

# 金属曲げ加工の現場を見る

櫻川 廉 | 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 権藤研究室 修士課程

金属板の曲げ加工がどのように行われているかを知るため、国内外で金属板を使った設計・加工・施工に長年携わり、有名建築の金属工事を数多く手がけてきた菊川工業の白井工場を訪れた。

同社は1933年に墨田区菊川で創業し、戦前は板金加工や雑金物の製造を手がけていた。一つの転機となったのが1958年に竹中工務店から請け負った東京タワー展望台の外装パネル施工である。これを転機に、金属パネルの製作に本格的に乗り出すと、東京五輪の頃には、武道館の破風や宝珠を担当するなど大きなプロジェクトにも関わるようになる。当時、すでに現在と同規模の200名弱の社員を擁するまでになっていた。その後、一辺9.6mの正四面体を立体的に組み上げた水戸芸術館(1990)のシンボルタワーやフジテレビ本社ビル(1996)の球体展望室においてチタン材の施工を先端的に行うなど、施工の規模や扱う金属の種類を拡大してきた。現在では香港やベトナムにも拠点を設け、海外の有名建築のファサード等の施工にも携わる。その一方で、天ぶら店の金属カバーを数十万円加工するなど、小規模な工事も請け負っている。

## 機械による曲げ加工

菊川工業が手がける外装金属パネルは、曲げパネルとカットパネルとに大別される。カットパネルでは背面のフレームに面材を取り付けるのに対し、曲げパネルでは面材に曲げ加工を施すことでフレームが不要となる。曲げパネルは単一の材料を折り曲げてつくるので接合部が劣化するリスクは少ない。たとえばスカイツリーの展望台の軒天などに同社の曲げパネルが使われている。

それでは、金属板はどのようにして曲げられるのか。まずは基本的な曲げ方から見ていこう。曲げ加工の基本は、ベンダーと呼ばれる金属プレス機によって行われる【写真1】。上下の型の中に金属板をはさみ、位置を調整し、数百トンの力でプレスする。Rの大きさなどの違いは、型の種類を変えることによって対応可能である。工場の一角には、こうした金型が数十種類保管されていた【写真2】。多種の金型を用意しておくことで、さまざまな形状への対応を可能にしている。

金属板を曲げる際に無視できないのが、厚みの影響である。たとえば、曲げた時の稜線をシャープに尖ら

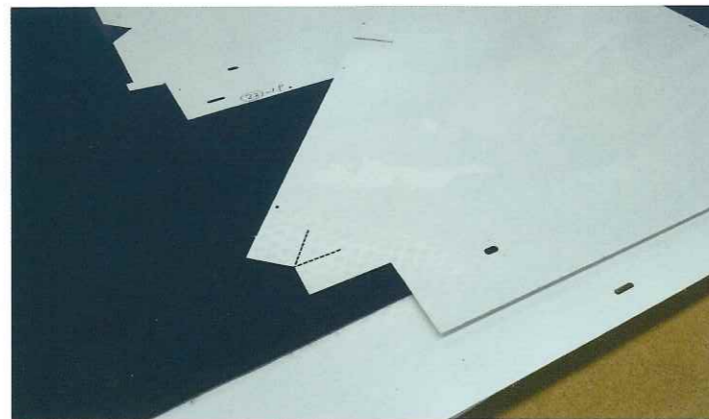


写真4 鋭角のパネルを曲げる際の切れ込み



写真5 製作中の翼竜の卵

せようとすると、厚みがあることによって、通常の曲げ加工では、丸みを帯びた形状になってしまう。そこで行われるのが、溝入れである。通常の曲げ加工を行う前に、あらかじめ裏側に溝をけがいておくことで、厚みの影響を軽減するのだ。強度を十分に保つためには少なくとも0.7mm程度は厚みを残す必要があるが、それでもかなりシャープな稜線を出すことが可能である。溝の入れ方を変えることによって厚みの影響を調節することもできるので、大小さまざまなRをつくることが可能である【写真3】。

機械による加工にも、こうした特殊な工夫を必要とする場面は多く、ベンダーで曲げる前の金属板に、何らかの加工を施してあるケースを複数見ることができた。たとえば、端部に切れ込みを入れた金属板【写真4】。この切れ込みは、鋭角なパネルを曲げる際に、精度よく加工するために施されている。折り曲げた後に、切れ目を入れた箇所を溶接するという手順を踏むことによって、鋭角の先端も正確に仕上げることができる。

## 加工サイズの限界

このような工夫によってさまざまな形状の加工が可能ではあるが、機械による加工にはサイズの制約が存在する。かつてベンダーで曲げることができる長さには6mという限界があり、それを超える長さで曲げることは困難であった。時には、1mおきくらいに人がついて、少しずつずらしながら曲げるということも行われていた。水戸のタワーで使われた9.6mの長さのパネルを曲げる際にも、同様の工夫がなされた。

こうした加工サイズの限界の影響は、パネルを割り付ける際の目地などに現れる。たとえば、超高層ビルのエントランス周りなどに見られる、長大な柱を覆う金属のパネル。柱の長さが、加工できる最大寸法を超えて

いれば、一枚で下端から上端まで覆うことはできないので、パネルとパネルの間に水平の目地が入ることになる。この目地の数を減らしたいという要求は少なくない。同社では、そうした要求を受け、8m対応のベンダーの導入に踏み切った。

導入に伴うコストは大きいですが、設備投資の難しさをどう捉えるか。長尺の曲げ加工ができる設備を備える工場は限られているので、それが他社に対する一つの強みになる。過去には、あるプロジェクトで用いられた長尺の曲げパネルが設計者の目に留まり、それがきっかけで次のプロジェクトが決まったこともある。大きなサイズの加工はそれだけコストも高くなるが、設計者にはそこにこだわって使って欲しいとのことだ。

## 職人技による3次元曲げ加工

建築における金属パネルの加工では、ベンダーによる曲げのような一方向のものだけではなく、3次元の曲げ加工を必要とする場面もある。昔からある板金加工の伝統技術としては、ハンマーで叩く、熱を加える、パーツをつなげて仕上げるなどがある。こうした伝統技術を継承する中で蓄積されたノウハウが、現在行われている3次元加工においても活かされている。

「翼竜の卵」というアート作品【写真5】では、長さおよそ5mの大きさの3次元曲面の製作を求められた。レーザーカッターで螺旋状に切り抜いた板を、叩いて3Dデータ通りの曲面に仕上げている。ここで用いられたのはハンマーではなく、クラフトフォーマーと呼ばれる加工機械である。ハンマーと同様に、局所的に力を加える機械で、金属板を人の手で少しずつスライドさせて逐次変形させていく。変形を加える際には、金属板表面にグリッドを描き、どの位置をどのくらい叩けばどの程



写真1 ベンダー



写真2 保管された金型



写真3 溝入れによる曲げ加工

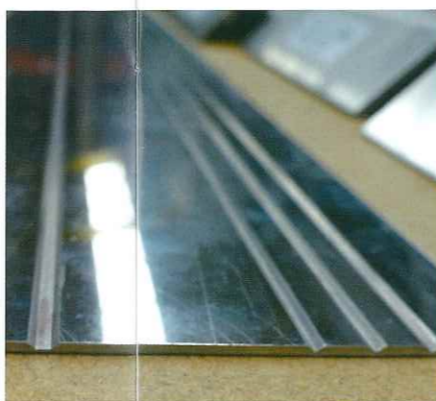




写真6 インクリメンタルフォーミング



写真8 インクリメンタルフォーミングのサンプル

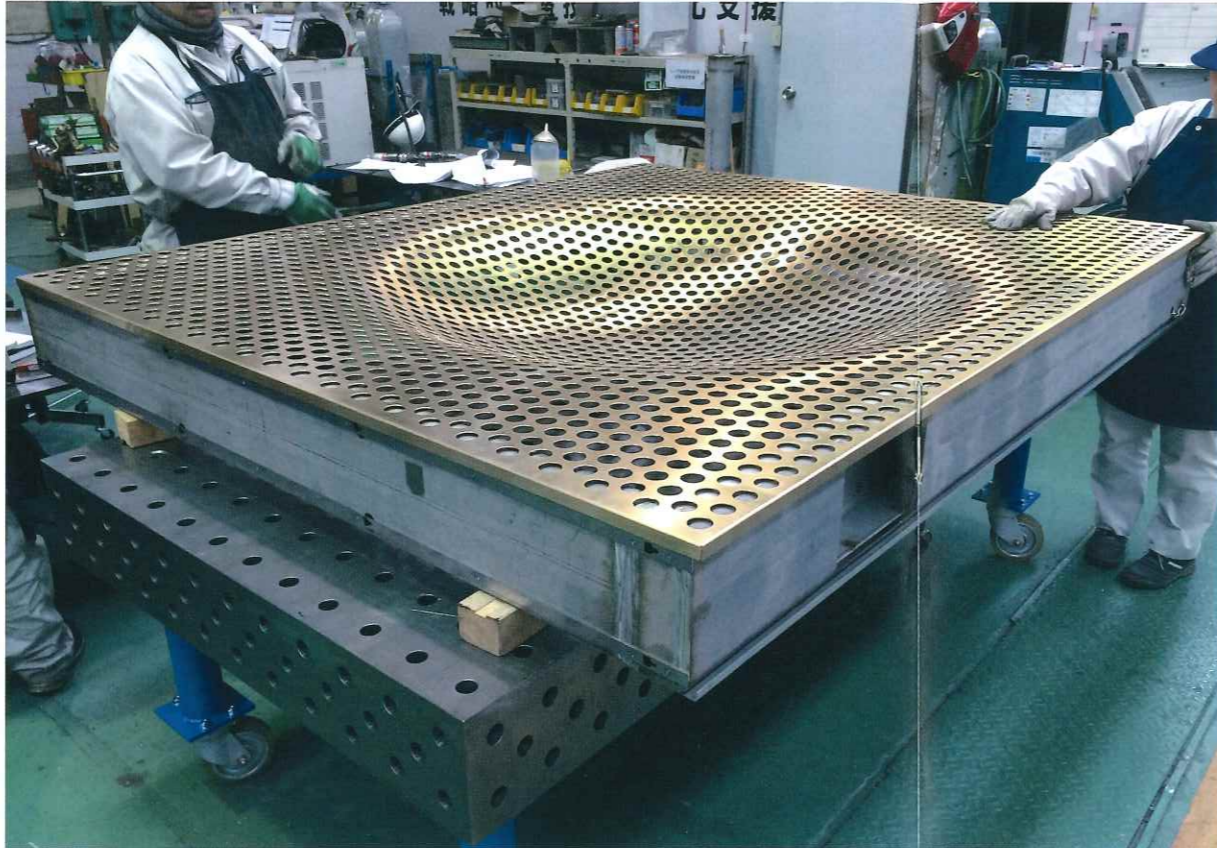


写真7 製作中の京都のホテル案件の門扉

度曲がるかを確認しながら叩いていく。形を変えたら、原寸型に当てて曲がり具合をその都度確認し、ズレがあれば、3列目の5番目をもう少し叩く、といった具合に微妙な調整を加えていく。機械による加工とはいえ、その作業の繊細さは職人技そのものである。

## 最新の3次元加工技術

最近では異業種からの技術導入も始まっており、インクリメンタルフォーミングはその代表例である。これは、工具の先端を1枚の金属板に押し付けて少しずつ変形させていくことで、自由な形状を継ぎ目なく成形することができる加工技術である[写真6~8]。

写真7は、本社においてインクリメンタルフォーミングを実際の製品に適用した初めての事例である[写真7]。このように板を円形状に変形させた形状は、ベンダーによる曲げ加工では対応することができない。従来の場合、こうした形状の加工には、へら絞り加工が適用されることが一般的であった。へら絞り加工は、目的の形状をした金型に材料を固定して回転装置に取り付け、回

転させた材料に専用の工具を押し当てて変形させていく加工方法である。しかし、へら絞り加工の場合、金型を製作する必要があるために、金型の製作コストや、製作期間の長期化が問題となる。加えてこの事例の場合には、平パネル部分を曲げパネルで別に製作した後に、へら絞りで加工したすり鉢部分と溶接する必要があったため、溶接部の変色など見栄えの問題もあった。インクリメンタルフォーミングを適用することで金型は不要となり、コストの低減、製作期間の短縮が可能となった。さらに全体を一体で成形することによって溶接も不要となり、美観の問題も解消された。

3次元形状の需要が増大する中、金型を使わない3次元加工技術に対する期待は大きく、同社では独自の研究も進行中である。ピン成形と呼ばれる既存の板金加工技術を3次元計測技術と組み合わせ、3次元成形に応用する試みである。ピン成形とは、微小な鉄玉を板金の表面に吹き付けることで3次元の変形を加える板金加工技術である。加工後にその都度3次元スキャナーで目標値からの誤差を計測し、それをフィードバックして吹き付ける量などを調整するというプ

ロセスを繰り返すことによって、精度を高めている。今後この技術が建築分野でどのように展開されていくのかが注目される。

## 機械を使いこなす

写真9は工場に置かれた古いベンダーである[写真9]。上部の赤い部分の下の隙間に、数枚ずつ白い紙が挟まっている。これは、曲げ加工の精度を高めるために、職人が行っていた工夫の名残である。長尺の金属を曲げる場合、内部応力の関係で、同じ断面の型を当てて曲げたとしても、中央と端部では曲がり方が少しずつ異なってしまう。そうした曲がり方の不均一をなくすため、このように紙を挟むことによって、最終的に曲がり方が均一になるように職人が調整を行っていた。

現在では、応力状態を力の加え方にフィードバックして、曲がり方が均一になるよう自動で調整するなど、新しい機能が追加されているため、そうした工夫は行われていない。しかしここで見られるような、既存の機械に手を加えていく姿勢は、現在でも各所に見ることができた。

たとえば、汎用機の用途の拡張が挙げられる。既存の設備でできることを増やす、もしくは稼働率を上げるために、機械を部分的につくり変えることが行われている。最近導入されたばかりの技術であるインクリメンタルフォーミングで用いられている機械も、元々工場に備わっていた設備の転用である。機械自体はXYZ軸とヘッドの回転軸が付いた簡易的なものである。CAMは導入されていなかったため、初めは1行ずつプログラ



写真9 古いベンダー



写真10 過去のプロジェクトのモックアップ



さくらがわ・れん  
1997年生まれ。東京大学工学部建築学科卒業後、同大学院修士課程に進学。現在、権藤智之研究室に所属し、住宅構法史研究を行っている

ムを手入力して装置に読み込ませていた。設備が簡単なものであるため、先端の工具を変えるだけで用途の変更が可能である。実際、この設備はインクリメンタルフォーミング専用で使われているのではなく、3軸のミリング加工にも使われていた。

## 設計者との協働

工場を出たところには、これまでに手がけた金属工場のモックアップがいくつも並べられていた[写真10]。パーツを見ただけですぐにそれとわかるような有名な建築も多い。菊川工業はこれまで数々の設計者との協働を重ねてきているが、設計者との間ですれ違いが生じやすいのはどういった部分であろうか。

近年は3次元加工を必要とする提案が増えていることもあり、3次元曲げにかかるコストに関して、設計者との間で認識のギャップが問題となることが多い。3次元曲げの場合、モデリングデータから展開して正確に切り出したとしても、そのまま狙った形を実現できるわけではなく、実現するためには、職人による繊細な調整がどうしても必要になる。そして、特殊な加工や職人の技能に頼るとなれば、かかるコストが大きくなることは避けられない。それを設計者には理解してもらう必要がある。

インタビューでは、「紙でできることはできる」と聞いた。つまり、紙を折り曲げてできる形であれば、2次元曲げなので、通常のベンダーなどで加工できる可能性が高い。金属には延性があるから3次元曲げも可能ではあるが、かかる費用は「桁が変わる」ともある。

こうした認識のギャップはどのように埋めているのか。一番は工場に足を運んでもらうことだ。工場にある設備の性能や制約について認識を共有するには、実際に見るのが一番早い。しかし、それができない場合もあるので、技術的な情報の発信は欠かすことができない。菊川工業のホームページは、技術の解説動画や実施例など充実した内容となっており、同社の加工技術を知るにはうってつけである。ご興味のある方はぜひ一度ホームページをご覧ください。ご対応いただいた宇津野社長ほか皆様、ありがとうございました。