

# 超高層建物解体工法の開発

## その1 水素ガス切断工法と電動泡コンクリートカッター工法

三輪 明広\*<sup>1</sup>

### 概 要

環境負荷の低減と解体効率アップによる工期短縮を実現した超高層建物の解体における各要素技術のうち、「水素ガス切断工法（TO-HYCUT 工法：TODA-Hydrogen Gas Cutting System）と電動泡コンクリートカッター工法（TO-FOACUT 工法：TODA-Foam Cutting System）の2工法の概要とランニングコストを含めた生産性に関する検討結果および開発した装置の構成と現状の性能について報告する。

超高層建物の解体では、建物上階から順に外装・躯体を少しずつブロックとして切り離し、クレーンを使用して下階に吊り降ろすという工法が一般的に採用され、それが最も効率の良い工法になっている。その際、鉄骨など鋼材の切断にはアセチレンガスが多用され、またコンクリートスラブの切断にはガソリンを使用した道路カッターが使用されるなど、躯体の切断において地球温暖化に影響の大きいCO<sub>2</sub>が大量に排出される。

本工法は、これらCO<sub>2</sub>削減とクレーンの効率的運用の2点に着目し、その解決策として各要素技術を開発し、超高層建物の解体における環境負荷の低減と解体効率アップによる工期短縮を実現した。

## Development of ecological dismantling method of high rise building

### Part 1 Hydrogen gas cutting industrial methods and Electric foamed concrete cutter industrial methods

Akihiro MIWA\*<sup>1</sup>

This reports on a performance that composes of the result of review concerning productivity and the developed device and is current about two industrial methods (the hydrogen gas cutting industrial method (The TO-HYCUT industrial method: TODA-Hydrogen Gas Cutting System) and the electric foamed concrete cutter industrial method (The TO-FOACUT industrial method: TODA-Foam Cutting System)) including the outline of the industrial method and the running cost.

Heavy equipment for dismantlement is put on the top floor with the crane etc., and when the building is dismantled, the building frame is crushed, and, as a result, the industrial method gotten off one by one in the floor in the under while dropping the dismantlement pattern below is adopted usually. For the high rise building, It is difficult to lift heavy equipment to the rooftop floor.. The pattern might disperse to the distance when the building frame is crushed in the upper floor. Such an industrial method cannot be adopted.

In the dismantlement of the high rise building, the industrial method of hanging on the floor in the under by sequentially separating the exterior and the building frame from the building upper floor little by little as a block, and using the crane and unloading is generally adopted, and it is the most efficient industrial method. In that case, a large amount of CO<sub>2</sub> that influences global warming when the building frame is cut as the acetylene gas is multi used to cutting the steel material such as iron frames and the road cutter using gasoline is used for cutting the concrete slab is exhausted.

This industrial method paid attention to two points (these CO<sub>2</sub> reductions and efficient operation of the crane), developed each elemental technology as the solution, and achieved the decrease of the negative environmental impact in the dismantlement of the high rise building and the term of works shortening by the dismantlement efficiency improvement.

\*<sup>1</sup> 技術研究所\*<sup>1</sup> Technical Research Institute

# 超高層建物解体工法の開発

## その1 水素ガス切断工法と電動泡コンクリートカッター工法

三輪 明広<sup>\*1</sup>

### 1. はじめに

超高層ビルの建設が始まって40年。高さ60mを超える超高層建築は、現在25百棟を超えている。ビルの老朽化は否応なく進み、老朽化にしたがって、ビルを解体しようというニーズが増えることが予想される。

通常、建物を解体する際には、解体用重機をクレーンなどで最上階に載せ、それによって躯体を破碎し、解体ガラを下に落としながら順次下階に降りていく工法が採用される。しかし、超高層建物の場合には、重機を屋上階に揚重することが困難であり、またそのような上階で躯体を破碎するとガラが遠方まで飛散するおそれがあることから、このような工法を採用することはできない。

そこで、超高層建物の解体では、建物上階から順に外装・躯体を少しずつブロックとして切り離し、クレーンを使用して下階に吊り降ろすという工法が一般的に採用され、それが最も効率の良い工法になっている。その際、鉄骨など鋼材の切断にはアセチレンガスが多用され、またコンクリートスラブの切断にはガソリンを使用した道路カッターが使用されるなど、躯体の切断において地球温暖化に影響の大きいCO<sub>2</sub>が大量に排出される。

本工法は、これらCO<sub>2</sub>削減とクレーンの効率的運用の2点に着目し、その解決策としての各要素技術を開発し、超高層建物の解体における環境負荷の低減と解体効率アップによる工期短縮を実現した。

本報では、解体工法の各要素技術のうち「水素ガス切断工法（TO-HYCU工法：TODA-Hydrogen Gas Cutting System）と電動泡コンクリートカッター工法（TO-FOACUT工法：TODA-Foam Cutting System）の2工法の概要とコストを含めた生産性に関する検討結果および開発した装置の構成と現状の性能について報告する。

### 2. 水素ガス切断工法

#### 2.1 切断工法の特徴

##### (1) 環境にやさしく安全な切断工法

水を電気分解して水素と酸素を発生させ、再度切断トーチ先端で燃焼させるため、安全で極めてクリーンな切断方式である。石化燃料ガスに比べヒューム<sup>\*2</sup>も圧倒的に少なく、地球環境で重要視される産業排出規制物の一つであるCO<sub>2</sub>の生成が理論的にない。「作業環境を改善する」次世代の切断システムといえる（図-1）。

##### (2) 燃焼速度が速く切断スピードアップ

水素は、アセチレンガスに比べて燃焼速度が速く、

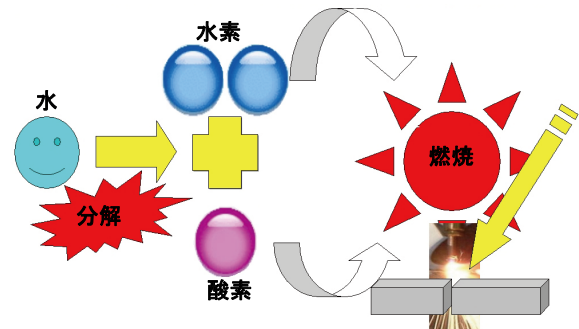


図-1 水素ガス切断のイメージ



図-2 水素ガスイメージ

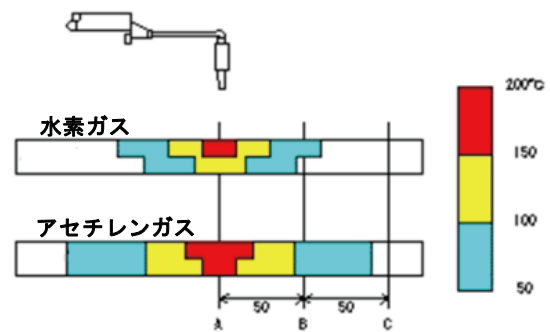


図-3 水素ガス予熱温度分布

その結果、小さな細い集中炎となる。このため、ピンポイントで鋼板にエネルギーを伝えることができ、切断したい箇所だけに熱を集中することが可能となり、予熱時間および切断速度が向上する（図-2、図-3）。

##### (3) 水素ガスの安全性

ガスの爆発は、点火源があり、可燃性ガスが空気または酸素と一定の濃度範囲内にあるときに生じる。この範囲のうち可燃性ガス濃度の希薄な限界を下限界、濃度が高い限界を上限界と呼ぶ。下限界濃度が低いほど、漏洩したときに爆発性混合ガスを生じやすいので、より危険性の高いガスといえることができる。表-1にガス別諸元の比較を示す。水素ガスは爆発下限濃度

<sup>\*1</sup> 技術研究所 <sup>\*2</sup> 溶接作業などで発生した金属蒸気が冷却されて固体の微粒子となったもの

に達するまでの許容範囲が大きく、アセチレンガスより危険性の低いガスであるといえる。また、水素は比重が軽いので、万一ガス漏れを発生しても地上に滞留しない。このため密閉空間でない限り爆発下限界濃度に達する前に大気中に拡散する。

## 2.2 切断実験

### 2.2.1 実験概要

超高層建物では、厚肉の鋼板（最大で75mm程度）を用いるため、切断能率およびガスの使用量の調査を目的とした鋼板の切断実験を実施した。使用したガスは水素ガスとアセチレンガスとした。切断方法は手動切断および自動切断として、板厚25mm、50mm、90mmの鋼板を用いた。表-2に切断方法と切断対象物を示す。測定項目は、切断時間およびガス使用量とした。

### 2.2.2 切断能率およびガス使用量の測定方法

切断能率としては自動切断機、手動切断機、水素ガスおよびアセチレンガスを使用した場合の鋼板の切断時間を計測した。手動切断および自動切断の概要をそれぞれ図-4、図-5に示す。使用ガス量はマスフローメータを用いて計測を行い、標準状態（1気圧、20℃）における体積を測定した。

### 2.2.3 測定結果

#### 1) 切断能率

板厚25mm、50mm、90mmの切断能率を図-6に示す。25mm程度の板厚では、使用ガスや切断機械の違いによる切断能率に及ぼす影響はみられなかった。板厚50mmでは、手動切断機による切断では、使用ガスの違いによる影響は小さかったものの、自動切断機による切断ではアセチレンガス手動切断に比べ、アセチレンガス自動切断の切断能率は約1.52倍、水素ガス自動切断の切断能率は約2.02倍となり少し差異があった。板厚90mmの切断能率ではアセチレンガ

ス手動切断に比べ、水素ガス手動切断が1.27倍、アセチレンガス自動切断が1.55倍、水素ガス自動切断が2.55倍であった。切断能率の値はアセチレンガスより水素ガスの方が大きく、手動切断より自動切断の方が大きかった。



図-4 手動切断の概要

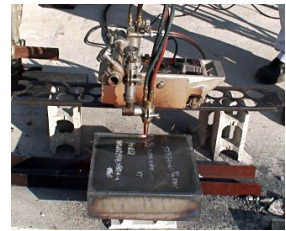


図-5 自動切断の概要

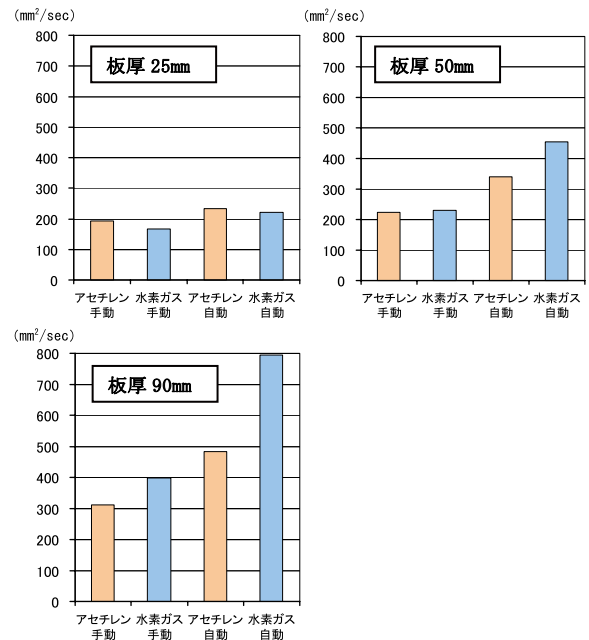


図-6 切断能率測定結果

表-1 ガスの別諸元比較

ガス種	化学式	比重	発火点 (℃)	爆発下限界濃度
				(空气中) (容量%)
水素	H <sub>2</sub>	0.07	585	4 ~
アセチレン	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.88	335	2.5 ~

表-2 切断方法と切断対象物

使用ガス	切断方法		切断対象物	
	切断機械	火口	鋼材厚 (mm)	切断長さ (mm)
水素ガス	手動切断機	# 2	25	300
			50	
			90	
	自動切断機	# 2	25	
			50	
			90	
アセチレンガス	手動切断機	# 2	25	
			50	
			90	
	自動切断機	# 2	25	
			50	
			90	

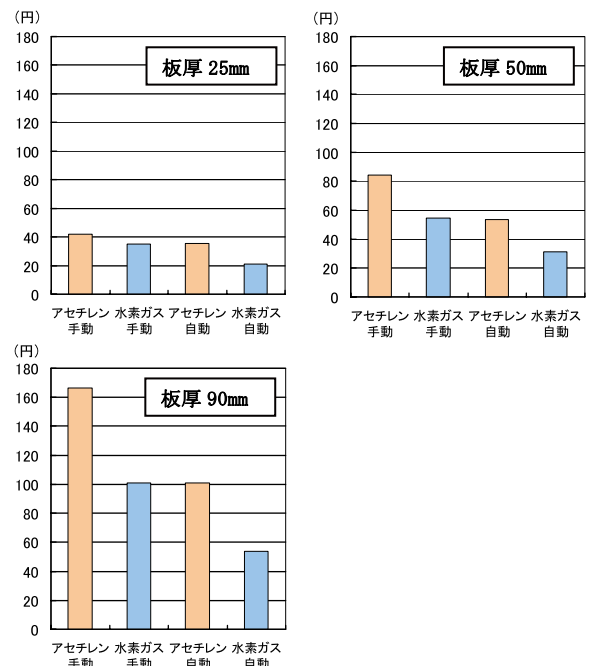


図-7 ガス費用の調査結果 (t=90mm, L=300mm)

表-3 ガス使用量およびコスト一覧

板厚	切断方法	切断時間 (sec)	ガス流量				ガス使用量			ガス費用			
			水素 (ℓ/min)	アセチレン (ℓ/min)	余熱酸素 (ℓ/min)	切断酸素 (ℓ/min)	水素 (ℓ)	アセチレン (ℓ)	酸素 (ℓ)	水素 (円)	アセチレン (円)	酸素 (円)	合計 (円)
25	アセチレンガス手動	39	/	13	11	73	/	8.5	54.6	/	20.3	21.8	42.1
	水素ガス手動	45	24	/	9	81	18.0	/	67.5	7.9	/	27.0	34.9
	アセチレンガス自動	32	/	12	10	85	/	6.4	50.7	/	15.4	20.3	35.6
	水素ガス自動	34	24	/	8	60	13.6	/	38.5	6.0	/	15.4	21.4
50	アセチレンガス手動	67	/	14	16	89	/	15.6	117.3	/	37.5	46.9	84.4
	水素ガス手動	65	23	/	9	92	24.9	/	109.4	11.0	/	43.8	54.7
	アセチレンガス自動	44	/	13	14	91	/	9.5	77.0	/	22.9	30.8	53.7
	水素ガス自動	33	23	/	8	108	12.7	/	63.8	5.6	/	25.5	31.1
90	アセチレンガス手動	87	/	19	22	151	/	27.6	250.9	/	66.1	100.3	166.5
	水素ガス手動	68	39	/	13	167	44.2	/	204.0	19.4	/	81.6	101.0
	アセチレンガス自動	56	/	16	18	156	/	14.9	162.4	/	35.8	65.0	100.8
	水素ガス自動	34	43	/	14	177	24.4	/	108.2	10.7	/	43.3	54.0
備考										440 円/m <sup>3</sup>	2400 円/m <sup>3</sup>	400 円/m <sup>3</sup>	

板厚が大きい場合に切断能率の向上を図るため、水素ガスおよび自動切断機を用いることが有効であることがわかった。

### 2) 使用ガス量およびコスト

ガス使用量およびコスト一覧を表-3に示す。ガス使用量は切断時間にガス流量を乗じて求めた。また、ガス費用はガス使用量にそれぞれのガス単価を乗じて求めた。燃料ガスである水素ガスの流量はアセチレンガスに比べ2倍程度となるが、余熱酸素の流量は、アセチレンガスに比べ少ない。切断酸素の流量は板厚が50mm、90mmでは水素ガスの方が多傾向を示した。

板厚25mm、50mm、90mmの使用ガス費用の調査結果を図-7に示す。水素ガス自動切断のガス費用はアセチレンガス手動切断に比べ、板厚25mmの場合では0.5倍、板厚50mmの場合では0.36倍、板厚90mmの場合では0.32倍となった。水素ガス自動切断は板厚が大きくなるほど、ガス費用の低減に有効であることがわかった。近年、アセチレンガスの原料であるカーバイトの価格上昇にともない、アセチレンガスの価格は水素ガスに比べ5倍程度となるため、水素ガスを使用することで、大幅なコスト削減が可能となる。また、切断機械を手動切断から自動切断にすることで、切断効率が向上し、ガスの使用時間が少なくなるため、ガスの使用量およびコストを削減することが可能となる。

### 2.3 柱切断の施工実験

水素ガス切断の現場適用にあたって、自動切断ロボットを用いた切断施工実験を実施し、切断性能の確認を行った。試験体形状を図-8に示す。なお、柱四隅に関しては半自動切断で行った。

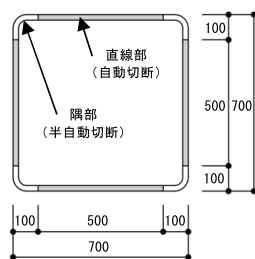


図-8 試験体形状

実験結果の一覧を表-4

に示す。実験結果は平板切断時よりも切断速度が向上した。四隅の切断も自動切断を行えば、さらに切断速度は向上するものと考えられる。

### 2.4 水素ガス自動切断ロボットシステムの概要

水素ガス自動切断ロボットシステムの概要を図-9に示す。本システムは自動切断ロボット、分割型走行

レール、水素・酸素制御装置、搬送台車などから構成される。

自動切断ロボット本体は柱に取り付けられた分割型走行レール上に設置され、レールに沿って柱の周りを連続的に四隅を残しながら1周切断する。その後玉掛けを行い残った四隅を切断する。ロボット重量は約13kgであり、作業員1名で容易に取り扱うことができる。ロボットによる切断状況を図-10に示す。

分割型走行レールはコーナーレールと直線レールで構成され、切断前に柱に取り付けられる。角柱の場合は直線レールの交換により多様な柱寸法に適用できる。円形レール用いることにより丸柱にも対応可能である。

搬送台車は水素・酸素制御装置、ロボット本体や分割型走行レール等を搭載して電動で駆動される。

表-4 施工実験結果

項目	切断機械	切断対象物		作業時間		切断能率 (mm <sup>2</sup> /sec)
		切断長さ (mm)	板厚 (mm)	ピアッシング (sec)	切断 (sec)	
直線部	自動 切断機	500	22	18	60	183
				20	50	220
				20	50	220
				20	53	208
隅部	半自動 切断機	150	22	/	30	110
				/	29	114
				/	24	138
				/	32	103

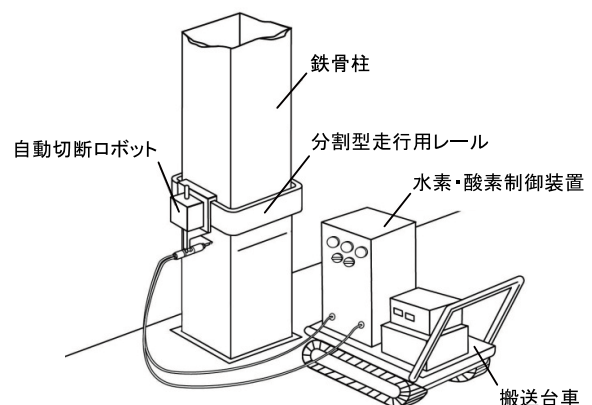


図-9 水素ガス自動切断ロボットシステム概要図

### 3. 電動泡コンクリートカッター工法

#### 3.1 工法の特徴

コンクリートスラブの切断にはガソリンを用いたコンクリートカッターが使用されることが多いが、躯体の切断において地球温暖化に影響が大きいCO<sub>2</sub>が大量に排出される問題がある。また、コンクリートカッターは切断時のブレードの冷却と削溝時に発生するコンクリート粉塵の除去のために大量の水が必要となり、汚泥や水が下階に落下し、回収作業に多くの労力を費やす問題がある。

本工法は、コンクリートカッターの動力を電動とし、自社製造のBDFを使用した発電機から電気を供給することにより、削溝時に発生するCO<sub>2</sub>の排出ゼロを実現する。また、削溝時に用いる水を泡にすることで、削溝に必要な水量を大幅に削減可能にした工法である。

#### 3.2 切断実験

ガソリンエンジンコンクリートカッターと電動コンクリートカッターの切断能率および水量の調査を目的とした切断実験を実施した。削溝水は水および泡を用い、泡は水に界面活性剤を混入してフォームユニットを用いて製造したものを用いた。界面活性剤の濃度は0.8%、0.6%、0.4%とした。切断対象物はコンクリート厚200mm（配筋：D16@500 シングル）のスラブとした。

#### 3.3 切断効率と水量

水量と切断能率の実験結果を表-5に示す。界面活性剤濃度と切断能率を図-11に示す。粉塵対策に泡を用いた場合、界面活性剤濃度が低い方が切断能率の値は大きくなり、界面活性剤濃度が0.4%の場合、水（濃度0%）と同等以上の切断能率であることが確認できた。また、電動コンクリートカッターの切断能率の他は、エンジンコンクリートカッターに比べ、界面活性剤の濃度に関わらず、1割程度大きかった。界面活性剤濃度と水量を図-12に示す。泡を用いた切断での水量は、水を使用した場合に比べ、約1/3以下で切断することが可能であった。界面活性剤濃度0.4%における切断後の泡の状況を図-13に示す。水量が1.1ℓ/m<sup>2</sup>の場合、水量が足りず一部、粉塵のままの箇所があった。水量が2.1ℓ/m<sup>2</sup>の場合、泡が粉塵を吸収しており、水の供給量が適切であることがわかった。

#### 3.4 システム概要

電動泡コンクリートカッターシステムの概要を図-14に示す。切断時に発生する汚泥は、カバーの前後

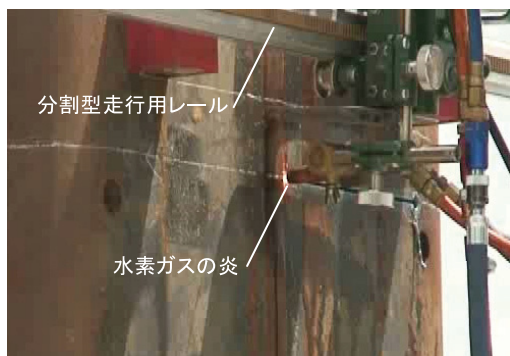


図-10 ロボットによる切断状況

表-5 水量および切断能率の実験結果

切断機械	切断方法 粉塵対策	界面活性剤濃度 (%)	水量		切断能率 (m <sup>2</sup> /h)	備考
			(ℓ/min)	(ℓ/m <sup>2</sup> )		
エンジン コンクリート カッター	泡	0.8	0.5	8.3	3.85	泡が詰まった為、 水量は参考値
		0.6	1.0	13.3	4.43	
	水	0.0	6.8	60.0	6.78	水量は6.8ℓ/min と仮定して算定
電動 コンクリート カッター	泡	0.8	1.2	16.7	4.21	
		0.6	1.1	13.3	5.08	
		0.4	1.1	8.3	7.66	
		0.4	2.1	14.2	8.89	
	水	0.0	6.8	55.0	7.42	

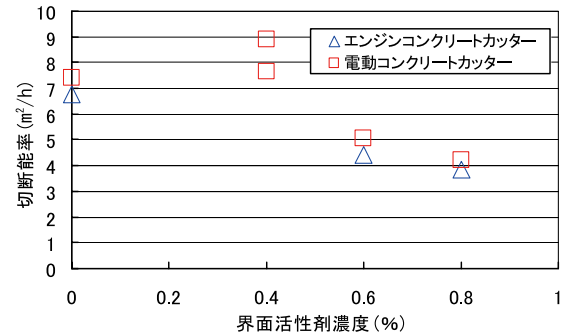


図-11 界面活性剤濃度と切断能率

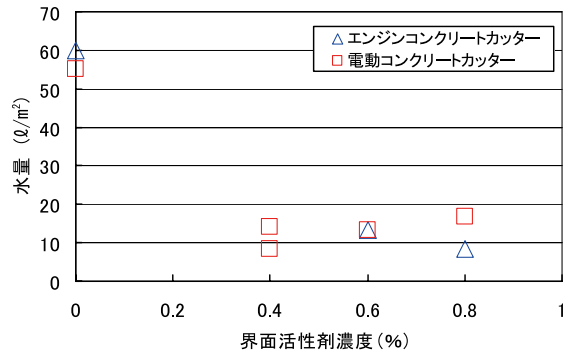


図-12 界面活性剤濃度と水量



界面活性剤濃度 0.4% 水量 1.1ℓ/m<sup>2</sup> 切断能率 7.66m<sup>2</sup>/h      界面活性剤濃度 0.4% 水量 2.1ℓ/m<sup>2</sup> 切断能率 8.89m<sup>2</sup>/h

図-13 切断後の泡の状況



図-14 電動泡コンクリートカッターシステムの概要

に設置した回収口より吸引してタンクに回収される。タンクにはあらかじめ消泡材を入れてあり、回収後の泡は水に代わり、容積減量することができる。

#### 4. まとめ

今回の工法開発により、大量発生していた躯体切断時のCO<sub>2</sub>排出量を「ゼロ」にし、各部材の切断時間から1フロアあたりの工期を30%短縮することを可能とした。

本工法の採用によるコストは在来工法に比べて同等

であり、コストアップすることなく環境負荷低減と工期短縮を実現した。今後も一般現場への展開を目指して開発を続け、さらに実用性を向上させていく予定である。

#### 謝辞

本開発を遂行するにあたり、ものづくり大学講師小菅瞳氏、(株)FIT 篠原友徳氏、(株)サンゴバン深沢順一氏、(株)中山鉄工高梨和哉氏に謝意を表します。