

令和元年度
解体工事に係る研究報告書梗概集

《研究発表会》

日 時 令和元年 8 月 2 日（金） 14：00～
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 安和宝町ビル 6F]

— 趣 旨 —

この梗概集は、公益社団法人全国解体工事業団体連合会が実施する平成30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	・ 電力・鉄鋼副産物を利用したコンクリート塊の再資源化に関する実用化研究	
	道 正 泰 弘	名城大学 理工学部 環境創造学科教授
2	・ 廃プラスチックの再資源化に関する研究	
	小 山 明 男	明治大学 理工学部 建築学科教授
3	・ 解体工事における構造物の安全性に関する実験・解析	
	青 木 孝 義 張 景 耀 湯 浅 昇 佐 藤 大 輔 川 瀬 みなみ	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 株式会社コンステック 研究開発本部 診断技術部 株式会社コンステック 研究開発本部 診断技術部
4	・ 廃ゴムチップの再資源化に関する研究 — ゴムチップ混入モルタルの衝撃緩衝特性 —	
	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
5	・ 解体対象建物における仕上材下のコンクリート強度調査方法の検討	
	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部建築工学科教授
6	・ 4次元シミュレーションを用いた解体時における動的衝撃量およびそれに伴う振動・騒音推定手法の提案	
	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

研究課題：電力・鉄鋼副産物を利用したコンクリート塊の再資源化に関する実用化研究

申請者：道正 泰弘*

1. はじめに

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、その溶出による土壤汚染等への影響¹⁾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²⁾。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。しかし、2014 年度の利用実績調査³⁾により明らかになった再生骨材コンクリートの利用量は、55 千 t 程度に止まり、再生骨材の普及が進んでいるとは言えない状況にある。このような背景から、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、再生粗骨材 L および再生細骨材 L を一定の置換率以下で一般骨材と混合使用する再生骨材コンクリート M が規定された⁴⁾。しかし、再生細骨材 L の使用にあたっては、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⁵⁾、データの蓄積が必要となる。また、再生骨材のアルカリシリカ反応対策、長期強度の増進などの品質改善のためには、電力副産物であるフライアッシュや鉄鋼副産物の高炉スラグ微粉末の利用が有効とされており、これらの使用をあわせて検討し、構造用コンクリートとして所要の品質を確保する必要がある⁶⁾。

本研究は、低品質再生骨材を用いたコンクリート(低品質再生骨材コンクリート)について安定的な利用拡大の実現を目的に、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効果的な利用

によるコンクリートの品質改善ならびに災害廃棄物として放射性セシウムを含んだ瓦礫の処理を想定し、その溶出抑制効果について実験的検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に本研究で用いたセメントおよび混和材の主要品質を示す。

2.1 低品質再生骨材コンクリートの諸性能

(1) 使用材料

表-2 に本検討で用いた再生骨材の概要を、表-3 に使用した骨材の主要物性を示す。また、普通ポルトランドセメント(N, 密度 3.16g/cm³), 一般細骨材には川砂(NS), 一般粗骨材には硬質砂岩砕石 2005(NG), 再生細骨材 L(RLS), 再生粗骨材 L(RLG), 混和材には、フライアッシュ II 種(FAII-1, JIS A 6201)および高炉スラグ微粉末 4000(BFS-1, JIS A 6206)を用いた。

表-1 本研究で用いたセメントおよび混和材の主要品質

項目	N	FAII-1	FAII-2	BFS-1	BFS-2
密度 (g/cm ³)	3.16	2.29	2.30	2.91	2.91
ブレン値 (cm ³ /g)	-	3570	3740	-	-
比表面積 (cm ² /g)	3300	-	-	4260	3950
湿分 (%)	-	<5	<5	-	-
メチレンブルー吸着量 (mg/g)	-	0.23	0.29	-	-
SiO ₂ (%)	-	60.1	59.7	-	-
MgO (%)	1.49	1.69	0.95	5.70	5.75
SO ₃ (%)	2.13	-	-	2.09	2.07
Cl (%)	0.011	-	-	0.004	0.004
強熱減量 (%)	2.29	1.8	2.2	0.08	-
91 日活性度指数 (%)	-	-	-	116	121
フロー値比 (%)	-	-	-	100	103

表-2 本検討で用いた再生骨材の概要

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

*マニユフェストおよび製造工場へのヒヤリングにより確認

*名城大学理工学部環境創造学科 教授 博士 (工学)

RLS および RLG は、建築物の解体からの発生物を原コンクリートとして、再生骨材製造工場において破碎・分級等により製造されたものである。RLS の品質は、絶乾密度 1.95g/cm³ 吸水率 12.31%、微粒分量 5.4%、不純物量の合計は 0.16wt% であり、JIS A 5023 附属書 A の規定を満足する。RLG の品質は、吸水率 5.34%、微粒分量 1.0%、不純物量の合計は 0.2wt% であり、JIS A 5023 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 であった。

(2) 調合

表-4 に調合概要を示す。水結合材を 55%一定とし、RLG の置換率を 0%、25%、50%、75%、100% の 5 水準、RLS の置換

表-3 使用骨材の主要物性

品質項目	試験方法	NS1 ^{※1}	NS2 ^{※1}	NG1 ^{※2}	NG2 ^{※2}	RLS	RLG
絶乾密度(g/cm ³)	JISA1109	2.59	2.56	2.65	2.63	1.95	2.29
吸水率(%)	JISA1110	1.24	1.67	0.65	0.94	12.31	5.34
粗粒率(F.M.)	JISA1102	2.61	2.42	6.65	6.69	3.29	6.49
微粒分量(%)	JISA1103	4.6	2.9	0.8	0.3	5.4	1.0
実積率(%)	JISA1104	65.9	65.3	60.8	63.7	64.1	60.9
粒形判定実積率(%)	JISA5005					60.0	60.0
不純物量(wt%)	A	JISA5023				0.14	0.1
	B					0	0
	C					0.02	0.1
	D					0	0
	E					0	0
	F					0	0
	G					0	0
	H					0.16	0.2

※1: 揖斐川産川砂 ※2: 春日井産硬質砂岩碎石 2005
 ※3: A~G の分類は JIS A 5023 附属書 A による。

表-4 各種コンクリートの調合概要

種類	調合条件					単位量(kg/m ³)										混和剤(B-%) ^{※1}																	
	結合材の種類	混和材使用量	置換率(%)	WB (%)	sa (%)	W	C	BFS	NS1	NS2	NG1	NG2	RLG	RLS	FAI (外割)	AE 減水剤	FA 用 AE 剤	空気量調整剤	消泡剤														
NGNS-55	N	-	0	46.3	175	318		824	-	974	-	-	-	-	80	1.00		0.002	0														
NGRLS25-55								618	-	974	-	-	175	1.00			0.002	0.0005															
NGRLS50-55								412	-	974	-	-	349	1.00			0.002	0.0005															
NGRLS75-55								206	-	974	-	-	524	1.00			0.003	0.0005															
NGRLS100-55								-	-	974	-	-	698	1.00			0.002	0															
RLG25NS-55								N, BFS	BFS=N~40%	0	46.4	172	188	125		-	824	731	-	220	-	1.00		0.002	0.0005								
RLG25RLS25-55																618	-	731	-	220	175	1.00		0.002	0.0005								
RLG25RLS50-55																412	-	731	-	220	349	1.00		0.002	0.0005								
RLG25RLS75-55																206	-	731	-	220	524	1.00		0.002	0								
RLG50NS-55																824	-	487	-	440	-	1.00		0.002	0.0005								
RLG50RLS25-55																618	-	487	-	440	175	1.00		0.002	0.0005								
RLG50RLS50-55																412	-	487	-	440	349	1.00		0.002	0								
RLG50RLS75-55																206	-	487	-	440	524	1.00		0.002	0								
RLG50NS-55																824	-	487	-	440	-	1.00		0.002	0.0005								
RLG50RLS25-55																618	-	487	-	440	175	1.00		0.002	0.0005								
RLG75NS-55																824	-	244	-	659	-	1.00		0.002	0.0005								
RLG75RLS25-55																618	-	244	-	659	175	1.00		0.002	0								
RLG100NS-55																824	-	-	-	879	-	1.00		0.002	0								
FANGNS-55																N, FAI	FAI=(N+FA)×20%	0	43.4	175	318		733	-	974	-	-	-	1.00	0.2	-	-	0
FANGRLS50-55																							367	-	974	-	-	311	1.00	0.3	-	0.0005	
FANGRLS100-55	-	-	974	-	-	621	1.00								0.3								-	0.0005									
FARLG25NS-55	733	-	731	-	220	-	1.00								0.3								-	0.0005									
FARLG25RLS75-55	183	-	731	-	220	466	1.00								0.3								-	0.0005									
FARLG50NS-55	733	-	487	-	440	-	1.00								0.3								-	0.0005									
FARLG50RLS50-55	367	-	487	-	440	311	1.00								0.3								-	0.0005									
FARLG75NS-55	733	-	244	-	659	-	1.00	0.3	-	0.0005																							
FARLG75RLS25-55	550	-	244	-	659	155	1.00	0.3	-	0.0005																							
FARLG100NS-55	733	-	-	-	879	-	1.00	0.3	-	0																							
BFSNGNS-55 ^{※2}	N, BFS	BFS=N~40%	0	46.4	172	188	125	827	-	974	-	-	-	1.00									0.002	0									
BFSNGRLS50-55								-	788	-	1017	-	-	1.00									0.002	0									
BFSNGRLS100-55 ^{※2}								414	-	974	-	-	351	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG25NS-55								-	-	974	-	-	701	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG25RLS75-55								-	-	-	1017	-	663	1.00		0.002	0																
BFSRLG50NS-55								827	-	731	-	220	-	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG50RLS50-55								207	-	731	-	220	526	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG75NS-55								827	-	487	-	440	-	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG75RLS25-55								414	-	487	-	440	351	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG100NS-55								-	394	-	508	461	331	1.00		0.002	0																
BFSRLG75NS-55								827	-	244	-	659	-	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG75RLS25-55								621	-	244	-	659	175	1.00		0.002	0.0005																
BFSRLG100NS-55								827	-	-	-	879	-	1.00		0.002	0																

※1: AE 減水剤(高性能タイプ): 変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系, FAI 用 AE 剤: 高級脂肪酸塩と非イオン系界面活性剤, 空気量調整剤: 樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤, 消泡剤: ポリエーテル系抑泡剤, ※2: 下段は経時変化の検討用調合

率を0%, 25%, 50%, 75%, 100%の5水準に変化させた。結合材はNのみを使用したコンクリートを15種類、BFSをNに対して高炉セメントB種(BB)相当の40%置換した10種類、FAIIをN+FAIIに対して砂代替の外割として20%置換した10種類、合計35種類の試料コンクリートを用意した。

単位水量は175kg/m³を基準としたが、BFSを用いたものは試し練りにより2%低減させた。化学混和剤には変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系AE減水剤(高性能タイプ)を使用した。空気量調整剤には樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤を、消泡剤にはポリエーテル系抑泡剤を用いた。なお、FAIIを用いたコンクリートについては、AE剤として、高級脂肪酸塩と非イオン系界面活性剤を使用した。いずれも目標スランプは18±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。

(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を、硬化性状は、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化、促進中性化および凍結融解の諸試験を実施した。

2.2 セシウムの溶出抑制

(1) 使用材料

表-1に示した普通ポルトランドセメント(N)、フライアッシュII種(JIS A 6201, FAII-1, FAII-2)および高炉スラグ微粉末4000(JIS A 6206, BFS-1, BFS-2)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。CsClの混入率は、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)によるセシウム(Cs)の検出が容易かつ溶出抑制効果が明確になること

を考慮して、検出限界を十分上回る濃度になるよう溶液調整した練混ぜ水を使用した。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

セメントペースト試料の配合を表-6に示す。試料は、N単味(N)、フライアッシュを用いたものは、ASR抑制対策として効果が確認されているフライアッシュセメントB種相当⁶⁾として、セメント質量に対し、FAII-1を15%、C種相当⁶⁾として、FAII-1を25%、FAII-2を30%、大量利用として、FAII-2を50%および70%置換した5種類(FA15, FA25, FA30, FA50, FA70)を用意した。また、高炉スラグ微粉末を用いたものは、セメント質量に対して高炉セメントA種相当としてBFS-1を20%置換した試料(BFS20)、ASR抑制対策およびCr(VI)溶出抑制対策に効果が確認されているB種相当^{7), 8)}としてBFS-1を40%置換した試料(BFS40)、C種相当としてBFS-2を70%置換した試料(BFS70)の3種類を用意し、合計9種類とした。試料の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、

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	スランプ	JIS A 1101	
	空気量	JIS A 1128	BFSを用いたコンクリートの一部で経時変化を測定した。
	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	電極電流法による
	圧縮強度	JIS A 1108	材齢4週, 13週
	静弾性係数	JIS A 1149	
	長さ変化率	JIS A 1129-3	
	促進中性化深さ	JIS A 1153	
	耐久性指数	JIS A 1127 JIS A 1148	A法

表-6 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	FA30	FA50	FA70	BFS20	BFS40	BFS70
N	100	85	75	70	50	30	80	60	30
FAII-1	0	-	-	30	50	70	-	-	-
FAII-2	0	15	25	-	-	-	-	-	-
BFS-1	0	-	-	-	-	-	-	-	70
BFS-2	0	-	-	-	-	-	20	40	-
W	30	30	30	30	30	30	30	30	30
CsCl [※]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

※Wに対するの質量比で外割とした。

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°C, RH90%以上)にて24時間養生後に脱型し、水道水で満たした50°Cの恒温水槽にて、4週、12週の養生を行った。養生後は、4cm×4cm×16cm供試体の中心部近傍から2cm×2cm×2cmの立方体を1個切り出し、水中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) 水中浸漬試験および細孔径分布

測定項目および試験方法を表-7に示す。水中浸漬試験の浸漬液には、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°C, 湿度60%)に設置した窒素ガスを充填したグローブボックス内で保管した。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ICP-MSにて分析した。分析項目は、Csである。ICP-MSの分析に先立ち、pHおよび電気伝導度(EC)を測定した。なお、養生期間4週の試料は浸漬期間12週、分析回数は4週時、8週時、12週時の3回とし、一方、養生期間12週の試料は浸漬期間12週、分析回数は4週時、12週時の2回とした。同時にN, FA30, FA50, FA70, BFS70については、2cm角の試料から細孔径分布の測定用試料を採取した。

3. 試験結果

3.1 低品質再生骨材コンクリートの諸性能

3.1.1 フレッシュ性状

各種コンクリートの練上がり時のフレッシュ性状試験結果を表-8に示す。

(1) スランプおよび空気量

AE減水剤はいずれのコンクリートにおいても結合材質量の1%とし、NおよびFAIIを用いたコンクリートでは、空気量調整剤を結合材に対して0.002%~0.003%を使用した。再

表-7 測定項目および試験方法

試験項目	試験方法	備考
pH	JIS K 0102	養生期間4週: 材齢4週, 8週 ^{※1} ,
EC	JIS K 0130	12週時に測定
Cs	JIS K 0133	養生期間12週: 材齢4週時, 12週時 ^{※2} に測定
細孔径分布 ^{※2}	水銀圧入法	

※1 細孔径分布は除く。※2 FA30, FA50, FA70, BFS70について測定した。



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-8 各種コンクリートのフレッシュ性状

種類	フレッシュ性状				
	スランプ(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)
NGNS-55	18.5	4.0(0.0)	2304	28.6	0.03
NGRLS25-55	20.0	5.2(0.4)	2296	24.4	0.06
NGRLS50-55	19.0	5.5(0.4)	2240	25.7	0.15
NGRLS75-55	20.0	4.8(0.3)	2234	21.6	0.11
NGRLS100-55	20.5	4.2(0.7)	2221	27.7	0.13
RLG25NS-55	16.5	5.4(0.2)	2273	24.2	0.09
RLG25RSL25-55	19.0	5.0(0.6)	2237	24.3	0.10
RLG25RSL50-55	20.0	5.7(0.4)	2266	24.4	0.11
RLG25RSL75-55	20.0	4.2(0.7)	2217	27.2	0.09
RLG50NS-55	16.0	5.6(0.4)	2267	23.7	0.17
RLG50RSL25-55	17.5	5.6(0.4)	2240	25.1	0.11
RLG50RSL50-55	19.0	4.9(0.6)	2187	28.0	0.23
RLG75NS-55	17.0	4.6(0.4)	2269	22.3	0.12
RLG75RSL25-55	20.0	4.5(0.6)	2243	25.0	0.12
RLG100NS-55	18.5	4.5(0.4)	2246	27.7	0.12
FANGNS-55	18.0	5.7(0.0)	2270	25.6	0.02
FANGRLS50-55	17.0	5.1(0.4)	2191	18.2	0.18
FANGRLS100-55	20.5	4.0(0.5)	2237	17.7	0.17
FARLG25NS-55	19.5	5.5(0.4)	2241	24.5	0.12
FARLG25RSL75-55	18.5	5.4(0.6)	2171	26.9	0.24
FARLG50NS-55	17.0	5.7(0.3)	2227	20.0	0.22
FARLG50RSL50-55	19.0	5.5(0.5)	2179	16.8	0.18
FARLG75NS-55	20.0	4.4(0.6)	2269	23.2	0.16
FARLG75RSL25-55	18.5	5.4(0.7)	2173	27.3	0.15
FARLG100NS-55	20.0	5.5(0.4)	2183	26.7	0.27
BFSNGNS-55	20.0	5.2(0.2)	2304	26.4	0.06
BFSNGRLS50-55	18.0	5.6(0.4)	2273	22.7	0.12
BFSNGRLS100-55	17.5	4.3(0.8)	2119	20.3	0.15
BFSRLG25NS-55	18.5	5.7(0.3)	2260	24.9	0.14
BFSRLG25RSL75-55	19.0	5.1(0.5)	2229	25.0	0.22
BFSRLG50NS-55	20.0	5.6(0.4)	2257	24.7	0.12
BFSRLG50RSL50-55	20.5	4.5(0.6)	2187	17.1	0.11
BFSRLG75NS-55	20.0	4.4(0.5)	2269	23.2	0.12
BFSRLG75RSL25-55	19.0	5.4(0.7)	2199	23.3	0.11
BFSRLG100NS55	18.5	5.3(0.5)	2137	25.5	0.09

※()内は骨材修正係数を示す。

生骨材 L を用いたコンクリートのうち、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% 使用した。なお、FAII を用いたコンクリートは FA 用 AE 剤を結合材質量に対して 0.2%~0.3% を使用した。これらにより、全ての試験体において目標スランプおよび目標空気量の範囲が得られた。骨材修正係数は、再生粗骨材 L を用いた場合で 0.2~0.6%、再生細骨材 L を用いた場合で、0.3%~0.8% であり、再生骨材置換率が増加するのに伴い大きくなる。

(2) 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 (再生骨材コンクリート L) 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) 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。

(4) コンクリート温度

試験コンクリートは 8 月中旬から 1 月中旬に打込んだが、いずれの試験体も 35℃ を下回った。

3.1.2 硬化性状

(1) 圧縮強度

図-1 より圧縮強度は、再生骨材の置換率の影響が明確にみられた。全体的に再生骨材の置換率の増加に伴い圧縮強度は低下する傾向がみられ、特に、RLS を 50% 以上混入したものはその傾向が顕著である。材齢 4 週から 13 週までの強度発現傾向は、N については置換率の増加に伴い低下する傾向がみられた。FAII を砂代替で混入した場合、N に対して材齢 4 週時から材齢 13 週時にかけての強度発現が大きくなり、FANGNS-55 では 50N/mm² を上回った。一方、BFS を BB 相当で用いた場合、材齢 4 週時は N に対して小さくなるものの 13 週時ではほぼ同等である。

これらから、再生細骨材 L の置換率が大きい場合でも混和材の使用により、長期強度の低下を小さくできる。

(2) 静弾性係数

図-1 より、静弾性係数については、圧縮強度と同様、再

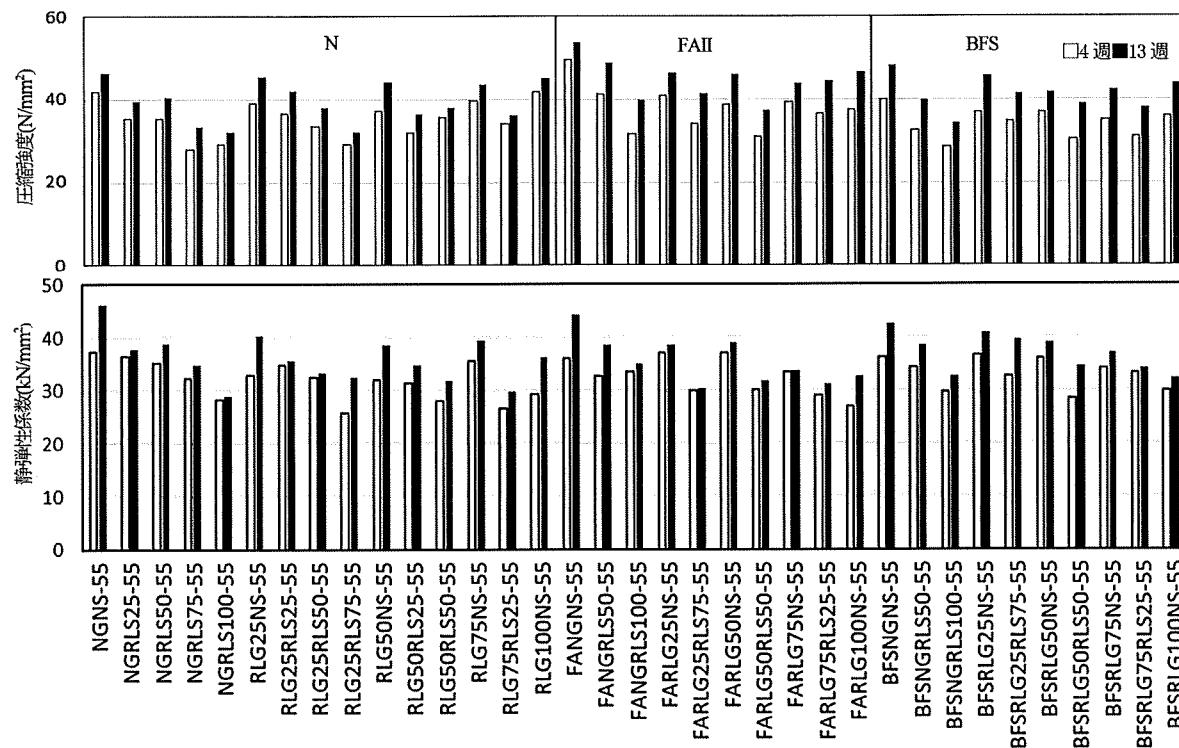


図-1 各種コンクリートの圧縮強度および静弾性係数

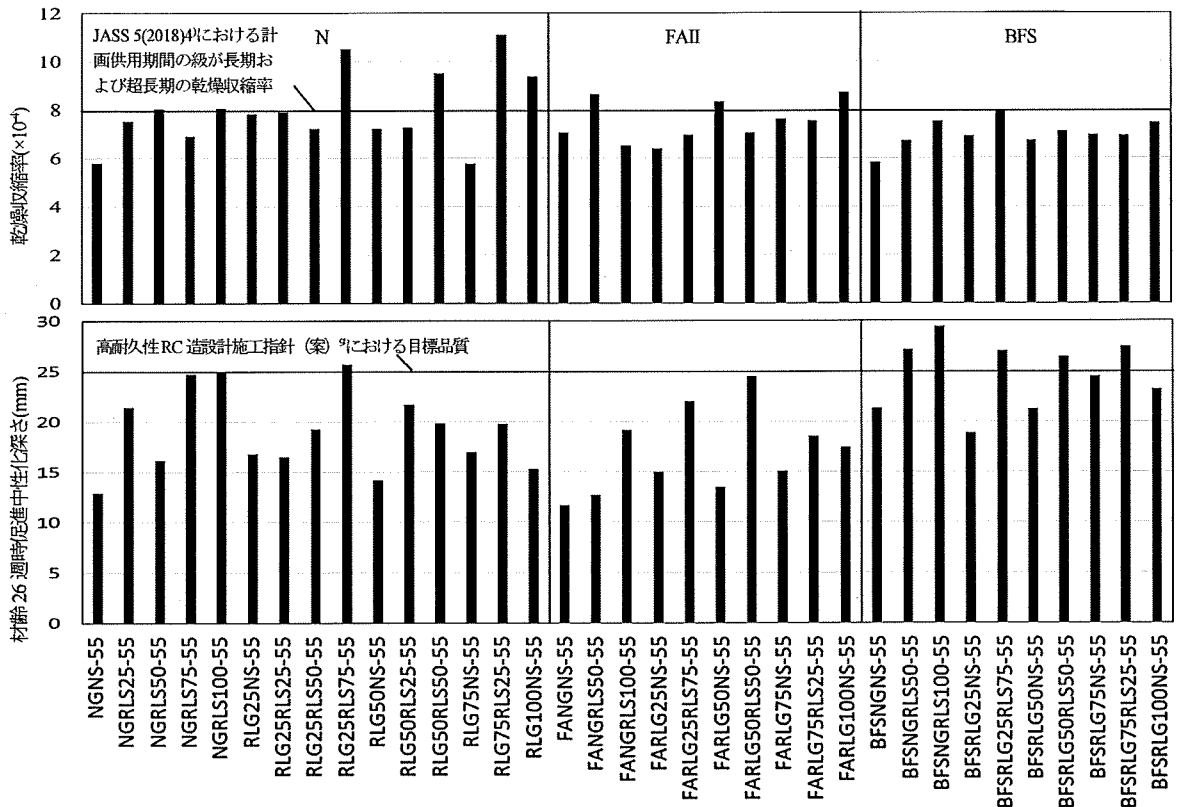


図-2 各種コンクリートの乾燥収縮率および促進中性化深さ

生骨材の置換率の増加に伴い低下する傾向がみられ、材齢の経過に伴う増加も小さくなる。混和材の影響は、再生骨材を置換していない場合において、N、FAII および BFS は材齢に係らずほぼ同等であり、再生骨材を置換した場合においてもその影響は明確にはみられない。

(3) 乾燥収縮

図-2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 RLS と RLG を併用し、いずれか50%以上置換したものが大きくなる傾向がみられた。N、FAII では RLS の置換率が50%以上あるいは RLG を75%以上置換したもので JASS 5(2018)⁹⁾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である 8×10^{-4} を超えるものもみられた。一方、BFS ではいずれのコンクリートも 8×10^{-4} を下回る。したがって、再生骨材コンクリート M に規定された置換率の範囲内あるいは BB 相当の使用により、所要の品質が確保できる。

(4) 促進中性化

図-2より、材齢 26 週時促進中性化深さは、N を用いた

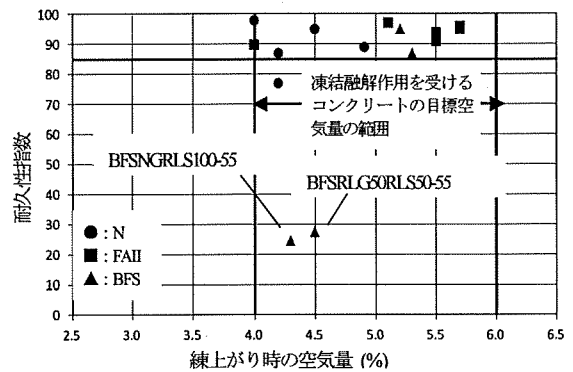


図-3 練上がり時の空気量と耐久性指数の関係

コンクリートでみると、相対的に RLS を50%以上、RLG を75%以上置換したものが大きくなる傾向がみられた。混和材の影響は、N に比べて FAII を砂代替で用いたものは比較的小さく、一方、BFS を BB 相当で用いたものは大きくなる傾向がみられた。このことは、FAII を砂代替で一定量用いることにより、長期強度が増進したことに起因する⁹⁾。

(5) 凍結融解

図-3より、練上がり時のフレッシュコンクリートは、凍結融解作用を受けるコンクリートの目標空気量 4.0~

表-9 フレッシュコンクリートの経時変化^{※1}

経過 時間 (min)	スラブ(cm)						空気量(%)						単位容積質量(kg/m ³)					
	BFS-1		BFS-2		BFS-3		BFS-1(0.2) ^{※2}		BFS-2(0.7) ^{※2}		BFS-3(0.5) ^{※2}		BFS-1		BFS-2		BFS-3	
	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異	測定値	差異
0	19.0	-	22.0	-	20.0	-	8.4	-	8.9	-	4.7	-	2199	-	2094	-	2164	-
15	18.5	0.5	20.0	2.0	19.5	0.5	5.7	2.7	6.9	2.0	3.7	1.0	2290	91	2173	79	2241	77
30	17.5	1.0	18.0	2.0	17.0	2.5	3.8	1.9	4.7	2.2	2.6	1.1	2341	51	2219	46	2253	12
45	15.0	2.5	17.0	1.0	18.0	1.0	2.9	0.9	3.9	0.8	2.0	0.6	2361	20	2243	24	2280	27
60	12.0	3.0	9.5	7.5	12.0	6.0	2.6	0.3	3.5	0.4	1.8	0.2	2371	10	2251	8	2289	9
90	0.5	11.5	5.0	4.5	2.0	10.0	2.1	0.5	2.6	0.9	1.7	0.1	2377	6	2271	20	2296	7

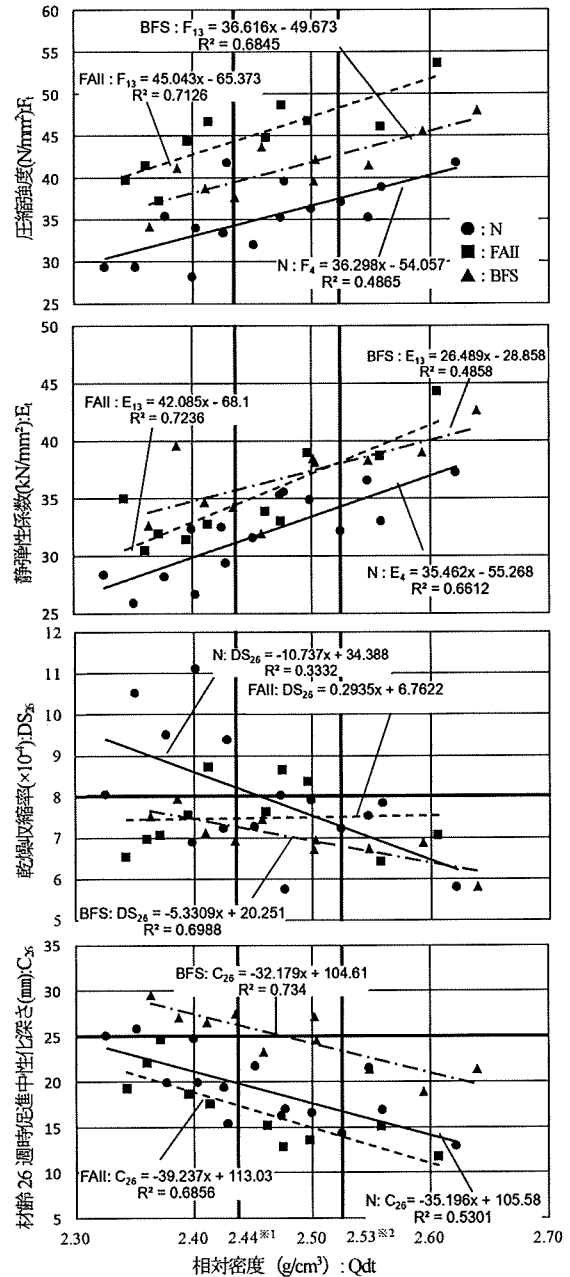
※1 BFS-1 : BFSNGNS-55, BFS-2 : BFSRLG50RLS50-55, BFS-3 : BFSNGRLS100-55 ※2()内は骨材修正係数を示す。

6.0%(4.5±1.5%かつ空気量の下限値4.0%⁴⁾)の範囲であれば再生骨材の置換率に係わらず、耐久性指数は、おおむね80以上となっており、耐凍害性は確保されている。しかし、BFSを用いたコンクリートのうち、RLSの置換率が50%以上のBFSRLG50RLS50-55(BFS-2)およびBFSNGRLS100-55(BFS-3)は、30以下と大幅に低下した。

表-9は、耐久性指数が大きく低下したBFS-2、BFS-3および比較用にBFSNGNS-55(BFS-1)のフレッシュコンクリートの経時変化を測定した結果である。これによると、スラブはBFS-1では、30分までの経時変化は1.5cmであったが、BFS-2で4.0cm、BFS-3では3.0cmと大きくなる。空気量の低下については、BFS-1で4.6%、BFS-2で4.4%と大きい、BFS-3では練上がり時の空気量自体が小さいことから低下も2.1%と小さい。BFS-2およびBFS-3の凍結融解試験体用コンクリートについては、消泡剤を使用したため、練上がり時の空気量は小さくなっているが、経時に伴う空気量の低下傾向から、実際の試験体に連行された空気量が目標空気量以下となったものと推察される。単位容積質量は、経時に伴い大きくなる傾向がみられ、いずれの試験体も最初の15分までの変化が大きい。なお、温度は、練上がり時においてBFS-1で11.0℃、BFS-2で9.6℃、BFS-3で10.3℃であった。

3.1.3 相対品質値法による性能評価

相対品質値法は、一般骨材と再生骨材の主要物性(吸水率等)と置換率から相対品質値(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、乾燥収縮や中性化を考慮した要求品質の閾値に対応する強度域の計画調査を設定し、製造工場で検証した後、最終調査を決定する。これにより、乾燥収縮や耐久性の評価を包含した性能設計が可能となる¹⁰⁾。本検討では、フライアッシュを砂



※1:再生骨材コンクリートM2種として再生粗骨材Lおよび再生細骨材Lの絶対密度の下限値から算定および置換率の上限値で算定した相対密度を示す。
 ※2:再生骨材コンクリートM1種として再生粗骨材Lの絶対密度の下限値および置換率の上限値で算定した相対密度を示す。

図-4 相対密度とコンクリートの主要な性能との関係

代替として利用したことから主要物性には密度を用い、式(1)に示す相対密度(容積比)を算出し、図-4に示すようにコンクリートの主要な性能との関係性を評価した。

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

- ここに、Qdt:骨材の相対密度(g/cm³)
- QdvG:一般粗骨材の絶対乾密度(g/cm³)
- QdvN:一般細骨材の絶対乾密度(g/cm³)
- QdrG:再生粗骨材の絶対乾密度(g/cm³)
- QdrS: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, c, d:使用骨材の絶対容積(L/m³)
- e:フライアッシュの絶対容積(L/m³)

図-4より、全体的に相対密度が小さくなるのに伴いコンクリートの主要な性能は低下する傾向がみられ、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮率(FAIIを除く)、促進中性化深さとの間には、ばらつきがあるものもみられるが、おおむね相関性が得られた。また、乾燥収縮率と促進中性化深さでは、再生骨材コンクリートM1種に該当する相対密度であればいずれも目標値を満足する。再生骨材コンクリートM2種の場合は、使用する混和材によっては目標値を満足する。

3.2 セシウム(Cs)の溶出抑制

3.2.1 水中浸漬試験

水中浸漬試験による浸漬液の分析結果を図-5に示す。

なお、各データは3個の試料の平均値を示す。

(1) pH

いずれの試料においても経時的に小さくなった。Nに比べて混和材を使用するとpHは小さくなり、置換率の増加に伴い小さくなる傾向がみられた。養生期間や浸漬期間の影響は明確にはみられなかった。

(2) EC

ECは、溶存イオン量を大まかに示す指標である。いず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、置換率の増加に伴い小さくなる傾向がみられた。養生期間の影響は、Nにおいては、養生期間4週に比べて12週のもの100mS/m程度大きくなるが、他は同程度であった。

(3) Cs

いずれの試料においても、ほぼ経時的にCs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14.38mg/Lであったが、セメントでB種相当の15%置換したFA15では3.89mg/Lとなり、N

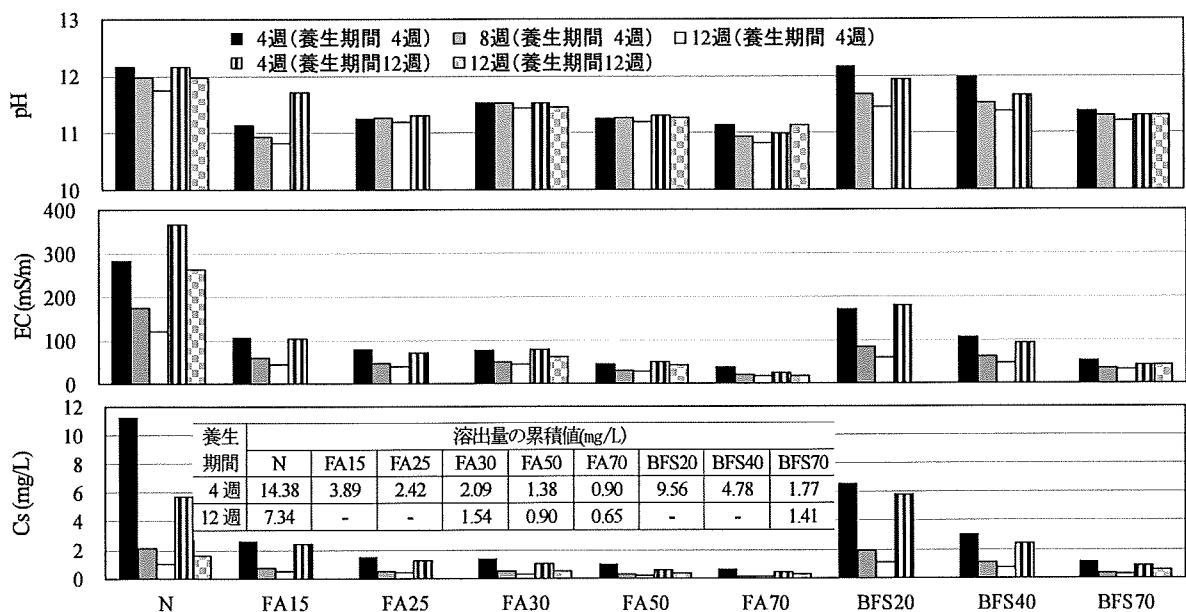


図-5 浸漬液の分析結果

と比較して30%以下と大幅に低減した。さらに、置換率の増加に伴い累積値は小さくなり、FA70では0.90mg/Lとなり、Nの6%程度となった。したがって、一定量以上のFAIIの混入によりCsの溶出量を大幅に抑制でき、さらに置換率を高め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、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⁾によるものと考えられる。一方、高炉スラグ微粉末においては、養生期間4週の場合、BFS20、BFS40、BFS70で溶出量の累積値がそれぞれ9.56mg/L、4.78mg/L、1.77mg/Lと置換率の増加に伴い低減する傾向が明確に認められた。これは、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と考えられる¹²⁾。

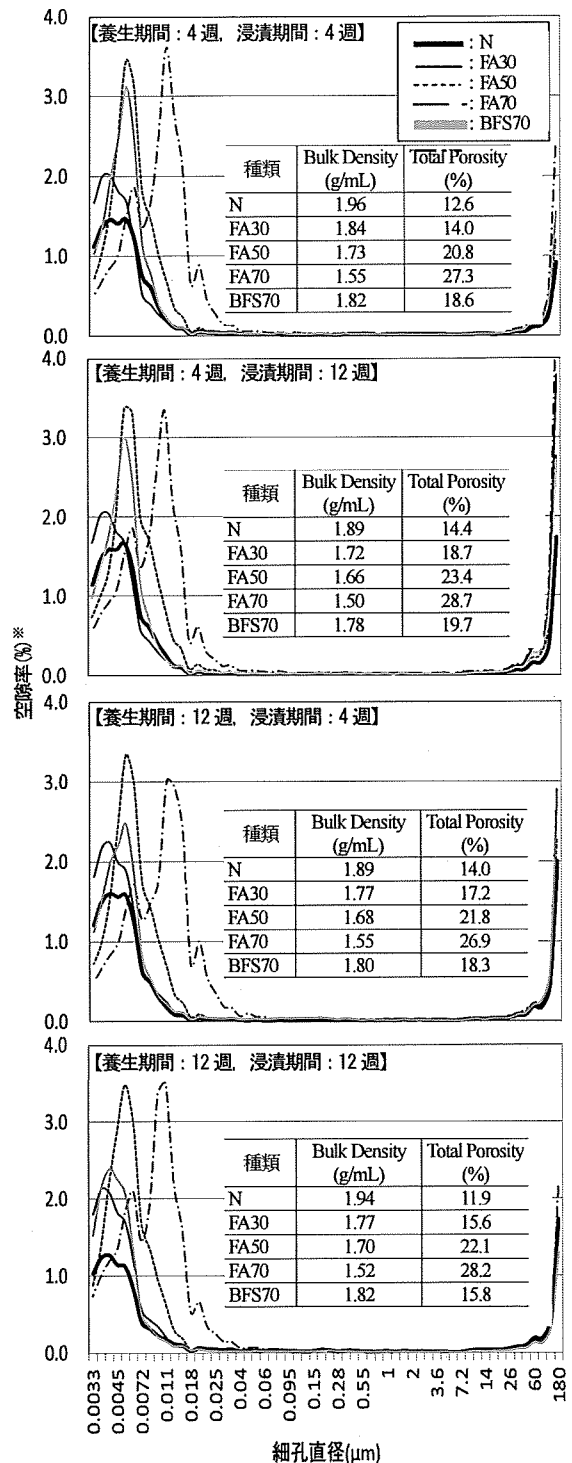
養生期間の影響は、いずれの試料も4週に比べて12週の溶出量が小さくなる傾向がみられた。Nにおいては12週の累積値が7.34mg/Lとなり、養生期間4週に対して約50%の低減、FA70では0.65mg/Lと約30%低減し、BFS70では1.41mg/Lと約20%低減した。したがって、所定の養生期間を確保することで、さらに溶出量の低減が可能となる。

3.2.2 細孔径分布

細孔径分布の測定結果を図-6に示す。いずれもFA70、FA50が同程度の空隙率で最も大きく、BFS70、FA30、Nの順で小さくなる。また、FA70は細孔直径0.013~0.015 μm が空隙率のピークであるのに対し、他は0.0040~0.0060 μm であった。N、BFS70では養生期間、浸漬期間が長くなるのに伴い空隙率は小さく緻密化する傾向がみられた。一方、FAIIを用いたものでは養生期間、浸漬期間の影響はみられなかった。なお、FAIIを多量に置換した空隙率が大きいものほどCsの溶出量が小さくなるが、FAII粒子周囲のポゾラン反応相の影響¹¹⁾あるいは空隙径分布の影響¹³⁾と推察される。

4. まとめ

汎用的な混和材であるフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用した低品質再生骨材コンクリートの性能ならびに災害廃棄物を想定した混和材によるセシウムの溶出抑制効果について検討を行った結果、大要次のことがいえる。



※空隙率(%)=細孔容積(mL/g)×かさ密度(g/mL)×100

図-6 細孔径分布の測定結果

- (1) 低品質再生骨材コンクリートのフレッシュ性状は、置換率が高い場合でも、混和剤量の調整により所定の品質を満足する。

(2) 再生骨材置換率の増加に伴い圧縮強度および静弾性係数は低下するが、FAII を砂代替で一定量の使用や BFS の BB 相当の使用により長期材齢での圧縮強度、静弾性係数の低下を小さくすることができる。

(3) 再生粗骨材 L と再生細骨材 L を 50%以上置換した場合は乾燥収縮率が大きく、中性化は速くなる。しかし、BFS を BB 相当で使用することにより乾燥収縮率を低減できる。また、FAII を砂代替で一定量使用することにより中性化を遅くすることが可能である。

(4) 耐凍害性は、適切に空気が連行されていれば所要の品質を満足するが、BB 相当で用い、再生細骨材 L の置換率が高い場合は、経時に伴う空気量の低下傾向を考慮する必要がある。

(5) 相対密度と再生骨材コンクリートの主要な性能の間には、ばらつきがあるものもみられるが、おおむね相関性が認められることから、FAII や BFS を使用した場合でも、相対品質値法による性能設計が可能となる。

(6) FAII や BFS を一定量置換することにより、Cs の溶出量を抑制できた。具体的には、FAII を 15%以上、BFS を 40%以上といった、セメントで B 種相当以上置換した場合の溶出抑制効果は顕著であった。

(7) FAII を多量に置換した空隙率が大きいものほど Cs の溶出量が小さくなるが、FAII 粒子周囲のポゾラン反応相の影響あるいは空隙径分布の影響と推察される。一方、BFS を C 種相当に置換したものでは、養生期間、浸漬期間が長くなるのに伴い空隙率は小さく緻密化する傾向がみられた。

以上のことから、低品質再生骨材コンクリートの性能は、一般的な調合設計上の配慮に加え、再生骨材置換率の調整、混和材としてフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末の効果的な利用により所要の品質を得ることが可能である。また、これら混和材は、一定量の混入により、セシウムの溶出抑制対策としても有効である。

参考文献

1) 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

- 2) 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(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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 道正泰弘，村上一夫，LE DAI ANH，陶 宇洲：混和材が低品質再生骨材を用いたコンクリートの性能に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 40 No. 1，pp. 1383-1388，2018
- 6) 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合設計・施工指針（案）・同解説，2007
- 7) 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
- 8) 道正泰弘，舘 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
- 9) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，1991
- 10) 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
- 11) 山本武志，金津 努：フライアッシュのポゾ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) 千田太詩，吉田崇宏：フライアッシュ混合セメント硬化体中の陰イオン拡散挙動—拡散係数の空隙構造依存性—，電力中央研究所報告書 L11008，2012. 5

(2019年7月12日提出)

Key-word: 廃プラスチック, 発生量予測, ポリ塩化ビニル樹脂, 再生塩ビ樹脂シート, 耐久性評価, 品質予測式

1. はじめに

建設廃棄物の再資源化率は、平成 12 年に制定された建設リサイクル法の施行以来、着実に向上している。特に分別解体や再資源化等が義務付けられている特定建設資材においては、図 1 に示すように 100%近い再資源化等率を達成している。しかし、建設混合廃棄物の再資源化率は依然として低い状況にあり、この問題の解決策として建設混合廃棄物となる各種建材の再資源化率を向上させることや建設混合廃棄物自体の発生量を抑制することが重要である。

廃プラスチックの有効利用率は、図 2 に示すように年々向上している。しかし、その過半はサーマルリサイクルであり、資源の有効活用ができ、サーマルリサイクルに比べ環境負荷の少ないマテリアルリサイクル量は依然として少ない²⁾。また、図 3 に示すようにプラスチック建材の廃棄物量は増加している傾向にある。

塩化ビニル樹脂（以下、塩ビ）建材は、意匠性や耐久性に優れるが、タイルカーペットをはじめとして、複数の材料と併せて使用されることが多く、ナイロン繊維などの不純物が混入することから分別が困難であり、マテリアルリサイクルの妨げとなっている。

以上のような状況から、本研究室では建設廃棄物処理の実態に関する調査および塩ビ建材の再資源化技術に関する検討を継続的に行っている。産業廃棄物発生量の約 2 割、不法投棄量の約 8 割が建設廃棄物であることから、建設廃棄物の適正処理は重要な課題である。よって建設廃棄物量予測を試算することにより、将来起こりえる問題および中間処理場における建設廃棄物のリサイクル状況を把握することが重要である。また、塩ビ建材の再資源化技術に関する検討においては、既報³⁾ではタイルカーペットや壁紙の廃材から再生塩ビ樹脂粉体を抽出する叩解法を提案し、塩ビ樹脂建材におけるマテリアルリサイクルの可能性を示した。さらに、叩解法によって得られた単一種類の再生塩ビ樹脂粉体を用いた再生塩ビ樹脂シートの機械的性質の検討が報告されている⁴⁾。しかし、複数種類の再生塩ビ樹脂粉体（以下、複数廃材）を用いた再生塩ビ樹脂シートの検討は少ないため検討を行う必要がある。

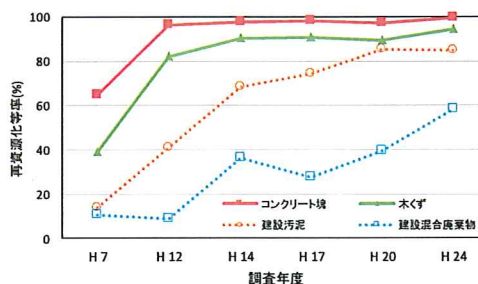


図 1 建設廃棄物の再資源化率¹⁾

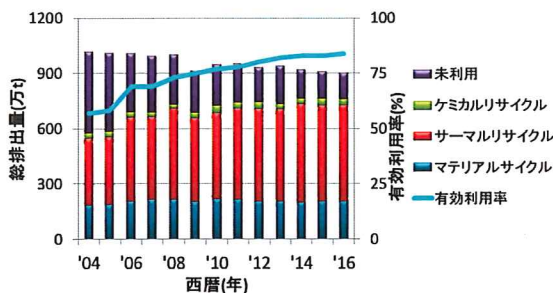


図 2 廃プラスチックの有効利用率およびリサイクル手法²⁾

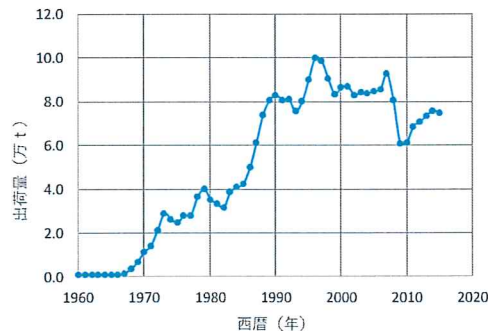


図 3 プラスチック建材の出荷量

$$W_n = NW_n + DW_n \quad \dots (1)式$$

$$NW_n = V_n \times N \quad \dots (2)式$$

$$DW_n = \sum_{\alpha=k}^n (U_{\alpha} \times R_{n-\alpha}) \quad \dots (3)式$$

$$S_n = \sum_{\beta=k}^n \left[(1-N)V_{\beta} + \sum_{\alpha=k}^{\beta} (U_{\alpha} \times R_{\beta-\alpha}) \right] \quad \dots (4)式$$

建材出荷年kおよび任意の年nにおける
 W_n : n年の廃棄物排出量, NW_n : n年の新築系廃棄物排出量
 DW_n : n年解体系廃棄物排出量, S_n : n年ストック量
 V_n : n年の出荷量, N : 新築端材率(本研究では一律10%と仮定した)
 U_n : n年の構造用途別出荷量, R_{n-k} : 築年(n-k)年後の減失率

図 4 廃棄物排出量およびストック量算出方法

よって本研究では、大別して以下二つの検討を行い、循環型社会の発展に資することおよび廃プラスチック建材の効率的なマテリアルリサイクル手法の確立を目指す。

一つ目は、廃プラスチック建材の廃棄物処理に関する検討である。廃プラスチック建材の廃棄物量予測およびリサイクル率向上による廃棄物量削減効果について試算し、リサイクルの重要性について検討した。また、中間処理施設および建材メーカーにアンケート調査を行うことで廃プラスチック建材の現状についての調査を行った。

二つ目は、複数廃材を用いた再生塩ビ樹脂シートにおける耐久性の検討である。さらに、再生塩ビ樹脂シートにおける品質予測式を提案し、廃塩ビ建材の効率的な再資源化手法の確立を目指す。

2. 廃プラスチック処理に関する調査方法

2.1 廃プラスチック建材の廃棄物量予測

1960年～2015年までの出荷統計が収集できたプラスチックサッシおよび塩ビ管継手などの廃プラスチック建材計18種類の廃棄物排出量およびストック量を試算した。なお、出荷統計の調査には建材・住宅設備要覧⁵⁾を用いた。

廃棄物排出量およびストック量予測式を図4に示す。試算は木造住宅、RC造、S造、SRC造それぞれの住宅及び非住宅、その他8種類の建物構造用途ごとに行い、各建材の出荷統計、製造業者への調査結果をもとに仮定した建物構造用途別の出荷比率および建物の滅失率を表す構造用途別滅失率を用いた。なお、2016年以降の出荷量は2015年のものを使用し、新築系廃棄物排出量は出荷量の10%、構造用途別滅失率は図5に示す既往研究⁶⁾により算出されたものを用いた。なお、今回の試算では1960年以前に出荷された廃プラスチック建材の廃棄物および建材ストックは考慮していない。

2.2 廃棄物量削減効果の試算

2060年における目標リサイクル率を新築系廃棄物については100%、解体系廃棄物については5%、10%、20%とし、それぞれの目標リサイクル率を組み合わせた計4パターンにおける廃棄物量削減効果について試算した。

2.3 建設廃棄物処理実態に関するアンケート調査

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

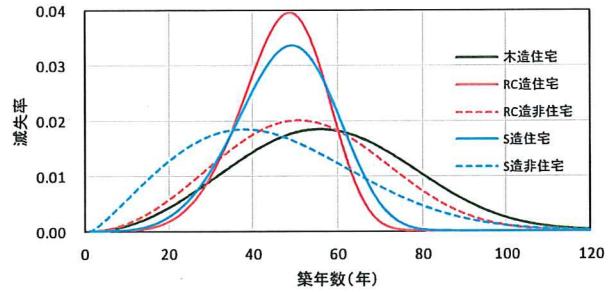


図5 構造用途別滅失率⁷⁾

表1 アンケート調査概要

	対象業者	主な調査内容	回答数
建設廃棄物処理の実態に関するアンケート調査	中間処理業者	<ul style="list-style-type: none"> 建設廃棄物の受入量 廃棄物中の有害物質の種類、対処方法 処理困難建材の種類、対処方法、理由 処理費用 	103社
	製造業者	<ul style="list-style-type: none"> 構造用途別の出荷比率 リサイクルの現状 処理に困難をきたしている原因への対策方法 	6団体 (協会団体)
エネルギー使用量に関するアンケート調査	中間処理業者	<ul style="list-style-type: none"> 建設廃棄物の受入割合 中間処理後の扱いについて 中間処理施設における電力などの燃料使用量、用途 	42社

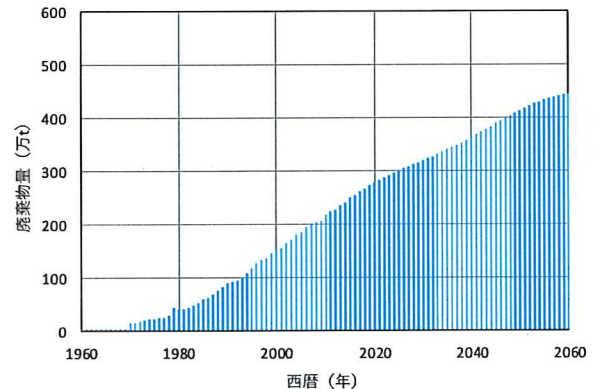


図6 プラスチック建材における廃棄物量予測

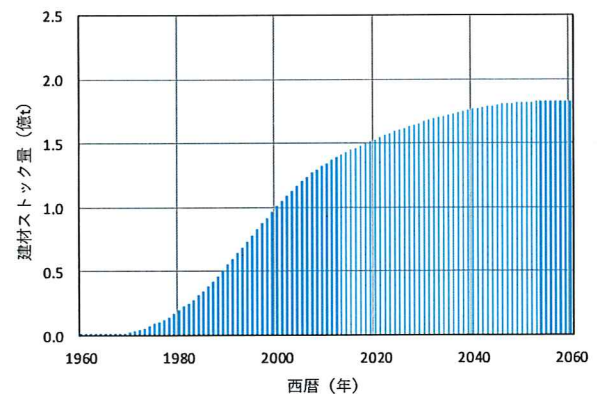


図7 プラスチック建材における建材ストック量

3. 廃プラスチック処理に関する調査結果

3.1 プラスチック建材の廃棄物排出量

プラスチック建材における廃棄物量予測の結果を図6に示す。プラスチック建材の廃棄物排出量は今後増加し、2020～2030年頃にはやや横ばいになるものの、その後再び増加していくと予想される。これは、建物着工面積のピークである1980年頃に建設された建物の多くが今後解体時期を迎えるためと考えられる。

建材ストック量予測を図7に示す。2060年には約1.8億tもの建材ストック量を抱えると予想され、将来的に排出される点に留意が必要である。

3.2 リサイクル率向上による廃棄物

塩ビ樹脂建材におけるリサイクル率向上による廃棄物量削減の推移を図8に示す。2060年において現状のリサイクル率と、新築100%+解体20%をリサイクルする場合を比べると約1.5倍の廃棄物削減効果が期待できた。そのため、リサイクル技術の開発は廃棄物量削減という観点において非常に重要であると考えられる。

3.3 処理困難建材

プラスチック系建材における処理困難建材を図9に示す。プラスチック系処理困難建材ではビニル床シートなどの塩化ビニル建材の処理に困っているとの回答が多かった。処理に困っている理由として、塩素濃度が高いためにRPF処理(マテリアルリサイクルが困難な古紙および廃プラスチックを主原料とした固形燃料を製造するリサイクル方法)ができず、埋立処分するしかないとの回答が多かった。よって中間処理業者は、塩素濃度の高い塩化ビニル系建材のリサイクル技術を求めていることがわかる。なお、製造業者へのアンケート調査より、廃プラスチック類のリサイクルは以前に比べると進歩しているものの、廃塩化ビニル建材のリサイクルには課題が多いことが判明した。

4. 塩ビ建材のリサイクルに関する研究

4.1 試験概要

4.1.1 使用材料

本研究で用いた廃材(R)は、塩ビ製品の中でも出荷量の多く⁷⁾、再資源化した際の効果が大きいものを対象とし、新築現場から排出された壁紙廃材(W)、タイルカーペット廃材(TC)および防水シート廃材(P)の再生塩ビ樹脂粉体を使用した。

また、再生塩ビ樹脂シートに配合するヴァージン原料(Vs)としてポリ塩化ビニル(PVC 重合度:1300)、可塑剤(DIDP:フタル酸ジイソデシル)および炭酸カルシウム(CaCO₃)を使用した。なお、幅広い組成割合での検討を行うため、ヴァージン原料の水準は組成割合の異なる3種類を用いた。表2にヴァージン原料および各廃材組成割合を示す。

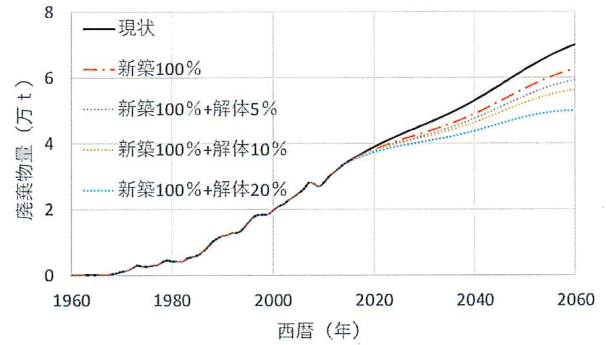


図8 リサイクル率向上による廃棄物量の推移

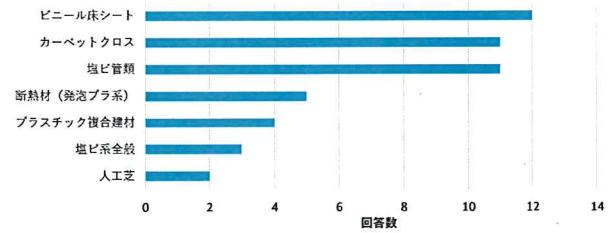


図9 プラスチック系建材における処理困難建材

表2 ヴァージン原料および各廃材組成割合

材料種類	組成割合(%)		
	PVC	DIDP	CaCO ₃
Vs-1	45	25	30
Vs-2	26	14	60
Vs-3	64	36	0
TC タイルカーペット	18	15	67
W 壁紙	36	20	44
P 防水シート	48	28	24

表3 再生塩ビ樹脂シートの組成割合

試験体水準	R率 (%)	組成割合(%)			
		PVC	DIDP	CaCO ₃	
2種配合	50	TC+W+Vs-1	36	21	43
		TC+W+Vs-2	27	16	58
		TC+W+Vs-3	46	27	28
	TC+W	100	27	18	56
	50	TC+P+Vs-1	39	23	38
		TC+P+Vs-2	30	18	53
		TC+P+Vs-3	49	29	23
	TC+P	100	33	22	46
	50	W+P+Vs-1	44	25	32
		W+P+Vs-2	34	19	47
W+P+Vs-3		53	30	17	
W+P	100	42	24	34	
3種配合	50	TC+W+P+Vs-1	40	23	38
		TC+W+P+Vs-2	30	18	53
		TC+W+P+Vs-3	49	29	23
	TC+W+P	100	34	21	45

4.1.2 再生塩ビ樹脂シートの作製方法

再生塩ビ樹脂シートは、ヴァージン原料と再生塩ビ粉体 2~3 種類を所定の配合で混合し、混合した塩ビ粉体を 160°C に設定したミキシングロールで練り、厚さ 5mm に成形することにより作製した。

4.1.3 試験体水準

再生塩ビ樹脂シートの配合は、廃材混入率を 50% または 100% とした。廃材 2 種の場合 $R_1 : R_2 = 1 : 1$ 、廃材 3 種の場合 $R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 1 : 1$ とし、計 16 水準で検討を行った。表 3 に再生塩ビ樹脂シートの組成割合を示す。なお、本研究で用いる試験体水準はヒアリング調査で得られた一般的な塩ビ樹脂製品の原料組成割合を参考にした。図 10 に一般的な塩化ビニル樹脂製品および本試験に用いる試験体水準の組成割合分布を、図 11 に再生塩ビ樹脂シートの組成割合算出方法を示す。

4.1.4 品質評価方法

塩ビ樹脂製品の主な劣化因子である熱、水および紫外線に対する耐久性を検討するため、 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ に調整した加熱恒温機による加熱劣化試験、サンシャインウェザーメーターによる促進劣化処理を行った。なお、加熱劣化処理は 168 時間を 1 サイクルとし、1, 3, 6 および 10 サイクル、促進劣化処理は 250 時間を 1 サイクルとし、1 および 2 サイクル行った。各種の劣化試験後、JIS A 6008 「合成高分子系ルーフィングシート」に準じ引張性能試験、JIS Z 8741 「鏡面光沢度測定法」に準じ光沢度測定および JIS Z 8722 「色の測定-反射および透過物色体」に準じ色差測定を行った。表 4 に塩化ビニル樹脂系均質シートの品質規格を示す。

4.2 実験結果および検討

図 12 に初期物性における引張強さおよび伸び率、図 13 に加熱劣化処理 168 時間後の引張強さおよび伸び率比（以下、品質保持率）、図 14 に促進劣化処理時間 250 時間後の品質保持率を示す。結果として、再生塩ビ樹脂シートの組成割合において、PVC の配合割合が大きい Vs-3 を用いた水準ほど引張強さが大きくなった。これは PVC の組成割合が大きいことにより、再生塩ビ樹脂シートが可塑性を失い、強固になったためと考えられる。

伸び率に関しては、再生塩ビ樹脂シートに可塑性をもたらす可塑剤の配合割合が小さい Vs-2 を用いた水準ほど低い結果となった。よって伸び率が JIS A 6008 に示す規格値を満たすためには更なる可塑剤の配合が必要となる。

廃材のみを用いて作製した再生塩ビ樹脂シートは、すべての水準において、ヴァージン原料を含む再生塩ビ樹脂シートに比べ、耐久性が落ちる結果となった。よって複数廃材を用いた再生塩ビ樹

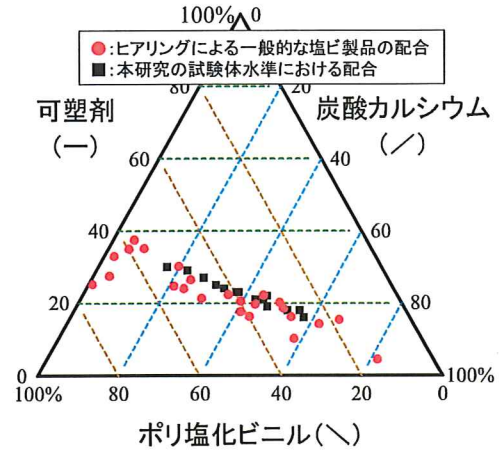


図 10 原料組成割合分布

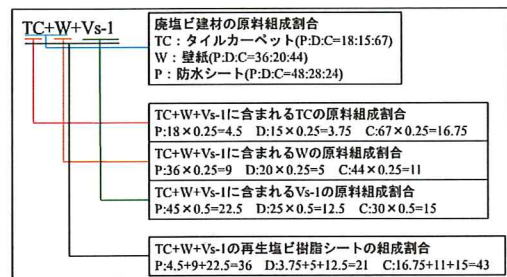


図 11 組成割合算出方法

表 4 塩化ビニル樹脂系均質シートの品質規格

試験項目	品質規格	
	機械的固定工法	その他
引張性能	引張強さ N/cm ²	1800
	伸び率 %	250
加熱処理 (168時間後)	引張強さ比 %	80
	伸び率比 %	70
促進劣化処理 (250時間後)	引張強さ比 %	80
	伸び率比 %	70

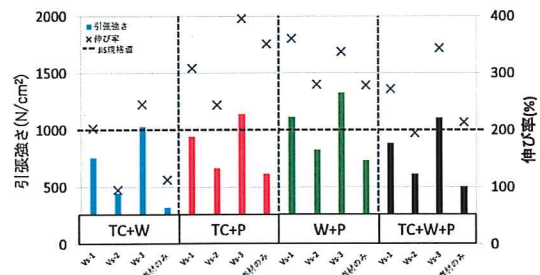


図 12 初期物性における引張強さおよび伸び率

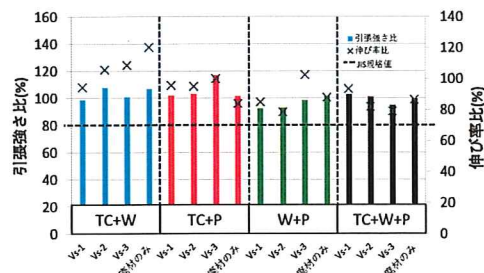


図 13 加熱劣化処理 168 時間後の品質保持率

脂シートを作製する際にはヴァージン原料を配合することが望まれる。

各種劣化後の再生塩ビ樹脂シートの品質保持率は概ね全水準で規格値を満たす結果となった。これは、廃材に添加される品質安定剤の影響により、熱による塩化水素の脱離が防がれ、劣化が抑制されたものと考えられる⁸⁾。よって再生塩ビ粉体は劣化に対して強い特性を持つと考えられる。

図15に加熱劣化時間と光沢度および色差の関係を示す。

光沢度は劣化時間の経過により、低下する傾向にあった。これは可塑剤が揮発し、PVCが劣化したためと考えられる。一方で、色差においては劣化処理による品質の低下がみられなかった。これは塩ビ建材に求められる意匠性を保持するために配合されたBa-Zn系安定剤の影響と考えられる⁹⁾。

5. 再生塩ビ樹脂シートにおける品質予測式

5.1 品質予測式

既報⁴⁾によってヴァージンシートの組成割合および機械的性質を重回帰分析することで、ヴァージンシートの組成割合から品質を予測するヴァージンシートの品質予測式(1)式が提案された。また、再生塩ビ樹脂シートにおいても廃材係数で補正する(2)式によって品質予測を可能にした。

(1) 式中の各定数を表5に示す。

本研究ではさらに、複数廃材における廃材係数を算出するために、単一廃材における廃材係数を加重平均する(3)式を用いて複数廃材を用いた再生塩ビ樹脂シートの品質予測式の検討を行った。なお、式中のXは廃材混入率(%)を示す。

■ヴァージンシートの品質予測式

$$Q_V(t) = A(t) + \alpha(t) \times P + \beta(t) \times D + \gamma(t) \times C \quad (1)式$$

$Q_V(t)$: ヴァージンシートの品質, A : 品質特性定数

$\alpha(t)$: PVC 定数, P : PVC 組成割合,

$\beta(t)$: 可塑剤定数, D : 可塑剤組成割合,

$\gamma(t)$: 炭酸カルシウム定数,

C : 炭酸カルシウム組成割合

■再生塩ビ樹脂シートの品質予測式

$$Q_R(t) = R_k(X) \times Q_V(t) \quad (2)式$$

$Q_R(t)$: 再生塩ビ樹脂シートの品質,

$R_k(X)$: 廃材 k の廃材係数

■複数廃材の廃材係数算出式

$$R_k(X) = \sum_{k=1}^n (X_k \times R_k(X)) \quad (3)式$$

$R_k(X)$: 複数廃材の廃材係数,

X_k : 廃材 k の混入率, $R_k(X)$: 廃材 k の廃材係数

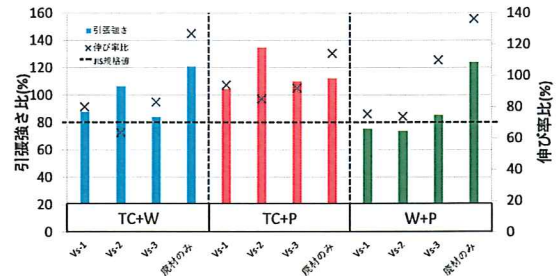


図14 促進劣化処理250時間後の品質保持率

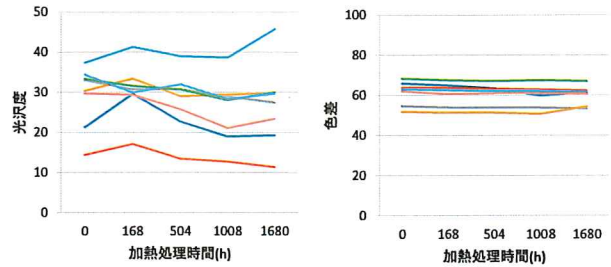


図15 加熱劣化処理と色差および光沢度の関係

(左: 光沢度 右: 色差)

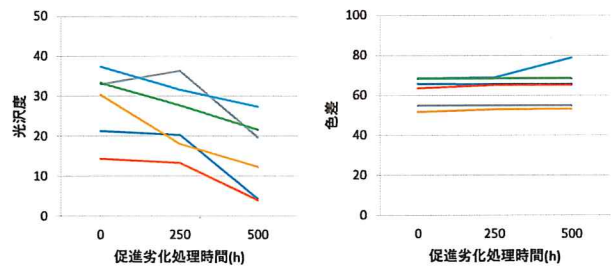


図16 促進劣化処理と色差および光沢度の関係

(左: 光沢度 右: 色差)

表5 引張強さにおける品質予測式の各定数

品質影響定数	引張強さ						
	加熱処理時間(h)					促進劣化処理時間(h)	
	0	168	504	1008	1680	250	500
A(t)	795.96	580.60	448.20	243.80	271.90	290.40	254.40
$\alpha(t)$	34.87	39.20	41.10	39.40	42.30	33.70	33.60
$\beta(t)$	-26.13	-33.90	-38.50	-43.80	-48.60	-33.90	-34.80
$\gamma(t)$	-8.74	-5.30	-2.60	4.40	6.30	0.30	1.20

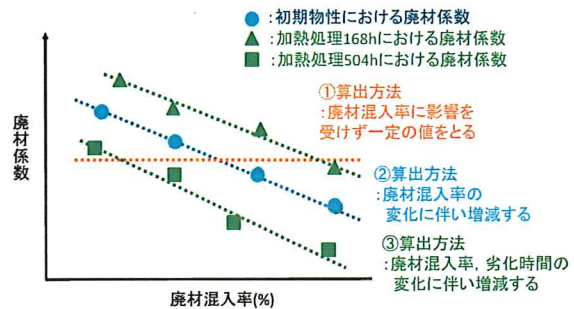


図17 廃材係数算出方法概要

5.2 廃材係数の算出方法

本研究では、単一廃材を用いた再生塩ビ樹脂シートにおける廃材係数を実験的に3通りの方法で算出し、予測値と実測値の関係について検討を行った。図17に廃材係数算出方法の概要を、表6に引張強さにおける廃材係数を、以下に廃材係数の各算出方法を示す。

- ① 廃材混入率に影響されない一定の値を算出する方法。
- ② 初期物性における廃材係数から近似式を算出し、廃材混入率より算出する方法。廃材混入率の変化に伴い廃材係数が変動する。
- ③ 各劣化処理時間の廃材係数から近似式を算出し、廃材混入率より算出する方法。廃材混入率および劣化処理時間の変化に伴い、廃材係数が変動する。

5.3 品質予測値の算出方法

上記の品質予測式および3.1に記す廃材係数を用いた品質予測値の算出方法の一例を以下に示す。

【条件】TC+W+Vs-1における $t=0$ 時の引張強さの予測値を算出。なお、算出方法は①を使用。

- 1) 上記の試験体水準の場合、TCを25%、Wを25%、Vs-1を50%配合し、計100%となる。
- 2) TC+W+Vs-1の組成割合は、各塩ビ樹脂粉体の組成割合を加重平均し、PVC：可塑剤：炭酸カルシウム=36：21：43となる。

3) (1)式にTC+W+Vs-1の組成割合を代入する。
 $Q_v = 795.96 + (34.87 \times 36) + (-26.13 \times 21) + (-8.74 \times 43)$
 $= 1126.7$

4) (3)式にTC+W+Vs-1の配合割合および廃材係数を代入する。

$R_k = (25\% \times R_{TC}) + (25\% \times R_W) + (50\% \times R_V)$
 $= (0.25 \times 0.69) + (0.25 \times 0.70) + (0.5 \times 1.0) = 0.85$

5) (2)式に手順3)4)より求めた Q_v および R_k を代入し、TC+W+Vs-1の引張強さ予測値(Q_R)を算出。

$Q_R = 1126.7 \times 0.85 = 954.9$ となる。

5.4 実験結果および検討

図18～図20に加熱劣化処理1680時間における各廃材係数算出方法を用いた引張強さにおける品質予測値と実測値の関係を示す。

全体を通して、算出方法③を用いた品質予測式の精度は高い結果となった。また、タイルカーペットおよび防水シートを混合した再生塩ビ樹脂シートの品質予測値は他水準の再生塩ビ樹脂シートに比べ精度が高い結果となった。しかし、全ての結果において、品質予測値に比べ実測値が低い値であり、算出方法①の場合には約-25%、算出方法②の場合には約-20%、算出方法③の場合には約-15%となった。よって品質予測式を実際に使用する場合にはあらかじめ約15～25%程度大きく耐久性

表6 引張強さにおける各廃材係数

算出方法	廃材種類				
	W	TC	TE	P	
①	0.70	0.69	0.70	0.92	
②	$-0.004x+0.88$	$-0.0039x+0.87$	$-0.0029x+0.83$	$0.0007x+0.88$	
③	加熱168h	$-0.0017x+0.84$	$-0.001x+0.79$	$-0.0024x+0.86$	$0.001x+0.94$
	加熱504h	$-0.0041x+0.91$	$-0.0041x+0.92$	$-0.0021x+0.93$	$0.0037x+0.84$
	加熱1008h	$-0.0027x+0.98$	$-0.0059x+1.07$	$-0.0018x+1.17$	$-0.0011x+1.27$
	加熱1680h	$-0.0049x+0.99$	$-0.0063x+0.97$	$-0.0004x+1.01$	$-0.0021x+1.24$
	促進250h	$-0.003x+1.16$	$-0.0012x+0.90$	$-0.0047x+1.32$	$-0.0044x+1.85$
	促進500h	$0.001x+1.05$	$-0.0015x+0.84$	$-0.0016x+1.14$	$-0.0009x+1.43$

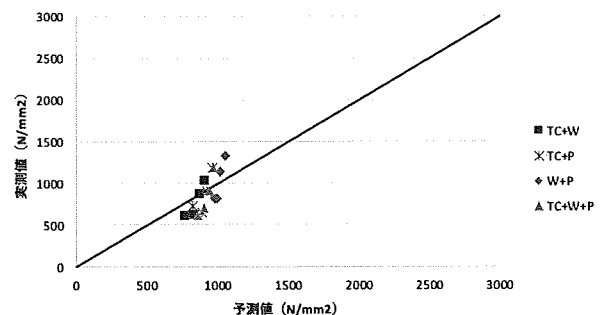


図18 廃材係数算出方法①を用いた品質予測値と実測値の関係

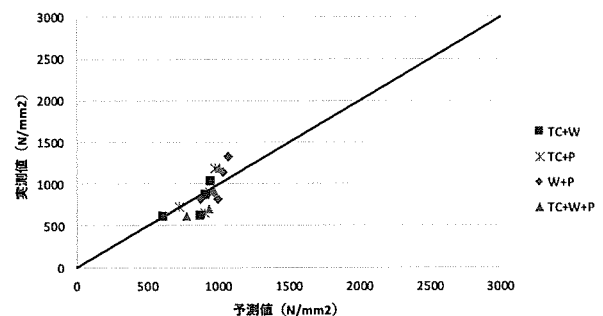


図19 廃材係数算出方法②を用いた品質予測値と実測値の関係

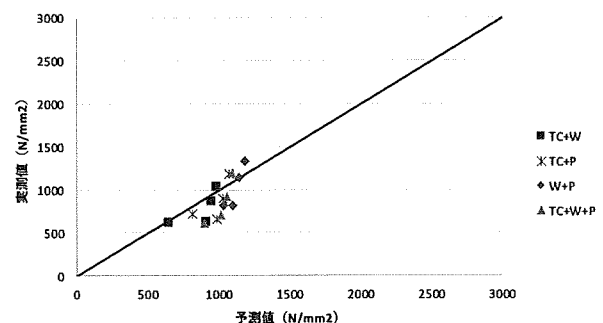


図20 廃材係数算出方法③を用いた品質予測値と実測値の関係

を見積り再生塩ビ樹脂シートの作製をする必要がある。しかし、算出方法①における品質予測値の算出は廃材係数が一定であるために算出が容易である長所を持つため、一概に算出方法③が最良であるとは言い難い。

なお、劣化時間が経過するに伴い品質予測式の精度が低くなる結果にもなった。今後、劣化時間経過による品質予測式の精度低下についての検討を行い、精度を高める必要がある。

6. まとめ

6.1 研究成果

本研究をまとめると大要以下のことがいえる。

- ・プラスチック系建材の廃棄物量は2020年～2030年頃に横ばいになるが、その後再び増加していくと予想される。
- ・ストック量は2060年に約1.8億tとなり、将来これらが排出される点に留意が必要である。
- ・今後、廃棄物量削減を目的としたリサイクル技術の開発が非常に重要となる。
- ・アンケート結果より、中間処理業者は、塩素濃度の高い塩化ビニル系樹脂建材のリサイクル技術を求めている。
- ・廃材のみを配合した水準の耐久性はヴァージン原料を配合した水準に比べ低いため、ヴァージン原料を配合することが望まれる。
- ・品質保持率は概ねJIS規格値を満たす。
- ・光沢度は劣化時間の経過に伴い低下する傾向にあるが、色差は劣化時間経過による影響はみられなかった。
- ・品質予測値にくらべ実測値が低い値となるため、算出する際にあらかじめ大きく耐久性を見積る必要がある。
- ・劣化時間の経過に伴い、品質予測式の精度が低下する傾向にある。

6.2 今後の課題

プラスチック建材の廃棄物排出量は増大することが予想されることから、削減のために、リサイクル技術開発に関する取り組みが求められる。

再生塩ビ樹脂シートについては長期耐久性の確保を目的とした実験を行うとともに、品質予測精度の向上によって、この種の建材の再資源化の技術を確立する必要がある。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、当研究室修了生の迫田翔太氏ほか学生諸氏に多大な協力を得ました。ここに厚く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：建築副産物実態調査について，2012
- 2) 一般社団法人プラスチック循環利用協会：プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況，2017
- 3) 小山明男，松村順也，西下孝夫，菊池雅史：廃プラスチック系床材の再資源化技術の開発，日本建築学会技術報告書，第22号，pp.43-48，2005.12
- 4) 小山明男，白井真彦：廃塩化ビニル樹脂建材の再資源化技術に関する実験的研究-その4 テント廃材を使用した再生塩ビ樹脂シートの長期耐久性-，日本建築学会学術講演会，2016
- 5) 一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会：建材・住宅設備要覧
- 6) 小見康夫ほか：長寿命化トレンドを考慮した建物依存率のシミュレーション，日本建築学会計画論文集，75(656)，p2459-2465，2010年10月
- 7) 塩ビ工業・環境協会：資料室，統計集，塩化ビニル樹脂，http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_1.html，2019.04.18 参照
- 8) 塩ビ工業・環境協会：塩ビファクトブック，2004
- 9) 一般社団法人プラスチック循環利用協会：プラスチックリサイクル基礎知識，2018

平成30年度公益社団法人全国解体工事事業団体連合会
解体工事に係る研究発表会

解体工事における建造物の安全性に関する実験・解析

2019年8月2日

青木孝義¹⁾、張景耀²⁾、湯浅昇³⁾、佐藤大輔⁴⁾、川瀬みなみ⁴⁾

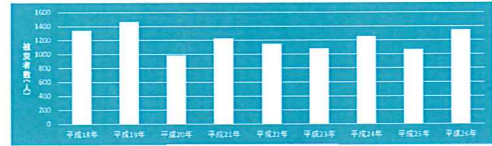
1) 建築構造技術研究所(名古屋市立大学)

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

4) 株式会社コンステック 研究開発本部 診断技術部

研究背景



■ 解体事業の需要増加 ■ 減少傾向にない労災件数 ■ 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。

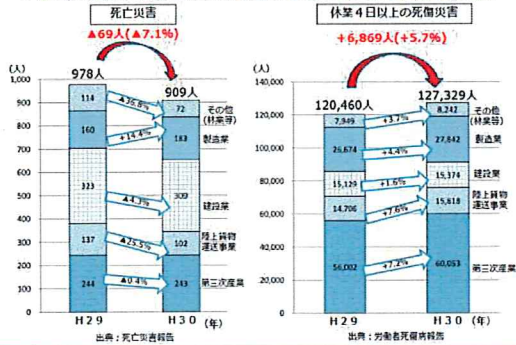
解体工事における事故の背景には、経験に任せられた解体工事計画作業手順の判断が行われ工学的な根拠がないこと、経費と作業効率を優先した無理な作業工程が実施されていることなどが挙げられる。

随上解体工事における床版サポート配置計画のフローチャート作成・略図式の提案などがされているが略算式は設定が多く、実際の解体工事では誤差が大きいことも指摘されているため、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。

研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 2

研究背景(平成30年度労働災害発生状況 厚生労働省HP)

※平成30年1月1日から12月31日までに発生した労働災害について、4月8日までに報告があったものを集計したもの



研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 3

研究背景(建設業における事故の型別 厚生労働省HP)

	H26	H27	H28	H29	H30
死亡災害	377	327	294	323	309
災害・転落	148	128	134	135	136
交通事故(運送)	45	28	29	50	31
はさまれ・巻き込まれ	38	34	19	28	30
飛来・落下	18	25	15	19	24
踏破・倒壊	26	29	27	26	23
衝突され	26	29	22	23	18
死傷災害	17,184	15,584	15,968	15,129	15,374
災害・転落	5,941	5,217	5,184	5,153	5,154
はさまれ・巻き込まれ	1,892	1,731	1,683	1,650	1,731
転倒	1,795	1,846	1,312	1,373	1,616
飛来・落下	1,633	1,545	1,457	1,478	1,432
押し・こすれ	1,468	1,409	1,422	1,312	1,267
衝突され	850	843	734	734	832
高温・低温物との接触	237	210	208	210	240

研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 4

これまでの研究

解体工事における建造物の安全性に関して

- ・日本大学生産工学部5号館(RC造)の地上解体工事に関連して振動特性の変化
- ・名古屋市立大学薬学部校舎(RC造)の地上解体における建造物の振動特性
- ・名古屋市立大学芸術工学部体育館(S造)の地上解体における建造物の軸力の変化と振動特性
- ・RC造の随上解体における床板サポート(サポートの軸力の変化)
- ・RC造建物の随上解体(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。

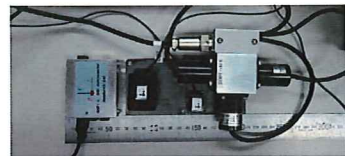
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 5

平成30年度の研究

- ・野島埼灯台霧信号舎の解体工事(RC壁の引き倒し実験)



- ・解体工事における安全性確認のための加速度計開発(選択)



研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 6

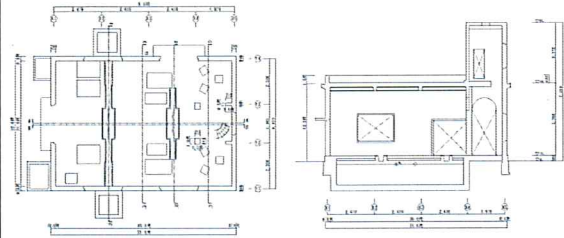
建物概要

野島埼灯台霧信号舎
千葉県南房総市白浜町
大正13 (1924) 10月17日
～大正14 (1925) 8月31日
大正14 (1925) 供用開始



研究背景 研究目的 **建物概要** 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 7

建物概要



平面図

断面図

研究背景 研究目的 **建物概要** 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 8

解体状況



(a) 2018/11/30

(b) 2018/12/1

(c) 2018/12/4



(a) 2018/12/18

(b) 2018/12/22

(c) 2019/2/15

研究背景 研究目的 建物概要 **解体状況** 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 9

RC壁の引き倒し実験



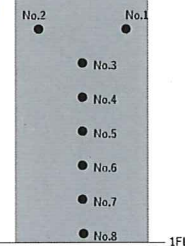
(a) X5通り構面の壁

(b) バックホウ側より(Y1-Y2)



(c) 変位計側より(Y3-Y4)

測定項目
・荷重
・変位



(d) 変位計設置位置図 (引き倒し側) 1FL

研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 **実験結果** FEM解析 加速度計 まとめ 10

RC壁の引き倒し実験(Y3-Y4間壁)

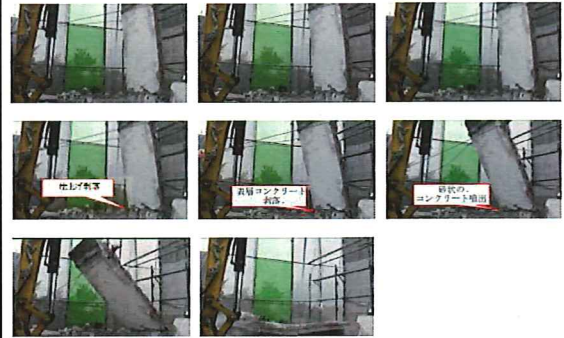


(a) 1回目のブレーカー後

(b) 2回目のブレーカー後

研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 **実験結果** FEM解析 加速度計 まとめ 11

RC壁の引き倒し実験(Y3-Y4間壁の倒壊時の様子)

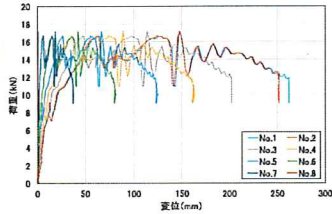


研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 **実験結果** FEM解析 加速度計 まとめ 12

RC壁の引き倒し実験(Y1-Y2間壁)



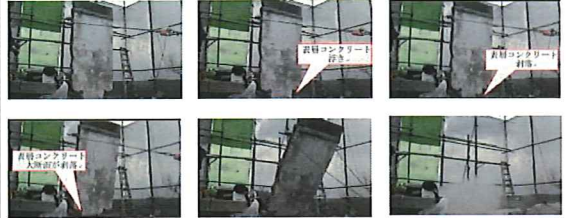
(a) Y1-Y2間壁脚部の状況



(b) 荷重-変位曲線

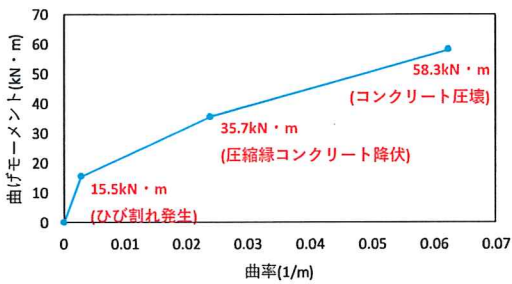
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 13

RC壁の引き倒し実験(Y1-Y2間壁の倒壊時の様子)



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

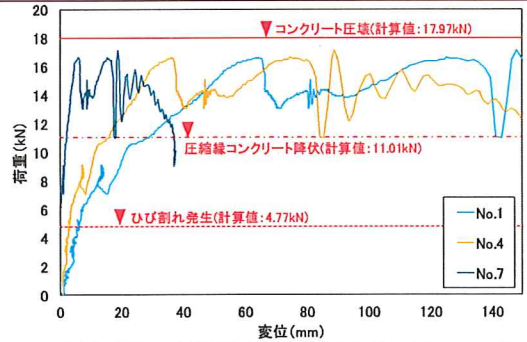
RC壁の引き倒し実験(Y1-Y2間壁 曲げモーメント-曲率関係)



Y1-Y2間壁の曲げモーメント-曲率関係(計算値)

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

RC壁の引き倒し実験(Y1-Y2間壁 計算による引張荷重と試験結果)



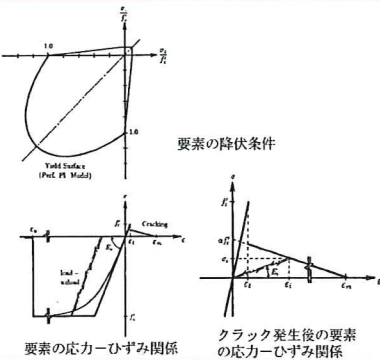
Y1-Y2間壁の計算による引張荷重と試験結果(変位計No.1, No.4, No.7)

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

有限要素解析



解析モデル



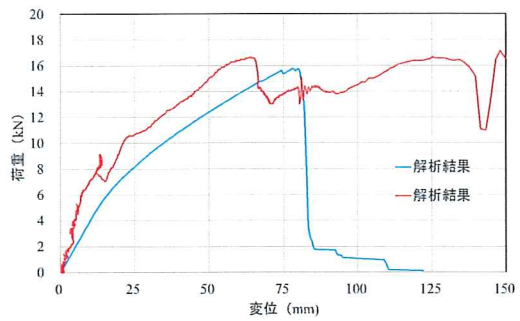
要素の降伏条件

要素の応力-ひずみ関係

クラック発生後の要素の応力-ひずみ関係

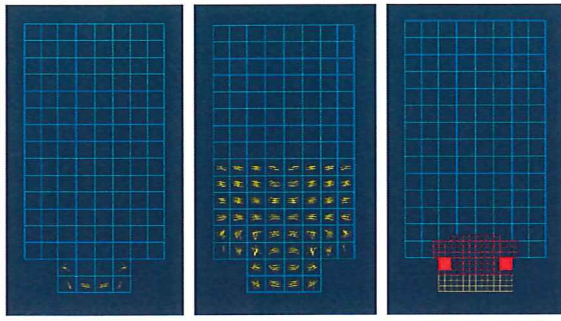
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 17

有限要素解析(荷重-変位曲線)



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

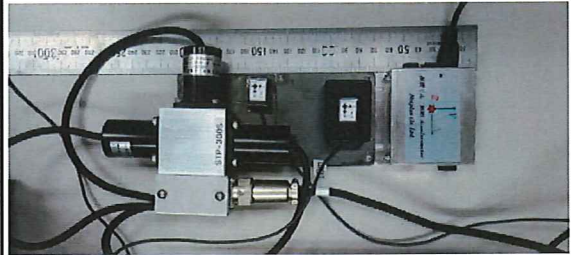
有限要素解析(コンクリート亀裂と鉄筋の降伏・座屈の発生過程)



■:コンクリートひび割れ
■:鉄筋の降伏・座屈

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

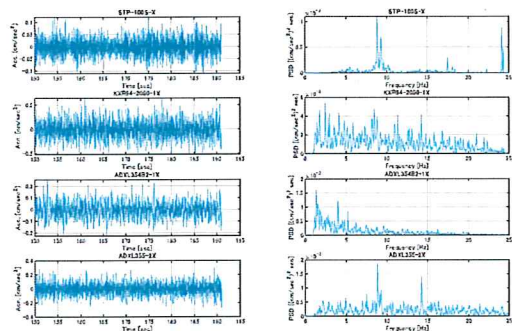
加速度センサー(テーブル上)



サーボ型	MEMS	MEMS	MEMS
STP-100S	KXR94	ADXL354	ADXL355
約27万円	約3千円	約9千円	約3.8万円

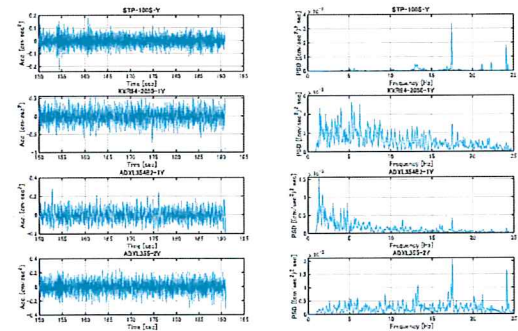
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ20

加速度センサー(0.1gal程度)



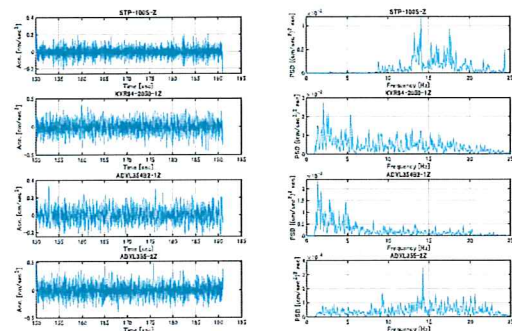
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ21

加速度センサー(0.1gal程度)



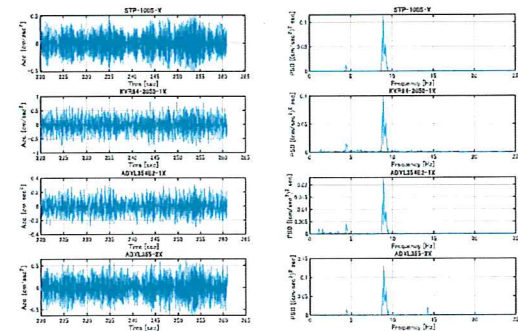
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ22

加速度センサー(0.1gal程度)



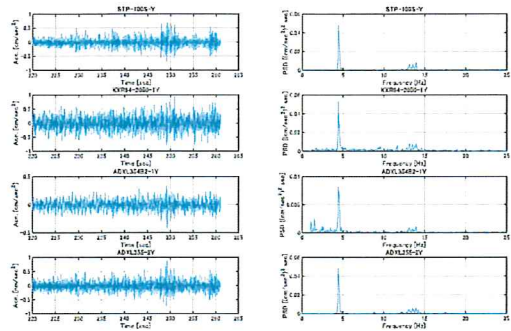
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ23

加速度センサー(0.3gal程度)



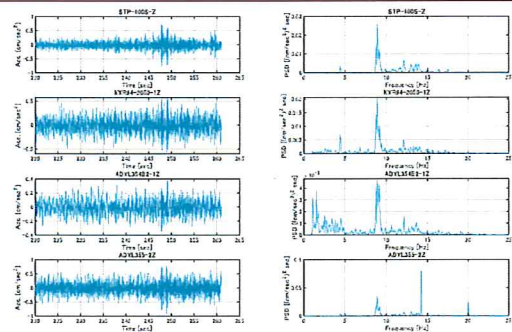
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ24

加速度センサー(0.3gal程度)



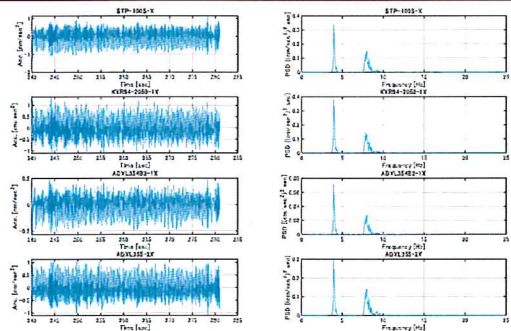
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ25

加速度センサー(0.3gal程度)



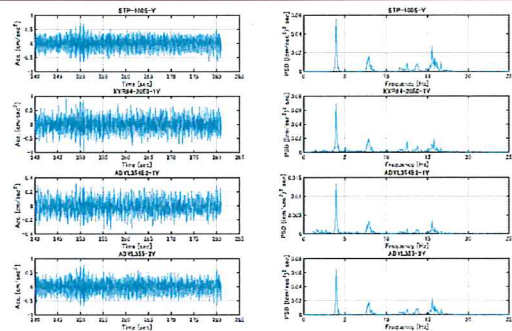
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ16

加速度センサー(0.5gal程度)



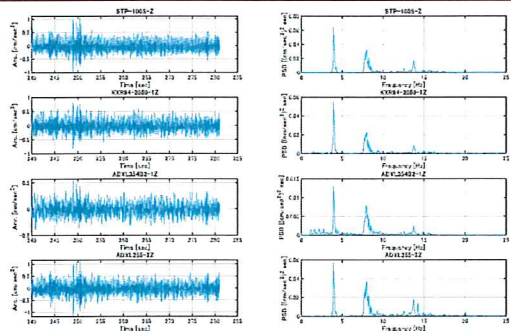
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ27

加速度センサー(0.5gal程度)



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

加速度センサー(0.5gal程度)



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

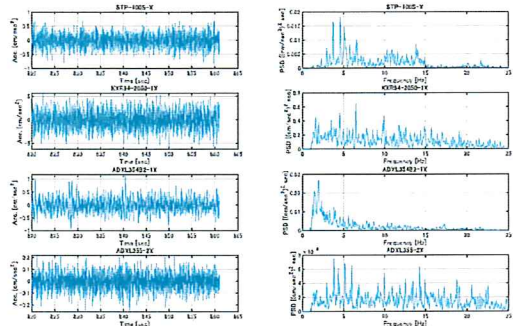
加速度センサー(床置き)



MEMS ADXL355 約3.8万円	MEMS KXR94 約3千円	サーボ型 STP-100S 約27万円	MEMS ADXL354 約9千円
---------------------------	-----------------------	---------------------------	-------------------------

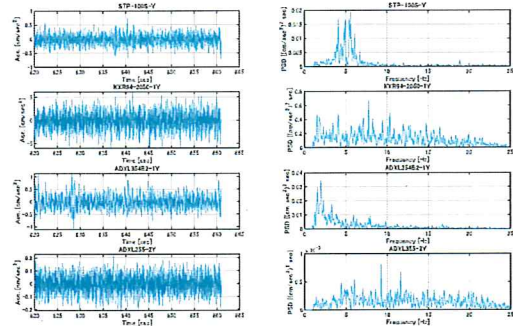
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ30

加速度センサー(常時微動)



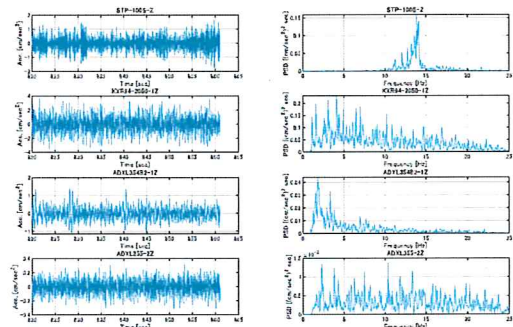
研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 31

加速度センサー(常時微動)



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

加速度センサー(常時微動)



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

まとめ

野島崎灯台霧信号舎の解体工事 (RC壁の引き倒し実験)

- 大正13(1924)10月17日から大正14(1925)8月31日に建設された野島崎灯台霧信号舎の解体工事に伴う実験を実施した。
- コンクリートの圧縮強度は13.1MPa、ヤング係数は4.41MPaであった。鉄筋はφ13(引張強度381MPa)、φ16(469MPa)、φ19(697MPa)であった。
- 壁の引き倒し実験による最大荷重と有限要素解析の結果は、ほぼ等しい値となった。

解体工事における安全性確認のための加速度計開発(選択)

- サーボ型加速度計とMEMS加速度計の性能比較を行った。
- 解体工事に発生する振動は数ガル程度はあることから、建物の安全性を確認するために使用する加速度計は、安価なMEMS加速度計でも大丈夫と考えられる。
- 常時微動については、更なる検討が必要である。

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

今後の予定

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

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



中日ビル

<http://www.chunichi-bldg.co.jp/>



名古屋城

<http://www.nagoya.city.nagoya.jp/tenshukaku/index.html>

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

謝辞

本研究の実施にあたっては、

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

実験の実施にあたっては、

- 協和建設工業株式会社
- 株式会社コンステック

の協力を得ました。

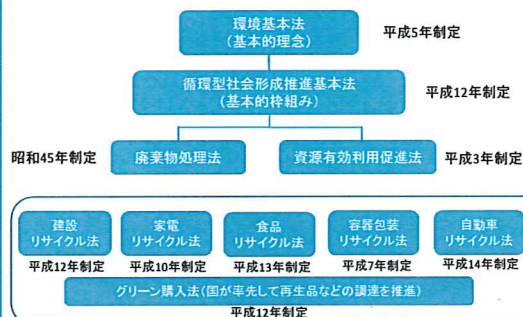
ここに記して感謝申し上げます。

研究背景 研究目的 建物概要 解体状況 測定計画 実験結果 FEM解析 加速度計 まとめ 36

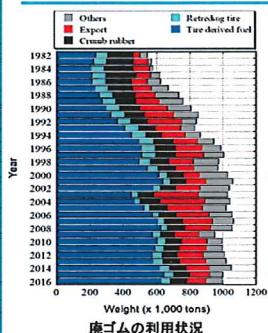
廃ゴムチップの再資源化に関する研究 —ゴムチップ混入モルタルの衝撃緩衝特性—

防衛大学校 藤掛一典

持続的発展を目指した循環型社会 形成のための階層的な法体系



廃ゴムのリサイクル状況



- 2016年度では、廃ゴムのリサイクル率は80%以上に達している。
- その80%は燃料利用等のサーマルリサイクルが主である。

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ゴムのリサイクルが求められる。

廃ゴムのリサイクル事例

人工芝充填材



アスファルト混合物



- 廃ゴムのリサイクル事例は、人工芝の充填材やアスファルト舗装等への適用のみであり、サーマルリサイクルに代わる新たな適用事例の開発が望まれている。

衝撃・爆発荷重を受ける構造物



大型車両の衝突によるI-40 踏道橋の破壊, 2003.5.



船舶の衝突によるSunshine Skyway Bridgeの大破, 1980.5.



航空機衝突によるベトナムの大破, 2001.9.



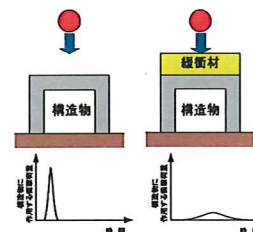
落石により大破した鐘前峠の落石防護構造物, 1989.7.



爆破テロにより大破したオクラホマ運河ビル, 1995.4.

衝撃・爆発荷重は、構造物にとっては非常に過酷な荷重状態であり、構造物のみでそれらに耐えるように設計するのは非常に困難な場合もある。

衝撃荷重から構造物を守るための緩衝材



- 緩衝材
ゴムチップ+モルタル = ゴムチップモルタル
望まれる緩衝効果

- ✓低減荷重が小さい
- ✓非常に大きなエネルギー吸収能力

研究の目的

粒径1~2mmのゴムチップ



・原形加工利用の一つの手法として、細骨材としてモルタルに練り混ぜることで衝撃緩衝材としての活用を検討

・まずはゴムチップ混入モルタルの静的および衝撃特性を調べる。

- 1) 静的圧縮荷重試験
- 2) 衝撃圧縮荷重試験
- 3) 衝撃緩衝効果試験

実験の概要

配合設計

混入率 (%)	水 (kg)	セメント (kg)	砂 (kg)	ゴムチップ (kg)
0	275	500	1391	0
5	275	500	1321	27
10	275	500	1252	55
20	275	500	1113	109
40	275	500	834	218
80	275	500	278	436
100	275	500	0	545

- ・水セメント比は55%
- ・セメントには普通ポルトランドセメント (密度3.15g/cm³)
- ・細骨材には山砂 (密度2.50g/cm³)
- ・ゴムチップ (密度0.98g/cm³)

静的荷重試験



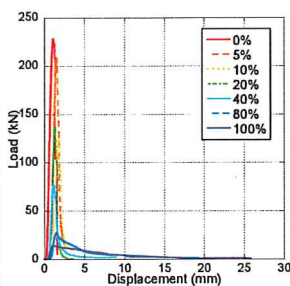
衝撃荷重試験



- ・重錘 400kg
- ・落下高さ 300mm
- ・重錘に取り付けた加速度計、レーザー式変位計及び試験体下端に設置したロードセルで荷重変位関係を測定
- ・高速ビデオカメラで破壊の進展を観察

実験結果 静的荷重試験

静的荷重試験 荷重変位関係



ゴムチップ混入率

小 (0%) → 大 (100%)

最大伝達荷重

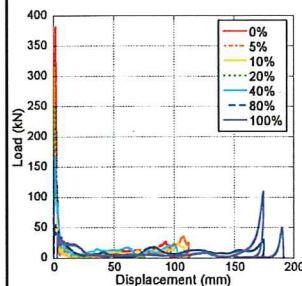
大 (0%) → 小 (100%)

変形性能

小 (0%) → 大 (100%)

実験結果 衝撃荷重試験

衝撃荷重試験 荷重変位関係



ゴムチップ混入率

小 (0%) → 大 (100%)

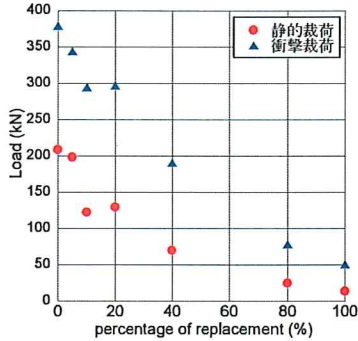
最大伝達荷重

大 (0%) → 小 (100%)

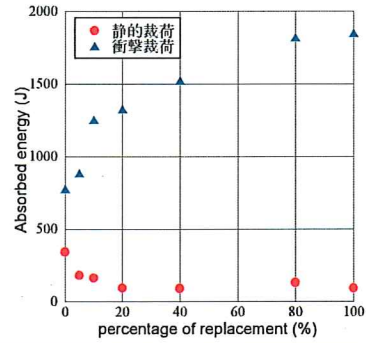
変形性能

小 (0%) → 大 (100%)

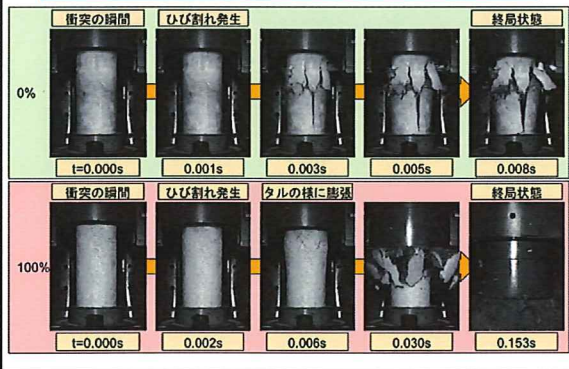
ゴムチップ混入率と最大伝達荷重の関係



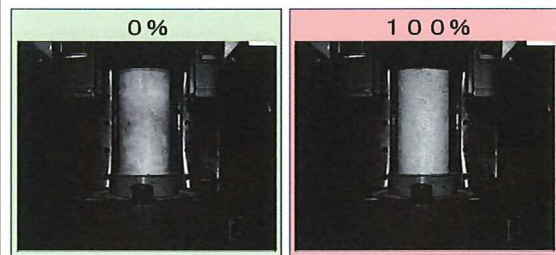
ゴムチップ混入率と吸収エネルギーの関係



破壊の進展



破壊の進展

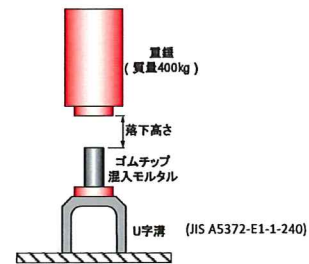


- ・ゴムチップ混入率が上がると作用時間及び破壊領域が増大
- ・ゴムチップ混入率の高い試験体は全体がクラッシュするように破壊が進展する。

考察

- ・ゴムチップ混入率の小さい（固い）試験体では、ひび割れの進展が極めて速く、一度ひび割れると大きく破壊し、破壊が短時間で終わってしまう。
- ・ゴムチップ混入率の大きな（柔らかい）試験体では、ひび割れの進展が遅く、微小な破壊が連続的・継続的に進行していくことで、破壊が段階的になりエネルギーを吸収することができる。
- ・破壊領域が増大することにより、緩衝材としての効果を発揮できる。

衝撃緩衝効果試験



衝撃緩衝効果試験の結果

落下高さ (mm)	ゴムチップの混入率						
	0%	5%	10%	20%	40%	80%	100%
300	x	x	▲	△	○	○	○
400	/	▲	▲	/	○	○	○

凡例
 ○: 損傷なし
 △: 軽微な損傷(ひび割れ幅0.3mm程度)
 ▲: 重大な損傷(ひび割れ幅1mm以上)
 x: 崩壊



結論

- ゴムチップ混入率が上がると伝達荷重は小さくなる。
- ゴムチップ混入率が上がると破壊の進展状況が変わるため、吸収エネルギーが増大する。
- ゴムチップ混入率40%以上の試験体で優れた緩衝効果を確認できた。

解体対象建物における仕上材下のコンクリート強度調査方法の検討

令和元年8月2日

日本大学生産工学部
湯浅 昇

建物の解体に対する耐力を調べる

対象建築物を安全に解体する上で、その建物の健全性を確認することは重要である。

建物の安全な解体に当たっては、設計図面に添ったコンクリート強度、配筋状況であるかを確認し、解体を進める上で考慮を要する劣化が生じているか、生じている劣化はどのような意味でどの程度解体上問題となるかを明解にしておきたいものである。

解体時の建物の特徴(解体上有利な点)

- 構造計算上、平時では想定荷重(自重含む)の3倍まで保つ設計(圧縮強度の1/3) → 解体時に地震を受けないのなら構造上の余裕(地震時で圧縮強度の2/3まで許容)
- 構造設計時に考慮されていた人・物品の荷重が除かれている → 構造上の余裕
- 一般的な上階からの解体では、解体が進むにつれて下層階にかかる荷重が劇的に減少する → 構造上の余裕(下層の柱はその上の階となる建物の荷重(自重)を背負っている)
- 実際に使われている材料、実際の構造を先行して壊していくことにより理解できる → 不確定要素を解消しやすい

解体時の建物の特徴(解体上不利な点)

- 構造設計図書等がない場合 → 構造上の不安
- 設計通りの材料が使われ、設計通りの施工(配筋含め)が行われなかったか定かでない → 構造上の不安
- 竣工時と異なりコンクリート・鉄筋といった構造材料、タイル等の仕上材料が経年劣化(ひびわれ、膨張、剥落、鉄筋腐食、変質)している可能性がある → 構造上・作業安全上の不安
- 解体までに受けた外力(地震、繰り返し荷重、火災等)がある場合、残存強度が低下している可能性がある → 構造上の不安

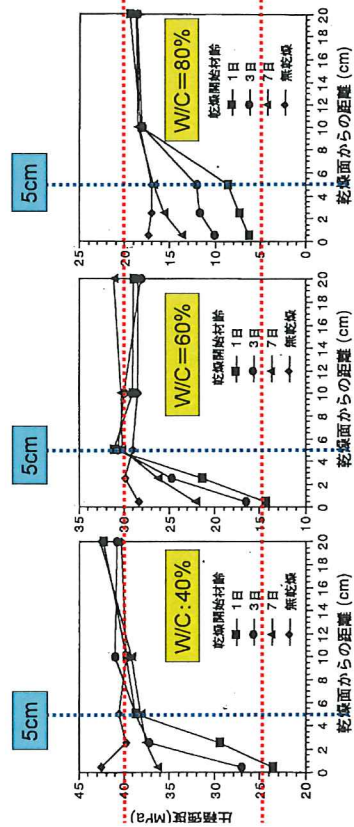
解体のために建物の耐力を期待する場合 (階上解体はまさしく。。。)

使用しなくなつてから期間、使用実態を考慮しながら、目視で変状をチェック
(目視試験は**非破壊試験**の原点)

- たわみなど部材の変形
- 鉄筋腐食の兆候
- コンクリートのひびわれ

↓
変状のメカニズム(なぜそうなったか)を
検討・理解することが大事

コンクリートの表面は内部よりも強度が低い ・・・解体では5cmよりも奥の強度把握が重要



乾燥を受けたコンクリートの圧縮強度分布
(材齢28日)

解体時の品質試験と 維持保全のための調査(品質試験)

解体工事のために必要な品質とは、
基本的に工事中にもつかもたないか
(コンクリート強度が十分か、

鉄筋が効くか(腐食状態、強度、本数、配置))

工事中の**不意な部材(コンクリート、タイルなどの剥落危険性評価は重要)**

維持保全のための調査では、
地震を受けても耐えられるか(耐震性=構造強度)。
またその状態をどのくらいの間維持できそつであ
るか(劣化抵抗性...透気性など)

表 調査・試験の簡易性

調査現場から離れた持ち帰りデータ・試料の処理・分析	調査現場	調査現場に行く使用する道具・装置
<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・数が少ない ・入しやすい(どこでも手に入る) ・安い ・機能が複雑でない ・操作が簡単 ・段取り数が少ない ・セッティング・撤去に時間がかからない ・セッティング・撤去に簡単である ・セッティング・撤去に経費がかからない ・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 ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験・操作

表 構造体コンクリートの強度に関する試験方法の種類と特徴(湯浅)

試験方法の種類		測定概要	長所	短所	備考
直接法	JIS法	コアを切り出し、コアを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	<ul style="list-style-type: none"> ・柱・梁にはほとんどの場合適用できない ・直径の2倍の高さでコアを入手できないことがほとんどであり、補正を要する ・切断した骨材とペーストとの付着破壊が懸念される 	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A 1107, JIS A 1108で規格されている ・多くの場合、φ100mmコアが使われる ・測定された値は最も信頼性が高く、評価できるものと扱われることが多い
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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倍の高さが確保しやすい ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	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
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・小径コアを供試体にてできる ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・コア径、骨材種類に影響を受ける 	・P.J.Robinsの提案による方法である
	特殊矩形型枠を利用した方法	コンクリートの打設に先立ち、□100mm×長さ200mmの矩形型枠を設置し、構造体コンクリートと一体に充填された矩形型枠内のコンクリートを割取り、これを直接強度試験に供する	<ul style="list-style-type: none"> ・直接強度を評価できる方法である ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・コア採取と同様の信頼性がある ・採取、及び採取後の補修が極めて容易である ・特殊矩形型枠によって採取した供試体は、構造体と同品質のものとして、強度以外の耐久性試験など利用が可能である 	<ul style="list-style-type: none"> 直径10cm高さ20cmの円柱供試体を基準と考えると、形状補正を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・白山・戸田建設が中心となって開発した試験方法である。当初、供試体の成形精度が推定精度に及ばず影響が大きく課題であったが、近年、型枠の改良により成型精度が向上した ・NDIS3424として規格化されている
打撃法	反発度法	コンクリート表面を打撃し、反発硬度を測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・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の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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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)型の他、P型(製造終了)、新たにSilver型がある
	エコーチップ法	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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り手を付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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定面が必要なため仕上を取り除く必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本非破壊検査協会により、NDIS3434-3"コンクリートの非破壊試験-打撃試験方法-第3部:器械インピーダンス試験方法"として、現在制定作業中である ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する 	<ul style="list-style-type: none"> ・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

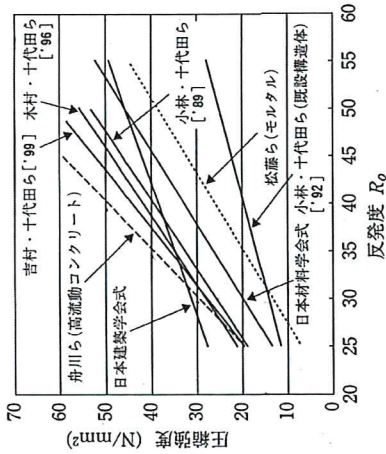
弾性波法	超音波法	コンクリートの超音波伝搬時間を測定し、コンクリートの音速を求める	<ul style="list-style-type: none"> ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・同一箇所に繰り返し適用できる ・大きな振動エネルギーと受信周波数の選定により、良好な測定が可能である ・コアもしくは2つのコア間の音速により深さ方向の分布を測定できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料・調合・材齢の影響を受ける他、表面の状態、含水率、ひび割れや内部空隙の有無、鉄筋量、配置などの影響を受ける ・使用周波数を高くすると指向性は高くなるが、音波の減衰は大きくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・NDIS 2426-1“コンクリート構造物の弾性波による試験方法-第1部:超音波法”に規定されている ・(独)土木研究所では同一平面に探触子を走査させ深さ方向の音速分布を把握し圧縮強度分布を評価している(表面走査法) 	
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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ら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鳴振動数を測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・供試体の形状、寸法に制約がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	
擦傷法	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け、その時の傷幅をクランクスケールで測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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ものではない。 ・高い強度(30N/mm²以上)域での推定は困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本建築工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の強度評価が可能であり、有効であると報告している。 	
	コア法	コンクリートコアの切削効率を測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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診断に適用している 	
貫入抵抗法	切削抵抗法	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピットの形状、切れ味の影響が大きい ・骨材の影響が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ・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塗上である
	ウインザープローブ法	コンクリートに銃でプローブを打込み貫入深さを測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・測定が比較的容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・プローブはガスで溶断するか、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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	
貫入抵抗法	ウインザーピン法	ウインザーピン(φ3.6×30.5mm)をパネでコンクリートに貫入させ、その貫入深さを測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・ウインザープローブ法と異なり火薬を使用しない ・測定が比較的容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・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不利である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ASTM C803でウインザープローブ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 	
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・(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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・深さ方向の強度分布が測定できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・コアを抜き取る必要がある ・端子が骨材に当たる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 	<ul style="list-style-type: none"> ・川崎地質が考案した方法である 	

引き抜き法	ピン引き抜き法	ピン埋め込み法	予めコンクリート埋め込んだピンの引き抜き耐力を測定する	・若材齢コンクリート、低強度コンクリートに適する	・予めインサートをコンクリートに埋め込む必要がある ・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	・ASTM C900に規定がある ・LOK試験がある ・京大、八戸高専での広範な実験検討実績がある
		ピン後付法	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	・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	正方形の銅板をコンクリート表面に貼り付け、銅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	・コンクリートと銅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	・プ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
曲げ折り法	コア曲げ折り法	(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	・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	
ねじり破壊法	埋め込み式ねじりせん断破壊法	刃型の特殊な棒を埋め込みコンクリートのねじりせん断破壊耐力を測定する	・初期材齢における強度管理に適する	・コンクリート打設前に準備が必要である ・骨材の混和材の影響を受ける ・試験後に補修が必要	Stollによって提案された方法である	
細孔構造法	水銀圧入法	水銀圧入法によりコンクリートの単位ペースト当たりの細孔構造の指標を測定する	・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(1~2mm程度)ごとに評価が可能である	・高価な水銀圧入装置が必要である ・試料の作製、測定に時間と手間を要する	・多孔材料全般に考えられていた概念を北大がコンクリートの基本物性から検討し提案した方法である ・日大は北大の提案を受け、有効細孔量のみから推定する簡易な方法を提案し、深さ方向の推定強度分布を示している	
	吸水法	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	・水銀圧入法(日大法)をもとに測定方法を簡便にしたもの	
温度管理法	積算温度法	コンクリート打設後の強度発現を推定する方法で、構造体コンクリートの温度を測定し、温度と時間の積を求め	・初期材齢の温度管理に適する ・気温の低い場合、高温蒸気養生などを行う場合等での適用が期待される	・水セメント比が計画通りであることが大前提である ・精度のよい積算温度と圧縮強度の関係が得られていることが前提である ・測定した温度が構造体コンクリートの温度を代表できていることが前提である	・日本では北大が整備展開した°DD式、日大が整備展開したT°T式がある ・温度の測定には、温度計の他熱電対が利用され自動記録して利用されている ・積算温度を測定できるGOMAメーターが市販されている ・°DD式では、初期温度補正項の導入により初期コンクリートでの精度が改善された	
	温度履歴追従供試体法	コンクリート打設後の強度発現を評価する方法で、構造体コンクリートの実測温度に基づき、管理用供試体の養生温度を自動的に再現し、その試験体の強度を測定する	・実際の調合等の情報がなくとも打設したコンクリートを使って供試体が作製されていれば適用できる ・初期材齢の温度管理に適する ・気温の低い場合、高温蒸気養生などを行う場合等での適用が期待される	・測定した温度が構造体コンクリートの温度を代表できていることが前提である	・北大、清水建設の研究及び実施の例がある	



非破壊試験で一番有名ポピュラーな
リバウンドハンマーは、

そもそもモルタル・タイル・塗膜等
リバウンドハンマーでは内部の強度が把握できない＝影響範囲はせいぜい2cm
⇒ 躯体時利用には不向き



リバウンドハンマー反発度と圧縮強度との
相関、関係式

小径コアによる圧縮強度試験



ただしコア採取後現場で
そのまま圧縮試験を行うことは難しい
＝結果が出るまで時間がかかる。お金がかかる。

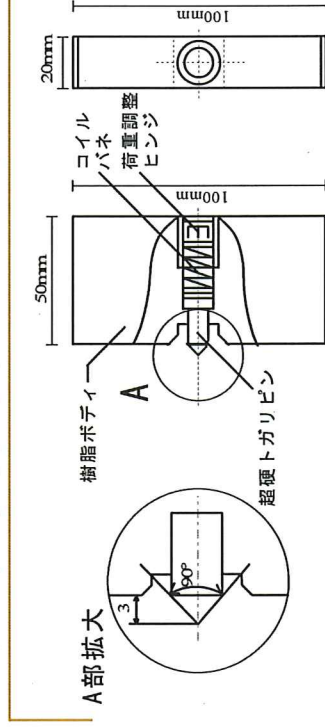
小径コア法の利点



写真-1 コンクリートコアマシンによる
φ50mmコア採取状況

- 微破壊性
傷が小さい。修復簡単。
- 簡易性
コア採取時：設置が簡単。早い。
- 安価
微破壊性と簡易性からもたらされる。

コンクリートの表面の引っかき傷幅から推定
ただし、内部の強度の把握は??それは...



引っかき試験器＝極めて安価

日本建築士学会試験器(床硬さ尺度)
→ 日大(圧縮強度推定の仕組み)
→ 阪大鈴木・構造総研(コア側面適用)

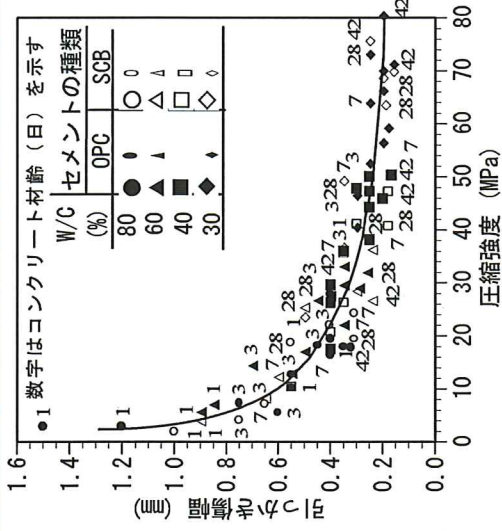
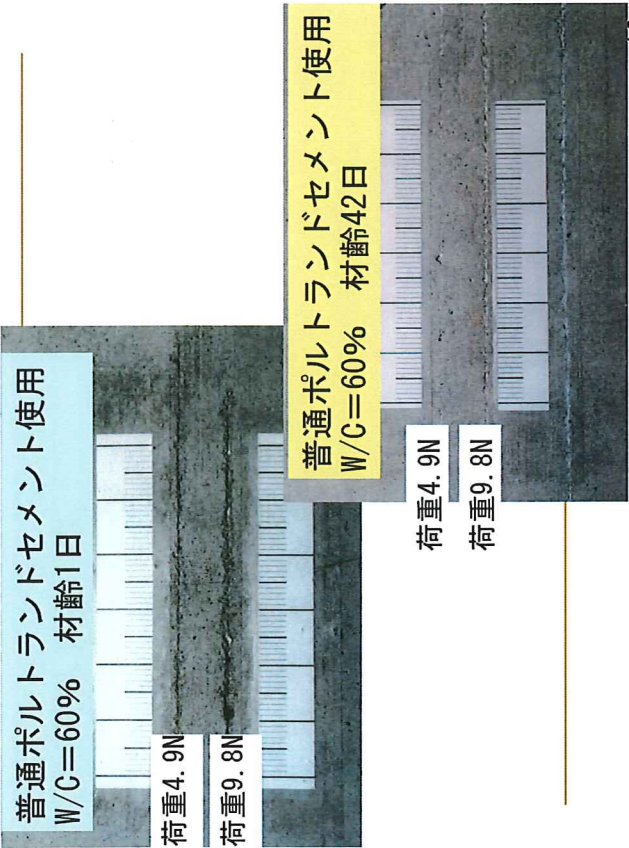


図 圧縮強度引っかけ傷幅の関係の違い



コア側面を引っかけば、その傷幅から現場で即内部圧縮強度を把握できる

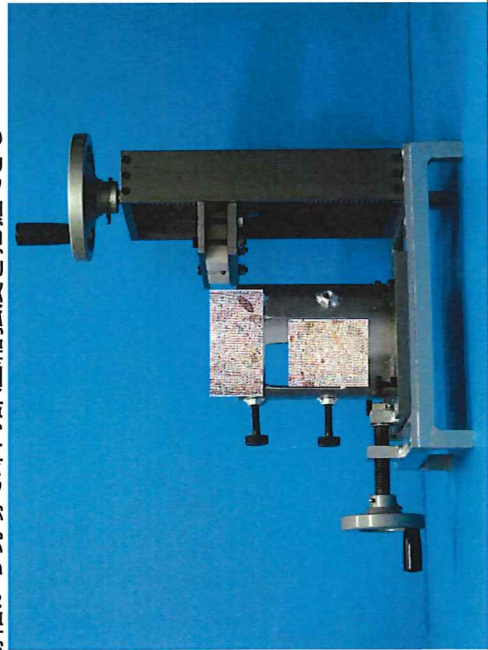


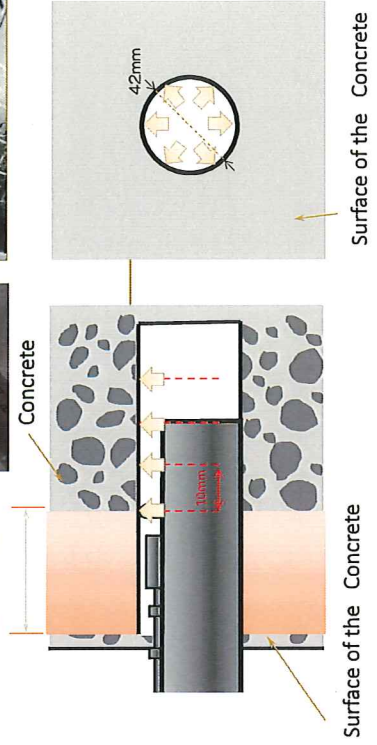
写真 コア側面に適用する引っかけ試験装置(構造総研)

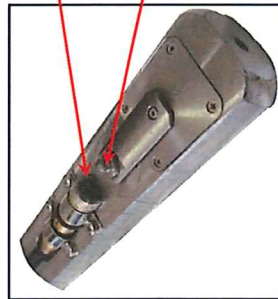
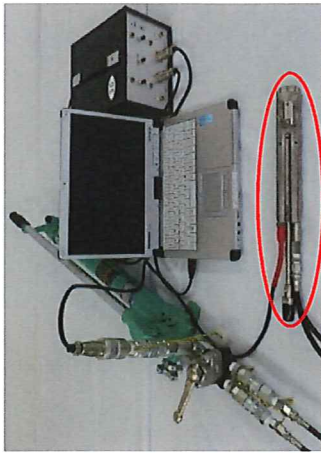
孔内局部載荷試験：

これまで困難だったコンクリート表面から劣化が進行した構造物における『劣化深さ』『コンクリート強度低下深さ』の診断が可能



川崎地質





孔壁確認用 CCDカメラ
CCD Camera for viewing a borehole

載荷先端 φ6mm 半球状
Round-tip of 6mm diameter

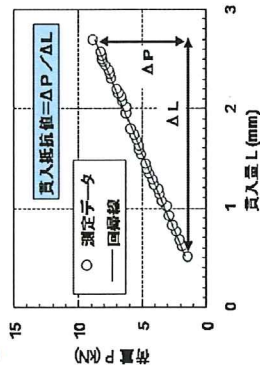
試験装置：φ40mm、長さ270mm
Device: 40mm diameter, 270mm long

孔内局部載荷試験の手順

- 1 コア削孔
Drilling of a borehole
削孔径はφ42mm以上
Drilling diameter is more than 42mm
- 2 試験装置の設置
Installation of the devise
試験装置を強度を知りたい深さに挿入
Load position is selected by observing in a borehole with fibroscope
- 3 孔壁への載荷
Load to the borehole wall
載荷先端を孔壁へ貫入、荷重-貫入量データを同一深度で6点程度取得
penetration are obtained at the same depth

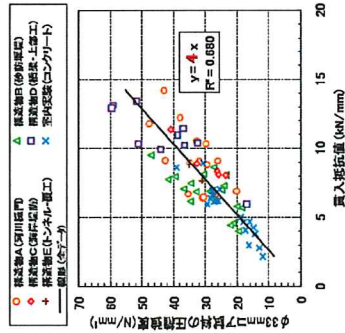
18

4 データ解析 Data verification and analysis



荷重-貫入量の関係から『貫入抵抗値』を算出
The value of penetration resistance is calculated by the relation of the load and the amount of penetration.

5 コンクリート強度推定 Estimation of concrete strength

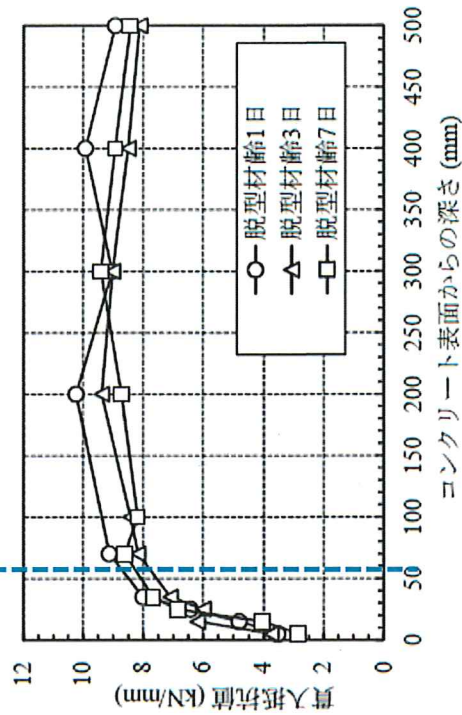


これまでの室内試験および原位値の整理データに基づき『貫入抵抗値』を約4倍することによりコンクリート強度に変換することができる

Concrete strengths are converted by four times of the penetration resistances based on the accumulated data of laboratory and in-situ tests.

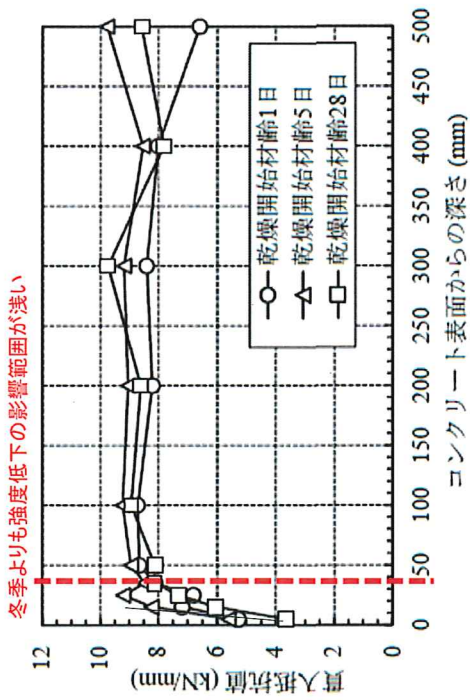
19

1M × 1M × 厚さ1Mの 冬季打設コンクリート(W/C50%)の 貫入抵抗値の分布



20

**1M × 1M × 厚さ1Mの
夏季打設コンクリート(W/C50%)の
貫入抵抗値の分布**



21

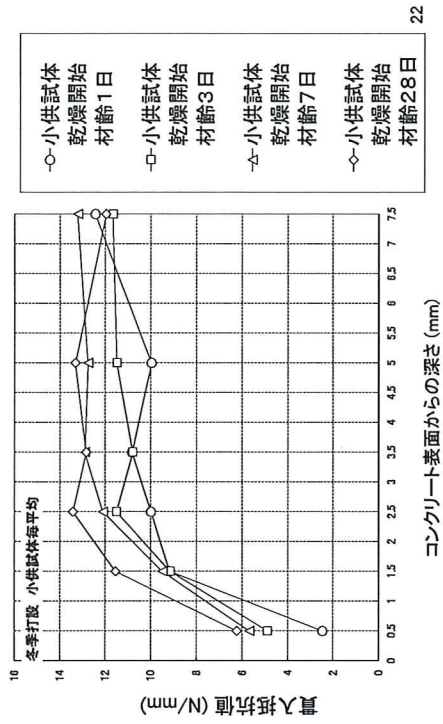
コンクリートの調査

- 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%:中庸熟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%:中庸熟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%:シリカフェューム入りセメント使用)のコンクリート

W/C(%)	単位水量 (kg/m ³)		単位量 (kg/m ³)		湿和剤 (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	489	326	976	3.01	18	4.5
32.9	175	532	296	930	7.18	23	3.0
23.0	170	740	299	915	7.77	60	3.0
17.0	160	942	141	329	12.25	65	2.0

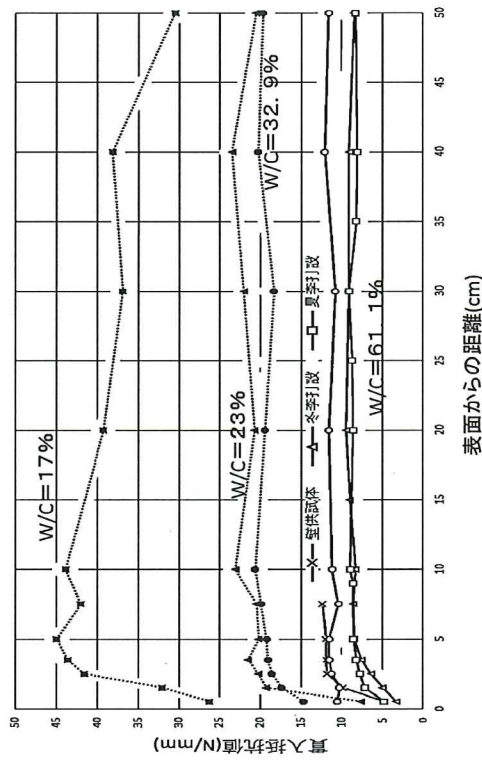
23

**30cm × 30cm × 厚さ15cmの
冬季打設のコンクリート(W/C50%)の
貫入抵抗値の分布**



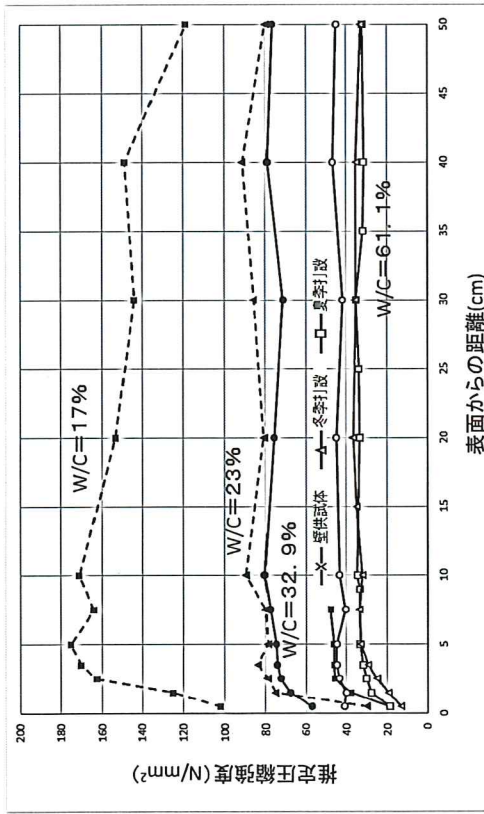
22

**孔内局部載荷試験による
1M × 1M × 厚さ1Mの貫入抵抗値の分布**



24

孔内局部載荷試験による
1M×1M×厚さ1Mの推定圧縮強度の分布



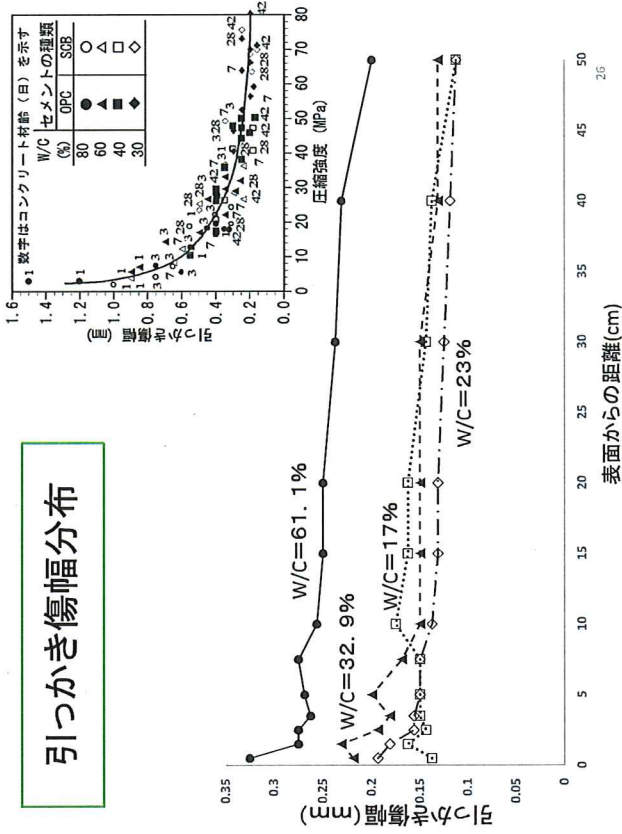
25

まとめ

- (1) コア孔内に局部載荷試験をすることにより、内部強度の大まかな判定が可能である。
- (2) コア側面に引っかけ試験を行うことによって、低強度か否かの判定は可能である。ただし、高強度域の強度の相違を判別できない。

27

引っかけ傷幅分布



26

ドリル法の利点 = φ10mm程度の孔を開ける時の

抵抗性から強度を判定
⇒ 解体に一番相応しいのではないかと
湯浅の挑戦は続く!!!

- 微破壊性
傷が小さい。修復簡単。
- 簡易性
採取時：設置が簡単。早い。
- 安価
微破壊性と簡易性からもたらされる。
- 評価の迅速性
調査現場で評価することも可能。

28


 全国解体工事業団体連合会 2018年度助成研究
4次元シミュレーションを用いた
解体時における動的衝撃量および
それに伴う振動・騒音推定手法の提案
 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

1

目次

1. 自己紹介
2. 2017年度 助成研究の紹介
⇒ 3次元計測手法を用いた重機挙動把握手法の提案
3. 2018年度 助成研究の成果報告
⇒ 解体時の振動・騒音推定手法の提案
 [
 - ・4次元解体シミュレーションにおける構造解析方向への拡張
 - ・解体時の振動・騒音計測手法の提案
]

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

2

1.自己紹介

➢ 所属
首都大学東京 建築学域 助教 (2016.10～)

➢ 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

現在
解体現場への自動化技術の適用
・重機の突拳動把握
・解体負荷定量化

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

3

2. 2017年度 助成研究の紹介

<3次元計測手法を用いた重機挙動把握手法の提案>
 解体重機自動操縦の概念



Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

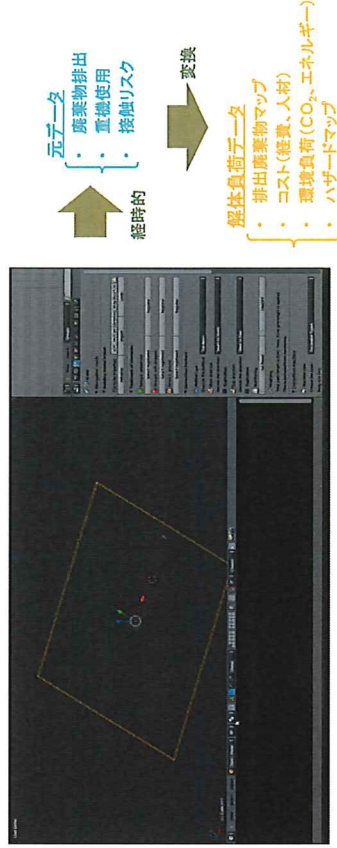
4

- ・ 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データロガーによる3次元計測手法の導入

- ・ 解体負荷シミュレーションモデル



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

- ・ 本試験水準

<使用機器>

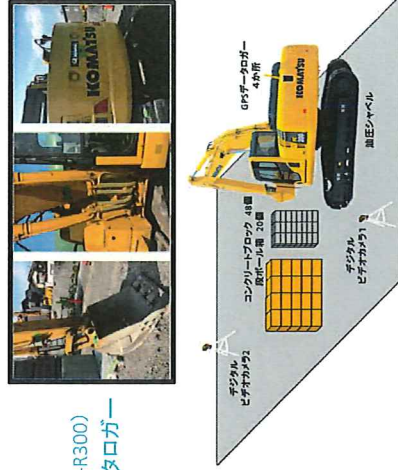
- ・ JVC社製のデジタルビデオカメラ (GZ-R300)
 - ・ Aaronia社製6センサー付きGPSデータロガー
 - ・ KOMATSU社製PC128US
- > 旋回とアーム・ブーム操作のみ

<測定対象>

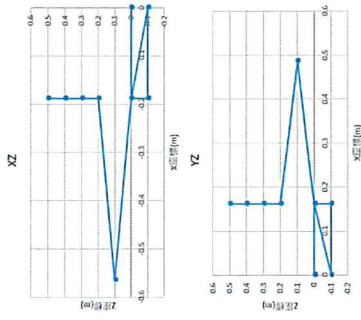
重機対象部位の移動経路

- ・ GPSデータロガー測定
- ・ 動画撮影

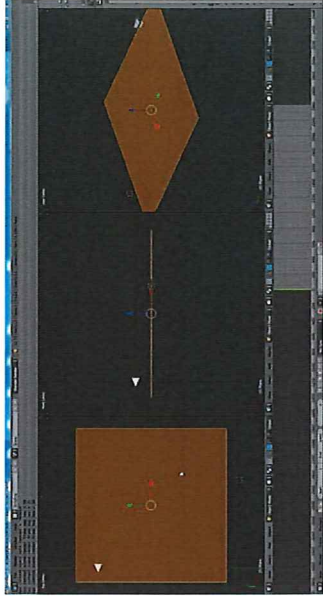
> 被解体物の飛散挙動も同時に



本試験結果

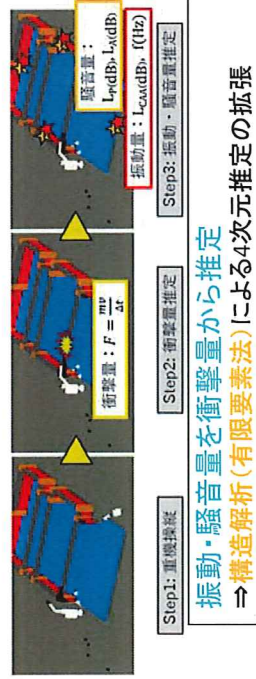


シミュレーション結果



3. 2018年度 助成研究の成果報告

＜解体時の振動・騒音推定手法の提案＞
振動・騒音推定の概念



実験概要

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

予備試験概要

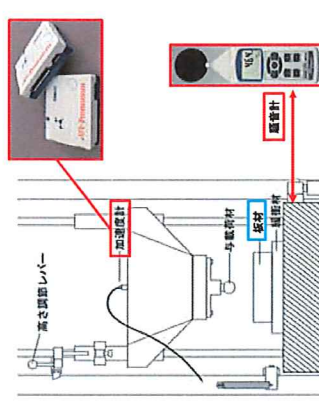
<使用機器>

- ・衝撃試験機(エアラウン社製)
- ・小型無線多機能センサ(ATR社製)
 - > 加速度・角速度センサ, 地磁気センサ
- ・騒音計(マザーズール社製)

<測定対象>

基本的な建築材料(板材)

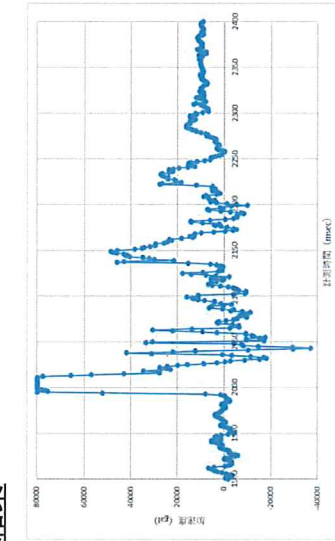
- ・木材
- ・鋼板
- ・コンクリート
- ・その他(プラスチック、石膏ボードなど)



<衝撃試験概要>

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

予備試験結果



<木材試験結果>

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

本試験概要

<使用機器>

- ・デジタルビデオカメラ(IVC社製)
- ・GPSデータロガー(Aaronia社製)
 - > GPS, 3Dジャイロ, 3D傾斜, 高度, 加速度計内蔵
- ・小型無線多機能センサ(ATR社製)
- ・騒音計(マザーズール社製)

<測定対象>

- ・使用重機(振動・騒音)
 - > ブーム先端 1か所
- ・定点計測(振動・騒音)
 - > 外壁近接プロップ傍 4か所



<計測概要>

Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

シミュレーション比較

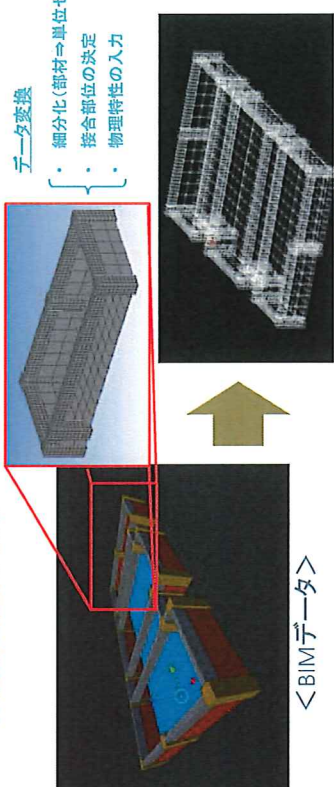
- ・有限要素法(FEM)へのモデル拡張

データ変換

- ・ 細分化(部材⇒単位セル)
- ・ 接合部位の決定
- ・ 物理特性の入力

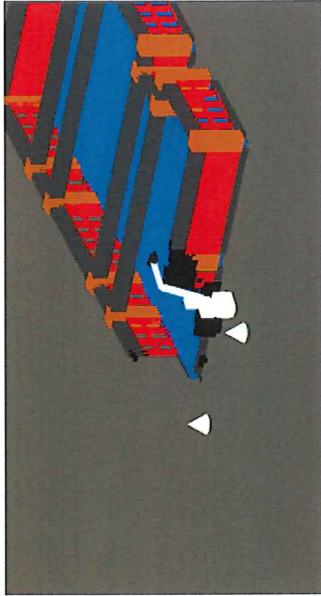
<BIMデータ>

<FEMデータ>



Tokyo Metropolitan University Yoichiro KUNIEDA

- 解体シミュレーションによる衝撃量推定



まとめ

本研究により以下が示された

- 振動計・騒音計による計測手法の有用性
 - シミュレーション内における実挙動の再現性
- > 構造計算に基づくシミュレーションへの拡張

<展望>

- 振動計・騒音計による計測手法の汎用性(現場適用)の向上
- シミュレーション結果による重機作業の影響定量化の実現