建築鋼構造のリユースシステムに関する研究

低層鉄骨造の丁寧な解体方法

REUSE SYSTEM OF BUILDING STEEL STRUCTURES

—Careful demolition of low-storied steel structures—

藤田正則*, 田中繁樹**, 岩田 衛***

Masanori FUJITA, Shigeki TANAKA and Mamoru IWATA

Demolition work which is used by mechanical equipment, or gas cutting of members by a manual technique is mainly used for finishing materials and building steel structures. Depending on the case, demolition work is carried out sequentially from a part of structure easily demolished. Here, we propose careful demolition of column-girder connection arranged for low-storied steel structures in reverse order of a conventional erection, which is carried out in reverse rotation or gas cutting of high strength bolts, and evaluate about cutting effectiveness and quality of these members. Our verification also indicates that the result applies to actual low-storied steel structures.

Keywords : Environmental burden, Building steel structure, Reuse, Careful demolition, Disposal, Retrieval

環境負荷、建築鋼構造、リユース、丁寧な解体、廃棄、回収

1. 序論

建築物は単純に新築と解体を繰り返すのではなくCO₂排出、廃棄物、資源枯渇等の地球環境問題の観点から循環型社会を構築する必要がある^{1) 2)}。これを踏まえて、「建設資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)」が既に施行され、「分別解体の計画等」の届出が必要となっている。さらに、環境に対する負荷の少ない製品等を優先的に調達するためのグリーン購入法も施行されている。循環型社会形成促進基本法によると、廃棄物処理の優先順位をリデュース・リユース・リサイクル・熱回収・適正処分としており、リユースはリサイクルより上位に位置づけられている。部材のリユースは環境負荷削減の一つの手法であるものの、それが既存の流通と同様に循環するためには、従来の生産・製品の供給という「動脈産業」に対して、その処理、再生、再利用を行う「静脈産業」の確立が必要である^{3) 4) 5)}。著者らは、廃棄物重量とLCCO₂量に着目した建築鋼構造における環境負荷の評価に関する研究^{6) 7)}や情報技術を利用した建築鋼構造のリユースシステムに関する研究を推進している⁸⁾。これを基に一般鉄骨構造における部材・部品の情報のデータベースを構築し、将来的な部材のリユース化の実現への道を示したいと考える。その基本検討項目としては、1) リユースビジネス調査、2) データベースの構築方法⁹⁾、3) ストック

ヤードの設置方法¹⁰⁾、4) リユース材の加工方法、5) リユース材の性能評価方法¹¹⁾、6) 丁寧な解体方法¹²⁾、等が挙げられる。これらは今後、並行して検討すべき課題であるが、ここでは、6) を取り上げる。

ここで想定するリユース材(将来、リユースされる予定の部材を以降、リユース用部材という)は、主に鉄鋼メーカーによりプレハブ化された無耐火被覆の工場・倉庫等に使用されている主要構造部材のうち、その大部分を占めるJIS規格品の一般構造用圧延鋼材や溶接構造用圧延鋼材である^{13) 14)}。

これらの鋼材を使用した建築鋼構造は、建築物の寿命、付帯設備の陳腐化、地震・火災等の災害、さらに、容積率の緩和・都市の再開発等の起因で解体されている。中でも、使用目的や要求性能の移り変わりが早く、建築物の残存価値を最大限に生かす前に経済性、あるいは機能上等の要因が多い状況にある¹⁵⁾。建築物の解体後、これらの解体材は、スクラップ処理されてリサイクル材として利用されている^{16) 17)}。解体材のリサイクルを前提とした分別解体や低公害型の解体工法^{18) 19)}も進んでいるものの、丁寧な解体工法に該当する移築解体工法は木造建築の重要文化財等に留まっている状況にある。

本論では、リユース用部材として多くストックされている低層鉄骨造の部材継ぎ部における高力ボルト摩擦接合に着目

* 新日本製鐵(株)エンジニアリング事業本部 博士(工学)

** 大都會営業部

*** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

Engineering Division, Nippon Steel Corporation, Dr. Eng.

Daito Co., Ltd., Deputy Manager

Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University, Dr. Eng.

し、丁寧な解体方法（以降、リユース用部材とするために建物の解体時に得られた解体材に損傷をできるだけ与えない解体工法をリユース解体という）を提案する。まず、基礎実験において、主に部材継ぎ部の切除によるリユース解体工法を評価する。さらに、リユース解体を実際の低層鉄骨造へ適用し、その有効性を検証する。

2. 解体工法

2.1 解体フロー

リユース用部材に着目した解体フローを図1に示す。解体後の部材の扱いの決定後、解体材をリユースする場合、その部材等に関する情報をデータベースとして登録する。丁寧な解体・分別により回収された部材は、劣化状態に応じてリユース、リサイクル、廃棄のいずれかのフローを選択されることになる。この場合、錆による減肉化や損傷の大きい部材、地震などで塑性化している部材はリユース用部材として活用するために必要な加工が多く、コストの面から新材と競争できないため、スクラップ処理してリサイクルに回す。最終的には、部材の性能を評価・判定し、リユース用部材としての可否を決定する。

2.2 解体工法の種類

建築鋼構造の解体工法には、ここで提案するリユース解体工法他、機械切断工法、溶断工法、移築解体工法がある（図2、図3）。機械切断工法は油圧式の解体圧碎機の性能が進歩したことから、ベースマシンとアタッチメントにより大きな

図1 解体フロー

図2 解体工法の種類

断面の部材の切断、及び高所の作業を安全にかつ迅速にできる工法である（図4）。この場合、柱の解体にあたって重要な切断箇所は安全性を考慮して重心の位置と転倒する方向を定め、ガス切断と一部併用する場合が多い。溶断工法は作業環境上困難な場合や建物規模が小さい場合を対象としており、柱や梁の一部を切断し、ワイヤー等を使用して取り壊しを行う。溶断は切断箇所を酸化もしくは溶融し、熔融物質を吹き飛ばして切断する方法で、ガス切断やアーク切断等があり、鋼材の切断、溶接開先の加工、はつり等に使用されている。中でも、ガス切断は金属の一部を余熱炎で加熱し、燃焼温度に達した時に高圧酸素を吹き付け、金属と酸素の急激な化学反応を利用して鋼材を切断するものである。ここでは、以降、溶断工法は解体工法において主に使用されるガス切断をさすことにする。解体順序として、解体しやすい箇所から順次解体する場合と新築の建方工程の逆順序で解体する場合がある。移築解体工法は、建物全体または一部を他の場所に移動して移築再建するものである。リユース解体は主に柱及び梁等の部材継ぎ部を切除することで部材を取り外し、再利用する工法である。

上記に示した鉄骨造の解体の部位は、柱及び大梁等の主要構造部材、小梁、母屋材、胴縁等の二次部材である。その接合法には、溶

図3 解体工法の比較

(a) 鉄骨造の解体

(b) 基礎の解体

図4 機械切断工法

表1 リユース解体の方法

高力ボルトの撤去方法	解体工具
逆回し	インパクトレンチ
ガス切断	ガス切断機(アセチレンガス)
	ガス切断機(プロパンガス)

接合、高力ボルト接合、あるいはそれらの組み合わせがある。各解体工法の選定にあたっては計画段階において敷地条件、構造形式、使用部材、用途等を考慮して適切に判断する。

2.3 リユース解体

ここで取り上げる低層鉄骨造のリユース解体は、主要構造部材の部材継ぎ部に使用されている高力ボルト摩擦接合（以降、高力ボルトという）をインパクトレンチで緩めて取り外すかあるいはガス切断による手壊し解体であり、二次部材も含まれる（表1）。

1) 高力ボルトの逆回しによる撤去

部材継ぎ部におけるフランジ及びウェブの高力ボルトをインパクトレンチ等を使用して逆回しにより撤去する手壊し工法である。

2) 高力ボルトのガス切断による撤去

部材継ぎ部におけるフランジ及びウェブの高力ボルトをガス切断により撤去する手壊し工法である。この場合、フランジ及びウェブの高力ボルトのガス切断は解現場で多く使用されているアセチレンガスまたはプロパンガスによる。

なお、高力ボルトを逆回しあるいはガス切断のいずれか一方だけで解体ができない場合には各々を併用する。また、リユース解体における部材継ぎ部以外の部位の取り壊しにあたってはガス切断等を使用する。リユース解体の評価にあたっては、下記を共通項目とする。

- (a) リユース解体は低層鉄骨造を対象とする。
- (b) 解体材は耐火被覆無しの特圧H形鋼とする。
- (c) 部材継ぎ部は高力ボルト摩擦接合とする。

図5 試験体の形状

(a) ガス切断状況

(b) ガス切断後のスプライスプレート

(c) 逆回し状況

(d) 逆回し後のスプライスプレート

図6 高力ボルトの解体実験

(d) 仕上げ材、母屋材及び胴縁の解体には鉄骨カッターを使用する。

3. 基礎実験によるリユース解体の評価

2. で示したリユース解体に関して、部材継ぎ部における高力ボルトの逆回し及びガス切断による切断効率並びに解体材の品質について考察する。

3.1 実験概要

試験体は、機械切断工法により得られた部材のうち損傷のない部位を切り出したもので、H-396×199×7×11 (M16 : S10T)、H-350×150×7×11 (M16 : F10T) で、トルシア形高力ボルト及び高力六角ボルトである（図5）。このうち、高力ボルトの撤去は、インパクトレンチによる逆回し、アセチレンガスまたはプロパンガスを使用したガス切断によるものとする。基礎実験は地上で行い、同一条件下における各試験体の相对比较とする。高力ボルトの切断効率（以降、高力ボルト1本を撤去するのに必要な時間を切断効率という）の算定にあたっては、トルク解除、またはガス切断とそれらの取り外し時間を対象とし、各々3体の平均とする。なお、フランジ及びウェブの高力ボルトの切断箇所は全て同じとする。

3.2 切断効率

高力ボルトの逆回し及びガス切断による解体状況及び切断効率を図6 (a) (b)、表2に示す。高力ボルトのガス切断はナットまたはボルト頭部である。高力ボルトのガス切断の場合、完全に切断されていることを確認するため、ボルト頭部をハンマーでたたきながら取り外した。高力ボルトの切断効率は、インパクトレンチによる逆回し、アセチレンガスによるガス切断、プロパンガスによるガス切断の順に優れている。中でも、インパクトレンチによる逆回しに費やした時間はプロパンガスによるガス切断の約22%である。すなわち、インパクトレンチを使用した逆回しによる高力ボルトの切断効率が、ガス切断のそれより優れていることを示している。また、トルシア形高力ボルト及び高力六角ボルトの切断効率はほとんど同じである。

一方、アセチレンガスのガス切断に費やした時間はプロパンガスを使用した場合の約77%である。これはアセチレンガスの火炎温度がプロパンガスのそれよりも高いことによる。

表2 実験結果一覧表

高力ボルトの撤去方法	トルク解除 またはガス 切断の時間 s	取り外し 時間 s	計 s
逆回し (インパクトレンチ)	6	4	10
ガス切断 (アセチレンガス)	12	22	34
ガス切断 (プロパンガス)	24	20	44

注1) 実験結果は、高力ボルト1本当たりの平均の作業効率を示す。

2) ガス切断機の仕様

- ・酸素圧力: 0.3 Mpa
- ・ガス圧力 (アセチレン: 0.01 Mpa, プロパン: 0.02 Mpa)
- ・火口番号: 3 (同心形火口)

3) インパクトレンチの仕様

- ・最大締付トルク: 294 Nm
- ・電源: 単相交流 50/60Hz
- ・消費電力: 380W
- ・回転数: 1700 回/分
- ・打撃数: 2000 打撃/分

低層鉄骨造の場合、部材継ぎ部の高力ボルトの撤去作業を順次繰り返すとすると、その工数を切断効率により概ね把握できることになる。これらのことから高力ボルトの逆回しの切断効率はガス切断よりも優れていることになる。

3.3 解体材の品質

解体材をリユース用部材として使用するためには、有害な変形が生じないようにその品質を確保する必要がある。高力ボルトの逆回しの場合、母材、スプライスプレート、高力ボルトは外観において健全である。高力ボルトのガス切断の場合、目視によるとスプライスプレートの高力ボルト用穴近傍では減肉化やノッチ等の損傷が生じているものの、母材は健全である(図6(c)(d))。この場合、母材をリユース用部材として使用するためには、高力ボルト用穴の穴埋め溶接後にグラインダー処理して仕上げるか、あるいは母材端部の高力ボルト穴を含む部分を

切除する。なお、各々の場合も母材の寸法形状に与える影響はほとんどない。これらのことから高力ボルトの逆回し及びガス切断による解体材の母材の品質は概ね同等であると考えられる。

4. リユース解体の実施例

3. の基礎実験を踏まえて、リユース解体を実際の建物に適用し、その有効性を検証する。

4.1 対象建物

ここで、対象建物は建築物の財産価値が時代の変化に伴って合致しなくなった低層鉄骨造(耐火被覆無し)である。本建物は1982年の建築の工場であり、図7の屋根伏図・軸組図に示すように一方向ラーメン構造、一方向ブレース構造の平屋建である(スパン:23.4m、桁長さ:80.4m)。屋根の外周部と中央部の一部に屋根ブレースを配置することで、屋根面剛性を確保している。その柱、大梁、小梁の接合には高力六角ボルト接合(HTB-φ19)を使用している。低層鉄骨造のディテール及び部材リストを図8、表3に示す。使用した鋼材の材質は全てSS400である。

・仕上材:屋根材(波型石綿スレート葺き)

外壁材(ALC100mm)

・梁・柱:H-450×200×9×14

・小梁:H-250×125×6×9、H200×100×5.5×8

・母屋材:C-100×50×20×1.6

・ALC受材:□-100×100×2.3、L65×6

・基礎:独立フーチング基礎

4.2 解体フロー及び解体詳細

屋根材、壁材、母屋材、外壁受材は鉄骨カッターによる解体とする。部材の切断及び揚重には高所作業車(2台)、25tラフタークレーン(2台)、荷卸及び搬出には10tラフタークレーン(1台)を使用する。周辺環境条件を考慮して重機の搬入経路、解体材の一時保管場所、解体工程、解体順序等を検討した解体計画を作成する。その際、荷卸し及び部材の搬出に対してクレーンの稼働率を高めるようにする。なお、内装がないこと、周辺の敷地が十分に広く近隣対策の必要がないことから仮設足場は設けていない。

図7 屋根伏図・軸組図

図8 小屋組鉄骨造のディテール

表3 部材リスト

部材サイズ	
RG1	H-350×175×7×11
RG2	H-350×175×7×11
RG3	H-300×150×6.5×7
CG1	H-350×175×7×11
RB1	H-200×100×5.5×8
RB2	H-200×100×5.5×8
RB3	H-150×75×5×7
C1	H-340×250×9×14
C2	H-294×200×8×12
C3	H-300×150×6.5×9
V1	φ6
V2	2L-75×75×6
P1	H-250×125×6×9
P2	H-175×90×5×8

注 材質:SS400

リユース解体は、外壁及び外壁受材、屋根材及び母屋材、二次部材、主要構造部材の順であり、作業の安全性を考慮して妻方向から順に解体する(図9)。まず、ALC、ALC受材を同時に鉄骨カッターにより撤去する。次に、屋根材、母屋材を鉄骨カッターにより切断する。その後、大梁をクレーンで仮固定させ、高所作業車を利用して高力ボルトをインパクトレンチによる逆回しで緩めるかあるいはガス切断する。高力ボルトとスプライスプレートは上フランジ、下フランジ、ウェブの順序で取り外す。その際、安全性を考慮して上フランジの高力ボルト用孔に仮ボルトを差込み、大梁を安定させる。全ての高力ボルトを撤去後、順次、25t ラフタークレーンで揚重して吊降ろす。次に、柱ブラケットの高力ボルト用穴に仮ボルトを差込み、25t ラフタークレーンにより柱を安定させた後、柱脚のアンカーボルトをガス切断し、柱を撤去する。これらの一連の解体作業を順次フレームごとに繰り返す。

リユース解体の工程を表4に示す。リユース解体工法に費やした工数は、機械切断工法の約2倍と想定される。これは主に建具及び残留物の撤去、残留物の搬出が従来の機械切断工法と同様であること、並びに、屋根、外壁、鉄骨造の解体を並行して実行できること等の理由による。

4.3 考察

高力ボルトの撤去はインパクトレンチによる逆回し及びプロパンガスによるガス切断を併用し、各々の作業は一人で行う。全体的には、リユース解体による大梁、柱、小梁の大きな変形、損傷はない状況である。高力ボルトの逆回しの場合、3.で示した基礎実験と同様に母材及びスプライスプレートの損傷は見られな

表4 リユース解体の工程

日	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
工事項目														
仮設工事														
内装撤去														
建具、残留物の撤去														
外壁解体														
屋根解体														
梁撤去														
柱撤去														
残留物搬出

(a) 逆回し後の高力ボルト

(b) 逆回し後のスプライスプレート

(c) ガス切断後の高力ボルト

(d) ガス切断後のスプライスプレート

図10 高力ボルトの撤去

(a) トップライトの撤去

(b) 外壁の撤去

(c) 屋根材の撤去

(d) 母屋材の撤去

(e) 母屋材の撤去後

(f) 高力ボルトの切断

(g) 大梁の撤去

(h) 大梁の揚重

(i) 大梁の仮置き

(j) 大梁の撤去後の柱

(k) 柱脚

(l) 柱

図9 リユース解体のフロー

い(図10(a)(b))。高力ボルトのガス切断の場合、目視によるとスプライスプレートの高力ボルト穴近傍では楕円形の損傷が生じているものの、母材は概ね健全である(図10(c)(d))。解体現場での逆回しによる高力ボルトの切断効率は、アイドルタイムを考慮しても基礎実験と同様にガス切断のそれより優れている。なお、高力ボルトの逆回しによる共回りが生じた場合、ガス切断により対応した。

リユース解体によって得られた解体材は主に大梁、柱、小梁である。これらをリユース用部材とするためには、大梁に取り付くガセットプレート及び母屋取付金物、柱に取り付くベースプレート及びリブプレート等を加工する必要がある。大梁の場合、高力ボルト用穴の穴埋め溶接またはこれを含む端部の切除、棟部の母材及びそれに取り付くガセットプレートの切除がある。柱の場合、柱梁接合部近傍の母材の切除、柱脚のベースプレート及びリブプレートを含む母材の切除がある。小梁の場合、ボルト穴の穴埋め溶接あるいは、ボルト穴を含む端部の切除がある。これらの解体材の切断位置は、できるだけ長いリユース用部材が得られ、かつ切断作業の容易な位置とする。さらに、解体材のガセットプレート、母屋取付金物等の切除後には、グラインダー仕上げを行う。

このように解体材は大梁、柱、小梁等の使用部位により、リユース用部材とするための加工の程度が異なることになる。

5. 結論

本論では、低層鉄骨造のリユース解体工法において、部材継ぎ部の高力ボルトの逆回し及びガス切断に関して基礎実験及び実施例により評価した結果、下記のことが明らかになった。

- 1) リユース用部材とするために建物の解体時に得られた解体材に損傷をできるだけ与えないリユース解体工法を提案し、実際の低層鉄骨造によりこれを検証した。
- 2) 部材継ぎ部の高力ボルトは、インパクトレンチを使用した逆回しにより撤去できる。この場合、高力ボルトの逆回しによる切断効率はガス切断より優れている。
- 3) 部材継ぎ部の高力ボルトの逆回し及びガス切断による解体材の母材の品質は、概ね同等である。
- 4) 解体材は大梁、柱、小梁等の使用部位により、リユース用部材とするための加工の程度が異なる。

謝辞

本研究にあたり、神奈川大学技官 村井正敏氏、神奈川大学学部学生(当時) 藤盛剛志氏の協力を得ました。記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 建設白書：国土交通省編、平成12年度版
- 2) 環境白書：環境省、平成16年度版
- 3) 日本建築学会：活動レポート「気候温暖化への建築分野での対応(1999.12 会長声明)」、建築雑誌 Vol. 113, No. 1417, 1998. 1
- 4) 日本建築学会編：地球環境建築のすすめ、彰国社、2002. 8
- 5) 日本建築学会：ネットワーク時代における建築情報標準化技術 建築生産情報統合ガイドブック・3、2004. 8
- 6) 岩田衛、堂野前等、久松雄治：建築鉄骨構造のライフサイクルにおける環境負荷削減のシナリオとその評価、日本建築学会構造系論文集、第533号、pp. 167-173、2000. 7
- 7) 山田哲、黒川礼子、會澤貴浩、岩田衛：廃棄物重量とLCCO₂量に着目した鉄骨造建物における環境負荷の評価、日本建築学会構造系論文集、第554号、pp. 131-137、2002. 4
- 8) 岩田衛、竹内徹、藤田正則：建築鋼構造のシステム化、鋼構造出版、2001. 2
- 9) 藤田正則、前田親範、小河利行、岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 データベースの構築方法の提案、日本建築学会環境系論文集、第587号、pp. 93-98、2005. 1
- 10) 藤田正則、前田親範、岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 スtockヤードの設置方法の提案、日本建築学会環境系論文集、第579号、pp. 105-110、2004. 5
- 11) 藤田正則、前田親範、岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 リユース材の構造性能、日本建築学会環境系論文集、第600号、pp. 83-89、2006. 2
- 12) 藤田正則、田中繁樹、岩田衛：リユースを想定した建築鋼構造の丁寧な解体、日本建築学会学術講演梗概集 pp. 611-612、近畿、2005. 9
- 13) 藤本盛久 編：構造物の技術史、市ヶ谷出版社、2001. 10
- 14) 建築物価調査会：建築統計年報、平成14年版
- 15) 耐用性研究会編：建築物の耐用性診断とその対策 彰国社、1976. 5
- 16) 林誠一：転換点に立つ日本の鉄リサイクル：株式会社日鉄技術情報センター出版、2001. 10
- 17) 解体工法研究会編：新・解体工法と積算、経済調査会、2003. 10
- 18) Hiroshi Kawamura, Akinori Tani, Atsushi Takizawa, Yu Du: Recurrent Architecture system adaptable to human and social changes and environmental circulation, SEWC2002, Yokohama Japan
- 19) 池田宏俊・草加俊資：火力発電所解体事例、建築技術、1997. 11

(2005年10月10日原稿受理、2006年2月16日採用決定)