

令和 3 年度

解体工事に係る研究報告書梗概集

《研究発表会》

日 時 令和 3 年 9 月 1 7 日（金） 1 4 : 0 0 ~

会 場 鉄鋼会館（701 会議室）

[東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10]

公益社団法人 全国解体工事業団体連合会

[東京都中央区八丁堀 4-1-3 安和宝町ビル 6F]

— 趣 旨 —

この梗概集は、公益社団法人全国解体工事業団体連合会が実施する令和２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	・ RC 造建物解体作業の技能要素分析に関する調査研究	
	船 木 裕 之	職業能力開発総合大学校 建設施工・構造評価・ユニット准教授
2	・ 階上解体における調査・サポート設計指針の策定	
	湯 浅 昇 青 木 孝 義	日本大学 生産工学部 建築工学科教授 建築構造技術研究所（名古屋市立大学）所長
3	・ 低品質再生骨材を用いたコンクリートの利用拡大に関する研究	
	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部 環境創造工学科教授
4	・ 解体工事における建築物の挙動把握に関する研究	
	青 木 孝 義 張 景 耀 湯 浅 昇	建築構造技術研究所（名古屋市立大学）所長 建築構造技術研究所（京都大学） 日本大学 生産工学部建築工学科教授

(公社) 全国解体工事業団体連合会

2020 年度 「解体工事に係る研究助成金」 梗概

RC 造建物解体作業の技能要素分析に関する調査研究

申請者

職業能力開発総合大学校
船木 裕之

1. はじめに

建設業法等の一部を改正する法律（平成 26 年法律第 55 号）」が平成 28 年 6 月 1 日に施行され、約 40 年ぶりに建設工事業に解体工事が新設された。この目的は解体工事業で維持更新時代に対応した適正な施工体制の確保を実施するためである。施工体制の確保には、適切な人員配置が欠かせない。しかし、近年の建設業においては熟練技能者の高齢化、若年入職者の減少等¹⁾により、技能者への技能継承が困難な状況である。そのため解体工事業にとって新規入職者の確保と適切な解体工事が実施できる解体技能者の人材育成は喫緊の課題である。筆者らは新規入職者が、早期に解体現場で活躍するためには、技能者自らが使用頻度の高い技能要素を把握し、その技能要素から取得することが大切であると考えます。

そこで、本研究では RC 造建物の現場調査と事業主へのアンケート調査を通じて、解体技能者に必要な技能要素とその標準的な習得時期を明らかにすることを目的とした。本年度はコロナ禍の影響により解体現場への立ち入りが制限され、計画に遅延が生じた。本稿は現在まで調査した途中経過について報告する。

2. 研究方針

RC 造建物の解体に必要な技能要素を明らかにするため、本稿では①解体に関する文献調査並びに技能要素の選定、②解体工事の現場調査及び解体技能者に対するヒアリング調査、③技能要素の習得時期に関するアンケート調査の 3 段階で実施した。なお、③については現在、継続的に実施している。

3. 文献調査並びに技能要素の選定

解体に必要な技能要素を選定するため、参考文献 2-7) 並びに既存工事の施工計画書、工事完了報告書を参考に解体工事業に必要な技能要素と資格（資格、免許、技能講習、特別教育）等を選定した。その後、選定した技能要素から、高齢・障害・求職者・雇用支援機構が作成した「職業能力の体系図」に準じて解体工事業（RC 造建

物）の「仕事の体系」案を新規に作成した。「仕事の体系」とは職種ごとの具体的な仕事の内容（作業に必要な知識、技能・技術要素の内容）を示したものである。本稿では 3 種類の技能者（施工管理者、手元、車両系建設機械運転技能者）に必要な 26 工種と解体工事業に必要な資格一覧を作成した。表 1、2 に選定した技能要素と、本研究で作成した「仕事の体系」の一部を例としてそれぞれ示す。なお、「仕事の体系」は必要に応じて更新を行うものとする。

表 1 作成した「仕事の体系」の工種一覧

施工管理者		車両系建設機械運転		手元	
施 工 計 画	対象物の調査	に 車 両 系 建 設 機 械 運 転 機 械	建設機械運転（基本）	人 力 に よ る 解 体 作 業	天井撤去
	解体計画、手続き		掘削作業		天井下地の撤去
	解体工程の検討		小割		壁材の撤去
	安全衛生関係		大割		壁下地材の撤去
	環境保全関係		大割（低層）		床の撤去
	騒音・振動		大割（中層）		床の下地材の撤去
	産業廃棄物の処理		大割（高層）		アスベスト含む建材の処理
	終結作業計画		基礎構造物		最終処理 整地
	近隣対応		設備撤去		

表 2 「仕事の体系」の一例（大割作業）

職 務	車両系建設機械運転	レベル	L 3	指 示 を 受 け 作 業 で き る	一 人 で 可 能	指 導 で 可 能
仕 事	大割（高層）					
作 業	作業に必要な知識及び技能・技術（主な動作とそのポイント） 車両系建設機械（解体）の免許を取得している。 高層の大割作業ができる					
1 大割作業（基本技術）	1 大割作業ができる。 2 壁の圧砕ができる。 3 梁の圧砕ができる。 4 柱の圧砕ができる。 5 柱の切欠部の寸法を決めることができる。 6 スラブの圧砕ができる。 7 階段の圧砕ができる。 8 外壁縁切り・圧砕ができる。					
2 引き倒し	1 安全に引き倒すことができる。 2 壁などにねじりがあった場合に、修正できる。 3 2 台の重機で協力して引き倒しができる。 4 振動・騒音を抑えて引き倒しができる。 5 梁主筋をつかみながら引き倒しができる。					
3 サポート	1 とび職と協力、指示しながら、作業を進めることができる。 2 引き倒し時のサポートができる 3 小割作業がしやすい位置に部材を配置できる。 4 散水の指示ができる。 5 腐材を金属（鉄、アルミニウム）、防水材、コンクリートに分別することができる。					
4 アタッチメント変更	1 アタッチメントの種類を知っている。 2 適切なアタッチメントを選択できる。 3 アタッチメントを変更作業ができる。					

4. 解体工事現場調査とヒアリング調査

解体工事現場の実情を把握するため、解体工事現場での調査並びにヒアリング調査（以後、現場調査等と称す）を実施した。表 3 に調査対象である現場の概要を、図 1 に調査対象現場の状況をそれぞれ示す。調査対象は、職業訓練施設 1 件、共同住宅 3 件、模擬家屋 2 件の計 6 件である。模擬家屋は、筆者らが所属する職業能力開発総合大学の 3 年生が RC 施工実習で製作した実習課題である。現場調査では、解体工事をビデオ撮影し、可能な場合は定例会議に参加した。ヒアリング調査では、休憩中の解体技能者 5 名に 5 分程度で簡単な職歴と施工を行う上での要点について質問した。

文献調査とヒアリング調査の結果より、建設技能者の入職後の一般的なキャリア形成模式図を取りまとめた。図 2 に解体技能者のキャリア形成模式図を示す。同図には現場調査等から得た職種並びに作業項目と代表的な能力要素を記載している。解体技能者のキャリア形成は所属する事業所の規模により異なるため、従業員数 10 人

以上の事業主を基本として考えた。一般に新規入職者は入職後、解体技能者または施工管理者のいずれかの職種を選択する。解体技能者は、入職から数年程度、手元と呼ばれる内装解体や建設機械による解体の補助を行う。その後、手元を主たる業とするか、必要な資格を取得し車両系建設機械（以下、建設機械と称す）による解体を業とするかを選択する。しかしながら、手元と建設機械運転業務との職種の区別は非常にあいまいである。実際には、解体現場の人員や工程により、担当する工種が決定するため、双方の作業ができることが望ましいとのことであった。

建設機械による解体は、主に建設機械運転業務の初心者が行うコンクリートガラや鉄筋、土砂をトラックに積み込み作業やコンクリートガラを圧砕する小割作業、構造体を圧砕する大割作業などがある。大割作業は建物の崩壊などの危険が伴うため、建設機械による解体を行う技能者において高い技能が必要とされている。そのため、車両系建設機械運転技能講習（解体）を修了した者であっても実務を行ったことがない技能者も多いとのことである。

表 3 解体工事現場の概要

	建物種別	工事種別	構造	規模	調査期間	所在地	備考
①	職業訓練施設	躯体工事	ラーメン	3階建て	2021年2-3月	和歌山県	定点カメラ観測
②	共同住宅	躯体工事	ラーメン	5階建て	2021年3月	大阪府	
③	共同住宅	基礎工事	ラーメン	5階建て	2021年3月	大阪府	
④	共同住宅	杭引抜工事	ラーメン	5階建て	2021年3月	大阪府	
⑤	模擬家屋	躯体工事	ラーメン	1階建て	2020年3月	東京都	学生が実習で製作した模擬家屋
⑥	模擬家屋	躯体工事	ラーメン	1階建て	2021年3月	東京都	



図 1 調査対象現場の状況

あった。特に高層建物の大割作業は、十分な経験を積んだ解体技能者が施工を行う必要がある。通常、この業務は専任の技能者が担当し、元請の指名の場合も多い。一方、手元作業を担当する技能者も、車両系建設機械による積載作業や可能であれば小割作業までの技能を習得していたほうが良いとの意見があった。また、少数ではあるが、途中で施工管理者になるキャリアを選択する者もいる。

各職種の経験年数は、技能者により大きく異なった。一例を挙げると初めて建設機械運転業務に携わった年数は、入職後早い者で3年、遅い者で10年程度であった。建設機械運転業務を行ったきっかけは、他に技能者がいなかったなどの現場都合、上司からの指示や自ら希望したなど様でない。

現場調査等から、解体技能者のキャリア形成は、多くのビジョンがあり、技能習得にかかる年数も技能者によってばらつきがあることが判明した。そこで解体技能者の標準的なキャリア形成を把握するため、アンケート調査を行い技能習得の時期について集計することとした。

5. アンケート調査

5.1 アンケート調査概要

解体工事業に必要な技能要素と資格・免許の習得時期

を把握するため、解体工事業を営む事業主に対し郵送でアンケート調査を実施した。

調査対象は、都道府県の解体工事業の登録簿から株式会社規模を有する事業所 500 社を無作為に選択し、アンケートを送付した。

アンケート項目は、①解体工事業に用いる資格・免許の習得時期とその必要性、②解体工事業に必要な技能要素のレベルと習得時期、③人材育成に関する問題点等の3種類とした。表4に資格・免許に関するアンケート項目を、表5に解体工事業に必要な技能要素に関するアンケート項目をそれぞれ示す。技能要素の項目は、本稿で作成した「仕事の体系」と現場調査等の結果を踏まえ、アンケート用に修正したものを使用した。

資格・免許の必要性は、「必要である」「有していることが望ましい」「必要に応じて取得する」を3段階で質問した。技能要素の技能レベルは、該当する仕事が「指示されてできる」「一人でできる」「指導できる」の3段階で質問した。

5.2 アンケート調査結果

アンケート調査結果については現在、回収、集計中である。そのため、ここではアンケート項目の確認のため実施した事前アンケート調査について報告する。調査対象者は、施工管理者並びに職長の2名である。調査結果

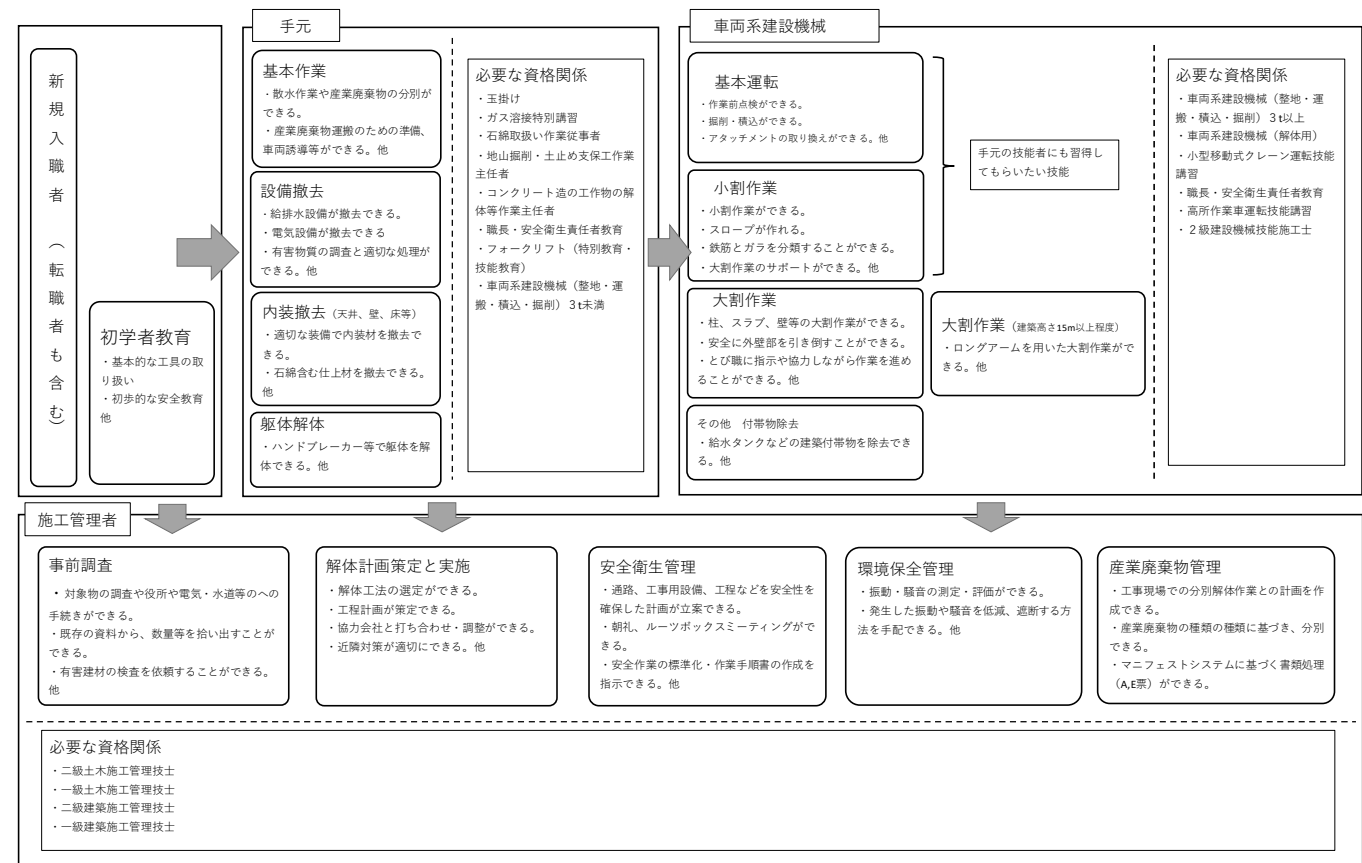


図2 解体技能者の一般的なキャリア形成模式図

は 2 名の話し合いによる合意にて決定した。事前アンケート調査ではアンケート調査と併せてヒアリング調査も実施した。表 6 に解体業に必要な資格・免許に関する事前アンケート結果を示す。同表によると、玉掛け、ガス溶接特別講習、石綿取扱い作業従事者・粉じん作業特別教育などの解体作業に直結する技能資格は、入職後 1 年以内に取得することを目標としているとのことであった。職長・安全衛生責任者教育などは、受験推奨年次を得たら直ちに習得させたい資格とのことであった。車両系建設機械運転 (3t 未満、3t 以上、解体) は、入職後 1～5 年で所持してほしい資格である。しかし、事業所の予算等も関係することから、積極性の高い技能者から優先して取得する計画を組んでいるとの回答を得た。

手元作業の習得時期は、指導しながらの作業であれば 1 年程度で安全に作業が可能になる者が多い。また、およそ 3 年で特殊な建物も指導をしなくて作業できるようになる。新規入職者の指導、施工管理などができる職長程度の能力を有するまでには、一般に早くて 5 年程度の時間を要するとの回答であった。

建設機械による解体は、出力の小さな建設機械で一通

表 4 資格・免許に関するアンケート調査項目

職種	資格・免許の種類
建設機械	小型車両系建設機械 運転特別教育 (整地・運搬・積込・掘削) 3t未満
	車両系建設機械 技能教育 (整地・運搬・積込・掘削) 3t以上
	車両系建設機械 技能教育 (解体用)
	特定解体機械 (ブームが25m以上のものが扱えるもの) 自社資格等がある場合のみ
	小型移動式クレーン運転技能講習
	高所作業車運転特別教育 (10m未満)
	高所作業車運転技能講習 (10m以上)
	2級建設機械技能施工士
	フォークリフト (特別教育・技能教育)
技能講習・特別講習関係	職長・安全衛生責任者教育
	コンクリート造の工作物の解体等作業主任者
	地山掘削・土止め支保工作業主任者
	足場の組立て作業主任者 (足場組立の特別教育)
	ガス溶接特別講習
	石綿取扱い作業従事者、粉じん作業特別教育
運転免許	玉掛け
	大型自動車運転 大型特殊自動車運転
産業廃棄物	特定化学物質等作業主任者
	特別管理産業廃棄物管理責任者
施工管理資格	二級土木施工管理技士
	一級土木施工管理技士
	二級建築施工管理技士
	一級建築施工管理技士
	解体工事施工管理技士

表 5 解体工事業に必要な技能要素に関するアンケート項目

施工管理 ①対象物の調査	事前調査・手続き	施工管理 ③安全衛生管理計画	工事用設備の安全点検責任者を定め点検させることができる	車両系建設機械 基本運転	車両系建設機械 基本運転
	対象建物および周辺状況について確認できる		安全作業の標準化・作業手順書の作成、または作成を指示できる		車両系建設機械運転
	作業場所についての状況、搬入経路、残存物品の有無について確認できる		安全衛生協議会の設置ができる		②地下構造物
	工事着工前に、事前に関連部署に届け出を提出できる		通路、工事用設備、工程などの安全性を確保した計画が立てることができる		転圧作業ができる
	建物の構造や規模の調査		休憩所を整備できる		車両系建設機械 付帯物の除去
	既存の資料から主体構造、形式、寸法などを拾い出すことができる	施工管理 ④環境保全計画	安全に関する心得を用意し、徹底することができる	車両系建設機械運転 ③付帯物	汚泥、ガラを分別し、積載できる
	現場調査が実施できる。		朝礼、ツールボックスミーティングができる		車両系建設機械 付帯物の除去
	増築の有無、地中内構造物、地下水位、増築の有無を調査することができる		環境保全計画の策定方針を決めることができる		給水タンクなどの建築付帯物を除去、移動できる
	内装調査		騒音・振動の条例・規則を調査することができる		清掃
	内装の種類を判別することができる		騒音・振動の少ない機械、工法を知っている		清掃
	付着物・有害物の調査		発生した振動や騒音を低減、遮断する方法を手配できる		自社作業所のルールに沿った清掃ができる
	石綿含有建材やPCB含有建材の調査を依頼することができる	施工管理 ⑤産業廃棄物の取り扱い	振動・騒音の測定・評価ができる	手元 ①建築設備撤去	建設設備の撤去作業ができる
	引き込み線の処理、工事用設備の手続き		分別等の計画・実施		給排水設備が撤去できる
	ガス、電気、水道、の休止、廃止の手続きができる		建設リサイクル法に対する環境保全計画及び関連する法令、通達、規則、条例などを調査することができる		電気設備が撤去できる
	不要な配管の切断、切り回しができる		工事現場での分別解体作業との計画を作成できる		有害物質の調査と適切な処理ができる
	工事用電気配線、水道配管の準備、手続きができる		産業廃棄物、特定管理産業廃棄物などの分別処理方法が提案・実施できる	手元 ②壁土撤去	天井解体
施工管理 ②施工計画・実施 (解体計画工程)	ガードレール、標識などの道路障害物の確認と除去等の手続きができる	車両系建設機械 基本運転	産業廃棄物の種類の種類に基づき、分別できる		防水層やシーリング等を除去できる
	解体計画		マコフェストシステムに基づく書類処理 (AE票) ができる		防水層、笠木、手すり等を分別できる
	建設リサイクル法、騒音、振動等に関する法令、通達、規則、条例などを調査できる		車両系建設機械 基本運転		天井解体
	解体工法 (地上解体、通常解体) の選定ができる		作業前点検とメンテナンスができる		適切な装備 (マスク等、工具) で天井材を撤去できる
	重機の選定 (サイズ、台数、アタッチメント) を選定できる		基本作業 (掘削、積込) ができる		天井地下材を撤去できる
	重機・ダンプの搬入計画が策定できる	車両系建設機械 小割作業	アタッチメントの種類を選択と変更ができる	手元 ②内装材撤去	特殊な構造・工法の天井材を撤去できる
	工事全体の工程計画が策定できる		車両系建設機械 小割作業		石綿含仕上げ材を含む天井材を撤去できる
	近々の工程表を作成できる		小割作業ができる		壁解体
	発注者との協議		鉄筋とガラを分断することができる		適切な装備 (マスク等、工具) で壁仕上材を撤去できる
	発注者に分別解体工事の概要を説明できる。		コンクリートガラでスロープを作ることができる		壁下地材を撤去できる
	発注者と法律に基づき契約できる。	車両系建設機械運転	積み込みやすい配置ができる		建具等を撤去できる
	協力会社との施工工程の調整		大割作業のサポートができる	手元 ③躯体工事	特殊な構造・工法の壁仕上材を撤去できる
	工事全体の施工系計画を立案できる		車両系建設機械 大割作業 (15m以下程度)		石綿含仕上げ材を含む壁仕上材を撤去できる
	施工計画に基づき協力会社と工事の調整ができる		大割作業の基本技術 (壁・柱、梁、スラブ、階段等の圧壊) ができる		床解体
	協力会社に分け工事の概要を説明できる		柱等の適切な切欠き寸法を決定することができる		適切な服装で壁仕上材を撤去できる
施工管理 ③安全衛生管理計画	終結作業の計画		安全に外壁部を引き出すことができる		床下地材を撤去できる
	片付け・整地・現状回復する計画ができる	車両系建設機械 大割作業 (建物高さ15m以上程度)	高強度コンクリート造の建物の引き倒しができる		特殊な構造・工法の壁仕上材を撤去できる
	近隣対策とトラブル解決		振動・騒音等を抑えた引き倒しができる		石綿含仕上げ材を含む壁仕上材を撤去できる
	近隣に対する説明と適切なトラブル対応ができる		とび職と協力しながら安全に作業を進めることができる		躯体撤去工事
	安全衛生管理の策定方針		車両系建設機械 大割作業 (建物高さ15m以上程度)		散水、廃棄物分別 (鉄筋、木片、コンクリートガラ、防水シート) 作業ができる
施工管理 ③安全衛生管理計画	現場管理者、主任技術者、作業主任者等の権限と役割を明確にできる		ログブームを用いた大割作業ができる		廃棄物運搬のための準備、車両誘導等ができる
					車両系建設機械のアタッチメント交換の補助ができる
施工管理 ③安全衛生管理計画					ハンドブレイカー等の手工具で解体作業が実施できる

表 6 解体工事業に用いる資格等の習得時期とその必要性（事前アンケート結果）

	1年未満	3-5年程度	5-10年程度	推奨年次、受験資格を得ただけに取得する
必要	・玉掛、・ガス溶接特別講習 ・石綿取扱い作業従事者 ・粉じん作業特別教育 ・小型車両系建設機械 運転特別教育（整地・運搬・積込・掘削）3t未満	・車両系建設機械 運転技能講習（整地・運搬・積込・掘削）3t以上 ・車両系建設機械 運転技能講習（解体用）		・職長・安全衛生責任者教育 ・二級土木施工管理技士 ・二級建築施工管理技士（リフォーム業も含む場合）
有していることが望ましい	・高所作業車特別講習（10m未満）	・足場の組立て作業主任者（足場組立の特別教育を含む） ・地山掘削・土止め支保工作業主任者 ・コンクリート造の工作物の解体等作業主任者		
必要に応じて習得する	・解体工事施工技士試験 ・一級土木施工管理技士 ・一級建築施工管理技士 ・二級建築施工管理技士		・小型移動式クレーン運転技能講習 ・2級建設機械技能施工士 ・フォークリフト（特別教育・技能教育） ・特定化学物質等作業主任者	

りの作業をした後、徐々に出力の大きな建設機械で解体しながら技能を習得する。今回の調査では建設機械の運転業務に従事して 1-2 年目で積込や小割作業を習得し、大割作業は 2 年以降に習得するのが理想であるとの結果であった。大割作業の標準的な指導法は、熟練技能者が経験の浅い技能者をサポートしながら実務経験を積ませる。一人で大割作業を行うには 5 年程度の経験が必要で、職長としてとび職、施工管理者との調整を滞りなく安心して任せられるのは 10 年程度の経験が必要であるとの回答であった。高層建築物の大割作業ができる具体的な年数は不明だが、概ね 10 年以上の経験年数を有していると思われるとのことであった。

施工管理者の技能要素は、指導を受けながらであれば、全ての作業がおおむね 1 年以内にできる者が多いとのことであった。施工管理者により得手・不得手があるが、3 年程度でほとんどの作業ができる能力を習得する。また、会議等で問題のない施工計画書や工程表の作成、解体工法の選定などができるには、10-15 年程度必要であるとの回答であった。

6. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 解体工事業に必要な技能要素を文献調査並びに現地調査、事前アンケート調査等から明らかにし、仕事の内容について示した「仕事の体系」を、26 工種作成した。
- 2) 解体工事業に必要な資格・免許について明らかにし、その目安となる習得時期について明らかにした。
- 3) 事前アンケート調査から、手元、車両系建設機械運転技能者、施工管理者に必要な技能の習得時期を明らかにした。

【謝辞】

本研究は（公社）全国解体工事業団体連合会 2020 年度「解体工事に係る研究助成金」を受けた。また、現場調査に協力していただいた関係者並びにアンケート回答者の多大なる協力を得た。ここに感謝の意を示す。

【参考文献】

- [1] 国土交通省：建設労働者を取り巻く状況について、https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12602000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Roudouseisakutantou/0000090621.pdf, (2021,6,1 アクセス)
- [2] （公社）全国解体工事業団体連合会：解体工事施工技術講習テキスト＜解体工事技術編＞,2019.9.
- [3] （一法）公共建築協会：建築物解体工事共通仕様書（平成 31 年度版）・同解説, 2019.6.
- [4] 建設業労働災害防止協会：コンクリート工作物解体工事の作業指針, 2019.12.
- [5] 建設業労働災害防止協会：車両系建設機械運転教本【解体用】技能講習テキスト, 2014.12.
- [6] 建設業労働災害防止協会、（社団）全国登録教習機関協会共著：車両系建設機械の運転業務の安全, 2018.4.
- [7] 建設業労働災害防止協会：建築物等の解体・改修等工事における石綿作業主任者技能講習テキスト, 2021.4

階上解体における調査・サポート設計指針の策定

日本大学生産工学部 湯浅 昇
名古屋市立大学 青木孝義

1. はじめに

日本建築学会では、現在、建築物の解体工事研究小委員会（委員長：湯浅昇、委員：青木孝義他）を設置し、解体に関する仕様書の改訂作業を行っているが、階上解体におけるサポート計算において、考え方が定まっておらず、計算規準がない。新築の構造設計規準に並ぶ解体構造設計規準が望まれる。解体工事業が成立した中、解体構造設計規準ならびに簡易な解体建物の保有耐力調査法が定まれば、自立した業として活躍の場が大いに広がると考えられる。

そこで本研究は、今は規準がないため、個々に設定・計算されている、①負荷荷重の設定、②安全な階上作業が可能な構造部材および仮設サポートの許容応力度設定を日本建築学会としての規準として定められるよう整理・立案することを目的とした。

ここでは、解体構造物に適用可能な強度、構造、劣化度に関する非破壊試験方法の種類と特徴を整理し、2021年春時点における階上解体・サポートに関する本文、解説案を紹介する。

2. 解体構造物に適用可能な非破壊試験方法の種類と特徴

2.1 解体構造物に求められる非破壊試験の簡易性

「非破壊試験」といえば、「非破壊」の裏に常に「簡易性」が隠語として存在する。「簡易性」と「非破壊」は本質的には別の議論であるが、やはり土木・建築そして解体の分野では、大局的には、「非破壊試験」には「簡易性」を含んだ用語として扱うべきであろう。

表-1は、解体構造物の調査・試験に求められる「簡易性」を整理したものである。

表-1 解体構造物における調査・試験の簡易性

調査現場に行く前の段階	使用する道具・装置	・数が少ない ・入手しやすい(どこでも手に入る) ・安い ・機能が複雑でない ・操作が簡単
調査現場	試験器等の設置・セッティング、撤去・補修	・段取り数が少ない ・セッティング・撤去到時間がかからない ・セッティング・撤去が簡単である ・セッティング・撤去到経費がかからない ・破壊程度が小さい ・試験後の補修に時間がかからない ・試験後の補修に経費がかからない
	試験・操作	・試験・操作に時間がかからない ・必要な人数が少ない ・試験・操作に熟練を必要としない(簡単である) ・試験・操作に背景として高度な知識がいらない ・一測定に時間がかからない ・試験・操作現場で最終的に求める試験値が得られる ・消耗品が少ない ・試験・操作における経費がかからない
調査現場から離れた段階	持ち帰りデータ・試験料の処理・分析	・段取り数が少ない ・処理・分析に高度な機器がいらない ・処理・分析に熟練や高度な知識がいらない ・処理・分析に時間がかからない ・処理・分析に経費がかからない ・最終的に求める試験値を得るまでに時間・月日がかからない

2.2 解体構造物に適用可能な強度に関する非破壊試験方法の種類と特徴

材料強度を試験する方法には、①構造物から採取した材料の直接強度試験による方法、②材料の表面硬度より推定する方法、③材料の貫入抵抗より推定する方法、④材料の切削抵抗より推定する方法、⑤材料の局部破壊試験により類推する方法、⑥構造物から採取した材料の空隙構造により分析する方法、⑦材料の音響特性より推定する方法による方法に大別できる。

表-2 は、解体構造物に適用が可能な強度に関する非破壊試験の種類と特徴を示したものである。

表-2 解体構造物に適用可能な強度に関する非破壊試験方法の種類と特徴

試験方法の種類			測定概要	長所	短所	対象	他の品質への展開	備考
直接法	小径コア法		JISに適用外の小径コアを切り出し、直接強度試験に供する	・直接強度を評価できる方法である ・柱・梁に適用できる ・直径の2倍の高さが確保されやすい ・目的に応じて、コンクリートの表層部と内部を分けて評価できる ・採取及び採取後の補修がJIS法に比し容易である ・現場持ち込み可能な低荷重装置により現場で強度の評価が可能な方法である	・切断した骨材とペーストとの付着破壊がJIS法に比べても更に懸念される ・直径10cm高さ20cmの円柱供試体を基準と考えると小径であることの寸法効果が懸念される ・試験体が表層部のものなのか内部のものなのか混同せず、またそれを明示する必要がある	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度	日本建築学会からCTM-14「コンクリートからの小径コアの採取方法及び小径コア供試体を用いた圧縮強度試験方法(案)」が提案されている ・NDIS3439「コンクリートの小径コアによる圧縮強度の試験方法」として制定作業中である。
	Point Load法		コア側面を曲率のある円錐支点で荷重し、破壊耐力を測定する。原理的には引張耐力の測定である	・小径コアを供試体に行ける ・破壊荷重が小さいので、現場持ち込み可能な低荷重装置により現場で強度の評価が可能な方法である ・目的に応じて、コンクリートの表層部と内部を分けて評価できる ・直接圧縮強度試験と併用が可能と考えられる	・コア径、骨材種類に影響を受ける	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度	・P.J.Robinsの提案による方法である
打撃法	反発度法	リバウンドハンマー法	コンクリート表面を打撃し、反発硬度を測定する	・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する ・15×15cm程度の測定面が必要なため仕上を取り除き、面を平滑にする必要がある ・圧縮強度への推定には多くの影響要因を補正する必要がある、関係式も多く、試験方法として確立できていない	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度	・最も普及している非破壊試験方法であり、JIS A1155として規格された。ただし、ハンマー、強度を推定する方法は規格外である ・実務者、研究者の間では、竣工検査レベルでの強度推定にはある程度期待できるが、年月を経過した構造物では推定は困難であるとの評価がある。 ・日大では、反発度に影響を及ぼす深さは1~2cm程度までであることを示した。最も普及しているN(R)型その他、P型(製造終了)、新たにSilver型がある ・反発速度比を指標とするNDIS 3438「コンクリートの反発速度比の測定方法」が制定作業中である。
		Leeb法	直径3mmのテストチップの付いたインパクトボディを所定の速度でコンクリート表面に衝突させ、その打撃速度および反発速度からエコーチップ硬さ値を求める	・計測機がコンパクトで測定が簡便 ・衝突エネルギーがリバウンドハンマーの2100~2300N・mmに対し11.5N・mmと小さい ・端部から5mm以上、隣接する測定点が3mm以上離れていれば測定ができ、供試体の寸法および形状の制限を受けにくい	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する ・測定面が必要なため仕上を取り除き、面を平滑にする必要がある	コンクリート、石、煉瓦、版築、漆喰、金属、木材、漆喰、テラコッタ、タイル	緻密度 劣化抵抗性 劣化度	・ASTM A 956 "Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products"において鉄の硬度を測定する方法として規格化された方法を日大・熊谷組がコンクリートの圧縮試験推定方法として整理・提案した ・3mm以内の表層のコンクリート品質が反映される
	機械インピーダンス法		剛球などに加速度計または力センサを内蔵した打撃体に取っ手をつけたハンマー等により、反発過程の機械インピーダンスを測定する	・リバウンドハンマーの反発度が表層の塑性の影響を受けるとの問題点が指摘されているが、この方法ではコンクリート内部の弾性体と見なせる内部の反発速度から強度を求める原理となっている	・測定面が必要なため仕上を取り除く必要がある	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度	・NDIS3434「コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法」の第3部:機械インピーダンス試験方法として規定されている ・反発過程の機械インピーダンスは、打撃体がコンクリートに衝突する反発過程において打撃体がコンクリートから受ける最大の力と打撃体がコンクリートから離れるときの速度の比と定義される ・影響範囲は深さ100mm程度とされる
	打撃変形法		コンクリート表面を打撃し、くぼみの深さ、直径、面積などを測定する	被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する	コンクリート、石、煉瓦、版築	劣化抵抗性 劣化度	・落下式ハンマー、ばね式ハンマー、回転ハンマー、ピストル硬球打撃による方法がある ・K. Geadeの提案によるが、最近ではほとんど用いられていない
	弾性波法	超音波法		コンクリートの超音波伝搬時間を測定し、コンクリートの音速を求める	・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・同一箇所に繰り返し適用できる ・大きな振動エネルギーと受信周波数の選定により、良好な測定が可能である ・コアもしくは2つのコア間の音速により深さ方向の分布を測定できる	・材料・調合・材齢の影響を受ける他、表面の状態、含水率、ひび割れや内部空隙の有無、鉄筋量、配置などの影響を受ける ・使用周波数を高くすると指向性は高くなるが、音波の減衰は大きくなる	コンクリート、石、煉瓦、版築、木材	緻密度 劣化抵抗性 劣化度 探傷・空隙 評価
衝撃弾性波法		測定する部位に振動検出器をあて、その近傍をハンマーで叩くことにより、衝撃弾性波伝搬速度を求める	・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・同一箇所に繰り返し適用できる ・超音波に比べても大きな振動エネルギーと受信周波数の選定により、良好な測定が可能である	・材料・調合・材齢に影響を受ける他、表面の状態、含水率、ひび割れや内部空隙の有無、鉄筋量、配置などの影響を受ける	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度 探傷・空隙 評価	・NDIS 2426-2「コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第2部:衝撃弾性波法」に規定されている ・超音波法の上記表面走査法にない同一平面に振動センサを走査させ深さ方向の弾性波伝搬速度分布を把握し圧縮強度分布を評価する試みがある	
共振法		切り出したコンクリートコアもしくは角柱の縦振動の一次共振振動数を測定する	・測定が簡便である ・同一試験体に繰り返し適用が可能である	・供試体の形状・寸法に制約がある	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度 劣化抵抗性 劣化度 探傷・空隙 評価	・JIS A 1107、JIS A 1127に基づいて動弾性係数を測定する ・構造体コンクリートを用いた耐凍結融解性の評価に利用できる	

検査法	引っかけ傷法		引っかけ試験器もしくは釘により、所定の荷重でコンクリート表面を引っかかり、その時の傷幅をクラックスケールで測定する	・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・僅かである引っかけ傷が残るのを許容できる場合、非破壊試験と位置付けられる ・脱型前のコンクリートを供すれば強度発現が評価できる ・内部のコンクリートとは相違することを前提に任意の時に表層劣化度を評価できる	・表面強度、表層劣化を評価するための方法であり、脱型前などはコンクリート強度発現を推定することも可能であるが、脱型後の乾燥の影響や劣化などを受けた場合、内部の強度までを推定できない。 ・高い強度(30N/mm ² 以上)域での推定は困難である。	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・日本建築士学会が床スラブの強度に関わる試験器として開発し、日大が構造体コンクリートの強度発現及び表層強度試験方法として整理した。構造体コンクリートに直接引っかけ方法と円柱供試体に適用できる方法がある ・三重大・名大では、荷重を考慮できる試験者により釘を用いて、極めて簡便に、多くのコンクリートを極短時間で評価する試験方法として提案している ・名城大では、コア側面に引っかけ試験器を適用させ、コアの採取時におおよそその強度評価が可能であり有効であると報告している
	切削抵抗法	コア法	コンクリートコアの切削効率を測定する	・深さ方向の強度分布を推定できる ・コア採取時にリアルタイムで評価が可能である	・骨材の影響を除去するためには、コア供試体による直接強度試験を併用する必要がある ・骨材最大粒径以下のコアドリルを使用した場合、コア径の影響が無視できない	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・大同工大、東北学院大学の検討実績があり、火害診断、アルカリ骨材反応劣化度診断に適用している
		ドリル法	一定の力で押しつけたドリルの削孔速度、もしくは定速載荷による反力や削孔エネルギーを測定する	・試験及び試験後の補修が極めて容易である ・深さ方向の強度分布を推定できる ・ドリル削孔時にリアルタイムで評価が可能である	・ビットの形状、切れ味の影響が大きい ・骨材の影響が大きい	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・清水建設が反力と圧縮強度の関係を、飛鳥建設が消費電力との関係を示しており、更に精度向上が必要であるが、構造体コンクリートへの適用可能性を示している ・日本診断設計が提案しているφ3mm程度のドリル刃による方法は、煉瓦、タイル、テラコッタに適用できるが、コンクリートへの展開は途上である
貫入抵抗法	ウィンザーブロープ法		コンクリートに銃でブロープを打込み貫入深さを測定する	・測定が比較的容易	・火薬を用いるため危険 ・銃の取り扱い資格を有する熟練工が必要 ・ブロープはガスで消滅するか、引き抜いて補修(φ100程度の損傷)が必要である ・使用骨材に影響を受ける	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・ASTM C 803として規格化されており、北米では初期材齢における強度管理に使われている ・日本では使用実績がない
	針貫入法		コンクリート表面に針を貫入し、荷重と貫入量との関係を求める	・(小径)コアの側面に対して深さ方向に移動させ実施した場合深さ方向の強度分布を推定できる	針が粗骨材に当たった時の結果を統計的に削除する必要がある	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・東北大が提案した方法である ・自動針貫入試験機を用いて約2mm間隔で測定が可能である
貫入抵抗法	ウィンザーピン法		ウィンザーピン(φ3.6×30.5mm)をバネでコンクリートに貫入させ、その貫入深さを測定する	・ウィンザーブロープ法と異なり火薬を使用しない ・測定が比較的容易	・取扱中の誤射に万全の注意が必要である ・ピンが骨材に当たるとか当たらないかにより測定値が大きく変わるのでコンクリートへの適用は困難	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・ASTM C803でウィンザーブロープ法とともに規定されている ・名市大、名大、日大によるイタリアのレンガ建築物への適用例がある
	孔内局部載荷法		コアを抜き取ったコンクリート孔側面局部を半球端子で載荷し、載荷重と貫入量との関係を測定する	・深さ方向の強度分布が測定できる	・コアを抜き取る必要がある ・端子が骨材に当たるとか当たらないかにより測定値が大きく変わるので測定結果の分析が必要である ・試験方法として更に整備・検討が必要である	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・川崎地質が考案した方法である
	ピン法		コンクリートに孔をあけ、特殊なアンカピンを挿入して耐力を測定する	・打設時に予めピンを埋め込む必要がない	・不規則な円錐形の局部破壊痕を生じる ・試験後に補修が必要	コンクリート、石、煉瓦	緻密度劣化抵抗性劣化度	・CAPO試験、Internal fracture 試験、ESCOT expanding sleeve 試験があるが、CAPO試験には特殊な削孔技術を要する
	引張法	表層引張法	正方形の鋼板をコンクリート表面に貼り付け、鋼板周辺に切り込みを入れ引張強度を測定する	切り込み深さに応じて測定できる	・コンクリートと鋼板の接着のため試験には最低2日を要する ・試験後に補修が必要	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・コンクリートに施した仕上げ材の接着試験への適用例が多い
		コア引張法	所定の深さまでコア切断を行いコアを直接引き抜きその耐力を測定する	・内部の強度が把握できる	・コアの切断が必要 ・コアの引き抜きのための装置の装着・設置が難しい ・試験後に補修が必要	コンクリート、石、煉瓦、版築	緻密度劣化抵抗性劣化度	・フルオフ法と称される ・海外の他、日本では八戸工大での研究実績がある
曲げ折法	曲げ折法		(小径コア)頂点近傍の側面に切り込みを入れた上で、水平力を加えて曲げ破壊耐力を測定する	・内部の強度が推定できる	・特殊な水平加力装置が必要である ・試験後に補修が必要	コンクリート、石、煉瓦、版築、木材	緻密度劣化抵抗性劣化度	・Einar Dahl-Jorgensenらにより内径55深さ70mmの切り込みを入れて行うBreak-off試験が提案されている
	空隙評価法		吸水法によりコンクリートの単位ペースト当たりの細孔量を測定する	・形状によらず、コンクリートから採取した小塊もしくはコアを適用できる ・切断可能な局部ごとに評価が可能である ・安価な一般化学器具及び試薬で測定が可能である	・試料の作製、測定に時間と手間を要する ・有効細孔量以外の指標を考慮に入れない分、北大提案の水銀圧入法に比し推定精度には限界がある	コンクリート、石、煉瓦、版築、木材	緻密度劣化抵抗性劣化度	・水銀圧入法(日大法)をもとに測定方法を簡便にしたもの

2.3 解体構造物に適用可能な構造に関する非破壊試験方法の種類と特徴

表-3 は、解体構造物に適用が可能な構造に関する非破壊試験の種類と特徴を示したものである。

表-3 解体構造物に適用可能な構造に関する非破壊試験方法の種類と特徴

試験方法の種類		測定概要	長所	短所	対象	備考
金属の位置	電磁波レーダ法	コンクリート面に電磁波を放射し、鉄筋により反射した電磁波を測定、解析することにより、かぶり厚を推定する。	・非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い。 ・全数検査が可能な方法である。	・コンクリートの誘電率（主に水分）により推定結果が異なる。直接法を併用し誘電率を検証するとよい。 ・ジャンカなど空洞の影響を受ける。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・JSTM-Ⅲ B5707（電磁波レーダ法によるコンクリート中の鉄筋位置の測定方法（案））として、日本建材・住宅設備産業協会で規格化されている。
	電磁誘導法	コンクリート近傍で発生させた磁束が、鉄筋により変化する時の電氣上（コイルの起電力）の変化を解析し、かぶり厚を推定する。	・空隙や仕上材等があっても推定が可能である。 ・非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い。 ・全数検査が可能な方法である。 ・原理的に、電磁波レーダー法に比し、より鉄筋径推定な方法である。	・電磁波レーダー法に比し、探査可能な深さが浅い（20cm以下）。 ・コンクリート中の鉄分に影響を受ける。直接法を併用し結果を検証するとよい。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・JSTM-Ⅲ B5708（電磁誘導法によるコンクリート中の鉄筋位置・径の測定方法（案））として、日本建材・住宅設備産業協会で規格化されている。
金属までの距離（かぶり厚）	直接法	コンクリートをはつるか、鉄筋の交差位置でコアをボーリングし、直接かぶり厚を測定する。	・確実な方法である。 ・鉄筋の腐食状況を同時に観察できる。	・破壊を伴い、補修工事が必要である。 ・構造物全体に対し、点における測定に限定される。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・主に非破壊試験において測定する場合も、その測定値を検証する意味で直接法を併用する方がよい。
	電磁波レーダ法	コンクリート面に電磁波を放射し、鉄筋により反射した電磁波を測定、解析することにより、かぶり厚を推定する。	・非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い。 ・全数検査が可能な方法である。	・コンクリートの誘電率（主に水分）により推定結果が異なる。直接法を併用し誘電率を検証するとよい。 ・ジャンカなど空洞の影響を受ける。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・NDIS 3429「電磁波レーダ法によるコンクリート構造物中の鉄筋探査方法」に規定されている ・JSTM-Ⅲ B5707（電磁波レーダ法によるコンクリート中の鉄筋位置の測定方法（案））として、日本建材・住宅設備産業協会で規格化されている。
	電磁誘導法	コンクリート近傍で発生させた磁束が、鉄筋により変化する時の電氣上（コイルの起電力）の変化を解析し、かぶり厚を推定する。	・空隙や仕上材等があっても推定が可能である。 ・非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い。 ・全数検査が可能な方法である。 ・原理的に、電磁波レーダー法に比し、より鉄筋径推定な方法である。	・電磁波レーダー法に比し、探査可能な深さが浅い（20cm以下）。 ・コンクリート中の鉄分に影響を受ける。直接法を併用し結果を検証するとよい。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・NDIS 3430「電磁誘導法によるコンクリート構造物中の鉄筋探査方法」に規定されている ・JSTM-Ⅲ B5708（電磁誘導法によるコンクリート中の鉄筋位置・径の測定方法（案））として、日本建材・住宅設備産業協会で規格化されている。

2.4 解体構造物に適用可能な劣化度に関する非破壊試験方法の種類と特徴

表-4 は、解体構造物に適用が可能な劣化に関する非破壊試験の種類と特徴を示したものである。

表-4 解体構造物に適用可能な劣化度に関する非破壊試験方法の種類と特徴

試験方法の種類		測定概要	長所	短所	対象	備考
表面劣化	打音法	物体を打撃して得られる打音の振幅、周波数、位相、減衰率からその物体の物性値や形状、変状の有無などを検知する。	表層に生じている浮き・剥離、表層のひび割れ、空隙や部材厚不足を評価できる。	健全部や検定用試験体との相対的な比較により変状等の存在の有無を把握することに限定される	コンクリート、石、煉瓦、版築、金属、木材	・NDIS 2426「コンクリート構造物の弾性波による試験方法」の第3部「打音法」に規定があるが、発生した音をヒト耳で聞き評価することは官能検査でもありため規定外である。
化学的評価	中性化深さ	ハンマードリルを用いて、コンクリートの表面から連続して削孔した粉を、1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧した濾紙に落とし、呈色した時点の削孔深さを測定する	・短時間で結果が得られる。 ・直径10mmのドリル刃を用いて行うため極めて損傷が小さく、多くの箇所で測定が可能となる方法である。 ・一般的な工具（ハンマードリル、ノギス）、薬品（フェノールフタレイン、エタノール、濾紙）で行うことができる。	・削孔粉呈色とドリル停止とのタイムラグにより、中性化深さが若干大きめに評価される可能性がある。ただし、これは安全側の評価である ・骨材のみを貫通して削孔する可能性を否定できないので、1箇所の評価は複数の削孔で行う方がよい。	コンクリート	・もともとは日大が開発、提案した方法であるが、NDIS 3419（ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法）として、日本非破壊検査協会の規格となっている
	小径コア法	小径コアを採取し、コンクリート表面から深さ方向に層別に切断、粉碎して試料を作製する。これをJIS A1154により分析し、塩化物イオン量を求める。	・調査現場でのコア採取にかかる時間、手間が少なくて済む ・精度が高く、φ100mmコアを使った場合とほぼ等しい結果となる標準的な方法と評価されている。	・分析前処理には、φ100mmコアを使った標準方法と同じ手間がかかる ・結果を得るまでに費用がかかる。	コンクリート、煉瓦	・日大では、コアの直径の影響をφ13mmコアまで確認し、得られる結果はφ100mmコアとほぼ等しいことを示している ・NDIS 3433「硬化コンクリート中の塩化物イオン量、浸透深さに関する試験方法」で規定されている。
	ドリル法	ドリル削孔粉をコンクリート表面から深さ方向に層別に全量採取し、削孔粉をJIS A1154により分析し、塩化物イオン量を求める。	・短時間で簡単に、一般的な工具のみで、粉碎した分析試料を現場で得ることができる。 ・極めて損傷が小さく、多くの箇所で測定が可能となる方法である。	・コア法に比し結果のパラツキが大きい	コンクリート、煉瓦	・粉砕試料が飛散しないようカバーで覆いながら削孔することがポイントである ・日大が開発・提案した方法を、CTM-17「硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法（案）」として、日本建築学会が規格化を図っている。 ・日大では、ドリル径6mm～30mmで、ドリル径の影響を検討し、実用上10mm以上の径が望ましいとしている ・NDIS 3433「硬化コンクリート中の塩化物イオン量、浸透深さに関する試験方法」で規定されている。
	塩分現場抽出分析法	ドリル削孔粉から調査現場で簡易な装置・器具等により塩分を抽出し、塩化物量測定器・判定紙により塩化物イオン量を測定する。可溶性塩分の抽出においては携帯型恒温振とう器、全塩分の抽出においては酒石酸・炭酸カルシウムを用いる方法が提案されている。	・調査現場でおおよその塩化物量を評価できる	・風雨の避けられる場所を確保する必要がある ・測定精度は塩化物量測定器・判定紙の簡易性との兼ね合いに依存する	コンクリート、煉瓦	・可溶性塩分の測定について、上記ドリルによる試料採取とあわせて日大が提案した ・全塩分の測定については、清水建設が提案した ・NDIS 3433「硬化コンクリート中の塩化物イオン量、浸透深さに関する試験方法」に規定がある。

化学的評価	携帯型蛍光X線分析法	Cl ⁻ 等の軽元素にも対応可能な携帯型蛍光X線分析装置をコア側面の研磨面やドリル粉砕試料をあて、スペクトルの強度を測定し、あらかじめ作成していた検量線から塩化物イオン量を推定する	・簡易に短時間で測定ができる ・調査現場で評価できる ・コアは強度試験と共用できる	・粗骨材の扱いが評価の上で重要となる ・検量線を作成するためには3点以上の情報が必要としている	コンクリート、煉瓦	・東大とエネルギー分散型蛍光X線分析装置メーカーのアフーズテックが共同で開発した測定技術である ・使用するX線は、低エネルギーであり、更に各種安全対策が取られた装置であれば、被爆の危険性は極めて低い
	携帯型近赤外分光法	携帯型近赤外分光装置を用いて、近赤外線をコンクリート表面、ドリル粉末に照射し、反射光のスペクトル強度を分析し、塩化物イオン量を推定する	・簡易に短時間で測定ができる ・調査現場で評価できる ・切断面、コア割断面、ドリル削孔先端面にも適用でき深さ方向の塩化物イオン分布の評価も可能である	・粗骨材の扱いが評価の上で重要となる ・検量線を作成する必要がある	コンクリート、煉瓦	・東大が開発した測定技術であり、徳島大学がドリル削孔及び削孔先端面への適用を検討した
	硝酸銀噴霧法	コア等の割裂面に0.1mol/l硝酸銀溶液を噴霧し白色となった深さを測定し有害量の塩化物イオンの有無を評価する	・操作が簡単であり、安価で行える ・調査現場で行える ・変色境界により有害量の塩化物イオンのおよその有無がわかる	・変色境界と塩化物イオン量の関係が明確でない ・コア切りだし面（側面）には適用できない ・噴霧後に測定を開始時間が決められないままである ・含水状態の影響が著しい	コンクリート、煉瓦	・イタリア規格を参考に日本でも試行されるようになった ・変色域を蛍光により評価するため0.1%フルオレセインナトリウム溶液を併用する方法もあり、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」で採用されている ・ものづくり大では、ドリル粉末に対して硝酸銀の適用を検討している ・NDIS 3437「硝酸銀溶液を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透深さの試験方法」として制定作業中である。
金属腐食度	目視法	鉄筋の位置に沿った錆汁の有無、かぶりコンクリートの浮き・剥落の有無を観察する。	・錆汁、浮き・剥落の存在は、有害な腐食の発生・進行を示している。	・腐食の発生前の危険度評価することはできない。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・鉄筋の腐食に関係するひびわれの状況（劣化度）について、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説」の劣化度評価基準がある。
	直接法	コンクリートをはつるか、鉄筋の位置でコアをボーリングし、直接鉄筋腐食状況を観察する。	・確実な方法である。 ・鉄筋の腐食状況を同時に観察できる。	・破壊を伴い、補修工が必要である。 ・構造物全体に対し、点における測定に限定される。	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、組積造、木造	・鉄筋の腐食度の判定に、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説」の鉄筋腐食度評価基準がある。
	自然電位法	露出させた鉄筋（測定対象鉄筋と電氣的に導通しているもの）とリード線でつながれた電位差計を用いて、測定対象鉄筋位置の直上コンクリート面に照合電極を接触させ、自然電位を測定する。腐食が進むほど自然電位は卑の方向に変化する。	・腐食発生の有無を確率的な尺度で評価する。 ・一部の鉄筋を露出させ、結線する必要があるが、全体として破壊の程度は小さい。 ・ASTM C876などで、自然電位による腐食性評価基準が示されている。	・測定の際、コンクリートを湿潤状態に保つ必要がある。 ・測定される自然電位に及ぼすかぶりコンクリートの含水率、中性化、塩化物イオン量の影響が大きい。	鉄筋コンクリート造	・解析の結果、腐食の確率が高いところ、低いところと実際に鉄筋をはつり出し、検証するといふ。 ・建築構造物よりも土木構造物での適用例が多い。 ・JSCE-E 601（コンクリート構造物における自然電位測定方法）として、土木学会により標準化されている。
	分極抵抗法	一方を露出させた鉄筋（測定対象鉄筋と電氣的に導通しているもの）とリード線でつなぎ、もう一方を測定対象鉄筋位置の直上コンクリート面に照合電極を接触させ、周波数の異なる交流電圧を印加する。周波数により電流経路が異なるという電気回路の特性により腐食反応抵抗を求める。	・腐食の速度を定量的に推測できる。 ・一部の鉄筋を露出させ、結線する必要があるが、全体として破壊の程度は小さい。	・測定方法や評価基準は研究段階で、定まっていない。 ・かぶりコンクリートが非常に乾燥している場合、コンクリート表面が水で覆われている場合、コンクリートもしくは鉄筋が絶縁体で覆われている場合、適用できない。また、適用可能な場合も含水率の影響を受ける。	鉄筋コンクリート造	・標準化や規格化されていないため、それぞれの装置や手順によって、精度や信頼性に大きなバラツキがある。実際にはつり出し、鉄筋の腐食状況を目視で確認し、検証する姿勢が必要である。

3. 日本建築学会解体指針改定案（2021 年春時点）

3.1 床板・梁等のサポート

(1) 解体工事計画

本文案

- a. 床板・梁等のサポートの計画では、仮設工事計画書に基づく施工要領書を作成する。
- b. サポートによって支持される鉄筋コンクリート造の床板・梁等の水平部材（以下、床板・梁等）の構造性能は、本会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下、本会 RC 規準）による。ただし、構造性能の確認では、設計図書に加えて、4 章事前調査（コア採取によるコンクリート強度の確認と鉄筋の配筋状態）結果を参照し、建築物の現在の状態を考慮する。
- c. 床板・梁等のサポートは、関係法令および JASS 5 によるほか、次の(1)～(5)による。
 - (1) 床板・梁等のサポートに作用する荷重は、本会 RC 規準によるほか、床板・梁等の上部に設置される重機の重量、水分を含んだガラ積重量、解体工事時における衝撃荷重を適切に考慮する。
 - (2) サポートによって支持された床板・梁等が、解体工事中に安定した状態を保持できるように、サポートの材料を選定し、設置する層数、本数、位置等を決定し、構造計算によっ

- て、その性能を確認する。なお、床板・梁等の構造性能は b. による。
- (3) サポートがガタつかないように、サポートと床、梁との間に適宜木を挟み込む。
- (4) 階上解体時にサポートが外れないように、規定回数回す。
- (5) サポートが倒れないように、水平材でサポートをつないで固定する。

解説案

a. 床板・梁等のサポートは、解体重機を建築物の床の上に載せて解体作業を行う場合（階上解体工事）に、解体工事を安全に進めるために必要なものである。階上解体工事中の構造安全性、施工安全性に配慮した仮設工事計画書に基づく施工要領書を作成し、設置する。

b. 解体重機を建築物の床の上に載せて解体作業を行う場合（階上解体工事）は、解体建築物の床板・梁等の構造強度が十分であることを確認する必要がある。建築物の構造強度が不十分な場合は、床板下や梁下にサポート（強力サポート支保工、コンクリート支柱支保工）を設置したり、重機の作業場所に鉄板敷きや鉄骨によるブリッジ（SDブリッジ工法）を設置したりして重機作業の安全を確保しなければならない。既存建築物の解体には標準的な方法がないため、一般的な設計手法に準じて構造性能の検討を行う。サポートによって支持される鉄筋コンクリート造の床板・梁等の水平部材（以下、床板・梁等）の構造性能は、本会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下、本会 RC 規準）による。鉄骨鉄筋コンクリート造の場合は本会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に、鉄骨造の場合は「鋼構造設計規準」に基づき、構造性能を検討する。ただし、構造性能の確認では、設計図書に加えて、4. 事前調査により、コア採取によるコンクリート強度の確認、鉄筋の配筋状態や老朽度を参照し、建築物の現在の状態を考慮する。

c. 床板・梁等のサポートは、関係法令および JASS 5 に基づいて計画する。これらの一般事項に加え、次の事項を検討しなければならない。

(1) 床板・梁等のサポートに作用する荷重は、本会 RC 規準によるほか、床板・梁等の上部に設置される重機の重量、水分を含んだガラ積重量、解体工事時における衝撃荷重を適切に考慮する。具体的には、固定荷重と積載荷重を考慮する。固定荷重として考慮すべきものには、壁や床板・梁等の自重による躯体重量に加え、内装材など先行して撤去するもの以外で、重機を載せる際に残っているものの重量（仕上げ重量）である。積載荷重として考慮すべきものには、重機の重量、水分を含んだガラ積重量による作業荷重、解体工事時における衝撃荷重である。重機荷重は、車体重量にブーム先端のアタッチメントの重量を含めて重機荷重とする。メーカーによって重機の形状や重量が異なるため、実際に使用する重機の値を用いる。作業階のスラブに作用する荷重は極めて大きいため、重機は（図-1 (a), (b)）のように、大梁または小梁をまたいで移動するか、キャタピラーの片輪が大梁の上になるように移動し、モーメントが最も大きくかかる床版の中央部を移動しないのが望ましい（図 5-1 (c)）。部材にかかる荷重が過大になり、荷重のかかり方も複雑となるため、同じスパン内で近接して重機が作業しない配置とする。また、アームの吊り方（走行時、側方吊、斜め吊、前方吊）によって、作業時にキャタピラーに作用する荷重が変化する。そのため、解体作業の実情に合わせて、床板・梁等のサポートに作用する荷重を計算する。水分を含んだガラ積重量による作業荷重は、ガラ積の高さにより変わるために（水分を含んだガラのかさ比重を 15kN/m^3 と仮定した場合、10cm で 1.5kN/m^2 、50cm で 7.5kN/m^2 ）、躯体にかかる荷

重が過剰とならないように、ガラはだめ孔から下階へ順次落下させる。スロープの最大高さは階高に等しくなるため、スロープを形成するコンクリート塊のかさ比重を 15kN/m^3 と仮定した場合、階高を 3.0m とすると、単位床面積荷重の最大値は約 45kN/m^2 となる。これらの荷重に、適当な安全率（例えば、 $1.2\sim 1.5$ 倍程度）を見込んで荷重を決定する。衝撃荷重は、重機荷重の 20% とし、重機荷重を割りましておく。

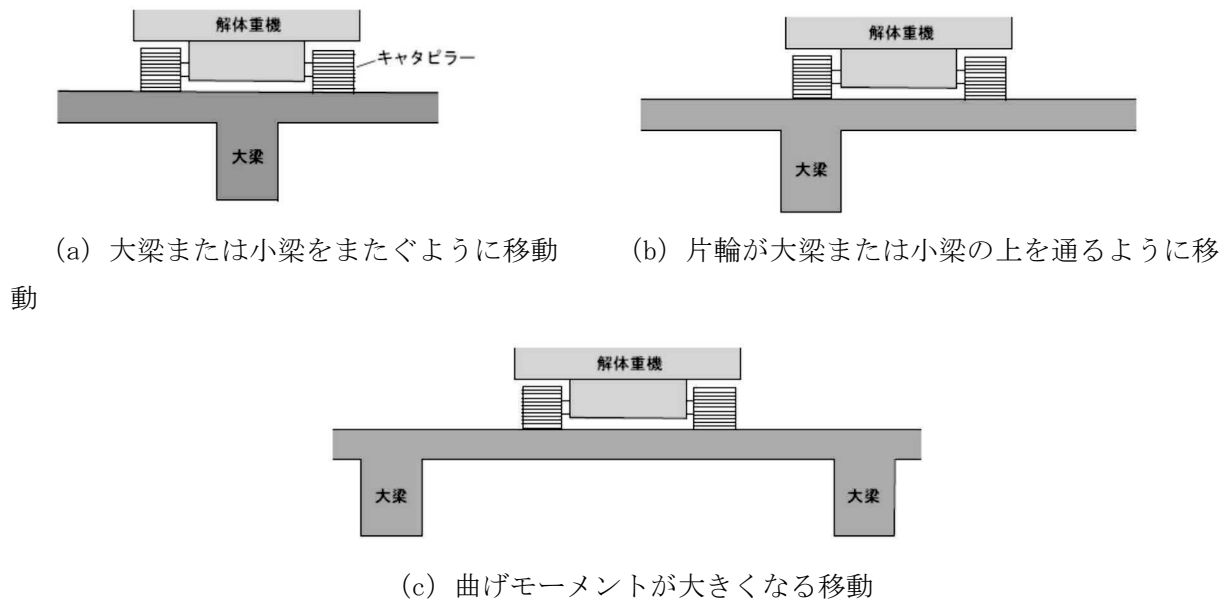


図-1 重機の移動方法

(2) サポートによって支持された床板・梁等が、解体工事中に安定した状態を保持できるように、サポートの材料を選定し、設置する層数、本数、位置等を決定し、構造計算によって、その性能を確認する。検討に際しては、設計図書だけでなく（図面から躯体各部材の仕様を確認する。図面がない場合は、解体建築物の調査を行い、必要な情報を得る。また、特に古い建物では、図面があっても変更が反映されていないことがあるので、図面仕様と解体建築物が異なる場合には、実情に合わせて修正検討する。4. 事前調査にのこ芯採取によるコンクリート強度の確認や鉄筋の配筋状態の確認の結果に基づいた構造計算を行う。また、内装材を撤去して躯体を露出したときに、かぶり不足で鉄筋が露出していたり、ジャンカで部材形状をなしていなかったりして状態がひどい場合は、部分的な補強を考える必要がある。なお、床板・梁等の構造性能はbによる。

検討条件としては、解体作業の対象とする範囲について、固定荷重（床スラブ自重等）、重機重量、作業時の水分を含んだガラ積重量の計算、作業荷重が作用するものとする。重機重量は、作業時には衝撃が加わることから、重機自重と衝撃による割り増しを考慮して決定する。

重機のキャタピラー面に作用する重機荷重の接地圧は、重機重量をキャタピラーの面積で割り、等分布荷重に置き換えるが、上述したように、アームの吊り方（走行時、側方吊、斜め吊、前方吊）によって、作業時にキャタピラーに作用する荷重が変化することに注意する。

鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造の柱は、耐力に余裕があると考えられるため検

討は省略するが、鉄骨造の柱は座屈する可能性があるため、耐力の確認が必要である。

床スラブの検討は、床スラブ厚さ、かぶり厚さ、配筋仕様、コンクリートの圧縮強度、単位体積重量、鉄筋の短期許容引張応力度を考慮して、本会 RC 規準を用いて、

- ・荷重の算定 (c(1)による)
- ・短期許容曲げモーメントの M_a の算定 (本会 RC 規準第 10 条スラブの解析)
- ・発生モーメント M の算定

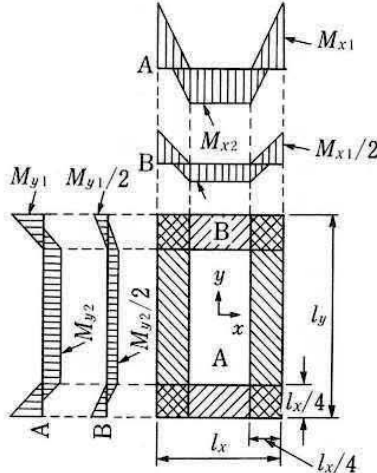
を行い、作用モーメント M / 短期許容曲げモーメント M_a の確認を行って、荷重の負担に必要な床スラブの枚数 (層数) の算定を行う。

次に、せん断力の検討を行う。せん断力は、重機重量が端部に作用する場合に最大となるため、その条件で計算を行い、床スラブのせん断応力の検討を行う。

あるいは、

本会 RC 規準第 10 条スラブの解析: 等分布荷重を受ける 4 辺固定長方形スラブの実用式を用い、短辺・長辺それぞれの端部上端、中央部下端の曲げモーメントおよびせん断力を算出する。算出された応力から必要な鉄筋量を求め、作業階スラブの x 方向、 y 方向それぞれの鉄筋量と比較し、鉄筋量あるいはコンクリート強度に不足がある場合は、作業階下部の補強を行う。

表-5 床スラブの曲げモーメント

曲げモーメントの分布		曲げモーメントの大きさ	
	x 方向	端	$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot l_x^2$
		中央	$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot l_x^2$
	y 方向	端	$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot l_x^2$
		中央	$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot l_x^2$

作業階下部のサポートの構造検討にあたっては、サポート位置を固定としたスパンの中央に、重機の片側キャタピラーの重量を単位幅あたりの集中荷重として応力を算出する。サポート間隔は、サポート設置により短くなった検討スパンの発生応力に対して必要とされる鉄筋量が、作業階床板の鉄筋量を下回る分割スパンとなるように決定する。サポート間隔は、重機の幅は 2~3m,

キャタピラー幅も 2～3m になると考えられる。古い建築物においては、ベンド配筋を採用しているものもあり、中央上部が無筋の場合があるので注意が必要である。また、スラブ配筋が端部、中央または上下で異なる場合は、サポートの設置によって端部・中央が変わってしまうので、検討の際には注意が必要である。

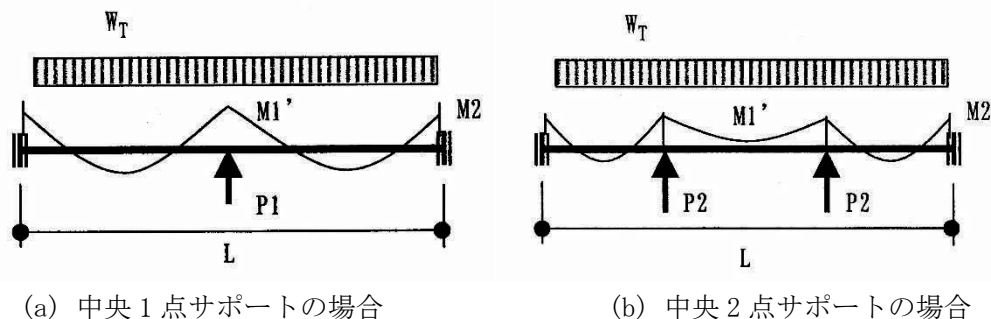


図-2 作業階床スラブのモーメント図

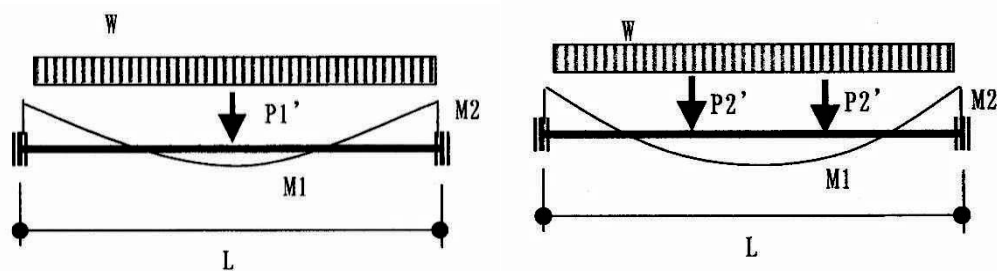
必要なスラブの枚数（層数）の検討は、作業階と下階のサポート支持階で重機荷重を等分して受けると考える。この荷重に対して、同様に算出した応力が作業階スラブの耐力以下になるように補強層数を決定する。

スラブ自重、重機重量、作業時の水分を含んだガラ積重量、作業荷重を使用するサポートの許容耐力で割り、本数を決定する。また、パンチングに対する許容荷重を計算し、必要本数を決定する。パンチングの検討は、本会 RC 規準第 11 条フラットスラブ構造・フラットプレート構造の第 4 項柱頭周りのせん断耐力による。最終的なサポート本数の決定は、サポートの許容耐力から算定したサポート本数と、許容パンチング強度から算定したサポート本数のうち大きい値以上が必要となる。

梁の検討は、梁の寸法、かぶり厚さ、配筋仕様（SRC の場合は鉄骨仕様、主筋、あばら筋）、コンクリートの圧縮強度、単位体積重量、鉄筋（鉄骨）の短期許容引張応力度を考慮して、本会 RC 規準第 13 条梁の曲げに対する断面算定、第 15 条梁・柱および柱梁接合部のせん断に対する算定、本会 SRC 規準第 16 条梁の曲げに対する断面算定、第 18 条部材のせん断に対する算定を用いて、

- ・荷重の算定
- ・曲げモーメントの検討
- ・せん断力の検討

を行い、荷重の負担に必要な梁の本数（層数）の算定を行う。梁に作用する荷重から梁の許容荷重を引き、不足する荷重に対してサポートの必要本数を決定する。重機のキャタピラーが梁と平行する場合は分布荷重とし、直交する場合はキャタピラー幅の中央で集中荷重とする。曲げモーメントは、重機荷重が梁中央に作用する場合に、せん断力は、重機重量が端部に作用する場合に最大となるため、その条件で計算を行い、その値を用いて検討を行う。



(a) 中央 1 点サポートの場合

(b) 中央 2 点サポートの場合

図-3 支持階床スラブのモーメント図

なお、

・床スラブのサポートは、2層受け以上とする（建設業労働災害防止協会編「鉄筋コンクリート造構造物解体工事の安全作業手順」に、2層と記載されている）。

・スラブのサポートは等間隔とする。

(3) 解体工事中は、建物に振動や衝撃が加わるため、サポートがガタつかないように、サポートと床、梁との間に適宜木を挟み込む。

(4) 階上解体時は、建物に振動や衝撃が加わるため、サポートが外れないように、規定回数回す。

(5) サポートが倒れないように、水平材でサポートをつないで固定する。水平つなぎは直交 2 方向に設け、上下の間隔は 2000 mm 以内とする。

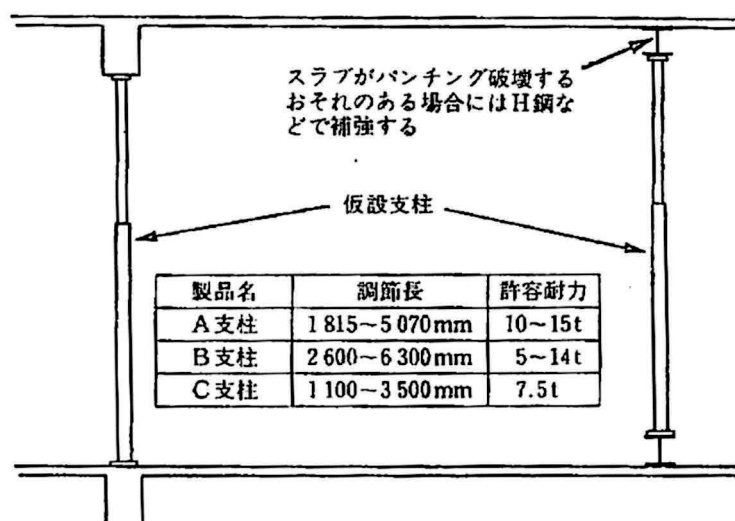


図-4 床板サポートの設置例

(2) 施工

本文案

- a. サポート（床板、梁）は、5章で作成した施工要領書に基づいて施工する。
- b. サポート（床板、梁）の組立ては、次の事項に留意して施工する。
 - (1) 解体する建築物の構造および経年変化
 - (2) 施工時の天候
- c. サポート（床板、梁）の使用時には、次の事項に留意する。
 - (1) 解体工事の進捗に伴う建築物の構造性能の変化
 - (2) 解体工事作業中の作業員安全性
 - (3) 施工時の天候
- d. サポート（床板、梁）の解体時には、次の事項に留意する。
 - (1) 解体する建築物の構造および経年変化
 - (2) 解体工事の進捗に伴う建築物の構造性能の変化
 - (3) 足場の解体の進捗に伴う足場の構造性能の変化
 - (4) 施工時の天候

解説案省略

3.2 階上解体作業

(1) 解体工事計画

解説として下記の一文を入れる予定である。

図-5は、解体機を上階から下階へ自走させて移動する場合の図で、床上に躯体コンクリート塊を積み上げて斜路とした場合の例である。この部分の梁・スラブにはコンクリート塊と解体重機とが同時に載荷されるために、大きな応力が発生する。構造的な観点から梁・スラブの安全性を確認し、必要に応じて仮設支柱で補強するなどの安全対策を計画する。

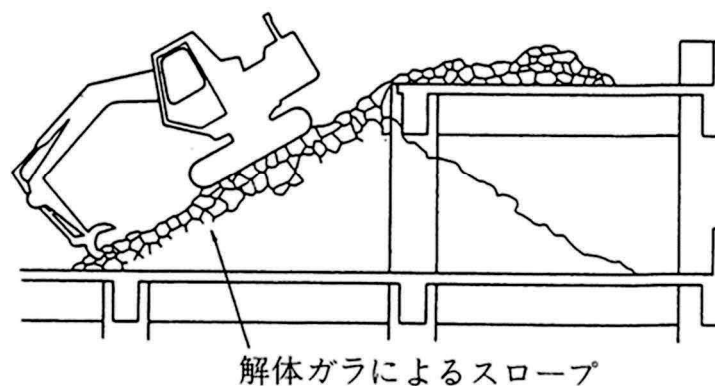


図-5 解体重機移動部の梁・スラブの状態

(2) 施工

解説として下記の圧碎機の階上作業による解体手順例を入れる予定である。

圧碎機の階上作業による解体手順例を図-6 に示す。本図は建物の4面が敷地境界に接しており、圧碎機を各階の床に載せて一面から解体作業を進め、順次下階に向かって解体していく例である。作業手順例を次に示す。

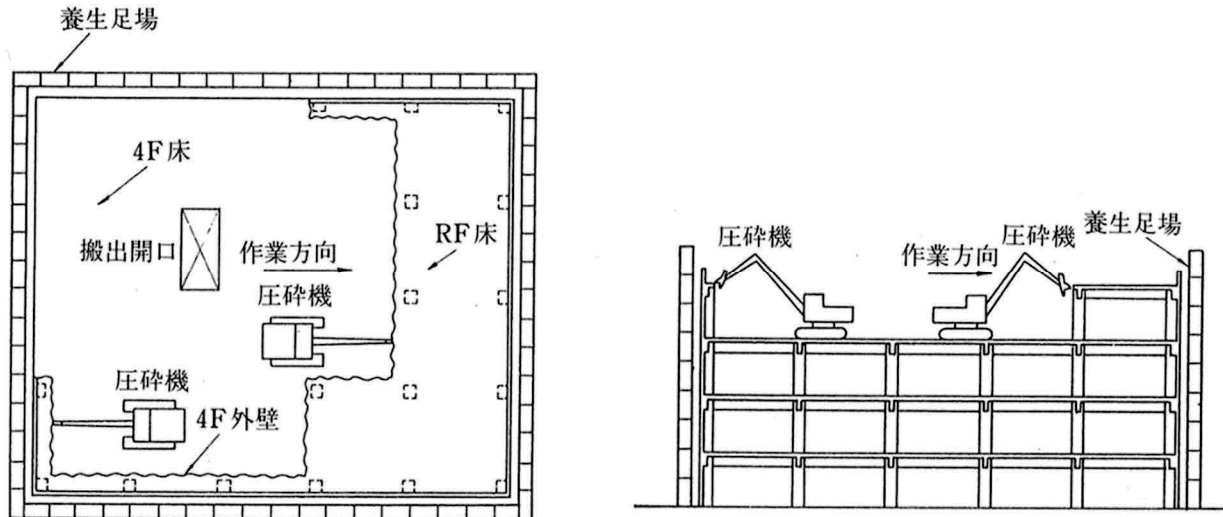


図-6 圧碎機の階上作業による解体手順例

- ① 外周に養生足場を架設し、必要に応じて防音パネルなどの養生材を取り付ける
躯体の補強（床板・梁等のサポート）が必要となる場合には、上下階のサポートの位置がずれないように墨出し等を行い、必要な解体階下（2階以上）に必要なサポート本数を設置する
- ② 解体されたコンクリート塊を下部に落とすための開口部を小型ブレーカなどの他工法にて設置する
- ③ 圧碎機を屋上にクレーンで揚重し、塔屋を解体しながら、塔屋を解体したコンクリート塊でスロープを作成し、圧碎機を最上階床に降ろす
- ④ 図の左側から右側に向かって解体を進めていくが、基本的に外壁を残しながら中央部分の解体を先行させることにより、外周方向への飛散物の減少や騒音拡散の防止を図りながら作業を行う
- ⑤ 圧碎機による解体作業は、圧碎機走行階の立上り部分を前進しながら解体していき、適時解体コンクリート塊を開口部から落下させ、1階より搬出する
- ⑥ ある範囲の中央部解体が終了した時点で、その範囲の外壁を解体していくが、外壁はそのまま圧碎機で解体する方法と、柱2本ずつ転倒させて解体する方法とがある
- ⑦ 1階分の解体が終了した時点で、コンクリート塊でスロープを作成し、圧碎機を下の階に降ろす
コンクリート塊で作られたスロープを圧碎機が移動する場合には、圧碎機が不安定な状態となり転倒する恐れがある。圧碎機の種類により能力が異なるが、一般的な圧碎機の場合、登坂能力は30度程度なので、圧碎機が転倒ないようにスロープの勾配は30度以下にする。また、スロープの幅は圧碎機の幅の2倍以上確保する。
- ⑧ 養生足場は解体の進行に伴って、1階分ずつ順次撤去する

c. 労働安全衛生規則 517 条の 15 によって、解体作業を行う区域内には関係労働者以外の労働

者の立入りを禁止することとされている。躯体解体作業中は、コンクリート塊や鉄筋・鉄骨の切断片など解体物の飛散により他の作業員に危害を与えないよう、作業に関係の無い人間の立入りを禁止した状態で開始し、終了までその状態を保持する。

立入禁止は、作業区域周辺を柵で囲う方法や、バリケードなどで囲う方法があり、これに立入禁止の標識を併用する。これらの措置のほかに必要に応じて見張りを置き、立入禁止を徹底させる。立入禁止区域の範囲は解体対象物の構造形式・高さや解体工法によって異なったものとなる。解体対象物の特徴や、解体工法の特徴を十分検討して安全な範囲を設定する必要がある。以下に参考までに主要な工法のだいたいの目安を示す。

- ① 圧砕機の地上作業；解体部位高さの 1.0 倍程度の範囲および解体用重機作業スペースの周辺
- ② 圧砕機の階上作業；解体部位高さの 2.0 倍程度の範囲および解体用重機作業スペースの周辺

d. 躯体解体作業は圧砕機や転倒工法などによって行われる場合が多いが、いずれの工法の場合でもコンクリート塊や鉄筋、H.T.B.などの各種破砕片が飛散する恐れが常に存在する。これらの破砕片が養生足場や仮囲いを越えて場外に飛散すれば、最悪の場合は第三者に障害を与えることになる。これを防止するために解体作業中は常に破砕片の落下状況や飛散方向を監視し、重機の作業方向や躯体解体の作業方向などを適切に保つよう注意する。解体破砕片の飛散距離は解体部分の高さが高くなるほど広範囲になってくる。

飛散防止のための養生足場や養生材などの具体的な構造や施工については、6.2「仮設工事の施工」にまとめてあるので参照されたい。

外壁転倒工法実施時に振動低減のためにクッション材として解体コンクリート塊を使用することがあるが、なだらかに積み上げて転倒体落下時にクッション材が飛散することのないよう注意する。

4. おわりに

本稿では、安全な階上解体に資するため、解体構造物に適用可能な強度、構造、劣化度に関する非破壊試験方法の種類と特徴を、2021 年春時点における階上解体・サポートに関する本文、解説案を紹介した。本稿により、安全な階上解体の工学としての確立にむけて、活発な議論が展開されることを期待するものである。

研究課題：低品質再生骨材を用いたコンクリートの利用拡大に関する研究

申請者:道正 泰弘*

1. 研究目的

2020 年に公表された国土交通省の調査¹⁾によると、わが国における再生骨材コンクリートの利用量は、2018 年度で 119 千 t となり、2012 年度の 55 千 t に比べて約 2 倍となったが、依然として少ない状況にある。この内訳は、再生骨材 H を用いたコンクリートが 64 千 t、再生骨材 M を用いたコンクリートが 50 千 t、再生骨材 L を用いたコンクリートが 5 千 t であり、再生骨材 M を用いたコンクリートは 48 千 t の増加となっている。

表－1 に再生骨材コンクリートの種類と骨材の組合わせ²⁾を示すが、2018 年の JIS A 5022(再生骨材コンクリート M)の改正においては、再生骨材 L を一定の置換率以下で普通骨材と混合使用する再生骨材コンクリート M(1 種、2 種)が規定された。

今後は経済的で環境負荷が小さい³⁾再生骨材 L の利用拡大が有効である。このため、従来の再生骨材コンクリート L に加え、混合使用した再生骨材コンクリート M の利用を拡大していく必要がある。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)によって構成されている³⁾。再生細骨材 L の使用には、多くの付着モルタルや付着ペーストが混入することから、品質のばらつきが大きく、データの蓄積が必要となる。

使用量とストック量の最も多いコンクリート塊の再資源化技術の持続可能な普及を可能とするためには、①環境材料としての品質確保、②環境負荷低減とコスト削減、③有害物の溶出抑制等の安全性確保の 3 つを同時に達成する必要がある。

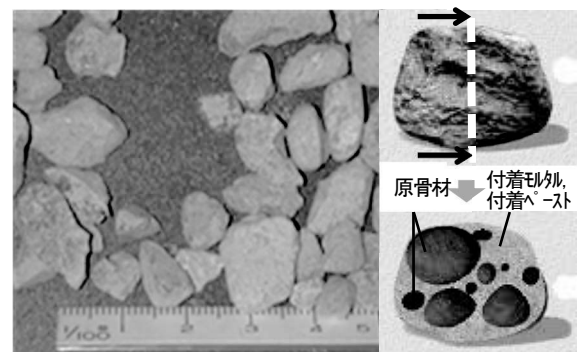
本研究は、低品質再生骨材(再生骨材 L)を用いたコンクリートの利用拡大を目的に、構造用コンクリートとしての適用性について検討を行った。

表－1 再生骨材コンクリートの種類と骨材の組合わせ²⁾

再生骨材コンクリートの種類	粗骨材	細骨材
再生骨材コンクリート H 1 種	粗骨材の全部またはその一部が再生粗骨材 H	普通細骨材
再生骨材コンクリート H 2 種	粗骨材の全部またはその一部が再生粗骨材 H 普通粗骨材	細骨材の全部またはその一部が再生細骨材 H
再生骨材コンクリート M 1 種※1	粗骨材の全部またはその一部が再生粗骨材 M 粗骨材の一部(置換率 50%以下)が再生粗骨材 L※2	普通細骨材
再生骨材コンクリート M 2 種	粗骨材の全部またはその一部が再生粗骨材 M	細骨材の全部またはその一部が再生細骨材 M
	粗骨材の一部(置換率 50%以下)が再生粗骨材 L※2	細骨材の一部(置換率 30%以下)が再生細骨材 L※2
	普通粗骨材	細骨材の全部またはその一部が再生細骨材 M 細骨材の一部(置換率 30%以下)が再生細骨材 L※2

※1 標準品と耐凍害品がある。

※2 再生骨材 L の規定を満足するとともに、不純物量は再生骨材 M の規定を満足する。

図－1 再生粗骨材 L の外観と断面のイメージ³⁾

*名城大学理工学部環境創造工学科 教授 博士 (工学)

2. 実験概要

表－2に再生骨材の概要を、表－3に使用骨材の主要品質を、図－2に再生骨材Lの製造フロー例を示す。また、写真－1に、再生骨材製造プラントの外観⁴⁾を示す。

(1) 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(N)を用いた。骨材は、川砂(NS)、砕砂(CS)、硬質砂岩砕石2005が2種類(NG₁、NG₂)、再生細骨材 L(RLS)が3種類(RLS₁～RLS₃)、再生粗骨材 L2005(RLG)が5種類(RLG₁～RLG₅)である。このうち、再生細骨材 RLS₂、RLS₃、再生粗骨材 RLG₄、RLG₅は写真－1の再生骨材製造プラントで製造した。

RLG₁は土木構造物(詳細不明)、RLG₂は建築物(詳細不明)、RLS₁、RLG₃は建築物(詳細不明)、RLS₂、RLG₄は住宅基礎、RLS₃、RLG₅は建築物基礎(詳細不明)の5種類の原コンクリートを用い、再生骨材製造工場で直接製造、あるいは中間処理工場で再生砕石(40mm≦)を製造した後、5～20mmのRLG、0～5mmのRLSに分級し製造した。再生骨材の品質は、いずれもJISA5023附属書A相当であった。不純物量は、RLG₁を除き、JIS A 5022の範囲内であった。なお、RLG₁～RLG₃のアルカリシリカ反応性は区分B、RLG₄およびRLG₅は区分Aであった。

(2) 調合

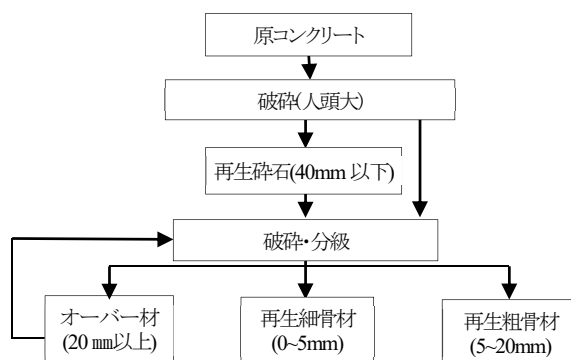
表－4にコンクリートの調合概要を示す。水セメント比(W/C)を45%、55%および65%の3水準、RLSの置換率を0%、25%、30%、50%、75%および100%の6水準、RLGの置換率を0%、25%、50%、75%および100%の5水準に変化させた合計47種類の試料コンクリートを用意した。

単位水量は試し練りにより、W/C=45%において183 kg/m³、185 kg/m³、W/C=55%で175 kg/m³、180 kg/m³、W/C=65%で176 kg/m³、177 kg/m³とした。いずれも目標スランプは18±2.5 cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。

表－2 再生骨材の概要

原コンクリート※	再生骨材の種類	製造方法
土木構造物(詳細不明)	再生粗骨材 L:RLG ₁	再生砕石 破碎・分級
建築物(詳細不明)	再生粗骨材 L:RLG ₂	破碎・分級
建築物(詳細不明)	再生細骨材 L:RLS ₁	破碎・分級
	再生粗骨材 L:RLG ₃	
住宅基礎	再生細骨材 L:RLS ₂	再生砕石 破碎・分級
	再生粗骨材 L:RLG ₄	
建築物基礎(詳細不明)	再生細骨材 L:RLS ₃	再生砕石 破碎・分級
	再生粗骨材 L:RLG ₅	

※廃棄物管理票および製造工場へのヒヤリングにより確認した。



図－2 再生骨材Lの製造フロー例



写真－1 再生骨材製造プラントの外観⁴⁾

表－3 使用骨材の主要品質

品質項目	試験方法	NS※1	CS※2	NG ₁ ※3	NG ₂ ※4	RLS ₁	RLS ₂	RLS ₃	RLG ₁	RLG ₂	RLG ₃	RLG ₄	RLG ₅
絶乾密度 (g/cm ³)	JISA 1109	2.55~2.60	2.52	2.63~2.68	2.61	1.97	2.14	2.06	2.29	2.30	2.29	2.27	2.22
吸水率 (%)	JISA 1110	1.42~1.72	1.60	0.60~0.76	1.17~1.21	12.63	8.45	10.25	5.33	6.42	5.34	5.66	6.84
粗粒率 (F.M.)	JISA 1102	2.42~2.73	2.63	6.65~6.78	6.57~6.60	3.29	3.37	3.09	6.39	6.74	6.49	6.57	6.46
微粒分量 (%)	JISA 1103	1.9~4.6	4.5	0.8~1.3	1.1~1.7	5.4	5.5	7.0	0.2	1.4	1.0	0.3	0.6
実積率 (%)	JISA 1104	62.8~65.9	67.1	58.7~62.1	58.6~60.6	64.1	65.2	69.8	59.2	60.1	60.9	61.0	61.6
粒形判定実積率 (%)	JISA 5005		58.0	58.4~62.1	58.3~59.3	59.4	60.3	66.1	59.5	59.9	60.0	59.9	63.2
400kN 破砕値 (%)	BS 812-110											23.3	24.5
アルカリシリカ反応性	JISA 5021											無害	無害
不純物量 (mass%)	A	JISA 5023				0.1	0	0	2.2	0.2	0.1	0.3	0.1
	B					0	0	0	0	0.1	0	0	0
	C					0	0	0	0	0	0.1	0	0
	D					0	0	0	0	0	0	0	0
	E					0	0	0	0	0	0	0	0
	F					0	0	0	0	0	0	0	0
	G					0	0	0	0	0	0	0	0
	合計					0.1	0	0	2.2	0.3	0.2	0.3	0.1

※1 揖斐川産川砂 ※2 新城産硬質砂岩砕砂 ※3 春日井産硬質砂岩砕石 2005 ※4 新城産硬質砂岩砕石 2005

表－4 コンクリートの調合概要

種類	調合条件				単位量(kg/m ³)								混和剤(C×%)		
	再生細骨材 L 置換率 (%)	再生粗骨材 L 置換率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	W	C	NS	CS	NG	RLS	RLG	AE 減 水剤 ^{※1}	空気量調 整剤 ^{※2}	消泡剤 ^{※3}	
NG ₁ NS-45	0	0	45	45.0	185	411	760	0	924	0	0	1.00	0.100	0	
NG ₁ NS-45	0	0		42.1	185	411	697	0	985	0	0	1.00	0.050	0	
NG ₂ NS-45 ^{※4}	0	0		43.5	183	407	736	0	960	0	0	1.00	0	0	
NG ₂ RLS ₂ 100-45	100	0		43.5	183	407	0	0	960	649	0	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₁ 50NS-45	0	50		45.0	185	411	760	0	465	0	424	1.00	0.100	0	
NG ₁ RLG ₂ 50NS-45	0	50		42.1	185	411	697	0	492	0	453	1.00	0.050	0	
NG ₂ RLG ₄ 50NS-45	0	50		43.5	183	407	736	0	480	0	436	1.00	0	0	
NG ₂ RLG ₅ 50CSRLS ₃ 30-45 ^{※4}	30	50		45.4	183	407	0	523	464	199	417	1.00	0	0	
NG ₂ RLG ₄ 50NSRLS ₂ 50-45	50	50		43.5	183	407	368	0	480	324	436	1.00	0	0	
RLG ₁ 100NS-45	0	100		45.0	185	411	760	0	0	0	848	1.00	0.100	0	
RLG ₄ 100NS-45	0	100		43.5	183	407	736	0	0	0	872	1.00	0	0	
NG ₁ NS-55	0	0	55	44.9	180	327	779	0	985	0	0	1.00	0.050	0	
NG ₁ NS-55 ^{※4}	0	0		46.3	175	318	824	0	974	0	0	1.00	0.002	0	
NG ₂ NS-55 ^{※4}	0	0		45.8	180	327	810	0	960	0	0	1.00	0	0	
NG ₂ CS-55 ^{※4}	0	0		47.6	180	327	0	819	928	0	0	1.00	0	0	
NG ₁ NSRLS ₁ 25-55	25	0		46.3	175	318	618	0	974	175	0	1.00	0.002	0.0005	
NG ₂ CSRLS ₃ 30-55 ^{※4}	30	0		47.6	180	327	0	573	928	218	0	1.00	0	0	
NG ₂ NSRLS ₁ 50-55	50	0		46.3	175	318	412	0	974	349	0	1.00	0.002	0.0005	
NG ₂ NSRLS ₂ 50-55 ^{※4}	50	0		45.8	180	327	405	0	960	357	0	1.00	0	0	
NG ₁ NSRLS ₁ 75-55	75	0		46.3	175	318	206	0	974	524	0	1.00	0.002	0.0005	
NG ₁ RLS ₁ 100-55 ^{※4}	100	0		46.3	175	318	0	0	974	698	0	1.00	0.002	0	
NG ₁ RLS ₂ 100-55 ^{※4}	100	0		45.8	180	327	0	0	960	714	0	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₁ 25NS-55	0	25		46.3	175	318	824	0	731	0	220	1.00	0.002	0.0005	
NG ₁ RLG ₃ 25NSRLS ₁ 25-55	25	25		46.3	175	318	618	0	731	175	220	1.00	0.002	0.0005	
NG ₁ RLG ₃ 25NSRLS ₁ 50-55	50	25		46.3	175	318	412	0	731	349	220	1.00	0.002	0.0005	
NG ₁ RLG ₃ 25NSRLS ₁ 75-55 ^{※4}	75	25		46.3	175	318	206	0	731	524	220	1.00	0.002	0	
NG ₁ RLG ₂ 50NS-55	0	50		44.9	180	327	779	0	492	0	453	1.00	0.050	0	
NG ₁ RLG ₃ 50NS-55	0	50		46.3	175	318	824	0	487	0	440	1.00	0.002	0.0005	
NG ₂ RLG ₄ 50NS-55 ^{※4}	0	50		45.8	180	327	810	0	480	0	436	1.00	0	0	
NG ₂ RLG ₅ 50CS-55 ^{※4}	0	50		47.6	180	327	0	819	464	0	417	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₃ 50NSRLS ₁ 25-55	25	50		46.3	175	318	618	0	487	175	440	1.00	0.002	0.0005	
NG ₂ RLG ₅ 50CSRLS ₃ 30-55 ^{※4}	30	50		47.6	180	327	0	327	464	218	417	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₃ 50NSRLS ₁ 50-55 ^{※4}	50	50		46.3	175	318	412	0	487	349	440	1.00	0.002	0	
NG ₂ RLG ₄ 50NSRLS ₂ 50-55 ^{※4}	50	50		45.8	180	327	405	0	480	357	436	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₃ 75NS-55	0	75	46.3	175	318	824	0	244	0	659	1.00	0.002	0.0005		
NG ₁ RLG ₃ 75NSRLS ₁ 25-55 ^{※4}	25	75	46.3	175	318	618	0	244	175	659	1.00	0.002	0		
RLG ₂ 100NS-55	0	100	44.9	180	327	779	0	0	0	907	1.00	0.050	0		
RLG ₃ 100NS-55 ^{※4}	0	100	46.3	175	318	824	0	0	0	879	1.00	0.002	0		
RLG ₄ 100NS-55 ^{※4}	0	100	45.8	180	327	810	0	0	0	872	1.00	0	0		
NG ₁ NS-65	0	0	65	47.6	176	271	855	0	969	0	0	1.00	0.050	0	
NG ₂ NS-65	0	0		47.4	177	272	863	0	960	0	0	1.00	0	0	
NG ₂ RLS ₂ 100-65	100	0		47.4	177	272	0	0	960	761	0	1.00	0	0	
NG ₁ RLG ₂ 50NS-65	0	50		47.6	176	271	855	0	484	0	446	1.00	0.050	0	
NG ₂ RLG ₄ 50NS-65	0	50		47.4	177	272	863	0	480	0	436	1.00	0	0	
NG ₂ RLG ₅ 50CSRLS ₃ 30-65	30	50		49.2	177	272	0	610	464	232	417	1.00	0	0	
NG ₂ RLG ₄ 50NSRLS ₂ 50-65	50	50		47.4	177	272	432	0	480	381	436	1.00	0	0	
RLG ₄ 100NS-65	0	100		47.4	177	272	863	0	0	0	872	1.00	0	0	

※1 変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系 ※2 樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤 ※3 ポリエーテル系抑泡剤 ※4 凍結融解試験実施。

化学混和剤には、AE 減水剤(高機能タイプ)に変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系をセメント質量の 1%添加、空気量調整剤として樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤をセメント質量の 0.002～0.1%添加、再生骨材Lを用いたコンクリートのうち、試し練りによりエントラップドエアが比較的多く取り込まれる可能性のあるものは、消泡剤を結合材質量に対して 0.0005%添加した。

(3) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表－5に示す。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、圧縮強度、静弾性係数、気乾単位容積質量、長さ変化、促進中性化および凍結融解の諸試験を実施した。

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－6に示す。

(1) スランブおよび空気量

スランブおよび空気量は、AE 減水剤(高性能タイプ)、空気量調整剤、消泡剤の使用により、目標値を満足した。なお、骨材修正係数は、再生粗骨材 L を用いた場合で 0.2～1.6%となり、再生骨材 L の置換率が増加するのに伴い大きくなる。

(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、付着ペーストの影響により密度の小さい再生骨材 L の置換率が大きくなるのに伴い減少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、いずれの試験体も練上がり時で 35℃を下回った。

(4) 塩化物含有量

再生骨材コンクリートの塩化物含有量は、JIS A 5023 に基づき算定した。全体的に再生骨材 L の置換率が増加するのに伴い大きくなる傾向がみられるが、全ての試験体で JIS A 5308 の規制値である 0.30kg/m³以下を満足した。

3.2 硬化性状

図－3に相対吸水率とコンクリートの主要な性能の関係を示す。相対吸水率は式(1)により算出した。なお、図中に閾値として RLG を 50%置換した再生骨材コンクリート M1 種の相対吸水率 4.37%、RLG を 50%および RLS を 30%置換した再生骨材コンクリート M2 種の相対吸水率 5.49%を示す。

$$Q_t = \frac{a \cdot Q_v G + b \cdot Q_v N + c \cdot Q_r G + d \cdot Q_r N}{a + b + c + d} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 Q_t ：骨材の相対吸水率 (%)

$Q_v G$ ：普通粗骨材の吸水率 (%)

$Q_v N$ ：普通細骨材の吸水率 (%)

$Q_r G$ ：再生粗骨材の吸水率 (%)

$Q_r N$ ：再生細骨材の吸水率 (%)

a, b, c, d ：使用骨材の絶対容積 (L/m³)

(1) 圧縮強度および静弾性係数

4週圧縮強度は、全体的に相対吸水率の増加に伴い低下す

る傾向がみられ、W/C の小さい、すなわち強度の高いコンクリートほど両者の相関性は明確になり、強度低下の程度も大きく

表－5 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	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	単位容積質量	JIS A 1116
	コンクリート温度	JIS A 1156
硬化性状	塩化物含有量	JIS A 5023 イオン電極法、電極電流測定法、モール法
	圧縮強度	JIS A 1108
	静弾性係数	JIS A 1149 標準養生
	気乾単位容積質量	JIS A 1129-3 材齢 13 週時
	長さ変化率	
	促進中性化深さ	JIS A 1153
	耐久性指数	JIS A 1148 A 法

表－6 各種コンクリートのフレッシュ性状

種類	スランブ (cm)	空気量 (%)※1	単位容積質量 (kg/m ³)	温度 (°C)	塩化物含有量※2 (kg/m ³)
NGiNS-45	200	34(0.1)	2356	13.7	0.09
NGiNS-45	205	56(0.0)	2263	18.0	0.04
NGiNS-45	195	44(0.2)	2299	28.0	0.03
NGiRLG ₂ 100-45	165	39(1.6)	2250	25.8	0.12
NGiRLG ₂ 50NS-45	195	32(0.3)	2323	13.4	0.21
NGiRLG ₂ 50NS-45	190	50(0.4)	2230	17.4	0.03
NGiRLG ₂ 50NS-45	205	50(0.3)	2279	17.6	0.10
NGiRLG ₂ 50CSRLS ₂ 30-45	205	36(0.4)	2250	27.6	0.14
NGiRLG ₂ 50NSRLS ₂ 50-45	180	44(0.6)	2226	24.8	0.11
RLG ₂ 100NS-45	190	34(0.5)	2274	13.7	0.24
RLG ₂ 100NS-45	200	50(0.5)	2184	28.0	0.06
NGiNS-55	200	54(0.0)	2244	18.6	0.03
NGiNS-55	185	40(0.0)	2304	28.6	0.03
NGiNS-55	180	41(0.2)	2336	28.4	0.02
NGiCS-55	180	44(0.0)	2329	26.0	0.04
NGiNSRLS ₂ 25-55	200	52(0.4)	2296	24.4	0.06
NGiCSRLS ₂ 30-55	200	39(0.4)	2266	28.7	0.12
NGiNSRLS ₂ 50-55	190	55(0.4)	2240	25.7	0.15
NGiNSRLS ₂ 50-55	195	43(0.5)	2234	29.5	0.05
NGiNSRLS ₂ 75-55	200	48(0.3)	2234	21.6	0.11
NGiRLS ₂ 100-55	205	42(0.7)	2221	27.7	0.13
NGiRLS ₂ 100-55	190	52(0.9)	2084	30.1	0.09
NGiRLG ₂ 25NS-55	165	54(0.2)	2273	24.2	0.09
NGiRLG ₂ 25NSRLS ₂ 25-55	190	50(0.6)	2237	24.3	0.10
NGiRLG ₂ 25NSRLS ₂ 50-55	200	57(0.4)	2266	24.4	0.11
NGiRLG ₂ 25NSRLS ₂ 75-55	200	42(0.7)	2217	27.2	0.09
NGiRLG ₂ 50NS-55	205	49(0.5)	2260	18.8	0.03
NGiRLG ₂ 50NS-55	160	56(0.4)	2267	23.7	0.17
NGiRLG ₂ 50NS-55※2	175	44(0.4)	2273	17.3	0.09
NGiRLG ₂ 50CS-55※2	170	32(0.5)	2277	28.8	0.12
NGiRLG ₂ 50NSRLS ₂ 25-55	175	56(0.4)	2240	25.1	0.11
NGiRLG ₂ 50CSRLS ₂ 30-55	200	44(0.5)	2247	26.1	0.12
NGiRLG ₂ 50NSRLS ₂ 50-55	190	49(0.6)	2187	28.0	0.23
NGiRLG ₂ 50NSRLS ₂ 50-55	195	41(0.3)	2099	29.2	0.08
NGiRLG ₂ 75NS-55	170	46(0.4)	2269	22.3	0.12
NGiRLG ₂ 75NSRLS ₂ 25-55	200	45(0.6)	2243	25.0	0.12
RLG ₂ 100NS-55	200	45(0.6)	2180	18.2	0.03
RLG ₂ 100NS-55	185	45(0.4)	2246	28.6	0.12
RLG ₂ 100NS-55	165	46(0.5)	2208	27.7	0.09
NGiNS-65	200	44(0.0)	2261	18.7	0.02
NGiNS-65	180	46(0.2)	2288	24.6	0.02
NGiRLS ₂ 100-65	180	45(1.5)	2142	22.8	0.12
NGiRLG ₂ 50NS-65	175	52(0.4)	2180	18.6	0.02
NGiRLG ₂ 50NS-65	190	47(0.5)	2199	23.6	0.12
NGiRLG ₂ 50CSRLS ₂ 30-65	195	53(0.5)	2161	24.3	0.11
NGiRLG ₂ 50NSRLS ₂ 50-65	180	45(1.2)	2163	23.5	0.11
RLG ₂ 100NS-65	160	42(0.4)	2189	22.0	0.10

※1 ()内は骨材修正係数を示す。 ※2 再生骨材は JISA5023 による。

なる傾向がみられた。材齢 4 週時静弾性係数は、圧縮強度と同様、相対吸水率の増加に伴い低下する傾向がみられたが、W/C の影響は明確にはみられなかった。

図一 4 に 4 週圧縮強度と材齢 4 週時静弾性係数の関係を示す。また、式(2)に再生骨材コンクリート指針式（指針式）⁹⁾を示す。気乾単位容積質量から推定した普通コンクリート ($\gamma=2.3\text{t/m}^3$)、再生骨材コンクリート ($\gamma=2.1\sim 2.3\text{t/m}^3$) の実測値は、それぞれ New RC 式 ($k_1=k_2=1.0$)⁹⁾、指針式の範囲を上回る傾向がみられた。

$$E=3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{2.4} \right)^2 \times \left(\frac{\sigma_B}{60} \right)^{1/3} \quad \text{式(2)}$$

ここに、

E: 再生骨材コンクリートのヤング係数(静弾性係数) (N/mm²)

γ : 再生骨材コンクリートの単位容積質量 (t/m³)

σ_B : 再生骨材コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

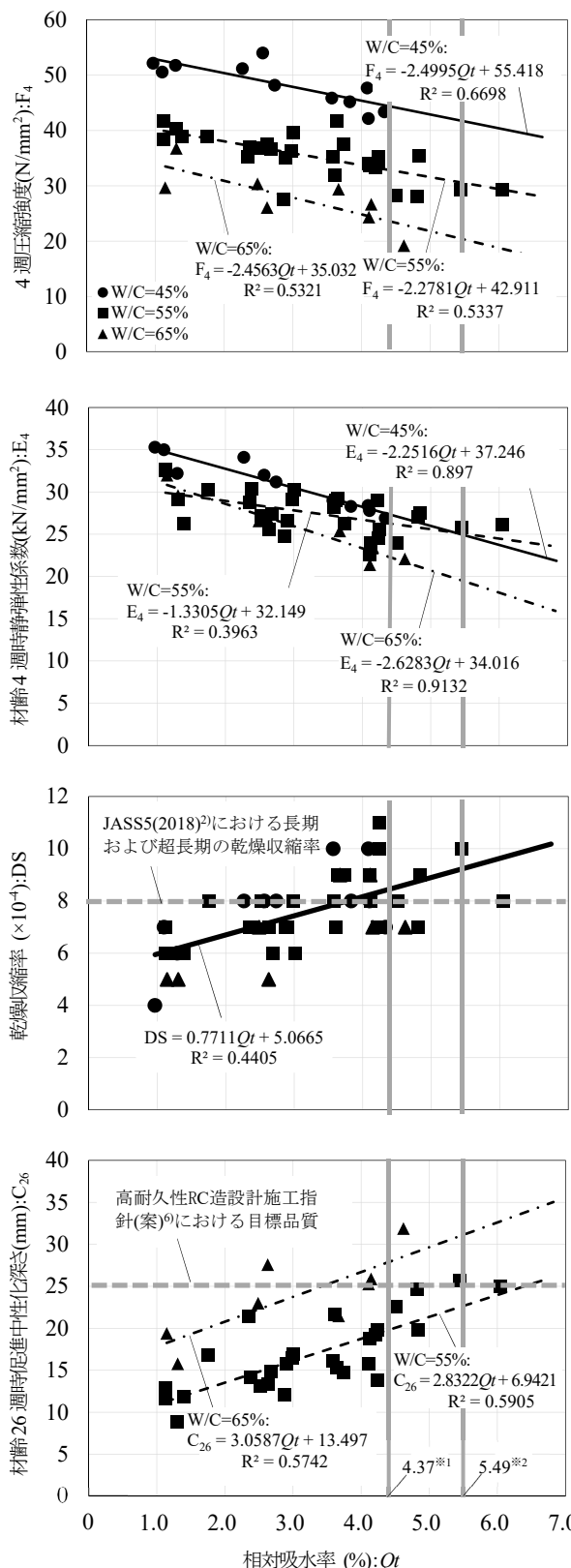
(2) 長さ変化

図一 3 より、再生骨材 L を用いたコンクリートの乾燥収縮率は、全体的に相対吸水率の増加に伴い大きくなる傾向がみられた。なお、相対吸水率が再生骨材コンクリート M1 種の 4.37% より小さい場合においても、3.5% を超えると JASS 5(2018)²⁾ に示されている計画供用期間の級が長期および超長期の品質目標値 8×10^{-4} を超えるものも多くみられたが、3.0% 以下では全て品質目標値を満足した。このことから、吸水率の高い再生骨材 L を用いた場合でも、混合する普通骨材の性能、再生骨材置換率の調整により、品質目標値を満足することが可能である。

(3) 促進中性化

図一 3 より、材齢 26 週時促進中性化深さは、相対吸水率の増加に伴い大きくなるが、水セメント比の影響が大きい。再生骨材 L を用いたコンクリートの促進中性化深さは、再生骨材コンクリート M2 種の相対吸水率 5.49% より小さい場合においては、W/C=55% では概ね品質目標の 25mm 以下⁶⁾を満足した。一方、W/C=65% では、相対吸水率が小さい場合でも一部 25mm を超えたものがみられた。

図一 5 に 4 週圧縮強度と材齢 26 週時促進中性化深さの関係を示す。これによると、両者の間には比較的明確な相関が



※1: JIS A 5023 附属書 A, JIS A 5022 により、再生骨材コンクリート M1 種として RLG の吸水率と置換率の上限値で算定した相対吸水率を示す。

※2: JIS A 5023 附属書 A, JIS A 5022 により、再生骨材コンクリート M2 種として RLG と RLS の吸水率と置換率の上限値で算定した相対吸水率を示す。

図一 3 相対吸水率とコンクリートの主要な性能との関係

みられ、圧縮強度が 30 N/mm² 以上では目標品質を満足した。
すなわち、再生骨材 L 置換率の大きいコンクリートでも、W/C
を低減することにより、品質目標を満足することが可能である。

(4) 凍結融解

図一 6 に練上がり時の空気量と耐久性指数の関係を示す。
練上がり時の空気量は、凍結融解作用を受けるコンクリートの
目標空気量 4.0～6.0% (4.5±1.5%かつ空気量の下限值 4.0%)
の範囲であれば再生骨材 L の置換率に係わらず、耐久性指
数は 60 以上であった。

4. まとめ

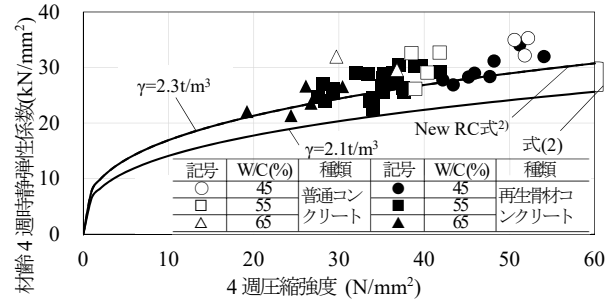
再生骨材 L を用いたコンクリートの利用拡大を目的に、構造
用コンクリートとしての適用性について検討を行った。

- (1)スランプおよび空気量は、化学混和剤量の調整により、目
標値を満足した。
- (2)単位容積質量は置換率の増加に伴い小さくなる。塩化物含
有量は全てのコンクリートで 0.30kg/m³以下であった。
- (3)圧縮強度および静弾性係数は、相対吸水率の増加に伴い
低下する傾向がみられた。一方、再生骨材コンクリート指針式
による推定値に比べて静弾性係数は大きめの値であった。
- (4)乾燥収縮は、相対吸水率が 3.0%以下では全ての試験体で
8×10⁻⁴ を満足したことから、混合する普通骨材の性能、置換率
の調整により、品質目標値を満足することが可能である。
- (5)促進中性化は、相対吸水率の増加に伴い大きくなるが、
W/C の低減により、品質目標を満足することが可能である。
- (6)耐久性指数は、適切に空気が連行されていれば、再生骨
材 L の置換率が大きいコンクリートでも 60 以上が得られた。

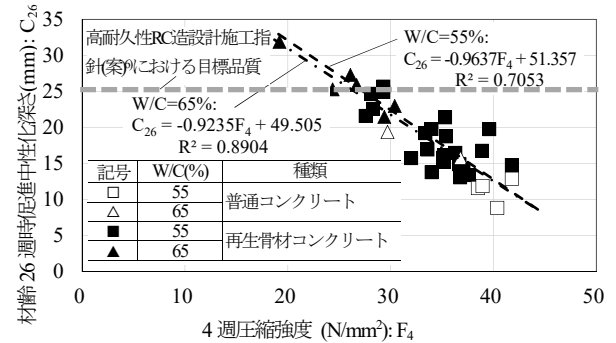
以上から、再生骨材 L を普通骨材と混合使用してコンクリー
トを製造した場合、相対品質値法による性能評価に基づく再生
骨材置換率の調整等により、構造用コンクリートとして所要の性
能が得られることが判明した。

注記

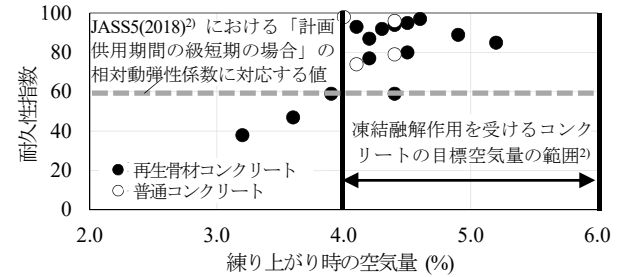
注) 本助成金の 2015～2017 年度の研究成果を応用し、愛知県循
環型社会形成推進事業費により、2018 年に柴田興業㈱が東海
圏初の再生骨材 L 製造プラントを愛知県岡崎市に設置した。



図一 4 圧縮強度と静弾性係数の関係



図一 5 圧縮強度と促進中性化深さの関係



図一 6 練上がり時の空気量と耐久性指数の関係

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局, 平成 30 年度建設副産物実態調査結果, 2020.1
- 2) 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 2018, 2018
- 3) 道正泰弘: 低品質再生骨材の構造用コンクリートへの利用, コンクリート工学 Vol. 55 No.8, pp.635-643, 2017.8
- 4) NGUYEN Anh Duc, 道正泰弘, 安達克己, 錦木健二: 実機プラントで製造した再生骨材 L を用いたコンクリートの諸性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集(材料施工), pp.441-442, 2020
- 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)・同解説, 2014
- 6) 日本建築学会: 高耐久性鉄筋コンクリート造設計指針(案)・同解説, 1991

(2021 年 6 月 29 日提出)

令和2年公益社団法人全国解体工事業団体連合会 解体工事に係る研究発表会 解体工事における建築物の挙動 把握に関する研究 2021年7月 青木孝義¹⁾, 張景耀²⁾, 湯浅昇³⁾ 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) 3) 日本大学生産工学部建築工学科
1

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板サポート（サポートの軸力の変化） ・RC造建物の階上解体（減築）における建造物の振動特性 ・HPシェルの解体工事における軸力の変化と振動特性、ドローン、SfM技術の活用 に関する研究を進めてきた。
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ
2

令和2年度の研究 ・築50年前後の建物がこれからは建替えの時期に入る。 ・特に、敷地が限られている都市中心部の建物の解体は、階上解体が主流になる。 ・サポートの合理化はコストダウンにつながる。 ・建物全体の揺れもモデル化によって見える化に。 ビルの階上解体、地上解体時の振動、およびサポートの軸力などを調べることで、また、特殊形状構造物の解体時の振動を調べることで、今後の解体現場における合理的かつ経済的な計画に役に立つ、重要なデータの蓄積を目的とする。
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ
3

令和2年度の研究 1. 解体時振動測定による建物の揺れ状況の確認（加速度計の検討・開発） 2. コンクリートの圧縮強度推定手法の開発（小径ドリル型削孔試験） 3. 解析プログラムの開発（計測震度）（階上解体におけるサポート）
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ
4

K建物概要

建物外観

竣工 1969年

建物規模 地上11階+塔屋

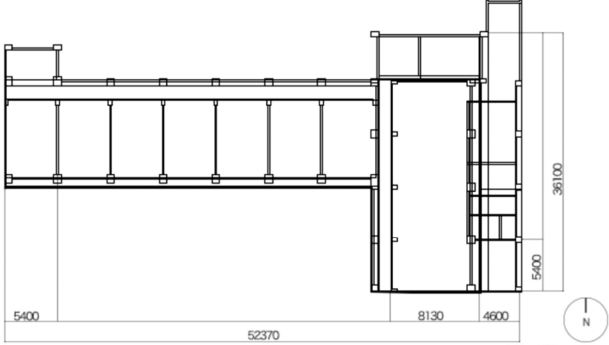
用途 共同住宅

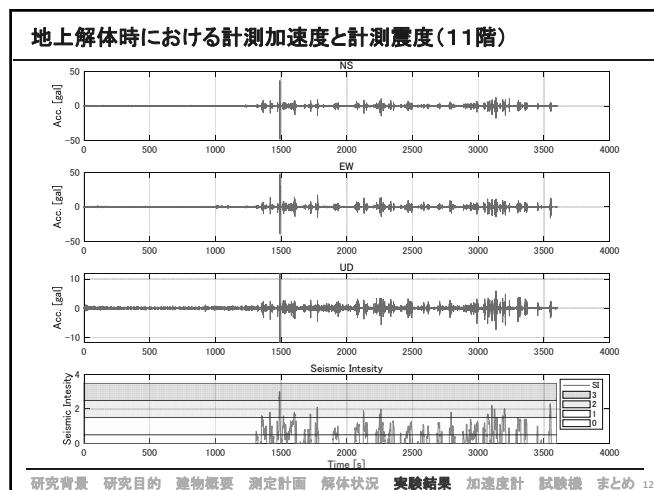
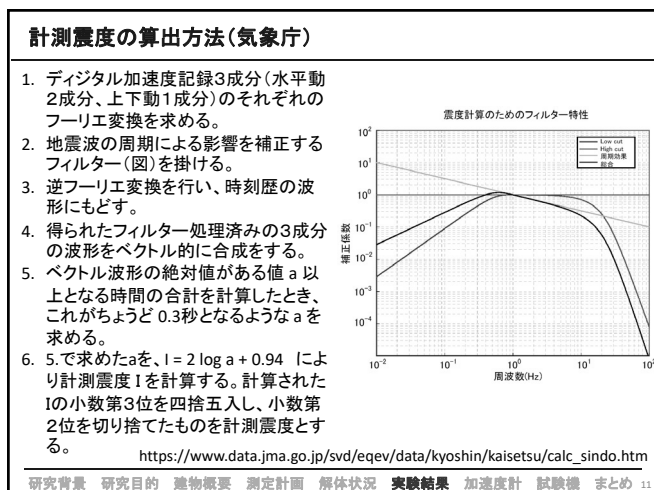
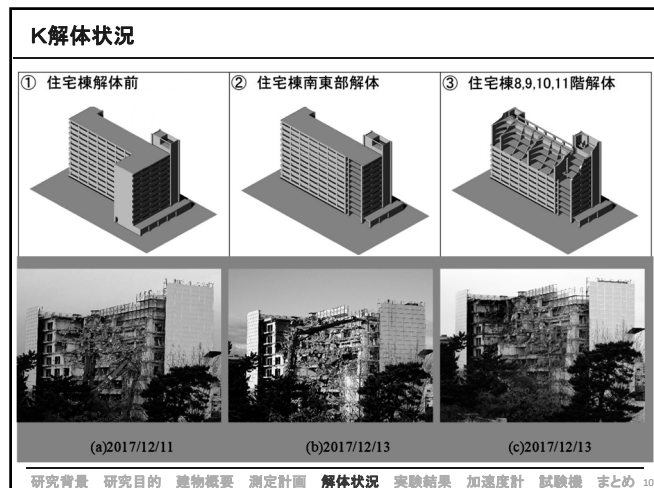
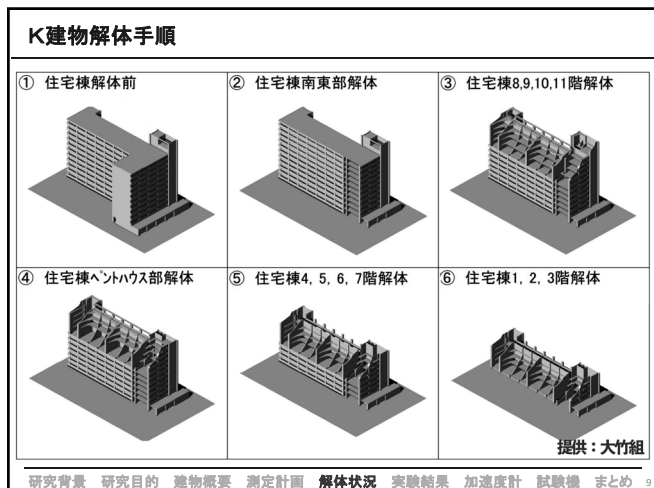
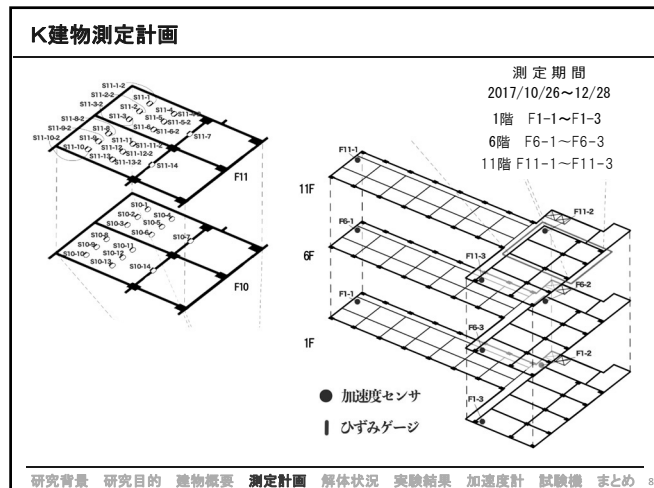
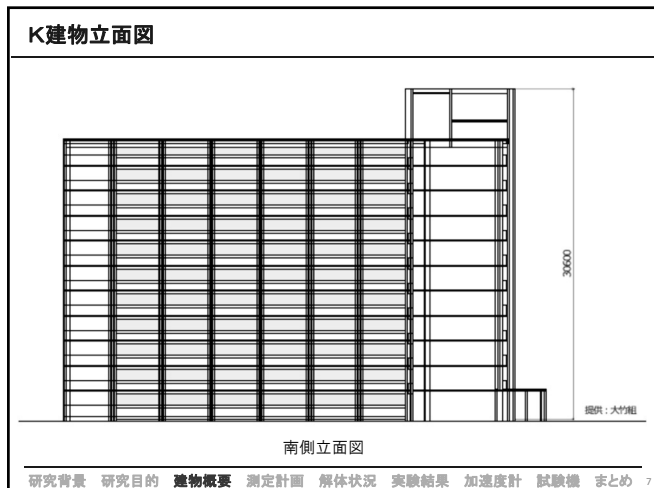
構造種別 RC造

軒高 30.6m

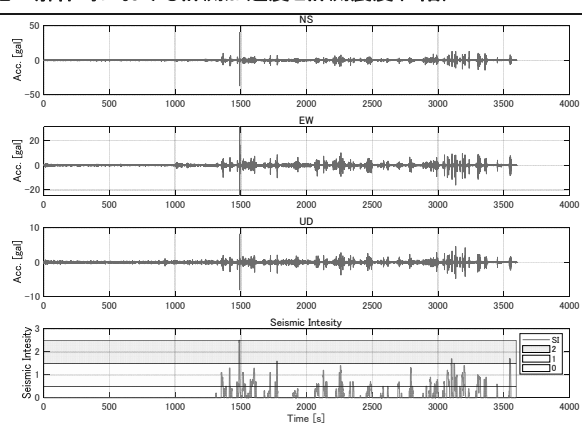
敷地面積 2639.83㎡

研究背景 研究目的 **建物概要** 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 5

K建物基準階平面図  基準階平面図
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ
6

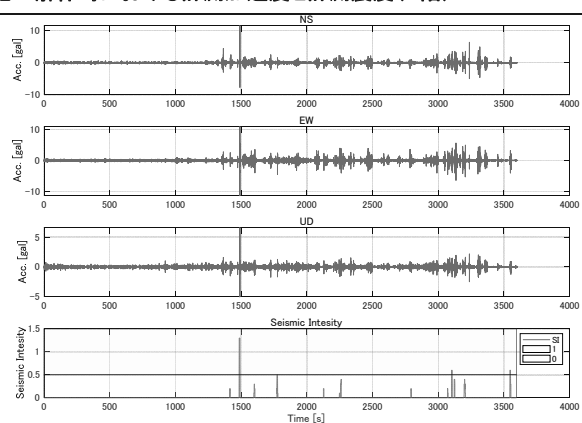


地上解体時における計測加速度と計測震度(6階)



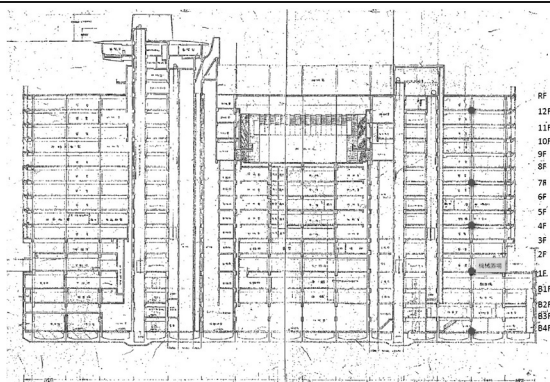
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 13

地上解体時における計測加速度と計測震度(1階)



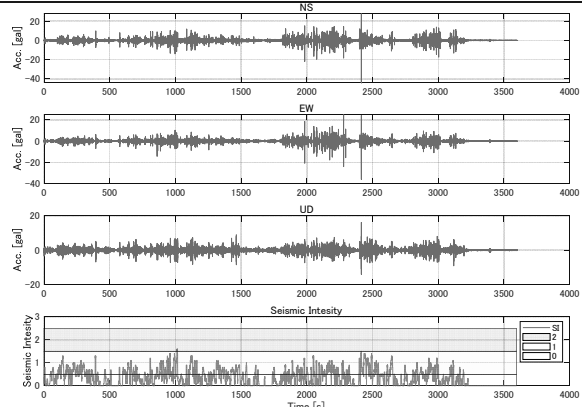
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 14

C建物測定計画(①B4F、1F、4F、7F、12Fにおける振動測定)



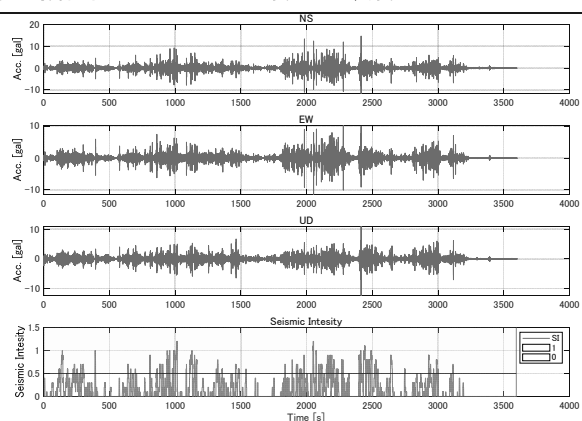
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 15

階上解体時における計測加速度と計測震度(12F)



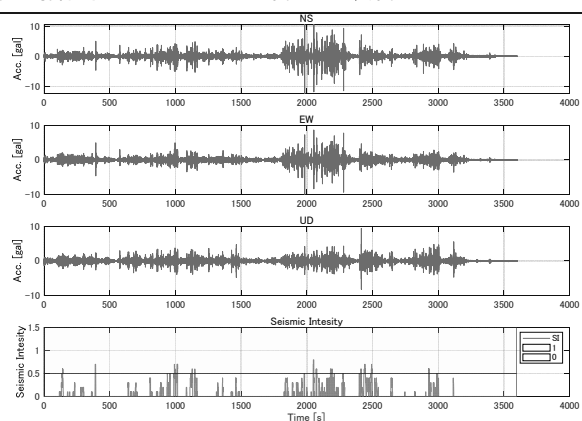
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 16

階上解体時における計測加速度と計測震度(7F)



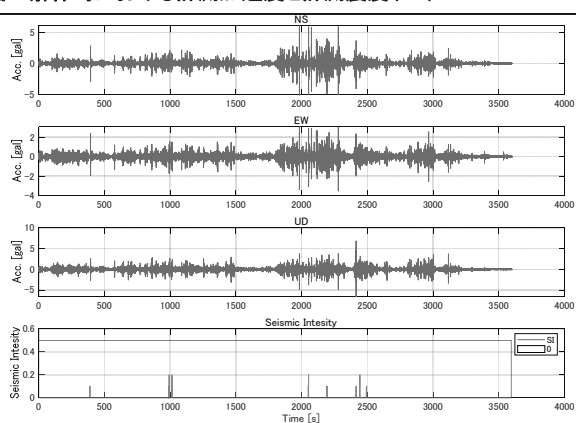
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 17

階上解体時における計測加速度と計測震度(4F)



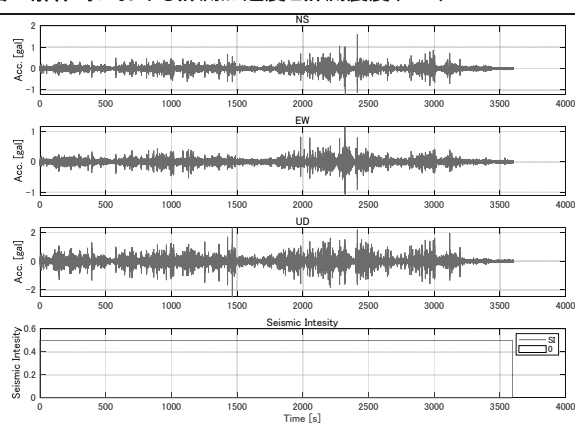
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 18

階上解体時における計測加速度と計測震度(1F)



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 19

階上解体時における計測加速度と計測震度(B4F)



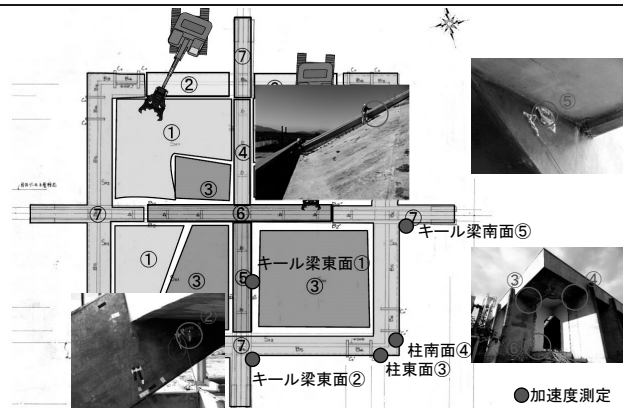
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 20

H建物の外観(北東面より)



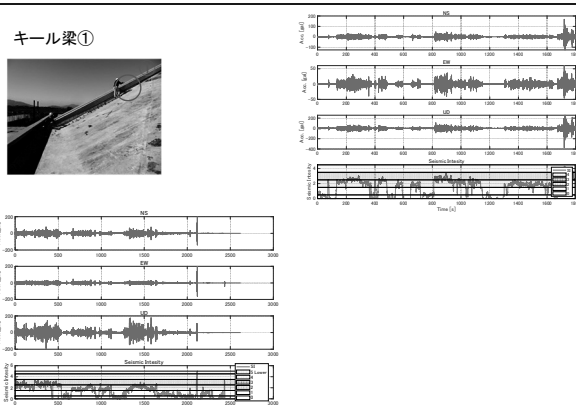
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 21

H建物測定計画(振動)



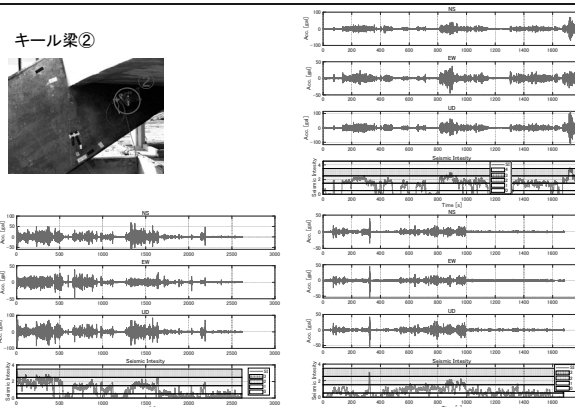
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 22

地上解体時における計測加速度と計測震度(1:キール梁①)



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 23

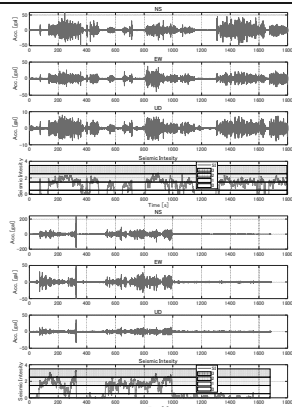
地上解体時における計測加速度と計測震度(2:キール梁②)



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 24

地上解体時における計測加速度と計測震度(3:柱東面③)

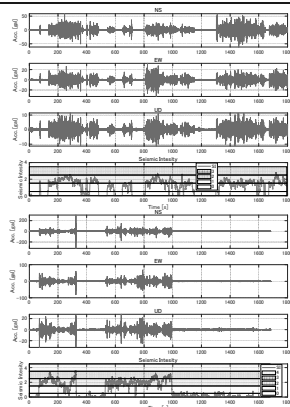
柱東面③



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 25

地上解体時における計測加速度と計測震度(4:柱南面④)

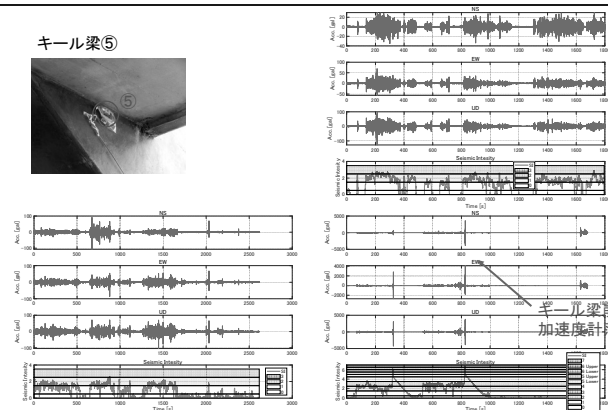
柱南面④



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 25

地上解体時における計測加速度と計測震度(5:キール梁⑤)

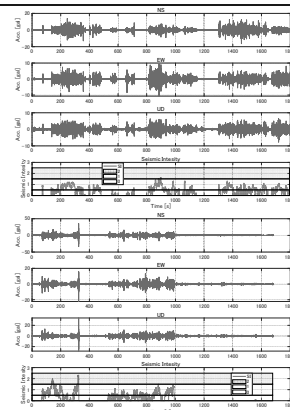
キール梁⑤



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 27

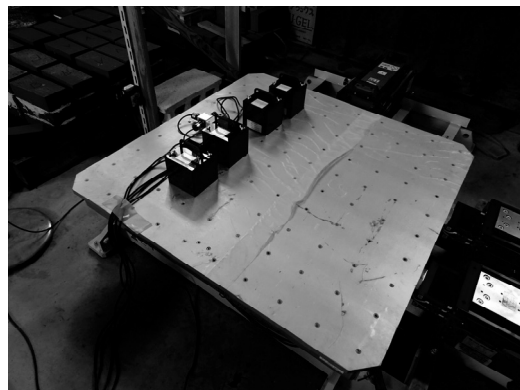
地上解体時における計測加速度と計測震度(6:地盤⑥)

地盤⑥



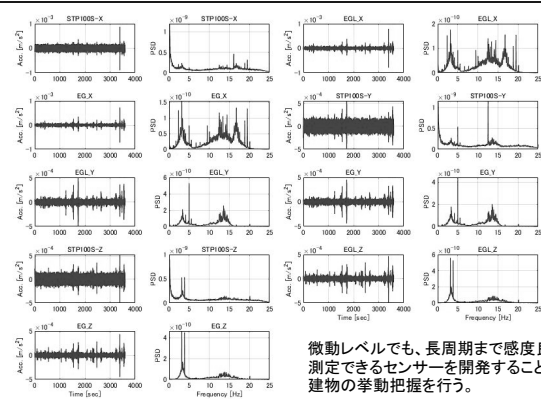
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 25

加速度計の開発



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 29

加速度計の開発



微動レベルでも、長周期まで感度良く測定できるセンサーを開発することで、建物の挙動把握を行う。

研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 29

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)

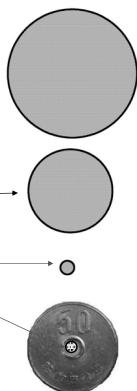
代表的な微破壊強度試験方法

(測定範囲が表面から内部)

●コアドリル法 (φ27mm以上)

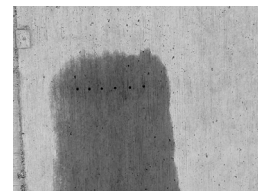
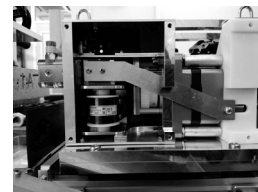
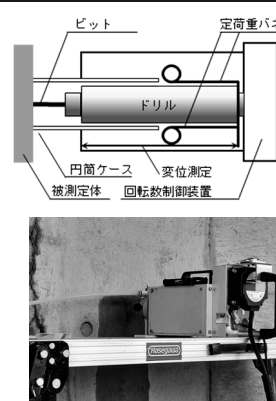
●ハンマードリル法 (φ18mm)

●小径ドリル法 (φ3mm)



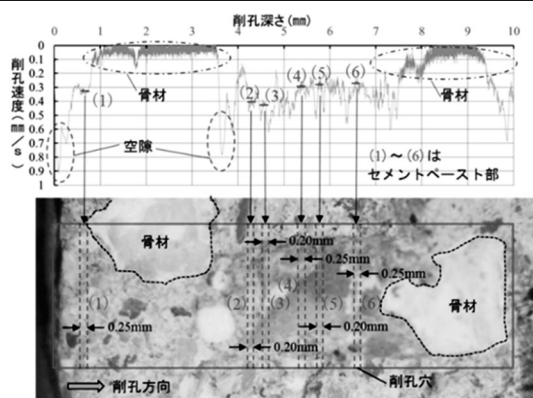
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 31

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)



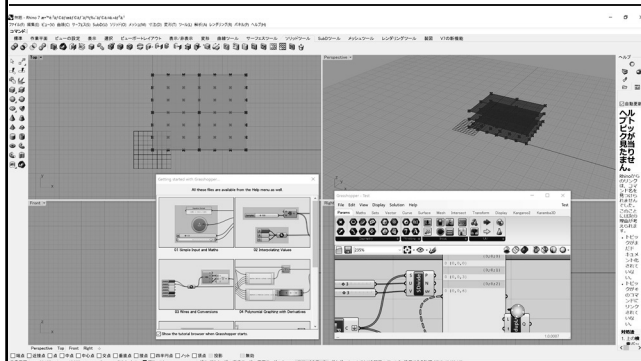
研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 32

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)



研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 33

まとめ(今後の予定)



Rhinoceros+Grasshopperにより、建物全体の揺れ、サポート軸力の変化もモデル化によって見える化に

研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 34

謝辞

本研究の実施にあたって、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。

研究背景 研究目的 建物概要 測定計画 解体状況 実験結果 加速度計 試験機 まとめ 35