

平成 30 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 30 年 7 月 27 日 (金) 13:00～

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29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	・ 高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体システムに関する検討	
	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部建築工学科教
2	・ 解体工事における構造物の安全性に関する実験的・解析的研究	
	青 木 孝 義 青 木 秀 敬 張 景 耀 湯 浅 昇	建築構造技術研究所 (名古屋市立大学) 所長 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科 建築構造技術研究所 (名古屋市立大学) 日本大学 生産工学部建築工学科教授
3	・ 廃ゴムチップの再資源化に関する研究 — ゴムチップコンクリートの衝撃緩衝材としての可能性 —	
	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
4	・ コンクリート用膨張材を用いたモルタルによる小型試験体の破砕性状に関する研究	
	大 塚 秀 三 奥 山 夏 樹	ものづくり大学 技能工芸学部建設学科准教授 ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科ものづくり学専攻
5	・ 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応用研究	
	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部環境創造学科教授
6	・ 4次元シミュレーション結果を基にした解体重機自動操縦手法の提案	
	國 枝 陽 一 郎	首都大学東京 都市環境学部建築都市コース助教
7	・ 解体予定の鉄筋コンクリート造建築物における画像調査手法の適用に関する基礎的研究	
	藤 本 郷 史	宇都宮大学 地域デザイン科学部・建築都市デザイン学科准教授

高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体システムに関する検討

平成30年7月27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/mm²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/mm²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・ワイヤーソーによる
負荷の検討＋騒音

これまでの経緯

2014年7月報告

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

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。



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

①30×30cm、②60×60cm、③80×80cm、④100×100cm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。

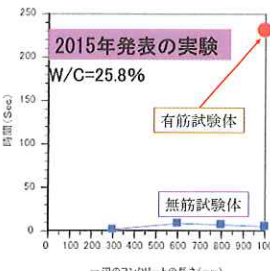
目的に対して中途半端であった！



所要時間で見るとの解体の困難さ

2015年発表の実験

W/C=25.8%



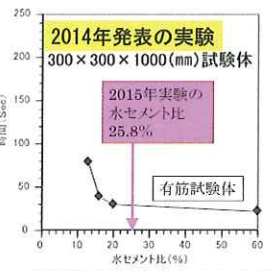
有筋試験体
無筋試験体

2015発表の断面厚シリーズ実験

2014年発表の実験

300×300×1000(mm) 試験体

2015年実験の水セメント比 25.8%

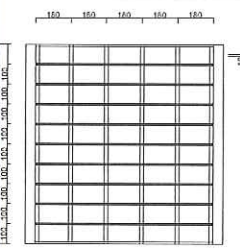
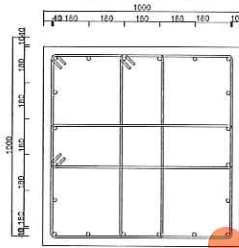


有筋試験体

2014年発表の水セメント比シリーズ実験

2016年7月発表の試験体

鉄筋:
主筋(D19-@180)
(SD685、 σ_y :726N/mm²、 ϵ_y :0.38%、 σ_{max} :985N/mm²、 E :1.89×10⁵N/mm²)
あばら筋(D10-@100)、なかご筋(D10)
(SD295A、 σ_y :356N/mm²、 ϵ_y :0.21%、 σ_{max} :518N/mm²、 E :1.84×10⁵N/mm²)
かぶり(40mm)

配筋図-(横から) 配筋図-(上から)

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21N/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56N/mm² (W/C=32.9%:中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100N/mm² (W/C=23%:中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150N/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

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=23.0% (呼び強度100N/mm²)



W/C=17.0% (呼び強度150N/mm²)



オベのAさんの感想:

- ・呼び強度100N/mm²、150N/mm²ともに石と同じ
- ・呼び強度56N/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



2017年発表のまとめ・・・

ダイヤモンドカッターによる切断では水セメント比が小さくなる(強度が大きくなる)につれて消費電力量(解体負荷)が増すが、カッター回転そのものに要する消費電力量を考えると、大した増加ではない。

超高強度コンクリートはダイヤモンドカッターで切断できるニッカー(ワイヤーソー)はコンクリート強度によらず適用できるだろう

・・・しかし超高強度骨材は切断しにくかった体験有り

超高強度コンクリート部材解体のシステム化研究展開へ

2018年の発表実験
ウォールソー(カッタ)工法&ワイヤーソー工法の負荷



コンクリートの調合

- ①呼び強度21N/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56N/mm² (W/C=32.9%:中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100N/mm² (W/C=23%:中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150N/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)	単位数 (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

コンクリート強度

W/C(%)	圧縮強度 (N/mm ²)		引張強度 (N/mm ²)	
	材齢28日*	2016年 圧砕解体日*	材齢28日*	2016年 圧砕解体日*
61.1 (N)	28.2	35.9 (材齢132日)	1.90	2.30 (材齢132日)
32.9 (M)	65.0	78.4 (材齢83日)		
23 (M)	100.4	102.6 (材齢34日)	2.82	4.22 (材齢34日)
17(SF-PC)	159.9	183 (材齢49日)	3.68	5.42 (材齢49日)

* 材齢28日強度: 20°C封かん、解体日強度: 屋外封かん
 N: 普通ポルトランドセメント使用、M: 中熱ポルトランドセメント使用
 SFPC: シリカフェームプレミックスポルトランドセメント

**2年以上材齢が経過しているのに強度は
更に大きくなっている**



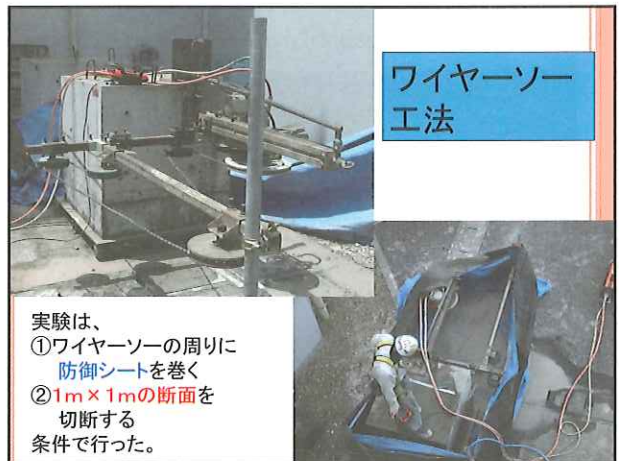
1000×1000×1000 (mm) 配筋側面

1000×1000×1000 (mm) 配筋上面



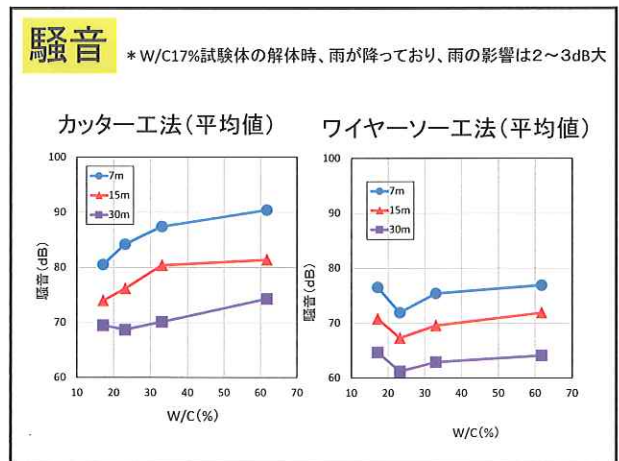
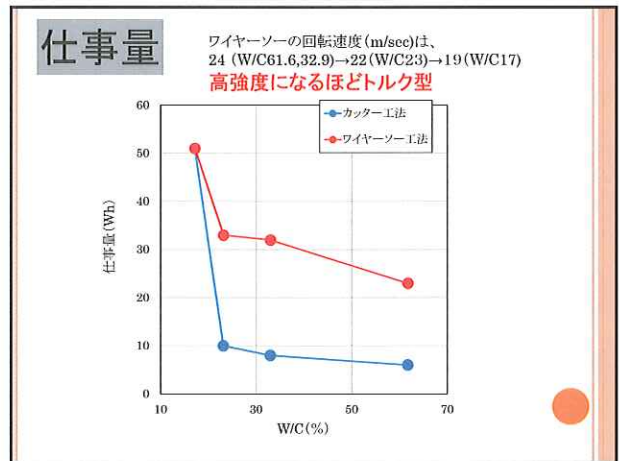
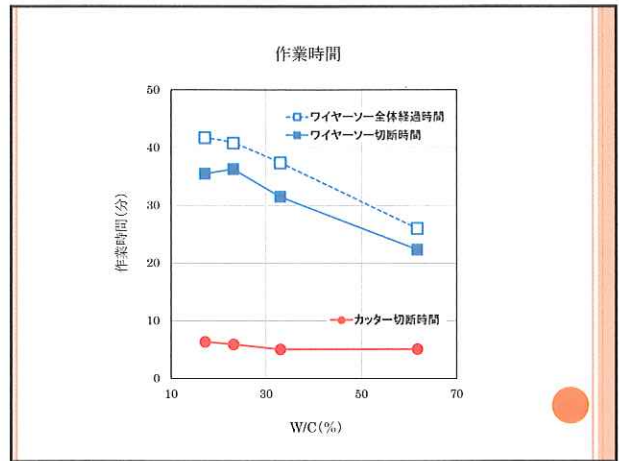
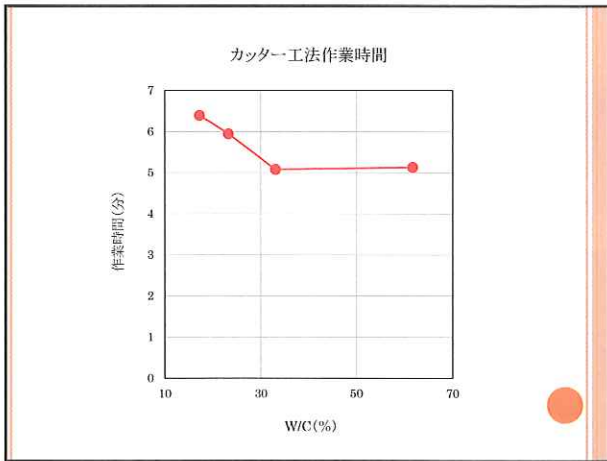
**ウォール
ソー
(カタ)**
工法

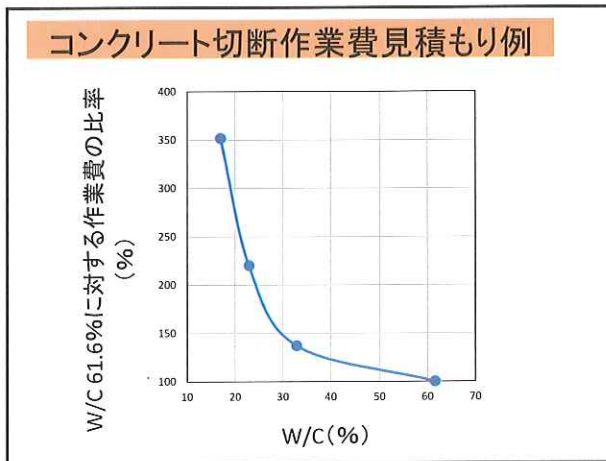
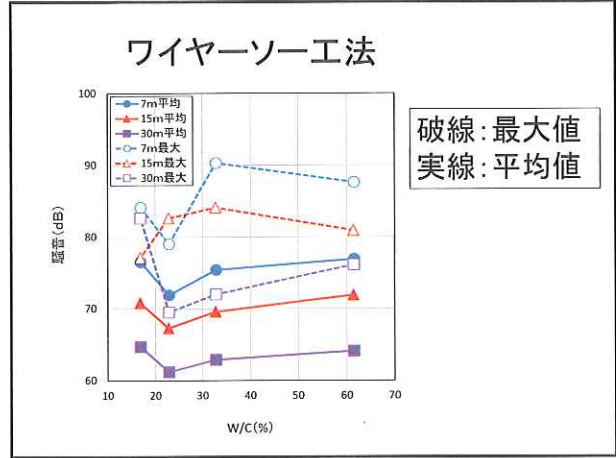
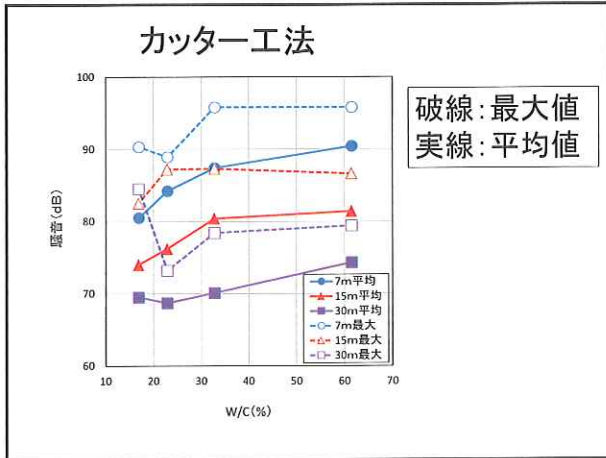
実験は深さ20cmまで1.5往復(3深度)で切断する条件で行った。



**ワイヤーソー
工法**

実験は、
①ワイヤーソーの周りに
防御シートを巻く
②1m×1mの断面を
切断する
条件で行った。





高強度・超高強度コンクリートにおける カッタ、ワイヤーソー工法の解体負荷・騒音

- カッタ、ワイヤーソー工法とも70N/mm²レベルのコンクリートは、普通強度レベルのコンクリートと負荷・騒音とも**ほぼ同等**であった。・・・一般大臣認定高強度レベルのコンクリートの解体はカッタ工法、ワイヤー工法で問題なく行える
- コンクリート強度が100N/mm²を超えるとカッタ、ワイヤーソー工法とも解体**負荷が大きくなるが、騒音(・振動)は問題ない**。・・・大臣認定でも慎重に扱う100 N/mm²を超える超高強度レベルのコンクリートではカッタ工法、ワイヤー工法でも若干の負荷増を考慮する必要があるが圧砕工法に比べると、**これらの工法の採用が現実的である**。

圧砕工法の経済活動に見合った 現実的な採用限度は・・・

一般大臣認定高強度レベル(設計基準強度60 N/MM²以下程度まで:多くは普通骨材を用いる)の内、**実強度で50~60N/MM²以下程度か?**

それ以上ではアタッチメントに掛かる負荷が大きく、騒音・振動でNG

超高強度・高強度レベルのコンクリート部材 の解体における提案

- 解体現場で、カッタもしくはワイヤーソー工法で対象部材をトラックに載せられる大きさまで切断し、搬出・・・超高強度・高強度レベルのコンクリートが使われている部材はその建物の中ではそんなに多くはない(下層階の一部)。
- 部材のままリユースor作業フィールドで圧砕・破碎・分級の上、高級品質のリサイクル材(キーワードはセメントリッチ/高強度再生骨材)に

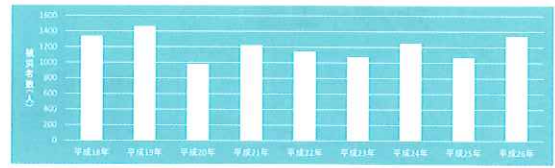
解体工事における構造物の安全性に関する実験的・解析的研究

2018年7月27日

青木秀敬¹⁾, 青木孝義²⁾, 張景耀²⁾, 湯浅昇³⁾

- 1) 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科
- 2) 建築構造技術研究所(名古屋市立大学)
- 3) 日本大学生産工学部建築工学科

研究背景



■ 解体事業の需要増加 ■ 減少傾向にない労働災害件数 ■ 蓄積の少ない基礎データ

高度経済成長期以降に大量に建設された建築物は現在老朽化が進み更新期を迎えている。解体工事における事故の背景には経験に任せた解体工事計画作業手順の判断が行われ工学的な根拠がないこと経費と作業効率を優先した無理な作業工程が実施されていることが挙げられる。

階上解体工事における床板サポート配置計画のフローチャート作成・略残式の提案などがされているが略残式は仮定が多く、実際の解体工事では誤差が大きいため、精度向上のためにデータの蓄積が必要であるとしている。

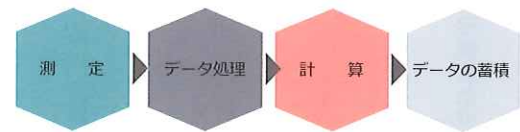
これまでの研究

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。

平成29年度の研究

K建物の解体工事における安全性に関する研究



解体工事中の建物の床板サポートのひずみと建物振動の測定
測定データの解析ひずみの軸力への変換固有振動数減衰係数の推定
笠井先生と三同建設のフローチャートを計算その結果の比較
略残式、計算式の精度の向上へ

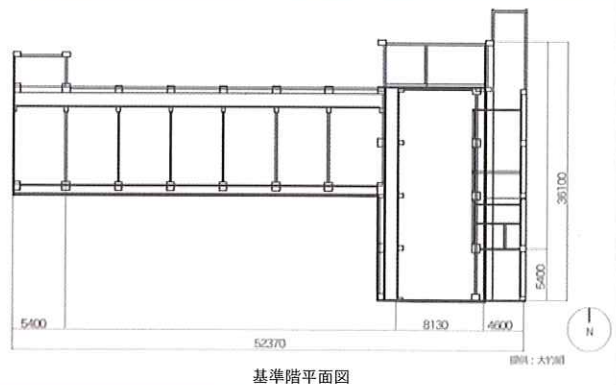
K建物概要



建物外観

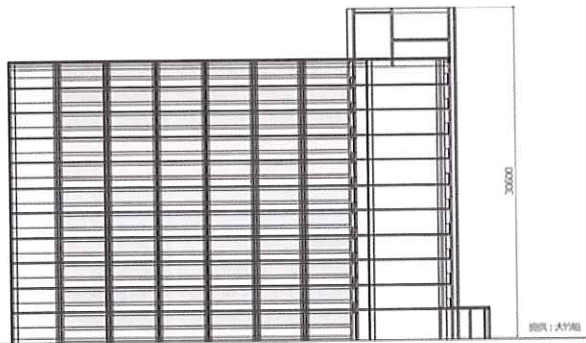
竣工 1969年	建物規模 地上11階+塔屋	用途 共同住宅
構造種別 RC造	軒高 30.6m	敷地面積 2639.83㎡

K建物基準階平面図



基準階平面図

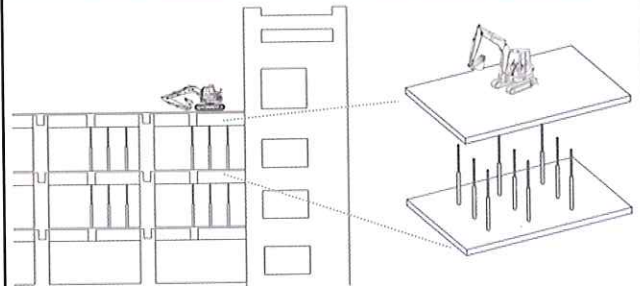
K建物立面図



南側立面図

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 計算 まとめ 7

階上解体工法と床版サポート

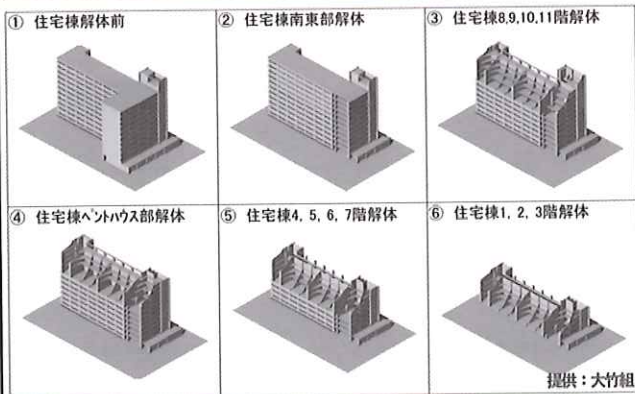


階上解体と床版サポート

当初計画：建物南東部(L字部分)から西へ順次解体していく予定だったが、コンクリートが想定よりも脆かったため、上階から順番に解体するように変更

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 計算 まとめ 8

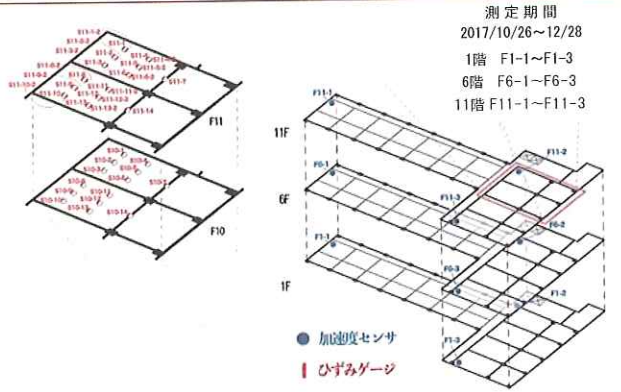
解体手順



提供：大竹組

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 計算 まとめ 9

測定計画(ひずみゲージ、加速度センサ)



測定期間

2017/10/26~12/28

1階 F1-1~F1-3

6階 F6-1~F6-3

11階 F11-1~F11-3

● 加速度センサ
| ひずみゲージ

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 計算 まとめ 10

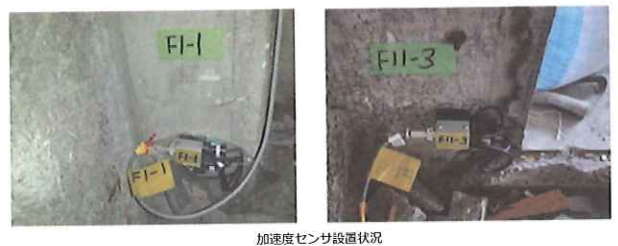
測定計画(ひずみゲージ)



ひずみゲージ貼付状況

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 計算 まとめ 11

測定計画(加速度センサ)



加速度センサ設置状況

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 計算 まとめ 12

解体状況(1)



重機揚重の様子・解体工事



(a)2017/10/29

(b)2017/10/31

(c)2017/11/25

解体状況(2)



(a)2017/12/11

(b)2017/12/13

(c)2017/12/13

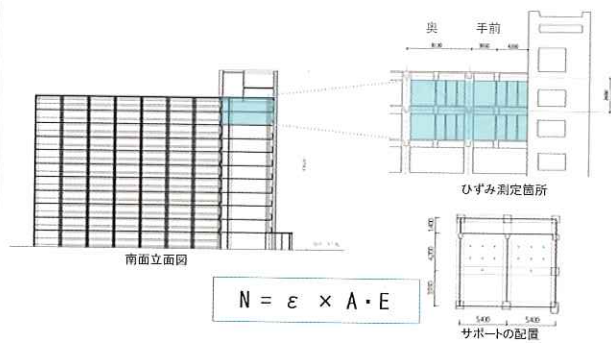


(a)2018/1/12

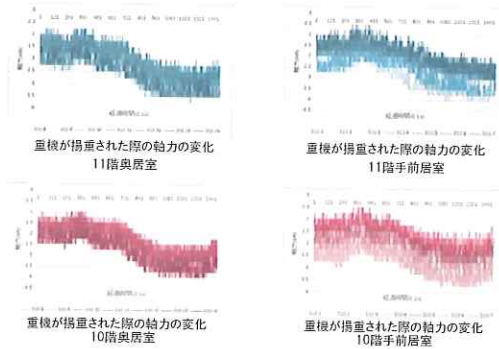
(b)2018/1/14

(c)2018/1/22

ひずみと軸力



重機が揚重された際の軸力



重機が揚重された際の軸力

重機が揚重された際の軸力の最大値と最小値

10階奥居室	11F-1	11F-2	11F-3	11F-4	11F-5	11F-6	11F-7
Max(kN)	-1.50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.75	-1.25
Min(kN)	-3.25	-3.00	-3.00	-3.25	-3.25	-4.25	-4.00
差(kN)	-2.50	-2.00	-2.00	-2.25	-2.25	-2.50	-2.75

■ 揚重された重機の重さは85kN

11F奥居室	11F-8	11F-9	11F-10	11F-11	11F-12	11F-13	11F-14
Max(kN)	-1.00	-1.00	-0.75	-0.75	-1.25	-0.50	-1.00
Min(kN)	-3.25	-3.00	-3.00	-3.00	-3.50	-3.00	-3.50
差(kN)	-2.25	-2.00	-2.25	-2.25	-2.50	-2.50	-2.97

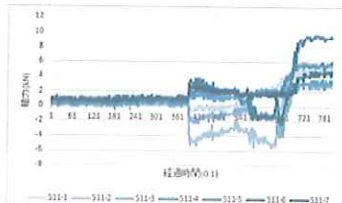
■ 28本のサポートにかかった合計の軸力は62.59kN
重機荷重の約73%を負担している

10F奥居室	10F-1	10F-2	10F-3	10F-4	10F-5	10F-6	10F-7
Max(kN)	-1.50	-1.00	-1.72	-0.72	-0.50	-1.72	-1.00
Min(kN)	-3.47	-2.72	-3.72	-2.47	-2.72	-3.2	-2.72
差(kN)	-1.92	-1.72	-2.00	-1.75	-2.22	-2.00	-1.72

■ サポート一本あたりにかかった平均の軸力は2.37kN

10F奥居室	10F-8	10F-9	10F-10	10F-11	10F-12	10F-13	10F-14
Max(kN)	-0.97	-1.25	-1.00	-1.24	-1.49	0.99	-1.49
Min(kN)	-3.20	-3.72	-3.47	-3.22	-3.56	-3.45	-3.96
差(kN)	-2.22	-2.47	-2.47	-1.99	-2.47	-2.48	-2.48

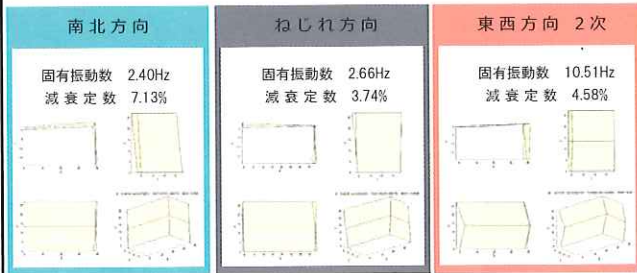
サポートを緩めた際に抜けた軸力



重機が揚重された際の軸力の最大値と最小値

10F奥居室	10F-1	10F-2	10F-3	10F-4	10F-5	10F-6	10F-7
Max(kN)	5.02	6.02	3.27	3.78	6.02	9.77	4.77
Min(kN)	-0.97	-5.46	-4.21	-0.21	0.28	-2.46	0.53
差(kN)	5.99	11.49	7.49	3.99	5.74	12.23	4.24

解体工事前の振動モード



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 計算 まとめ 19

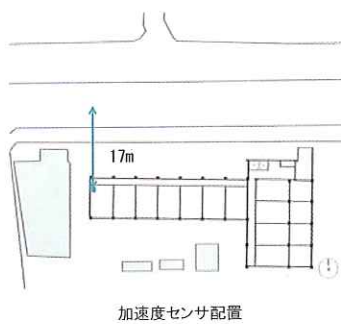
解体工事中における固有振動数の変化



固有振動数の変化

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 計算 まとめ 20

解体工事による建物振動



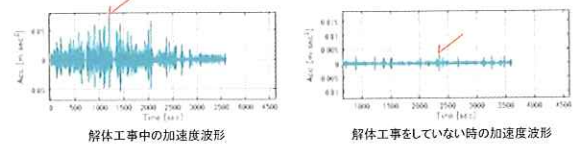
$$A \text{ dB} = 10 \log (a / 10^{-5})^2$$

a : 加速度 [m/s²]
10⁻⁵ : 基準振動加速度 (JIS C1510)

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 計算 まとめ 21

解体工事による建物振動

Z方向の振動レベルの比較



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 計算 まとめ 22

振動レベルとその影響

振動レベル	振動の影響	震度の解説	震度	gal
90dB	有意な生理的影響が生じ始める	かなりの恐怖感があり、一部の人は身の安全を固うとする	4	25~80
80dB	深い眠りに対して影響が出始める	屋内にいる殆どの人が揺れを感じ、恐怖を覚える人もいる	3	8~25
70dB	過半数の人が振動をよく感じる 浅い眠りに対して影響が出始める	屋内にいるほとんどの人が揺れを感じ、眠っている人の一部が目覚ます	2	2.5~8
60dB	振動を感じ始める	屋内にいる人の一部がわずかな揺れを感じる	1	0.5~2.5
50dB		人は揺れを感じない	0	0~0.5

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 計算 まとめ 23

サポート配置計画の比較

笠井先生の略算式

サポート有無の判断
↓
サポートの配置方法の選択
↓
必要サポート層数の算出
↓
単位ユニットあたりの必要サポート耐力の計算

三同建設の計算

ガラ積と重機の作業状態の算定
↓
サポートの支持幅の算出
↓
必要サポート層数の算出
↓
スラブの検討

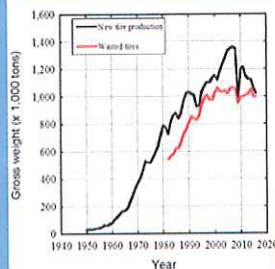
研究背景 研究目的 建物概要 解体案 測定計画 解体状況 ひずみ 振動 計算 まとめ 24

廃ゴムチップの 再資源化に関する研究

—ゴムチップコンクリートの
衝撃緩衝材としての可能性—

防衛大学校システム工学群
建設環境工学科
教授 藤掛一典

研究の背景

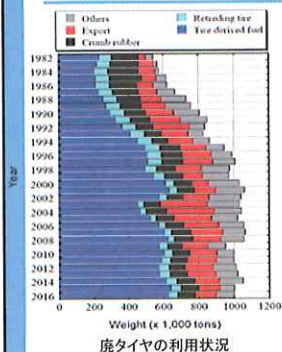


タイヤの生産量と廃棄量の経年変化

- 約100万tのゴムタイヤが廃棄されている。
- 2016年では生産量、廃棄量ともに100万t

↓
毎年、膨大な量のタイヤが生産されるとともに廃棄されている

廃タイヤのリサイクル状況

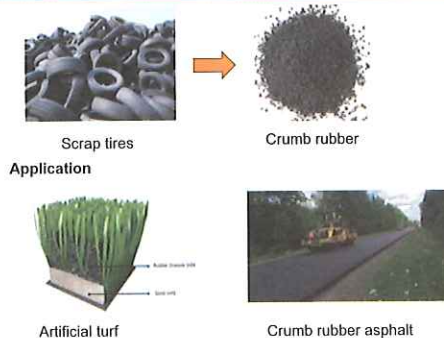


- 2016年度では、廃タイヤのリサイクル率は90%以上に達している。
- その60%は燃料利用等のサマールリサイクルが主。

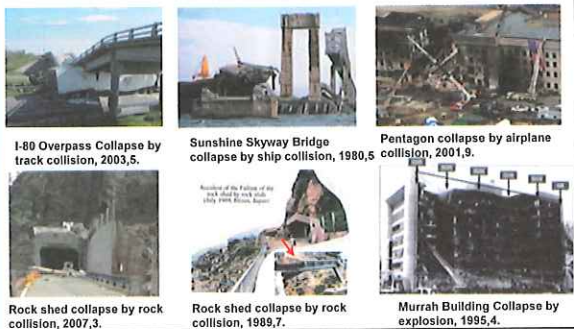
↓
燃焼によるCO₂や有害ガスの発生が環境問題の大きな原因となっている

↓
環境にできるだけ負担をかけない廃タイヤのリサイクルが求められる。

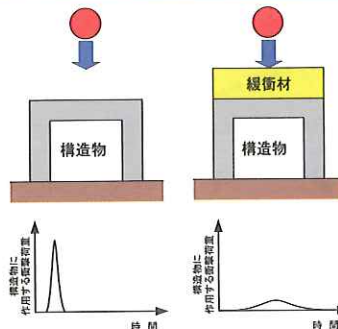
ゴムチップの既存の適用事例



衝撃・爆発荷重を受ける構造物



衝撃荷重から構造物を守るための緩衝材



本研究の目的

・ゴムチップを混入したコンクリート・モルタルの衝撃緩衝材としての可能性を調べる。

- ・ 静的載荷試験
 - ・ 圧縮載荷試験
 - ・ 曲げ載荷試験
- ・ 衝撃載荷試験

コンクリート・モルタルの基本配合

〈コンクリートの配合〉

W/C	W	C	S	G	空気量 (%)	スランプ (cm)
0.55	176	320	910	986	1	20

〈モルタルの配合〉

W/C	W	C	S	空気量 (%)
0.55	275	500	1463	1

ゴムチップについて



・ 廃タイヤを細かく破碎したもの

・ ゴムチップの粒形
1mm~2mm

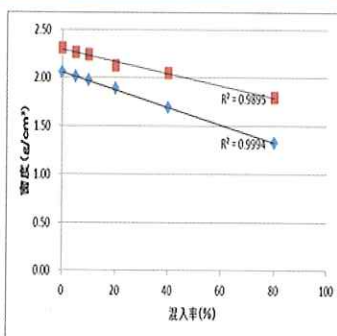
・ 細骨材(砂)と置換

ゴムチップコンクリート・モルタルの配合

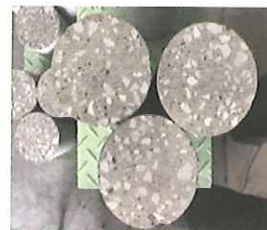
置換率は以下の6ケースである。

細骨材中の割合	0%	5%	10%	20%	40%	80%
コンクリート (L)	0	17	34	68	136	271
モルタル (L)	0	27	54	109	218	436

ゴムチップの混入率と密度の関係



ゴムチップコンクリート供試体の状況



ゴムチップの混入率=0%



ゴムチップの混入率=80%

ゴムチップモルタル供試体の状況



ゴムチップの混入率=0%



ゴムチップの混入率=80%

静的載荷試験の概要



圧縮試験



曲げ試験

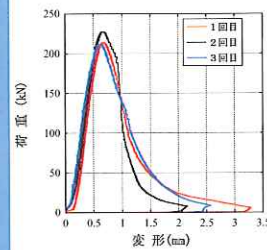
衝撃載荷試験



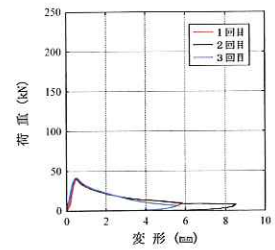
- 重錘の質量: 400kg
- 落下高さ: 100, 200, 300mm
- 計測項目: 加速度, 変位, 荷重
- 破壊状況: 高速カメラ

静的圧縮試験結果(コンクリート)

混入率0%

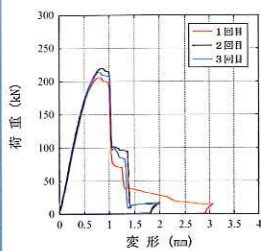


混入率80%

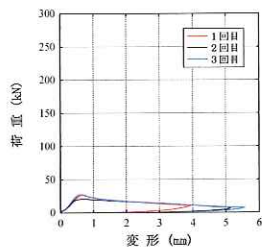


静的圧縮試験結果(モルタル)

混入率0%

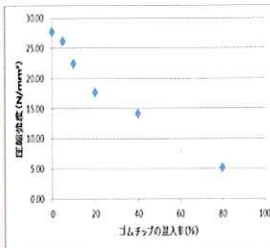


混入率80%

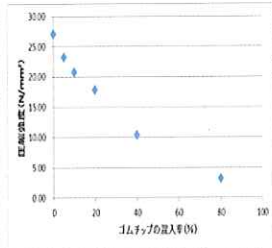


ゴムチップの混入率と圧縮強度の関係

コンクリート供試体

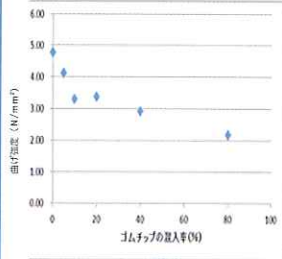


モルタル供試体

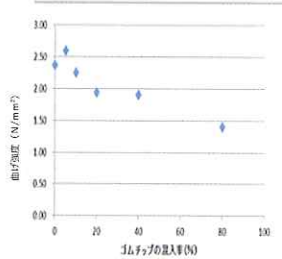


曲げ試験結果

コンクリート供試体

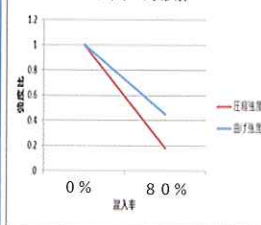


モルタル供試体

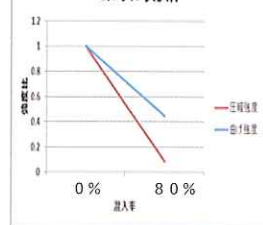


混入率に対する圧縮強度・曲げ強度の比

コンクリート供試体



モルタル供試体



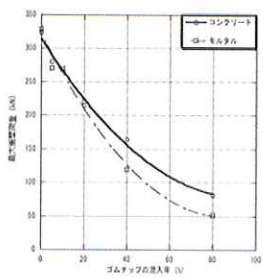
圧縮強度により影響を及ぼしやすい

衝撃载荷試験の結果

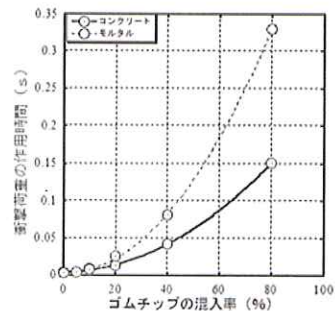
落下高さ
100mm⇒破壊なし
200mm⇒一部破壊
300mm⇒全ケース破壊

落下高さ300mmでコンクリートとモルタルの比較を行った

混入率と最大荷重の関係

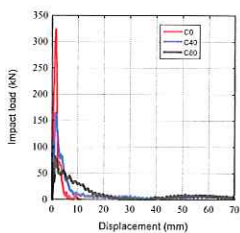


混入率と作用時間の関係

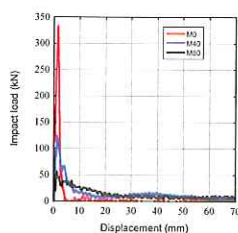


試験体の変形と衝撃荷重の関係

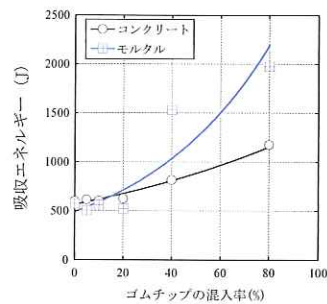
コンクリート供試体



モルタル供試体



ゴムチップの混入率とエネルギーの関係



まとめ

ゴムチップの混入率の増加に伴い

1. 増加密度が小さくなる
2. 衝撃荷重は小さくなる
3. 衝撃荷重の作用時間は大きくなる
4. 吸収エネルギーは大きくなる



混入率40%以上の
モルタル供試体が衝撃緩衝
材として有効的である

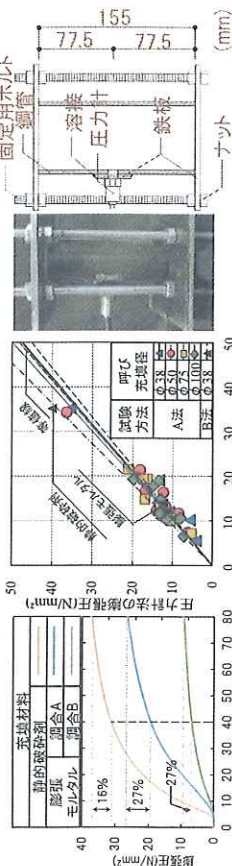
コンクリート用膨張材を用いたモルタルによる 小型試験体の破碎性状に関する研究

ちのつくり大学 大塚秀三
ちのつくり大学大学院 奥山夏樹

I. はじめに ～ 既報の研究 ～

■ 検討項目および結果

■ 静的破碎剤の既往の文献を基に膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法の検討



◆ 膨張圧の測定方法②

測定開始から	測定結果
40時間まで急激に上昇	上下面拘束外管法(A法)
以降は緩やかな変化	下面拘束外管法(B法)
測定開始から40時間後の時点で膨張圧の評価が可能	圧力計法

40時間後の膨張圧により検討

I. はじめに ～ 研究の背景 ～

■ 鉄筋コンクリート構造物の解体工事

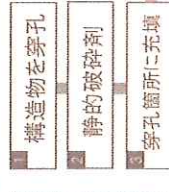
① 重機による解体工法



圧砕工法

大型ブレーカー工法

② 騒音・振動・粉塵を考慮 ▶ 静的な解体工法



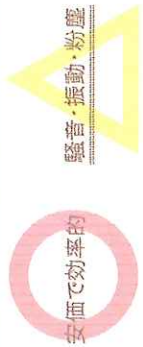
静的破碎利工法

■ コンクリート用膨張材 (主成分: 生石灰)

用途: 現場打ちコンクリートの収縮低減

多量に混入したモルタル(膨張モルタル)

静的に鉄筋コンクリートを破碎できる新たな解体工法を開発



△ 周辺環境への影響が多大



2. 実験概要 ～ 本報告における検討項目の概要 ～

■ 本検討で用いる膨張材の膨張圧の発生機構

石灰系の膨張材

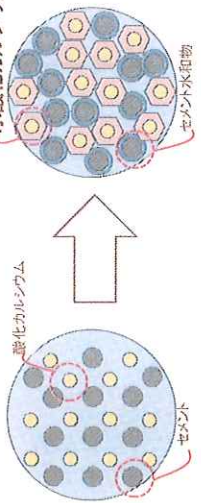


図1 写真 石灰系膨張材の膨張圧の発生機構

■ 膨張モルタルによる鉄筋コンクリートの破碎性状

検討項目1 鉄筋の配筋条件の違い

検討項目2 膨張モルタルの割合および埋設径の違い

① 複数の配筋条件, 調合条件のもと試験体を作製

② 膨張モルタルの割合および充填を行う穿孔径を変化

ひび割れおよび破砕に関する試験項目

発生角度, 発生本数, 発生時間, 貫通の有無, 幅, 破碎時間

2. 実験概要 ~ 試験項目および方法

4/20

表 実験の要因と水準

要因		水準
膨張モルタルの水結合材比(%)		20, 30, 40
破砕試験体の水セメント比(%)		45.0
鉄筋の配筋		無筋, シングル配筋, ダブル配筋
埋設径(mm)		φ38, 50, 100
埋設深さ(mm)		150
埋設間隔(mm)		0, 150

表 破砕試験体の調査

セメント	呼び強度 (%)	W/C s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			Ad (kg/m ³)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾塑性係数 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)		
			W	C	S						G	
N	24	58.5	48.5	181	310	856	919	3,720 ⁺¹	2,266	29.48	26.9	2.60
	36	45.0	48.9	175	389	838	887	3,501 ⁺²	2,289	41.70	22.6	3.38
	45	37.0	46.7	175	473	767	887	4,257 ⁺²	2,302	48.91	29.9	4.73

Ad¹: AE減水剤, Ad²: 高性能AE減水剤

表 膨張モルタルの調査

W/B	単位量 (kg/m ³)		
	C	E	S
20	558	558	223
30	1:1	502	502
40	456	456	365

©Oriskun Lab. 2018.7.27

5/20

表 試験項目および方法

試験項目	試験方法	備考
ひび割れ発生角度	図に示す	
ひび割れ発生本数	目視観察	8時間ごとに4日間測定
ひび割れ発生時間		
ひび割れ貫通(有無)		
ひび割れ幅	NDJIS 3418:2012	
破砕時間	ひずみゲージを用いて	テーラログで5分ごとに4日間測定
圧縮強度	JIS A 1108:2012	テストピースおよび
弾塑性係数	JIS A 1149:2010	コア供試体を用いる
割裂引張強度	JIS A 1113:2006	

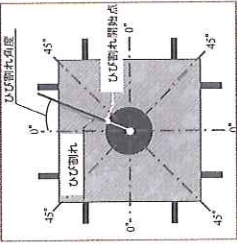


図 ひび割れ発生角度の測定

ひび割れ発生角度の測定方法

- ① 充填位置の円周に接するひび割れの端点 ▶ ひび割れ開始点
- ② ひび割れ開始点と充填位置の中心を直線で結んだ距離 最も近い角度0° 最も遠い角度45°

0~45° の範囲で測定

©Oriskun Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕状況に及ぼす影響 ~ 7/20

■(1)破砕時間の結果

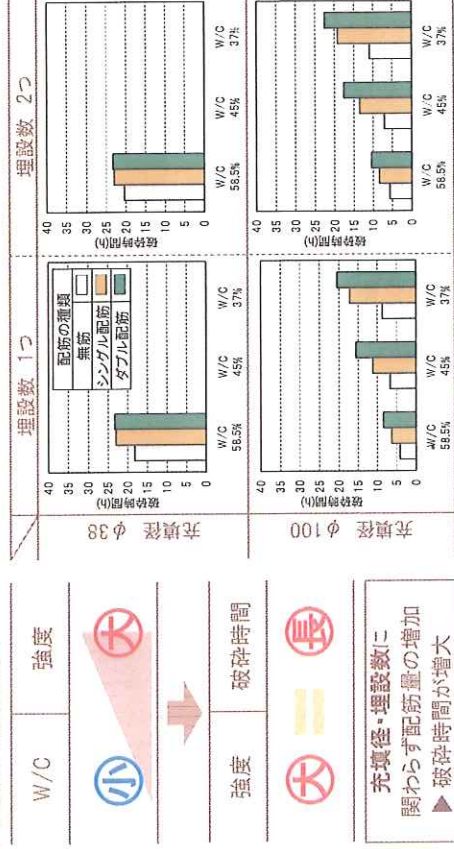


図 破砕時間の実験結果

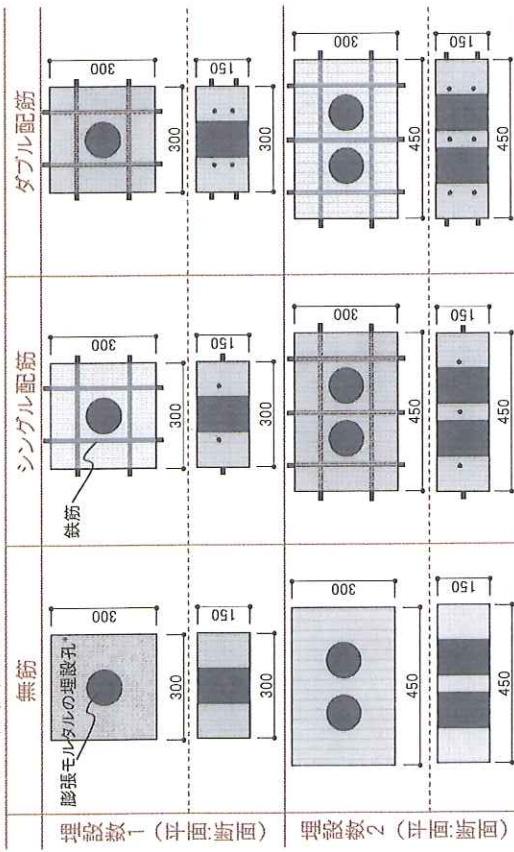
破砕時間が未確認の水準

➡ 充填径が小さかったため、破砕に至るまでの膨張圧が不足？

©Oriskun Lab. 2018.7.27

2. 実験概要 ~ 破砕実験に用いる試験体 ~ 6/20

■コンクリート試験体の概要



膨張モルタルの埋設孔: 直径はφ38, 50, 100mm

©Oriskun Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕性状に及ぼす影響 ~ 8/20

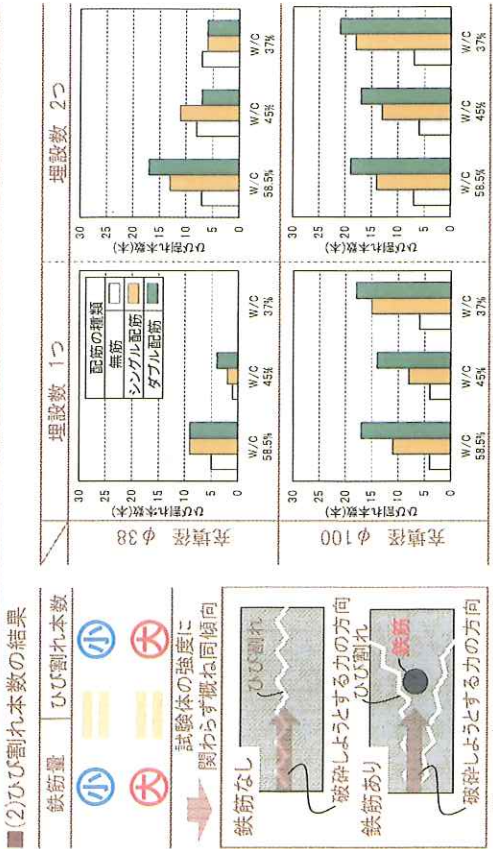


図 ひび割れ本数の実験結果

鉄筋量の増加 ▶ 拘束力の増加
ひび割れ本数が増加した理由 ▶ 破砕しようとする応力が鉄筋を選けた?

©Oriskai Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕性状に及ぼす影響 ~ 9/20

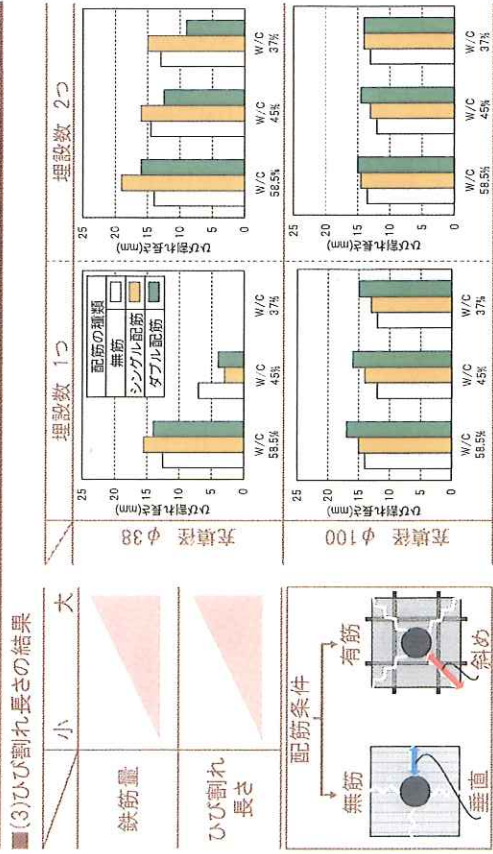


図 ひび割れ長さの違い

配筋条件によりひび割れ長さが違う傾向 ▶ ひび割れの方向の違いに起因?

©Oriskai Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕性状に及ぼす影響 ~ 10/20

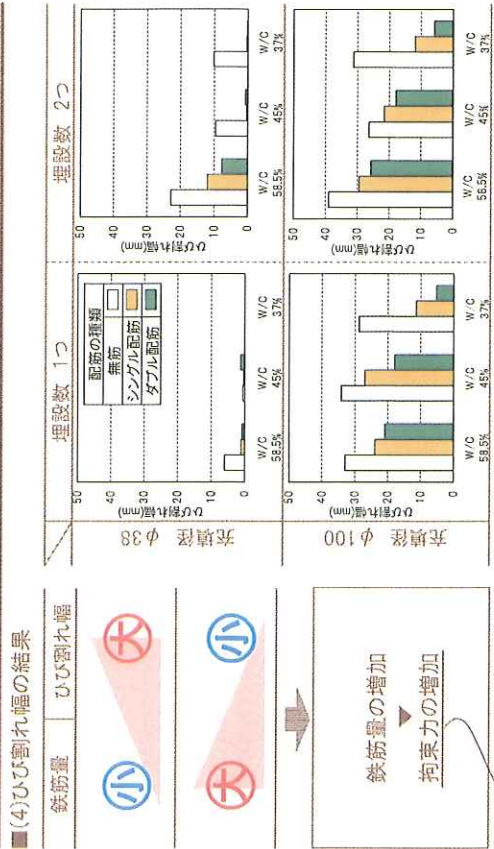


図 ひび割れ幅の実験結果

拘束力の増大によりひび割れの幅が減少
また、充填径・埋設数に関わらず同様の傾向

©Oriskai Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕性状に及ぼす影響 ~ 11/20

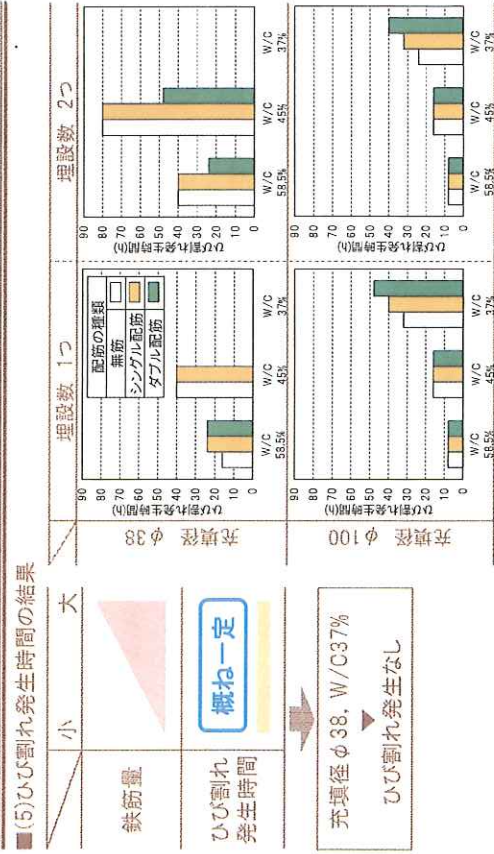
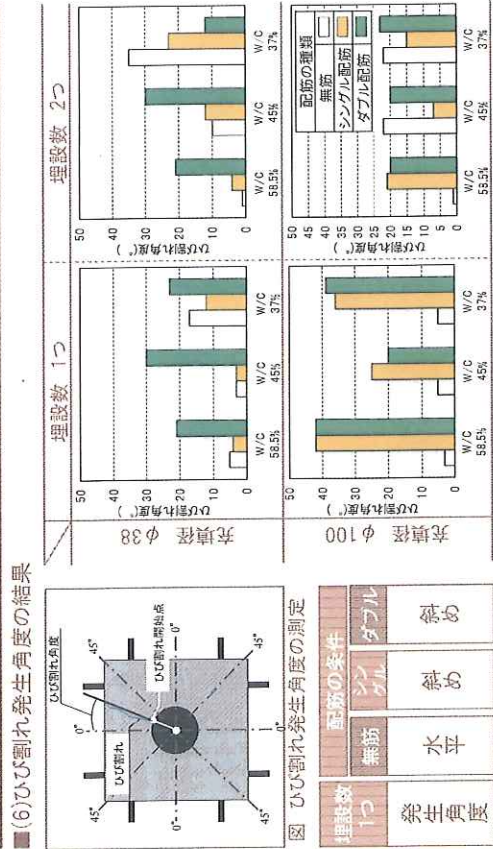


図 ひび割れ発生時間の実験結果

充填径が小さいため、
膨張圧による応力が試験体の強度を下回ったことに起因?

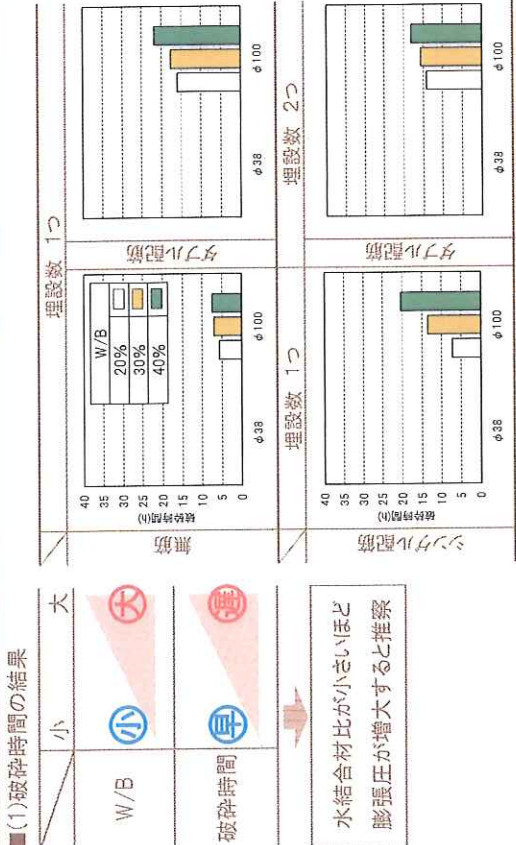
©Oriskai Lab. 2018.7.27

3. 実験結果 ~ 鉄筋の配筋条件が破砕性状に及ぼす影響 ~ 12/20

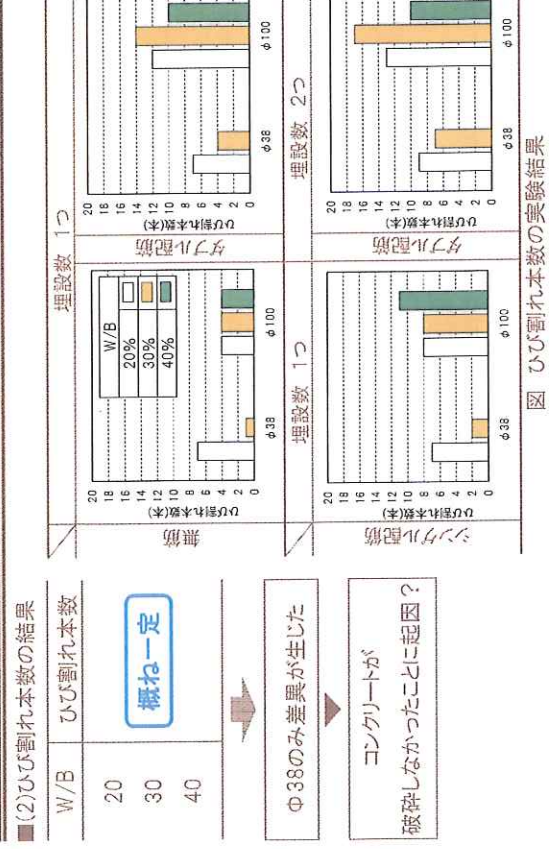


鉄筋の拘束力が存在するため鉄筋と遠い位置からひび割れが生じた？

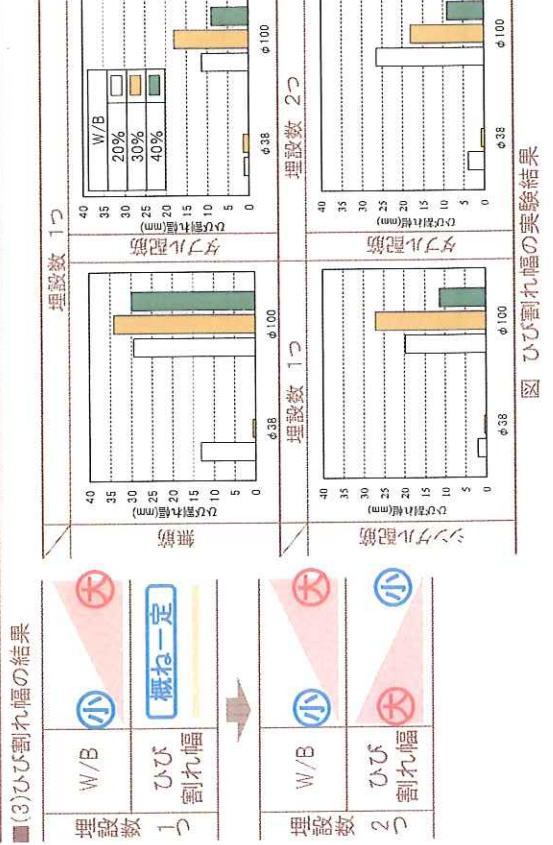
3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 13/20



3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 14/20



3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 15/20



3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 16/20

■(4)ひび割れ長さの結果

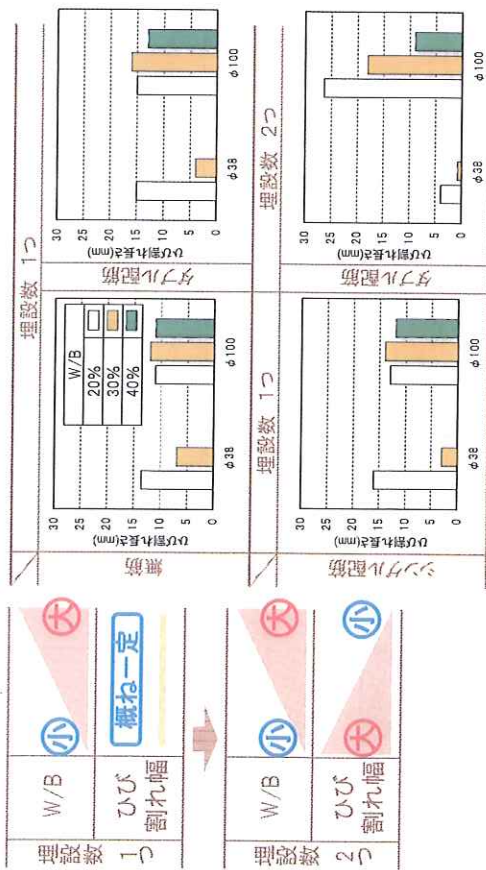


図 ひび割れ長さの実験結果

3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 18/20

■(6)ひび割れ発生角度の結果

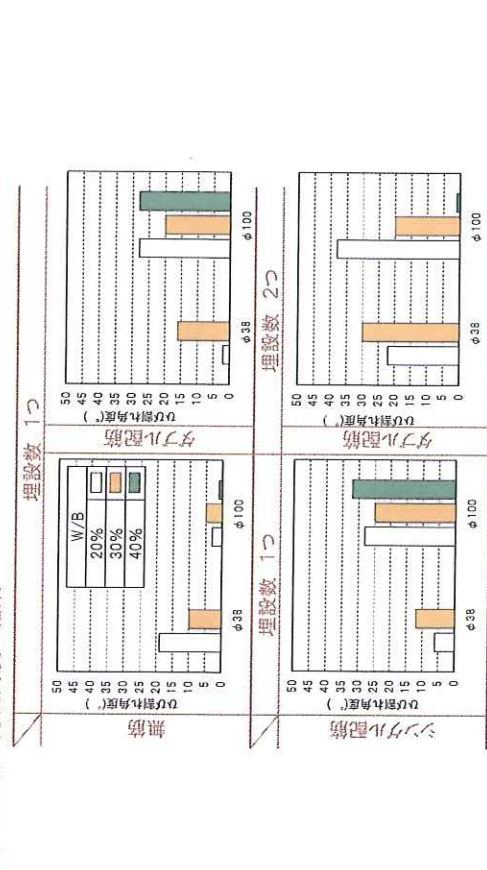


図 ひび割れ発生角度の実験結果
あまり変化が見られなかった

3. 実験結果 ~ 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響 ~ 17/20

■(5)ひび割れ発生時間の結果

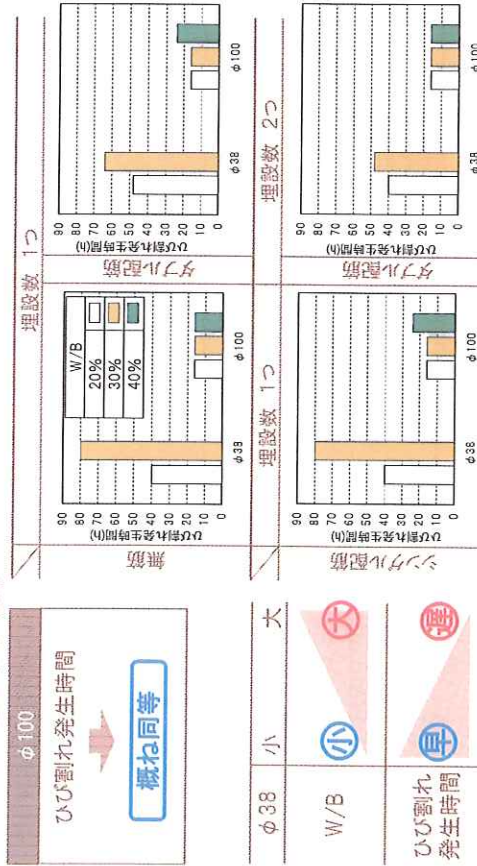
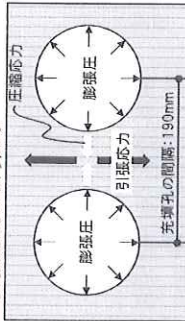


図 ひび割れ発生時間の実験結果

φ100の水準では膨張圧が大きくなるため?

3. 実験結果 ~ 破砕時の引張応力と鉄筋量の関係 ~ 19/20

■引張応力の計算式?



$$\sigma_t = \frac{2 \times a^2 \times \pi \times p_i}{(R/2)^2}$$

σ_t: 引張応力
 a: 充填孔の半径(mm)
 p_i: 充填孔内の膨張圧(N/mm²)
 R: 充填孔の間隔(mm)



W/C	W/B	配筋状態	引張強度 (N/mm ²)	膨張圧 (N/mm ²)	引張応力 (N/mm ²)
58.5	30	無し	4.73	0	0.48
58.5	30	シングル	4.73	0.014	1.48
58.5	30	ダブル	4.73	0.028	3.09
45	20	ダブル	3.38	0.028	6.05
45	30	無し	3.38	0	1.71
45	30	シングル	3.38	0.014	4.69
45	30	ダブル	3.38	0.028	6.32
45	40	ダブル	3.38	0.028	4.39
37	30	無し	2.6	0	3.23
37	30	シングル	2.6	0.014	7.21
37	30	ダブル	2.6	0.028	8.21

W/C	W/B	配筋状態	引張強度 (N/mm ²)	膨張圧 (N/mm ²)	引張応力 (N/mm ²)
45	30	無し	3.38	0	9.08
45	30	シングル	3.38	0.014	11.59
45	30	ダブル	3.38	0.028	13

W/C	W/B	配筋状態	引張強度 (N/mm ²)	膨張圧 (N/mm ²)	引張応力 (N/mm ²)
58.5	30	無し	2.6	0	7.15
58.5	30	シングル	2.6	0.014	8.25
58.5	30	ダブル	2.6	0.028	9.28
45	30	無し	3.38	0	21.74

本検討により得られた知見を以下にまとめ

- (1) 鉄筋の配筋条件による破砕性状は、鉄筋量が大きくなるにつれ破砕しにくい傾向を示した。
- (2) 膨張モルタルの調合が破砕性状に及ぼす影響は、膨張モルタルの調合が低く、埋設径が大きいほど破砕しやすい傾向を示した。

【参考文献】

- 1) 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，1994.1
- 2) 鈴木直，大塚秀三，中田善久，櫻村啓：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
- 3) 田嶋大樹，大塚秀三，中田善久，鈴木直：鉄筋コンクリートの破砕に用いる膨張モルタルの膨張圧に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集Vol.99，pp.1411-1416，2017.7
- 4) 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.8-29，2013

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応用研究

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瓦礫処理、特に、セシウムに代表される低レベル放射性物質を含んだ瓦礫の発生は膨大かつ継続的であるが、当面は一定の敷地内処理で対応せざるを得ない状況にある³⁾。このため、処理対策として、道路路盤材等以外の用途を開発する必要がある。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ことによる。

再生骨材は、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⁴⁾。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」⁵⁾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。また、再生細骨材、微粉のようにセメント起源の付着モルタルや付着ペーストが多く含まれ、粒径が小さくCr(VI)が溶出しやすい状態の発生物の対策もあわせて行う必要がある⁶⁾。

本研究は、低品質再生骨材を用いたコンクリートについて安定的な利用拡大の実現を目的に、再生骨材置換率の調整に加え、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末といった汎用的な混和材の使用がコンクリートの性能に及ぼす影響ならびに放射性セシウムを含んだ瓦礫の処理を想定し、その溶

出抑制対策について実験的検討を行った。

2. 実験概要

本検討では、コンクリートの性能については、再生細骨材および混和材の影響を明確化するため、モルタル試験体を用いた。また、セシウムの溶出抑制は、混和材の効果を明確にするため、セメントペースト試料を用いた。表-1に本検討で使用した再生細骨材の概要を、表-2に使用した骨材の品質を、表-3に各種モルタルの調合概要を、表-4にセメントペースト試料の配合概要を示す。また、試験項目および試験方法を表-5に示す。

2.1 モルタルの諸性能

(1) 使用材料

普通ポルトランドセメント(N, 密度:3.16g/cm³), 混和材

表-1 本検討で用いた再生細骨材の概要

記号	種類	原コンクリート	製造方法
RLS	再生細骨材L	建築物(詳細不明)	破碎・分級等
RMS	再生細骨材M	病院(経年65年)	破碎・磨砕・湿式比重選別

※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

表-2 使用した骨材の品質

品質項目	試験方法	NS	RLS	RMS
絶乾密度 (g/cm ³)	JISA1109	2.59	2.00	2.29
吸水率 (%)	JISA1110	1.72	11.82	5.95
粗粒率 (FM)	JISA1102	2.57	2.86	3.09
微粒分量 (%)	JISA1103	-	38	70
実積率 (%)	JISA1104	64.8	64.1	64.4
粒形判定実積率 (%)	JISA5005	-	60.0	60.8
不純物量 (wt%)	A	JISA5022 JISA5023	1.46	0.78
	B		0	0.20
	C		0	0
	D		0	0
	E		0	0
	F		0.04	0.02
	G		0	0
合計			1.50	1.00

※A~Gの分類と上限値は、RLSは、JISA5023附属書Aに、RMSはJISA5022附属書Aによる。

*名城大学理工学部環境創造学科 教授 博士 (工学)

表一三 各種モルタルの調合概要

種類	調合条件				単位量(kg/m ³)							混和剤 [※] C×%								
	混和材		再生細骨材 置換率(%)	W/B (%)	W	C	BFS	NS	RLS	RMS	FAII									
	種類	置換率(%)																		
N-NS	-	-	0	50	245	490	-	1460	0	-	-	1.0								
N-RLS15			15					1241	186			0.5								
N-RLS30			30					1022	373			0.5								
N-RLS50			50					730	622			0								
N-RLS75			75					365	932			0								
N-RLS100			100					0	1243			0								
N-RMS			100					0	-			1348	0							
FA-NS			FAII					20 (N+FAII)×20	0			50	245	490	-	1319	0	-	123	0.5
FA-RLS30									30							924	337			0.5
FA-RLS50									50							660	562			0.5
FA-RMS	100	0		-	1219	0.5														
BFS-NS	BFS	40 N×40	0	50	294	196	-	1446	0	-	-	0.5								
BFS-RLS30			30					1012	369			0.5								
BFS-RLS50			50					723	616			0.5								
BFS-RMS			100					0	-			1348	0							

※AE減水剤(高能タイプ)として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用いた。

にフライアッシュ II 種(FAII, JIS A 6201, プレーン値:3740cm²/g, 密度:2.30g/cm³, 湿分:0.5%以下, SiO₂:59.7%, ig. loss:2.2%)および高炉スラグ微粉末 4000(BFS, JIS A 6206, 比表面積:3950cm²/g, 密度:2.91g/cm³, 材齢91日活性度指数:121%, フロー値比:103%)を用いた。一般細骨材には揖斐川産川砂(NS)を使用した。化学混和剤にはAE減水剤(高性能タイプ)を用いた。RLSは、建築物(詳細不明)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。RLSの品質は、吸水率11.82%, 微粒分量3.8%, 不純物量の合計は1.50wt%であり、JIS A 5023 附属書Aの規定を満足する。

RMS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⁹⁾により製造したものである。RMSの品質は、絶対密度2.29g/cm³, 吸水率5.95%, 微粒分量7.0%, 不純物量の合計は1.00wt%であり、JIS A 5022 附属書A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) 調合

混和材は、FAIIおよびBFSを用いた。FAIIは、細骨材の一部を置換して使用する(砂代替)こととし⁷⁾, 再生骨材Lを用いたコンクリートのASR抑制対策として効果が確認されているN+FAIIに対して20%を置換することとした⁸⁾。BFSについても同様に効果が確認されている高炉セメントB種相

表一四 セメントペースト試料の配合概要(質量比:%)

使用材料	N	FA15	FA25	BFS20	BFS40
N	100	85	75	80	60
FAII	0	15	25	-	-
BFS	0	-	-	20	40
W	30	30	30	30	30
CsCl [※]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

※Wに対しての質量比で外割とした。

表一五 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	フロー値	JIS R 5201	
	空気量	JIS A 1128	容器は1000mlを用いた。
	単位容積質量	JIS A 1116	
	温度	JIS A 1156	
硬化性状	塩化物含有量	JASS 5 T-502	イオン電極法
	圧縮強度	JIS A 5308 附属書C(B法)	材齢1週, 4週, 13週
	静弾性係数	コプレッサー ⁷⁾	材齢4週, 13週
	長さ変化率	JIS A 1129-3	
溶出抑制	pH	JIS K 0102	養生期間4週: 材齢4週, 8週, 12週時に測定
	電気伝導率(EC)	JIS K 0130	養生期間12週: 材齢4週時に測定
	CsCl	ICP-MS	

当として、セメント質量に対して40%置換した⁹⁾。一般細骨材には川砂、置換率を変化させた再生細骨材L、比較用に全量置換した再生細骨材Mを用い、水結合材比(W/B)は50%で一定とし、合計15種類の試料モルタルを用意した。再生細骨材は、同一調合の一般骨材を用いたモルタル(N-NS, FA-NS, BFS-NS)に対し、容積比で置換した。なお、いずれのモルタルも目標フロー値は190±20mm, 目標空気量は4.5±1.5%とした。

(3) 試験体の作製

モルタル試験体は、JIS R 5201に基づき練り混ぜた。練

混ぜ後は、圧縮強度試験体については JIS A 5308 附属書 C(B 法)に基づき、5φcm×10cm の試験体を各 4 本、長さ変化率試験体は、JIS A 1129-3 附属書 A によりモルタル供試体成形用型(JIS R 5201 11.2.2)を用いて、4cm×4cm×16cm の試験体を各 3 本作製した。

(4) 試験項目および試験方法

フレッシュ性状は、フロー値、空気量、単位容積質量、温度および塩化物含有量を、硬化性状では、圧縮強度、静弾性係数および長さ変化率を測定した。

2.2 セシウムの溶出抑制

(1) 使用材料

普通ポルトランドセメント(N)、混和材にフライアッシュ II 種(FAII)、高炉スラグ微粉末 4000(BFS)を用いた。セシウム源として特級試薬の塩化セシウム(CsCl、比重:3.988)を練混ぜ水に溶解させ、練混ぜの過程でセメントペースト試料中に均一に分布するように調整した。なお、練混ぜ水には、水道水を粗ろ過、逆浸透膜、イオン交換、254nmUV 照射で処理した純水を用いた(比抵抗値 5MΩ・cm 以上)。

(2) 配合

セメントは N 単味(N)、フライアッシュについては、フライアッシュセメント B 種および C 種相当⁷⁾として、セメント質量に対し、FAII をそれぞれ 15%および 25%置換したセメントペーストの試料(FA15、FA25)、高炉スラグ微粉末については、高炉セメント A 種および B 種相当⁹⁾として、BFS をそれぞれ 20%および 40%置換した試料(BFS20、BFS40)の合計 5 種類の試料を用意した。試料の水結合材比(W/B)は、練混ぜ後のブリーディングの発生を避けるために 30%とした。

(3) 試料の作製および養生

セメントペーストの練混ぜは、5L 練りモルタルミキサ(JIS R 5201 9.2.3)を使用し、低速で 150 秒間練り混ぜ、30 秒休止後、再び低速で 150 秒間練り混ぜた。練混ぜ後は、4cm×4cm×16cm のモルタル供試体成形用型に流し込み、直ちにテーブルバイブレータ(JIS R 5201 11.2.3)で 120 秒振動させ成形した。その後、湿気箱(20±1.0℃、RH 90%以上)にて 24 時間養生後に脱型し、水道水で満たした 50℃の恒温水槽にて 4 週、12 週の養生を行った。養生後は、4cm×4cm



試料と浸漬容器 保管状況(グローブボックス内)

写真-1 浸漬試験状況

表-6 各種モルタルのフレッシュ性状

種類	フロー値 (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	温度 (°C)	塩化物含有量 (kg/m ³)
N-NS	195	6.0	2275	25.8	0.05
N-RLS15	195	4.6	2218	26.7	0.06
N-RLS30	186	3.8	2212	24.5	0.08
N-RLS50	172	5.6	2212	26.1	0.08
N-RLS75	192	5.6	2156	23.7	0.09
N-RLS100	175	4.6	2121	24.8	0.09
N-RMS	188	6.0	2187	24.7	0.07
FA-NS	195	4.8	2281	21.2	0.06
FA-RLS30	194	5.3	2187	22.0	0.06
FA-RLS50	205	3.8	2135	22.5	0.04
FA-RMS	174	3.6	2221	25.8	0.03
BFS-NS	191	3.4	2332	23.5	0.01
BFS-RLS30	187	4.7	2274	23.5	0.01
BFS-RLS50	196	3.2	2236	23.6	0.02
BFS-RMS	204	3.6	2221	25.0	0.04

×16cm 供試体の中心部近傍から 2cm×2cm×2cm の立方体を 1 個切り出し、浸漬試験用試料として用意した。なお、試料は水準毎に 3 個作製した。

(4) 浸漬試験方法

浸漬液には、純水に 185nmUV 照射、活性炭フィルター、イオン交換フィルター、最終フィルター(0.22μm)で処理した超純水(比抵抗値 18.2MΩ・cm)を用いた。試料は、写真-1 に示すように、2cm 角の試料を 500ml の超純水に浸漬し、恒温恒湿室(20℃、湿度 60%)に設置した窒素ガスを充填したグローブボックス内で保管した。保管中は定期的に容器内の浸漬液を攪拌した。そして、4 週に 1 度の割合で浸漬液を全量交換し、浸漬液を誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)にて分析した。分析項目は、CsCl である。なお、ICP-MS の分析に先立ち、pH および電気伝導率(EC)を測定した。なお、養生期間 4 週の試料は浸漬期間 12 週、分析回数 3 回とし、一方、養生期間 12 週の試料は浸漬期間 4 週、分析回数 1 回とした。

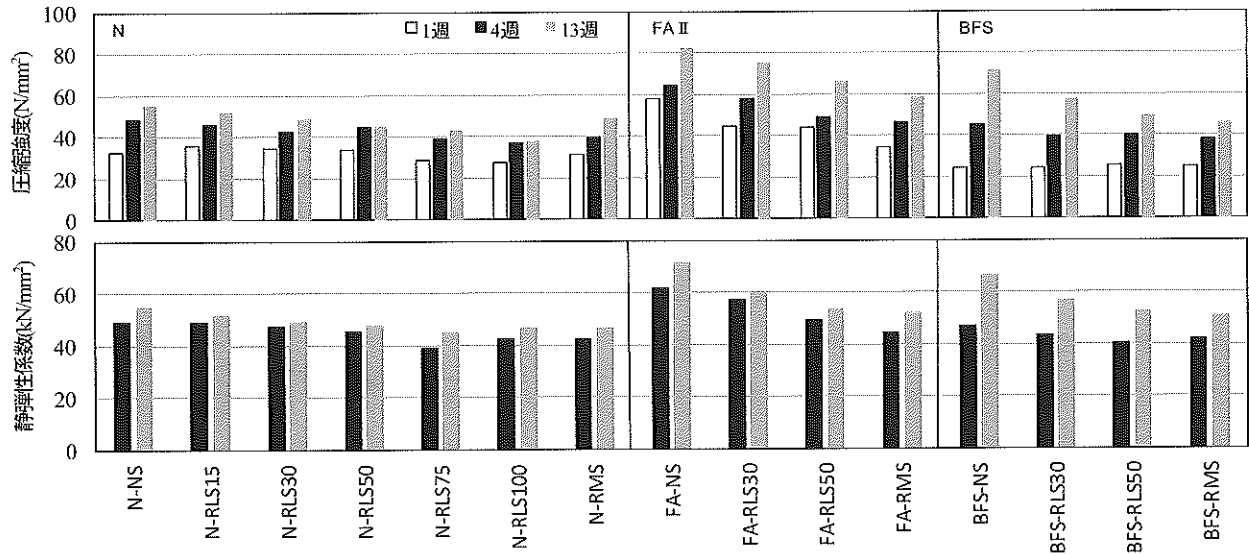


図-1 各種モルタルの圧縮強度および静弾性係数

3. 実験結果

3.1 モルタルの諸性能

3.1.1 フレッシュ性状

各種モルタルのフレッシュ性状を表-6に示す。

(1) フロー値および空気量

AE減水剤は、セメント質量の0~1%の範囲で使用した。フロー値、空気量ともにすべての試験体で目標値を満足した。

(2) 単位容積質量

再生細骨材を用いたモルタルの単位容積質量は、付着モルタルあるいは付着ペーストの影響により、密度の小さい再生細骨材の置換率が増加するのに伴い小さくなる。

(3) 塩化物含有量

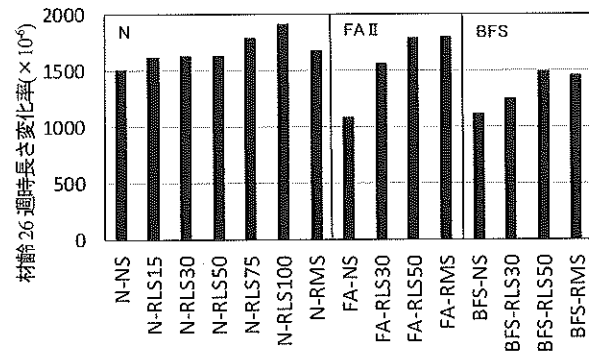
塩化物含有量は、N、BFSでは再生細骨材Lの置換率増加に伴い大きくなる傾向がみられた。砂代替でFAIIを使用した場合については、明確な傾向はみられない。

3.1.2 硬化性状

圧縮強度、静弾性係数の試験結果を図-1に、長さ変化率の試験結果を図-2に示す。

(1) 圧縮強度

図-1より圧縮強度は、再生細骨材Lを用いた場合、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。圧縮強度の発現傾向は、再生細骨材Lの置換率が大きくなるほど材齢に伴う強度の発現も小さくなる傾向がみられた。この傾向は、再生粗骨材Lを用いたコンクリートの場合¹⁰⁾と



※N-RLS100、BFS-RMSは2本の平均値による⁵⁾。

図-2 各種モルタルの長さ変化率

同様である。混和材の影響は、4週から13週にかけての強度発現の傾向でみると、フライアッシュをN+FAIIの20%と比較的多く置換した場合は、再生細骨材Lの置換率増加の影響は殆どみられず、FA-NSと同等である。一方、高炉スラグ微粉末を高炉セメントB種相当で置換した場合は、再生細骨材Lの置換率が大きくなるのに伴い強度発現も小さくなり、混和材による長期強度の増進効果は小さくなる傾向がみられた。なお、BFS-RLS50と再生細骨材Mを全量置換したBFS-RMSは、いずれの材齢においても同程度の圧縮強度が得られた。

(2) 静弾性係数

図-1より静弾性係数は、再生細骨材Lを用いた場合、圧縮強度と同様、置換率の増加に伴い静弾性係数は低下する傾向がみられた。混和材の影響は、4週から13週の増加傾向でみると、フライアッシュをN+FAIIの20%と比較的多く

混入した場合でも、置換率30%以上で用いた場合では増加が小さくなる。一方、BFSを高炉セメントB種相当としてセメント質量の40%で置換した場合は、置換率に係らず一定の増加が得られる傾向がみられた。

(3) 長さ変化率

図-2より再生細骨材Lを用いたモルタルの長さ変化率は、置換率の増加に伴い大きくなる傾向がみられた。混和材の影響は、FAIIを用いた場合では、FA-NSにおいて、Nに対して低下するものの、置換率が50%になるとNとほぼ同等になる。一方、BFSにおいては、置換率50%の場合でもNやFAIIに対して低減した。なお、再生細骨材Lを置換率50%で用いた場合と再生細骨材Mを全量置換した場合の長さ変化率は同程度である。

3.1.3 性能評価

相対品質値法は、主に低品質再生骨材を用いたコンクリートの設計手法であり、一般骨材と再生骨材の主要物性(吸水率等)と置換率から式(1)に示すような相対品質値(使用骨材品質値の加重平均:容積比)を算出し、コンクリートの主要な性能との相関性を評価する。次に、既往実験等の結果から実験式を導き、耐久性を考慮した要求品質の閾値に対応する強度域の計画調合を設定し、製造工場で検証した後、最終調合を決定する。これにより、耐久性の評価を包含した性能設計が可能となる⁴⁾。本検討では、フライアッシュを砂代替として利用したことから、主要物性には密度を用い、表-3に示した調合から式(1)に示す相対密度(容積比)を算出し、図-3に示すようにモルタルの主要な性能(圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率)との関係性を評価した。

$$Qdt = (QCvNS \times a + QCrRS \times b + QFA \times c) / (a + b + c) \quad \text{式(1)}$$

ここに、Qdt: 相対密度 (g/cm³)

QCvNS: 一般細骨材の絶対乾密度 (g/cm³)

QCrRS: 再生細骨材の絶対乾密度 (g/cm³)

QFA: フライアッシュの密度 (g/cm³)

a, b: 使用した各種骨材の絶対容積 (L/m³)

c: フライアッシュの絶対容積 (L/m³)

相対密度とモルタルの主要な性能との間には明確な相関性が認められる。例えば、BFSで再生細骨材Lを置換率50%

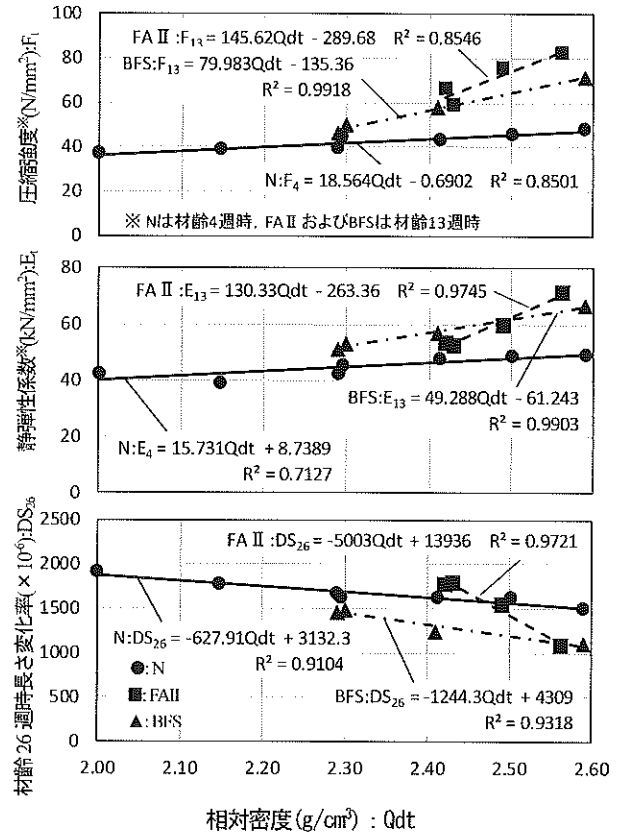


図-3 相対密度とモルタルの主要な性能との関係

で用いた BFS-RLS50 と再生細骨材 M を全量置換して用いた BFS-RMS の相対密度はそれぞれ 2.30g/cm³, 2.29g/cm³ となるが、材齢 13 週時圧縮強度でそれぞれ 49.7N/mm², 46.5N/mm², 静弾性係数で 53.0kN/mm², 51.0kN/mm², 材齢 26 週時長さ変化率で 1492×10⁻⁶, 1454×10⁻⁶ となり、相対密度に対してほぼ相当の性能が得られている。このことは、他の試験体もほぼ同様である。従って、種類や置換率を変化させた再生細骨材を用いた場合、フライアッシュを砂代替として用いた場合でも、相対品質値法⁴⁾による性能設計が可能である。

3.2 セシウムの溶出抑制

分析結果を図-4に示す。なお、各データは3個の試料の平均値を示す^{注2)}。

(1) pH

いずれの試料においても経時的に pH は小さくなった。混和材の影響は、Nに対してFAII, BFSを置換すると小さくなり、また、置換率の増加に伴い小さくなる。

(2) EC

EC は、溶存イオン量をおおまかに示す指標である。いざ

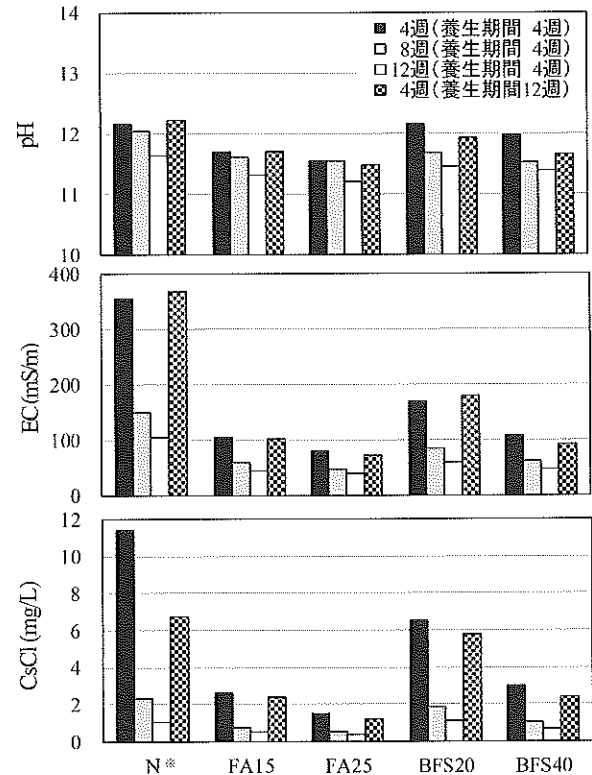
れの試料においても経時的に小さくなった。混和材の影響は、Nに対してFA11, BFSを置換すると小さくなり、また、置換率の増加に伴い小さくなる。なお、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末ともにセメントのB種相当(FA15, BFS40)で比較すると同程度である。養生期間の影響は、両者ともほぼ同等で明確な差異は認められない。

(3) CsCl

いずれの試料においても経時的にCsClの溶出量は減少した。これは、細孔溶液中のイオンが試料表層から浸漬液に溶出する過程で試料内部から表層まで連なる細孔中をイオンが拡散する必要があるが、試料内部から表層にかけて物質の拡散が生じることで、試料内部に存在するイオンの溶出量が経時的に減少することが考えられる。

混和材の影響は、養生期間4週の場合、Nでは浸漬期間12週までの溶出量の累積値が14.70mg/Lであったが、FA15, FA25ではそれぞれ3.89mg/L, 2.42mg/Lと大幅に低減した。従って、フライアッシュの混入によりCsClの溶出量を大幅に抑制でき、さらに置換率を大きくすることで溶出抑制効果が高まる傾向が認められた。これは、フライアッシュのポゾラン反応によってセメント水和物相中の細孔(毛細管空隙)のうち、約20nm以上の比較的大きな細孔の量が減少するポゾラン反応¹¹⁾によると考えられる。一方、高炉スラグ微粉末においては、BFS20, BFS40で溶出量の累積値がそれぞれ9.56mg/L, 4.78mg/Lと、混入に伴い空隙を微細化する効果により細孔構造が緻密になるため¹²⁾、混入量の増加に伴う溶出抑制効果が得られているものと考えられる。従って、さらに混入量を増加することにより溶出抑制効果が大きくなることが期待できる。フライアッシュ、高炉スラグ微粉末ともにセメントのB種相当で比較すると、同程度であり、B種相当以上の混入により効果が得られるといえる。

養生期間の影響は、いずれの試験体も4週に比べて12週の試料の溶出量が小さくなる傾向がみられ、特にNにおいては、材齢4週に対し、12週では約半分程度の溶出量であった。NのECはほぼ等しいことから、ナトリウム、カリウム、カルシウムなどセメントペースト硬化体に含まれるセメント起源の他のイオン¹³⁾の溶出が多くなったことが原因



※Nの養生期間12週のデータは2試料の平均値¹²⁾

図-4 分析結果

の一つとして考えられる。

4. まとめ

低品質再生骨材を用いたコンクリートの利用拡大を目的に、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末といった汎用的な混和材を用い、再生細骨材Lを用いたモルタルの性能評価ならびに混和材によるセシウムの溶出抑制対策の検討を行った結果、大要以下のことがいえる。

- (1) 再生細骨材Lを用いたモルタルのフロー値および空気量は、混和材の種類や置換率に係わらず、一般骨材を用いたモルタルと同様の調合により所定の品質をほぼ満足する。単位容積質量は、置換率の増加に伴い小さくなり、塩化物含有量は大きくなる傾向が認められる。
- (2) 圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率は、再生細骨材Lの置換率の影響が認められ、強度発現も置換率が増加すると小さくなる。静弾性係数も同様の傾向が認められる。長さ変化率は置換率の影響が大きい。混和材の影響は、フライアッシュを比較的多く混入した場合には、強度発現において置換率の影響が低減される傾向がみられた。

(3) モルタルの圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率ともに相対密度との間に明確な関係が認められることから、種類や置換率を変化させた再生細骨材を用いた場合、フライアッシュを砂代替として用いた場合でも、相対品質値法による性能設計が可能である。

(4) 放射性セシウムが付着したコンクリート塊から製造した再生骨材をコンクリートに使用することを想定した検討を行った結果、フライアッシュ II 種を 15%、高炉スラグ微粉末を 40% といったセメントで B 種相当以上混入した場合、大幅なセシウム溶出抑制効果が認められるとともに、混入量の増加に伴いその効果も大きくなる。

以上のことから、低品質再生細骨材を用いたコンクリートの性能は、一般的な調査設計上の配慮に加え、再生細骨材置換率の調整、混和材としてフライアッシュ、高炉スラグ微粉末の利用により所要の品質を得ることが可能である。また、これら混和材は、一定量の混入により、ASR 抑制対策ならびに Cr(VI) 溶出抑制対策に加え、セシウムの溶出抑制対策としても有効である。

謝辞

本研究の実施において、(一財)電力中央研究所 山本武志博士の貴重なご助言を頂いた。また、2016 年度卒論生: 平井里穂君、平光恭平君、2017 年度卒論生: 石野智也君、鈴木普之君の多大なる協力を得た。ここに厚く謝意を表す。

注

注 1) 試験途中から 1 本の試験体が異常値を示したため、2 本の平均値とした。

注 2) N の養生期間 12 週の試料は、試験途中で 1 個が破損したため 2 個の平均値とした。

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) 土木学会：コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題、コンクリートライブラリー111、2003

3) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン、2017. 8. 31

4) 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

5) 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

6) 道正泰弘、館 秀基、村 雄一、坂詰義幸：再生粗骨材残渣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 第 17 巻第 37 号、pp. 803-808、2011. 10

7) 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調査設計・施工指針 (案)・同解説、2007

8) 溝口信夫、館 秀基、金子雄一、道正泰弘：再生骨材コンクリートのアルカリシリカ反応に対するフライアッシュによる抑制効果、コンクリート工学年次論文集、Vol. 33 No. 1、pp. 1553-1558、2011

9) 日本建築学会：高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針 (案)・同解説、2017

10) 道正泰弘：低品質再生粗骨材を用いたコンクリートの品質改善、コンクリート工学年次論文集、Vol. 39 No. 1、pp. 1525-1530、2017

11) 山本武志、金津 努：フライアッシュのポズラン反応に伴う組織緻密化と強度発現メカニズムの実験的考察、土木学会論文集 E、Vol. 63 No. 1、pp. 52-65、2007. 1

12) 郭 度連、國府勝郎、李 昌洙、李 奎東：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの内部組織の形成に及ぼす置換率の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 26 No. 1、pp. 783-788、2004

13) 公開特許公報(A)：特開 2015-194436(P2015-194436A)、放射性セシウムの溶出抑制方法及び放射性セシウムの溶出が抑制された固化体、公開日 2015. 11. 5

(2018 年 7 月 13 日提出)



全国解体工事業団体連合会 2017年度助成研究

4次元シミュレーション結果を基にした 解体重機自動操縦手法の提案

2018/07/27

首都大学東京 都市環境学部 建築都市コース
助教 國枝 陽一郎

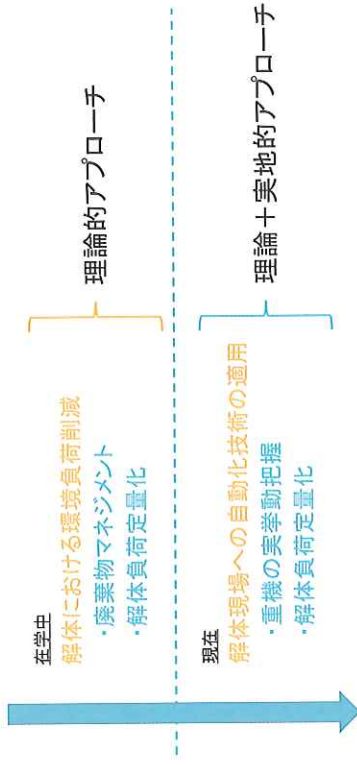
目次

1. 自己紹介
2. 既往研究の紹介
⇒ 解体負荷算定モデルによる工法最適化提案
3. 助成研究の成果報告
⇒ 解体重機自動操縦手法の提案
➢ GPSデータロガーによる3次元計測手法を用いた重機挙動の把握

1. 自己紹介

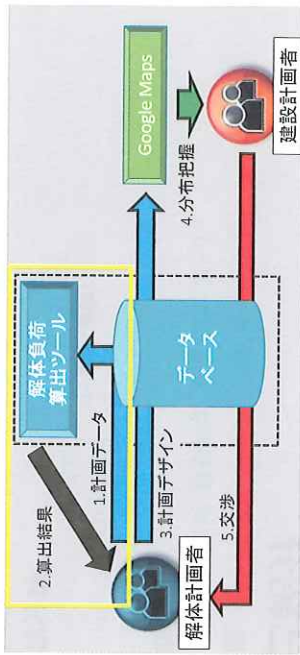
- 所属 首都大学東京 建築学域 助教 (2016.10～)
- 学歴 学部、修士、博士中退 (2004.4～2011.9)
MSc (2011.10～2012.9) } 留学(英国)
PhD (2012.10～2016.11)
- 研究分野
 - 建築材料(コンクリート)
 - 解体廃棄物・解体リサイクル技術(再生骨材等)
 - 廃棄物マネジメント
 - 解体
 - BIM/4Dモデリング

➢ 研究履歴

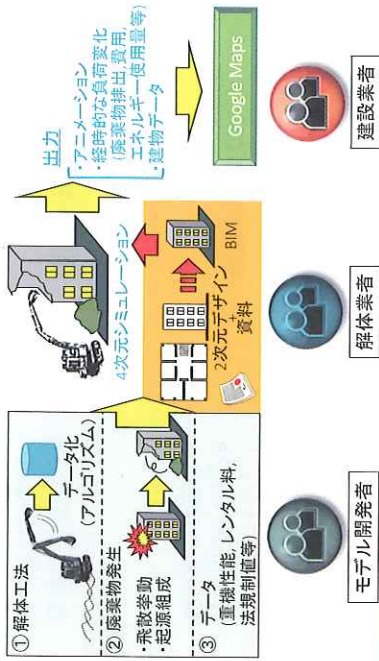


2. 既往研究の紹介

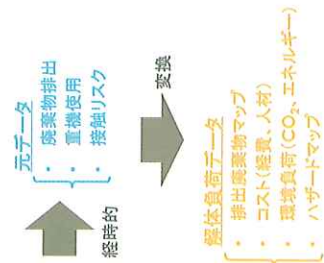
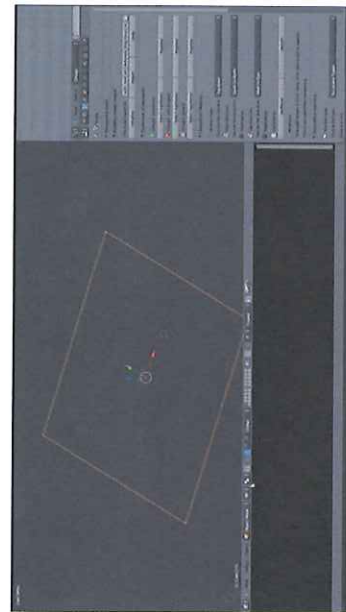
解体負荷算定モデルによる工法最適化提案
 <解体・建設者協カシステムの提案>



<解体負荷算出プロセス>



解体負荷シミュレーションモデル



解体負荷データ (廃棄物排出量)

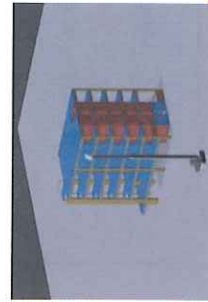


図1. 廃棄物排出量 (起源部材で色分け)

解体対象モデル (簡易BIM)



4次元画像化

・ 廃棄物分布の可視化

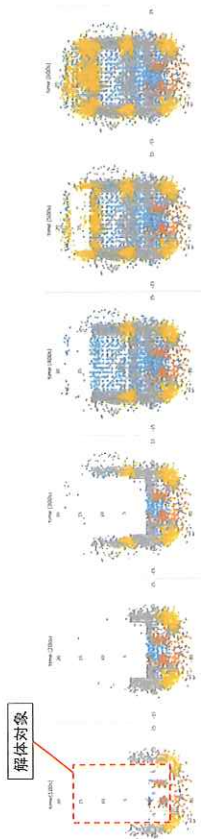


図2. 廃棄物分布マップ(起源部材で色分け)

・ 経路追跡機能の検証



対象部材経路の可視化

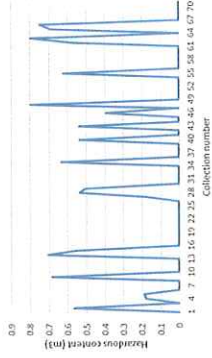


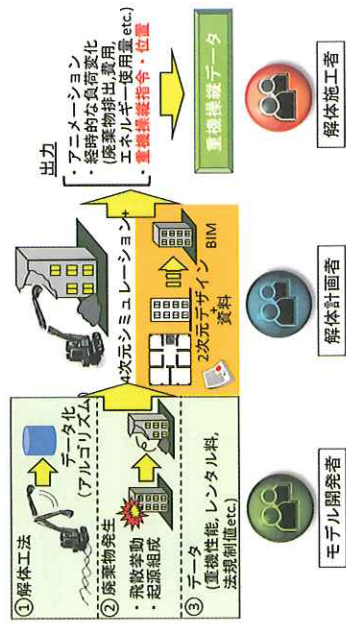
図4. 廃棄物回収ロットごとの有害物質混入量

対象部材の経路および回収タイミングの把握
⇒ 有害物質拡散経路、混入リスクが推定可能

アスベスト、放射性物質 ⇒ 今後の原子炉解体への適用も...

3. 助成研究の成果報告

解体重機自動操縦手法の提案



・ 実重機への適用(自動操縦)



対象重機座標の経時的変化把握
⇒ GPSデータローガーによる3次元計測手法の導入

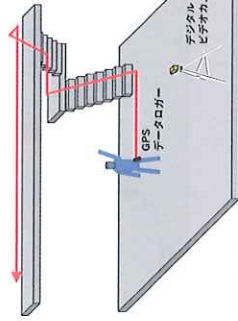
実験概要

1. 予備試験
 - ⇒ 人間挙動のGPSデータロガーによる3次元計測
 2. 本試験
 - ⇒ 解体重機挙動のGPSデータロガーによる3次元計測
-
3. シミュレーション比較
 - ⇒ 本試験結果のシミュレーション内再現
 - ⇒ 撮影動画との比較検証

予備試験水準

<使用機器>

- ・JVC社製のデジタルビデオカメラ(GZ-R300)
 - ・Aaronia社製のセンサー付きGPSデータロガー
- > GPS, 3Dジャイロ, 3D傾斜, デジタルコンパス, 高度, 加速度計を内蔵

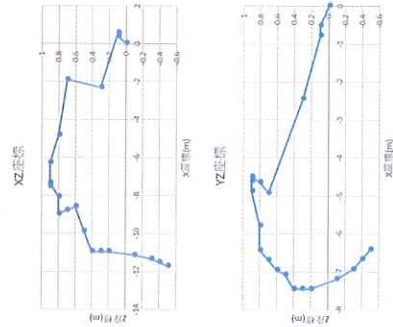


<測定対象>

立体歩道における被験者の歩行経路

- ・GPSデータロガー測定
- ・動画撮影

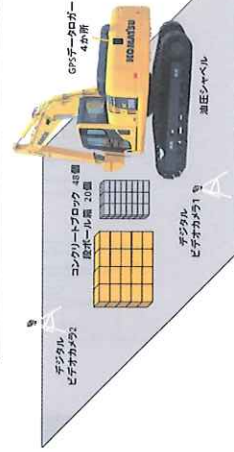
予備試験結果



本試験水準

<使用機器>

- ・JVC社製のデジタルビデオカメラ(GZ-R300)
 - ・Aaronia社製のセンサー付きGPSデータロガー
 - ・KOMATSU社製PC128US
- > 旋回ヒアーム・ブーム操作のみ

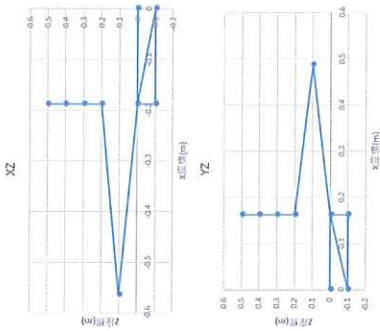


<測定対象>

重機対象部位の移動経路

- ・GPSデータロガー測定
 - ・動画撮影
- > 被解体物の飛散挙動も同時に

本試験結果



・シミュレーション比較

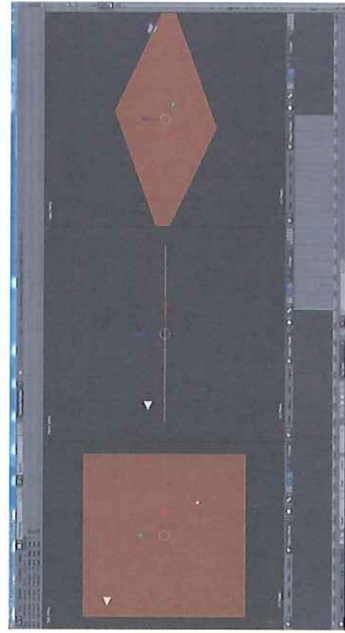
<環境>

PC OS	Windows10 Home
実装メモリ	4.00GB
CPU	Intel®Celeron®2957U1,40GHz1,40GHz
ソフトウェア	Blender 2.79
プログラム	Python

<手順>

- ① GPS座標データの取り込み(CSVファイル)
- ② オブジェクトの作成(シヨベルと被解体物の再現)
- ③ キーフレームごとにシヨベルオブジェクト座標の入力(GPS値を参照)
 >物理エンジンにより被解体物オブジェクトとの衝突を解析
- ④ アニメーションの再生(録画)

シミュレーション結果



まとめ

本研究により以下が示された

- ・GPSデータロガーによる3次元計測手法の有用性
- ・シミュレーション内における実挙動の再現性
 >シミュレーション精度が検証可能

<展望>

- ・GPSデータロガーによる計測手法の汎用性の向上
- ・シミュレーション結果による重機自動操縦の実現

解体予定の鉄筋コンクリート造建築物における 画像調査手法の適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：事前調査 異常検知 モニタリング 労働安全・公衆安全

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ある。また、階上解体工事や地上解体工事における鉄筋コンクリート部材や鉄骨部材の重機転倒作業における意図しない転倒事故も多く報告されている。これらの崩落・転倒事故を解体工事に従事する作業者の「未熟さ」に起因するものと片付けることは簡単であるが、上述のように長年にわたって事故数が減少傾向に無い以上、何らかのこれまでと異なる取り組みが必要であることは間違いない。いくつかの報告や聞き取り調査によれば、事故が発生した場合、あるいは発生を予期して事故を未然に防いだ場合（ヒヤリハット事例）では、作業開始後に対象部材が予め入手した設計図書に記載の情報と異なっていた（e.g. 配筋の違い、コンクリート強度の低下、鉄筋の腐食、定着の不足）などの理由で事故が発生

した（もしくは作業を中止した）との説明が散見される。すなわち、解体工事に先立って行われる事前調査において、解体工事の安全性を確保するための調査が十分でなかった（あるいは行えなかった）ことを意味しているものと思われる。申請者の現場ヒアリング調査においても、一般的な解体工事の事前調査において、コンクリート強度のコア抜き試験による確認や、コンクリート研り等による配筋確認などは、大半の場合おこなわないとの意見が多く聞かれた。

本申請研究では、以上のような背景のもとに、建築解体工事における事前調査や作業中の安全確保確認作業において、静止画像やモニタリングビデオ画像を活用し、より簡便な方法で、予め部材の異常可能性を分析するための手法の開発・適用を目的としていた。申請者は、これまでに、加速度・角速度センサによる解体部材のモニタリング分析や、画像相関法を用いた解体部材のひび割れ早期検知などの研究をおこなってきた。これらの研究成果においては、一定の精度で転倒の兆候や部材のひび割れ発生兆候を検知できることを報告してきたが、一方でその自動的な判定については、簡単な閾値判定に留まっていた。そこで、本研究では、この判定解析技術の開発に取り組んだ。

なお、後述のように、研究申請の段階では、対象建物（研究者所属大学内の建物）を研究期間内に解体することが予定されており、その予定を基に計画を立案していたが、予定が変更されたために解体工事の実測を行うことができなかった。そのため、開発した解析手法は、申請者らが別途計測した解体工事実測振動データに適用することとした。このデータは時系列データであり画像データではないものの、開発した手法は、画像データに適していることが既往研究からよく知られているものである。

2 解体予定の建築物の調査と画像計測

2.1 申請段階における計画の概要

対象建築物は、申請者の所属大学内の建築物であり、研究申請に先立って、解体工事に着手する前後

および工事期間にわたって、計測協力を得られるとの同意を得ていた。しかしながらその後の学内審議により、研究期間内に解体工事に着手しないこととなった。また、居住者の退去も大幅に遅れ、事前調査にも期間内に着手できなかった。申請書に記載した事項のうち、設計図書の入手、許可手続き、対照実験の準備をおこなった。画像計測については研究期間終了後の本年6月よりようやく着手できた。以上のような状況のもとで申請書に記載した 2.2～2.5 の項目を実施したので報告する。また、これらの申請書事項のうち、分析手法の開発（申請書：第2段階-1）については、画像計測データが期間内に入手できなかったため、振動データを代替データとして分析し、手法の検証をおこなった。

2.2 解体予定建物の概要（申請書：第1段階-1）

表1に対象建築物の概要を示す。主要な設計図書および改修工事時の仕様書等が保管されており、入手できた。基本的には同じ仕様のRC造建築物2棟であり、片方の棟にのみ、外壁等の改修工事が近年実施されていることが判明した。改修時の使用材料の仕様も把握できた。

表1 解体予定の建築物の概要

	概要
構造形式	鉄筋コンクリート造 2棟
用途	集合住宅（公務員宿舎）
建築面積	約 346m ²
改修の履歴	平成3年に1棟を外壁改修 これ以外の補修痕あり。

2.3 調査許可の手続き（申請書：第1段階-2）

申請書に記載の通り、対象建物の調査許可の手続きを進めた。居住者の退去時期が2018年度初めまでずれこんだほか、画像撮影の許可を得るまでに数か月を要し、計測の開始等を計画通り進めることができなかった。

2.4 対照実験の準備（申請書：第2段階-2）

申請計画では、画像分析の結果の妥当性を検証するために、画像分析との比較対照となる実建築物で計測もしくは試験片採取を行うこととしていた。前述の事情から試験片採取や実測を行う段階に至らなかったが、建築物の経年変化を推定・計測するために、表2に示すような準備をおこなった。また、既往の手法の文献調査を進めた。

表2 実建築物計測のための準備実施状況

試験法	概要
表面吸水試験	非破壊に建築物の表面性状を分析する手法の開発を進めた
液浸吸水試験	試験片のための吸水試験法の手法・装置開発を進めた
電気化学インピーダンス計測	実建築物に適用できるように計測法の開発を進めた。

2.5 画像計測の実施（申請書：第3段階-1）

図1に解体予定の建築物外観と画像撮影の様子を示す。当初予定から大幅に遅れているが、長期間のインターバル撮影を開始してデータ収集を進めている。図2に収集した画像の一例を示す。ひび割れや雨がかり、雨水の流下などの劣化現象や劣化因子の部位別の違いを観察できる。このような時系列画像データの収集を通じて、解体工事の事前調査や工事開始後の危険箇所判別の基礎資料とするシステムの構築を構想していたものである。次章では、このデータの代替として、同じく時系列データである解体工事作業振動データを対象に、異常検知解析手法を構築した。

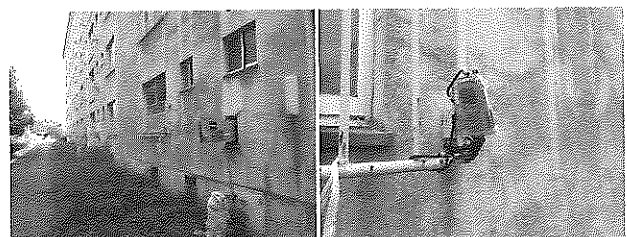


図1 解体予定の建築物の外観（左）
インターバル画像計測の様子（右）



図2 インターバル画像計測結果の例
（外観よりひび割れ、雨がかりなどが判別できる）

3 開発異常検知手法（申請書：第2段階-1）

3.1 計測データの概要

表3に計測をおこなった解体工事の概要を示す。MEMS式の複合センサ（加速度、角速度、地磁気）を建築部材外壁面に設置し、重機による部材転倒作

業の振動データを計測した。

図 3 に加速度波形のデータ例を示す。これまでの検討によって、以下のような特徴があり、異常(部材の転倒兆候)をロバストに判定するのが困難であることが判明していた。

- ① 解体作業による外乱が大きいいため、固有振動数の算出などによって部材の剛性変化をとらえるのは極めて難しい
- ② 作業の進捗に伴ってわずかに部材が傾斜してゆく傾向にあるが、微小な変化であるため、比較的、計測ノイズが大きい MEMS 式センサにおいては、傾斜を正確にとらえるための補正が(不可能ではないにしても)難しい。特に、時折発生する極めて大きい加速度・角速度に対してロバストに判定するのが難しい。

表 3 部材転倒作業を計測した解体工事の概要

項目	概要
建築年	1975 年
構造種別	鉄筋コンクリート造
階数	地上 9 階地下 1 階建て
建築面積,延床面積	716m ² , 7011m ²
解体工法	解上解体工法(対象部材は、重機により転倒する)

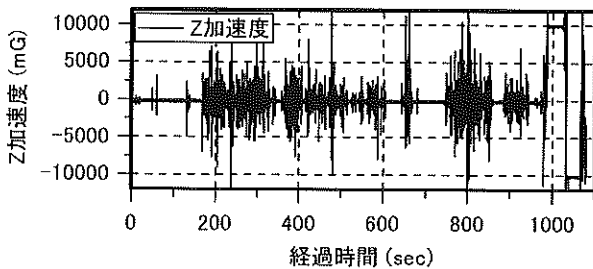


図 3 振動計測データの例 (壁面法線方向)

3.2 手法の概要

本申請研究では、時系列データに適用可能な機械学習(ディープラーニング)手法である LSTM を用いて振動データの予測器を構築し、その予測値からの乖離によって、異常検知を行う解析システムを構築した。

図 4 に開発した手法の入出力を示す。各時点より τ 時間前までの 2 軸加速度データを入力として、その時点の 1 軸角速度を予測する学習器である。学習時には、ある 1 部材の転倒作業のうち、計測時の写真観察に基づいてほとんど危険性が発生していない時間帯(部材の柱脚部をわずかに破砕開始した

だけの状態)のデータを用いた。すなわち、このような時間帯においては、部材の予期しない転倒はほとんど発生しないので、構築した学習器は入力加速度に対して、部材が十分な強度・剛性を有している場合の角速度を予測値として出力することになる。これに対して、実際の解体作業を進めたデータでは、部材の強度・剛性の低下によって、角速度が大きくなる(部材が傾斜する、もしくは、しやすくなる)と考えられる。本開発手法は、このような考え方が妥当であるとの仮定の基に、転倒が近づくにつれて予測値との乖離を評価している。

なお、本手法では、ある 1 部材のデータによって学習している。機械学習は基本的に統計的な手法であるので、様々な部材データを蓄積することで、精度が向上すると期待される。一方で、現実には建設工事でこのようなデータ蓄積を図るのは必ずしも容易でない。本手法は、時系列データであれば時間軸方向にデータが蓄積されることに着目して、建設工事モニタリングデータに適用しやすいように設計してある。

3.3 開発手法の検証

図 5, 図 6 に開発した異常検知手法を解体工事の部材転倒作業に適用した例を示す。Y 軸は学習したデータ(部材が転倒からほど遠い状態にあるデータ)から予測される値との乖離を示している。解体作業が進むにつれて部材が“弱まり”予測値から乖離しており、部材の転倒兆候を捉えることができる。機械学習では、事前の学習に時間がかかるために実際には当該部材のデータを用いて学習することはできない。したがって、他の部材の転倒作業データを用いて学習し、その学習器がほかの部材作業にも適用できることが重要である。図 6 に示す通り、他の部材に適用しても部材の転倒兆候を捉えている(Y 軸の値が上昇している)。このことから、開発した手法の汎用性を確認しつつある。

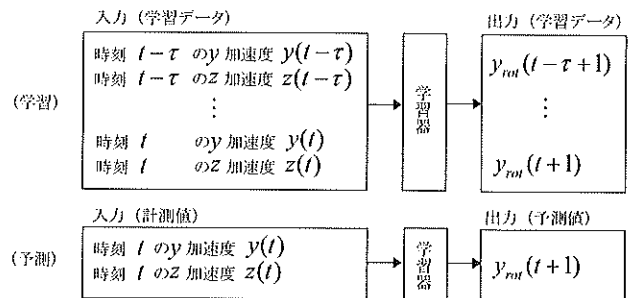


図 4 開発した異常検知システムの入出力 (上: 学習時, 下: 適用時)

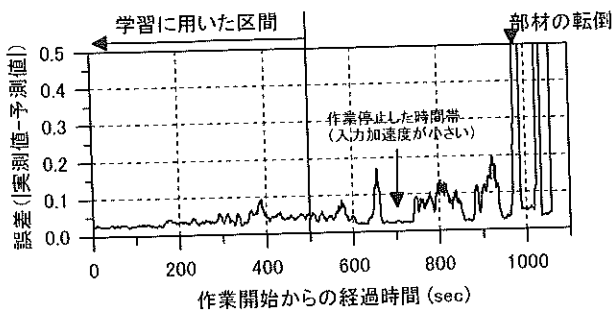


図5 異常検知の分析結果例
(学習データと同一の部材の場合)

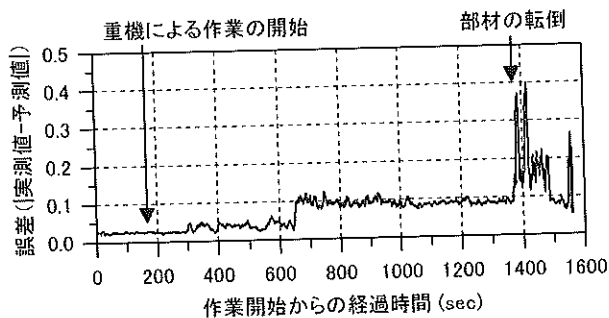


図6 異常検知の分析結果例
(学習データと異なる部材の例)

まとめ

本申請研究では、申請計画に基づいて解体予定建築物の設計図書などを収集し、調査許可の手続きを行って、画像計測を開始した。また、対照実験の準備も行った。しかしながら、解体工事が実際には着手されない、退去が遅延したなどの事情から、これらの研究実施が大幅に遅れ、画像計測データを用いた分析には至らなかった。代わりに、画像にも適用可能な異常検知手法を、解体工事振動データに適用して、その性能を確認した。

今後の課題

解体予定の建築物において画像を収集したものの分析手法を適用するに至っていない。手法自体は、基本的な形を構築したので、今後は手法を実際に適用する段階に進めたいと考えている。

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、直井聡人君の協力を得た。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。実建築物の調査・手配にあたっては、宇都宮大学施設課、地域デザイン科学部総務係の関係各位の協力を受けた。実建築物の計測については、宇都宮大学ものづくり創成工学センター原紳先生の助力を得ている。以上の関係各位に感謝申し上げる。

【参考文献(解体関係)】

- 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) 藤本郷史：解体工事を対象とした部材転倒作業モニタリングシステムの開発 - 小型試験体実験による計測精度に関する検討-, 第38回 日本建築学会 情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp124-132, 2015.12

【参考文献(機械学習関係)】

- 1) S. Hochreiter, J. Schmidhuber: Long short term memory, Neural Computation, 9(8), pp.1735-1780, 1997
- 2) F. A. Gers, J. Schmidhuber, F. Cummins: Learning to forget Continual prediction with LSTM, Neural Computation, 12(10), pp. 2451-2471, 2000
- 3) Y. Lecun, L. Bottou, G. B. Orr, K. R. Muller, Efficient BackProp, Neural Networks, Tricks of the trade, pp. 9-50, Springer, 1998
- 4) M. Zeiler: Adadelata: An adaptive learning rate method, arXiv preprint arxiv:1412.6980, 2014