

平成 25 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 25 年 8 月 2 日（金） 13 : 30 ~

会 場 鉄鋼会館（811 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]

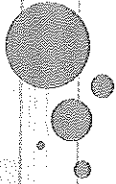
— 趣 旨 —

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24年度の解体工事に係る研究助成金制度を活用した研究者の当該研究報告書に基づいて作成されたものである。

— 目 次 —

No.	研究テーマ	
	研究代表者 研究協力者	所 属
1	・高強度・超高強度コンクリートの品質と解体負荷に関する研究	
	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部建築工学科教授
2	・名古屋市立大学薬学部講義・図書・厚生棟および北千種体育館の解体工事にともなう実験的研究	
	青 木 孝 義 湯 浅 昇 南 谷 崇 文	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 東邦ガス株式会社
3	・改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材のコンクリート用骨材への適用性に関する基礎的研究	
	大 塚 秀 三 澤 本 武 博 斉 藤 丈 士	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 技能工芸学部建設学科准教授 日本大学 生物資源科学部生物環境工学科助教
4	・アスベスト含有建材媒分析研究	
	中 垣 浩 二	一般社団法人 京都府建物解体協会理事長
5	・鉄筋コンクリート構造物の合理的な複合型解体工法の開発に関する研究	
	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
6	・解体工事の転倒工法における部材の大きさと縁切り部の有無が転倒荷重に及ぼす影響	
	中 田 善 久	日本大学 理工学部建築学科教授

高強度・超高強度コンクリートの品質と解体負荷に関する研究



平成25年8月2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。

しかしながら、こうした高強度・超高強度化の流れは、ゼネコンが主体となって進めているものであり、建設技術の開発・進歩として画期的なものであるものの、それを解体する時のことは全く検討されておらず、現在の技術では解体は困難であるとみられている。

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が、本年度は、2年目として、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。

昨年度報告した実験は

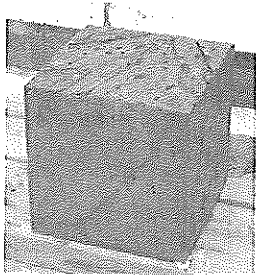


写真 150×150×150mm立方体供試体

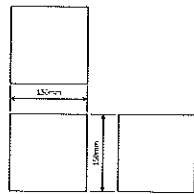


図 150×150×150mm立方体供試体寸法

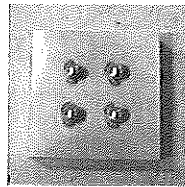


写真 四点半球加圧板

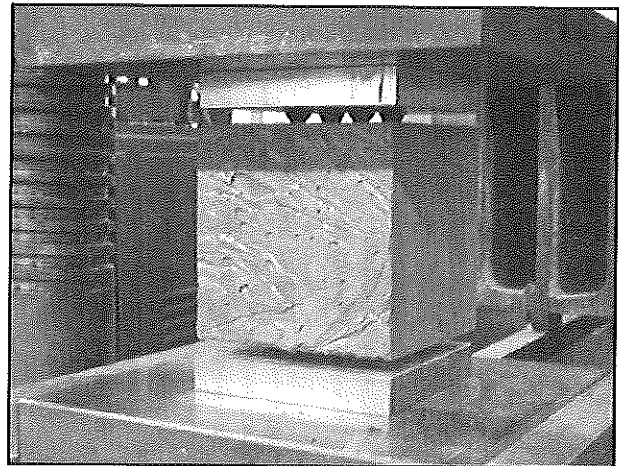
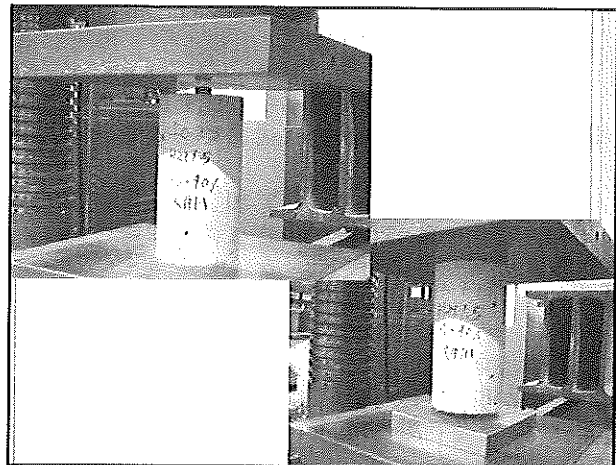


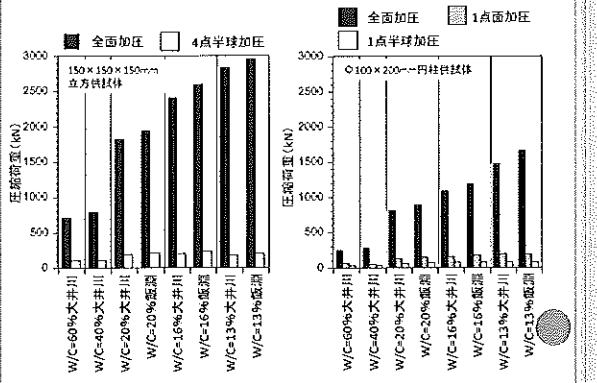
写真 100×200mm円柱供試体

写真 一点荷加圧板

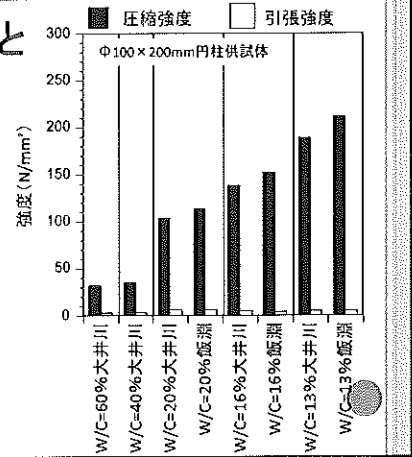
写真 四点半球加圧板



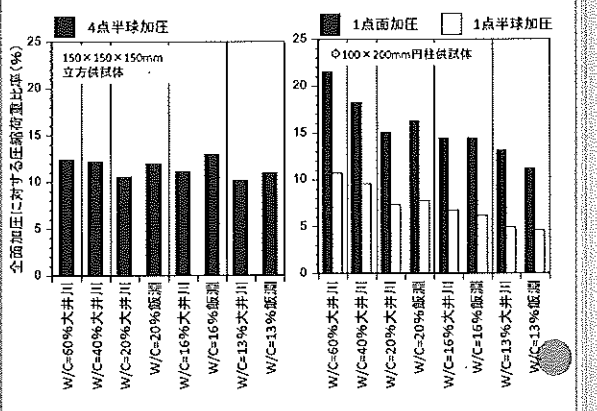
加圧方法と圧縮荷重の関係



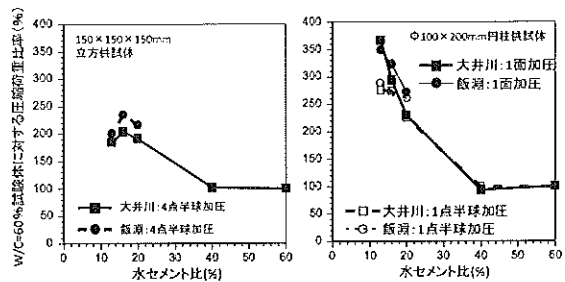
圧縮強度と引張強度



加圧方法と加圧荷重比率の関係



水セメント比60%試験体に対する比率

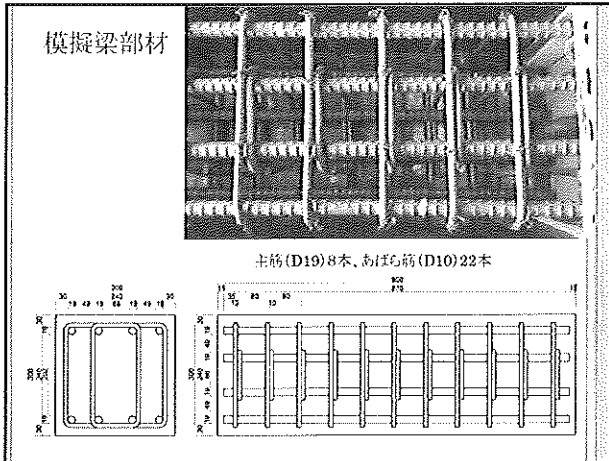


昨年度のまとめ

- (1) 全面に圧縮をする場合に比し、点で加重すると、通常より小さな荷重で破壊できる。
- (2) 小さな点として、面で加重する場合に比し、球で加重する方が小さな荷重で破壊できる。
- (3) 一般的なコンクリート (W/C=60%) に対し 超高強度域のコンクリート (W/C=20%以下) の圧縮強度が6~7倍であっても点加重同士の比率は2倍程度であった。

平成24年度は

- ・ 模擬部材レベルで実験を行う
- ・ 現在流通している圧碎刃を用いて実験する



強度レベルの異なるコンクリート2種類

配合表

W/C (%)	シリカフェーム配合率 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m³)	絶対容積 (l/m³)				質量 (kg/m³)				化学混和剤 (g/m³)		
					セメント	シリカフェーム	粗骨材	細骨材	セメント	シリカフェーム	粗骨材	細骨材	No.70	ssp104	303A
60	-	25	43.5	185	58	-	232	380	303	-	765	1011	770	-	2009
20	15	20	44.9	155	203	57	240	234	659	116	630	780	-	11070	833

フレッシュコンクリート

W/C (%)	スラブ値 (cm)	スラブフロー値 (cm)	空気量 (%)	練り温 (°C)
60	19.9	-	4.1	21.0
20	-	41.2×33.5	8.5	24.8

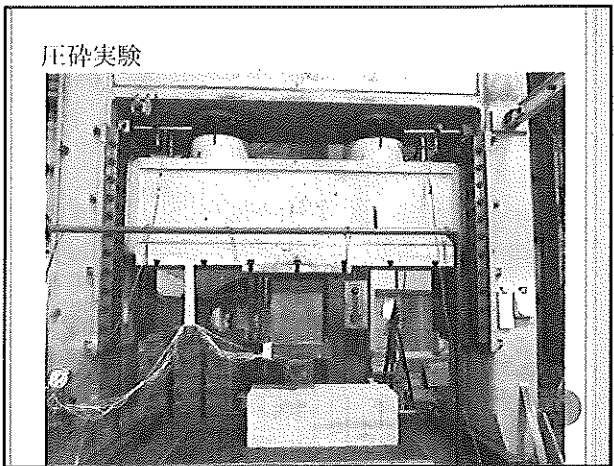
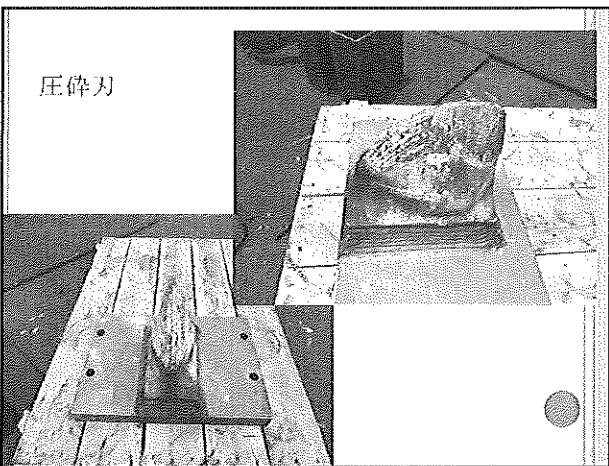
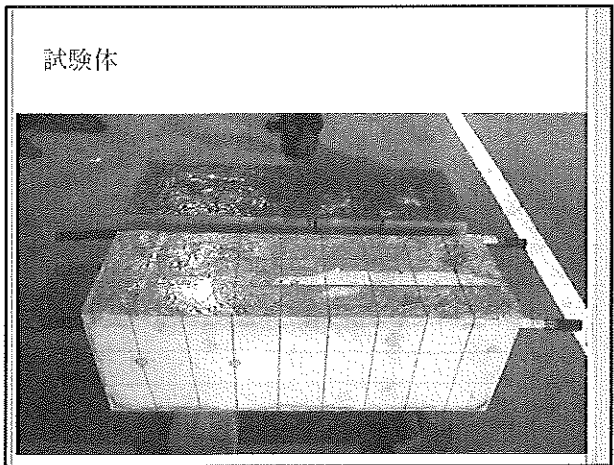
Φ100mm円柱供試体の強度

圧縮強度

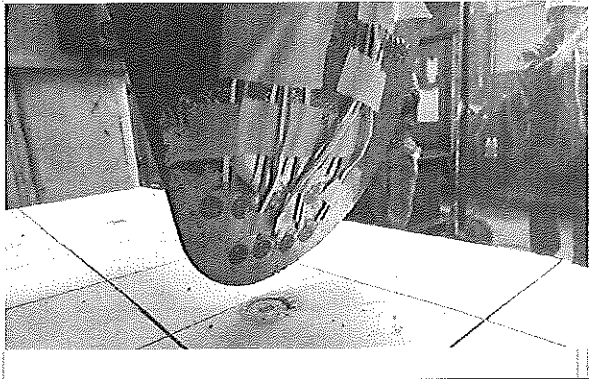
W/C (%)	材料7日		材料28日		材料63日	
	圧縮強度 (N/mm²)	平均圧縮強度 (N/mm²)	圧縮強度 (N/mm²)	平均圧縮強度 (N/mm²)	圧縮強度 (N/mm²)	平均圧縮強度 (N/mm²)
60%	20.9	23.9	31.7	29.8	35.2	35.1
	28.0		32.4		33.8	
	22.7		25.2		36.4	
20%	103.8	162.7	119.7	105.8	129.6	134.6
	97.8		104.3		140.1	
	108.2		59.4		134.0	

引張強度

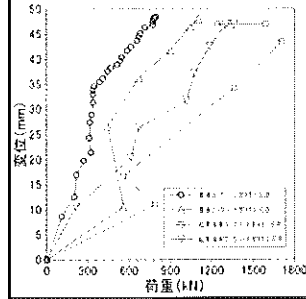
W/C (%)	材料7日		材料28日		材料63日	
	引張強度 (N/mm²)	平均引張強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	平均引張強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	平均引張強度 (N/mm²)
60%	2.31	2.50	2.23	2.63	2.50	2.55
	1.91		3.57		2.57	
	2.63		2.87		2.62	
20%	4.14	4.66	4.10	5.50	5.73	5.78
	5.35		6.03		6.19	
	4.20		6.21		5.14	



刀と試験体



荷重と平均変位

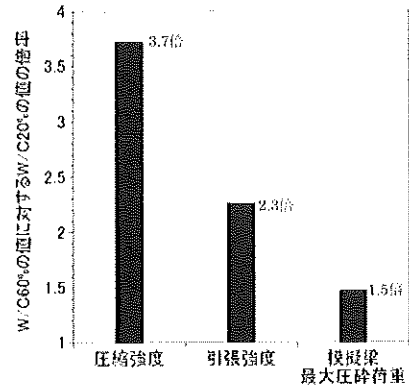


最大圧砕荷重

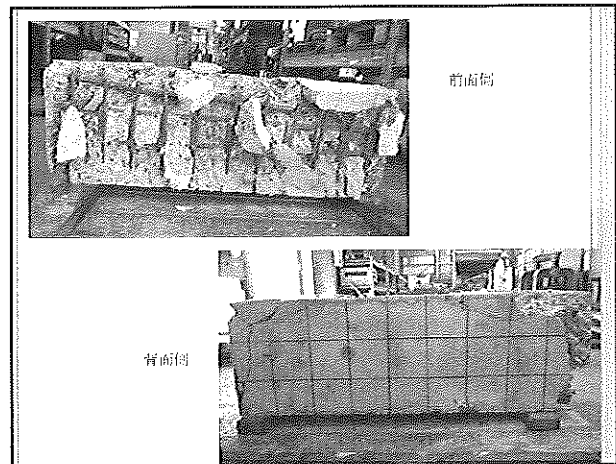
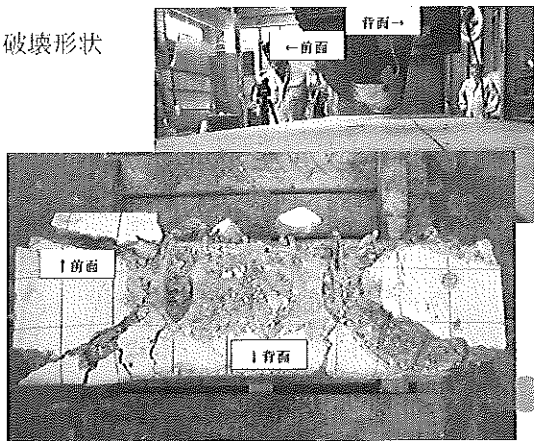
W/(%)	回数	最大油圧 (MPa)	最大圧砕荷重 (kN)	平均最大圧砕荷重 (kN)
60%	1	28.0	1590	1590
	2	28.0	1590	
20%	1	44.0	2508	2336
	2	38.0	2164	

1.5倍程度

破壊倍率



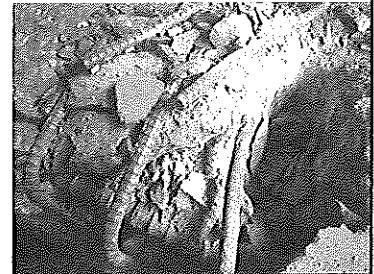
破壊形状



本実験研究の総括

- (1) 現行の圧砕方法は、圧縮強度の倍率に比し、小さな荷重で高強度コンクリート部材を圧砕できることがわかった。
- (2) 強度レベルがあがると、荷重に対して刃の食い込み量が小さくなることがわかった。
- (3) 超高強度により、ひび割れは小さいが本数が多く生じ、破壊された破片は普通コンクリートの破片と比べて鋭利なものとなった。
- (4) 超高強度コンクリート部材の方が、コンクリートと圧砕刃が擦れる音や爆裂音などの騒音が大きく、コンクリートの飛散も見られた。

本実験の問題点



名古屋市立大学薬学部講義・図書・厚生棟および北千種体育館の 解体工事にともなう実験的研究

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
東邦ガス株式会社 南谷 崇文

1. はじめに

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、耐震診断した結果不適格とされたものは補強や解体が必要となる。このように、補強工事や解体工事の需要が増える中で、全産業における死者数は減少しているものの、解体工事業の死亡者数は、平成14年の49人をピークに、その後は増減を繰り返している。ただし、40人以上の死亡者が平成17年、18年、20年に見られ、また、平成20年には建築業の死亡者数に占める解体工事の割合が9.7%であり、解体工事業の死者数は実質的には減少傾向にいたっていないのが実情である¹⁾。解体工事における事故の背景には、経験則に任せた作業手順の判断が行われていること、施工計画書の作成において工学的な根拠が乏しいこと、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、建築基準法のような明確な基準も整備されていない。そのため、解体工事中における安全性の確保が必要不可欠である。

しかし、建築物解体に関する既往の研究には、環境や資源問題を考慮した解体材の再利用や、解体時の騒音に関する研究があり、また解体工事における基礎的データの収集と考察に関する研究は多数あるものの、解体の安全性に関する数値的な検証や計算方法の確立に関する研究はほとんど行われていない。

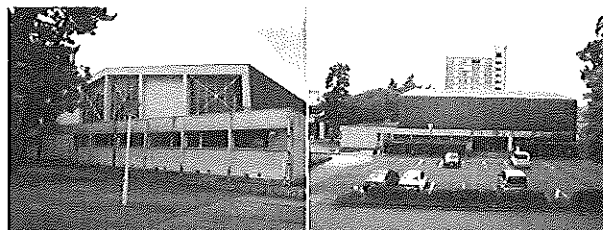
以上を背景に、本研究では、解体工事中における建築物の振動測定から、地上解体における解体中の建築物の挙動を明らかにするとともに、その安全性評価方法の確立を最終目

的としている。また、階上解体におけるサポート軸力の変化について考察を行う。

2. 地上解体工法

2.1 建物概要と解体工事概要

名古屋市立大学北千種体育館(写真1, 図1, 図2)は、1970年(昭和45年)に竣工した鉄骨造(一部鉄筋コンクリート造)である。建築面積は1310.34 m², 延床面積1363.26 m²で、建物の桁行(X)方向40.88 m(6スパン)はラーメン構造, 梁間(Y)方向29.0 m(3スパン)はラーメン構造である。老朽化により、2011年に解体工事が開始された。



(a) 南面

(b) 東面

写真1 名古屋市立大学北千種体育館

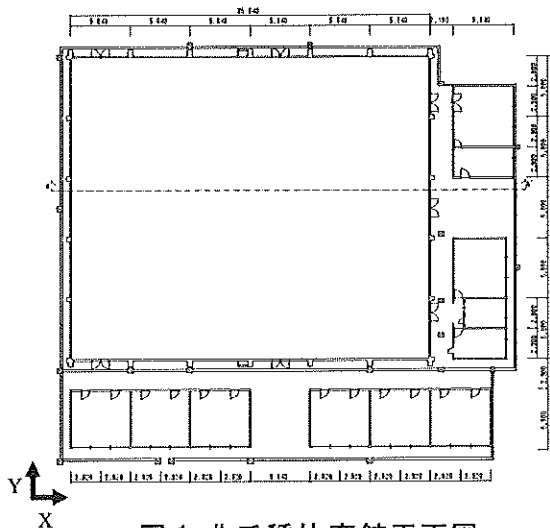
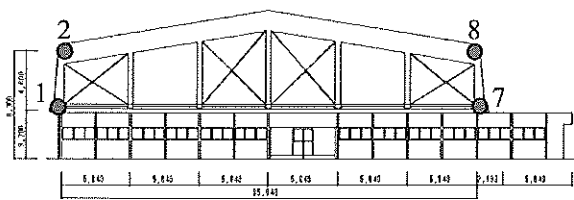
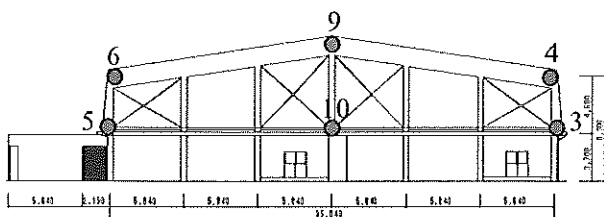


図1 北千種体育館平面図



(a) 北千種体育館南立面図：測定位置



(b) 北千種体育館北立面図：測定位置

図2 加速度センサー・ひずみゲージ設置位置



写真2 加速度センサー・ひずみゲージ設置状況

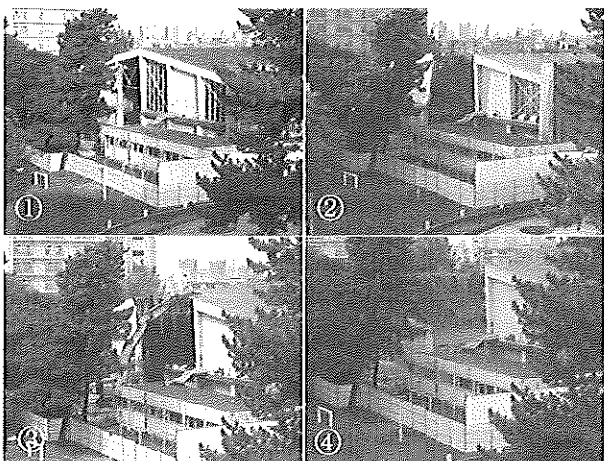


写真3 北千種体育館解体工事の様子

解体工事中の建物振動および鉄骨部材のひずみ計測を行なった。加速度センサー設置位置およびひずみゲージ貼付位置を図2に示す。なお、解体工法は圧砕工法である²⁾。また、加速度センサーとひずみゲージ設置状況を写

真2に示す。なお、部材のひずみゲージ貼付箇所は加速度測定位置と同位置である。名古屋市立大学北千種体育館の解体工事の様子を写真3に示す。

2. 2 有限要素法による解析

有限要素解析モデル(図3)は、汎用ソフトのFemap with NX Nastranを用いて作成した。構造解析に用いた材料定数は、鉄骨の静弾性係数 $2.0 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 、せん断弾性率 $8.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 、ポアソン比0.25、質量密度 7870kg/m^3 である。解析モデルの節点数と要素数は、それぞれ30,857と35,121である。

常時微動測定結果から得られた固有振動数と固有モードを用いて解析モデルを修正し、シミュレーションを行う。測定結果、モデル修正前および修正後の解析結果の固有振動数を表1に示す。

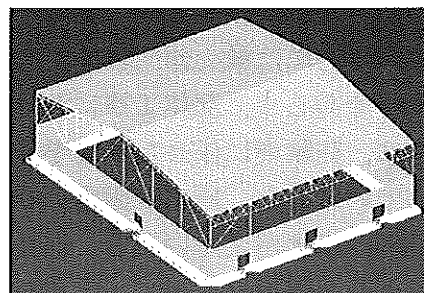


図3 北千種体育館有限要素解析モデル

表1 常時微動測定結果とモデル修正前・修正後の固有振動数[Hz]

固有振動数	測定結果	修正前	修正後
1次モード	5.00	4.82	5.00
2次モード	5.47	5.73	5.47
3次モード	9.06	8.63	9.06

2. 3 解体作業手順の検証

修正した解析モデルを用いて、実際に行われた解体作業手順の検証を行う。解体工事では、屋根の中央部から取り壊し始めた。本稿では、屋根の中央部の取り壊しが終了した時のモデルを使用し、解体工事手順の検証を行

う。図4に屋根中央部の取り壊しが終了した時の解析結果を示す。屋根の自重のみで、屋根は大きく変形し、最大変位は、27.0mmとなった。屋根取り壊し時の最大加速度の測定結果は、測定箇所2であり、約 10m/s^2 となった(図5)。

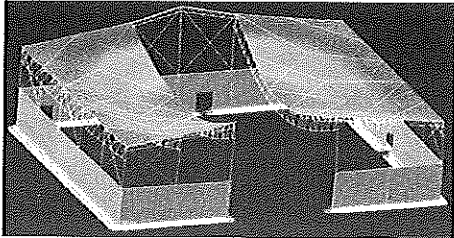


図4 解体途中の解析結果

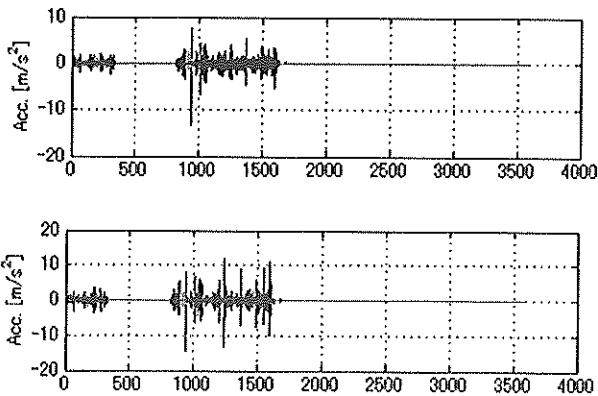
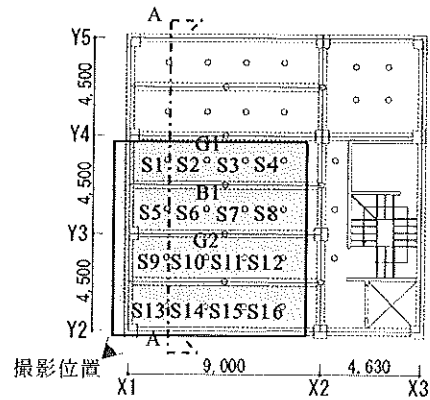


図5 解体途中の加速度

3. 階上解体工法

3. 1 建物概要および実験計画

Zビル(1975年竣工, RC造, 7階建)の対象スラブの平面図, 断面図およびサポートの測定箇所を図6, 7に示す。測定箇所は, 図6に示す6階のX1-X2通り, Y2-Y4通りの範囲 $9,000 \times 9,000\text{mm}$ 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。ひずみの貼付は, 6階解体時から行った。表2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。測定器は, デジタル動ひずみ測定器(T社製: DRA-101C)を用い, ひずみの測定は, 対辺2ゲージ法3線式により0.01秒間隔で実施した。サポートのひずみゲージ貼付位置を図8に示す。



(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)

図6 6階平面図および測定箇所

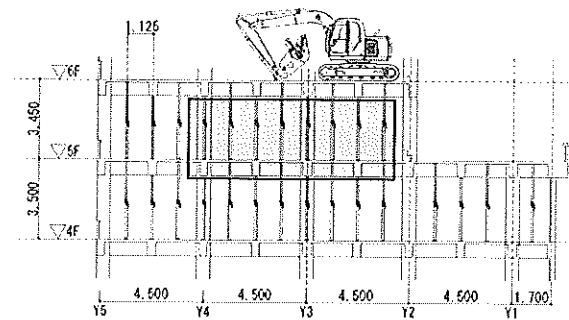


図7 6, 5階のA-A断面図

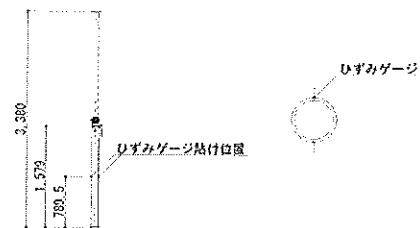
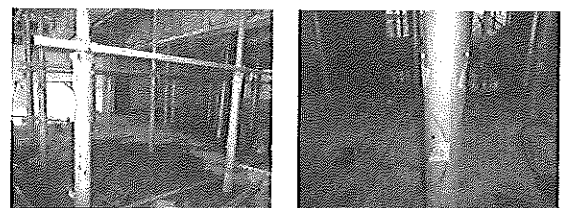
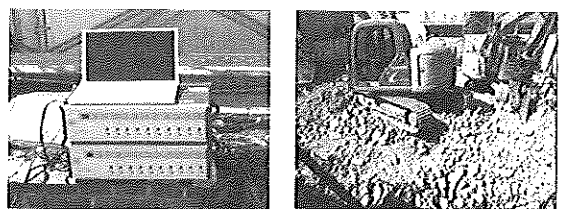


図8 サポートのひずみゲージ貼付位置



(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4 測定器の設置状況および測定前状況

表 2 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

3. 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6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4に示す。

3. 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3に示す。

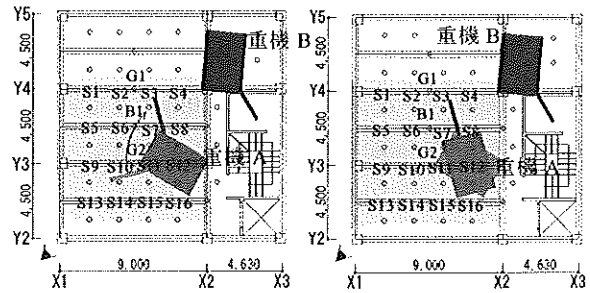
S14 は、ひずみゲージの設置が行えなかったため、データが取得できなかった。また、S15, G1 および G2 は、ひずみの測定データに乱れが出ていたため、結果の考察には使用しなかった。表4に重機稼働状況の時刻を示す。以下、図9に示す重機の稼働状況によるサポート軸力の変化を考察する。

表 3 重機の重量

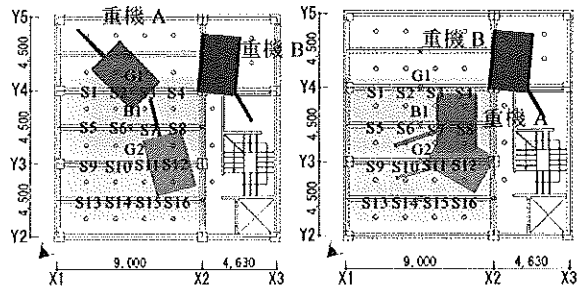
	重機 A	重機 B
重機重量[kN]	169.9	173.8

表 4 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

図 9 重機の稼働状況

3. 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のアームが離れ、図9①に示すように重機 A のアームが4秒間で回転した。重機のアーム回転前後のサポート軸力の差を図10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。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3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 3 の計算にサポートの周辺の柱・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。

3. 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

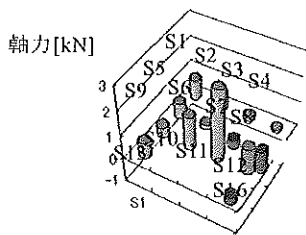
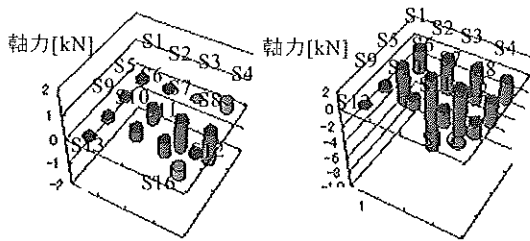
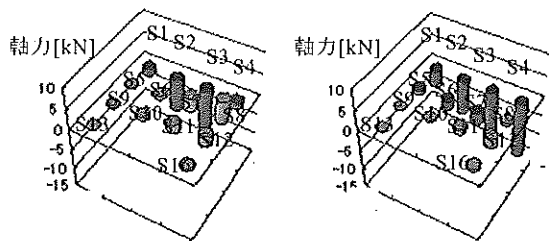


図 10 アームの回転前後の軸力の差



(a) 回転前後 (b) 回転前と衝撃時

図 11 キャタピラー回転後の軸力の差



(a) 移動前後 (b) 移動前と移動中

図 12 重機の移動前後・移動中の軸力の差

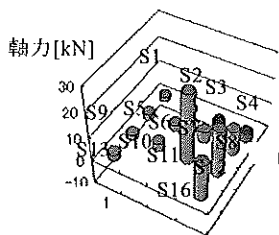


図 13 ガラ撤去作業前後の軸力の差

ら、図 9②に示すように重機のキャタピラーが 4 秒間かけて回転した。重機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 11 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、重機重量の 32%に相当する。参考文献 3 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 3 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。

3. 3. 3 重機の移動によるサポート軸力の変化

キャタピラーの回転後、図 9③に示すように重機 A が 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 12 に示す。重機の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。重機の移動により、上部に重機重量を受けなくなった S8 は、重機重量の 3.3%である 5.33kN 抜けている。重機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。

3. 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に示すように移動している。重機のガラ撤去作業前後の軸力の差を図 13 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/m² 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/m² 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%⁴⁾ であり、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 3 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。

4. まとめ

地上解体工法では、モデル・アップデートイングにより修正された解析モデルによるシミュレーションにより、建築物の解体工事手順の検証を行った。また、階上解体工法では、実験結果から求められた重機稼働状況によるサポート軸力と参考文献 3 の計算結果の比較を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) モデル・アップデートイングにより修正された解析モデルを用いれば、解体作業手順の検討を行うことが可能である。
- 2) 参考文献 3 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。
- 3) 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 3 の衝撃荷重の安全率は過小であると考えられる。
- 4) 測定値から得られたガラ重量は、1.00kN/m² であり、参考文献 3 と近い値となった。

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

名古屋市立大学薬学部研究棟、校舎および講義棟、北千種体育館の解体工事の実験では、清水建設株式会社名古屋支店建築部工事長の寺西彰氏、株式会社田中荘介商店常務取締役の上林正和氏、工務部係長の岡大輔氏、北千種体育館の解体工事の実験では、株式会社竹中工務店名古屋支店作業所長の久世尚之氏、同工事担当の竹島照貴氏、株式会社オサダ工事部の明山隆司氏、階上解体の実験では、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、株式会社大林組(実験当時名古屋市立大学大学院生)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) 山田知広：Ⅱ 解体工事業と解体工事の実情 3. 事故災害，特集まるごと「解体工事」NOW，p.121，2011.7
- 2) 佐藤稔，喜多泰文：Ⅲ 解体工法の種類 4. 解体工法とコスト，特集まるごと「解体工事」NOW，p.133，2011.7
- 3) 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
- 4) 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

本研究助成に関する業績

- 1) 南谷崇文，青木孝義，湯浅昇：解体工事における建築物の安全性評価に関する研究 その 1 予備調査，日本建築学会大会学術梗概集(東海)，pp.1201-1202，2012
- 2) 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—解体工事時に解体要重機が床版サポートに与える影響—，日本建築学会支部研究報告集，第 51 号，pp.105-108，2013

改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材のコンクリート用骨材への適用性に関する基礎的研究

○赤谷樹一郎*¹ 大塚秀三*²
澤本武博*² 斉藤丈士*³

高品質再生骨材 改良型旋回磨砕板法 スランプ
空気量 圧縮強度 静弾性係数

1. はじめに

再生骨材およびこれを用いたコンクリートの研究は、1973年のオイルショックを機に、資源枯渇化への配慮として始まった¹⁾。その後、再生骨材の品質および使用については、いくつかの品質基準・使用基準、例えば「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」²⁾や「建築構造用再生骨材認定基準」³⁾が制定され、2003年にはJASS 5において規定されるに至った。これを契機として2005年以降に高品質再生骨材(JIS A 5021:2005)、低品質再生骨材および中品質再生骨材を用いたコンクリートがそれぞれJIS化(JIS A 5022:2007・JIS A 5023:2006)された。

再生骨材の製造方法⁴⁾には、加熱すりもみ法、偏心ロータ法、スクリー磨砕法、旋回磨砕板法および比重選別法がある。これらによって製造された再生骨材は、普通骨材と同程度の品質を有するものとされる。しかしながら、再生骨材の製造に際して膨大なエネルギーを使用するため二酸化炭素の排出量が増大すること、製造された再生骨材のリサイクル率が低いこと、普通骨材に比べ製造コストが高いことなどの問題がある¹⁾。

本研究は、旋回磨砕板法を改良した方法(以下、改良型旋回磨砕板法と称す)により製造された高品質再生骨材を対象にコンクリート用骨材への適用性を明らかにすることを目的とする。ここでは、基礎的段階として、該当JISに照らした高品質再生骨材の品質変動、高品質再生骨材の置換率の違いがフレッシュコンクリートの性状、圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響について報告する。

2. 改良型旋回磨砕板法の概要

従来の旋回磨砕板法⁴⁾は、ドラム本体を仕切り板で区切り、磨砕媒体として鋼球を装填し、仕切り板を回転させることでコンクリート塊を磨砕する特長を有し、高品質再生粗骨材(以下、RHGと称す)を20t/h程度製造する能力がある。これにより、磨砕媒体に使用している鋼球が仕切り板の摩耗を早め、生産効率が低下する一因となっていた。

旋回磨砕板法に対して、改良型旋回磨砕板法は、図1に示すように鉄球を用いず固定仕切り板と旋回磨砕板の拘束力によって磨砕を行うため固定仕切り板の摩耗が抑制でき、40t/h程度の製造能力まで向上できる。さらに改良型旋回磨砕板法は、高品質再生細骨材(以下、RHSと称す)も製造できるようになった。また、湿式加工であるため骨材に付着する微粒分を大幅に低減できる特長を有する。

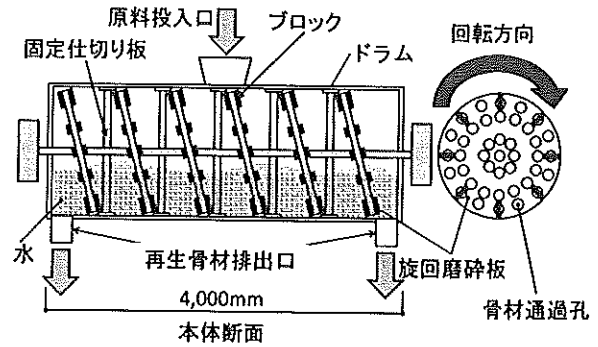


図1 改良型旋回磨砕板法の概念図

3. 実験の構成

本実験は、以下の2つのシリーズで構成する。

シリーズI：改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材の品質変動

改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材の月間の品質変動がJIS A 5021に定められる規格を満足しているか確認する。

シリーズII：改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状および力学的特性

高品質再生骨材の置換率の違いがフレッシュコンクリートの性状、コンクリートの圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響を確認する。

4. 改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材の品質変動(シリーズI)

4.1 試験項目および方法

試験項目は、改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材の物理的性質を明らかにするため、骨材のふるい分け試験、骨材の微粒分量試験、骨材の単位容積質量および実積率試験、骨材の密度および吸水率試験を行った。試験方法は、JIS規格に準拠して行った。

4.2 結果および考察

高品質再生骨材の月間の品質変動を図2に示す。

(1) 粒度分布および粗粒率

RHSおよびRHGは、JIS A 5005の粒度分布の規格を満足するものだった。また、同様に粗粒率も規格を満足していた。

(2) 微粒分量

RHSおよび原骨材の微粒分量を比較するとRHSの方が大きくなった。RHGおよび原骨材の微粒分量は概ね同等であった。これは、改良型旋回磨砕板法が湿式加工であるため骨材に付着する微粒分を大幅に低減したと考えられる。微粒分量は、RHSおよびRHGともにJIS A 5005の

規格を満足するものだった。

(3) 粒形判定実績率

RHS および RHG と各原骨材の粒形判定実績率を比較すると RHS および RHG の方が、大きくなった。これは、磨砕により骨材の角が削れたことにより粒径が丸くなったものと考えられる。粒形判定実績率は、RHS・RHG とともに JIS A 5005 の規格を常に満足するものだった。

(4) 再生細骨材の絶乾密度および吸水率

RHS と原細骨材の絶乾密度を比較すると、RHS の方が大きくなった。また、吸水率では、RHS の方が小さくなった。RHS は、常に JIS A 5005 の規格を満足するものだった。吸水率では、JASS 5 で定められている細骨材の品質⁵⁾の値の半分程度となった。

(5) 再生粗骨材の絶乾密度および吸水率

RHG と原粗骨材の絶乾密度を比較すると RHG の方が小さくなった。また、吸水率では RHG の方が大きくなった。RHG は、常に JIS A 5005 の規格を満足するものだった。再生細骨材と同様に吸水率は、JASS 5 で定められている粗骨材の品質⁵⁾の値の半分程度となった。

すべての試験項目において各月において若干の変動はみられるものの、平均値±3σの範囲内に収まったことから大きなばらつきがないものといえる。

5. 改良型旋回磨砕板法により製造された高品質再生骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状および力学的特性(シリーズII)

5.1 実験概要

(1) 使用材料

使用材料を表 1、骨材の物性を表 2 に示す。原骨材は、細骨材が千葉県君津市産山砂、粗骨材が北海道北斗市峨朗産石灰石を使用している。これを構成材料としたコンクリート塊から改良型旋回磨砕板法により製造した再生細骨材および再生粗骨材を用いた。

(2) コンクリートの調合

コンクリートの調合を表 3 に示す。コンクリートの調

合は、全 20 調合とした。高品質再生骨材の置換率は 0%、10%、30%および 100%、水セメント比は 45%、50%および 60%の 3 水準とし、AE 減水剤の添加量は C×0.9mass% の一定とした。なお、フレッシュコンクリートの性状は、スランプ 18±2.5cm および空気量 4.5±1.5%となるように試験りにより定めた。

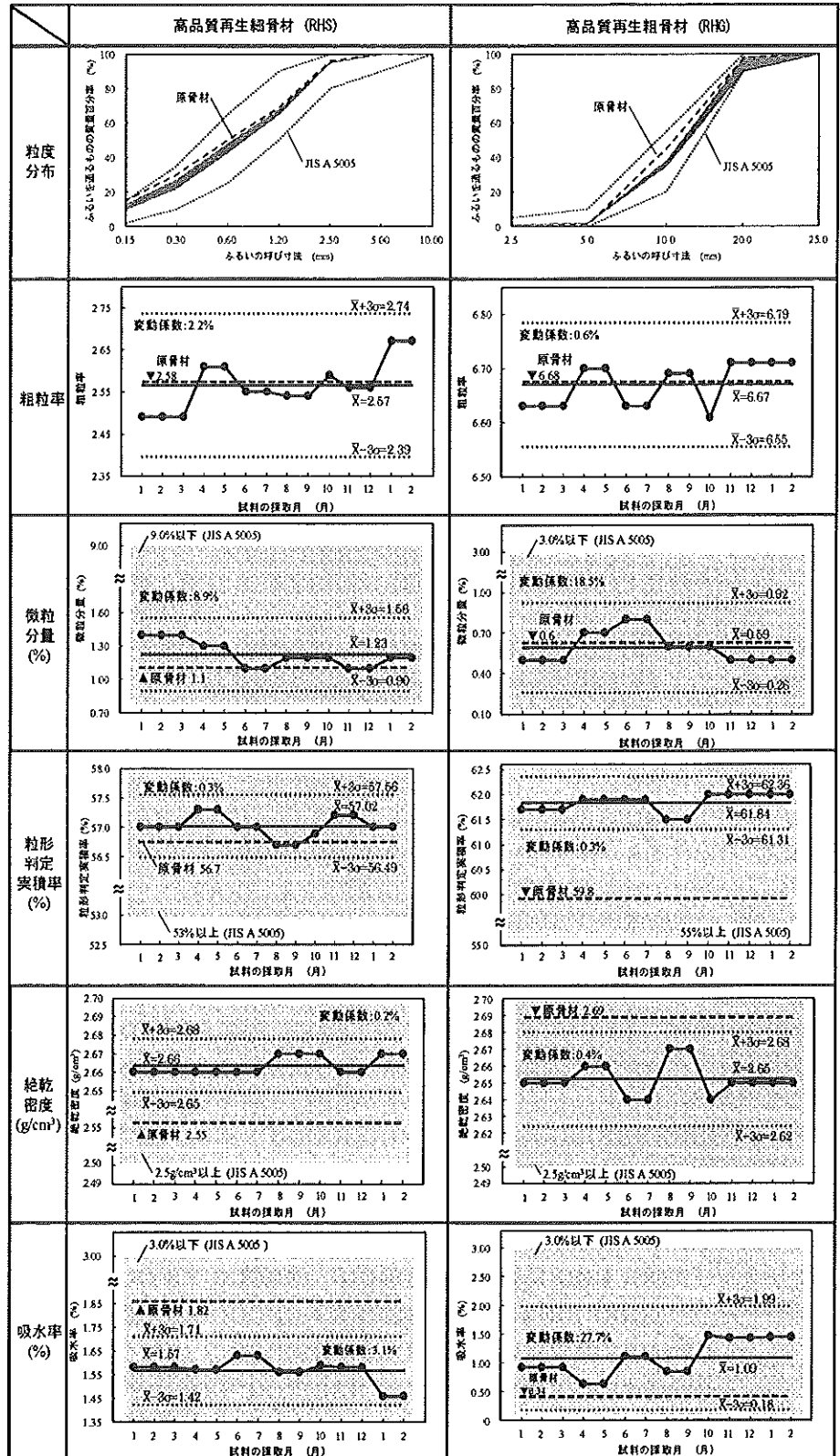


図2 高品質再生骨材の品質の月間変動

表1 使用材料

材料	記号	名称	品質・性状・主成分
水	W	上水道水	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³ 比表面積: 3.280cm ² /g
細骨材	S	千葉県君津市産山砂	表乾密度: 2.60g/cm ³ 粗粒率: 2.58% 吸水率: 1.82%
	RHS	高品質再生細骨材	表乾密度: 2.65g/cm ³ 粗粒率: 2.97% 吸水率: 1.63%
粗骨材	G	北海道北斗市産産 石灰石 2005	表乾密度: 2.70g/cm ³ 粗粒率: 6.67% 吸水率: 0.34%
	RHG	高品質再生粗骨材	表乾密度: 2.61g/cm ³ 粗粒率: 6.72% 吸水率: 1.05%
混和剤	Ad1	AE 減水剤	リグニンスルホン酸塩 特殊界面活性剤
	Ad2	空気量調整剤	天然樹脂酸塩

表2 骨材の物性

骨材種類	表乾密度 (g/cm ³)	総乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率 (%)	微粒分量 (%)
S	2.60	2.55	1.82	60.6	2.58	1.1
RHS	2.65	2.61	1.63	62.3	2.97	1.4
G	2.70	2.69	0.34	59.8	6.67	0.6
RHG	2.61	2.59	1.05	64.8	6.72	0.3

表3 コンクリートの調合

調合 No.	置換率 (%)		W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						Ad1 (C×%)	Ad2 (C×%)	
	RHS	RHG			W	C	S	RHS	G	RHG			
1	0	0	45	44.3	182.0	404	744	-	969	-	0.9	0.010	
2	10	0			44.0	181.5	403	660	75	969		-	0.010
3	0	10			43.5	181.5	403	725	-	872		102	0.010
4	10	10			43.5	181.5	403	653	74	872		102	0.010
5	100	100			40.5	177.0	393	-	702	-		1015	0.010
6	0	0	50	45.7	177.0	354	785	-	969	-	0.9	0.008	
7	10	0			45.7	176.5	353	708	80	969		-	0.008
8	0	10			45.7	176.5	353	787	-	864		102	0.008
9	10	10			45.7	176.5	353	708	80	864		102	0.008
10	30	0			46.3	175.0	350	568	244	969		-	0.008
11	0	30			45.0	175.0	350	783	-	678		305	0.008
12	30	10			46.3	175.0	350	564	247	864		102	0.008
13	10	30			45.0	175.0	350	705	80	678		305	0.008
14	30	30			45.0	175.0	350	549	239	678		305	0.008
15	100	100			43.3	172.0	344	-	774	-		998	0.008
16	0	0	60	48.1	177.0	295	850	-	953	-	0.9	0.010	
17	10	0			48.1	176.5	294	765	87	953		-	0.008
18	0	10			47.7	176.5	294	844	-	858		99	0.008
19	10	10			47.7	176.5	294	759	86	858		99	0.008
20	100	100			45.2	172.0	287	-	830	-		989	0.008

(3) 試験項目および方法

1) フレッシュコンクリートの経時変化

試験項目は、当該 JIS に準拠したスランブ試験および空気量試験とした。また、各試験は、フレッシュコンクリートの経時変化を確認するために、練上がり直後を 0 分とし、30 分、60 分および 90 分を実施した。練上がり後のコンクリートは、トラックアジテータを模擬し、かくはん羽を装備した傾胴式ミキサー(10 回転/分)でかくはんを継続した。

2) 力学的特性

試験項目は、当該 JIS に準拠した圧縮強度試験および静弾性係数とし、材齢 7 日、28 日および 91 日に試験した。なお、供試体は打込み後 1 日で脱型し、温度 20±3℃の水中養生とした。

5.2 結果および考察

(1) 高品質再生骨材の置換率の違いが単位水量およびフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響

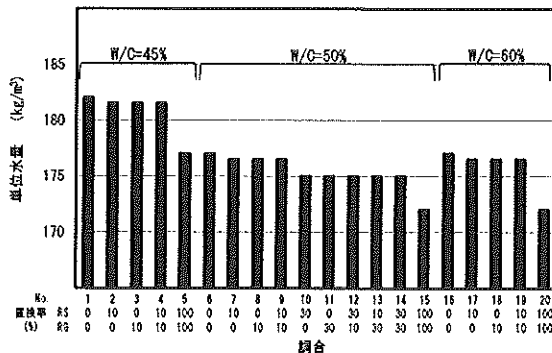


図3 高品質再生骨材の置換率の違いと単位水量の関係

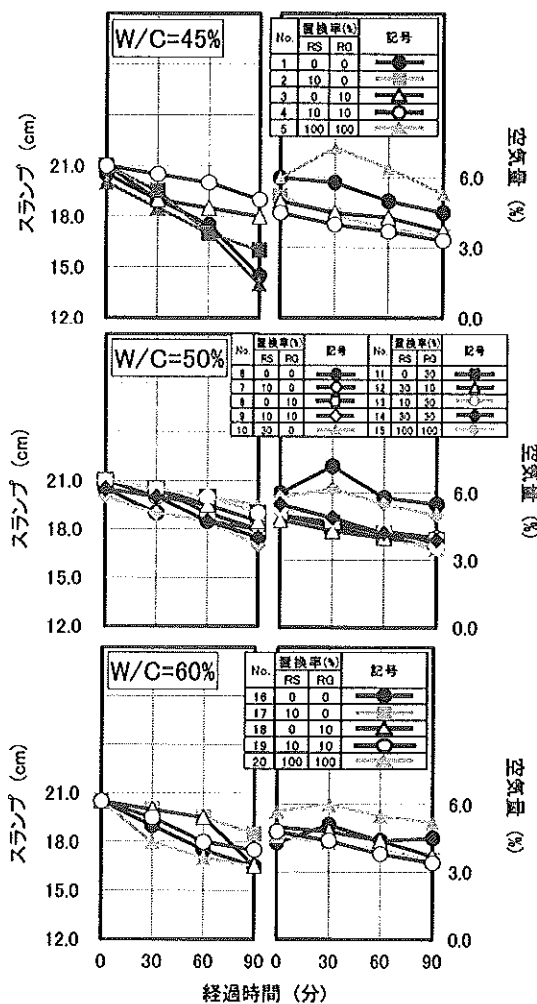


図4 経過時間とスランブおよび空気量の関係

高品質再生骨材の置換率の違いと単位水量の関係を図3に示す。いずれの水セメント比においても骨材を高品質再生骨材に 100%置換したコンクリートは、原コンクリートと同等のスランブを得るために要する単位水量を 5kg/m³ 低減することができた。同様に骨材を高品質再生骨材に 30%置換したコンクリートでは 2kg/m³、高品質再生骨材に 10%置換したコンクリートでは、単位水量を約 1kg/m³ 低減することができた。これは、高品質再生骨材の粒径が丸く、実積率が高いことに起因したものと考えられ⁶⁾、高品質再生骨材を置換する割合が高いほど、単位水量を低減できる可能性を示唆するものと思われる。

経過時間とスランプおよび空気量の関係を図 4 に示す。原骨材を用いたフレッシュコンクリートと高品質再生骨材に 100%置換したフレッシュコンクリートを比較すると、90 分後のスランプの変化はほぼ同等であった。また、細骨材を RHS に置換した場合、経時変化による減少が小さくなる傾向を示した。

いずれの水セメント比においても、原骨材を用いたフレッシュコンクリートおよび高品質再生骨材に 100%置換したフレッシュコンクリートの空気量は、経時変化 30 分の時に上昇し、30 分以降は低下する傾向を示した。これは、傾動式ミキサーによるかくはん時にエントラップトエアが混入したことと、傾動式ミキサーに投入するコンクリートの量(30L)が少なかったためと考えられる。

(2) 力学的特性

1) 圧縮強度

高品質再生骨材の置換率の違いと圧縮強度の関係を図 5 に示す。いずれの水セメント比においても高品質再生骨材に 100%置換したコンクリートの圧縮強度は、材齢 28 日および 91 日において小さくなる傾向を示した。これは、高品質再生粗骨材に僅かに付着しているモルタル分によるもの⁷⁾と考えられる。しかしながら、高品質再生骨材の置換率を変化させても W/C=45%の材齢 7 日のコンクリートの圧縮強度は、原コンクリートと概ね同等であった。一方、W/C=60%の材齢 91 日では、原骨材を用いたコンクリートと高品質再生骨材に置換したコンクリートの圧縮強度が同等であったため高品質再生骨材の置換率の違いが圧縮強度に及ぼす影響は少ないものと思われる。

2) 静弾性係数

高品質再生骨材の置換率の違いと静弾性係数の関係を図 6、静弾性係数と圧縮強度の関係を図 7 に示す。いずれの水セメント比においても高品質再生骨材に置換したコンクリートの静弾性係数は、置換率の大小に応じた明確な傾向を示していない。一方、圧縮強度と静弾性係数の関係が New RC ヤング係数推定式⁸⁾に近似していたことから、本方法によって製造された高品質再生骨材を使用したコンクリートの力学的特性は普通コンクリートと同等程度であるといえる。

6. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 高品質再生骨材の品質は、JIS A 5021の規格を常に満足していた。また、変動は $\pm 3\sigma$ 以内に収まっていた。
- (2) 単位水量は、骨材を高品質再生骨材に置換することにより低減できた。
- (3) スランプは、骨材を高品質再生骨材に置換することにより、経時変化による減少が若干少なくなった。
- (4) 空気量は、骨材を高品質再生骨材に100%置換した場合、練上がりから30分で上昇し、30分以降に低下した。
- (5) 圧縮強度は、高品質再生骨材を100%置換した場合、い

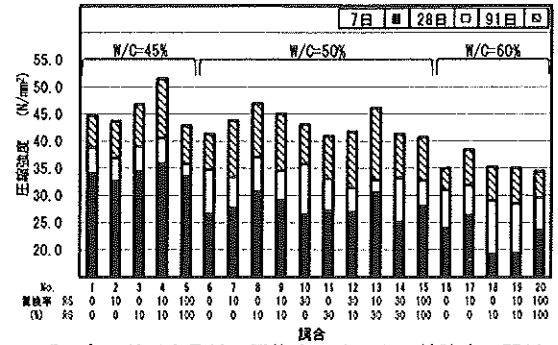


図 5 高品質再生骨材の置換率の違いと圧縮強度の関係

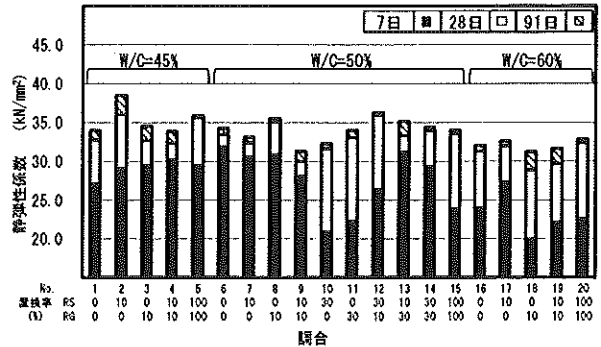


図 6 高品質再生骨材の置換率の違いと静弾性係数の関係

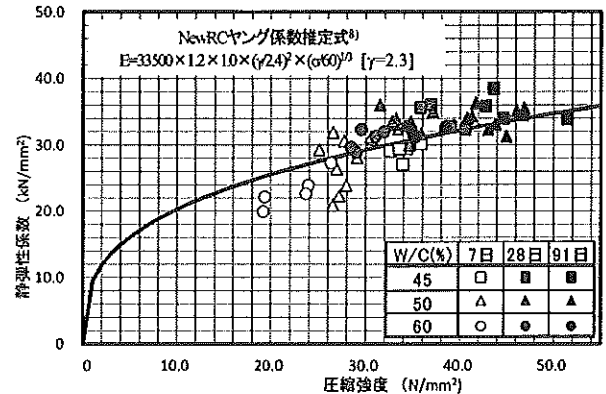


図 7 静弾性係数と圧縮強度の関係

ずれの水セメント比のコンクリートも若干低下する傾向を示した。

- (6) 静弾性係数は、高品質再生骨材を置換した場合、いずれの水セメント比のコンクリートも若干高くなる傾向を示した。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、(株)和オエンジニア・我妻佳幸氏およびものつくり大学大塚研究室の学生に多大な協力をいただいた。ここに付記して深謝する。

【参考文献】

- 1) 若林和義：再生骨材コンクリートを用いたRC部材のせん断性状に関する実験的研究，建材試験情報，pp.12-18，2008.12
- 2) 建設大臣官房技術調査室長通達：コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)，建設省技調発88号，1994.4
- 3) 日本建築センター：建築構造用再生骨材認定基準，1999
- 4) 立屋敷久志：JIS A 5201(再生骨材H)の製造技術，コンクリート工学，Vol.46，No.5，pp.62-66，2008.5
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.209-210，2009
- 6) 棚野博之ほか：再生粗骨材を使用したコンクリートの調合設計と各種性能に関する基礎的検討(その 1. 調合結果とフレッシュ時の性状)，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，pp.129-130，2007.8
- 7) 秋吉善忠ほか：低品質再生粗骨材を用いたコンクリートの性状に関する研究(その 4. 吸水率の違いが強度性状に及ぼす影響)，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，pp.89-92，2011.3
- 8) 野口貴文ほか：高強度コンクリートの圧縮強度とヤング係数との関係，日本建築学会構造系論文集，第 474 号，pp.1-10，1995.8

*1 ものつくり大学大学院 ものつくり学研究所

*2 ものつくり大学技能工学部建設学科 准教授，博士(工学)

*3 日本大学生物資源科学部生物環境工学科 助教，博士(工学)

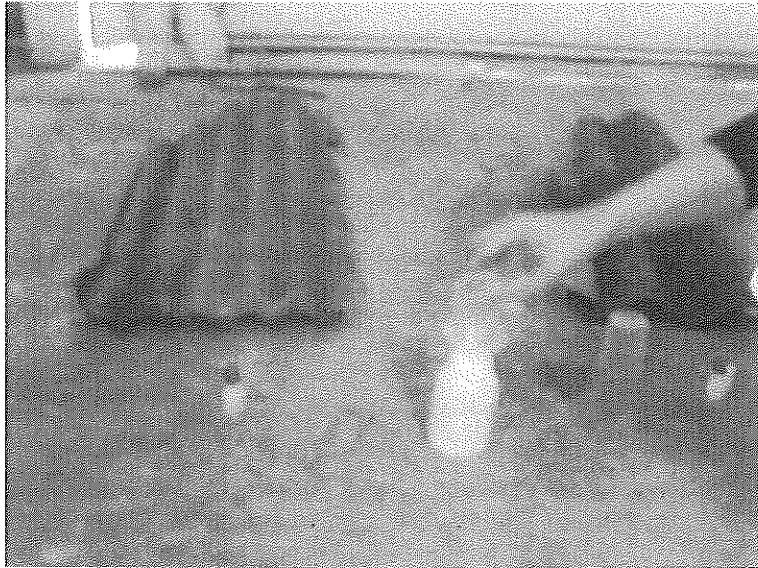
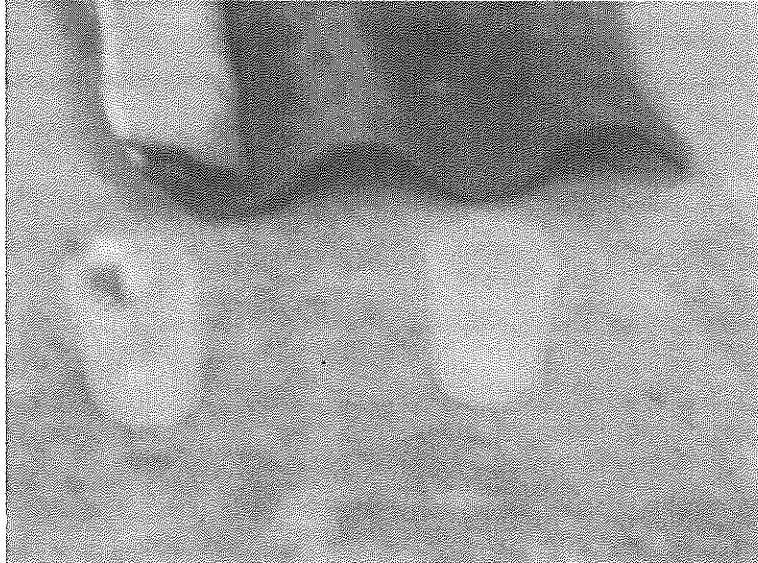
「アスベストワーカー プロ」による現場分析結果

提出日

平成 25年 4月 4日

報告者	会社名	株式会社大雄工業		
	TEL	0773-63-6684	FAX	0773-64-0965
	ご担当者氏名	吉村鉄守		

解体 (検査実施) 現場	施工年月日	平成	24年	11月	10日
	住所(町名までで可)				
	建物の大きさと築年数	(1600)m ²	(1)階建て	約(不明)年	
	構造物 (いずれかに○をつけてください)	木造・RC・SRC・内装ばりし <u>鉄骨造</u>			
	検体を採取した箇所 (いずれかに○をつけてください)	<u>屋根材</u>	壁材	内装材	その他(※スレート)
アスベストの有無 (いずれかに○をつけてください)	<u>有</u>		無		

写真 ①	【検査実施中の写真を貼付してください】
	
写真 ②	【判定後の検体の写真を貼付してください】
	

※ 1現場につき1枚、ご記入ください。

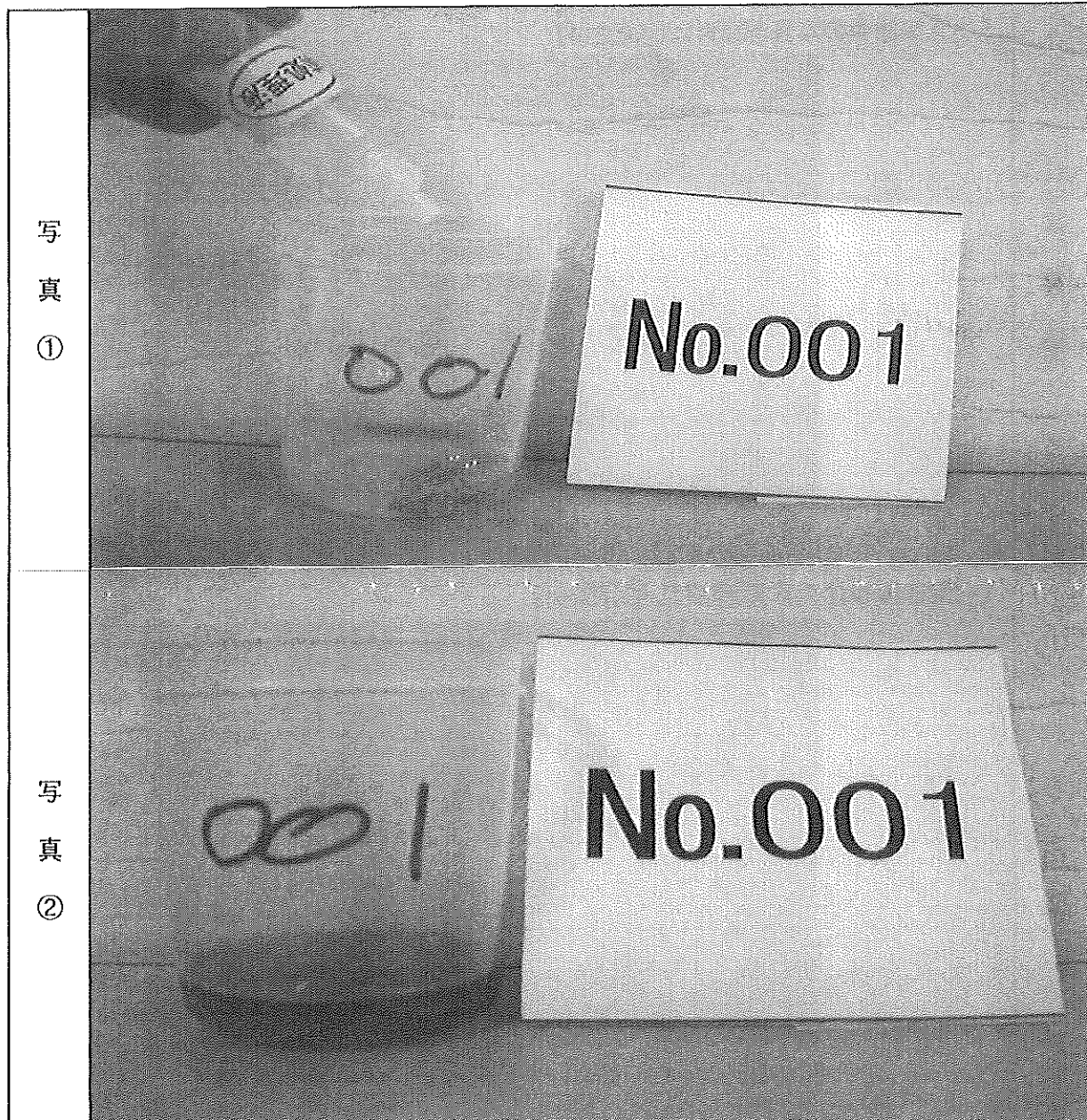
ご協力ありがとうございました。

「アスベストワーカー プロ」による現場分析結果

提出日 平成 25 年 5 月 10 日

報告者	会社名	株式会社 近畿環境開発		
	TEL	0773-20-2020	FAX	0773-20-2000
	ご担当者氏名	中垣 健		

解体 (検査実施) 現場	施工年月日	平成 25 年 5 月 13 日		
	住所(町名まで可)	京都市福知山市かしの木台		
	建物の大きさと築年数	(190) m ² (軽鉄骨) 階建て 約 (25) 年		
	構造物 (いずれかに○をつけてください)	木造・RC・SRC・内装ばらし (鉄骨)		
	検体を採取した箇所 (いずれかに○をつけてください)	(屋根材) ・ 壁材 ・ 内装材 ・ その他 ()		
アスベストの有無 (いずれかに○をつけてください)	(有) 無			



※ 1現場につき1枚、ご記入ください。

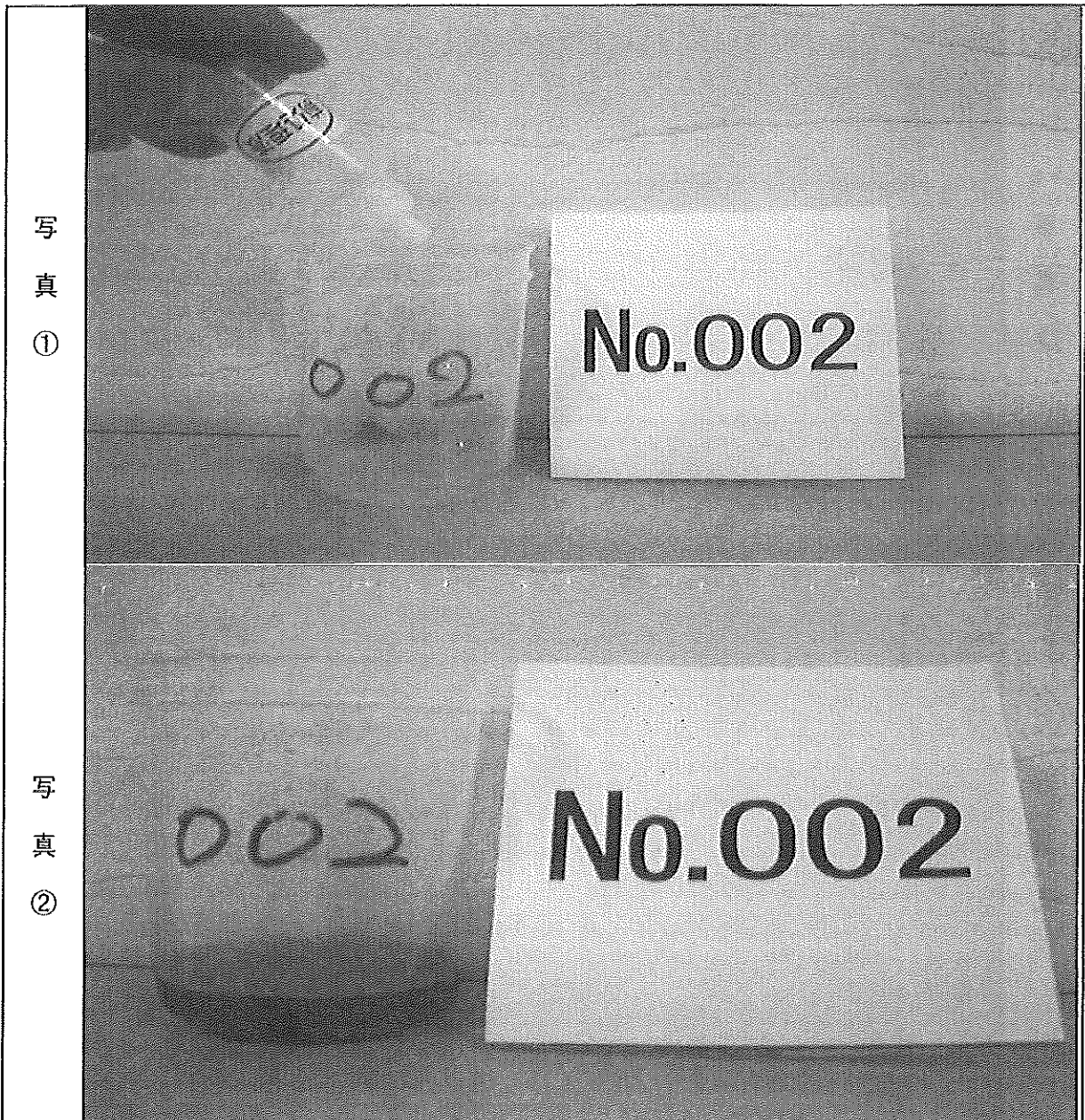
ご協力ありがとうございました。

「アスベストワーカー プロ」による現場分析結果

提出日 平成25年 5月10日

報告者	会社名	株式会社 近畿環境開発		
	TEL	0773-20-2020	FAX	0773-20-2000
	ご担当者氏名	中垣 健		

解体 (検査実施) 現場	施工年月日	平成 25 年 5 月 13 日		
	住所(町名までで可)	京都府福知山市かしの木台		
	建物の大きさと築年数	(190)㎡ (軽量鉄骨) 2階建て 約(25)年		
	構造物 (いずれかに○をつけてください)	木造・RC・SRC・内装ばらし (鉄骨)		
	検体を採取した箇所 (いずれかに○をつけてください)	屋根材 (外壁材)・内装材・その他()		
アスベストの有無 (いずれかに○をつけてください)	(有) 無			



※ 1現場につき1枚、ご記入ください。

ご協力ありがとうございました。

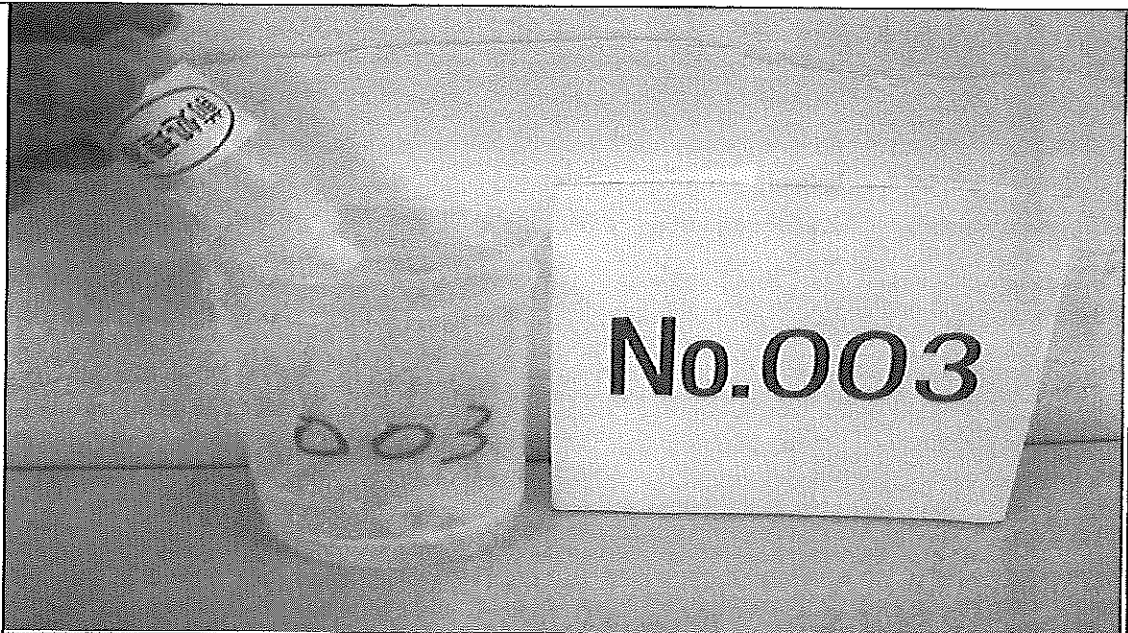
「アスベストワーカー プロ」による現場分析結果

提出日 平成25年5月10日

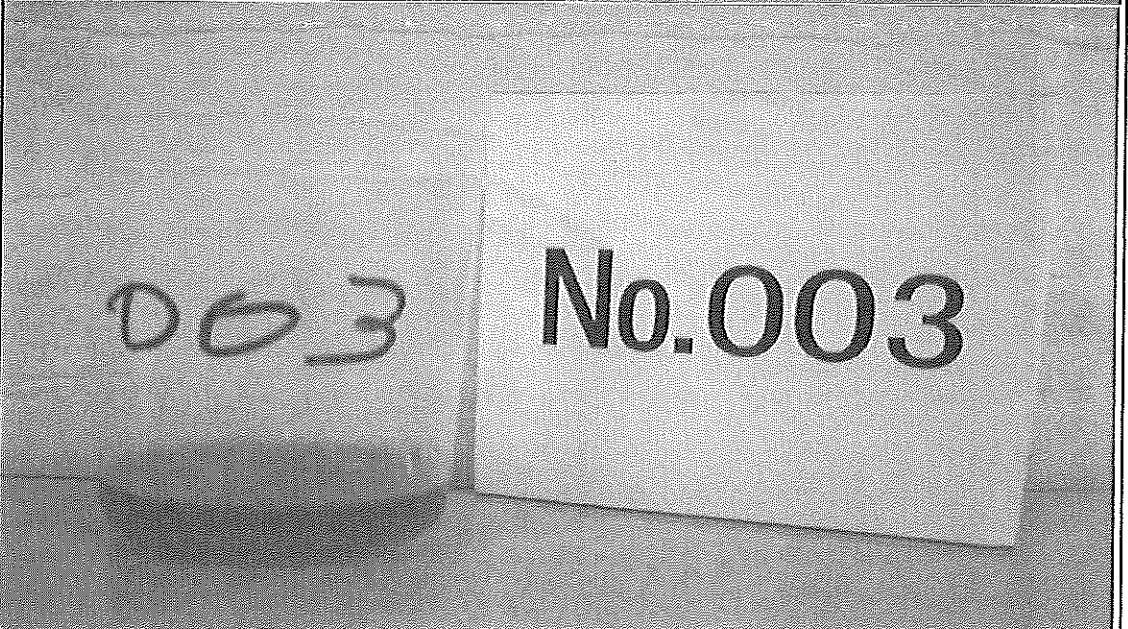
報告者	会社名	株式会社 近畿環境開発		
	TEL	0773-20-2020	FAX	0773-20-2000
	ご担当者氏名	中垣 健		

解体 (検査実施) 現場	施工年月日	平成 25 年 6 月 10 日		
	住所(町名までで可)	兵庫県豊岡市 森津		
	建物の大きさと築年数	(104)㎡ (2)階建て 約(50)年		
	構造物 (いずれかに○をつけてください)	木造・RC・SRC・内装ばらし		
	検体を採取した箇所 (いずれかに○をつけてください)	屋根材・壁材・内装材・その他()		
アスベストの有無 (いずれかに○をつけてください)	有 無			

写真①



写真②



※ 1現場につき1枚、ご記入ください。

ご協力ありがとうございました。

鉄筋コンクリート構造物の合理的な複合型解体工法の開発に関する研究

藤掛一典*

*防衛大学校システム工学群建設環境工学科
(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

1. はじめに

我が国の土木建築構造物の解体工事においては、(1)解体対象となる構造物の大型化や高層化、(2)解体工事に起因する重大事故の発生、(3)解体工事に従事する労働者の高齢化、(4)騒音・振動をはじめとする環境問題等、多くの問題点が指摘されている。しかしながら、これらの諸問題を従来から行われている単一の解体工法のみで解決するのは困難であると考えられる。

一方、最近では火薬類と同等の破壊力を有し、しかも非火薬に分類される放電衝撃破碎工法が開発されている。放電衝撃破碎工法は、図-1 に示すように放電衝撃破碎装置内のコンデンサに一時的に充電した高電圧エネルギーを極めて短時間に放電することによって放電カートリッジ内の特殊な液体を急激に気化させることにより、爆薬の爆発に似た大きな破碎力を発生させるものである。火薬類の貯蔵、運搬、消費等が火薬類取締法の規制を受けるのに対して、非火薬に分類される放電衝撃破碎工法はその適用を受けないという利点がある。

そこで本研究では、この放電衝撃破碎工法と従来からあるブレーカー工法を併用することにより、上述したような解体工事に関する諸般の問題を解決し、安全で低騒音・低振動、かつ短時間で合理的に鉄筋コンクリート構造物を解体可能な複合的解体工法の開発を目的とする。このように二つの解体工法を併用することは、それぞれ単独で用いる場合よりも相乗効果を期待できることも考えられる。

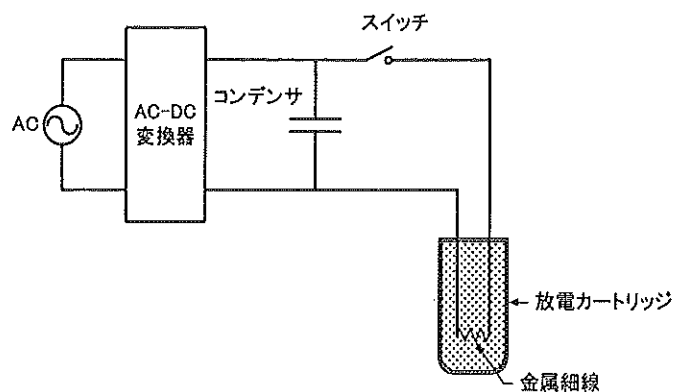


図-1 放電衝撃破碎装置の原理

2. 試験の概要

藤掛¹⁾は、放電カートリッジ1個をRC版試験体の中央部に設置し、放電衝撃破碎を行い、それによって生じるRC版試験体の破碎程度やその範囲を調べた。その結果、RC版試験体のような薄板部材では、放電衝撃による破碎領域は、(1)カートリッジから半径200mm程度の範囲に漏斗状に形成されること、(2)カートリッジ容量を大きくしても破碎領域を大きくすることはできないこと

等を指摘している。

実際に RC 版部材を放電衝撃破砕工法により破砕する場合、複数のカートリッジを配置して行うことになる。そのため本研究では、まず、RC 版試験体に複数のカートリッジを配置してその破砕効果を検討する。そして次に、従来のブレーカー工法のみの場合と放電衝撃破砕工法とブレーカー工法を併用した場合における RC 版の破砕効率について検討することとした。なお、このような検討を行うためには、RC 版試験体の望ましい破砕状態を定義する必要があると考える。近年では、環境負荷低減に伴うリサイクル法施行等^{2) 3)}により、解体において発生する鉄筋とコンクリートの分別解体が強く要求されることから、望ましい破砕状況とはコンクリートと鉄筋が分離できた状態とすることにした。

2.1 RC 版試験体

図-2 に本試験で用いた RC 版試験体の概要を示す。試験体の形状寸法は、縦 1m および横 1m の正方形型であり、RC 版の厚さは、150mm および 300mm の 2 種類である。また、RC 版試験体に D10 (SD345) 鉄筋を複鉄筋配置している。その鉄筋量は鉄筋比で与えるものとして、厚さ 150mm の試験体では 0%、0.32% および 0.64% の 3 種類の鉄筋比、また厚さ 300mm の試験体では 0%、0.16% および 0.32% の 3 種類の鉄筋比をそれぞれ準備した。なお、0% は鉄筋を配置しない無筋コンクリート版を意味する。コンクリートの配合を表-1 に示す。

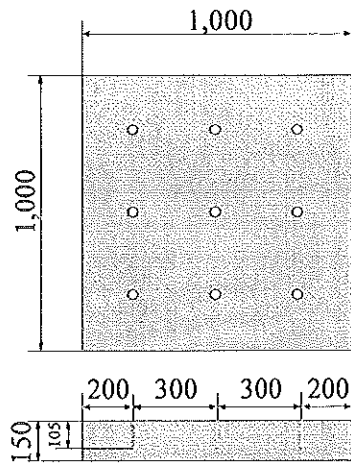
図-2 に示すように、RC 版試験体には等間隔に 9 本の放電カートリッジを設置できるように、使用するカートリッジの径に合わせて削孔をしている。また、削孔長は、使用するカートリッジ長さに合わせて削孔した。なお、図-2 の断面図に示すように、カートリッジを内部装填した際、試験体の厚さ方向の中央にカートリッジの中心が一致するようにした。

表-1 コンクリート配合表

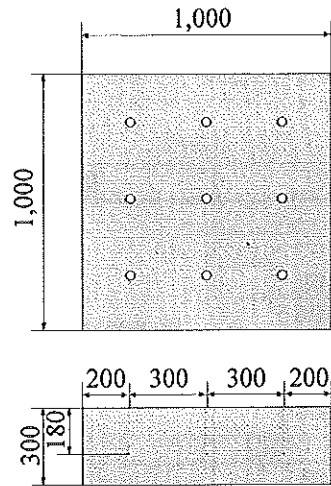
水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)					スランプ (cm)	最大骨材寸法 (mm)
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和材		
47.5	46.0	405	192	762	899	4.05	18	10

2.2 試験ケース

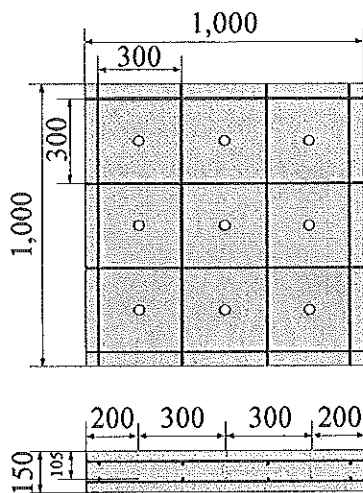
本試験のケースの一覧を表-2 に示す。本試験では、RC 版の配筋量、版厚および使用する放電カートリッジの容量の違いによる RC 版試験体の破砕の程度を比較することを目的としている。版厚は、150mm 厚および 300mm 厚の 2 種類である。また、鉄筋比は、150mm 厚で 0%、0.32% および 0.64% であり、300mm 厚で 0%、0.16% および 0.32% である。放電カートリッジは、1 つの RC 版試験体に対して、等間隔で RC 版全体にカートリッジが配置できることおよび装填孔中心に直径 400mm の損傷範囲が認められた藤掛の結果¹⁾を考慮して、図-2 に示すように 1 試験体当たり放電カートリッジは 9 発使用することとし、その容量には 2cc および 6.5cc の 2 種類を使用した。RC 版試験体の放電衝撃破砕試験では、9 発の放電カートリッジを同時に放電破砕 (9 斉発) することにした。ただし、T150-P0-C2 (3 斉) のみ、図-3 に示すように 3 個ずつのカートリッジを 3 回に分けて放電破砕 (3 斉発 3 段) することによって、段発放電破砕の影響を調べることにした。タンピング材料には、各実験ケースともに急結モルタルを使用している。ここで、試験体名は、版厚、鉄筋比および使用した放電カートリッジから構成されている。例えば、150mm 版厚で鉄筋比 0.32% の RC 版試験体に対し、放電カートリッジ 2cc を 9 発使用した場合の試験体名は、T150-P0.32-C2 と表す。また、放電衝撃破砕工法とブレーカー工法の比較を行うために、T150-P0.64-B ではブレーカーによる破砕試験を行い、RC 版試験体をコンクリートと鉄筋に分離するまでに必要な作業時間を計測することにした。



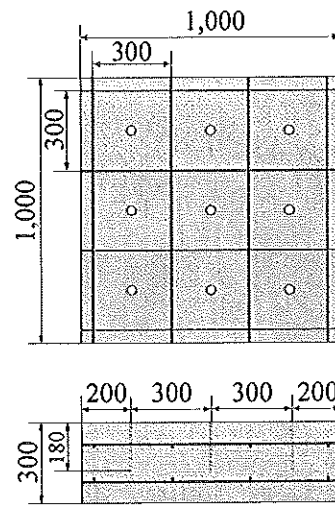
(a)150mm 厚無筋コンクリート版試験体



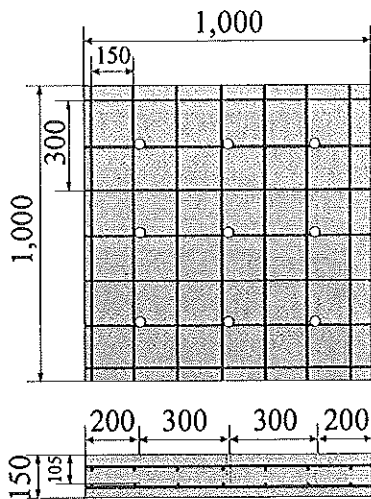
(b)300mm 厚無筋コンクリート版試験体



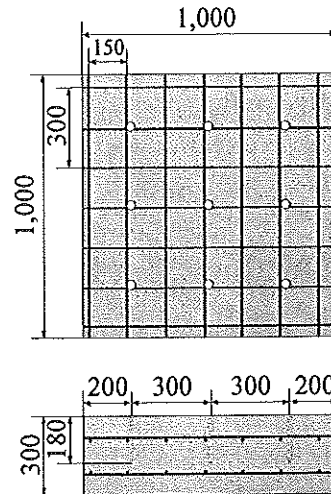
(c)150mm 厚 0.32%RC 版試験体



(d)300mm 厚 0.16%RC 版試験体



(e)150mm 厚 0.64%RC 版試験体



(f)300mm 厚 0.32%RC 版試験体

図-2 コンクリート版試験体の概要

放電衝撃破砕試験によって RC 版試験体のコンクリートと鉄筋の分離ができない場合には、図-4に示すように、放電衝撃破砕試験に引き続いて、図-5に示す打撃エネルギー22.0(J)、重量11.8(kg)を有するハンドブレイカー（HILTI社製：TE-1000AVR）を用いて、RC版の打撃破砕を行って、RC版のコンクリートと鉄筋を完全に分離させることにした。なお、このブレイカーによる打撃破砕に

において、コンクリートおよび鉄筋を分離させるのにかかった所要時間をここでは解体時間と定義して計測し、放電衝撃破砕工法の適用性を評価した。

表-2 試験ケース

試験名	破砕方法	鉄筋比(%)	カートリッジ容量(cc)
T150-P0-C2	放電衝撃破砕	0	2
T150-P0.32-C2		0.32	2
T150-P0.64-C2		0.64	2
T150-P0.32-C6.5		0.32	6.5
T300-P0-C2		0	2
T300-P0.16-C2		0.16	2
T300-P0.32-C6.5		0.32	6.5
T150-P0-C2 (3 斉)		3 斉発	0
T150-P0.64-B	ブレーカー	なし	なし

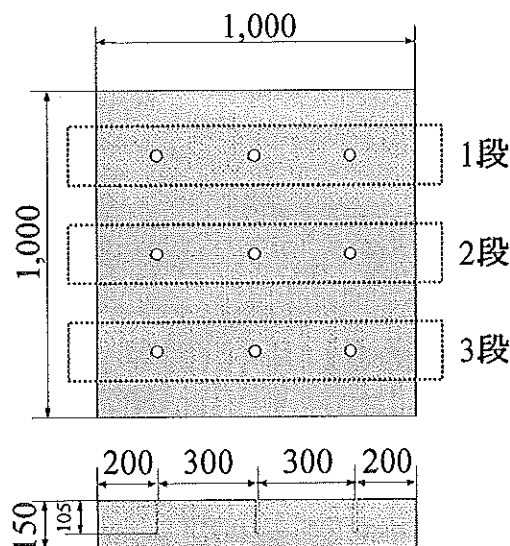
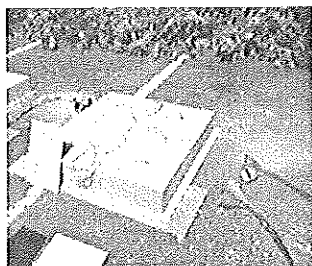
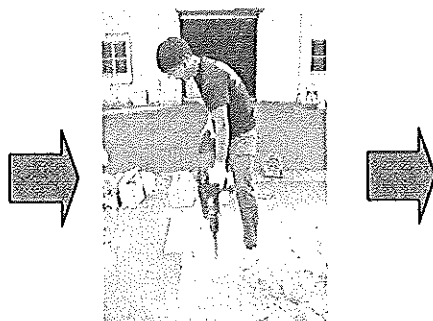


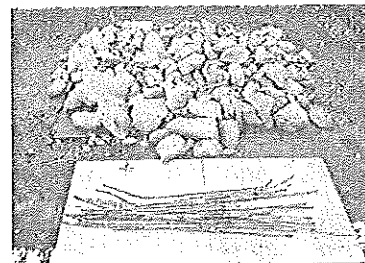
図-3 段発放電破砕 (3 斉発) の方法



(a) 放電衝撃破砕



(b) ブレーカー破砕



(c) 鉄筋とコンクリートの分離

図-4 RC 版解体の流れ

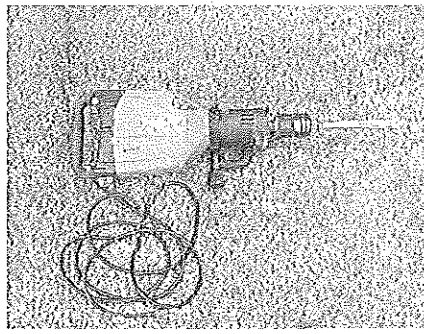


図-5 解体に用いたハンドブレイカー

2.3 試験結果と考察

(1) 9 斉発による放電破碎後の RC 版

放電衝撃破碎によって得られた RC 版試験体の破碎状況を表-3 に示す。無筋の T150-P0-C2 および T300-P0-C2 試験体では、外周部のコンクリートは細かなブロック状に分離されるものの中央部のコンクリートは破碎されずに残っていることがわかる。これは、図-6 に示すように複数のカートリッジを一斉に放電破碎したことによるカートリッジ相互の干渉効果によるものと考えられる。版厚 150mm でカートリッジ容量 2cc を用いた T150-P0-C2, T150-P0.32-C2 および T150-P0.64-C2 の破碎状況を比較してみると、鉄筋比の増加に伴い、破碎範囲が局所化かつ軽微になり、コンクリートと鉄筋を完全に分離できるまでには至っていないことがわかる。一方、T150-P0.32-C6.5 と T300-P0.32-C6.5 を見てみると、適切なカートリッジ容量を用いると外周部のコンクリートは破碎できることがわかる。ただし、無筋コンクリート試験体の場合と同様にカートリッジ相互の干渉効果により中央部のコンクリートを破碎することはできていないこともわかる。

表-3 に示すように鉄筋を有している試験体では、すべての放電衝撃破碎試験によって鉄筋とコンクリートを完全に分離させる破碎状態には至っていない。したがって、これらの試験体に対しては、引き続いてブレイカーによる破碎を行った。

(2) 放電衝撃破碎パターンが試験体の破碎状況に及ぼす影響

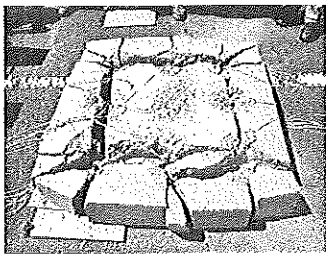


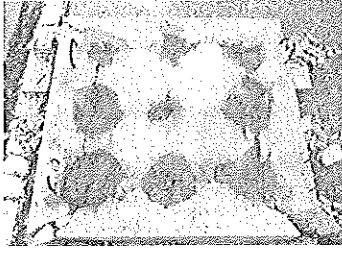

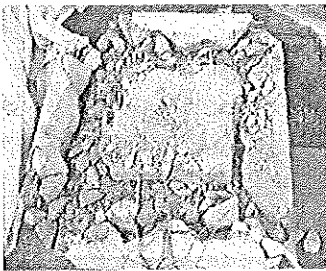
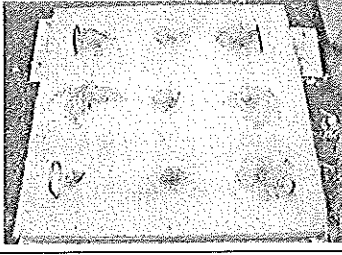
放電衝撃破碎試験において 9 斉発を 1 回と 3 斉発を 3 回行った場合のそれぞれの試験体の破碎状況を図-7 に示す。図-7(a) に示すように、9 斉発 1 回の試験体では、周囲のコンクリートはブロック状に破碎されるものの、中央部付近コンクリートは破碎されずに残存している。一方、図-7(b) に示すように 3 斉発ずつを 3 回に分けて放電衝撃破碎した試験体では、各回数においてカートリッジ設置位置から外側部分のコンクリートが細かなブロック状に小割され、カートリッジ設置部分に沿って新たな自由面を形成するプロセスを繰り返すことによって、大きなコンクリートブロックを残さずに破碎できるといえる。したがって、RC 版のような薄板部材を放電衝撃破碎する場合には、数回に分けて放電衝撃を行うことによって放電カートリッジ相互の干渉効果を避けて効率的に破碎することができると思われる。

(3) 放電衝撃破碎後の試験体に対するブレイカー破碎による定量的評価

放電衝撃破碎試験後の RC 版試験体に対して、ブレイカー破碎により鉄筋とコンクリートを完全に分離するのに要した時間をまとめて表-4 に示す。

放電衝撃破碎を行わずブレイカーのみによって破碎した T150-P0.64-B では、鉄筋とコンクリートを完全に分離するために 52.2 分を必要とするのに対して、放電衝撃破碎を行った T150-P0.64-C2 では 31.2 分で鉄筋とコンクリートを分離できることがわかる。すなわち、放電衝撃破碎を行うことにより、ブレイカー破碎時間を 40% 程度低減できるといえる。したがって、このことから、放電衝撃破碎工法を一次破碎、ブレイカー破碎工法を二次破碎とすることで効率よく RC 版を解体できると考える。

表-3 9 斉発放電破碎後の RC 版試験体の損傷の様子

	版厚 150mm	版厚 300mm
鉄筋比 0%	 <p>T150-P0-C2</p>	 <p>T300-P0-C2</p>
鉄筋比 0.16%	なし	 <p>T300-P0.16-C2</p>
鉄筋比 0.32%	 <p>T150-P0.32-C2</p>	 <p>T300-P0.32-C6.5</p>
	 <p>T150-P0.32-C6.5</p>	なし
鉄筋比 0.64%	 <p>T150-P0.64-C2</p>	なし

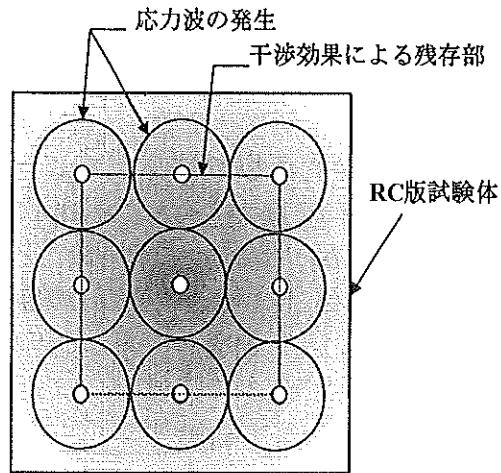
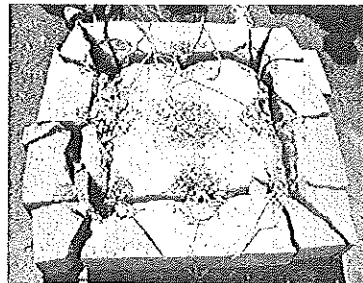


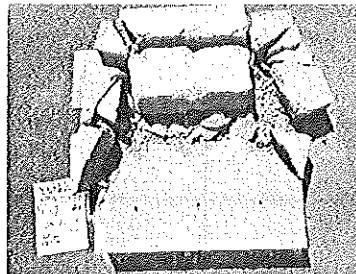
図-6 カートリッジ相互の干渉効果



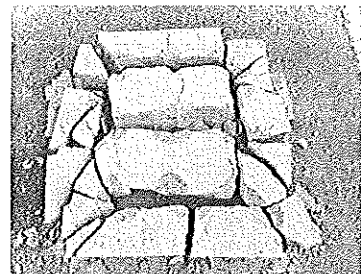
(a) T150-P0-C2 (9 斉)



1 段目



2 段目



3 段目

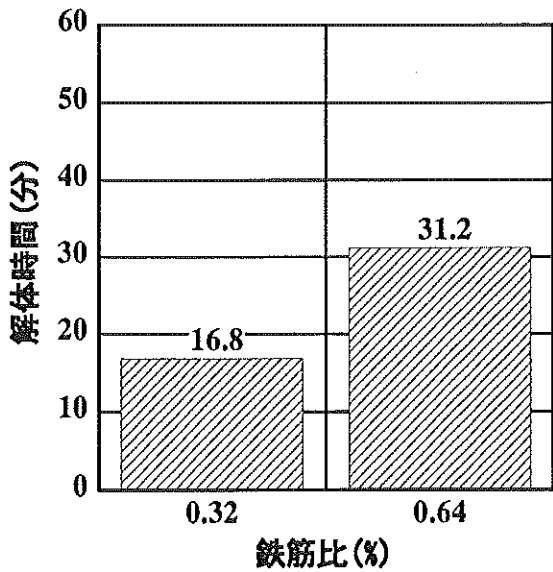
(b) T150-P0-C2 (3 斉)

図-7 3 斉発放電破砕後の RC 版試験体の損傷の様子

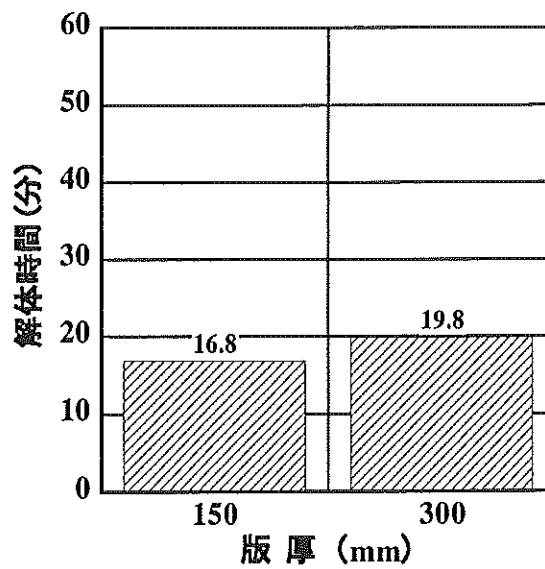
表-4 RC 版解体の所要時間結果の一覧

試験名	解体所要時間(分)
T150-P0.32-C2	16.8
T150-P0.64-C2	31.2
T150-P0.32-C6.5	15.0
T300-P0.16-C2	50.4
T300-P0.32-C6.5	19.8
T150-P0.64-B	52.2

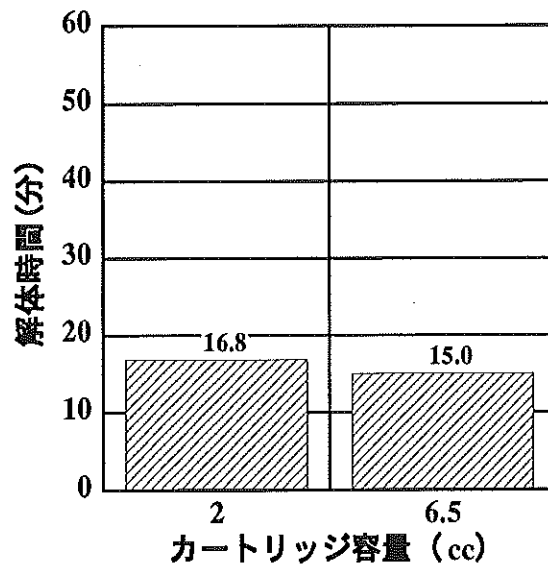
ここで、版厚 150mm、カートリッジ容量 2cc が同じで鉄筋比のみが異なる T150-P0.32-C2 と T150-P0.64-C2 のブレーカーによる解体時間を比較すると、図-8(a)に示すように鉄筋比が 2 倍に増加すると解体時間も約 2 倍になることがわかる。次に、鉄筋比とカートリッジ容量が同じで版厚のみが異なる T150-P0.32-C6.5 と T30-P0.32-C6.5 の解体時間を比較すると、図-8(b)に示すように大きな違いはないことがわかる。また、版厚および鉄筋比が同じでカートリッジ容量が異なる T150-P0.32-C2 と T150-P0.32-C6.5 の解体時間を比較すると、図-8(c)に示すようにカートリッジ容量を増加させても解体時間にほとんど違いはみられない。これらのことから一次破碎としての放電衝撃破碎により RC 版を効率的に破碎するためには、版厚ならびに鉄筋比に応じて適切なカートリッジ容量を選択する必要があると考えられる。



(a) 鉄筋比が及ぼす影響



(b) 版厚が及ぼす影響



(c) カートリッジ容量が及ぼす影響

図-8 各種要因が解体時間に及ぼす影響

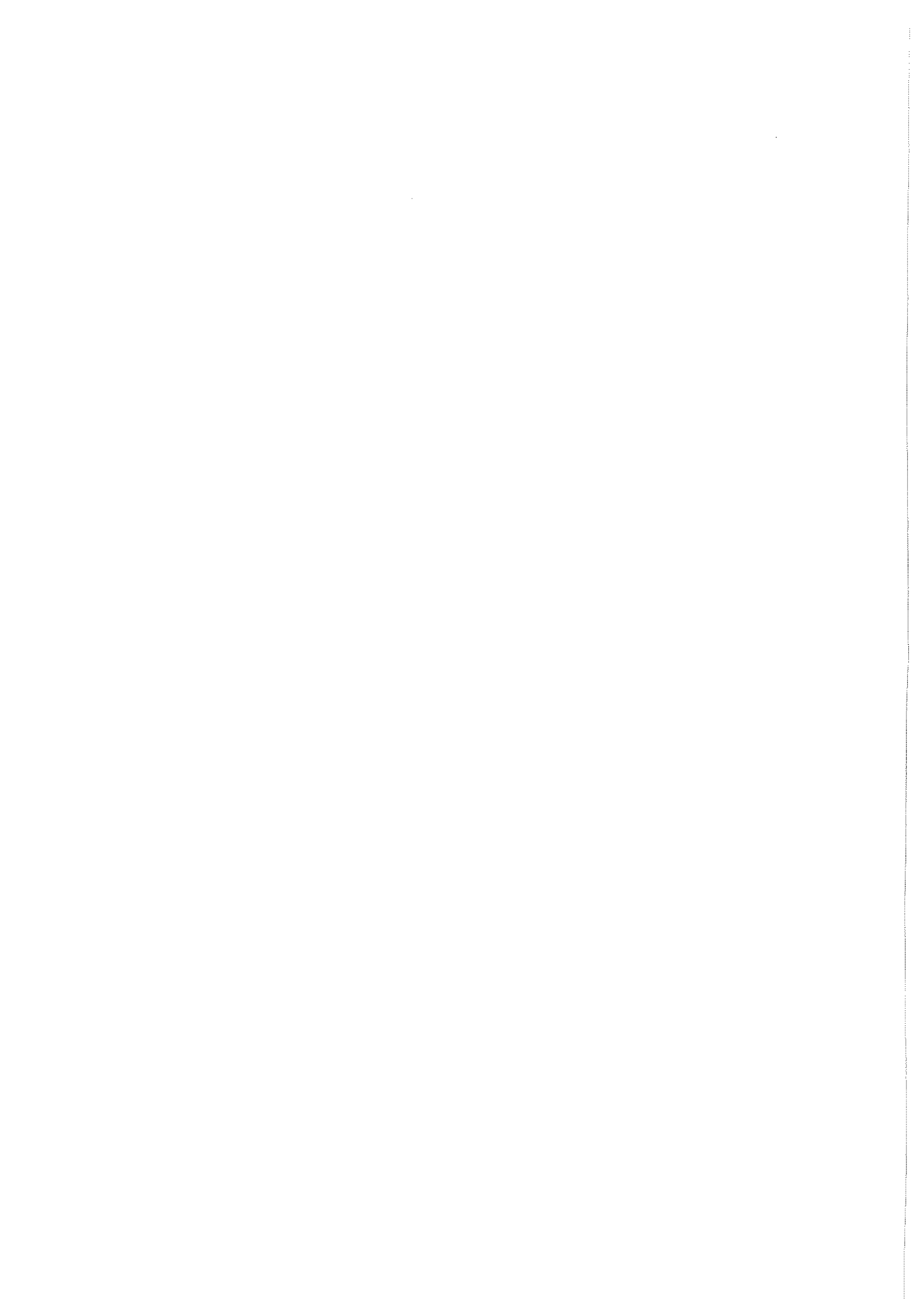
3. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると、次のようになる。

- (1) RC版に対して9斉発の放電衝撃破砕を行うと、外周部のコンクリートは細かなブロック状に破砕されるものの、試験体中央部のコンクリートは放電カートリッジ相互の干渉効果により破砕されずに残存する。一方、3斉発を3回行った試験体では、試験体全体をブロック状に小割することができる。
- (2) 放電衝撃破砕試験によるRC版の破砕程度は、鉄筋量の増加に伴い、局所的かつ軽微になる。また、放電衝撃破砕工法のみでRC版を鉄筋とコンクリートに分離するまで解体することは困難である。
- (3) 放電衝撃破砕を一次破砕として、ブレーカー破砕を二次破砕とする2段階の破砕方法を採用することで、RC版を効率的に解体することができる。
- (4) RC版破砕で使用する放電カートリッジ容量の大きさは、試験体の鉄筋比や版厚を考慮して選択する必要がある。
- (5) ブレーカー工法のみで約50分かかるとの解体時間が、一次破砕として放電衝撃破砕工法を行うことによって、ブレーカーによる二次破砕に要する時間が、60%も短縮できることがわかった。また、最短では、約15分で分離することもできることがわかる。現行の一般的なブレーカー工法によるRC版の解体と比較して、放電衝撃破砕工法とブレーカー工法を併用することによって、より短時間に、かつ経済的にRC版を解体することが可能になるといえる。

参考文献

- 1) 藤掛一典：鉄筋コンクリート構造物の部分解体のための制御放電衝撃破砕技術の開発，平成23年度解体工事に係る研究助成金研究報告書，2012.5.
- 2) 笠井芳夫：建設副産物のリユースリサイクル，軽金属学会 pp.544-550, Vol. 46, No. 11, 1996
- 3) 西村康一：解体工事の実態からみた建築物の解体性および資源循環性の向上に関する研究，東京大学大学院新領域創成科学研究科修士論文，第6章，pp.164-209, 2007



転倒工法における部材の大きさと縁切り部の有無が 転倒荷重に及ぼす基礎的研究

日本大学理工学部建築学科 中田 善久

1. はじめに

現在普及している建築物は、大量生産の裏に階上の解体工事が必要とされている。しかし、解体工事における事故の発生数は多く、時間、経費の削減を理由に十分な計画を立てずに起こるものや熟練者による経験に任せた解体工事計画の曖昧さが理由として挙げられる。これを原因に、事故として外壁崩壊事故や外壁の転倒失敗といった災害が起きている。また、RC建築物の高層化による階上の解体工法は必要性を増すと考えられ、その安全性の確保・強化のために転倒工法が用いられている。この転倒工法も柱や外壁の正の転倒方向に対して逆向きに転倒する事故例があり、建築物の安全解体のために効率的な規準が検討されている。しかしながら、転倒工法のデータの蓄積は、実部材を検証しなければならないため困難である。

そこで、著者らは、前年度、実部材を想定して作製した縮尺モルタル模型で転倒工法を再現し、既往の研究で発案されている計算式から求めた値と縮尺モルタル模型による転倒モーメントの実測値

の検討を行ってきた。これらの成果を踏まえ、本年度は、実大部材における縁切りが転倒荷重に及ぼす影響を明らかにするために、壁部材を模擬した実大模擬部材に縁切りを施し、実験を行った。

ここでは、階上解体における安全な解体工法(案)¹⁾に記述される式から計算した転倒荷重、縮尺モルタル模型における実測値および計算式を比較検討したものについて報告する。

2. 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表1に示す。水セメント比(以下、W/Cと称す)は、縮尺モルタル模型に55.0%、実大模擬部材に47.5%とした。本実験は、縁切りの有無による転倒荷重を検討した。なお、縁切りは、コンクリートブレーカを用いて”はつり”により行った。

(2) モルタルおよびコンクリートの調合と品質

表1 実験の要因と水準

部材	材料の種類	W/C	縁切り
縮尺モルタル模型	モルタル	55.0%	有無
実大模擬部材	コンクリート	47.5%	

表2 モルタルの調合および品質

質量比 (C:S)	モルタルフロー		圧縮強度 (N/mm ²)
	目標値	測定値	
1:2.5	120 ± 5.0	120.5	28.6

表3 コンクリートの調合および品質

W/C (%)	s/a ^{*1} (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュコン クリートの性状 ^{*3}			圧縮強度 (N/mm ²) ^{*4}
		W	C	S	G	Ad ^{*2}	SL (cm)	空気量 (%)		
47.5	45.3	185	390	765	935	4.68	18.5	4.7	44.2	

*1 s/a: 細骨材率 *2 AE減水剤 *3 SLスランプ(目標値18±1.5cm)、空気量(目標値4.5±1.5%) *4 材齢91日以降

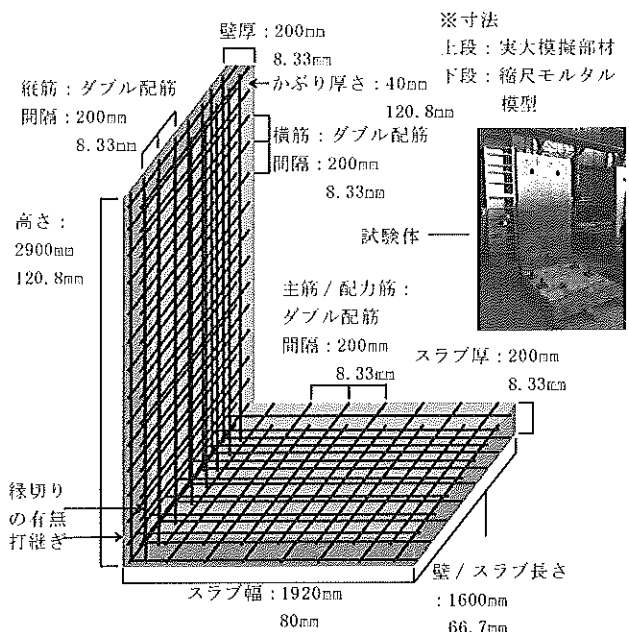


図1 縮尺モルタル模型および実大模擬部材の寸法

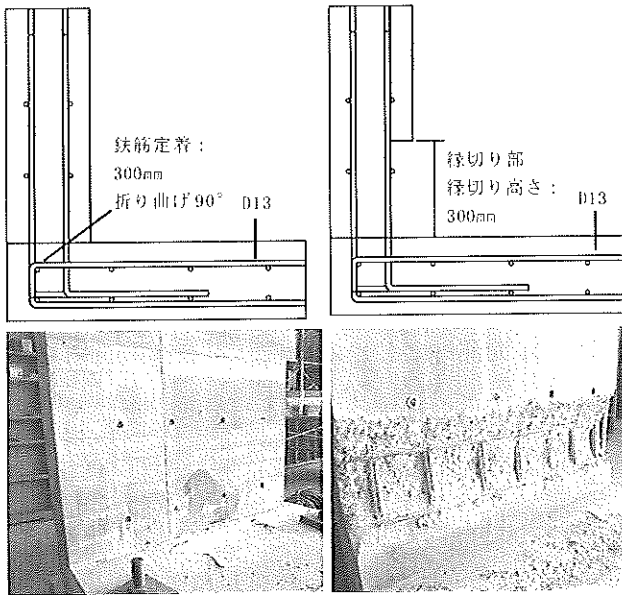


図2 縁切り部の概要

モルタルの調合および品質を表2に示す。コンクリートの調合および品質を表3に示す。コンクリートの調合は、W/C=47.5%、細骨材率（以降、s/aと称す）45.3%とし、単位水量は、185kg/m³とした。材齢91日における圧縮強度は、44.2N/mm²であった。

(3) 試験体の寸法

縮尺モルタル模型および実大模擬部材の寸法を図1に示す。縁切り部の概要を図2に示す。実大模擬部材の試験体、配筋および型枠の様子を写真1に示す。なお、図中の各寸法は、上段に実大模擬部材の寸法を、下段に縮尺モルタル模型の寸法を示した。縮尺モルタル模型は、実大模擬部材の寸法の1/24とし、異形鉄筋においてもD13相当の直径0.5mmの縮尺鉄筋を用いた。また、実大模擬部材における壁部材は、厚さ200mm、高さ2,900mm、長さ1,600mmの寸法で作成し、スラブと壁に打継ぎを設けた。配筋は、スラブについて上端筋および下端筋と主筋方向および配力筋方向にD13の200mm間隔とし、壁についてダブル配筋のタテ筋およびヨコ筋にD13の200mm間隔で作成した。縁切りの高さは、300mmとした。また、スラブと壁の施工にあたり、コンクリートの打込みは次のような作業手順としている。前述した調合のコンクリートをスラブ部材へ打込み、

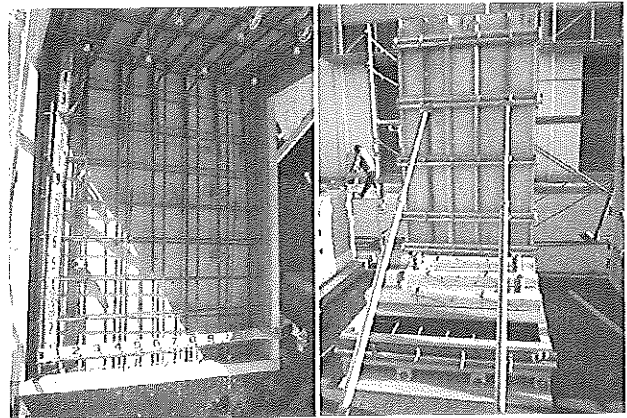


写真1 実大模擬部材の配筋および型枠の様子

その4日後に壁部材へのコンクリートを打込んだ。

(3) 試験方法

縮尺モルタル模型における転倒実験の概要を図3に示す。転倒実験は、最大2kNまで計測可能な引張試験機を用いた。なお、転倒荷重は、試験体が転倒するまで与えるものとした。本実験に用いたピアノ線と縮尺モルタル模型の角度は、0°とした。

実大模擬部材における転倒実験の概要を図4に示す。転倒実験は、油圧ショベルを走行させず、停止した状態からのアームによる引張のみで行い、縮尺モルタル模型と同様に試験体が転倒するまで与えるものとした。

3. 転倒荷重の検討

(1) 縮尺モルタル模型における転倒荷重

縮尺モルタル模型における変位量と転倒荷重の関係を図5に示す。ここで、本実験は、壁部材を模擬して実構造体の一部を想定し、実大模擬部材を縮尺して検討した。縮尺モルタル模型の転倒荷重は、縁切り無に103.2N、縁切り有に93.8Nとなり、縁切り無の方が縁切り有より大きくなった。これは、転倒側のモルタル部分が縁切りによって減少したためと考えられる。

(2) 実大模擬部材における転倒荷重の検討

実大模擬部材における変位量と転倒荷重の関係を図6に示す。実大模擬部材の破壊状況を写真2に示す。実大模擬部材の転倒荷重は、縁切り無に

45.4kN、縁切り有に37.3kNとなった。本実験では、縁切り有の実大模擬部材においてスラブが破壊した。これは、実構造物よりスラブの寸法が小さく、反力床と固定するボルトが支点になったためと考えられる。本実験が壁部材を模擬した実大

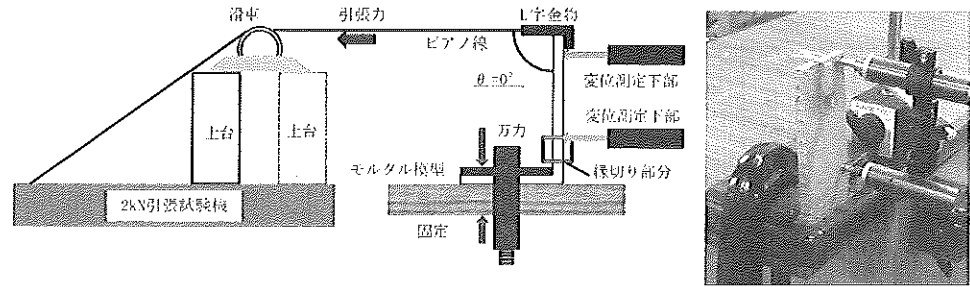


図3 縮尺モルタルにおける転倒実験の概要

模

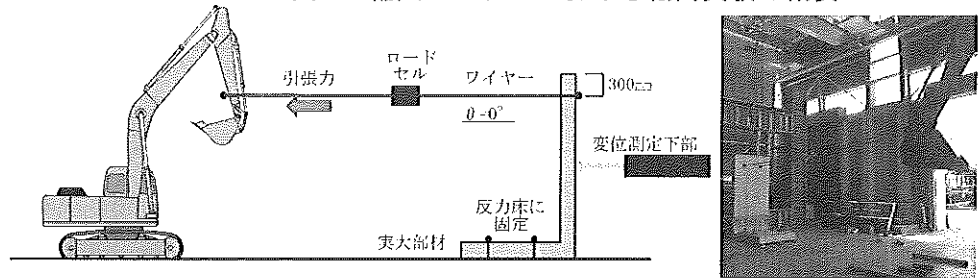


図4 実大模擬部材における転倒実験の概要

の範囲が実構造物の一部を想定した壁部材の長さ1,600mmの結果であるため、転倒荷重は実構造物のものと異なることが考えられる。実大模擬部材の転倒荷重は、壁部材の長さが大きくなることで自重も大きくなり、本実験結果に比べて小さくなると考えられる。

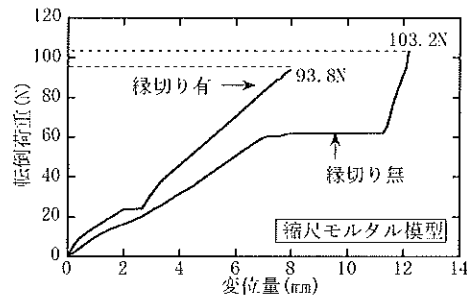


図5 縮尺モルタルにおける変位量と転倒荷重の関係

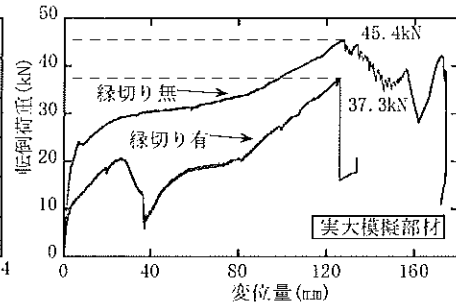


図6 実大模擬部材における変位量と転倒荷重の関係

4. 縮尺モルタル模型から計算した転倒荷重と実験による転倒荷重の比較検討

(1) 転倒工法の原理および計算式

転倒工法²⁾とは、建築物の柱や壁あるいは煙突や塔などの脚部を折るなどして断面積を小さくし、転倒モーメントを利用して部材の自重で転倒させたり、ワイヤーロープを上部に固定し、ゆっくりとウィンチや重機で引いて引き倒す工法のことである。転倒モーメントの計算は次の(1)式を用いて行った。

$$M = hT \cos \theta - We - S_1 d_1 - S_2 d_2 - Cd_3 \quad (1) \text{式}$$

転倒工法は、引きワイヤーや重機のアームにより前

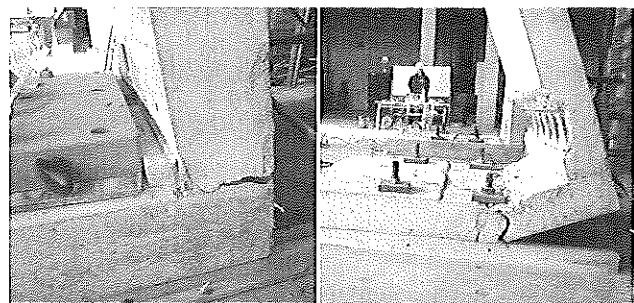


写真2 実大模擬部材の破壊状況

方へ引倒そうとするモーメントが転倒軸に対して後方へ倒れようとするモーメントより大きい必要がある。なお、ここでは、転倒モーメントを計算後に荷重に換算し、計算値と実測値を比較した。

(2) 計算による転倒荷重と実測による転倒荷重の比較

各試験体寸法と実測値および計算値の転倒荷重を表4に示す。縁切りの有無と転倒荷重の関係を図

表4 各試験体寸法と実測値および計算値の転倒荷重

部材	縁切りの有無	壁質量	壁の厚さ (mm)		壁高さ (mm)	転倒側から前方にある鉄筋までの距離 (mm)	転倒側から後方にある鉄筋までの距離 (mm)	転倒荷重	
			位置※	各地				実測値	計算値
縮尺モルタル模型	無	131.87 (g)	上	8.4	114.6	2.460	5.873	103.2 (N)	75.7 (N)
			中	8.5					
			下	8.5					
	有	146.25 (g)	上	8.4	114.9	0.265	3.148	93.8 (N)	37.1 (N)
			中	8.5					
			下	6.7					
実大模擬部材	無	3.55 (t)	上	0.2	2900	53.000	66.000	45.4 (kN)	50.0 (kN)
			中	0.2					
			下	0.2					
	有	3.52 (t)	上	0.2	2900	0.000	81.000	37.3 (kN)	35.1 (kN)
			中	0.2					
			下	0.15					

※下：縁切りされた部分の厚さを計測

7に示す。なお、図中には、縮尺モルタル模型および実大模擬部材における転倒荷重の計算値を示した。縮尺モルタル模型の転倒荷重の実測値は、計算値より大きくなった。また、実大模擬部材の縁切り無の転倒荷重は、実測値が計算値より10%程度小さくなった。

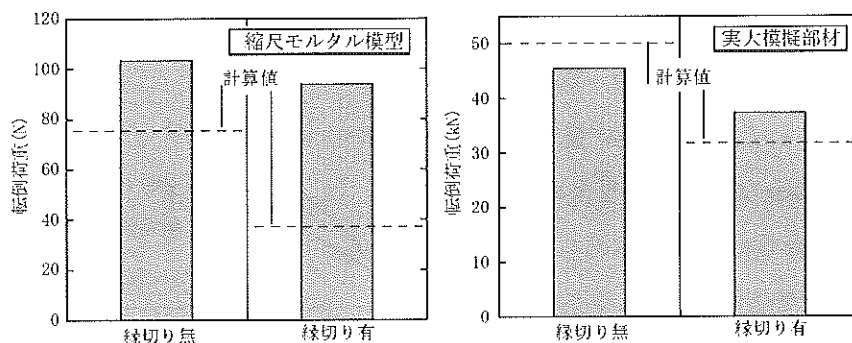


図7 縁切りの有無と転倒荷重の関係

これは、計算値において式にある実大模擬部材の自重や鉄筋の座屈抵抗などが実測値と異なるためと考えられる。本実験は、実験の範囲が実構造体の一部を想定した壁部材の長さ1,600mmの結果であるため、実構造体としたとき自重が大きくなり、転倒荷重が小さくなると考えられる。

5. まとめ

本報告は、縁切り部の有無が転倒荷重に及ぼす影響を明らかにするために、転倒荷重の計算値と実測値を比較検討した。実構造体の壁部材の一部を想定した長さ1,600mmの結果について検討した結果、実大模擬部材の縁切り無の転倒荷重は、実測値が計算値より10%程度小さくなった。以上の結果から、現場においては、コンクリートが飛散するなどの危険が生じないように壁の長さを配慮して転

倒させることが重要と言える。

今後は、実構造体の実験的検討や壁の長さについて検討する予定である。

【謝辞】

本実験に際して、日本大学理工学部建築学科中田研究室の学生に多大な協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 笠井芳夫ら：階上解体における安全な解体工法 (案) 社団法人全国解体工事業団体連合会, 2006, p. 72
- 2) 社団法人 全国解体工事業団体連合会：解体工事施工技術講習 (国土交通大臣登録講習) テキスト 第2章解体工法と解体工事用重機, 2009, p69