

32. 100m以上の超高層建物における閉鎖型解体工法 「テコレップシステム」の開発および実施適用

大成建設(株) ○ 市原 英樹
同 萱嶋 誠
同 梅津 匡一

1. はじめに

近年、超高層建物の解体需要増加に伴い、近隣環境保全や安全性向上、あるいは解体工事の効率化といった観点から、新しい解体工法の開発・実用化が進んでいる。

従来の解体工法は、建物に隣接して揚重機（クローラークレーン）を設置し、大型解体重機（ブレーカー）を用いて最上階で部材を粉々に破砕し、揚重機で外部から荷下ろしを行うのが一般的である。建物の外周部に仮設足場と養生材を設置するものの、上部が解放されるため、図-1に示す課題が発生する。工事中の騒音の影響拡大やコンクリートガラから発生する粉塵飛散が広範囲に及ぶこと。外部荷下ろしによる解体部材の飛来落下の危険性が増すこと。工事が長期化し、近隣の方々へ与える圧迫感・不安感が増すこと。更に、上空の風は通常でも地上の2倍程度となるため、台風時以外も作業不能日が増え工期が長くなり、仮設養生材の設置、撤去、盛り替えも高所危険作業となり安全対策のコストが高くなる、などが挙げられる。

筆者らも、同様の背景から、閉鎖型解体工法「テコレップシステム」（以下「本工法」）の開発を行い¹⁾、高さ100mを超える建物の解体工事としては、国内2事例目となる実際の建物において、実施適用と性能検証を行った。本報では、その基本計画および適用結果について報告するとともに、本工法の重要な環境配慮要素技術の一つである「荷下ろし発電」に関する性能検証結果を報告する。

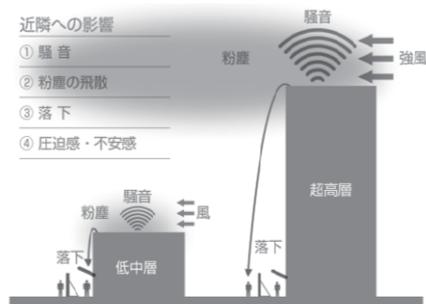


図-1 超高層建物解体における課題

2. 閉鎖型解体工法の概要

本工法の概要を図-2に示す。既存の最上階躯体を有効利用して閉鎖空間を構築し、内部で解体工事を行うことを特徴としている。内部には水平搬送機（天井走行クレーン）および垂直搬送機（テルハ）を設置し、全ての揚重作業を閉鎖空間内部で完結させることにより、飛来落下災害のリスクを無くしている。建物は最上階から1フロアずつ下階に向けて解体を進める。1フロア解体後の閉鎖空間の盛り替えは、全体を支える仮設柱に組み込んだ自動降下装置を使用し、安全かつ敏速に行うことができる。

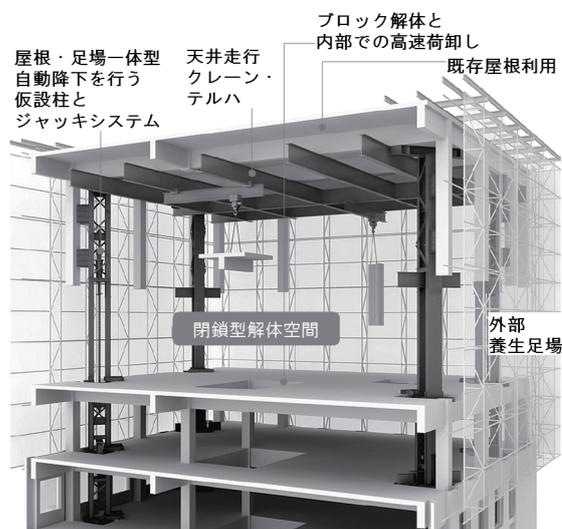


図-2 閉鎖型解体工法の閉鎖空間と主要機能

3. 実施適用

3.1 建物概要

本工法における実施適用は、2011年2月より12月まで行った。

解体建物の概要を表-1に示す。適用した建物は、鉄骨造、地上24階建て（塔屋1階）、高さ105m、長辺方向約75m、短辺方向約25m、建築面積1,763㎡の建物である。外壁は金属パネルに天然石材が

貼り付けられたストーンパネルが施されている。

表-1 建物概要（及び建物外観写真）

用途	事務所・店舗・駐車場	
敷地面積	3,557.8㎡ (1,077.3坪)	
建築面積	1,762.5㎡ (533.7坪)	
延面積	52,519.4㎡ (15,902.9坪)	
	地下：12,610.4㎡ (3818.4坪)	
構造・階数	地上：39,909.0㎡ (12084.5坪)	
	RC・S造 地下：4階	
	地上：24階	
	塔屋：1階	
	軒高：99.95m	
その他	最高高さ：105m	
	建物深さ：GL-22.65	
その他	地上解体、地下解体	

3.2 構造計画の概要

建物頂部に閉鎖空間を構築するため、既存建物の屋上階部分の大梁、床スラブを屋根として活用し、外周を囲う壁として吊り足場を計画した。39本の既存柱を切断し、新たに12本配置した仮設柱で閉鎖空間の重量(1300ト)を支える計画とした。

また、仮設柱は解体階の下3層まで貫入させ、各フロアレベルで水平ガイドを用いて水平方向に固定することにより地震力、風荷重などの水平力に受ける計画とした。

仮設柱を解体階の2層下の既存大梁上に平面的に45度傾けて配置した梁Bで支えることにより自重を既存建物の構造フレームへ伝達させた。ジャッキ直下に位置する梁Aは、ジャッキダウンの間のみ、重量を支える役割を担う。

3.3 施工計画

本工法システムの施工計画図(断面図)を図-3に示す。高揚程テルハ直下の床スラブを、鉛直方向に連続して先行解体し、荷下ろし開口を2カ所設けた。既存ELVシャフトはコンクリートガラ専用の荷下ろし開口として一部利用し、搬出のための積み込み作業も建物内で実施した。

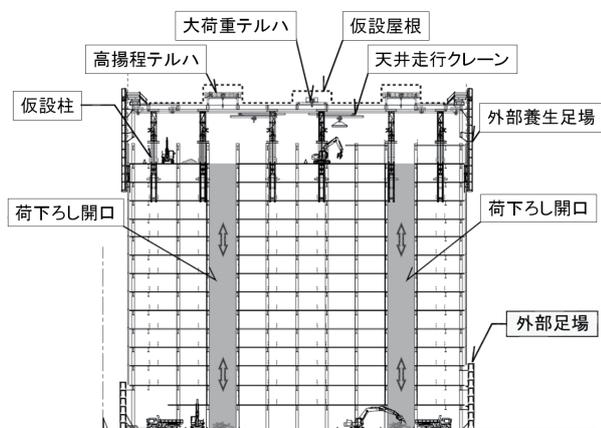


図-3 仮設計画断面図

3.4 基準階解体

基準階の解体工事は、以下の手順で実施した。まず、1～2日目に床スラブ及び内部梁の解体を、カッターと重機圧砕工法を併用して行った。カッターによる切断は解体階で行い、重機による圧砕は、1フロア下の階に重機を据え置いて行った。解体時に生じたガラ等は、随時専用の荷下ろし開口から搬出した。切断した大梁、小梁は高揚程テルハにて搬出を行った。2日目の後半より外壁の撤去を開始し、3日目までには、全ての外壁の撤去を完了した。解体材の荷下ろしは、2基の高揚程テルハを用い、1基を柱、梁鉄骨用、もう1基を外壁用とし、4日目まで搬出を完了させた。4日目には、ジャッキダウンの準備を開始するが、上部に吊り上げられていた梁A及びジャッキを次の解体階の外周大梁上に下ろし、ジャッキの点検及びジャッキ位置の微調整を行い準備完了とした。

3.5 ジャッキダウンの実施

ジャッキダウンは、計測室にてジャッキの操作・挙動を把握すると共に、仮設柱の変位および鉄骨のひずみをリアルタイムに監視しながら実施した。

解体階では常時ジャッキの可動状況を目視で監視した。解体階より1フロア下の階の監視については、ジャッキダウン直後の梁Bのスラブ通過完了まで監視を行い、その後、解体階より2フロア下の階へ移動し、梁Bが既存大梁上に着床しジャッキダウン全行程が完了するまで監視を行った。本適用物件の基準階高は3925mmである。今回使用したジャッキのシリンダーストロークは150mmであり、シリンダーが上下移動を繰り返すことにより閉鎖空間全体を1層分降下させた。

各階の解体工事完了後のジャッキダウンは、2時間程度で完了することができた。これは、全体の安全確認を行いながら作業を進める上で、適正な速度であった。写真-2にジャッキダウン前後の内部状況を示す。全てのジャッキダウンにおいて、12台のジャッキは同期を維持し、安全に降下することができた。

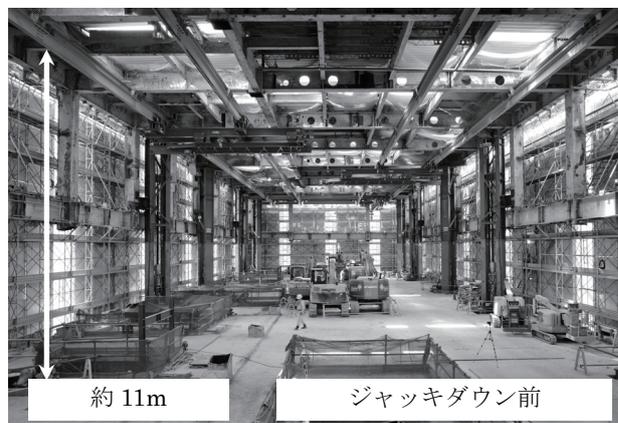


写真-2 (1) ジャッキダウン前の内部状況



写真-2 (2) ジャッキダウン後の内部状況



写真-4 テルハ外観(左)と荷下し状況(右)

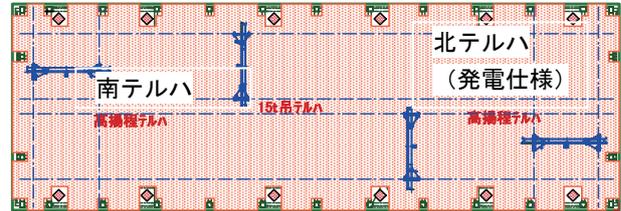


図-4 テルハ配置図

3.6 解体工事の経過状況

閉鎖空間構築直後から全ての工事を完了するまでの工事進捗状況を写真-3 に示す。基準階解体は、閉鎖空間構築後 5 ヶ月間で 24 フロアの解体と 21 回のジャッキダウンにより完了し、ジャッキダウンによる下階への盛り替えが安全に行えることが実証できた。その後、外周足場を地面に自立させ、既存建物と足場のつなぎ材を撤去し、2 階立ち上がり部分の解体と閉鎖空間全体の解体を行った。解体工事期間中における悪天候による作業不能日は発生せず、工事工程を予定通り終了することができた。また、地震や強風時における閉鎖空間全体の変位および仮設柱の鉄骨ひずみも、モニタリングによりデータ採取ができ、外乱時の構造的な安全性も確認できた。

4. 荷下ろし発電システム適用結果

4.1 高揚程テルハ概要

本工法では、地上までの荷下ろし用として高揚程テルハ（写真-4）2 基、1 フロア下の階への重機や仮設材の荷下ろし用として低揚程テルハ1基、合計 3 基を配置する計画とした。図-4 にテルハ配置、表-2 に高揚程テルハの主な仕様を示す。

表-2 高揚程テルハの仕様

定格荷重	8.0 t	
フック自重	0.3 t	
速度	巻上	0.483 m/s ~ 0.242 m/s (29.0 m/min ~ 14.5 m/min) 0.0t ~ 8.0t
	走行	0.083 m/s (5.0m/min)
電動機	巻上	30.0 kW 4P CONT インバータ制御
	走行	2 × 0.2 kW 4P CONT インバータ制御
揚程	135m	
レールスパン	4.0m	
レール	30Kgレール	
走行距離	9.0m	
電源	220/200V 60/50Hz	
安全装置		巻過防止装置
		過負荷防止装置
		走行制限装置

荷下ろし発電システムは、2 基の高揚程テルハのうち 1 基に適用しており、システム適用効果を評価するパラメータの一つとして、それぞれの消費電力を計測・比較した。

4.2 荷下ろし発電システム概要

図-5 に発電システムの機構図を示す。

解体材の荷下ろし時に生じた回生電力は、キャパシタに一時的に蓄電される。テルハのウィンチ巻き上げ時には、キャパシタに蓄電された電力が



写真-3 解体工事の進捗状況外観

DC/DC コンバーターで変換された後に、ウィンチ巻き上げ用モーターの駆動力として再利用される。

また、回生電力をテルハ巻き上げ以外の用途にも有効利用するため、キャパシタから電力変換装置 (CVCF) を介して給電可能な 10kW (AC200V/または AC100V) の専用電源を併せ持つ仕様とした。

ただし、長期休暇明けなどキャパシタの蓄電量が不足するケースが想定されたため、商用電源からもテルハ巻き上げおよび専用電源への給電が可能な機構とした。

更に、揚重作業時のモーター負荷、キャパシタの蓄電状況、および専用電源の使用状況を常時確認可能なモニタリングソフトを開発した (図-6)。実際の施工時には、発電システムの稼働状況を現地ないし遠隔地から随時点検した。

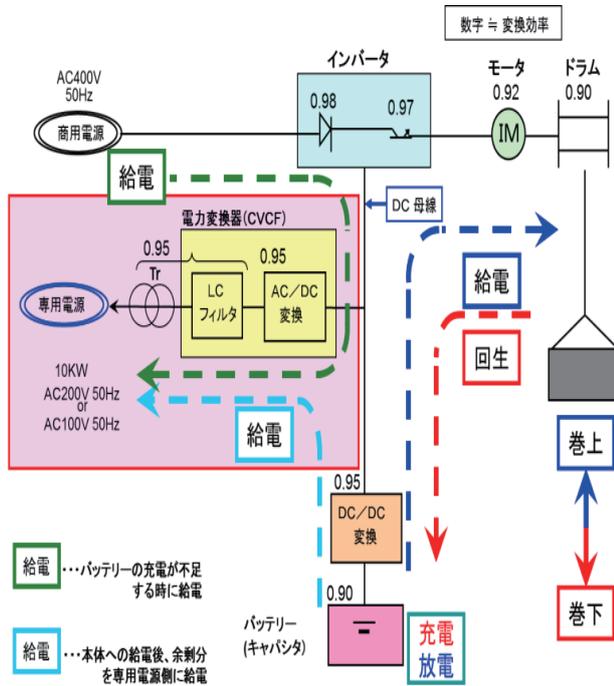


図-5 荷下ろし発電機構図

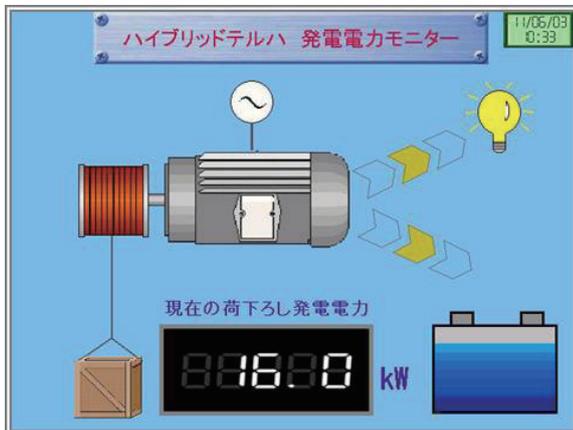


図-6 回生電力モニタリング画面

4.3 実測概要

本システムの発電性能を確認するため、基準階解体工事 (21 階：揚程 83m～4 階：揚程 16m) の揚重作業時における発電量を測定した。具体的な測定項目は次の通りである。

- ① 総揚重量 : 解体階別の荷下ろし部材総重量
- ② 揚重回数 : 解体階別の往復揚重回数
- ③ 回生電力量 : 荷下ろし時の総発電量
- ④ 消費電力量 : 荷上げ時の総消費電力量

また、上記①～④の測定データをもとに理論的な回生電力量を算出し、システム設計時における仮定条件の妥当性を評価した。

4.4 揚重量実測結果

図-7 に 2 基のテルハの揚重量および揚重フック数 (往復) を示す。

揚重量、フック数ともに北テルハ (発電システムあり) よりも南テルハ (発電システムなし) の方が多く、実際の使用量に偏りが見られた。これは、北テルハ側よりも南テルハ側からの方が、より多くの搬出入量を確保できたためである。発電仕様のテルハと通常のテルハを併用する場合は、仮設計画上より多くの搬出入量が確保可能な荷下ろし開口側に発電仕様のテルハを設置することが、発電効率向上の観点から望ましいと言える。

4.5 吊り荷重別回生電力測定結果

キャパシタの蓄電性能および専用電源利用効率の把握を目的に、同一揚程で異なる負荷の揚重作業を行った際の、消費電力および回生電力を測定した。図-8 に揚程 95m における 1 フック当たりの消費・回生エネルギー内訳を示す。

新築工事の荷揚げ作業を想定し、吊り荷重 4t の荷揚げを行い、空フック (自重 0.3t) を下ろした場合の消費電力は 4800kJ であり、空フックで 1 フック揚重を行った場合の消費電力は 1300kJ であった。

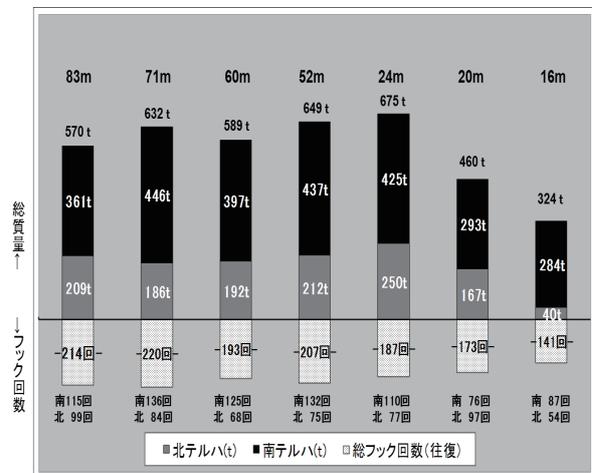


図-7 揚重量・フック数実測結果

一方、吊り荷重 2t で荷下ろしを行い、空フックを上げた場合、消費電力 1000kJ を上回る 1800kJ の回生エネルギーが生じた。また、吊り荷重 6t 以上では、3800kJ の回生電力がキャパシタに蓄電され、キャパシタの蓄電容量を上回る余剰エネルギーが、CVCF を介して専用電源に移行した。

さらに、テルハの最大定格荷重 8t では、総回生エネルギー 6100kJ に対し、約 38% の 2300kJ を専用電源に活用することができた。

このことから、荷下ろし発電システムを活用するためには、キャパシタ容量を適切に考慮した揚重計画の立案が必要であると言える。

4.6 揚程別回生電力測定結果

図-9 に揚程別の回生電力量および消費電力量を示す。全測定期間における総回生電力量は 555kWh、総消費電力量は 449kWh (待機電力除く) となり、荷上げに要する電力を荷下し時の回生電力で賄うことができることを確認できた。揚程別に見ると、52m 以上の高さでは回生電力量が消費電力量を上回ることから、解体建物の高さが高くなる程、高い発電効率が期待できると言える。

4.7 回生電力試算条件の評価

荷下ろし発電システムの設計段階における、仮定条件の妥当性を評価し、今後の計画時における発電シミュレーション精度を向上させることを目的に、回生電力量の実測値と、測定データから算出した理論値を比較した。結果を図-10 に示す。理論値の算出方法は下式の通りである。

$$W = N \cdot \eta \cdot P \cdot t \quad , \quad P = \frac{M \cdot V}{6.12 \cdot d}$$

- W : 回生電力量 [kWh]
- η : 充放電効率 (=0.7)
- N : 揚重回数 [回/階]
- P : モーター負荷 [kW]
- t : 揚重時間 [h]
- M : 吊り荷重 [t/回]
- V : 揚重速度 [m/min]
- d : 機械定数 (=0.85)

70m 以上の高揚程作業時には実測値が理論値を上回り、揚程 40m~60m でほぼ同等、揚程 30m 以下では実測値が理論値を下回った。揚程別の揚重回数や吊り荷重に多少のばらつきは見られたものの、理論値と実測値は概ね整合するはずである。

このことから、理論値の算出時にはキャパシタ充放電効率を一定と仮定したのに対し、実際は揚程が低くなるほど充放電効率が低くなると考えられる。

図-11 は揚重作業 1 サイクルにおけるキャパシタ電圧の推移を揚程別を示したものである。充放電時のキャパシタ電圧変化量が小さくなるほど、キャパシタの充放電効率が低くなるが、本発電システムにおいても、揚程が低くなるほど、電圧の変化量が小さくなることを確認できる。

したがって、低層階解体時には荷下し 1 回当たりの吊り荷重を増やすなど、充放電効率の変動を考慮した施工方法を検討することにより、発電効率を改善することが可能であると思われる。

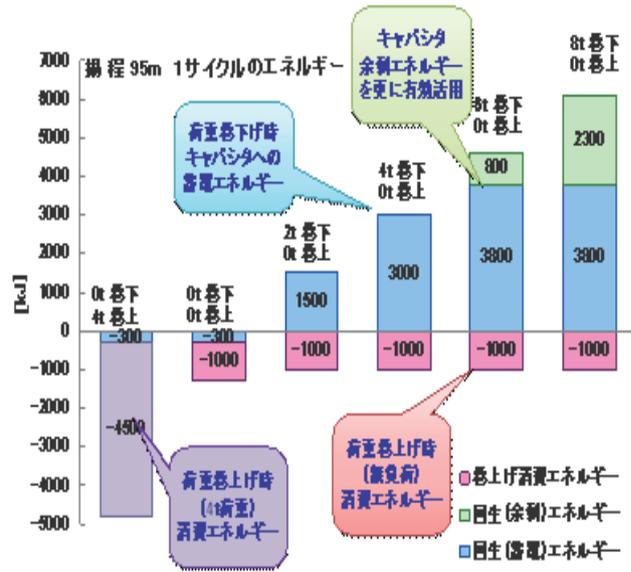


図-8 1 フック負荷別消費/回生エネルギー

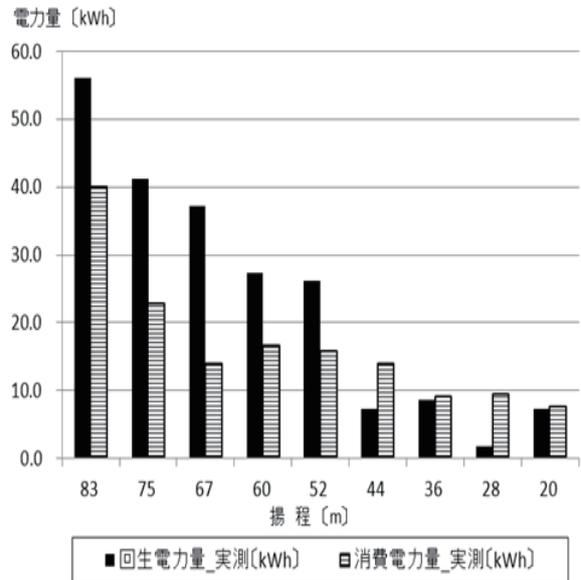


図-9 揚程別消費/回生電力

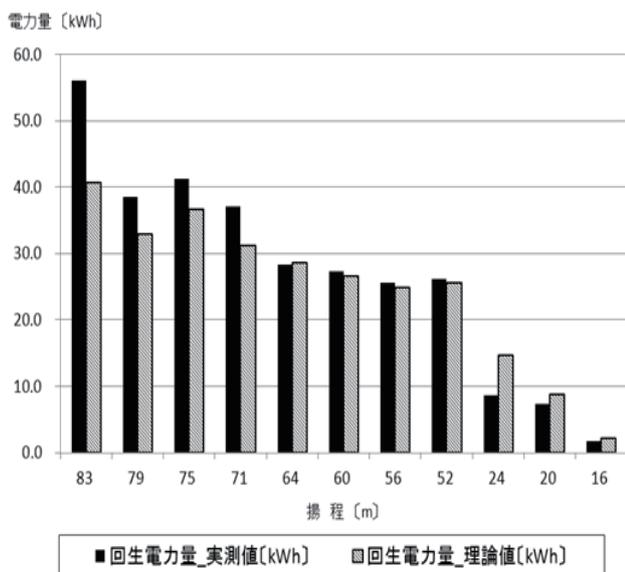


図-10 揚程別の回生電力理論値・実測値

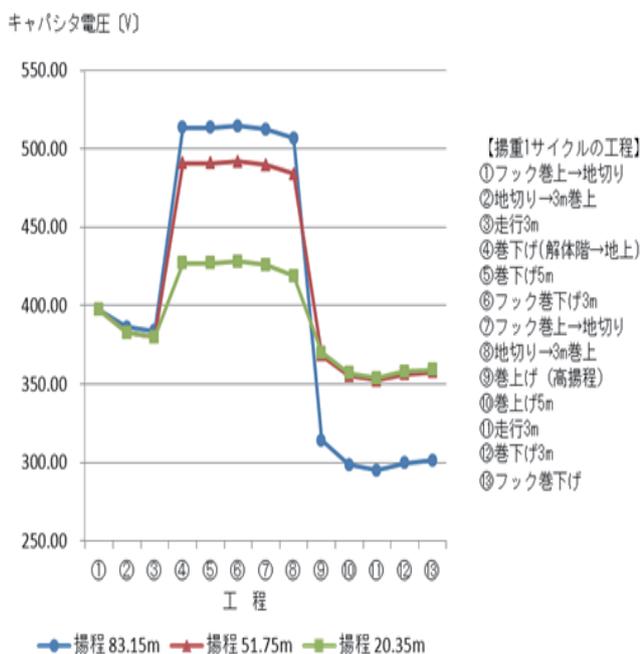


図-11 揚重1サイクルにおけるのキャパシタ電圧変化

4.7 まとめ

荷下ろし発電システムの実施適用により、次の知見が得られた。

- ① 吊荷重 6 t 以上で余剰電力発生 (揚程 95m)
- ② 高さ約 50m 以上で回生電力が消費電力以上
- ③ 揚程が低くなるほど充電効率が低下

これらの知見をもとに、より正確な発電効果の試算方法を構築し、揚重計画を正確に反映したシステム設計を行っていく必要がある。

今回開発した発電システムは、新築工事とは逆に荷下し量が荷上げ量よりはるかに多く、かつ高

揚程であるという、超高層建物解体工事に特有の施工条件を最大限に活かしたものである。

実際の施工により基本的な性能が満たされていることを確認できたが、システム設計方法見直しやキャパシタ特性に応じた揚重方法検討等により、発電効率の改善を行うことが今後の課題である。

5. おわりに

本工法の実施適用による知見を以下にまとめる。

- ・本工法は、全ての作業を内部で行うことから、在来の解体工法による解体工事と比較して、工事騒音、工事粉じんの飛散、コンクリートガラ小片の飛来落下など、外部への影響を大幅に低減できた。
- ・閉鎖空間を構築する構造体の下階への盛り替えに、ジャッキダウン機構を採用したが、本工法での操作安定性、安全性、効率性など、その有効性が実証された。
- ・今回、各種のクレーンを組み合わせて作業を行った結果、在来的な解体工事と同等以上の安全性と効率性を確認できた。

参考文献

- 1) 市原英樹他：超高層建物閉鎖型解体工法の開発 (その1) 工法の概要, 日本建築学会大会 (東海) 学術講演梗概集, 材料施工, pp.167~168, 2012年
- 2) 藤井裕之他：超高層建物閉鎖型解体工法の開発 (その7) 天井走行クレーンおよびテルハを用いた搬送システム, 日本建築学会大会 (東海) 学術講演梗概集, 材料施工, pp.179~180, 2012年

謝辞

本工法は、100m以上の超高層建物において最上部の構造体を利用して閉鎖空間を構築し、その内部で全ての解体作業を行い、1フロア解体するごとに閉鎖空間のジャッキダウンを実施した。その結果、解体作業が安全かつ効率的におこなえること、近隣の方々が解体工事を意識することなく、順調に工事を実施できることが実証された。最後に、開発に際し多大な御協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。