄物排出量と延床面積の関係

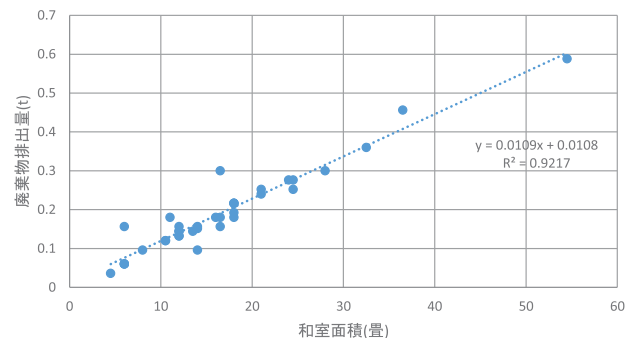


図6 繊維くずと和室面積の関係

表5 廃棄物排出量予測式一覧

廃棄物種類	予測式
コンクリートがら	$y = 0.2766x - 8.2438$
その他がれき類	$y = 5.5$
ガラス・陶磁器くず	瓦屋根 $y = 0.0428x + 2.1059$ スレート・金属屋根 $y = 0.0356x - 0.997$
廃プラスチック類	条件該当※ $y = 0.0064x - 0.0049$ 条件該当なし $y = 0.0063x + 0.268$
金属くず	屋根、壁に金属使用 $y = 0.0852x + 0.2507$ 金属使用なし $y = 0.0701x - 2.372$
木くず	$y = 0.144x + 5.9767$
繊維くず	$y = 0.0108x + 0.0122$
廃石膏ボード	$y = 0.0139x - 0.191$
管理型を含む建設混合廃棄物	$y = 0.0133x + 0.2246$
総排出量	$y = 0.4262x + 10.995$

※2Fに水回り、浄化槽・便槽あり

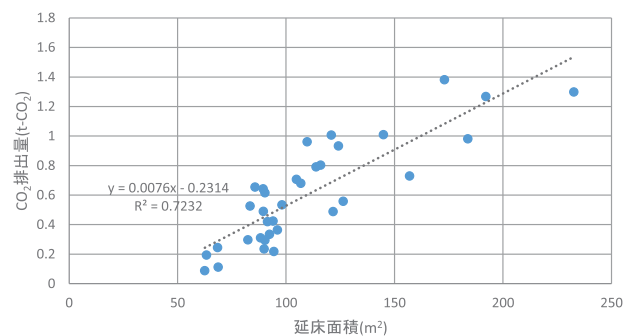


図7 現場重機使用によるCO₂排出量と延床面積の関係

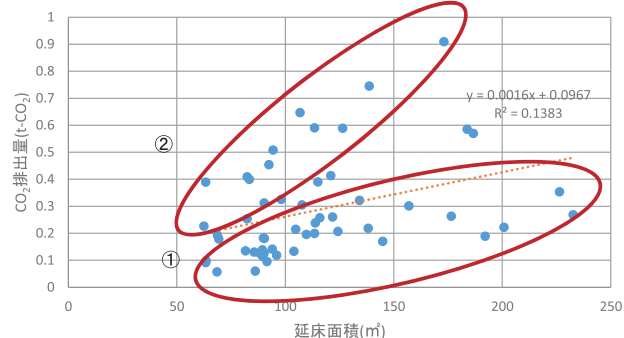


図8 運搬によるCO₂排出量と延床面積の関係

の詳細な調査を行った。

(1) 廃棄物受入費用調査

優良産廃ナビ (<http://www3.sanpainet.or.jp/>) および産廃情報ネット (<http://www.sanpainet.or.jp/>) に登録されている中間処理施設のうち、受入費用の提示を行っている計 110 社の処理業者に対し、産業廃棄物 11 品目（コンクリートがら、その他がれき類、ガラス・陶磁器くず、廃プラスチック類、金属くず、建設汚泥、紙くず、木くず、繊維くず、廃石膏ボード、管理型を含む建設混合廃棄物）ごとの受入費用調査を行い、分別の有無による廃棄物受入費用の比較を行った。

受入費用の調査にあたり、全国を 8 地域に分類し、北海道 9 社、東北 14 社、信越・北陸 7 社、関東 35 社、中部 7 社、近畿 16 社、中国・四国 11 社、九州・沖縄 11 社の計 110 社を対象とした。受入費用算出に当たり、受入基準によって受入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で分類した。また、受入基準を設けている業者について、受入時の廃棄物分別程度によって受入費用を設定していることから、本調査において廃棄物処理費用を表 6 に示すようにグレード分けを行った。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、単価が下限値しか記載されていないものは下限値を単価とした。

(2) 廃棄物処理における CO₂ 排出量

建設廃棄物の処理実態を明らかにすることで廃棄物処理によって排出される CO₂ 排出量の試算を目的とし、関東圏の中間処理施設 11 社に対し表 7 の項目についてアンケート調査を行った。

廃棄物を中間処理施設で受入、中間処理を行い最終処分に至るまでに排出される CO₂ を「中間処理場電力」、「中間処理場使用重機」、「最終処分場への運搬」、「最終処分」の 4 つに区分し、各区分における CO₂ 排出量を表 8 より算出した。なお、CO₂ 排出量算出に当たり、表 9、表 10 に示す排出係数、原単位を用いた。

5. 中間処理施設調査結果

5.1 全国の廃棄物受入費用

地域別各廃棄物受入費用の結果を図 10 に示す。なお、基準無しに関して、掲載されている料金表から受入基準は確認できなかったが、詳細な受入料金は要相談、または受入状態により料金が異なるとしている企業が多く、実際には一定の基準を設けていることが予想されるため結果は参考として記載している。

リサイクル可能な状態で廃棄物を持込んだ場合の受入費用は、リサイクル不可の状態を持込んだ場合に比して受入費用は安くなった。また、建設リサイクル法により再資源化が義務付けられている特定建設資材の受入費用は安価であるが、特定建設資材以外の受入費用は高価であった。これは、再資源化が義務付けられている特定建設資材は設備導入や再資源化技術の確立がなされていることによると考えられる。

多くの中間処理施設において受入品目が 7 品目以上であったのに対し、受入品目が 3 品目以下の施設もあり、受入品目数に差がみられた。よって、施設の特徴として受入品目数で受入費用の検討を行った。例として汚泥受入費用について結果を図 11 に示す。

受入品目数が 3 品目以下の企業における受入費用は多品目受入を行っている施設に比して受入費用は安価であり、これはいずれの地域、廃棄物種類においても同様であった。受入品目数を限定してい

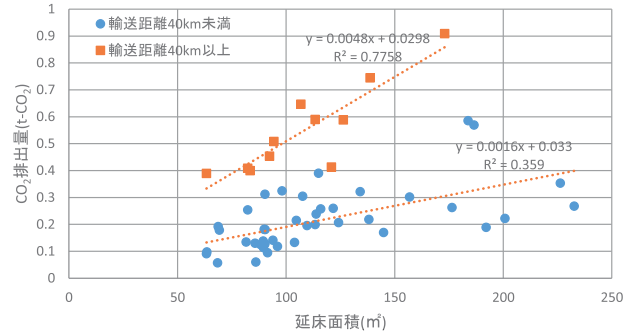


図 9 輸送距離別運搬による CO₂ 排出量と延床面積の関係

表 6 受入費用のグレード分け

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

表 7 中間処理施設アンケート調査項目

No.	設問項目
1	処理に使用する機器について
2	年間総エネルギー消費量
3	受入廃棄物処理フロー
4	処理に使用する重機について
5	処理施設内の重機使用による総エネルギー消費量
6	施設から持込先への詳細
7	廃棄物処理・運搬に使用する車両種類
8	運搬車両による総エネルギー消費量
9	施設名、住所
10	受入産業廃棄物中の建設廃棄物の割合
11	建設廃棄物種類、量、処理方法、処理量

表 8 廃棄物処理における各区分 CO₂ 排出量算出方法一覧

No.	区分	詳細・算出式
①	電力	備考 施設内の使用電力による CO ₂ 排出量を算出する。 太陽光発電による電力売却分は合計から減算した。
	算出式	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂) = 電力消費量 (kWh) × 使用電力会社排出係数 (t-CO ₂ /kWh)
②	重機	備考 施設内の重機使用による CO ₂ 排出量を算出する。
	算出式	CO ₂ 排出量 = 燃料消費量 (kl) × 使用燃料算定係数 (t-CO ₂ /kl)
③	運搬	備考 廃棄物運搬車両使用による CO ₂ 排出量を燃料法 ^{※20)} を用いて算出する。
	算出式	CO ₂ 排出量 = 燃料消費量 (kl) × 使用燃料算定係数 (t-CO ₂ /kl)
④	処分	備考 焼却処分、及び埋め立て処分による CO ₂ 排出量を算出する。
	算出式	CO ₂ 排出量 = 廃棄物持込量 (t) × 廃棄物処理原単位 (t-CO ₂ /t)

表 9 CO₂ 排出量換算係数（電力、燃料）^{12),13)}

事業者名	排出係数 × 10 ⁻⁴ (t-CO ₂ /kWh)	燃料	排出係数 × 10 ⁻⁴ (t-CO ₂ /kWh)
北海道電力	0.681	ガソリン	2.32
東北電力	0.589	軽油	2.58
東京電力	0.521	灯油	2.49
関西電力	0.516	VP 燃料	2.49
中国電力	0.717	原油	2.62
九州電力	0.617	LPG	3.00
		灯油	2.49
		ナフサ	2.24

表 10 CO₂ 排出量原単位（廃棄物処理）¹⁴⁾

建設廃棄物種類	原単位	
	焼却	埋立
がれき類	0.0334	0.0379
ガラスくず・コンクリートくず及び陶磁器くず	0.0334	0.0379
金属くず	0.0334	0.0379
ゴムくず	0.0334	0.0379
繊維くず	0.0334	0.0379
木くず	0.0334	0.0379
紙くず	0.0334	0.0379
廃プラスチック類	2.5874	0.0379

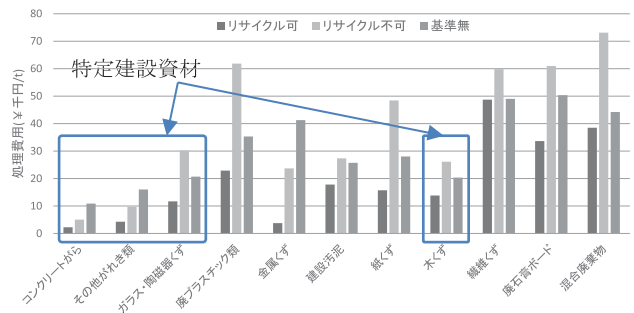


図 10 廃棄物種類別受入費用の全国平均

る施設はその廃棄物処理に特化していると考えられ、リサイクル技術、設備導入が進んでいることが受入費用に影響していると推察される。

次に、各廃棄物受入費用の地域比較を行ったところ、地域によって廃棄物受入費用に差がみられた。例として、木くずの地域別受入費用を図 12 に示す。木くずのリサイクル可は、関東の受入費用が本州の中で最も安い。これは、図 13 に示すように関東は建設発生木材の再資源化のため、木質バイオマス発電施設の技術、設備導入が全国で最も進んでいることから、受入費用が安価であったと考えられる。

また、建設混合廃棄物について、図 14 よりリサイクル不可において関東が最も受入費用が高く、北海道は受入費用が最も安くなった。混合廃棄物は異物の付着、混入から最終処分される場合が多いが、北海道は広大な土地をもつことから本州と異なり埋立受入費用が安価¹⁰⁾であるのに対し、最終処分場の逼迫から受入費用は高いと推察され、廃棄物受入費用での地域性がみられた。

廃棄物の受入費用は中間処理施設の特性および地域性による影響がみられたことから、今後はこれを考慮したうえで処理費用の算出を行うべきである。

5.2 廃棄物処理における CO₂ 排出量調査

廃棄物受入量と CO₂ 排出量の関係を図 15 に示す。廃棄物の受入量が増加すると年間 CO₂ 排出量は多くなり、高い相関性がみられた。なお、各区分における CO₂ 排出量と受入量の関係も同様であった。よって、廃棄物処理における CO₂ 排出量は受入量から予測可能であり、解体工事で発生した廃棄物処理における CO₂ 排出量は (式 4) より予測される。

廃棄物処理による CO₂ 排出量(t-CO₂) = 0.0545 × 延床面積(m²) - 0.03369 … (式 4)

6. 解体工事の概算システム

本研究で得られた解体工事作業時間から試算した解体工事費用および廃棄物量から試算した廃棄物処理費用の試算結果を解体工事費用として、解体工事における重機使用、廃棄物運搬、廃棄物処理で発生する CO₂ 排出量を解体工事における LCCO₂ としてモデルケースおよび予測式の構築を行った。なお、解体工事費用について、以下の条件を設定して解体工事費用の試算を行った。

- 1) 廃棄物処理費用は関東圏のものを使用する (表 11)
- 2) 作業員への日当を 15000 円とする

6.1 解体工事費用の算出

各解体工事現場における廃棄物排出量、作業時間を基に、中間処理施設に持込んだ廃棄物の持込形態別で試算した解体工事費用を図 15 に示す。解体工事費用のうち、作業費用の占める割合は廃棄物をリサイクル可能な状態で持込んだ場合で約 18%、リサイクル不可の状態で持込んだ場合で約 9%と小さいことがわかる。また、リサイクル不可における処理費用からリサイクル可の処理費用を除いた値を分別によって削減が期待される費用とすると、削減期待費用は平均 73 万円となった。これは本調査における平均作業費用 12 万円に対し約 6 倍であるが、既往文献⁵⁾より廃棄物の分別作業に要する時間は全体の約 2.8%と極めて小さいと述べられている。

よって、分別作業による作業費用の増額よりも分別による処理費用削減額の方が大きくなることが予想され、解体工事費用削減に対

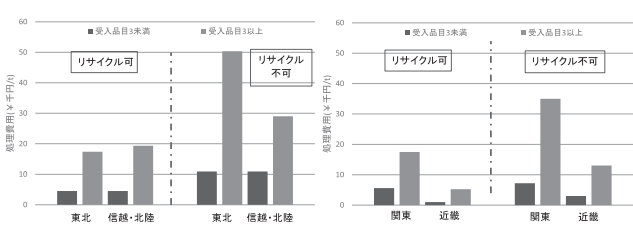


図 11 受入品目数別各地域の汚泥受入費用

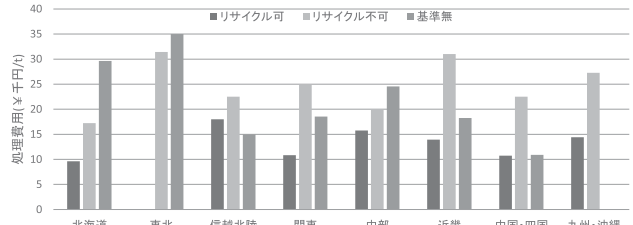


図 12 地域別木くず受入費用

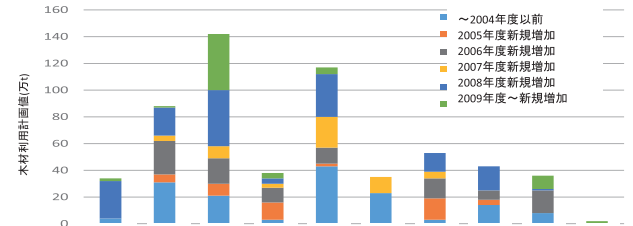


図 13 地域別建設発生木材利用値¹⁵⁾

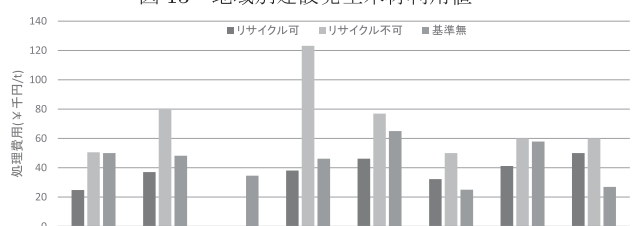


図 14 地域別混合廃棄物受入費用

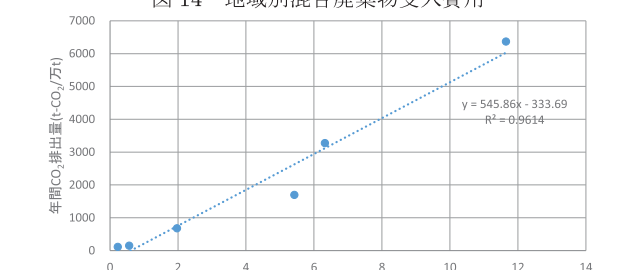


図 15 廃棄物受入量と CO₂ 排出量

表 11 関東圏の平均受入費用

グレード		コンから	その他がれき	ガラ・陶	廃プラ
リサイクル可	千円/t	3.6	6.2	11.0	21.4
リサイクル不可	千円/t	5.9	10.0	22.3	37.9
基準無	千円/t	2.0	11.1	19.9	33.1
グレード		金属くず	汚泥	紙くず	木くず
リサイクル可	千円/t	1.0	13.5	9.2	10.8
リサイクル不可	千円/t	13.5	21.1	30.5	24.9
基準無	千円/t	9.0	40.0	28.7	18.5
グレード		繊維くず	石膏ボード	混廃	
リサイクル可	千円/t	57.2	32.5	38.1	
リサイクル不可	千円/t	95.7	65.3	123.2	
基準無	千円/t	69.4	31.1	46.2	

する分別解体の有用性が示唆された。しかし、本調査では分別作業によってリサイクル可能な状態にできる廃棄物量と分別に要する作業時間は明らかでないため、今後は分別作業に要する作業時間を検討し、作業費と処理費用の関係性を明らかにする必要がある。

6.2 LCCO₂の算出

各解体工事現場における重機使用、廃棄物の運搬、廃棄物処理におけるCO₂排出量を基に、解体工事におけるLCCO₂試算結果を図17に示す。延床面積が広くなるに従い、CO₂排出量は増加する相関性が確認できた。よって、解体工事におけるLCCO₂は、物件の延床面積情報を基に（式5）より予測可能である。

$$LCCO_2 = 0.0324 \times \text{延床面積}(\text{m}^2) + 0.502 \quad \cdots (\text{式} 5)$$

なお、廃棄物の運搬によるCO₂排出量について、輸送距離40kmを境に排出量は異なる結果となったが、LCCO₂における運搬で排出されるCO₂は少ないことから、輸送距離によるLCCO₂の差はみられなかった。

図18に重機使用、運搬によるCO₂排出量と廃棄物処理によるCO₂排出量比較を示す。運搬、重機使用によるCO₂排出量は全体の約21%、廃棄物処理によるCO₂排出量は全体の約79%を占めていたことから、本調査においてCO₂排出量の多くは廃棄物処理由来であることが分かった。図19は全国で最終処分、焼却処分されている廃棄物の再資源化・再利用を徹底した場合のCO₂排出量削減効果および最終処分削減量を示すが、最終処分、焼却処分によるCO₂排出量に比し、再資源化・再利用によるCO₂排出量は小さいことから、最終的なCO₂排出量は削減されていることがわかる。よって、分別解体を行うことで焼却、最終処分量削減することによる環境負荷抑制効果が期待できる。

7. まとめ

本調査研究より、解体工事における廃棄物排出量、作業時間、重機使用によるCO₂排出量、廃棄物処理によるCO₂排出量、廃棄物処理費用は、解体工事物件の延床面積から予測可能であることを明らかにした。また、解体工事で発生した廃棄物の運搬によるCO₂排出量は、解体工事物件から中間処理施設までの輸送距離が40km以上、未満で分類することで、延床面積からCO₂排出量予測が可能である。

これにより、解体工事に要する費用、環境負荷の把握を行うとともに、解体工事における分別解体、および廃棄物の再資源化による解体工事費用の削減、CO₂排出量の削減効果に対する有用性を明らかにした。今後は、建物条件による各作業工程に要する作業時間への影響を検討、作業費用に対する分別解体の有用性を明らかにするため、分別解体に要する作業時間と廃棄物排出量の把握、全国的な中間処理施設調査から処理方式や地域性と処理費用、およびCO₂排出量の検討を行う必要がある。

【参考文献】

- 環境省：産業廃棄物の排出・処理状況について（H25），<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html>
- 環境省：建設リサイクル制度に係る論点，http://www.ecosys-consulting.co.jp/inkai/env/04_2_07.pdf
- 環境省：産業廃棄物の不法投棄等の状況について（H26），http://www.env.go.jp/recycle/ill_dum/santouki/
- 日本建設連合会：施工体制における法令違反の是正～重層下請構造の改善にむけて～，http://www.nikkenren.com/sougou/ikusei_3_01.html，2013.2
- 酒谷 舜：木造住宅の分別解体及び廃棄物処理の適正化に関する研究-コスト及び環境影響に関する検討，明治大学大学院2015年度修士論文
- 寺島 一浩ほか：事例に基づいた木造戸建て住宅解体後の再資源化の実態とその評価，日本建築学会大会学術講演梗概集D-1，p.897-898，1998
- 天野 耕二ほか：産業廃棄物の再資源化・有効利用により環境負荷削減ポテンシャルの評価，土木学会論文集，Vol.64，No.1，p.26-45，2008
- 木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発，BRI-H15 講演会テキスト
- 遠藤和義：千葉県の実例における建設副産物の排出量に関する研究，建築学会大会学術講演梗概集2015（建築社会システム），p.99-100，2015.9.4
- 岩崎圭佑ほか：実測調査に基づく木造住宅建設時の環境負荷原単位に関する研究（第2報）実測調査に基づくCO₂排出量の算定と比較社団法人空気調和・衛生工学会学術講演梗概集，2006，p.2193-2196，2006.9.5

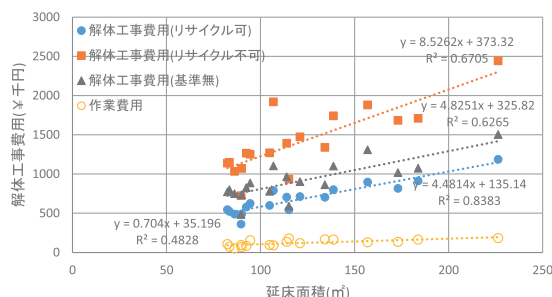


図16 解体工事費用モデルケース

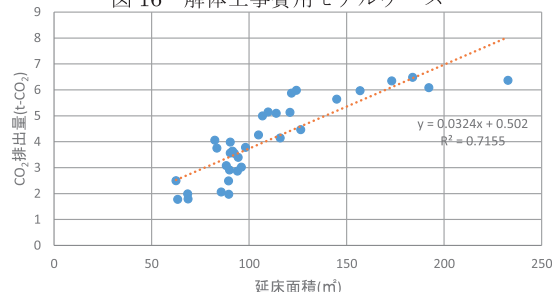


図17 解体工事のLCCO₂

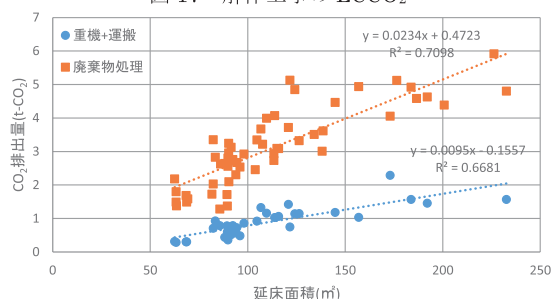


図18 CO₂の排出別比較

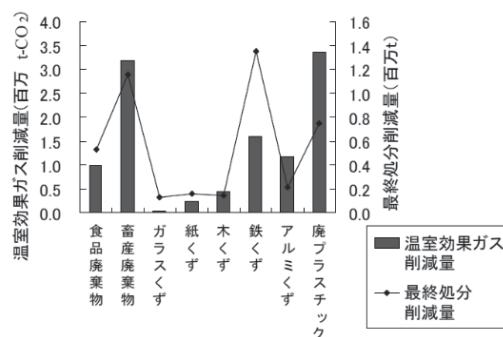


図19 処理方法別CO₂排出量⁹⁾

- 経済産業省、国土交通省：物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン，<http://www.greenpartnership.jp/pdf/co2/co2brochure.pdf>
- 経済産業省、環境省：電気事業者別のCO₂排出係数2013年度実績・，http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h27_coefficient.pdf，2014.12.5
- 環境省：温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン，https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/jimu/data/santeiguideline.pdf，2015.4
- 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量原単位データベース(ver.2.1)，http://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/comm_rep/unit201203v2-02.pdf
- 国土交通省：建設リサイクルの現状と更なる推進に向けて，<http://www.3rsuishinkyogikai.jp/event/data/H25R22.pdf>，2014.2.21
- 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「建設混合廃棄物の再生利用促進に関する検討会」，http://www.dokeiren.gr.jp/assets/files/pdf/teigen/2013_07kensetsu_haiki_butsu.pdf，2013.7

【謝辞】

本研究の実施にあたり、2016年度・明治大学大学院理工学研究科・修士生の日村みのり氏に調査・分析の協力を得ました。ここに厚く謝意を表します。