特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

鉄骨プラズマ切断装置を用いた環境配慮型超高層建物解体工法

谷　　卓・西　村　　淳・佐　藤　良　史

高度成長期に建造された超高層建物が更新期を迎えており，効率的で環境負荷の少ない解体工法が求められている。そこでガス切断に替えて鉄骨切断作業の効率化と CO_2 排出削減を実現するため，建物の柱や梁の切断作業に特化した鉄骨プラズマ切断装置を開発した。この装置を超高層建物解体工事現場に適用し，ブロック解体工法の柱や梁の鉄骨切断作業に組み込むことで作業の効率化と CO_2 排出削減の効果を検証した。

キーワード：超高層建物，解体，作業効率化，CO_2 排出削減，プラズマ切断，ガス切断

1. はじめに

近年，高度成長期後半から建造された超高層建物が更新期を迎えており，超高層建物を解体する事例が増えている。建物の解体方法は**写真**―１に示す建物の最上階に解体重機を乗せて解体する階上解体工法と，**写真**―２に示すブロック状に切断した躯体をタワークレーンで吊り降ろすブロック解体工法に大別される。階上解体工法は解体材の飛来・落下リスクや，荷降ろしが煩雑になるなどの課題があるため，超高層建物の解体工事ではブロック解体工法が主に採用される。超高層建物のブロック解体工事では，柱や梁の鉄骨切断量が多く，**写真**―３や**写真**―４に示す鉄骨のガス切断作業に時間を要することから，工事の長期化



写真―１　階上解体工法



写真―３　梁のガス切断



写真―２　ブロック解体工法



写真―４　柱のガス切断

やコストの増加が課題であった。ガス切断工の逼迫もこの課題をより大きくしている。また，ガス切断は切断用ガスボンベを大量に使用し，輸送や搬出入の作業が発生することも課題であった。さらに，切断ガスボンベの輸送で CO_2 を排出するだけでなく，アセチレンやプロパンといった切断ガスの燃焼によって CO_2 を排出することも課題であった。この課題解決に対し，鉄骨をプラズマ切断する方法が挙げられ，鉄骨切断の高速化や CO_2 排出量削減といったメリットがあり[1)]，ブロック解体工法の効率化や環境負荷低減が期待できる。一方でプラズマ切断は，切断状況に合わせた切断速度の調整や，切断トーチと切断部材との距離を一定に保つことが必要であることから，人による切断作業では扱いづらいことが課題となっている[2)]。そのため人による作業割合が高い建設現場では使用される事例が少ない。既往の文献において，ブロック解体工法の適用事例が報告されているが[3),4)]，プラズマ切断による鉄骨切断の報告はない。

本報では，超高層建物の解体工事の効率化に向け，人による作業の割合が高い建設現場で使用しやすい鉄骨プラズマ切断方法について検討し，従来のブロック解体工法に対する生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。

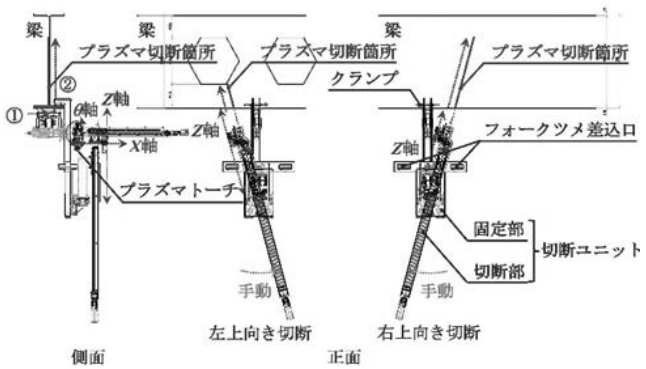
2. 鉄骨プラズマ切断方法の検討

(1) 切断条件と切断方法の検討

プラズマ切断をブロック解体工事に適用する上で，人による切断作業では扱いづらい特徴を鑑みて，切断作業を自動化した装置として適用する方法を採用した。機械装置をブロック解体に適用するには，他の作業との混在によって作業効率が低下することが予想されたので，占用の作業階で切断装置を使用するものとした。この作業階は，躯体ブロックを吊り取る最上階は作業が混在するため，下層階への設定を想定した。そのためこの鉄骨先行切断では，作業階より上階の荷重を支えられるだけ鉄骨を切り残すようにした。

(2) 梁鉄骨の切断装置の検討

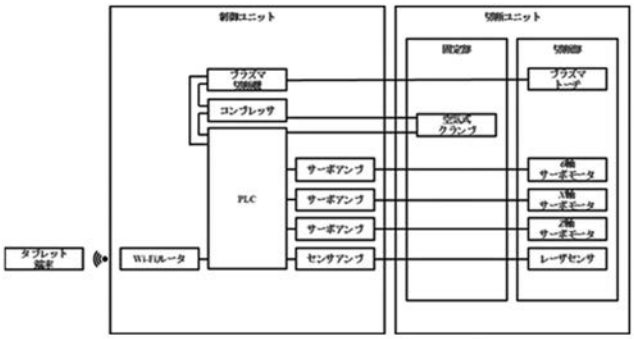
上記条件を満たす梁鉄骨の切断装置として，**図**―1 に示す切断ユニットを考案し，**写真**―5 に示す装置を設計製作して切断実験を実施した。機器構成を**図**―2 に示す。装置は切断ユニットと制御ユニットで構成し，切断ユニットは固定部と切断部から構成した。切断ユニットはフォークリフトによるハンドリングが可能で，固定部に設置した空気式クランプによって梁鉄骨の下フランジに固定できる。切断部は 1 次元のレーザ距離センサによって梁鉄骨の位置を認識し，3 つのモータ駆動軸によってプラズマ切断トーチを動作させ，下フランジとウェブを切断する。切断トーチは鉄骨との距離を一定に保つ必要があるため，トーチ部にガイドローラとバネ等の押し付け機構を搭載し，鉄骨から一定の距離を保ってトーチを動作させた。切断トーチの動作は切断する梁鉄骨の形状によって変化させる必要があるため，鉄骨の形状毎に位置や速度の動作パラメータ設定した。パラメータは代表的な梁鉄骨



図―1　プラズマ切断装置の切断ユニット概略図（梁切断）



写真―5　プラズマ切断装置の切断実験（梁切断）

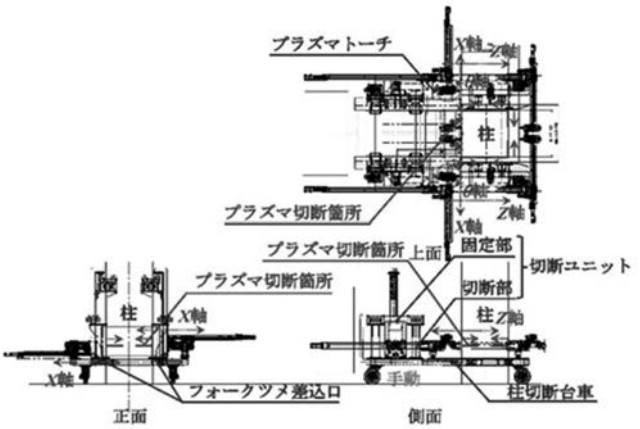


図―2　機器構成

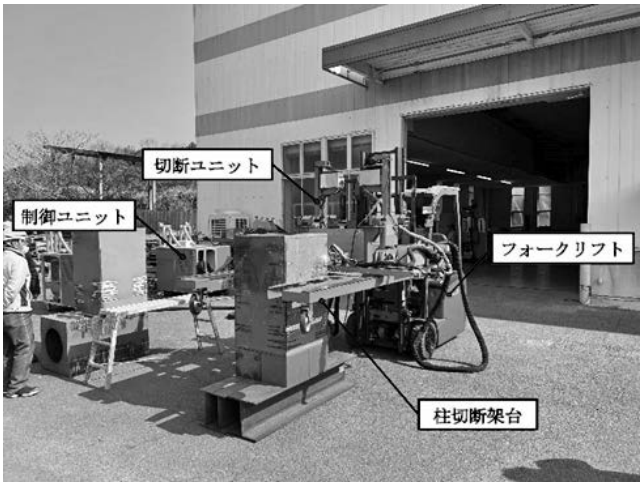
の形状で実験を行い，近似することで決定した。固定部と切断部は回転可能に結合し，梁鉄骨の切断角度が手動で変更できる。制御ユニットには，制御装置，プラズマ切断機，プラズマ切断用のエアコンプレッサを配置している。駆動部の制御は制御装置によって行い，制御装置に Wi-Fi によって無線接続されたタブレット端末から操作できる。プラズマ切断機は Panasonic 製 YP080PF3，コンプレッサはアネスト岩田製 TFP 22CF-10 を採用した。

(3) 柱鉄骨の切断装置の検討

鉄骨プラズマ切断装置は，切断ユニットを柱切断架台に接続することで，柱の先行切断も可能とした。柱切断時の切断ユニットを**図**―３に，実際に製作した装置を**写真**―６に示す。切断ユニットの切断部を手動で直角に傾け，１台の柱切断架台に２台の切断ユニットを接続すると，切断トーチを柱全周に移動できる。柱切断架台もフォークリフトによるハンドリングが可能で，柱に設置して切断を行う。切断動作は，梁と同様に１次元のレーザセンサによって柱鉄骨の位置を認識し，３つのモータ駆動軸によってプラズマ切断トーチを動作させ，ガイドローラとバネ等の押し付け機構によって鉄骨から一定の距離を保ってトーチを動作させることで，鉄骨柱角部をＬ字型に切断する。鉄骨の形状毎に位置や速度の動作パラメータを持つことや，制御ユニットに無線接続されたタブレット端末から操作することも梁切断と同様である。各動作パラメータも梁と同様に代表実験とその近似によって決定した。



図―３　プラズマ切断装置の切断ユニット概略図（柱切断）



写真―６　プラズマ切断装置の切断実験（柱切断）

3. 現場適用

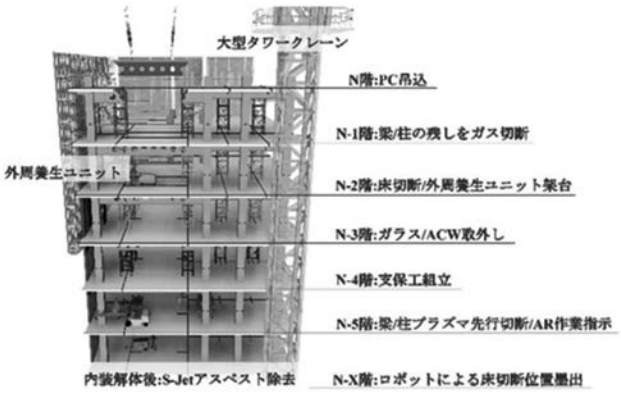
(1) 現場適用の目的と概要

鉄骨プラズマ切断装置の効果を検証するため，高さ 142.2 m の超高層建物の解体現場に適用した。適用した建物の概要は**表**―１のとおりである。本建物は都市部の人口密集地域にあり，大型幹線道路に面することから，周辺環境への配慮と安全性の向上を図る必要があった。

そこで，ブロック解体工法を採用し，鉄骨プラズマ切断装置を使用することで，その生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。各階の作業内容を**図**―４に示す。切断した躯体ブロックを吊り取る最上階を N 階とする。N-6 階以下で，躯体切断位置の墨出しを墨

表―１　解体建物の概要

竣工時期	1981年1月(解体着工時築41年)
用途	事務所，店舗，ホール，駐車場
最高高さ	142.2m
階数	地上32階，地下4階，塔屋2階
構造	地上S造，地下SRC造
延床面積	134,974㎡



図―４　各階の解体作業



写真―７　躯体ブロック吊り取り状況



写真―８　プラズマ切断装置の現場適用（梁切断）

出しロボットによって行った。N-5 階は鉄骨プラズマ切断装置を適用し，柱や梁の鉄骨先行切断を行った。前述のとおり，他の作業と混在しないことで作業を効率化させた。切断位置の確認はタブレット端末を用いて AR で実施した。N-4 階では切断した躯体を支える支保工を設置した。N-3 階では外装のガラスとアルミカーテンウォールの取り外しを行った。N-2 階はロードカッターで床の切断を行った。またこの階には盛替可能な外周養生の架台を設置した。N-1 階は鉄骨の切り残しをガス切断し，N 階で**写真―７**に示すように躯体ブロックをタワークレーンで吊り取った。500 t・m タワークレーンを 2 機設置し，20 t 弱の大型躯体ブロックの揚重を可能にした。

(2) 現場適用効果

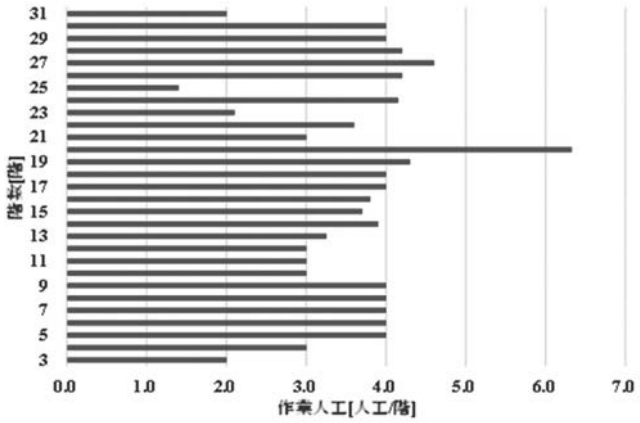
プラズマ切断装置は，フォークリフトによるハンドリングを考慮して，設置しにくい部材を除く 31 階から 3 階の梁 1,789 箇所，柱 338 箇所に適用した。切断装置の適用状況を**写真―８**と**写真―９**に示す。適用実績より，プラズマ切断装置による切断は，ガス切断に比べて約 30％高速であることが分かった。また，ガス切断する場合に使用予定だった 50 kg プロパンボンベを 23 本，40l 酸素ボンベを 869 本削減した。ガスボンベの削減は，その搬出入作業や盛替作業を削減するため，作業の歩掛り向上にも寄与した。さらに，タブレット端末を用いた AR で切断位置を可視化して作業指示を行い，ペーパーレスで作業を完了した。AR による作業指示も，切断位置の確認が効率化されるため，歩掛り向上に寄与した。AR による切断箇所可視化状況を**図―５**に示す。これらの効果を合算した結果として，各階のプラズマ切断に掛かった作業人工を**図―６**に，同じ切断箇所をガス切断した場合に掛かる各階の作業人工を**図―７**に示す。これはガスボンベの搬出入作業や盛替作業も含んでいる。プラズマ切断箇所をガス切断した場合に掛かった作業人工とプラ



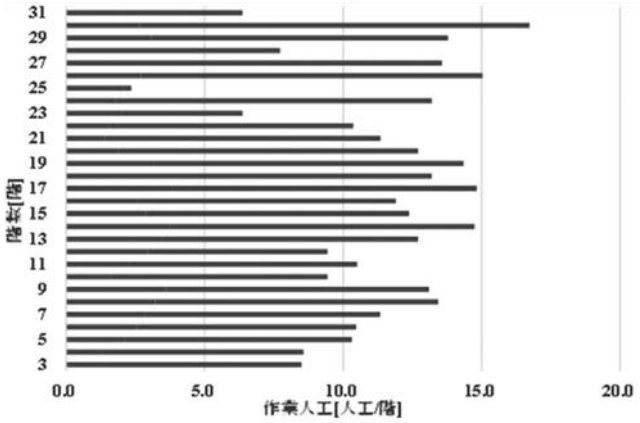
写真―９　プラズマ切断装置の現場適用（柱切断）



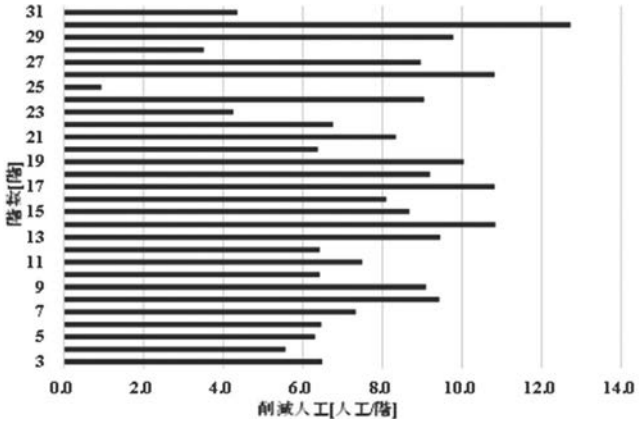
図―５　タブレット端末の AR による鉄骨先行切断位置の可視化



図―６　プラズマ切断の作業人工



図―７　プラズマ切断箇所をガス切断した場合の作業人工



図―８　プラズマ切断による省人化効果

ズマ切断に掛かった作業人工の差から，**図―８**に示すとおり，プラズマ切断による省人化効果を算出し，329 人工分のガス切断作業を 105 人工でプラズマ切断して省人化率は 68％であった。さらに，ガス切断工の逼迫もあり，切断作業の高速化と省人化によって，21 日の工程短縮も実現した。これらの生産性向上効果と工程短縮効果をコスト換算し，プラズマ切断装置製造コストを差し引いた結果，対象工事において約 30％のコスト削減効果があることを確認した。

CO_2 排出量は，炭酸ガス燃焼削減によって 3.6 t，ガスボンベの搬出入作業削減によって 1.9 t 減少し，プラズマ切断の電気使用によって 1.4 t 増加した。合わせて 4.1 t 削減となり，削減率は約 75％であった。

4. おわりに

超高層建物解体工事の効率化と環境負荷低減に向け，人による作業の割合が高い建設現場で使用しやすい鉄骨プラズマ切断方法を確立することを目的として，建設現場の鉄骨先行切断専用装置を開発し，その仕様を示した。本装置を超高層建物解体工事に適用し，鉄骨プラズマ切断装置を用いたブロック解体工法の有用性を確認し，従来のブロック解体工法に対する生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。

JCMA

《参考文献》

1）古城昭・神田晋ほか：造船の最新切断技術動向，溶接学会誌，86 巻 2 号，pp.85 ～ 89，2017 年
2）古城昭：プラズマ切断技術の最近の動向，溶接学会誌，66 巻 7 号，pp.519 ～ 523，1997 年
3）建築コスト管理システム研究所 新技術調査検討会：高層ビル解体工法について，建築コスト研究，Vol.77．No.4，pp.46 ～ 54，2012 年
4）奥山信博：シミズ・リバース・コンストラクション工法，建設機械，578．Vol.49．No.4，pp.27 ～ 33，2013 年

［筆者紹介］



谷　卓（たに　たく）
清水建設㈱
建築総本部　生産技術本部　機械計画部
機械エンジニアリンググループ



西村　淳（にしむら　じゅん）
清水建設㈱
建築総本部　生産技術本部　機械計画部
部長



佐藤　良史（さとう　よしふみ）
清水建設㈱
建築総本部　企画開発部　先端技術開発グループ