

平成 26 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 26 年 8 月 1 日（金） 13 : 30 ~

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 25 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	・階上解体工法における床版サポートに関する実験的・解析的研究	
	青 木 孝 義 湯 浅 昇	名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科教授 日本大学 生産工学部建築工学科教授
2	・地産地消を指向した廃瓦の再生利用方法に関する研究	
	大 塚 秀 三 荒 卷 卓 見 赤 谷 樹一郎 降 旗 翔	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 ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科
3	・発破解体における土木建築構造物の崩壊挙動解析手法の開発	
	藤 掛 一 典 アモンテップ・ソムラート	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科教授 防衛大学校 研究科後期課程
4	・高強度・超高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート造の解体に関する研究	
	湯 浅 昇 師 橋 憲 貴 青 木 孝 義 坂 戸 誠 一	日本大学 生産工学部建築工学科教授 日本大学 生産工学部教授 名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科教授 株式会社坂戸工作所 代表取締役
5	・解体工事のモニタリング計測を通じた作業安全性向上に関する研究 — 解体工事の実測データを用いた分析 —	
	藤 本 郷 史	国立大学法人宇都宮大学 工学研究科・地球環境デザイン学専攻

階上解体工法における床版サポートに関する実験的・解析的研究

名古屋市立大学大学院芸術工学研究科・教授 青木 孝義
日本大学生産工学部建築工学科・教授 湯浅 昇

1. はじめに

市街地における中高層建物の解体工事では、重機を上階に揚重し、上階から順次解体する階上解体工法が用いられる。この場合、上階の圧砕されたコンクリート塊が床版に堆積して積載荷重として、また重機が作業する際の動的荷重が衝撃荷重として床版に作用する。そのため、床版サポート（支保工）を適切に設置しなければ、床版が崩落して事故が起こる可能性がある。したがって、階上解体工法の床版サポートの適切な配置計画が重要であり、RC造およびS造におけるサポート配置の略算方法の提案^{1), 2)}やSRC造建築物の静的なサポート軸力の測定^{3), 4)}が行われている。しかし、様々な構造形式の建物における床版サポート軸力の測定データは少なく、解体工事中におけるサポート軸力の動的測定は行われていない^{5), 6)}。

以上を背景として、本研究は、2棟の階上解体工事中における床版サポートおよび柱のひずみ測定を行い、重機による床版サポートと柱への影響を明らかにすることを目的としている。本稿では、重機のキャタピラー方向およびアーム位置によるサポート軸力の変化を調べるため、サポートひずみの測定結果から算出した軸力と設計資料⁷⁾を比較して考察する。

2. Zビルの階上解体

2.1 建物概要および実験計画

解体建物は、Zビルで1975年に竣工した鉄筋コンクリート造7階建、建築面積は278.64m²、延床面積は1430.08m²、コンクリートの設計基準強度は21N/mm²、スラブの配筋は端部（上端）、中央部（下端）ともにD10

@200、鉄筋種別はSR24である。

Zビルの測定対象階スラブの平面図、断面図およびサポートの測定箇所を図1, 2に示す。測定箇所は、図1に示す6階のX1-X2通り、Y2-Y4通りの範囲9,000×9,000mmのスラブ下、小梁下、大梁下のサポートのひずみ計19箇所である。表1にサポートのひずみの測定項目、数量およびひずみゲージの型式、サポートの型番を示す。サポートのひずみは、対辺2ゲージ法3線式で、デジタル動ひずみ測定器（T社製：DRA-101C）を用いて0.01秒間隔で行った。サポートのひずみゲージ貼付位置を図3に示す。また、ひずみの貼付は、6階解体時（重機や上階の圧砕されたコンクリート塊が床版に堆積した状態）から行った。

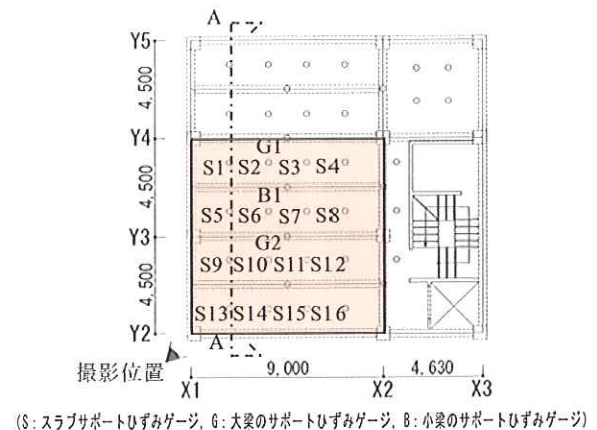


図1 6階平面図および測定箇所

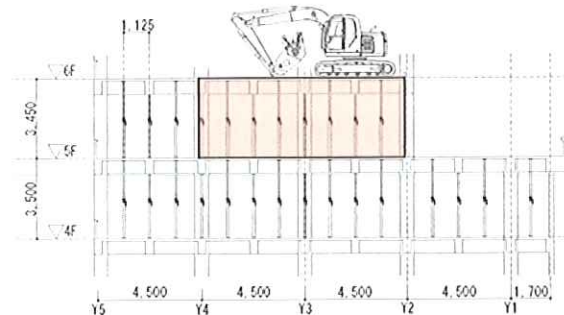


図2 6, 5階のA-A断面図

表 1 測定項目・数量・ゲージ型式・サポート型番

	サポートのひずみゲージ		
	スラブ下	大梁下	小梁下
ゲージの数量	16	2	1
ゲージの型式	FLA-5-11	FLA-5-11	FLA-5-11
サポート型番	CH40 型	CH32 型	CH32 型



図 3 サポートのひずみゲージ貼付位置

2. 2 実験方法

測定時の解体工事作業は9月28日に6階のガラ撤去作業を行い、9月29日には、壁転倒作業を実施した。また、重機の稼働状況を読み取るため、重機が移動している様子を図 1 に示す撮影位置からビデオカメラで撮影を行った。測定器の設置状況および測定前の状況を写真 1 に示す。



(a) サポート配置



(b) 歪みゲージ貼付



(c) データロガー



(d) 測定前の状況

写真 1 測定器の設置状況および測定前状況

2. 3 実験結果および考察

重機 (SK135SRD) を 2 台使用し、解体作業を実施した。アームの先端に小割圧砕機 (G-12) を装着させた重機を重機 A とし、圧

砕機 (S-16XC) を装着させた重機を重機 B とする。各重機の重量を表 2 に示す。

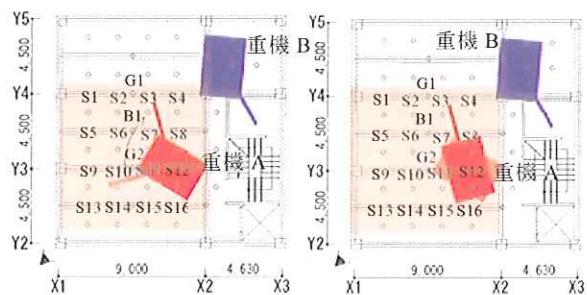
S14 は、ひずみゲージの設置が行えなかったため、データが取得できなかった。また、

表 2 重機の重量

	重機 A	重機 B
重機重量[kN]	169.9	173.8

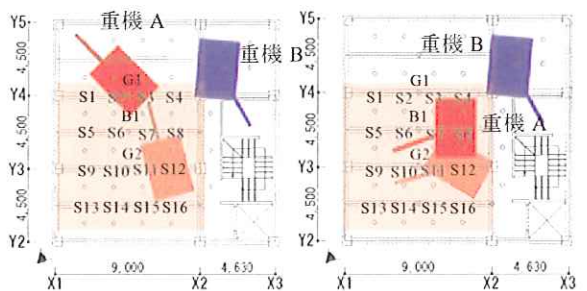
表 3 重機の稼働状況の時刻

重機の稼働状況	開始時刻	終了時刻
アームの回転	14 : 11 : 39	14 : 11 : 43
キャタピラー回転	14 : 11 : 43	14 : 11 : 49
重機の移動	14 : 11 : 50	14 : 12 : 05
ガラの撤去作業	14 : 11 : 39	16 : 09 : 09



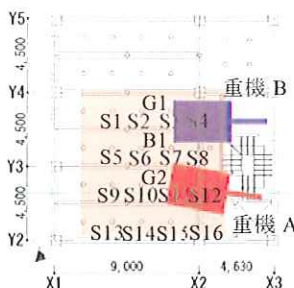
① アームの回転

② キャタピラー回転



③ 重機の移動

④ ガラの撤去作業後



⑤ 壁転倒作業時

図 4 重機の稼働状況



(a) アーム回転前 (b) アーム回転後

写真2 アームの回転前後

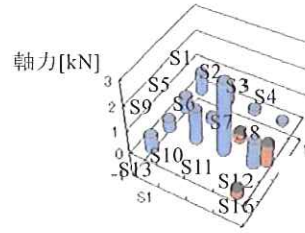
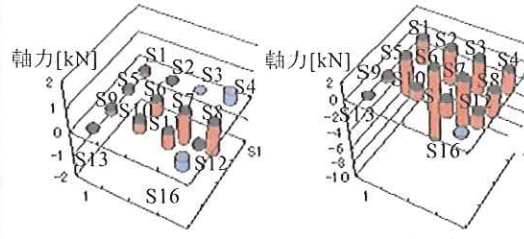


図5 アームの回転前後の軸力の差



(a) アームの衝撃時 (b) キャタピラー回転後

写真3 衝撃時・キャタピラーの回転後



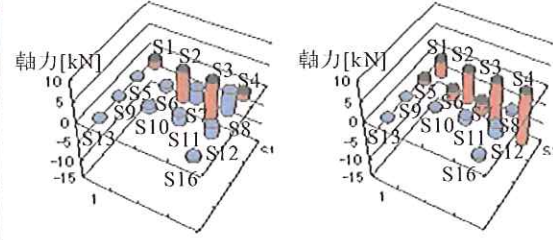
(a) 回転前後 (b) 回転前と衝撃時

図6 キャタピラー回転後の軸力の差



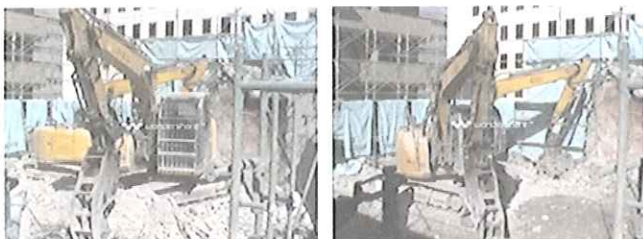
(a) 重機の移動中 (b) 重機の移動後

写真4 重機の移動中・移動後



(a) 移動前後 (b) 移動前と移動中

図7 重機の移動前後・移動中の軸力の差



(a) ガラ撤去前 (b) ガラ撤去後

写真5 ガラ撤去前後

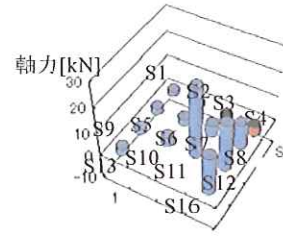
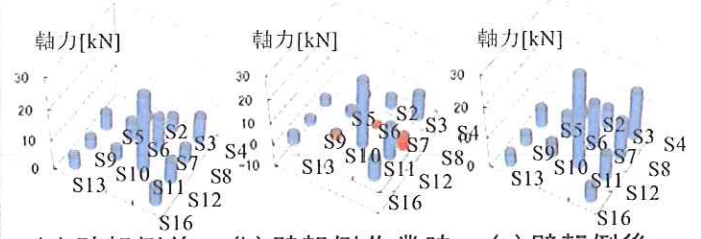


図8 ガラ撤去作業前後の軸力の差



(a) 壁転倒前 (b) 壁転倒後

写真6 壁転倒前後



(a) 壁転倒前 (b) 壁転倒作業時 (c) 壁転倒後

図9 壁転倒作業前後・壁転倒作業中のサポート軸力

S15, G1 および G2 は、ひずみの測定データに乱れが出ていたため、結果の考察には使用しなかった。表 3 に重機稼働状況の時刻を示す。以下、図 4 に示す重機の稼働状況によるサポート軸力の変化を考察する。

2. 3. 1 アームの回転によるサポート軸力の変化

床版に触れていた重機 A のアームが離れ、図 4①に示すように、写真 2(a)の状態から写真 2(b)の状態まで重機 A のアームが 4 秒間で回転した。重機 A のアーム回転前後のサポート軸力の差を図 5 に示す。なお、6 階解体途中でのひずみゲージ貼付直後の軸力を 0 とし、青色（薄い灰色）が引張、赤色（濃い灰色）が圧縮とする。また、アーム回転時のサポート軸力の変化を図 10 に示す。S10 および S11 のアーム回転前後のサポート軸力の差は、1.36kN および 2.94kN となったが、アーム回転時のサポート軸力には、変化が見られない。このことから、S10 および S11 のサポート軸力の変化は、重機 A のアームが床版から離れたことにより生じた変化であると考えられる。また、S8 および S12 のアームの回転後のサポート軸力を比較すると、S8 は約 1kN 新たに負担しているのに対し、S12 は約 1kN 抜けている。このことから、アーム回転により、重機 A の重量の 0.6% である 1kN の軸力が伝達したことになる。参考文献 7) の計算結果では、実験時と同様にアームが回転すると仮定すると、重機重量の 4% である 6.8kN が新たに作用し、測定結果の 6.8 倍も大きい結果となる。これは、参考文献 7) の計算にサポート周辺の柱・梁は重機重量を負担しないという仮定があるためと推察される。

2. 3. 2 キャタピラーの回転によるサポート軸力の変化

重機 A は、アームの回転後、作業階のスラブにアームを押し付け、それを支点としながら、図 4②に示すように、写真 3(a)の状態から写真 3(b)の状態まで重機 A のキャタピラー

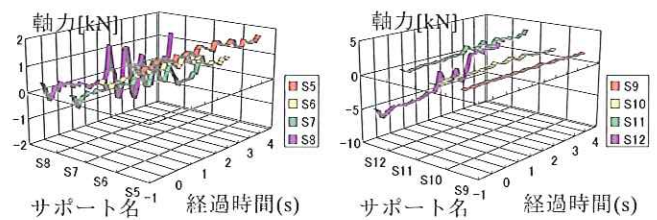


図 10 アームの回転によるサポート軸力の変化

が 4 秒間かけて回転した。重機 A のアームを床版に押し付けた衝撃を受ける前、衝撃時およびキャタピラー回転後のサポート軸力の差を図 6 に示す。重機 A のアームを床版に押し付けた衝撃によるサポート軸力の合計は、54.2kN となった。これは、重機 A の重量の 32% に相当する。参考文献 7) では、衝撃荷重を重機の 20% である 34kN と考えているが、測定結果と比較すると約 0.63 倍小さい。このことから、参考文献 7) の衝撃荷重は、過小であることが分かる。また、キャタピラーの回転後は、重機の稼働状況が前方吊となるため、キャタピラーの前方部分に位置する S7, S8 は 1.34kN を新たに負担している。一方、キャタピラーの後方部分に位置する S11, S12 は、0.60kN, 0.10kN の軸力が抜けている。このことから、重機の稼働状況が前方吊であると、キャタピラーの後方部分よりも前方部分に重機重量が偏ることが分かった。

2. 3. 3 重機の移動によるサポート軸力の変化

重機 A は、キャタピラーの回転後、図 9③に示すように、写真 3(b)の状態から写真 4(a)の状態まで 14 秒間で移動した。重機の移動前後および移動中のサポート軸力の差を図 7 に示す。重機 A 移動時の衝撃によるサポート軸力の合計は、55.14kN となり、重機 A のキャタピラー回転時の衝撃荷重と近い値となった。重機 A の移動により、上部に重機 A の重量を受けなくなった S8 は、重機 A の重量の 3.3% である 5.33kN 抜けている。重機 A がサポート上部に載る際、サポートは、5.33kN の軸力を新たに負担することが分かった。

2. 3. 4 ガラ撤去によるサポート軸力の変化

ガラ撤去作業前に比べ、ガラ撤去作業後のガラ積は約 50cm 低くなっていた。重機 A は、図 9④に示すように、写真 5(a)の状態から写真 5(b)の状態まで移動している。重機 A のガラ撤去作業前後の軸力の差を図 8 に示す。ガラ撤去作業後の床下のサポートの軸力の合計は、ガラ撤去作業前と比べて 81.4kN も抜けている。床下のサポート軸力の合計を測定範囲の面積で除すると 1.00kN/m^2 となる。参考文献 3) では、ガラ重量は、実績率を 70% と仮定し、コンクリートの単位体積重量、ガラ積および 0.7 の積により求められている。ガラが 50cm 堆積していると仮定して、ガラ重量を計算すると 0.84kN/m^2 となり、測定値と近い値を示した。コンクリートガラの実績率は約 60% であり⁸⁾、実際のガラの実績率はこれよりも低い値となるため、参考文献 7) では、安全率を 10% 程度見込んでいると考えられる。本実験では、厳密にガラ積を測定しておらず、正確な値が求められていないため、今後、検討する必要がある。

2. 3. 5 壁転倒作業時のサポート軸力の変化

壁転倒作業前後の撮影位置で撮影した写真を写真 6 に、重機の壁転倒作業前後および作業中のサポート軸力を図 9 に示す。なお、9 月 29 日のサポートひずみの測定では、S1 のひずみの測定データに乱れが出ていたため、使用しなかった。壁転倒作業によるサポート軸力の合計は、重機重量の 20% である 34.62kN であり、参考文献 7) の衝撃荷重と近い値となった。

3. M ビルの階上解体

3. 1 建物概要および実験計画

解体建物は、1975 年に竣工した鉄筋コンクリート造の地上 9 階建、地下 1 階の M ビルである (9 階部分は鉄骨造)。建築面積は 716.4m^2 、

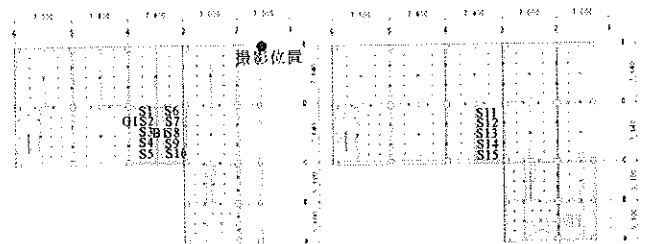
延床面積は 7011.5m^2 である。

図 11, 12 に 8 階, 7 階平面図, 断面図およびサポートのひずみ測定位置を示す。測定箇所は、図 11 に示す 8 階のスラブ下, 小梁下, 大梁下のサポートひずみ 12 箇所および 7 階のスラブ下のサポートひずみ 5 箇所の計 17 箇所である。表 4 にサポートのひずみの数量およびひずみゲージの型式を示す。サポートのひずみは、対辺 2 ゲージ法 3 線式で、デジタル動ひずみ測定器 (T 社製: DRA-101C) を用いて 0.01 秒間隔で行った。

3. 2 実験方法

ひずみゲージ貼付をサポート設置前に行い、サポート設置, 重機揚重, 解体工事中のサポートおよび柱のひずみを測定した。また、重機のキャタピラー方向およびアーム位置によるサポート軸力の変化を調べるため、対象スラブ上で重機を移動し、図 11 に示す撮影位置からビデオカメラで撮影を行った。

重機 (PC210, PC228US, SK235SR) を 3 台使用し、解体作業を実施した。重機 (PC210)



(S: スラブサポートひずみゲージ, G: 大梁のサポートひずみゲージ, B: 小梁のサポートひずみゲージ)

(a) 8 階

(b) 7 階

図 11 8 階および 7 階の平面図および測定位置

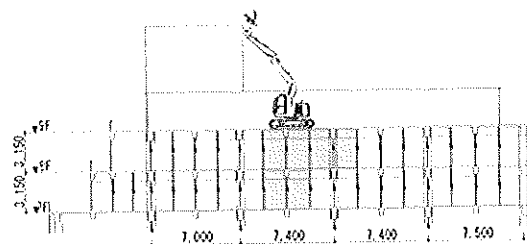


図 12 対象スラブの断面図

表 4 サポートのひずみゲージの数量

階数	スラブ下(s)	大梁下(G)	小梁下(B)	合計
8階	10	1	1	12
7階	5	0	0	5
合計	15	1	1	17

に G-18J を装着させたものを重機 A, 重機 (PC228US) に S-16XC を装着させたものを

表 5 重機の重量

	重機 A	重機 B	重機 C
重機重量[kN]	216	217	232

重機 B, 重機 (SK235SR) に S-16XC を装着させたものを重機 C とする。各重機の重量を表 5 に示す。

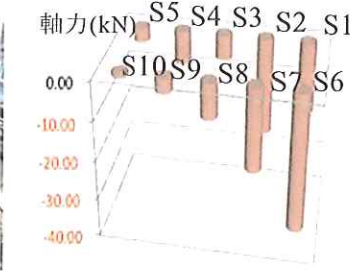


写真 7 前方吊(長辺) 図 13 サポート軸力(前方吊)

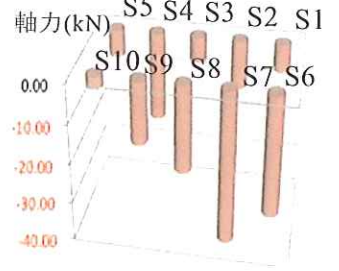


写真 10 前方吊(短辺) 図 16 サポート軸力(前方吊)

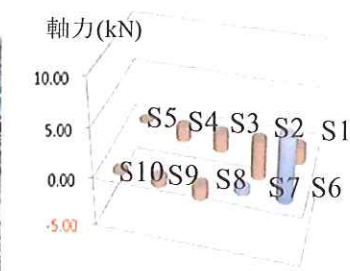


写真 8 斜方吊(長辺) 図 14 サポート軸力の差(斜方吊-前方吊)

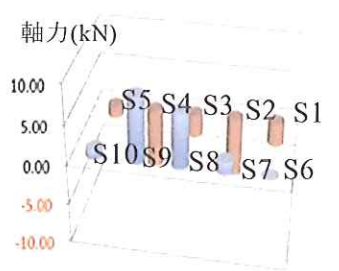


写真 11 斜方吊(短辺) 図 17 サポート軸力の差(斜方吊-前方吊)

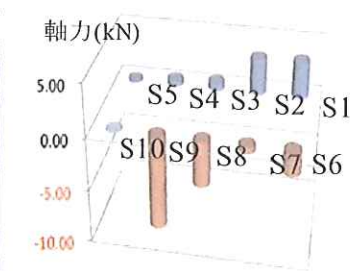


写真 9 側方吊(長辺) 図 15 サポート軸力の差(側方吊-前方吊)

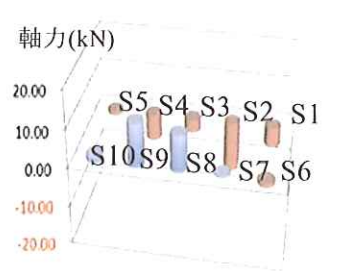


写真 12 側方吊(短辺) 図 18 サポート軸力の差(側方吊-前方吊)

表 6 長辺に平行な場合の軸力合計, 荷重負担率

	前方吊	斜方吊	側方吊
軸力の合計	128.37kN	133.09kN	135.97kN
荷重負担率	28%	29%	27%

表 7 短辺に平行な場合の軸力合計, 荷重負担率

	前方吊	斜方吊	側方吊
軸力の合計	161.02kN	165.83kN	164.41kN
荷重負担率	28%	27%	27%

3. 3 実験結果および考察

3. 3. 1 キャタピラーが対象スラブの長辺に平行な場合

写真 7, 8, 9 に示すように重機のキャタピラーを対象スラブの長辺と平行にし、アームを前方吊, 斜方吊, 側方吊の状態ですら 5 秒間静止させた。図 13 に前方吊の 8 階のサポート軸力を, 図 14 に斜方吊と前方吊の 8 階のサポート軸力の差を, 図 15 に側方吊と前方吊の 8 階のサポート軸力の差を示す。ここで, 青色(薄い灰色)は引張力, 赤色(濃い灰色)は圧縮力を示す。8 階のサポート軸力の合計および 8 階のサポート軸力 (S6~S10) と 7 階のサポート軸力 (S11~S15) の割合を表した荷重負担率を表 6 に示す。サポート軸力の合計および荷重負担率は, どのアーム状態も近い値となった。側方吊のサポート軸力の合計は, 重機重量の約 63% に相当し, 前方吊から側方吊に変化することで, アーム方向のサポート軸力が大きくなっていることが分かる。このことから, アームの吊り方が変化しても軸力の合計は変化しないが, 各サポートが負担する割合が変化することが分かる。

3. 3. 2 キャタピラーが対象スラブの短辺に平行な場合

写真 10, 11, 12 に示すように重機のキャタピラーを対象スラブの短辺と平行にし, 重機のアームを移動させた。図 16 に前方吊の 8 階のサポート軸力を, 図 17 に斜方吊と前方吊の 8 階のサポート軸力の差を, 図 18 に側方吊と前方吊の 8 階のサポート軸力の差を示す。8 階のサポート軸力の合計および 7 階との荷重負担率を表 7 に示す。これより, 重機が短辺に平行な場合の方が長辺に平行な場合よりサポート軸力の合計が大きいことが分かった。

3. 3. 3 重機の揚重

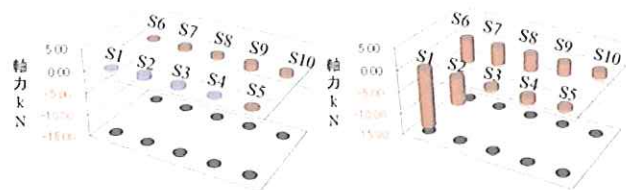
写真 13 に示すように重機 A を揚重した。重機揚重による上階スラブのサポート軸力を図 19 に示す。なお, 青色(薄い灰色)が引張力, 赤色(濃い色)が圧縮力とする。また,

重機揚重による上階スラブのサポート軸力の変化を図 20 に示す。サポート軸力の合計は, 重機揚重前が 8 階-2.29kN, 7 階-1.05kN に対し, 揚重後は 8 階-40.04kN, 7 階-4.46kN であり, 重機重量の 19% であった。重機が対象スラブ外に移動した後の上階のサポート軸力の合計は 1.01kN となり, 重機が対象スラブに載る前の値と近い値となった。このことからサポートが支えているスラブの上部に載ったときだけサポートに軸力が働くことが分かった。



(a) 揚重前 (b) 揚重後

写真 13 重機の揚重



(a) 揚重前 (b) 揚重後

図 19 重機揚重前後のサポート軸力

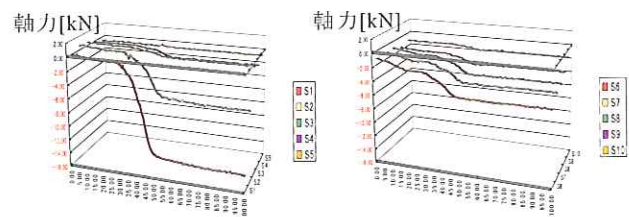


図 20 重機揚重前後のサポート軸力の変化

4. まとめ

重機稼働状況によるサポート軸力と参考文献 7) の比較から得られた知見を以下に示す。

- 1) 参考文献 7) のアームの回転によるサポート軸力の安全率は, 過剰であると考えられる。

- 2) 解体作業の中で衝撃荷重が最大なものは、重機の移動時に起こる衝撃であり、55.14kNである。また、参考文献7)の衝撃荷重の安全率は過小であると考えられる。
- 3) 測定値から得られたガラ重量は、1.00kN/m²であり、参考文献7)と近い値となった。
- 4) アームの吊り方が変化しても軸力の合計は変化せず、上下階のサポートの荷重負担率は約28%となることが分かった。
- 5) 参考文献7)の計算では、荷重負担率は実験結果より大きな値となっている。
- 6) アームの吊り方が変化しても軸力の合計は変化せず、上下階のサポートの荷重負担率は約28%となることが分かった。
- 7) サポートが支えているスラブの上部に重機が載ったときだけサポートに軸力が働くことが分かった。

今後も様々な建物の解体工事中の振動測定およびサポートのひずみの測定を行い、データを蓄積し、各解体作業状態が建物および床版サポートに与える影響を明確にする必要がある。

謝辞

実験では、三同建設株式会社の野田眞弘氏、長田克二氏のご理解と多大なるご協力をいただきました。また、宇都宮大学（実験当時広島大学）の藤本郷史先生にはご助言をいただき、株式会社東邦ガス（実験当時名古屋市立大学大学院生）の南谷崇文氏、株式会社大林組（同）の中村光氏には実験の協力を得ました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 笠井芳夫，山田徹，周建東：階上解体における安全な解体工法（試案），全国解体工事業団体連合会安全な解体工法研究会，2006.5，pp.1-66
- 2) 濱田大地，中田善久，大木崇輔，中山優，笠井芳夫，越川茂雄：鉄骨造の解体工事における安全なパイプフローの提案，日本建築学会関東支部研究報告集（関東），2008，pp.57-60
- 3) 上長三千良，山下英利，甲野陸秦：建築物の解体工事における計測と解析（解体用重機が躯体に与える影響）その1，その2，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），2005.9，pp.785-788
- 4) 河合栄作，中平和人：解体建物における床サポート本数の合理化の提案，日本建築学会技術報告集，第13巻，第25号，2007.6，pp.39-42
- 5) 南谷崇文，青木孝義，藤本郷史：階上解体工事における建築物の安全性に関する研究－解体工事時に解体用重機が床版サポートに与える影響－，日本建築学会東海支部研究報告集，第51号，2013.2，pp.105-108
- 6) 南谷崇文，青木孝義，藤本郷史，湯浅昇：階上解体工事における建築物の安全性評価に関する研究－解体用重機のアームおよびキャタピラー位置の変化が床版サポートに与える影響－，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），材料施工，2013.8，pp.825-826
- 7) 三同建設：建物解体時における重機作業床の強度検討，2012.7
- 8) 桜本文敏，原田実，依田和久：コンクリートガラを骨材としたプレパックドコンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.20，No.2，pp.1123-1128，1998

地産地消を指向した廃瓦の再生利用方法に関する研究

大塚秀三^{*1}, ○降旗翔^{*2}, 石渡翔太^{*3}, 櫻村啓^{*3}

1. はじめに

廃瓦の排出量は、瓦製造工場から排出される不良品に加え、建築解体工事から排出される古瓦を含めて全国で年間 80~90 万トンにのぼる¹⁾。これに対して、瓦の特長を利用して、コンクリート用骨材、園芸用資材、インターロッキングブロックおよび舗装材料²⁾~⁴⁾など多岐に渡る建設資材にリサイクルされている。一方で、建設資材へリサイクルする場合には、コンクリート用骨材のように使用量が大量となる製品には、廃瓦の排出量と建設資材への使用量の需給バランスを考慮すると現実的とは言い難い。このため、廃瓦を一部に使用するか、使用量を抑制できる建設資材へリサイクルすることが必要と思われる。他方、瓦素地は土を主原料としているため粉砕加工すれば土と同様の自然な風合いとなる。



写真-1 廃瓦シャモットの
外観

以上の観点から、本研究では廃瓦を粉砕加工し粒度調整した写真-1 に示す廃瓦シャモットを対象として、歴史的建築物または現代においても発展途国を中心に世界各地で普及している版築壁や、近年適用例が減少しつつある仕上塗りに用いる左官用モルタルの細骨材へ置換する場合の適用性について検討した。このうち、本報告では左官用モルタルへの適用性について報告する。

ここでは、廃瓦シャモットの化学的成分および物理的性質について調べるとともに、廃瓦シャモットの砕砂に対する置換率および粒度の違いが左官用モルタルの各種性状に及ぼす影響⁵⁾について、フレッシュモルタルの性状、圧縮強さ、曲げ強さ、長さ変化および引張接着強度により検討した結果について述べる。

2. 廃瓦シャモットの化学組成

本研究で使用する廃瓦シャモットの化学組成を表-1、特定有害物質の溶出量を表-2 に示す。廃瓦シャモットの化学組成については土を主原料としてい

表-1 廃瓦シャモットの化学組成

成分	含有率[%]
SiO ₂ (シリカ)	67.66
TiO ₂ (チタニア)	0.64
ZrO ₂ (ジルコニア or 二酸化ジルコニウム)	0.08
Al ₂ O ₃ (アルミナ or 酸化アルミニウム)	22.45
Fe ₂ O ₃ (酸化二鉄 or 三酸化二鉄)	3.20
CaO (カルシア or 酸化カルシウム)	0.62
CuO (酸化銅)	0.01
MgO (マグネシア or マグネシウム)	1.09
MnO (酸化マンガン)	0.08
SrO (酸化ストロンチウム)	0.03
ZnO (酸化亜鉛)	0.02
Na ₂ O (酸化ナトリウム)	1.02
K ₂ O (酸化カリウム)	2.96
P ₂ O ₅ (五酸化リン)	0.07
SO ₃ (三酸化硫黄 or 無水硫酸)	0.03
LOI (強熱減量)	0.04

表-2 特定有害物質の溶出量

分析対象	単位	分析結果
カドミウム	mg/L	0.001 未満
鉛	mg/L	0.005 未満
六価クロム	mg/L	0.01 未満
砒素	mg/L	0.005 未満
総水銀	mg/L	0.0005 未満
セレン	mg/L	0.002 未満
ふっ素	mg/L	0.51
ほう素	mg/L	0.05

土壌の汚染に係る環境基準(環境庁告示第 46 号)を満足する

ることから、シリカ(SiO₂)の含有量が約 68%、次いで酸化アルミニウム(Al₂O₃)が約 22%となっている。特定有害物質の溶出量については、土壌の汚染に係る環境基準(環境庁告示第 46 号)に対して、いずれも検出限界以下であった。

3. 廃瓦シャモットの物理的性質

3.1 試験項目および方法

廃瓦シャモットの物理的性質についての試験項目および方法を表-3に示す。土粒子の密度は、土粒子の密度試験方法(JIS A 1202:2009)、微粒分量は、微粒分量試験方法(JIS A 1103:2003)、通過質量分率は、ふるい分け試験方法(JIS A 1102:2006)、表乾密度および吸水率は、密度および吸水率試験方法(JIS A 1109:2006)、実績率は、単位容積質量及び実績率試験方法(JIS A 1104:2006)にそれぞれ準拠した。

3.2 結果および考察

廃瓦シャモットと荒木田土および砕砂の物理的性質を表-4、廃瓦シャモットと荒木田土および砕砂の通過質量分率を図-1に示す。ここでは、廃瓦シャモットと荒木田土(北関東で産出される土)および砕砂(栃木県栃木市尻内町産)の物理的性質を比較した。

土粒子の密度は、荒木田土と比較して小さくなった。これは、廃瓦シャモットが多孔質材料であり、廃瓦シャモットの内部に存在する空隙に起因したものである。

微粒分量は、砕砂と比較して小さくなった。一方で、コンクリート用砕石および砕砂(JIS A 5005:2009)の規格に基づく、コンクリート用砕砂の微粒分量は9.0以下とされていることから、廃瓦シャモットの粒度は比較的小さなものであることが言える。これは、廃瓦の生産過程における1次破碎において、75 μ m以下の粉体が多く生成されたためである。

ふるい分け試験における通過質量分率は図-1に示すとおり、廃瓦シャモットと荒木田土で比較した場合、粒度分布が大きく異なる傾向を示した。砕砂では、標準粒度曲線(JIS A 5308:2009)に規定された粒度分布を示した。廃瓦シャモットでは、ふるい目2.5mmに留まる累計が49%と大きく、廃瓦シャモットの粒度は大きなものに偏っている。

絶乾密度および表乾密度は、砕砂と比較して小さくなった。これは前述のとおり、廃瓦シャモットが多孔質材料であることに起因しているものと思われる。

粗粒率は、砕砂と比較して大きくなった。レディミクストコンクリート用骨材における砂利及び砂の粒度の規定(JIS A 5308:2009)に基づいた場合、標準粒度曲線における粗粒率は2.72%であった。これと比較した場合、廃瓦シャモットの粗粒率は大きくなった。

吸水率は、砕砂と比較して大きくなった。これは、多孔質材料である廃瓦シャモットを左官用モルタルに適用した場合、左官用モルタル中の水分の逸散が助長することが考えられ、長さ変化率が大きくなる、

表-3 試験項目および方法

試験種別	試験項目	試験方法	算出値
土質試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202:2009	土粒子の密度 [g/cm ³]
骨材試験	骨材の微粒分量試験	JIS A 1103:2003	微粒分量 [%]
	骨材のふるい分け試験	JIS A 1102:2006	通過質量分率 [%]
	細骨材の密度及び吸水率試験	JIS A 1104:2006	絶乾密度 [g/cm ³] 表乾密度 [g/cm ³] 吸水率 [%]
	骨材の単位容積質量および実績率試験	JIS A 1109:2006	実績率 [%]

表-4 廃瓦シャモットと荒木田土および砕砂の物理的性質

	廃瓦シャモット	荒木田土	砕砂
土粒子の密度	2.558 [g/cm ³]	2.686 [g/cm ³]	— [g/cm ³]
微粒分量	12.0 [%]	— [%]	19.0 [%]
通過質量分率	図-1 参照		
絶乾密度	2.23 [g/cm ³]	— [g/cm ³]	2.56 [g/cm ³]
表乾密度	2.45 [g/cm ³]	— [g/cm ³]	2.61 [g/cm ³]
粗粒率	3.89 [%]	— [%]	2.25 [%]
吸水率	9.84 [%]	— [%]	2.75 [%]
単位容積質量	1.27 [Kg/l]	— [Kg/l]	— [Kg/l]
実績率	56.7 [%]	— [%]	— [%]

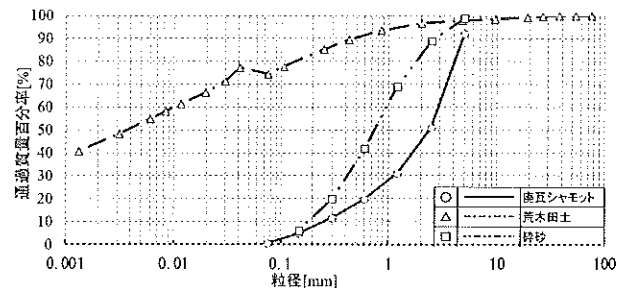


図-1 廃瓦シャモットと荒木田土および砕砂の通過質量

すなわち、乾燥ひび割れが生じやすくなるものと思われる。

実績率は、56.7%であった。コンクリート用砕石及び砕砂(JIS A 5505:2009)の規格値では、砕砂の実績率は54%以上であることから、廃瓦シャモットの実績率は砕砂と同等なものであるといえる。

4. 左官用モルタルへの適用性の検討

4.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-5、供試体の構成割合を表-6、廃瓦シャモットの粒度分布を表-7に示す。廃瓦シャモットの粒度は、建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事⁵⁾に定められる粒度の種別のうち、A種、B種およびC種の3水準とした。砕砂に対する廃瓦シャモットの置換率は、0、20、50、80 および100%の5水準とした。

(2) 使用材料

使用材料を表-8に示す。廃瓦シャモットは、福島県いわき市で排出されたもので、年間約100トン排出されるうち約26トンが廃瓦シャモットとしてリサイクルされている。

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法を表-9 に示す。フロー試験、圧縮強さ試験および曲げ強さ試験は、セメントの物理試験方法(JIS R 5201:1997)に準拠した。また、長さ変化の測定は、材齢 28 日までとし、モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法(JIS R 1129-3:2010)に準拠した。

接着力試験は、塗装合板を用いた W300×L300×t100mm のコンクリート基板(W/C=50%)に、モルタルを塗り厚 10mm で塗付けた面(300×300mm)を試験面とし、日本建築仕上学会認定引張試験器によって測定した。なお、供試体は、温度 20±2℃および相対湿度 60±5%の恒温恒湿室で養生した。

4.2 結果および考察

(1) 粒度および置換率とフロー値の関係

粒度および置換率とフロー値の関係を図-2 に示す。モルタルのフロー値は、廃瓦シャモットの粒度を変化させた場合、C 種のフロー値が大きくなる傾向を示した。また、廃瓦シャモットの置換率が大きくなる程、小さくなる傾向を示した。これにより、廃瓦シャモットの粒度分布が細かくなるとモルタルの流動性が増すのに対して、砕砂に比べてより粒形が不整形で角張りが多い廃瓦シャモットの置換率が大きいとモルタルの流動性が低下することが分かる。

(2) 粒度および置換率と圧縮強さの関係

粒度および置換率と圧縮強さの関係を図-3 に示す。圧縮強さは、廃瓦シャモットの粒度を変化させた場合、A 種の圧縮強さが大きくなる傾向を示した。これについては、A 種に比べ粒度の細かい C 種の方がよりセメントペーストとの付着強度が向上し圧縮強さが上回ると思われたが、相反する傾向となった。また、廃瓦シャモットの置換率を変化させた場合、置換率が大きい程小さくなる傾向を示した。これは、前述した廃瓦シャモットの粒形に加え、廃瓦シャモット自体の強度が小さいためと考えられる。

(3) 粒度および置換率と曲げ強さの関係

粒度および置換率と曲げ強さの関係を図-4 に示す。曲げ強さは、廃瓦シャモットの粒度を変化させた場合、C 種の曲げ強さが大きくなる傾向を示した。これは、圧縮強さと相反するが、粒度が細かくなることにより、セメントペーストとの付着強度が向上したためと考えられる。また、廃瓦シャモットの置換率を変化させた場合、置換率が大きい程小さくなる傾向を示した。これは、圧縮強さと同様に、廃瓦シャモットの粒形に起因してセメントペーストとの付着強度が小さくなるためと考えられる。

(4) 粒度および置換率と長さ変化率の関係

粒度および置換率と長さ変化率の関係を図-5 に示す。長さ変化率は、廃瓦シャモットの粒度を変化

表-5 実験の要因と水準

要因	水準
廃瓦シャモットの粒度	日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS15 左官工事 ⁵⁾ に示される砂の標準粒度に基づく粒度の種類:A 種, B 種および C 種
廃瓦シャモットの細骨材への置換率[%]	0, 20, 50, 80, 100

表-6 供試体の構成割合

W/C [%]	質量比		粒度の種類別	混合比[%]		
	C	S		S	TS	
50	1	3	A 種	100	0	
				80	20	
				50	50	
			B 種	20	80	
				0	100	
				100	0	
			C 種	80	20	
				50	50	
				20	80	
					0	100

表-7 廃瓦シャモットの粒度分布

粒度の種類別	ふるいを通るものの質量百分率 [%]					
	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm
A 種	10.0	20.0	25.0	22.5	16.5	6.0
B 種	—	15.0	27.5	27.5	24.0	6.0
C 種	—	—	32.5	27.5	30.0	10.0

表-8 使用材料

種別	記号	使用材料	品質・性状・主成分
水	W	上水道	—
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16[g/cm ³] 比表面積: 3.280[cm ² /g]
細骨材	S	砕砂	表乾密度: 2.61[g/cm ³] 粗粒率: 2.25[%] 吸水率: 2.75[%]
廃瓦シャモット	TS	A 種 B 種 C 種	・特定有害物質の溶出量 土壌汚染に係る環境基準 (環境庁告示第 46 号)を満足する ・化学組成 SiO ₂ :67.66[%], Al ₂ O ₃ :22.45[%], Fe ₂ O ₃ :3.20[%], K ₂ O:2.96[%], その他微量成分

表-9 試験項目および方法

試験項目	試験方法・規格	試験体寸法 [mm] t×W×L	測定材齢 [日]
フロー試験	JIS R 5201:1997	—	—
圧縮強さ試験		—	—
曲げ強さ試験		—	—
モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法第 3 部:ダイヤルゲージ方法	JIS A1129-3:2010	40×40×160	28
接着力試験	日本建築仕上学会認定引張試験器による測定	100×300×300	—

させた場合、若干 A 種が大きくなる傾向を示した。これについては、粒度の粗い A 種の長さ変化率が小さくなると思われたが、相反する傾向となった。また、廃瓦シャモットの置換率を変化させた場合、置換率に比例して大きくなる傾向を示した。これは、廃瓦シャモットが砕砂に比してより多孔質であるため、水分の逸散が助長されたためと考えられる。

(5) 粒度および置換率と引張接着強度の関係

粒度および置換率と引張接着強度の関係を図-6に示す。引張接着強度は、廃瓦シャモットの粒度を変化させた場合、C種の引張接着強度が大きくなる傾向を示した。これは、曲げ強さと同様に、粒度が細くなることにより、セメントペーストとの付着強度が向上したためと考えられる。また、廃瓦シャモットの置換率を変化させた場合、置換率が小さい程大きくなる傾向を示した。これは、先述したように廃瓦シャモットの粒形に起因してセメントペーストとの付着強度が小さくなるためと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

5.1 廃瓦シャモットの化学組成

- (1) 廃瓦シャモットの化学組成は、シリカ(SiO₂)が主原料である。
- (2) 特定有害物質の排出量は、検出限界以下であった。

5.2 廃瓦シャモットの物理的性質

- (1) 土粒子の密度試験において、廃瓦は荒木田土と比較すると、小さくなった。
- (2) 骨材の微粒分量試験において、廃瓦は砕砂と比較すると、微粒分量が大きくなった。
- (3) 骨材のふるい分け試験において、廃瓦は砕砂と比較すると、粗粒率が大きくなった。
- (4) 細骨材の密度および吸水率試験において、廃瓦は砕砂と比較すると、表乾および絶乾密度は小さくなり、吸水率は高くなった。
- (5) 骨材の単位容積質量および実績率試験において、廃瓦の実績率は砕砂と同等であった。

5.3 左官用モルタルへの適用性の検討

- (1) フロー値、曲げ強さおよび引張接着強度は、粒度が細かいほど、また、置換率が小さいほど大きくなった。なお、引張接着強度は、JASS19で規定される基準である0.4N/mm²をA種、B種およびC種ともに満足した。

- (2) 圧縮強さは、粒度が粗いほど、また、置換率が小さいほど大きくなった。

- (3) 長さ変化率は、粒度が粗いほど、また、置換率が大きいほど大きくなった。

本報告では、廃瓦シャモットを対象として小量ロットの建設材料への再利用方法について検討した。その結果、左官用モルタルへの適用性の一端を見出した。今後、各種建設材料への適用性を検討する予定である。

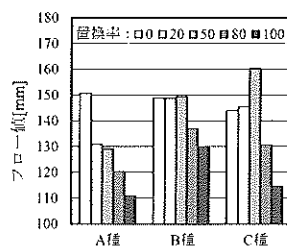


図-2 粒度および置換率とフロー値の関係

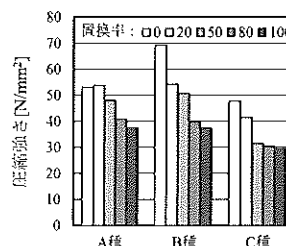


図-3 粒度および置換率と圧縮強さの関係

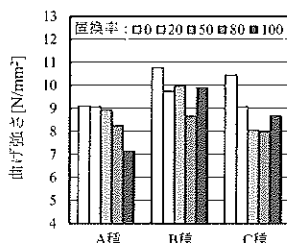


図-4 粒度および置換率と曲げ強さの関係

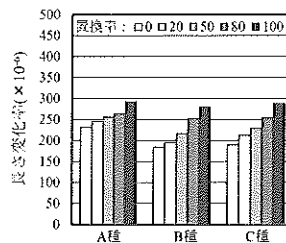


図-5 粒度および置換率と長さ変化率の関係

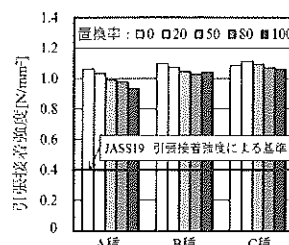


図-6 粒度および置換率と引張接着強度の関係

[謝辞]

本実験を行うにあたり、平成25年公益社団法人全国解体工事業団体連合会・解体工事に係る研究助成金(研究代表者:大塚秀三・ものづくり大学技能工芸学部建設学科准教授)を受け実施した。なお、有限会社渡辺建材から廃瓦シャモットの提供を受けた。また、実験に際して、ものづくり大学大塚研究室の学生より多大な助力を得た。ここに、記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 高田治也: 瓦廃材の骨材化システムの骨材資源, Vol.36, No.144, pp.212-216, 2005.3
- 2) 例えば, 天野佑樹ほか: 三州瓦廃材のコンクリートへの有効利用, コンクリート工学論文集, Vol.21, No.2, pp.1-11, 2010.5
- 3) 例えば, 愛知県陶器瓦工業組合: 瓦の生産過程で発生する規格外瓦の有効利用に関する調査研究報告書, pp.25-39, 2009.2
- 4) 例えば, 山崎尚志ほか: 瓦廃材を用いたセメントモルタルに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)A-1分冊, pp.691-692, 2004.8
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事, pp.5-6, 1998

*1 ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授, 博士(工学)

*2 ものづくり大学大学院 ものづくり学研究所 ものづくり学専攻

*3 ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 学部生

Assoc. Prof., Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists, Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists

Undergraduate Student, Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists

発破解体における土木建築構造物の 崩壊挙動解析手法の開発

防衛大学校建設環境工学科

藤掛 一典

○アモンテップ・ソムラート

発表内容

- 研究背景、目的
- 解析方法
- 解析結果
- まとめ



海外の発破解体工事

研究背景

解体の需要

1960年代の高度経済成長期に建設された多数の高層の鉄筋コンクリート(RC)建物が建てられている。高さ100メートル以上のものは700棟以上も建設されている。その中100棟以上が築20年を超えている、今後これらの高層RC建物の解体需要が増加すると考えられる。



荒袋周辺の高層ビル群

No.	名称	場所	地上階	高さ(m)	完成	解体着工	供用年数
1	第22外山興和ビル	東京・港区	19階	—	1973	2000	27年
2	浜離宮ビルディング	東京・中央区	20階	—	1974	2005	31年
3	ホテルソフィテル東京	東京・台東区	26階	112	1994	2007	13年
4	JFEビルディング	東京・千代田区	18階	—	1974	2007	33年
5	ハザマ日本社ビル	東京・港区	19階	72	1971	2005	34年
6	鹿島日本社ビル1棟	東京・港区	17階	65	1968	2007	39年
7	鹿島日本社ビル2棟	東京・港区	20階	75	1972	2007	35年
8	京橋清水ビル	東京・中央区	14階	65	1994	2008	14年
9	大阪タワー (朝日放送旧社屋電波塔)	大阪市北区	—	158	1966	2009	43年
10	名古屋東京海上日動ビルディング (旧タキセヨービル)	名古屋市中区	25階	86	1973	2009	36年
11	名古屋ターミナルビル	名古屋市中村区	20階	84	1974	2010	36年
12	東京フィナンシャルセンター	東京・千代田区	24階	105	1992	2011	19年
13	旧富士銀行本店	東京・千代田区	16階	—	1966	2011	45年
14	旧ホテルプラザ	大阪市北区	23階	88	1969	2011	42年
15	旧グランドプリンスホテル赤坂	東京・千代田区	40階	138	1983	2012	29年

鉄筋コンクリートの解体技術

打撃
研削

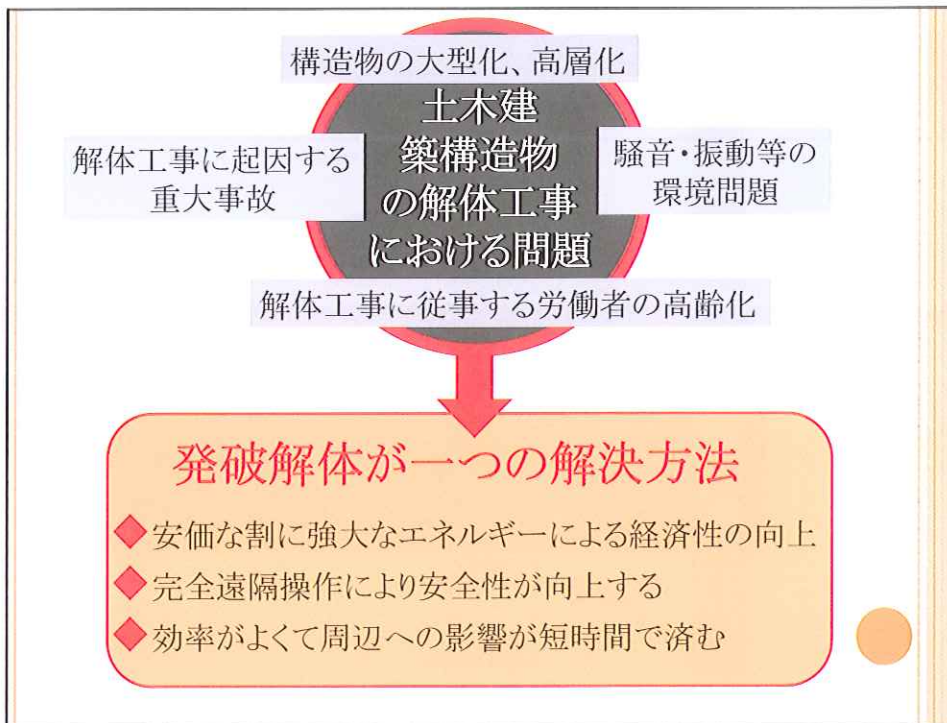
- 圧砕工法
- ブレーカ工法
- フラットソーイング工法
- ワイヤソーイング工法

高層ビル解体工法
上部閉鎖式解体工法
(西松建設、大成建設、竹中工務店)
タワークレーンによるブロック解体工法
(大林組、清水建設)
だるま落とし式解体法
(鹿島建設)

衝撃波

- 発破工法
 - ◆ 一部破砕する方法
 - ◆ 一部破砕して転倒させる方法
 - ◆ 一気解体する方法
- 鹿島MB工法
(鹿島建設)

1992年、木の岡レイクサイドビルは最後発破解体であり、日本国内の発破工法分野に関する研究は非常に少ない



藤掛研究室の発破解体の研究

H21: 発破による鉄筋コンクリート柱部材の解体に関する基礎的研究 (高橋)
 H22: 発破解体にコンクリート強度が及ぼす影響に関する研究 (遠藤)
 H22: 発破による鉄筋コンクリート構造物の解体に関する基礎的研究 (ピラサカ)
 H23: 鉄筋コンクリート構造物の解体への放電衝撃破砕工法の適用性に関する基礎的研究 (澄川)
 H24: 放電破砕工法の鉄筋コンクリート構造物解体への適用性に関する基礎的研究 (福田)
 H25: 放電衝撃による鉄筋コンクリート部材の制御破砕に関する基礎的研究 (近藤)

せん断補強筋比が与える発破解体の影響

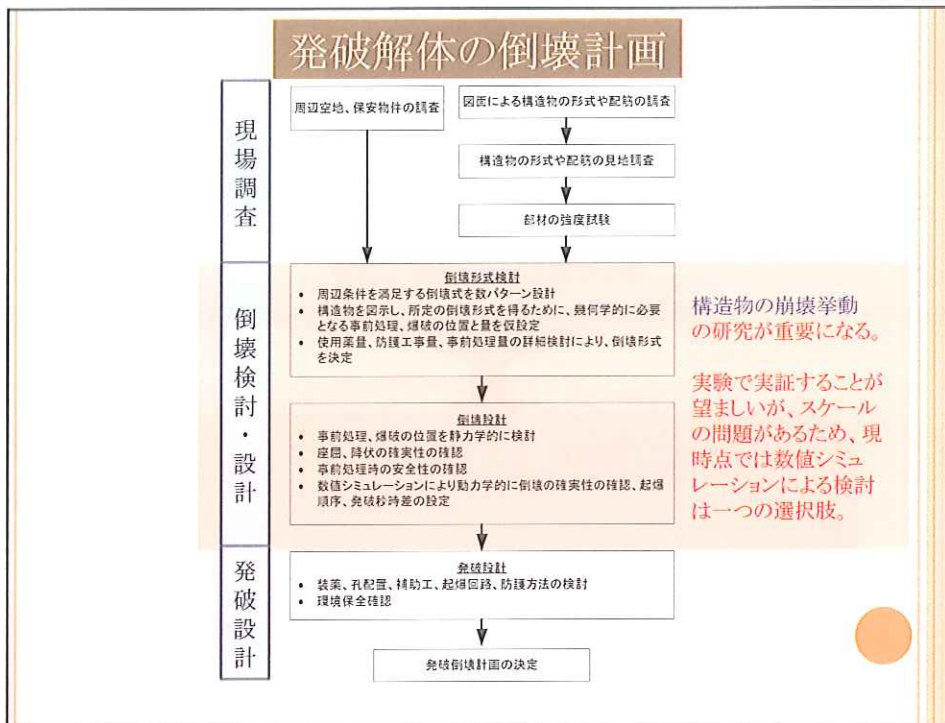
爆破されたRC版の損傷状況

放電衝撃による発破解体

得られた結果

- 発破はコンクリートを破砕できるが、主鉄筋の切断が不可能(整形爆薬など特別な爆薬が検討された)
- せん断補強筋が密に配置する柱は発破後の残存耐力は十分に低下させることが困難であることがわかった
- 放電破砕工法による発破解体の基礎知識


部材の検討 → 構造物の検討



本研究の目的

市販の解析ソフトウェア(ELS Software)により、
構造物の崩壊挙動解析方法を開発し、
発破解体分野の知識を広げる。

発破解体の一気崩壊工法



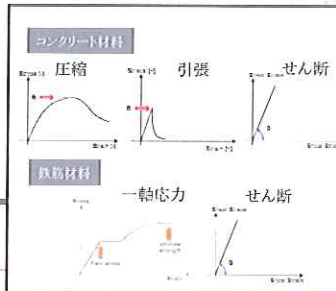
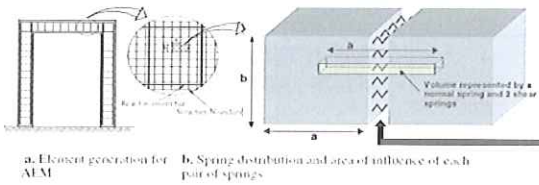
構造物の一部を破砕し、その後、構造物の自重により上部構造が下部構造を押しつぶして破壊を連鎖させ構造物全体を崩壊させる工法である。高層建物の理想の発破解体は、構造物の上部が自由落下のように鉛直下向きに加速度を持ち続けて崩壊しきるもの。

発破解体における本研究崩壊パラメータ

- 爆薬の設置位置
- 起爆順序(延長時間)

解析ソフト EXTREME LOADING FOR STRUCTURES (ELS)

ELSは**応用要素法**を用いて解析する。



応用要素法=Applied Element Method (AEM法)

- ◆ 分割要素の面には接線方向とせん断方向に可変できるバネで結ばれている。
- ◆ 接触する要素中心とバネ位置、材料特性係数関係により、局所剛性マトリクスを作って、全体剛性マトリクスに足し合わせる。
- ◆ 複合材料の鉄筋コンクリート材料はそれぞれコンクリート、鉄筋の材料特性を考慮する。
- ◆ 破断ひずみに達する要素は自動的に分離する。(終局状態の追跡が可能になる)

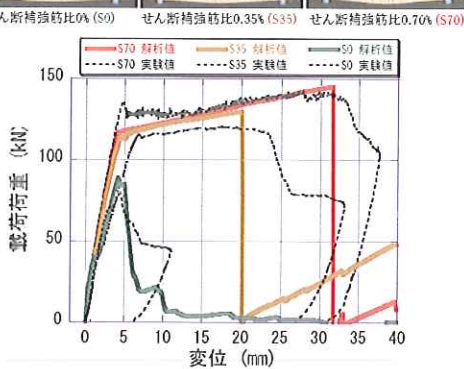
解析対象 非線形 解析手法	崩壊過程				
	連続構造体			分離体	
有限要素法(FEM)	亀裂, 収縮, 収縮	座屈, 座屈後	要素の分離	個体破片の崩落	破片の衝突
応用要素法(AEM)			自動分離		
有限要素法(FEM)	静的解析, 連続構造体の解析は不適切				

構造物の崩壊過程では連続体が分離できる応用要素法が最も適切な手法

ELSの解析例

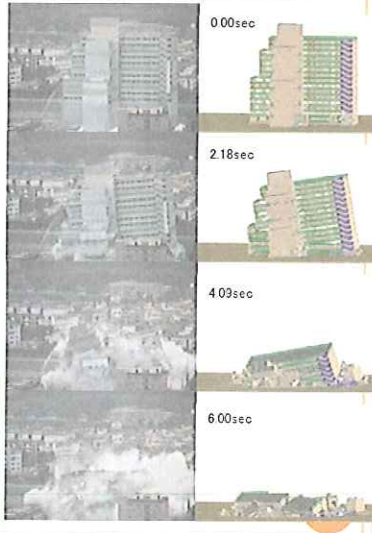
部材

RC梁部材に静的載荷した破壊形状及び荷重変位関係



構造物

韓国の15階建物を解析した至微解体の崩壊挙動

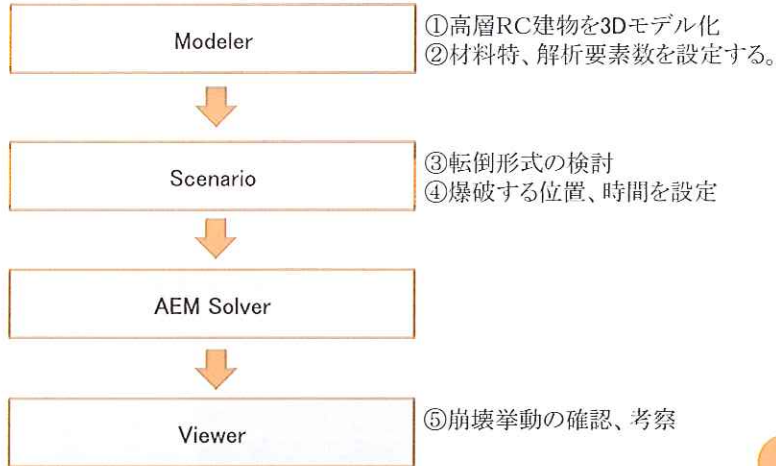


※現在、構造物の全体至微は海外の例しか得られない

実験方法

発破解析計算手順

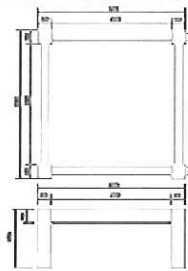
解析するための作業手順



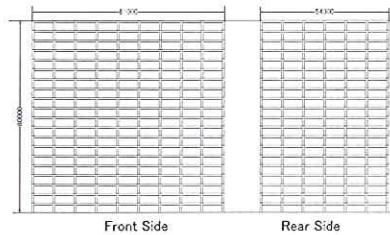
Modeler

①高層RC建物(20階建)を3Dモデル化

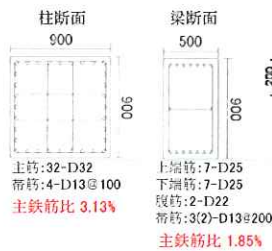
使用部材 柱、梁及び床板の詳細



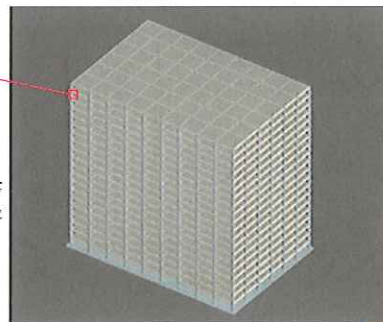
全体の諸元	
高さ(20F)	80m
正面長さ	81m
奥行長さ	54.3m
全体重量	34,367tf
各階の諸元	
階高	4m
スパン長	8m
正面スパン数	9
奥行スパン数	6
1階当たりの重量	1,718tf



配筋の断面図



上層筋:
x軸方向:D13@230
y軸方向:D13@230
下層筋:
x軸方向:D13@230
y軸方向:D13@230



完成した3Dモデル

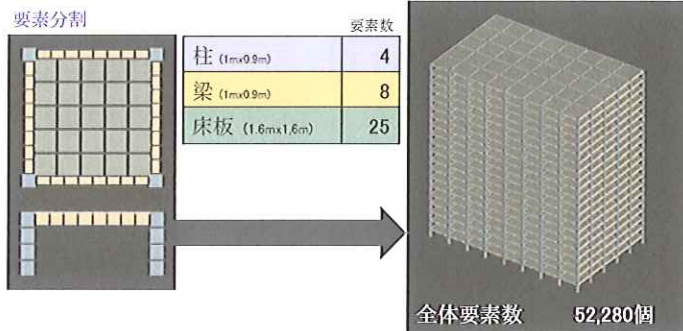
Modeler

②材料特性、解析要素数を設定する。

材料特性

材料特性	コンクリート(床板、梁用)	高強度コンクリート(柱用)	鉄筋
弾性係数 (kgf/cm ²)	267166	3702.38	20389
せん断係数 (kgf/cm ²)	106867	1480.66	815561
引張強度 (kgf/cm ²)	30	59	--
圧縮強度 (kgf/cm ²)	300	599	--
引張降伏強度 (kgf/cm ²)	--	--	3600
終局ひずみ	--	--	0.1
終局応力/引張降伏強度	--	--	1.4
分断ひずみ	0.1	0.1	1
摩擦係数	0.8	0.8	0.8
外部減衰比	0	0	0
比重 (kgf/m ³)	2.50E+03	2.50E+03	7.84E+03

要素分割



Scenario

③転倒形式の検討

転倒形式の検討条件

- ①連鎖崩壊による**安定的な完全崩壊** (解体効率)
- ②垂直崩壊による**崩壊領域の最小限** (周辺防護)

Scenario

④ 爆破する位置、時間を設定

解析ケース CASE1-5の発破状況

CASE1

CASE2

CASE3

CASE4

CASE5

発破位置
 指定される階段に全ての柱を発破する
 CASE1: 1F
 CASE2: 1F, 2F
 CASE3: 1F, 2F, 11F
 CASE4: 1F, 2F, 6F, 11F, 16F
 CASE5: 10F, 11F

検討項目
 → すべての発破位置に一斉(同時)発破
 → 垂直落下の力のみ崩壊させる

Scenario

④ 爆破する位置、時間を設定

解析ケース CASE6-7の発破状況

CASE6-7

起爆時間

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
16F	0.55									
11F	0.50									
6F	0.40									
2F	0.28									
1F	0.10									

↑

起爆順序

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
16F	0.10									
11F	0.28									
6F	0.40									
2F	0.50									
1F	0.55									

↓

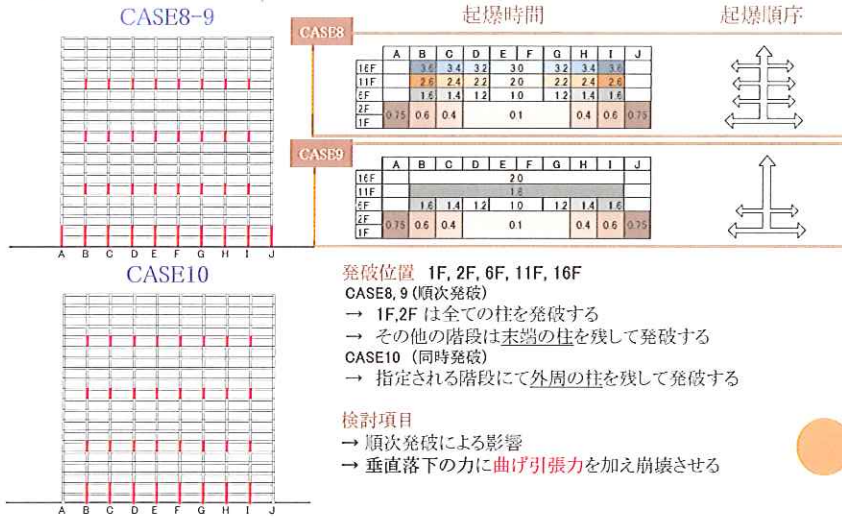
発破位置
 指定される階段にて末端の柱を残して発破する
 CASE6: 1F, 2F, 6F, 11F, 16F
 CASE7: 1F, 2F, 6F, 11F, 16F

検討項目
 → 順次発破による影響
 → 垂直落下の力に**曲げ引張力**を加え崩壊させる

Scenario

④爆破する位置、時間を設定

解析ケース CASE8-10の発破状況

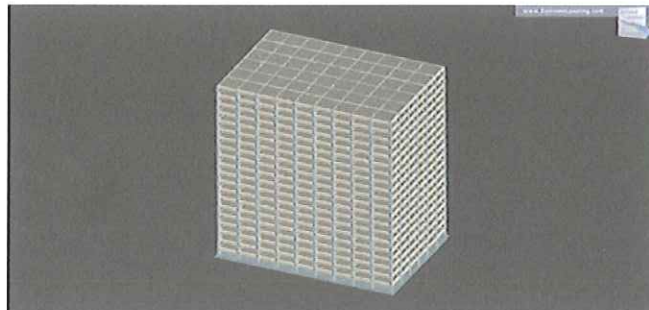


AEM Solver

解析時間間隔0.1s, 20s まで解析する。

Viewer

⑤崩壊挙動の確認、考察



解析した結果の一例(CASE1)

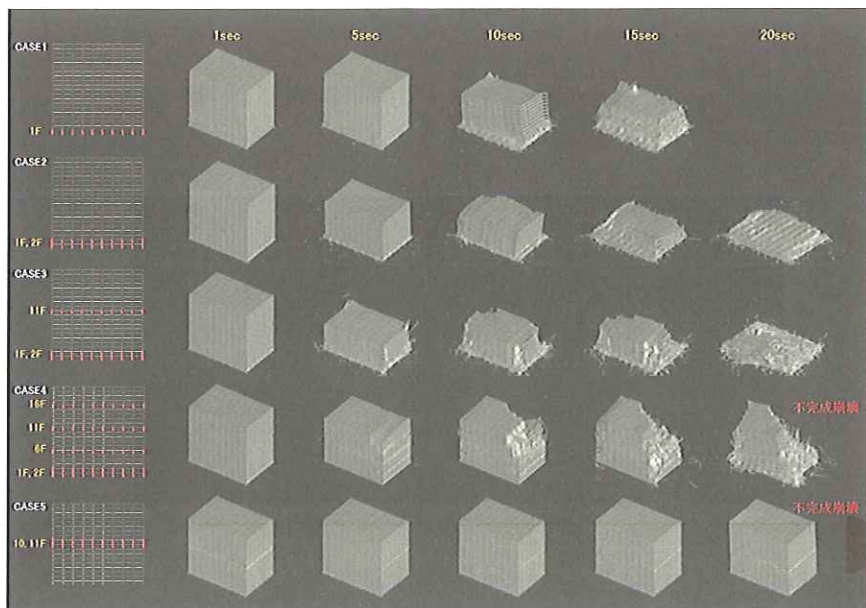
解析結果、考察

CASE1-5 垂直自由落下

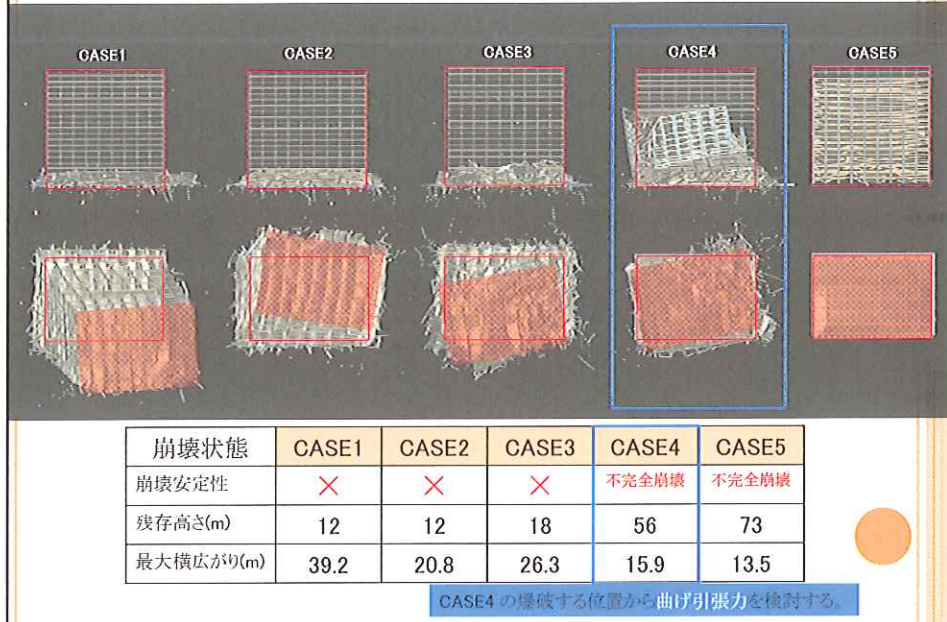
CASE6-10 垂直自由落下 + 曲げ引張力



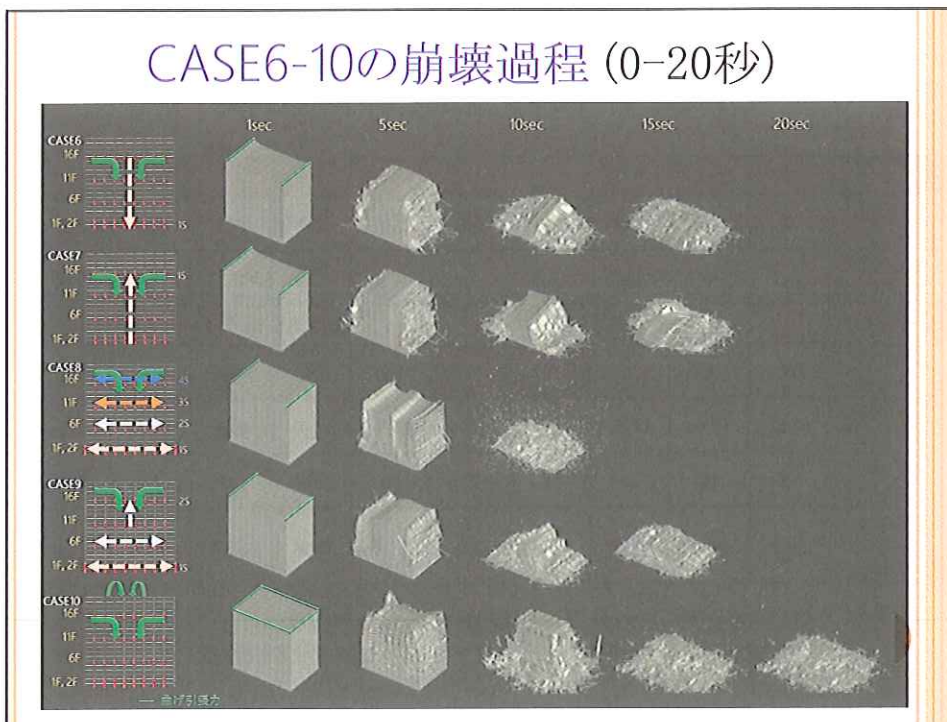
CASE1-5の崩壊過程 (0-20秒)



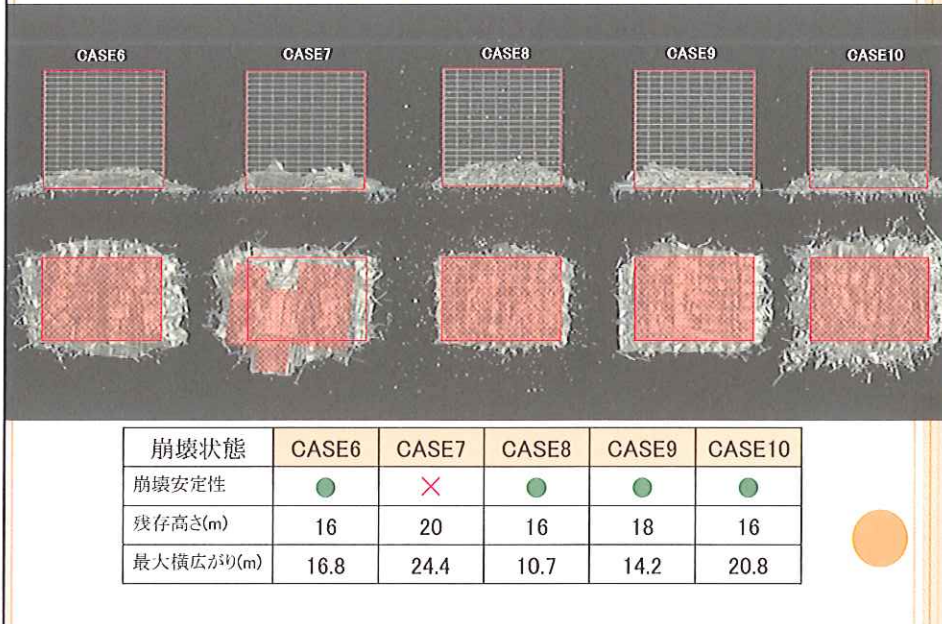
CASE1-5の崩壊後状況



CASE6-10の崩壊過程 (0-20秒)



CASE6-10の崩壊後状況



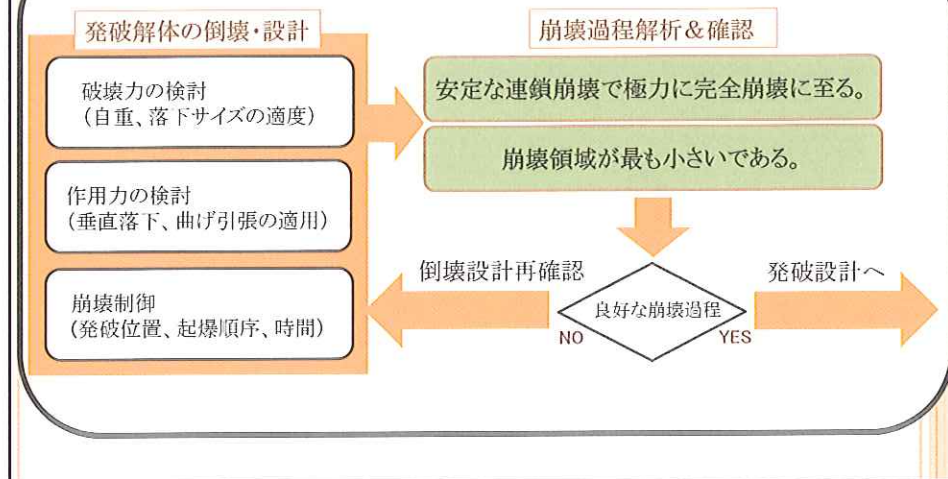
CASE1-10の発破解体比較

比較項目	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7	CASE8	CASE9	CASE10
爆破柱 (本数)	70	140	210	350	140	280	280	308	308	200
起爆順序 (延長時間)	同時					上から下 (1s)	下から上 (1s)	下から上 (4s)	下から上 (2s)	同時
作用力	垂直自由落下					垂直自由落下 + 曲げ引張				
崩壊 安定性	×	×	×	不完全 崩壊	不完全 崩壊	●	×	●	●	●
完全崩壊に 要する時間	14.8s	17.5s	17.6s	-	-	13.9s	14.7s	9.7s	12.7s	15.7s
残存高さ (m)	12	12	18	56	73	16	20	16	18	16
最大横 広がり (m)	39.2	20.8	26.3	15.9	3.5	16.8	24.4	10.7	14.2	20.8

ELSプログラムによる建造物の崩壊解析の結果から
発破解体の倒壊検討・設計に対する一つの参考資料になる

まとめ

発破解体の倒壊・設計について、ELSプログラムによる解析結果を考慮できる。



高強度・超高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート造の解体に関する研究

平成26年8月1日

日本大学
生産工学部
湯浅 昇

1. はじめに

高強度、更には超高強度コンクリートにより構造物が実際に建設されるようになった。今日の一般的な強度18~36N/mm²に対し、高強度というと60 N/mm²、超高強度では、100、120、150、200 N/mm²レベルを目指している。

本研究は、高強度・超高強度コンクリートを使用した鉄筋コンクリート構造物の解体ための基礎研究である。

1年目は、実験室の機器を用いて無筋コンクリート試験体により解体時の負荷に関する基礎的なデータを得た。

2年目では、普通強度及び100MPaレベルの超高強度鉄筋コンクリート模擬梁部材を作製し、(株)坂戸工作所の協力を得て、圧縮試験機に実際の圧砕刃を取り付けて、圧砕し、油圧等から負荷を検討した。

本年度は、3年目として、更に強度レベルを上げた150MPa、180MPaレベルの超高強度鉄筋コンクリート模擬梁部材に加え、2年目データの再検討並びに実機による圧砕解体実験を行った。

2012年度に行った実験の問題点



あばら筋を溶接していたため、圧砕刃の作用により溶接部がごとごとく離れていた。
はずれなければ、破壊に至るまで更にあばら筋が応力を負担する可能性があったはずである。

→2013年度の試験では、溶接でなく、135°フックとすることとした。

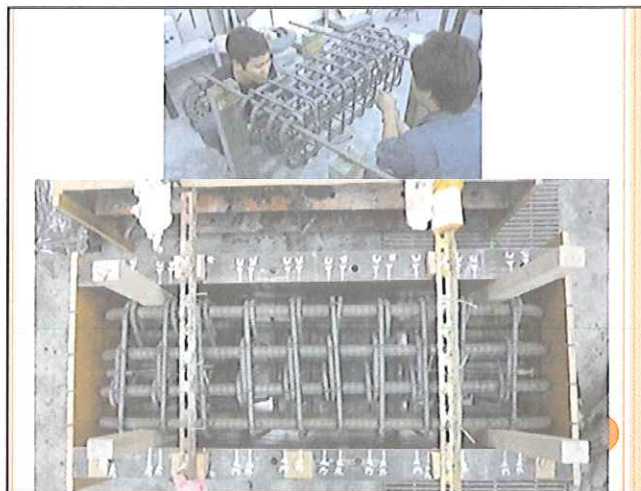
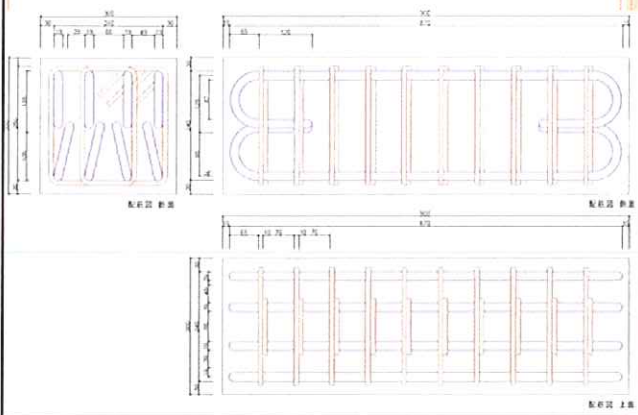
2012年度に行った実験の問題点



圧砕後に主筋がコンクリートから引き抜けている実態が観察された。

→2013年度の試験では、主筋の両端に180°フックをもうけることとした。

2013年度の模擬梁部材の配筋



コンクリートの調合とフレッシュ性状

W/C (%)	シリカフューム置換率 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	質量 (g/m ³)				化学混和剤 (g/m ³)			スラブプロ値 (cm)	空気量 (%)	練り温 (°C)	
				セメント	シリカフューム	シリカフュームプレミックセメント	細骨材	粗骨材	No.70	SSP 104				303 A
60	-	43.5	185	308	-	-	765	1011	770	-	2009	19.7	4.8	20.5
20	15	44.9	157	659	116	-	630	780	-	11070	833	72.2 × 71.4	8.1	19.5
16	-	44.9	164	-	-	969	578	701	-	22053	-	83.0 × 66.4	7.4	18.5
13	-	44.9	166	-	-	1192	491	595	-	35769	-	75.8 × 72.5	5.9	19.0

Φ100×200mm 試験体強度

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

解体時(材齢161日)における

- W/C=60%を基準とした時の圧縮強度比
- 同一コンクリートにおける引張強度/圧縮強度(%)
- W/C=60%を基準とした時の引張強度比

W/C (%)	W/C=60%を基準とした時の圧縮強度比	同一コンクリートの引張強度/圧縮強度(%)	W/C=60%を基準とした時の引張強度比
60	1.0	8.5	1.0
20	3.7	3.8	1.7
16	4.1	3.6	1.7
13	5.1	2.7	1.6

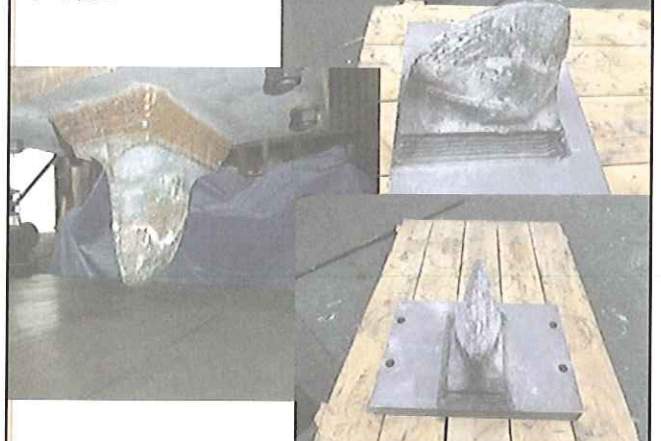
模擬梁試験体

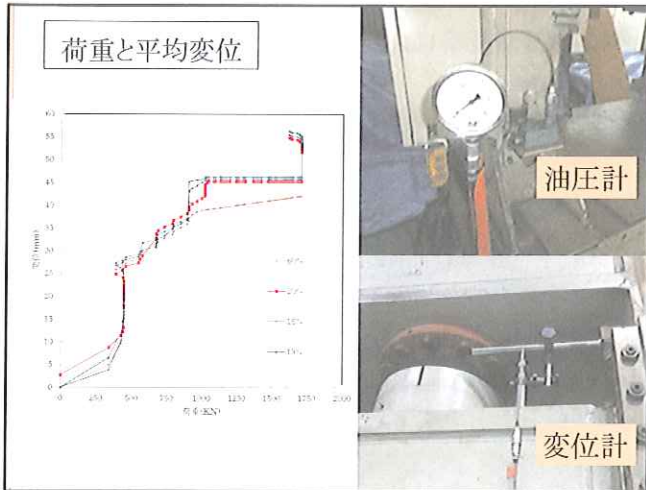


使用したプレス機(最大4000kN)



圧砕刃





最大圧砕荷重

W/C (%)	最大油圧 (MPa)	最大圧砕荷重 (kN)	W/C60%コンクリートに対する最大圧砕荷重比
60	30	1706	1.0
20	42	2395	1.4
16	40	2280	1.3
13	43	2452	1.4



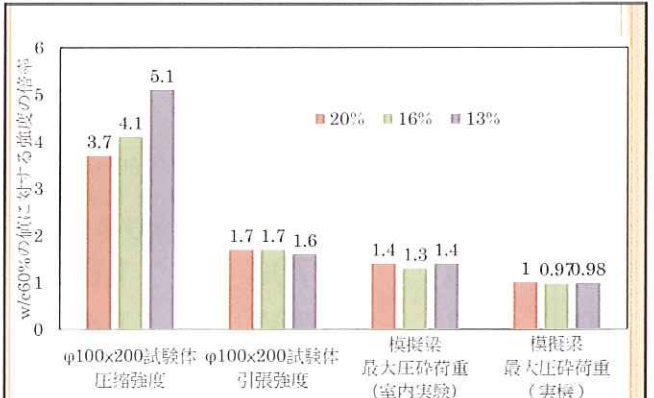
W/C13模擬梁でみられた力不足感
(何度もかんだ後の状況)



W/C13模擬梁において
一挙に圧砕が進んだ状況



W/C (%)	最大油圧 (MPa)	最大圧砕刃先端荷重 (kN)
60	30.0	780
20	30.0	780
16	29.0	754
13	29.5	767



W/C60模擬梁に対する各種強度の倍率

結論

現行の圧砕解体工法・技術で
超高強度コンクリート部材も
解体できる

これは圧砕解体工法が、圧縮力で壊すというよりも引張のメカニズムにより破壊させる工法だからである

→コンクリートは圧縮強度が大きくなっても引張強度の伸びは小さい

ただし

同じ位置ばかりをかんだのでは圧縮荷重という意味で力が不足→かみ位置を変えるなどの操作が必要→若干作業時間は延びるか？
(一般的なアタッチメントの操作の範囲か)

刃が入りにくく、刃がはねる現象がみられ、破壊された鋭利な破片はいきよい良く飛散
→破壊時の高音域の音もすごい

解体工事のモニタリング計測を通じた作業安全性向上に関する研究
—解体工事の実測データを用いた分析—

藤本郷史^{*1}

Satoshi Fujimoto

ABSTRACT

Building demolition process has been reported to mark the highest rate in industrial injury. The most major case in these accidents is un-intentional “falling-off” of building members (ex. external walls and columns). As a continuation research project from 2011, this report presents an on-site measurement data of multi-purpose sensor at demolition site and the analytical results to predict falling-off phenomena of demolishing building members. Elemental technology to calculate angularity of building members under oscillation disturbance has been proposed.

1. はじめに

建築物解体工事においては、外壁や物品の崩落・落下に起因する事故が懸念される状況にある。特に、都市部における中高層建築物は、外周部が外側に張り出している重心が外側にかかっているケースや、構造的に自立しないカーテンウォール等が用いられるケースが多いことから、崩落や落下の潜在的危険性が高いと指摘されており、万全の対策が求められる。各種の指針・文献¹⁾⁶⁾では、防護網の設置、先行撤去、サポートの設置などいくつかの項目が挙げられているが、これらの予防的な施工上の配慮に加えて、危険が生じそうな箇所における“警報”があれば、さらなる安全性の向上が期待できる。以上のような考えをもとに、申請者は、貴連合会 2011 年度助成の採択以降、建築解体途中の外壁等の“意図しない”転倒を検知する基礎技術の開発を行ってきた。ここでは、転倒検出手法自体の確立を目指すのではなく、その

前段階として、「転倒前後の振動特性の変化検出の可能性を模索する」ことを目的（前回申請書より引用）としており、意図しない転倒を検知するための技術的な要件を整理するとともに、加速度センサを中心として実験室レベルでの成果を報告した。さらに、以下のような課題点を報告していた。

- 1) “部材の傾き”検出が意図しない転倒の検知のために有用な情報となりうる。しかし解体工事の特性を考えると、加速度センサでの部材傾きの算定は困難度が高く、実用に向けて障壁がある。
- 2) 実際の解体工事現場における実測データが少なく、実用的な手法を提案できたとしても、その検証が困難である。したがって、解体工事現場におけるセンサ情報の実測とデータベースの整備が必要である。

※1 宇都宮大学 大学院工学研究科地球環境デザイン学専攻 講師・博士（工学）

2. システムの想定とセンサの選定

研究で最終目標としたシステムの解体工事における運用想定概要を図1、図2に示す。本研究では、RC建築物の地上躯体の解体工事における外壁転倒工法を対象とし、特に外周部の柱・外壁が転倒することによる労働災害・公衆災害の防止を目指している。そのための手段として、①転倒を予定するRC部材にセンサを設置し、②意図しない部材の転倒が発生しそうな場合には、無線通信で各作業員への警報発信を行うことを想定している。すなわち、このような対応の実現によって、作業員や通行人への通知、重機の迅速な応援等が実現することで、労働安全および公衆安全の増進を図る。

表1に解体工事で部材の振動特性を分析する場合の制約条件を示す。1) 建設工事の特性から考えて壊れにくく安価であること、2) 警報装置という想定から考えて、ある程度の応答速度が確保できること、といった項目が要件となる。一方で、解体工事では、部材の転倒を防止するという観点から、微小な傾きを検出できなくとも許容できると考えられる。以上の考察をもとに、MEMS式角速度センサを採用して、部材傾きを検出するための適切な補正方法について検討した。

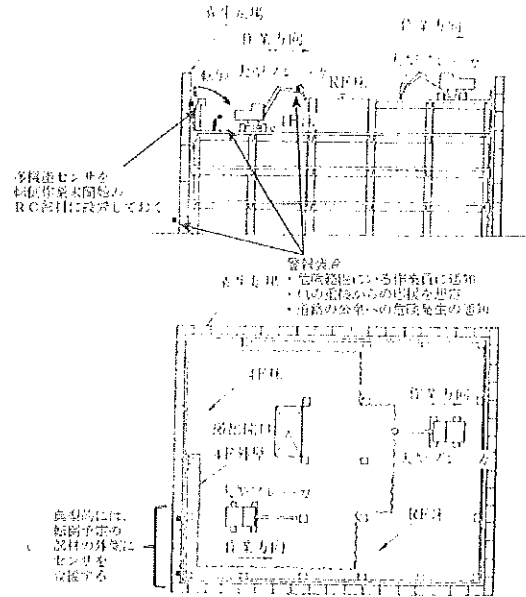


図1 最終目標とした想定システム

図1 最終目標とした想定システム

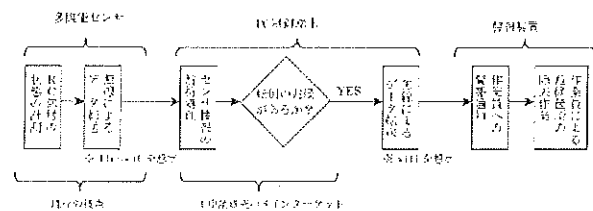


図2 システムの処理手順と検討対象

表1 解体工事に特有の制約条件 (2011 報告書より抜粋)

記号	制約条件と要求性能の分類	概要
R-1	システムの逐次的な変化	転倒(を予定する)部材を一つのシステム(系)として、システム同定を行おうとすると、以下のような変化が生じることによってシステム自体が変化することになり、同定が難しい。 ・剛性(断面の残存コンクリートや鉄筋断面や塑性化の有無、両サイドの鉄筋物性) ・減衰係数(断面の残存コンクリートや鉄筋断面や塑性化の有無、両サイドの鉄筋物性) ・質量(部材コンクリートを小割したり、脱落したりすることによる質量変化) したがって、このようなパラメータの経時的変化にロバストである必要がある。
R-2	大きく不確定でモデル化されていないノイズ源の存在	前述の建築構造分野では、特性がある程度既知な入力振動に対して解析を行う。しかし、RC解体工事では現地で発生する入力振動(ex.建設機械の振動)は、十分に調査・モデル化されている現状にない。また、仮に十分に調査しても、建設機械の接触や他の隣接する部材の解体作業に伴う振動など、法則化しにくい入力振動が予想される。したがって、このようなノイズに対してロバストである必要がある。
R-3	判定の即時性	本申請研究の最終目標とするシステムは、建設作業員への警報の発信を意図している。したがって、“転倒の兆候”は、振動の測定後、即時に行われる必要がある。システム同定の手法のいくつかは、中規模の行列計算を要求することになり、結果として、この即時性が失われる。
R-4	事故性の判別	本申請研究は「事故」の防止を目的としているが、技術自体は“部材の転倒の検出”を開発目標としている。ところが、解体工事自体が進捗すれば転倒は必ず行われるわけであり、“予期しない転倒”と“計画された転倒”を区別する必要がある。

3. 解体工事におけるセンサ計測の実施

3.1 センサの概要

本研究の实地計測では、センサA、Bの2種類を用いた。センサAは前回研究と同一であるので、センサBの概要を表2～4に示す。

3.2 センサの解体予定部材への設置方法

本研究では、“意図しない転倒”は、建物外部への転倒と仮定した。この仮定のもとに、センサは、建物外部側壁面に設置することとした。すなわち、工事が計画通りに行われた場合には、センサを転倒後に回収し、他の部材へ繰り返し設置・計測可能である。本計測においても、同一のセンサを繰り返し設置して計測をおこなっており、センサが破損することは無かった。このことから、本仮定については、实地実験を通じて妥当性を確認した。

解体工事では、粉塵防止のために散水されるのが一般的であるので、これらの散水からセンサ内部回路を防護することが必要である。また、屋外側にセンサを固定した場合であっても、解体しようとする部材の一部（コンクリート片など）が崩落し、場合によってはセンサに接触することも想定される。すなわち、センサやセンサ内部の電子回路をある程度の衝撃から防護することも必要である。以上の考察をもとに

- ・アクリル専用ケースを設計・作製し、センサを防護し、
- ・センサ専用ケースの外側に、防護用スタイルフォームケースを設置した。凹凸面専用両面テープで固定し、脱落を防止した。なお、コンクリート釘等での固定も可能なようにケースを設計した。

3.3 計測した建築物の概要

計測対象建築物（解体予定建築物）の概要を、表5に示す。計測は、貴連合会会員企業（謝辞に記載）にご協力いただいた。本計測では、階上解体工事を対象としているので、南棟の5F以上の工事を計測対象とした。計測に先立って、意匠図、構造図、工程表、支保工計画図、壁引き倒し要領図などの資料を提供いただいた。

表2 センサBの寸法・重量

外形寸法	37(W) × 46(H) × 12(D)
重量	22g

表3 センサBの仕様（通信関係）

無線送信	Bluetooth Ver2.0+EDR Class2
メモリ保存	512Mbyte(100Hzで約5.8時間)
有線接続	USBシリアル通信

表4 センサBの仕様（加速度・角速度）

名称	InvenSense MPU-6050
サンプリング	最大 1000Hz(1~255msec周期)
加速度レンジ	±2G/±4G/±8G/±16G
角速度レンジ	±250dps/±500dps/±1000dps/±2000dps

※その他、地磁気、気温気圧計測も可能

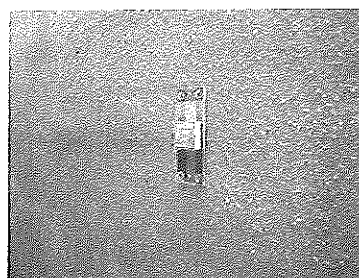


図3 センサの設置例と専用ケースの外観

表5 対象建築物の概要

構造	SRC造(7F) 8F+S 造 1F(9F) 地下 1F 塔屋 2F
工法	9F(塔屋含む)~5F 立上り壁まで階上重機解体 5FL 以下は地上重機解体

3.4 計測の結果と考察（補正無の場合）

複数回数の計測をおこなったが、ここでは計測・分析結果の一例を示す。図4に加速度計測結果の例を示す。2011年度報告（試験体レベルでの検討）で述べた通り、加速度値に着目した場合にも、その経時変化から転倒時を比較的容易に読み取ることが出来る。一方で、転倒に至るまでの傾斜等の部材の変化については、加速度値から読み取ることができない。2011年度報告では、加速度値の積分によって変位を算定する方法や、振動解析によって剛性を算定する方法とも試験体レベルですら適用が難しいことを報告した。ここには特に分析を示していないが、本計測結果も、試験体レベルと同様の傾向であり、変位の算定や振動解析による剛性に算出は難しいものと考えられる。

補正を行わずに部材の傾斜角度を算定した結果を図6に示す。実際の部材は、明らかに90度以上回転することはありえないにも関わらず、400度以上(1回転以上)回転したという計測結果となっている。すなわち、補正を行わずに角速度センサを部材傾斜角度の算定に用いることは不可能であるといえる。以上の分析を踏まえて、次章では、ドリフト等の誤差要因の補正方法について小型試験体を別途作成して実験的に検討した。

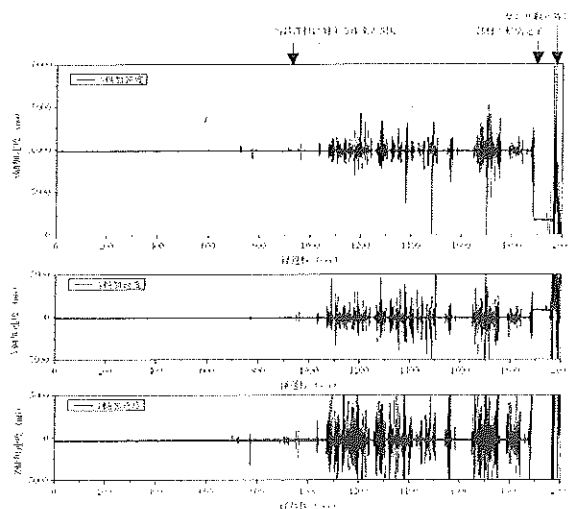


図4 加速度計測結果の例

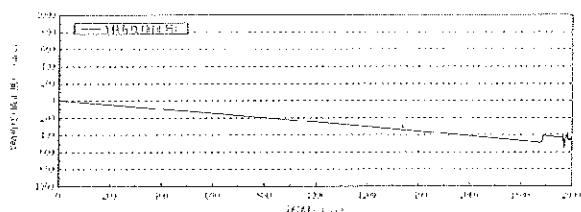


図5 傾斜角度の算定結果例
(角速度を補正せずに積分した例)

3.5 計測結果と考察(補正を行った場合)

補正方法の詳細については、次章に述べる。ここでは、次章以降で試みた補正方法の一つを適用した部材角度の適切な算定結果例を示す。

転倒後の部材傾斜角度を計測時に撮影した写真と比較すると、この傾斜角度は、ある程度正しく算定できていると思われるが、若干、値が小さい可能性がある。注目すべきことに、転

倒作業が開始してから、部材の脚部を圧砕する最中に、最大で4度ほど、建物外部側に傾斜したと算定された。この値については、A) 角速度のドリフト、加速度依存性に起因する計測誤差の可能性がある、B) 計測開始にすでに部材が内側に傾いていた可能性がある(実地計測では計測前に89度前後であった)などの影響を受けている可能性がある。しかしながら一方で、解体工事に元来つきまとう作業の危険性(部材脚部を内側からはつるので外側に傾斜しやすい)を定量的に示しているものとも読み取れ、本システムの有用性を検証する意味でも興味深い。仮に、(データが正しく実際に)外部側に傾斜しているものと考え、どの程度まで転倒作業時に傾斜が許容されるか(あるいは許容できないか)といった工学的指標と設計手段が求められるものと考えられる。

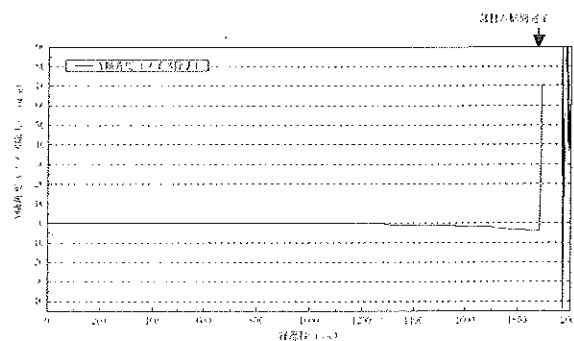


図6 傾斜角度の算定結果例
(角速度を補正して積分した例)

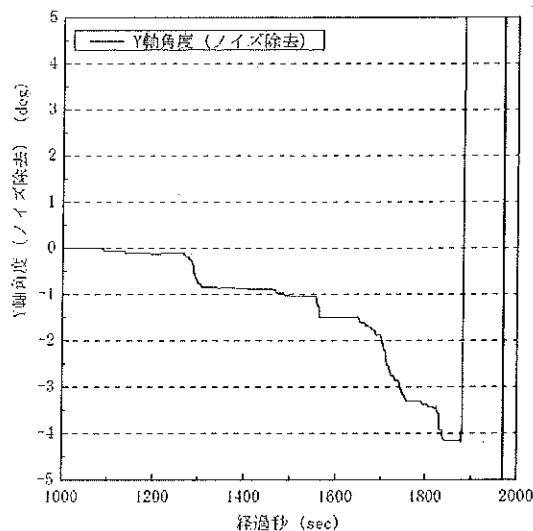


図7 傾斜角度の算定例(図6の拡大図)

4. 小型試験体を用いた補正方法の検討

4.1 実験の概要

理論的には角速度を積分すれば壁の傾斜角度は導出できる。しかし、MEMS 式は安価で壊れにくいという解体工事計測に適した特性を持つ半面、ドリフトや衝撃時の誤差が大きいことが知られている。そこで、以下の手順で壁傾斜角度の導出方法開発を行った。

- ・ 実験 A: 静止状態や指定角移動といった単純な動作下における計測を行い、誤差の補正方法を提案した。
- ・ 実験 B: ランダム振動を伴う壁傾斜試験を行って、上記 A で提案した誤差補正方法の有効性を検証した

4.2 実験の結果と考察

静止状態におけるセンサ出力の積分値の経時変化(実験 A-⑤)を図 10 に示す。角度には、ずれ現象(ドリフト)が観察された。複数回の実験からドリフトは時間を説明変数とする線形関数で近似できることを見出した。ただし、傾きにはセンサ個体差があり、計測ごとにも異なった。ここで、計測ごとの誤差は計測時刻が十分に近い場合には同一と仮定すると、式(1)によってドリフト誤差が除去できる。図 11 にこの方法によるドリフト補正の結果を示す。いずれの実験でも画像角度との一致の度合いが高まっており、傾斜角度の算定精度が向上したと判断できる。図 12 に提案システムの利用想定手順を示す。解体工事では、部材へのセンサ設置後に必ず静止した状態を確保できる。したがって、式(1)に示すドリフト補正手法は、実際の解体工事に適用可能といえる。

$$\theta_{corr}(t) = \int_0^t \omega dt - C_D t \quad (1)$$

ただし、 $\theta_{corr}(t)$:時刻 t におけるドリフト補正後傾斜角度、 C_D :時間当たりドリフト($^{\circ}/sec$)、 ω :センサの角速度出力(dps)

4.3 加速度に起因する補正方法の提案

ドリフト補正後の誤差とセンサの z 軸方向

表 6 実験 A の因子と水準

因子	水準	
傾斜角度 $\theta [^{\circ}]$ の移動パターン	指定角 $\theta [^{\circ}]$ (10 回繰り返し)	①0→30→60→30→0
	※1 秒ごとに移動	②0→15→0
	Random	③0→15→0/0→-15(11 回目)
	静止	④random($0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 付近)
		⑤ 0° (30 分放置)

実験 B の因子と水準

移動パターン	水準
傾斜角度 $\theta [^{\circ}]$	Random(手動)
傾き $\phi [^{\circ}]$	+方向に大変化、-方向に大変化 +方向に小変化、-方向に小変化※図 4 参照

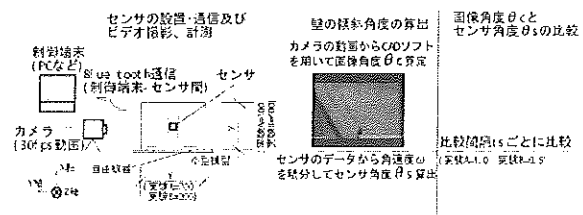


図 8 実験の概要と手順

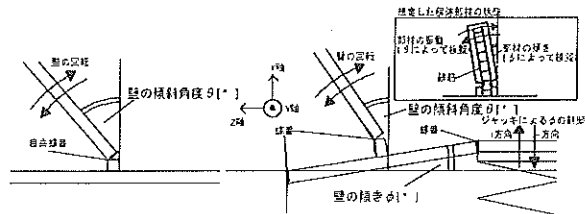


図 9 試験体の概要

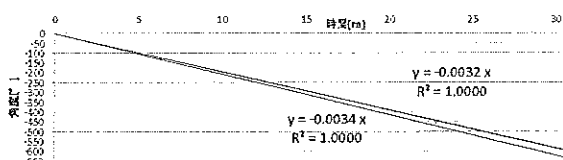


図 10 静止状態で算定された角度の例

加速度の関係を 図 13(左)に示す。z 軸方向加速度と同時刻の角度誤差には概ね線形関係が観察された($R^2=0.61$)。そこで式(2)による加速度補正手法を提案した。図 13(右)にこの手法による実験 A の補正結果を示す。ここでは誤差が減少しており精度が向上したと評価できる。しかし、本稿には示していないが、現実の解体工事を想定した実験 B では誤差の低下は観察されなかった。したがって、加速度補正方法については、更なる検討が必要である。

$$\theta_{corr2}(t) = \theta_{corr}(t) - C_A \alpha \quad (2)$$

ただし、 $\theta_{corr2}(t)$:時刻tにおける加速度補正後傾斜角度、 C_A :加速度当たり誤差[°/G]、 α :センサの加速度出力[G]とする。

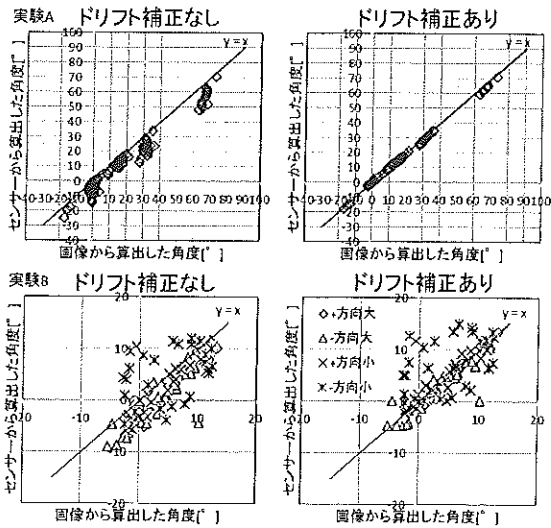


図 1.1 ドリフト補正の有無による比較

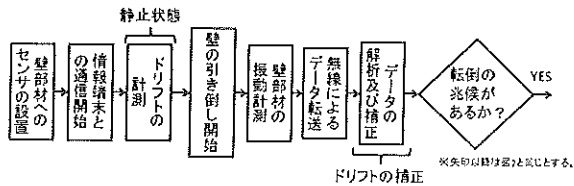


図 1.2 解体工事の手順と補正の関係

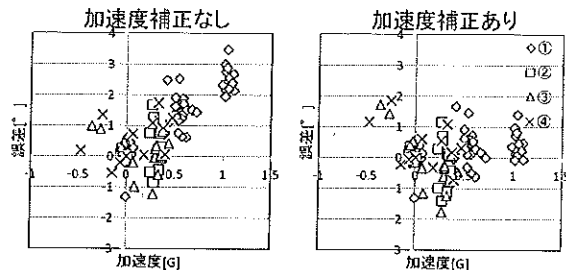


図 1.3 加速度補正の有無による比較

5. まとめと今後の課題

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- ・ 2011 年度研究の成果をもとに、角速度センサを採用し、実際の解体工事の部材傾斜角度の算定を試みた。その結果、傾斜角度の算定および実地に即した補正方法に見込みを得た。
- ・ 上記の実地計測における角速度計測値の

傾向を踏まえて、ドリフトおよび加速度依存性についての角速度補正方法を検討した。線形な補正によってある程度の精度を確保できることを確認した。

本研究には、課題が山積している。例えば、「意図しない転倒」を判定するための基準やその妥当性が議論できていないが、これは、本質的には、RC 解体工事における知見やデータ自体が不足しているためである。これらの課題を解決するために、今後の継続した実地試験の実施を希望している。

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(社)全国解体工事業団体連合会の関係各位には改めて感謝申し上げます。実験の実施にあたっては、宇都宮大学 2013 年度学部学生 佐藤卓志君の協力を得た。現場計測にあたっては、貴連合会会員企業 三同建設(株)の関係各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物等の解体工事施工指針(案)同解説,p146, 解説図 4.6. 3, 日本建築学会, 1998
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築物解体工事共通仕様書・同解説 平成 18 年度版, p. 90, 社団法人 公共建築協会, 2006
- 3) まるごと「解体工事」NOW, pp107-190, 建築技術, 2011
- 4) 解体工法研究会：新・解体工法と積算, 2003
- 5) 建設業労働災害防止協会：コンクリート工作物解体工事の作業指針, 2010
- 6) 建築研究所(監修)：建築設備耐震設計・施工指針, 2005
- 7) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領,2003
- 8) 桐田 史生, 金澤 健司, 森清 宣貴, 北村 春幸: 建築物の地震損傷検知のための適応回帰型システム同定, 日本建築学会構造系論文集 (619), 65-72, 2007.09
- 9) (独) 土木研究所: 建設工事の振動測定要領(案) 平成 19 年度, http://www.pwri.go.jp/team/advanced/download_page.html
- 10) 門屋真希子, 末岡伸一: 建設作業振動の実態調査結果(その2), pp41-47, 東京都環境科学研究所年報, 2009