

スチールデザイン

No.35

三木山総合公園 総合体育館

設計
石本建築事務所

施工(アリーナ屋根)
日鉄エンジニアリング

編集委員

委員長：高梨 晃一（東京大学名誉教授）
委員：隈 研吾（建築家）
委員：佐々木睦朗（構造家）
委員：手塚 貴晴（建築家）
委員：西沢 立衛（建築家）
委員：臼田 哲男（編集者）
委員：窪田 伸（日本製鉄）
委員：下川 弘海（JFE スチール）
委員：眞有 信博（日本製鉄）
委員：植戸あや香（JFE スチール）
委員：寺澤 伸治（神戸製鋼所）

シャープなトラスが 軽やかに大空間に 浮かび上がる

中田達也（石本建築事務所・建築）
田中良平（石本建築事務所・建築）
原 健一郎（石本建築事務所・構造）
長岡寛之（石本建築事務所・構造）
久保田智彦（日鉄エンジニアリング）
植戸あや香（編集委員・司会）

兵庫県南部に位置する三木市は、古くから金物産業が盛んな「金物のまち」として知られており、「三木山総合公園総合体育館」では、まちを象徴する金物・刃物をデザインに取り入れた。アリーナに架かる5本のアーチトラスは、H形鋼とアングルの細かい部材で構成。意匠の意図に構造が応え、シャープで美しい曲線のトラスを実現している。金物をモチーフにした空間づくりについて、意匠設計者と構造設計者、鉄骨製作者にお話をうかがった。

体育館を公園の拠点に

このプロジェクトに関わることで
なった経緯を教えてください。

中田●この建物は兵庫県三木市の総合運動公園内に体育館を新設する計画でした。組織設計事務所数社によるプロポーザルで、2015年の3月から5月にかけてヒアリングを含めて2段階にわたり選考があり、私たち石本建築事務所が選ばれました。

建物の建築計画を教えてください。

田中●新体育館は総合運動公園内の既



中田達也氏

存の屋内プール棟の増築として計画されました。1階にアリーナ、体育室、その他の諸室、2階に観覧席やテラスが配置されています。

公園内には野球場や陸上競技場、屋内プール、テニスコートなどがありますが、これまで中心となる施設がありませんでした。ですから、この体育館には他の施設を利用する方も使うことのできる更衣室や会議室を設け、スポーツする方や観戦する方、サポートする方のための拠点となるような体育施設を目指しました。

平面計画としては、体育館と既存プール棟を「スポーツコリドー」と名付けた一直線の通路で繋げています。アリーナや会議室、トレーニングルーム、外の広場、そして既存プールはこのスポーツコリドーからアクセスできるようにになっています。

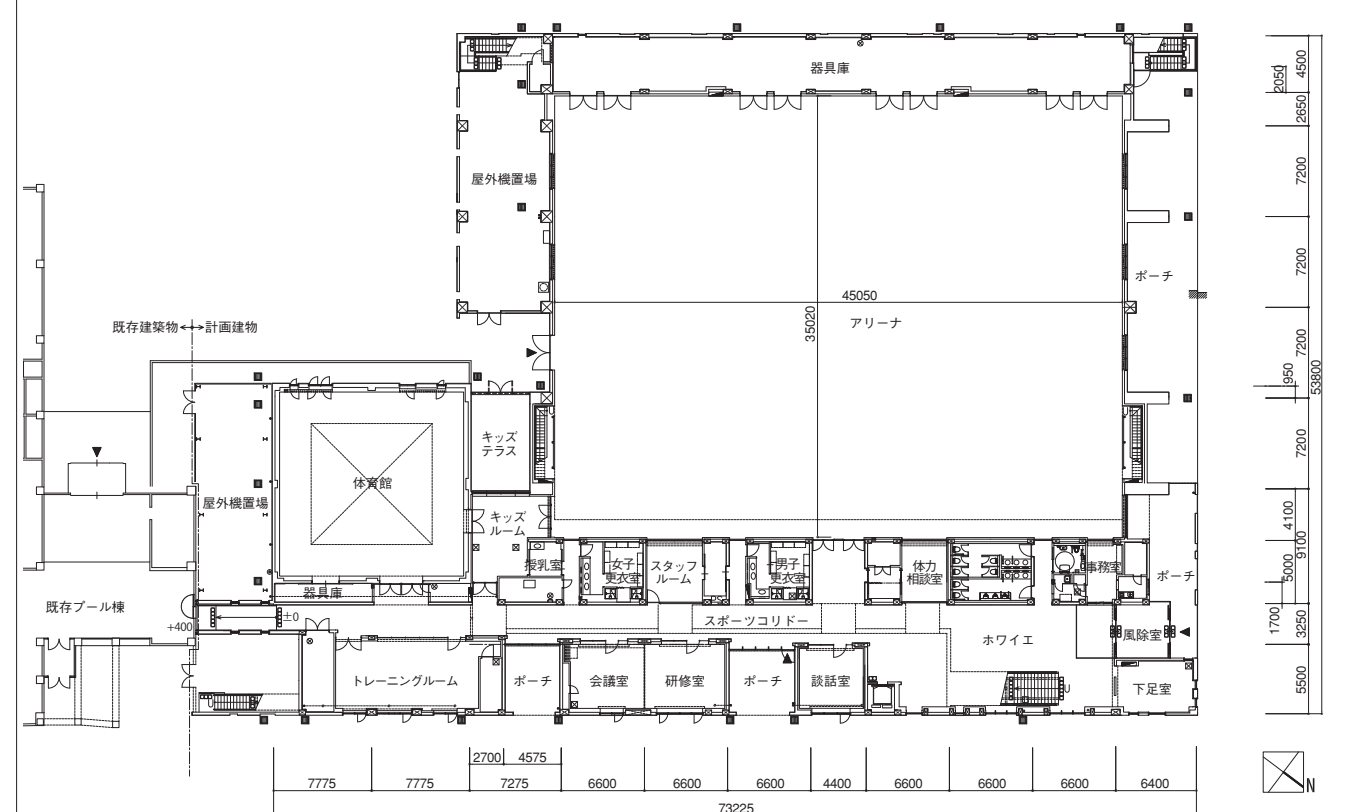
また、通常体育館は競技のことを考えて採光を制限した閉鎖的な施設にな



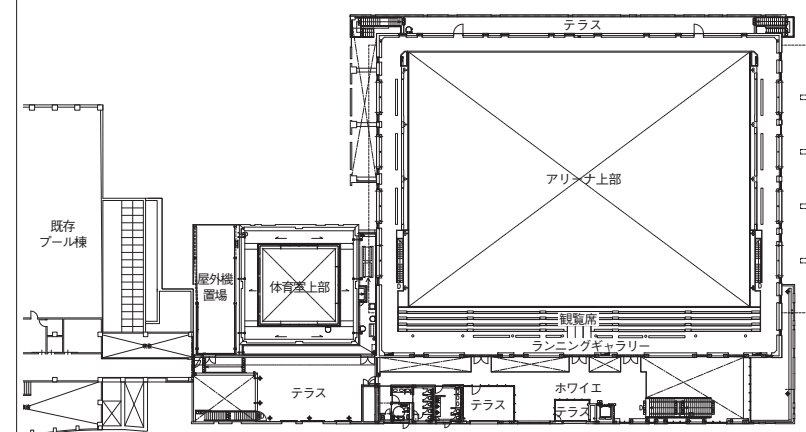
敷地航空写真

りがちですが、今回はそれぞれの場所を繋ぐために、外壁全体にスリットを設けて視線が通るようにしました。外から中でスポーツをしている姿が見えたり、逆に中でプレーしている人からは公園の景色が見えたり、見る見られるの関係をつくることで全体のアクティビティを感じられるように設計しました。

スポーツコリドーにもスリット状に窓を設けて、それぞれの部屋の様子が見えるようになっています。



1階平面図 1/600



2階平面図 1/1000

金物鷲を デザインのモチーフに

体育館のデザインについて教えてください。

田中●三木市は桃山時代から金物産業が発達し、今でも大工道具がつくられ、「金物のまち」として知られています。秋に開かれる「三木金物まつり」には毎年10万人以上の方が訪れます。そこでいつも展示されるのが、すべて鉋

や包丁などの金物でつくられた鷲のオブジェ「金物鷲」です。

原●毎年まつりのたびにつくられるこの「金物鷲」は、鳥形の土台に刃物をブスブスと刺してつくるため、まつりの序盤は元気がいいのですが、重さで翼がだんだん下がり、まつりが終わると刃物を全部撤収するという面白い企画です。

中田●羽を広げた長さが5mくらいあり、8時間近くかけて組み上げるそう



三木金物まつりの「金物鷲」

です。これまでも三木市では庁舎や図書館などのデザインに金物が引用されてきていましたが、今回のプロジェクトは、金物に加えて「金物鷲」のモチーフを使いたいと考えました。

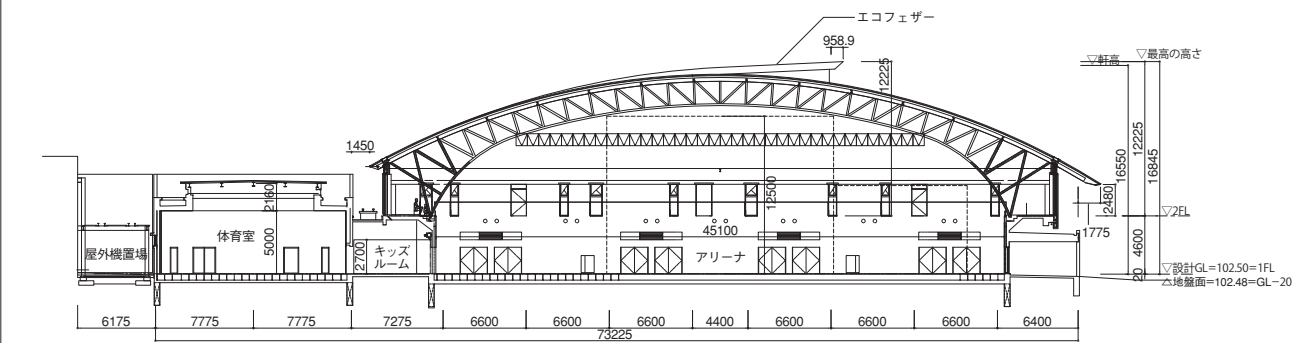
田中●まず既存プールでは長手方向にアーチ状の屋根が架かっているため、体育館もこれと一体となるように



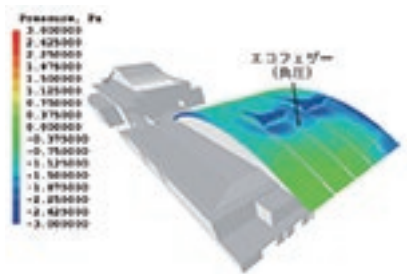
田中良平氏



体育館東側外観



断面図 1/600



自然換気シミュレーション



北面外観 5枚に分かれた屋根と屋根頂部を跳ね上げた「エコフェザー」

長手側にアーチを架けることにしました。そうすることで2つのアーチが並び、景観的には周囲の山並みと調和しますし、鷲が両翼を広げたようなイメージも込めました。

アーチ屋根は羽のように5分割し、軒天井には研磨度合いを変えたアルミパネル等を使い、軒先をシャープなエッジにするなど、まさに刃物の刃先をイメージしたデザインになっています。

5分割した屋根のうちの2枚は屋根の頂部を跳ね上げて開口を設け、風や光が入るようなデザインにしました。この跳ね上げた部分は「エコフェザー」と名付けました。シミュレーションも行い、風が吹いた時に「エコフェザー」の部分が負圧になることで、より効率

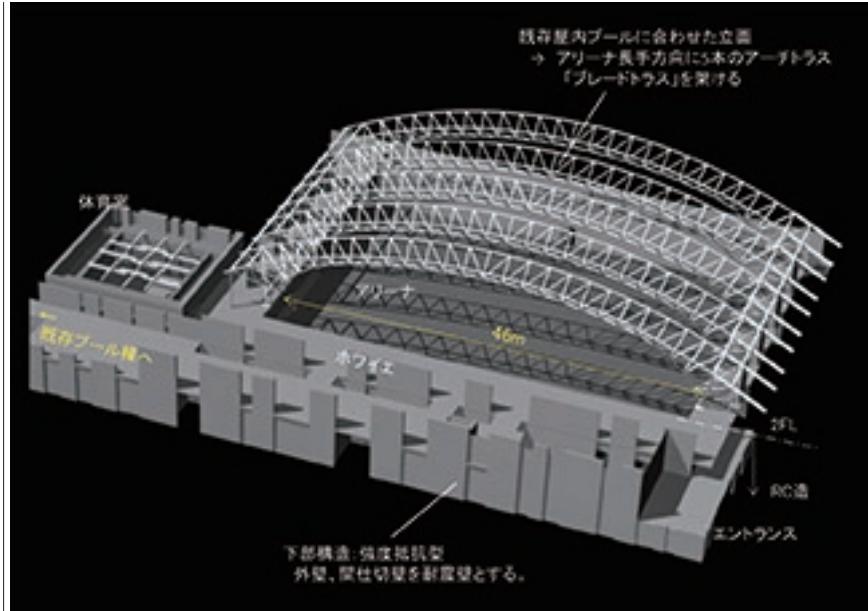
的に自然換気できるようにしています。それから屋根の南面には太陽光パネルが載っていますので、跳ね上げることでより光が当たり、発電効率を高めています。

アーチトラスで金物らしさを表現

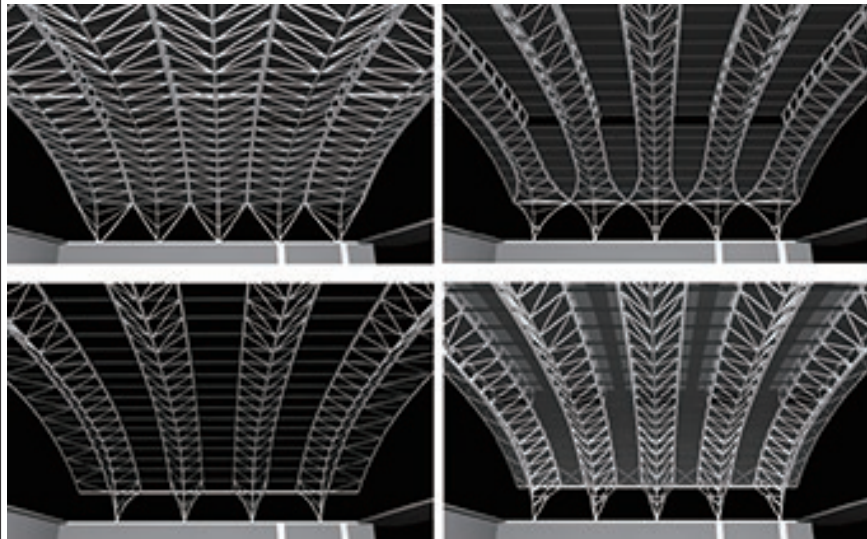
構造計画の概要やアリーナに架かるトラスについて詳しく教えてください。

原●主体構造は鉄筋コンクリート造で、アリーナ屋根と体育室の屋根は鉄骨造になっています。

アリーナは45m×35m、有効高さ12.5m(コートサイド)の大空間で、



構造計画の概要



アーチトラスの比較

長手方向にアーチトラスを5本架けました。トラスは逆三角形断面で、H形鋼の上弦材2本(H-300×150×6.5×9(SN490N))とビルトアングルの下弦材(BL-250×250×19+PL-19(SN490B))、そしてラチス材(2L-125×75×7)で構成しています。

このトラスの形が決まるまでの経緯をお話ししますと、まず今回の計画は、当時のチーフ建築家である清水から「長手方向にアーチを架ける体育館のプロポーザル」の相談を受けたところからスタートしました。当初は観覧席から4mくらい上げた位置までコンクリートの柱を立ち上げてアーチを架ける案でした。しかし、アーチはいか

に足元を固めるのが大事なので、脚部は2階床の客席部分にしっかりと載せることを提案しました。

それから、プロポーザルの時の模型からもわかりますが、建築家はとにかく部材の密な空間をイメージしていました。しかしそれでは構造としては部材が多すぎて、コストも大幅に上回ってしまうので、イメージをキープしながらコストを抑えることに努めました。

具体的には、ラチス材の数を少なくすることと、室内の有効空間も確保しながら下弦材アーチの形状をスタディしていくことの2点に取り組みました。

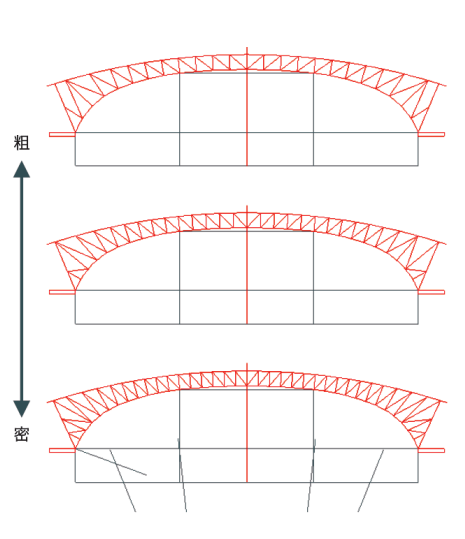
中田●提案当初から鷲や金物というテーマは持っていましたが、トラスに



プロポーザル時のプレゼンで用いた模型写真



模型内観写真



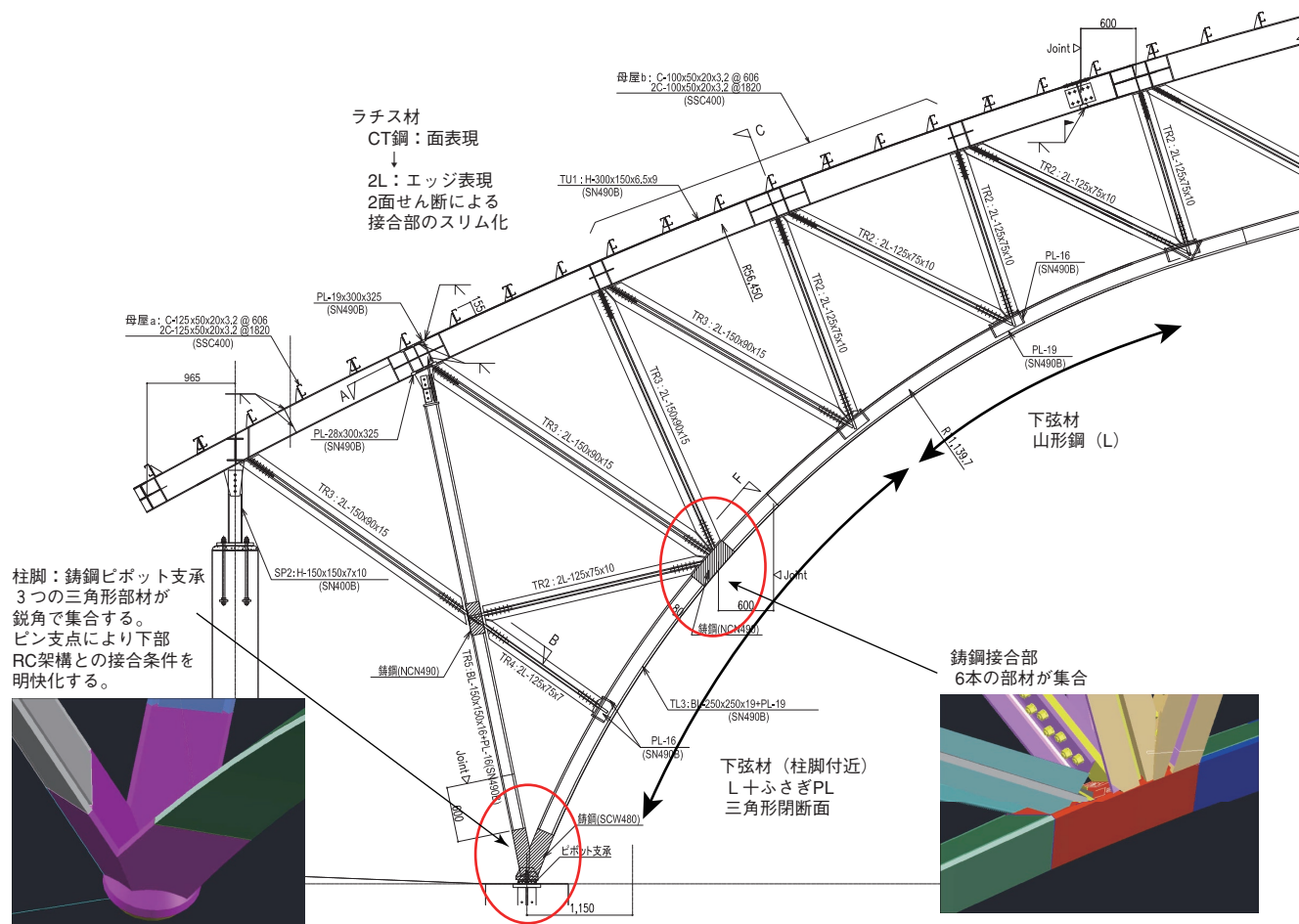
ラチス材配置のスタディ

については三木市は緑が多いことから、樹木状の木立のようなイメージで細かい部材で構成したものを提案していました。

原●その提案を合理的に、そしてコストを抑えて実現できるようにまず考えたのが、同じ形状の部材をたくさん使うということです。



原 健一郎氏



ブレードトラスの鉄骨詳細図

出したい。アーチトラス全体を1本の鉄と見立てて、それをシャットと研いで現れた三角形のトラスというか鉄の空間をつくりたいと思ったのです。なのでそのためには、下弦材とラチス材の面がぴったり合っていないと面白くない。当初、ラチス材はカットTにしていたのですが、接合部ボルトの納まりを改善するためにアングルの二丁合わせに変更しました。そうしたことでボルトの本数も減って、より洗練され、思い描いていた「きれいな面」が見えるようになりました。

長岡●ガセットプレートの厚み分、2つのアングルの間に筋が入り、ラチス材がより細く見えるようになりました。**中田**●線が細く見えて、より繊細になりましたね。

トラスは、樹木のようなイメージからスタートしているので、1つの場所に部材が集まってくるのです。鋼管を使うとボールジョイントなど少し違う

接合方法になりますが、今回は規格品を活用し、下弦材がアングルのため、プレートをつけた取り合いとなります。アングル二丁合わせのラチス材をきれいに接合でき、いろいろな角度に対して接合しやすくなるようにディテールを工夫しました。

原●アングル二丁合わせなんてトラスではよくあるでしょうと言う人も多いのですが、この精度でぴったり面を合わせるのは、今回のファブリケーターであり今日も来てくれている日鉄エンジニアリングの久保田さんじゃないとできないですよ。

下弦材とラチス材の隙間も通常10mmで接合するのですが、今回は面にこだわりたいので5mmにしてくださいとお願いしました。それから、下弦材の継手は溶接しているのですが、どこで継いでいるのか我々も継ぎ目がわかりません。職人さんの力を遺憾なく発揮して、大変きれいに仕上げてく

れました。

長岡●下弦材にはアングルを使うことになりましたが、アーチの柱脚部にいくに従って軸力が集まってくるため、アングルだけではどうしても軸耐力が取れませんでした。ですから、アーチの柱脚部付近ではアングルをプレートで塞いだ三角形閉断面としました。

通常使わない断面形状なので、まず図面を描いて、断面二次モーメントや断面係数などの断面性能を手計算で算出し、構造計算を行っています。少し小さな断面なので、軸力が集まってきた時に軸耐力がしっかり取れるかという心配もあり、座屈解析により耐力が十分に確保できることを確認しながら設計を進めていきました。普段なかなか使わない断面で組み立てていったので、とても気を遣いながら設計しました。

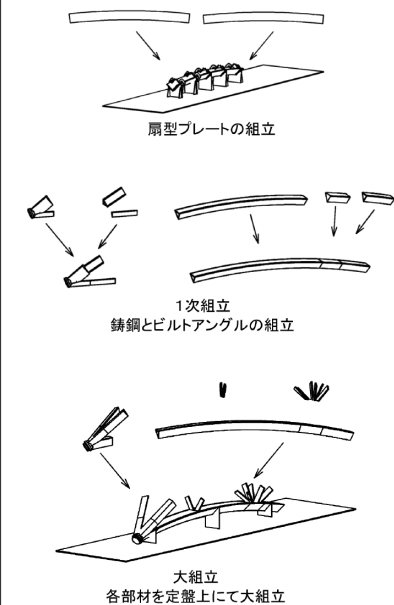
また、アーチトラスを支持する下部構造は、剛性によって大空間のトラス



ビルトアングルの原板



モックアップで下弦材の形状を確認



部材の製作方法

に影響が出ますので、トラスのスラストに対し、十分に配慮しながら設計しました。基本的には耐震壁を使いながら強度と剛性を確保した強度抵抗型のRC架構として耐震性能を高め、その上にアーチが載るようにしています。

曲線形状のビルトアングル

比較的小さい部材でかつ板厚も薄いので、仕上げる時の精度管理は大変だったのではないのでしょうか。

久保田●厳しい品質管理体制を設定し、



アングルの二丁合わせしたラチス材 アングル間の隙間がアクセントに

製作を丁寧に行いました。アーチは刃物のようにとにかくシャープなエッジにしたいということでしたから、やはりラインと面をきれいに出すことに注力しました。下弦材のビルトアングルを組む時点で溶接ビードが表に出ますし、接合部にも出ますので、そこを削って仕上げる時は私も現場に入って指導しました。削る職人を限定し、丁寧に時間をかけながら作業に従事してもらいました。

下弦材は曲げ加工ではなく、鋼板同士をR形状で組んだものですね。

久保田●はい。当初の計画段階では曲げ加工で、下弦材の円弧のラインを演出しようと考えていましたが、サンプルで曲げ試験を行ったところ、微細な変形が発生したため、よりよくするにはと考え、鋼板同士をR形状に組み立



久保田智彦氏



2階ランニングギャラリー 6方向から部材が集まる接合部と3つの三角形部材が集まるアーチ柱脚部

てて製作の方が美観に優れると判断し採用しました。

下弦材のR形状のビルトアングルはどのように製作されたのでしょうか。

久保田●3DCADを使ったアングルの展開図から扇形の板をつくり、その板同士を溶接しています。

部材時点では精度良く製作できていたけれど、建て方時に施工誤差等で困ったということはありませんか。

久保田●熱膨張や基準墨精度や製作、および建入れ精度の誤差がありますので、基準墨の確認と調整、現場溶接ジョイントでの誤差吸収や緻密な建方計画を行い実行しました。下弦材の建方精度を重点管理ポイントとし、地道に精度確認を行いながら実行したので精度良くできたと思います。

6方向から部材が集まる複雑な接合部には鋳鋼を用いていますが、この部分もクリアランスが5mmというのは

正直困りました(笑)。この要求事項を満足するためにはラチス材と溶接ビードが干渉するので、あらかじめ削っておく必要がありますし、ラチス材の切断角度の良し悪しも影響します。またボルトの施工性も考慮する必要がありますので3DCADを活用しながら、現寸図やサンプルも作成し、丁寧に納まりを確認して実行しました。

トラスを2色に塗り分ける

トラスは塗り分けられていますが、どのような意図だったのでしょうか。

田中●金物の美しさを表現するためにクリア塗装のみで鉄の質感をそのまま出したかったのですが、法的に難しかったため、トラスの面を白と黒の塗料で塗り分けることで刃物を表現しました。

目に見える下側の部分は白く塗って、裏側は黒に塗りました。そうすること

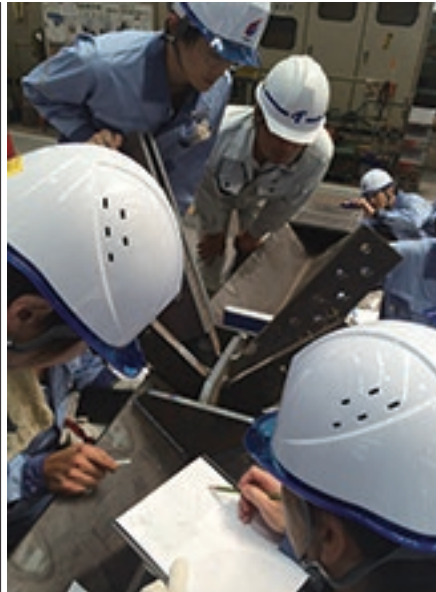
でトラスの重量感がかなり消えて、下側のトラスの2面が面として強調されるので、よりエッジが際立った表現ができました。

側面が黒いことで材としても細く見えますし、より鋭く見えるようになりました。

原●今回塗り分けはうまくいきましたね。黒く塗っていると反対側からは見えなくなります。塗り分けたことで消えて見えなくなった部材もあり、見せたいところだけがしっかり見えてきた印象を持っています。

中田●トラスですから当然立体のボリュームで支持しているわけですが、塗り分けることで表現したいところだけを面で見せています。塗り分け方もいろいろ試してみましたが、うまくいきましたね。

長岡●1階アリーナから見ると、黒い背景に白い部分だけ浮かび上がり切り絵のように見えるのですが、2階観覧席やランニングギャラリーの方から見



モックアップで接合部の形状を確認する

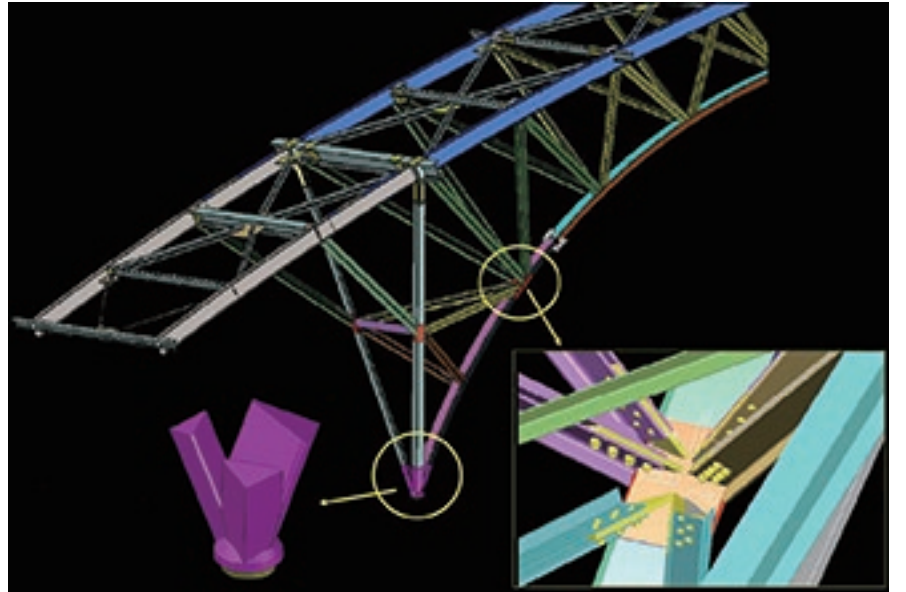


エッジを出すためにアングルの削り具合を検証する



スタイロ模型で柱脚部鋳鋼の形状を検討する

ると鉄骨の部材感、トラス架構の力強さを感じます。でもまた動いて違う角度から見ると、そういうものが消えて急に柔らかな表情になる。普通のトラスに比べると動きがあり、表情がある面白い空間になったと思っています。
原●久保田さん和其他の案件で打ち合わせをしている時に、この体育館で挑戦したいことをいろいろと話していたのです。いま白く塗っているこの面は、錆止めをせずに削るだけでいいじゃないかと。錆が出てきたら、金物まつりの時に三木の職人さんが錆びたところを研げばいいじゃないと言っていたのですよね(笑)。



3DCADによりボルトの施工性まで検証する



鉄骨建入れ時、本締め時の入念な精度管理を行う

久保田●はい(笑)。皆様にはお話ししてなかったのですが、研いだ鉄の質感を出したいというご希望を聞いていたので、コストや工期を含め実現できないか、裏でいろいろな研磨を行い実験しました。人の手によりますので研磨ムラや研磨中の汗や湿度によりターニングが起きるので維持が難しく、防止するためのクリア塗料を塗布すると色が鈍くなり要求される質感が出ないなど、いろいろと長所短所があり、最良案を出すには少し時間が足りませんでした。

それでもなんとかしたかったので、塗装で刃の質感を出すことも試まし

た。
原●そんなに実験してくれていたことを今知りました。

長岡●まったく聞いていませんでした。

久保田●楽しみながら挑戦させていただきました。

接合部を現寸模型で確認

部材の数が多いですが、すべて手溶接でしょうか。

久保田●はい、すべて手溶接です。
原●三角形断面を現場で溶接するのは



メインエントランス内観 スリット状の開口と既存プールに繋がるスポーツコリドー

難しいですね。他に事例がないのではないですか。

久保田●はい、今まで三角形断面を構造体として使用したことはなく、初体験でした。

接合部がほとんど見えませんが、どのような工夫があるのでしょうか。

原●接合部を見えなくするのは結構大変でした。スタイロフォームで接合部の現寸模型をつくりながら実際に自分でカッターで開先を切って溶接方法を考え、それを久保田さんに見ていただきました。これでできますよねと言って(笑)。

久保田●はい(笑)。

原●実際はその通りには納まらず、現場で変えてもらっているのですが……。

久保田●ビルトアングルの接合部分は、表から溶接して裏はつりするパターンと、部分溶け込み溶接でするパターンがあるのですが、上の方がせいゝを250mmから200mmに絞っているので、より複雑でした。それからラチス材に使っているアングルは規格品なのですが、接合部に部材が複雑に入ってくるので、そこの納まりを考慮した切り方を1本1本現寸で丁寧に確認し

ました。

原●非常にシビアでしたね。

久保田●6方向から部材が集中してくる鋳鋼を使っている部分は、上弦材の円弧の形状と下弦材の円弧の形状が違ゝうので、その面を揃ゑるのは苦労しました。

照明器具はどこに付いているのでしょうか。

田中●これだけきれいなものができたので、トラスには何も付けたくありませんでした。ですから照明はトラスとトラスの間の天井に取り付けました。**中田●**トラスには何も付けずに純粋なまま見せられるようにみんなで最後まで努力し続けました。

原●トラスの開く角度も何気なく見えますが、下弦材アングルと面を合わせゝるために90度としました。角度をもゝ少し狭くするとラチス材の長さが短くなりますが、90度が意匠の空間イメージと構造がちょうど合う角度でした。鋼材量を抑ゑることを考えたら、もゝ少し別のプロポーシゝンになりますゝが、アングルを使つてこの面をつくるということを大切にしました。鋼材量を優先して狭い角度でトラスを組ん

でいたら、こういう空間にはならなかったと思うのです。そこは意匠のセンスが全体のバランスを決めたと思っています。

3DCADの技術が精度に繋がる

意匠、構造そして製作チームが一丸となつてつくり上げたことがよくわかりました。

原●また、今まで立体的なものは鋼管を使うことが主流でしたが、今回形鋼で十分にきれいなトラスができたのではないのでしょうか。それは我々のチャレンジでもあったし、成果としても残せたと思います。

長岡●今回、3Dでの検証から製作、管理までの工程すべてを久保田さんが責任をもってやってくださいました。精度管理の話はとても大きなテーマでしたが、やはり3Dできちんと検証してもらい、それをいかに精度良く作つていくか、そして精度よく組み立てていくか、その積み重ねによってこの空間が完成したと思います。

どうしても設計側では検証しきれない箇所もあるので、製作側の技術力を遺憾なく発揮していただき、ここまでの精度でできたことに、とても感謝しています。

原●どんな風に板を切ればこういうビルトアングルができるのか、それは手描き図面では絶対にできません。3Dの技術で作つてそれを展開していく、それは本当に素晴らしいことだなと思いました。

中田●今回、試験品を事前にたくさん作らせていただき、現寸でディテールを決める機会が何度もありました。チーム一丸となつて楽しみながら、ものづくりの醍醐味を味わせてもらいました。

今日は『スチールデザイン』の座談会ということで、鉄骨トラスを担当してくださつた日鉄エンジニアリングの久保田さんにも参加していただきましたが、ここまでこぎ着けたのにはいろ

いろな方のお力がありました。施主である三木市関係者のご理解ご協力のほか、とくに高階という地元のゼネコンが私たちの設計の中身を理解して情熱を傾けてくれました。やはり地元にかける熱意もありましたし、しっかりと座組みをしていろいろな人を呼んで、それぞれが力を発揮するように全体の面倒をみてくれて、非常に頑張つてくださいました。改めて感謝の気持ちを伝えたいと思います。

鉄骨材に望むこと

最後に鉄鋼メーカーに対して、こういう部材を開発してほしいというようなご要望がありましたら、お聞かせ下さい。

原●いつまでたつても溶接以外の接合方法が現れないので、なぜそれは旧来の技術のままなのかなとも思っています。

今は溶接かボルト接合ですね。例えば、接着剤のような簡単な施工方法がないのかということでしょうか。

原●そういう簡単な方法があると建物にこんなに愛情が入らないかもしれないですね……。今回は久保田さんをはじめ製作側の皆さんに直接想いを伝え、多くの試行錯誤をしてもらったから完成できたので、人と人を繋ぐという意味では今の技術を大切にしていゝのでもいいかもしれません。

長岡●鉄骨部材は規格化が進んでいて、H形鋼でもフランジとウェブの組み合わせもたくさん種類があつて、構造計算でも調整しやすく、使いやすい材料だと思っています。精度管理もきちんとしていゝ、トレーサビリティだとか、数字を後からも追ゝやすい構造種別です。そういうところは今後も継続していただきたいと思います。

ただ、これは仕方ないことではありますゝが、コストや納期がどうしても市場の影響を受けます。そういったものがもゝ少し平準化されるといいですね。

意匠側からは鉄骨材への要望はありますかでしょうか。

中田●仕上げる面からいうと、チタンの無垢材や耐火鋼など、素材そのものを見せるという選択肢があり、我々はそのいったものを選んだりすることがあります。その時に、鉄は塗装して使うものだと当然わかつてはゝるものの、選択肢としてやはりいかにも金属という使い方をしたいなという思ゝはずつと持っています。それは私だけではなく、設計者みんなの夢ではないでしょうか。

田中●最近NIKEの靴にもありますが、編み方を変ゑることでこの部分は強度を強くして、次の部分は緩めに編んで弱くというようなシームレスなものが、コンピューター制御によってできるようになっています。そのような感じで、鉄骨材も1つの材の中で、同一断面に見えるけれど強度がいろいろある中で成り立つようにできたりするのでしょうか。

中田●計算上では今それができるようになってきていますよね。

田中●混ぜ方なのか、押し出しの時にできるのかわかりませんが、継ぎ目なくシームレスにデザインできるようになると、建築も別の次元にゝくのかなと思つたりします。鉄はコンクリートと違って溶かすことができますしね。

中田●まずは構造体ではなくて、半分仕上げ材のようなものからできるようになる気がします。

原●鉄の3Dプリンターがすでにありますし、この先可能性があるかもしれません。

貴重なお話をいただき、ありがとうございました。

(2019年12月26日 鉄鋼会館 会議室)

三木山総合公園総合体育館	
所在地	兵庫県三木市福井字三木山2474-5（三木山総合公園内）
建築主	兵庫県三木市
主要用途	体育館
面積	敷地面積：239,922.00㎡ 建築面積：3,538.33㎡ 延床面積：4,203.47㎡
構造	地上：鉄筋コンクリート造一部鉄骨造 アリーナ屋根：一方向鉄骨トラス杭・基礎：直接基礎（一部浅層改良）
階数	地上2階
最高高	16.84m
意匠	石本建築事務所
構造	石本建築事務所
施工	建築：高階 アリーナ屋根：新日鉄住金エンジニアリング（現日鉄エンジニアリング）
設計期間	2015年6月～2016年3月
施工期間	2016年6月～2017年7月
写真提供：	鳥村鋼一 （一部 石本建築事務所、日鉄エンジニアリング）
プロフィール	
中田達也（なかた たつや）	
1977年生まれ、京都府出身／2002年京都大学大学院工学部研究科生活環境学専攻修了／同年、石本建築事務所入社／現在、同社設計監理部門 建築グループ主事	
田中良平（たなか りょうへい）	
1980年生まれ、京都府出身／2005年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科（博士前期課程）造形工学専攻修了／同年、石本建築事務所入社／現在、同社設計監理部門 建築グループ主事	
原 健一郎（はら けんいちろう）	
1968年生まれ、神奈川県出身／1991年武蔵工業大学（現東京都市大学）工学部建築学科卒業／同年、石本建築事務所入社／現在、設計監理部門構造グループ部長兼環境統合技術室部長	
長岡寛之（ながおか ひろゆき）	
1981年生まれ、大分県出身／2006年神戸大学大学院自然科学研究科建築学専攻修了／同年、石本建築事務所入社／現在、設計監理部門構造グループ主事	
久保田智彦（くばた ともひこ）	
1975年生まれ、大分県出身／日鉄エンジニアリング㈱建築・鋼構造事業部 プロジェクト部 鉄構工事室所属マネジャー	



一般社団法人 日本鉄鋼連盟
建築委員会

東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10
Tel.03-3669-4815 Fax.03-3667-0245
<http://www.jisf.or.jp>
編集協力: 株式会社建報社
2020 年 3 月 20 日発行

本書は著作権法上の保護を受けております。
無断で複写、複製することは禁じられています。