

19. 超高層建物における吊取り解体工法の開発

鹿島建設株式会社

石田 武志
中村 隆寛
○ 藤原 健弥

1. はじめに

従来の一般的な解体工法である階上解体工法は、建物トップ階に解体重機を載せて躯体を上階から破砕する。そのため、特に超高層建物の地上躯体の解体工事では、建物最頂部である解体階からのガラの飛来・落下、粉塵の飛散など、周辺環境への影響に課題があった。

また、躯体を切断して大きなユニット状にて吊降ろすブロック解体工法では、スラブ切断時に落下防止としてクレーンで揚重しながら切断するか、スラブ撤去まで下階から支保工で支える必要があり、支保工を全階数分搬入・設置すること、クレーンによる支保工揚重・撤去が工程のクリティカルになることから工期が長くなる点で課題があった。

そこで、スラブを斜めに切断してスラブ切断後の仮設支保工を不要とし、従来のブロック解体工法と比較して、工期を短縮する工法を開発した。工法の開発にあたり、新たにスラブ斜め切断カッターを開発した。また、スラブ切断時に発生するノロ水を減容し、分離した水を切断に再利用するノロ水脱水装置、切断後のユニットの揚重時に自姿勢を自動で水平にし、着地前に反転させ、解体・搬出時間を短縮する4点自動吊上げ装置を開発した。

本工法を、最高高さ162mの超高層ビルの地上躯体解体工事に適用し、工法の有用性を検証し、従来のブロック解体工法との生産性を比較した。

2. 工法の内容

2.1 スラブ斜め切断の概要

スラブを切断する方法として切断速度が速い道路カッターの採用を検討した。しかし従来の道路カッターは鉛直に切断する機械のため、前述の通り、スラブ撤去まで支保工を残置する必要がある。

そこでスラブを「斜め」に切断できる機械を開発した。図-1に斜め切断と鉛直切断の比較、図-2に斜め切断の概要を示す。切断後はスラブを両脇のスラブに預けて落下しない様にするため、切断終了後の支保工が不要となり、その解体及び揚重時間のタクト工程を短縮し全体工期短縮を実現する。

2.2 工法概要

本工法では、躯体をできる限り大きな部材とし

て切断し、吊り下ろしにより解体工事を進める。

まず、建屋内部に解体部材吊り下ろしのために1階から最上階までを貫いた揚重開口を設ける。スラブ切断前に下階に支保工を設置し、スラブ切断後は図-3に示す通り直ちに支保工を盛替える。解体部材は最上階より揚重開口にて1階まで揚重され、解体用重機にて小割り・分別の後、搬出される。

切断は外壁・ガラスがある建物内部の密閉空間内であらかじめ行い、小割も1階にて行うため、タワークレーンの稼働率向上と、粉塵の飛散防止など周辺環境への配慮を実現している。

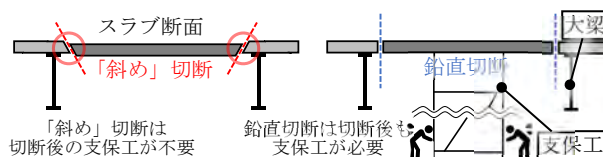


図-1 斜め切断と鉛直切断の比較

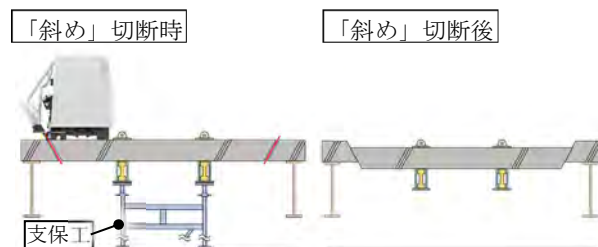


図-2 斜め切断の概要

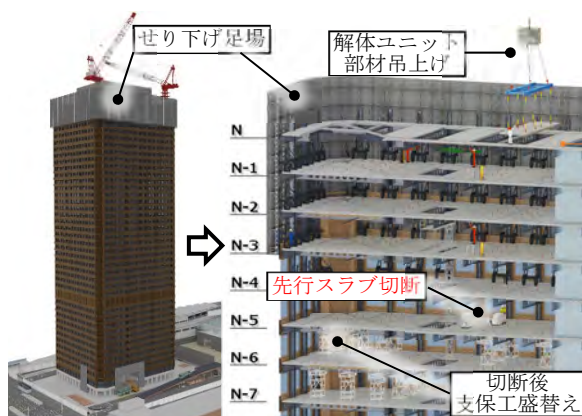


図-3 工法の概要

2.3 解体手順

大割のブロックは、スラブの斜め切断による「スラブユニット」の他、2本の大梁とスラブの「大梁スラブユニット」、建物外周部の3本の柱を梁で繋いだ「外周柱ユニット」、コア部の柱と耐震壁を梁で繋いだ「コアユニット」に分類してより大きなユニットとし、揚重回数を減らすことでタワークレーンの拘束時間を減らし、工期短縮を実現する。これらの大判ユニットを図-4に示す。

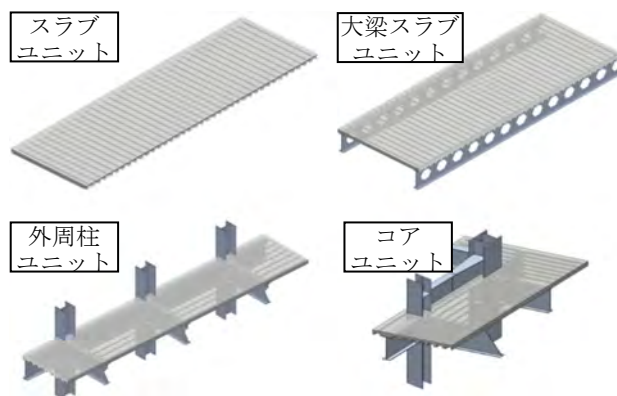


図-4 大判ユニットの例

3. 新たな施工機械・装置の開発

3.1 スラブ斜め切断カッターの開発

(1) 斜め切断方法及びブレード取付向きの検討

スラブを斜めに切断する方法を検討するにあたり、スラブを模擬した試験体を用いてウォールソーにて斜め切断の検証を行った。その結果、切断速度が非常に遅く、非効率であることが判明した。この原因は、斜め切断の場合、鉛直切断と比較して切断面積が大きくなり、加えて機械本体にかかる水平力が大きくなって切断抵抗が大きくなることなどが挙げられる。そこで切断速度に優れた道路カッターに変更し、これを基としてスラブ斜め切断カッターを開発することとした。

実験には写真-1に示す「道路カッターの後輪駆動を流用した実験用台車」を用いて行い、スラブを模した試験体を10m切断し、切断速度と水平荷重を計測した。水平荷重とは、台車に掛かる水平力に対抗して、カッターを直進させるために作業員が押し棒を支えた力である。ブレードの向きが水平力に大きな影響を与えることが分かっていたので、図-5に示す通り、ブレードの向きを鉛直、内向き、外向きの3種類で比較した。



写真-1 実験用台車

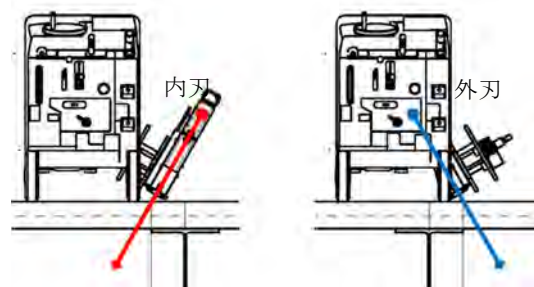


図-5 ブレードの取付向き

結果を図-6及び図-7に示す。切断時間は「内刃」は鉛直とほぼ同等であり、「外刃」は鉛直と比較して約8%増加した。水平荷重についても、「内刃」は鉛直とほぼ同等であり、「外刃」は鉛直と比較して約18%増加する結果となった。以上の結果から、スラブカッターのブレード取付向きは内刃にすることとした。

(2) ブレード取付位置及び車輪位置の検討

次に、ブレード取付位置と車輪位置の検討を行った。これらは切断時の機械本体の安定性を向上させ、切断速度の高速化に影響を及ぼす。

通常の道路カッターは、ブレード挿入の作業性の良さや、作業時間、コスト低減の面からダウンカット方式を採用している。しかし、今回開発するスラブカッターの切削対象であるスラブの下にはデッキプレートがあるため、ダウンカット方式ではデッキプレートが剥がれ下方へ逃げてしまいデッキプレートの切断ができない可能性があった。そこでデッキプレートを下方から押上げながら切断

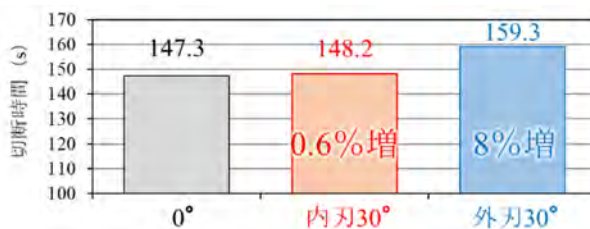


図-6 ブレードの取付向き別 切断時間

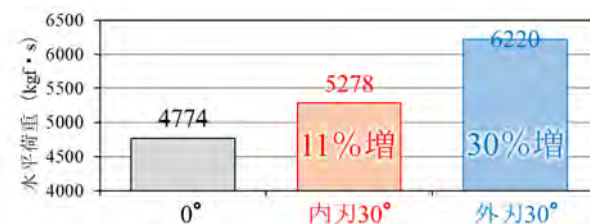


図-7 ブレードの取付向き別 水平荷重

するアップercット方式を採用した。

アップercット方式では、図-8 に示すように切削反力によって後輪が浮上ろうとする力が発生する。実際、後輪荷重の変動を荷重計で計測したところ、切断中に0又はマイナスを示す値が計測された（図-9 参照）。これは後輪が無負荷状態、つまり空転していることを意味し、本体が前進するための反力がないことになる。このため、直進安定性が悪くなり、作業員が押し棒を操作して機械を抑制する余分な力が必要となる。この問題を解決するため、ブレード位置と本体の適正な重心位置を検討した。

通常の道路カッターのブレードは前輪より前方に位置しているので、同様の配置のままアップercット方式にすると、ブレードの切削反力（沈込み）が生じた場合に前輪を支点として機械が挙動し易くなり、前述の通り浮上がりが生じる。一方、ブレードが前輪より後方にあるとブレードの切削反力（沈込み）が生じても、主に右前輪で荷重を受けるため、浮上がりに対する挙動への影響を低減できる。これらのことからブレード位置は前輪より後方にした。また、左右方向の重心については、ブレード近傍の車輪（右前輪）のグリップ力が低いと切削時にブレードに振れが生じ切断安定性が低下するため、右前輪のグリップ力を確保するよう右前輪に荷重がかかりやすい重心位置を考える必要がある。一方、前後方向では、後輪の浮上りを抑えるため極力後方に重心位置を配

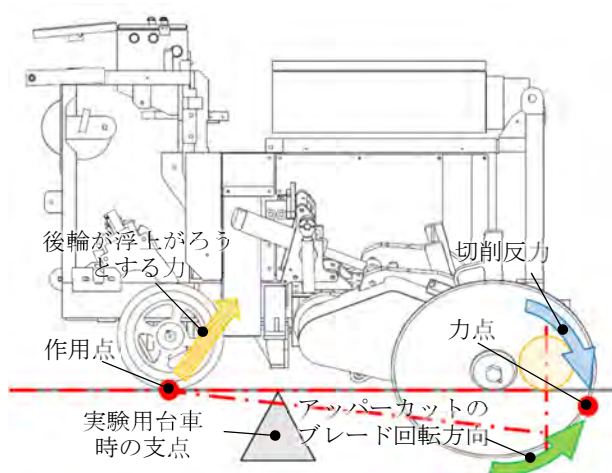


図-8 アップercット

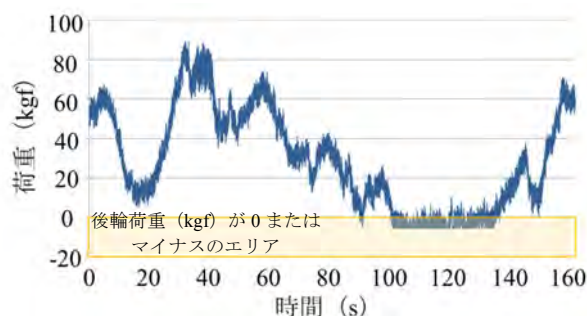


図-9 切断中の後輪荷重

置し、後輪のグリップ力を確保する必要がある。

以上により、図-10 に示す通りブレードの近傍にある右前輪（①）と、二つの後輪（②、③）を結んだ三角形の内側、かつ極力後方に、部品配置を調整し重心を配置した。

(3) スラブ斜め切断カッターの仕様

先述の検討を踏まえてスラブ斜め切断カッターを開発した。写真-2 及び表-1 に仕様を示す。な

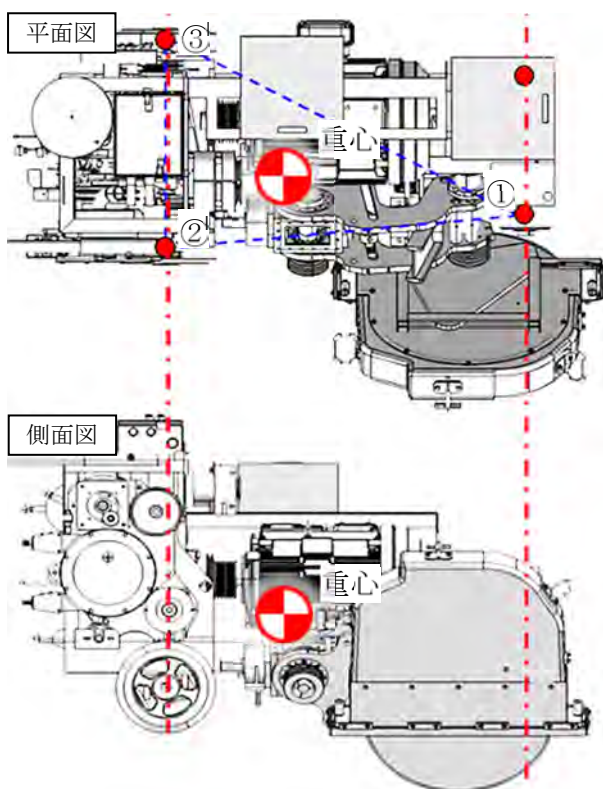


図-10 スラブカッターの重心位置



写真-2 スラブ斜め切断カッター

表-1 スラブ斜め切断カッターの仕様

搭載モータ	三相400V 4P-22kW
ブレード軸回転数	1,500m/min (50Hz)
本体サイズ、重量	L:1,500×W:760×H:1,070mm、890kg
最大切削深度（スラブ厚）	0° : 214mm、15° : 206mm、30° : 185mm
ブレードサイズ	22インチ（55.8mm）
走行速度（前進）	切削時:0～1km/h、回送時:0～3km/h
バッテリー（2台）	1台あたり...電圧:12V、容量:43Ah、重量:13.0kg
バキュームユニット	吸気量:2.0m³/min、排水ポンプ吐出量:9L/min

(4) スラブ斜め切断カッターの IoT 化

カッター本体に異常が生じた場合は、熟練した作業員でないとわかりにくいことが課題であった。そこで、各種センサを取付け、計測したデータをリアルタイムでクラウドにアップロードし、本体の異常、故障の予兆を把握する仕組みを構築した。センサによる計測項目は、切断深さ・距離・時間、モータ電流値・電圧・回転数・温度・振動とした。また、作業にあたっては本体のタッチパネルを用いて、所属会社、作業者、ブレード番号、ブレードサイズ、作業フロア、工区を入力する。これらのデータによって事務所などの遠隔地にいながら切断の進捗状況を確認できる「全体状況画面」とカッターの負荷状態などを確認できる「ライブ画面」を作成した。全体状況画面を図-11に示す。カッターがどのエリアで稼働してい

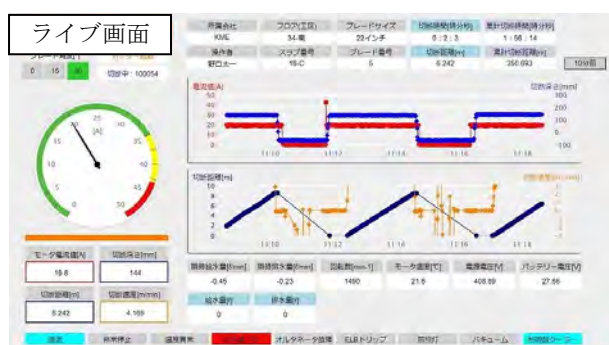


図-11 クラウド画面

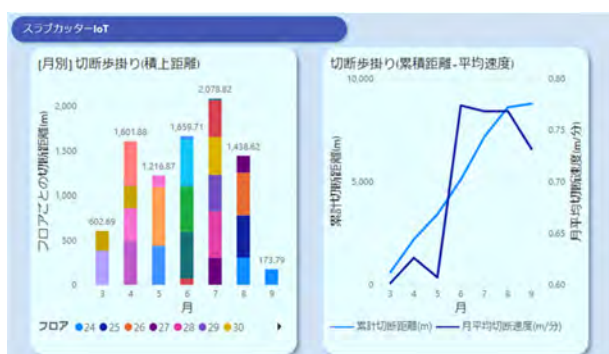


図-12 BI ツールによる切断実績

るかをキーボード上で表示し、ライブ画面では、
カッターごとの切断深さ・速度とモータ電流値を
表示している。

これらの入力データ、計測データをクラウド上に蓄積してBIツールにて簡便にグラフ化し、切断実績として帳票化した。図-12にBIツールによる切断実績の例を示す。

3.2 全自動ノロ水脱水装置の開発

(1) 装置の概要

スラブ切断時にはブレード冷却のために大量の水（4L/分）が必要であり、発生したノロ水はそのまま産廃処分すると大量の「汚泥」となる。汚泥量を低減するためにノロ水から水を分離して減容し、さらに分離された水（再生水）を切断に再利用する「全自動ノロ水脱水装置」の開発を行った。仕様を写真-3 及び表-2 に示す。

本装置はフィルタプレス方式による脱水装置とノロ水・再生水タンクをそれぞれ台車1台に集約した構成である。ノロ水から再生水を分離し脱水ケーキを排出するまでを全自動にて運転する。

(2) ノロ水、再生水のフロー

本装置使用時の、スラブ切断に使用する給水、ノロ水として発生する排水のフローを図-13に、



写真-3 全自動ノ口水脱水装置

表-2 全自動ノロ水脱水装置の仕様

ケーキ判定閾値	0.26MPa、20s
本体サイズ、重量	フィルタープレス部...L:1,200×W:700×H:1,695(mm)、520kg タンク部...L:1,200×W:700×H:1,515(mm)、390kg
ダイヤフラムポンプ	吐出圧力:0.7MPa、吐出量:100L/min
コンプレッサ	三相200V 4P-2.2kW、圧力:0.8MPa
タンク容量	ノロ水タンク:108L、再生水タンク:108L
ろ室体積	L:860×W:450×H:50 (mm)

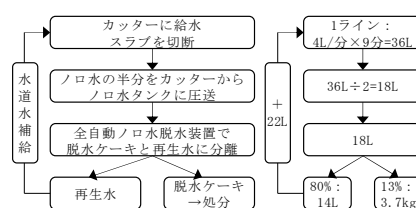


図-13 水のフロー図

また、この循環の模式図を図-14 に示す。

スラブの切断と並行して運用するため、本装置はスラブ切断作業に影響しない打込速度を要求される。ここで、図-15 に示すとおり、ダイヤフラムポンプを用いて「ノロ水の高速打込み」と「再生水の高速圧送」を同時に実現した。

また、脱水ケーキを小割にして回収しやすくするため、脱水ケーキを生成するろ室には区切りを設けて小割を誘発させる仕切り壁を設けた。

3.3 4 点自動吊上げ装置の開発

大判ユニットは重心位置が不明なため、風による荷ぶれを低減するよう水平な状態で揚重するのは困難である。また、大型揚重開口内を1階に吊下ろした後、大判ユニットを自動で反転・着地させることは解体、搬出時間の短縮につながる。そこで、これらを満足する「4 点自動吊上げ装置」を開発した。本装置の操作は遠隔で行うことができ、さらには無線遠隔操作により吊荷を安全な姿で着地させることができるため作業員の高所作業の低減や安全作業にも寄与している。写真-4 及び表-3 に4 点自動吊上げ装置の仕様を示す。

操作性向上のため、個別チェーンの電動駆動による巻上下げやチェーンの繰出し・巻取り長さの一括動作を行うこともできる仕様になっている。

1 階に吊下ろした際の吊荷の反転状況を写真-5 に示す。一連のチェーン動作をグループ登録することにより、ワンボタン操作だけで自動的に4 点巻上下げを行い、吊荷を反転させることができる。

また、図-16 に示すとおり、操作はタブレットにより無線遠隔操作としており、高所作業の低減及び吊荷との接触防止に努めた。また、操作画面は吊荷重量、吊荷重心（傾き）、Wi-Fi の接続状況及びバッテリー残量についても瞬時に確認できるように工夫した。

最後に、強風による吊荷のブレの補正として、回転制御機構を付加した（写真-6）。遠隔操作により



写真-4 4 点自動吊上げ装置

表-3 4 点自動吊上げ装置の仕様

定格荷重	15t (5t×4台) 4点/2点吊り
本体サイズ、重量	L:1,400×W:1,750×H:1,700 (mm) 、2,600kg
巻上出力	DC48V、3.4kW
巻上速度	0.54～3.25m/min
揚程	10m
吊り角度	垂直:0～30° 以内、水平:0～30° 以内
安全装置	過荷重検出 (ブザー音、停止)



写真-5 吊荷反転



図-16 タブレット無線遠隔操作画面



図-14 水の循環

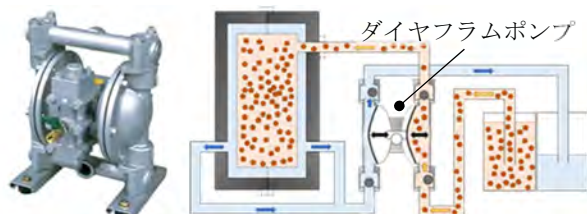


図-15 ダイヤフラムポンプの役割

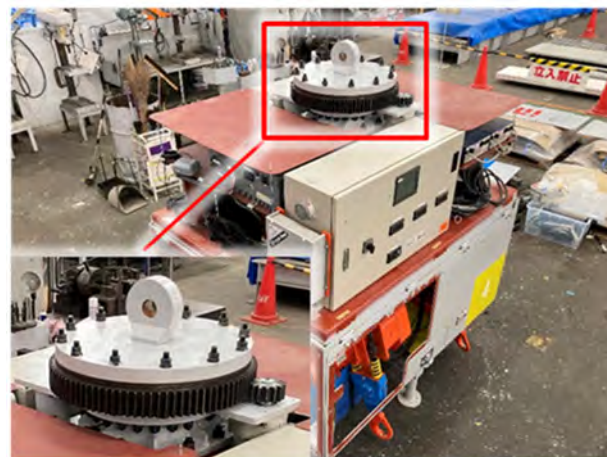


写真-6 回転制御機構

装置上部のギアモータを回転させ、クレーンフック及び吊ピースと一体化した旋回輪が回転し、左右自由に回転させることができる。モータをロックして吊荷の回転を抑制することも可能なので、吊荷を躯体等に衝突させることなく安全に揚重することを実現している。

4. 世界貿易センタービルディング解体工事適用

4.1 スラブ斜め切断カッターの施工歩掛り

実施工における各フロアの切断距離・時間・速度を図-17及び表-4に示す。切断距離・時間の合計はそれぞれ18,291.2m、23,560.5分であり、切断速度の平均値は0.79m/分となった。1フロア当たりの切断距離を1,000mとするとカッターの稼働時間は $\cdot 1,000\text{m} \div \text{切断平均速度:}0.79\text{ (m/分)} = 1,265\text{ 分 (21.1時間) /フロア}$

であり、1日あたりの稼働時間を6時間とすると、 $\cdot 21.1\text{ 時間} \div 6\text{ 時間} = 3.52\text{ 日} < 5\text{ 日}$

となるため、5日間のタクト工程を実現できた。切断速度の性能は、当初想定していた工程に沿った結果となっており、十分に満足している。

4.2 全自動ノロ水脱水装置の性能評価

実施工で本装置の性能評価を行った。打込み量に対する脱水ケーキと再生水の合計量割合を回収率として計測した(N=631)。

回収率の平均値は92.6%となった。残りの7.4%は装置配管内の残り、及び脱水時の装置からの吹きこぼれによるものであるが、90%を超える有用な回収率を計測している。

回収率約92%のうち、脱水ケーキは約14%、再生水は約78%となり、水の循環として十分な値を示している(図-18)。また、処分対象であったノロ水を脱水ケーキとして14%に抑えて減容しており、処分効率化への寄与についても評価できる。

最後に、2022年4月から2023年2月までの約10ヵ月間のデータをまとめ、処理速度について評価を行う。1回あたりのノロ水の打込量・打込時間・打込速度は、それぞれ平均88.5L、26分30秒、3.34L/分であった。スラブ切断によるノロ水発生量は最大でも半日で約100Lで、本装置のタンク容量108Lに収まる量である。午前、午後のスラブ切断作業の最後に本装置を運転し、打込み1回を26分30秒で完了できるため、作業仕舞い時間内でノロ水の処理を行うことができおり、処理速度性能は十分であるといえる。

4.3 4点自動吊上げ装置の揚重作業への寄与

フロアごとの大判ユニットの揚重時間を図-19に示す。1フロアあたりの平均揚重時間は13時間4分であり、準備等を考慮し1日あたり揚重に割くことのできる時間は5時間とすると、解体部材の揚重時間は1フロアあたり2.6日となる。解体部材揚重の3日タクトを実現する結果を得ている。

5. おわりに

技術開発の成果により、世界貿易センタービルディングの解体工事においては従来のブロック解体工法に比べ約17%の工程短縮に貢献し、同等の超高層ビルの解体工事で効果が期待できる。今後の超高層建物の解体工事に適用を進めていきたい。

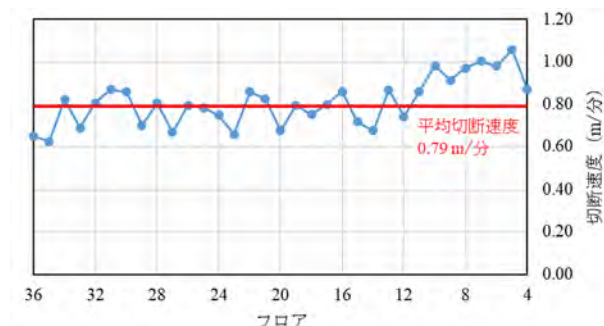


図-17 スラブカッター切断速度

表-4 各フロアの切断歩掛り（抜粋）

	36F	35F	34F	33F
切断距離 (m)	650.7	472.6	529.4	497.7
切断時間 (分)	1,003.1	756.6	644.2	722.1
切断速度 (m/分)	0.65	0.62	0.82	0.69
⋮				
	7F	6F	5F	4F
切断距離 (m)	449.9	495.4	463.4	456.2
切断時間 (分)	448.6	505.7	437.6	524.8
切断速度 (m/分)	1.00	0.98	1.06	0.87

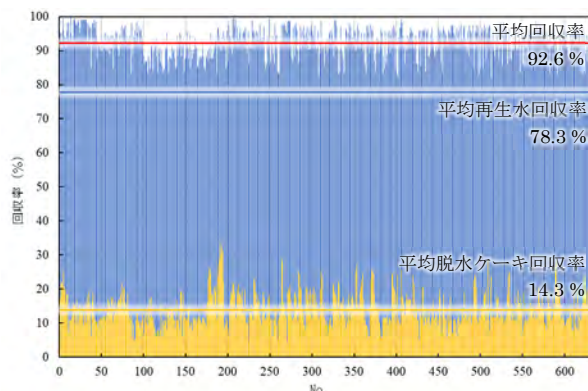


図-18 回収率の内訳

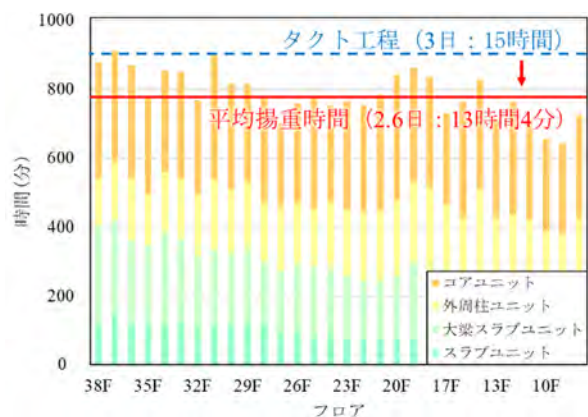


図-19 フロアごとの大判ユニット揚重時間