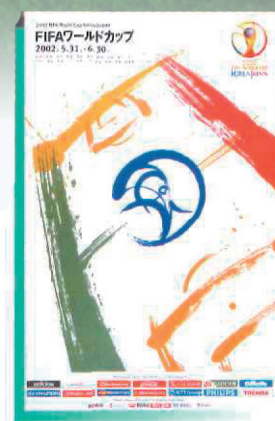


ワールドカップ開催を待つ サッカースタジアム



サッカーの世界一を決める4年に一度の祭典であるFIFAワールドカップTMが、2002年5月末から日本と韓国で共同開催される。この一大祭典の舞台となる各地のスタジアムには印象的なデザインやユニークな設備・機構が取り入れられ、大会への期待をかきたててくれる。建築物としても大きな魅力にあふれるスタジアムを鉄鋼、アルミニウム等の材料技術や構造設計・建設技術が力強く支えている。

2002年FIFAワールドカップサッカー大会の公式ポスター



世界が注目するビッグイベント「ワールドカップ」

ワールドカップ大会の公式名称は、「2002 FIFA World Cup Korea/Japan」である。ワールドカップはFIFA (Fédération Internationale de Football Association、国際サッカー連盟) が主催するサッカーの世界選手権である。1998年に開催された前回のフランス大会から決勝大会は32カ国が出場し64試合が行われることとなった。

ワールドカップは、単一競技のスポーツイベントとしては世界

最大のものである。フランス大会では、64試合で延べ270万人の観衆を集め、全世界のテレビ視聴者は延べ400億人程度に達したと言われている。我が国においても、サッカーの人気は最近とみに高まり長い間国民スポーツとして親しまれてきた野球をしのぐほどとなっている。

今度の大会では、日本および韓国の双方で、それぞれ10のスタジアムが舞台となる。特に日本では、1996年12月に札幌市、宮城県、茨城県、埼玉県、横浜市、新潟県、静岡県、大阪市、神戸市および大分県を開催自治体とすることが正式に決まっ

■2002年FIFAワールドカップの日本開催地



決勝戦の会場となる
横浜国際総合競技場

た。スタジアムは、FIFAで定められている要件を満足する必要がある。その要件とは、収容人数が最低40,000人（開幕戦、準決勝戦、決勝戦では最低60,000人）であること、観客席の2/3以上が屋根で覆われていること、フィールドが天然芝であること、テレビ用照明、電光掲示板、拡声装置、通信設備等が整備されていることである。各自治体は、このような要件を満たしながら、ワールドカップの舞台にふさわしい充実した設備とユニークなデザインやシステムを採用したスタジアムの建設を進めてきた。このようなスタジアムの建設をさまざまな材料技術や構造設計技術が支えている。

デザインや使用目的によるスタジアムの分類

ワールドカップの舞台となるスタジアム建築は、フィールド、観客席、屋根などで構成され、どれも似たように見える。しかし、スタジアム建築に詳しい日本大学理工学部の斎藤公男教授によれば、デザインや使用目的によって分類することができるという。

前述のように、ワールドカップで使用されるスタジアムは観客席の2/3以上が屋根で覆われていなければならない。屋根は、観客にとって日差しや雨を遮るシェルターとなる。しかし、サッカーでは天然芝フィールドを使用するため、芝が十分に成育できる程度の日照時間を確保する必要がある。屋根構造の形式には、(1)キャンティレバー（片持ち梁）方式、(2)斜張方式、(3)キールトラス方式、(4)連続体方式等がある。また、屋根の種類には、大きく分けて膜屋根と金属屋根がある。このような屋根の構造と種類をうまく組み合わせ、様々な工夫を凝らすことによって、観客と芝に対しての相反する要求にうまく応えることができる。

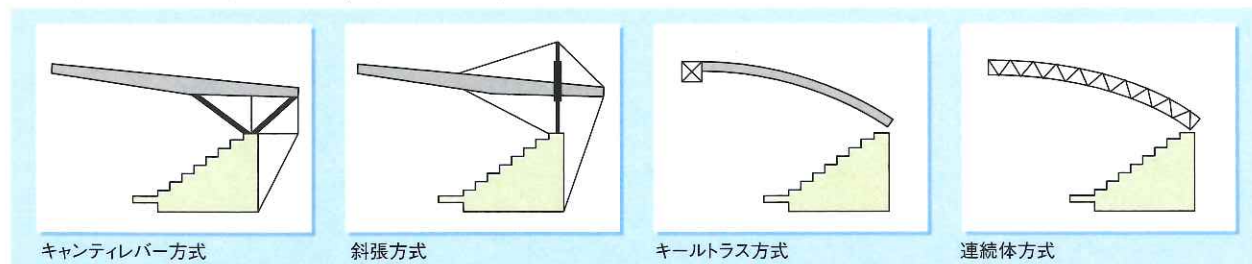
一方、スタジアムには、多目的スタジアムとサッカー専用スタジアムがある。従来多くのスタジアムは、陸上競技等との併用目的で建設されてきた。我が国におけるサッカー専用スタジアムは、現在のところ埼玉スタジアム2002とカシマサッカー・スタジアムの2つだけである。天然芝を必要とする競技はサッカーのみであるが、全体を屋根で覆ったドーム形式のスタジアムは日照条件に

問題がありサッカー向きではない。日照条件の問題に対する解決方法の一つを示したのが、札幌ドームである。札幌ドームでは、独自のフィールド移動機構によって天然芝の育成を可能にしている。可動屋根を装備した神戸ウイングスタジアムや大分ビッグアイも、この問題を考慮した形式である。また、サッカー専用スタジアムには、観客席をフィールドに近づけたり、フィールド内への観客の侵入を防ぐ専用施設（ピット等）を設置するための機構が整備されている。

平面的で対称性の高いデザインのスタジアムは、建設工事が容易である。しかし、最近建設されたワールドカップスタジアムは、地域スポーツのシンボリックな建造物を指向しており、具体的な対象にデザインモチーフを得たものや立体的で曲線的なユニークなデザインのものも多く、困難な建設工事を実現するためにさまざまな構造設計や建設技術が導入されている。

このように、いろいろな視点からスタジアムを見ると、個々の特徴が浮かび上がってくる。

■スタジアムの屋根構造の形式（斎藤公男教授提供）



埼玉スタジアム2002 (63,700人収容)

設計: 梓設計

施工: 鹿島建設



片側約3,000tのトラス大屋根はダブルレイヤーの鋼管立体トラスで構成される。屋根手前側端のアーチ部分がキールトラス。屋根はトラス柱などを用いてスタンド架構上に支持されている(写真左端)

ボールジョイントによってつながる鋼管立体トラス

鉄骨トラスが支える大屋根 —— 埼玉スタジアム2002

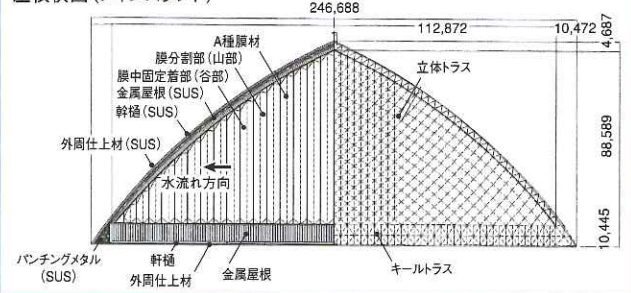
サッカースタジアムの外観を眺めると、まず目に入るのが大きな屋根である。観客席を覆う大屋根のデザインは、スタジアムの個性を表現している。日本の10スタジアムの中でも、ひととき印象的なのが大きな屋根をもつ埼玉スタジアム2002である。

埼玉スタジアム2002は、63,700人の収容人数を誇り、アジア最大級のサッカー専用スタジアムである。選手と観客を主役とする「21世紀の劇場型スタジアム」を実現するために、FIFAの基準を超える高品質なスタジアムを目指している。サッカー専用スタジアムであるため、観客席最前列とフィールドとの距離は14mと通常の陸上競技併用スタジアムの半分程度になっている。また、観客席とフィールドの高低差も最小限に抑えられ、選手たちの迫力あるプレーを間近で観戦することができる。さらに、コンコース、トイレ等の空間にゆとりがあり、選手、観客、要人、報道関係者等の通路も明確に分離する配慮もなされている。

「ひとつがいの白鷺が豊かな田園地帯に舞い降り優雅に翼を広げている姿をイメージした」大屋根は、立体トラス構造の鉄骨にテフロン膜仕上げたものである。この大屋根の設計では、鉄骨の重量を極力小さくしスタンド架構への負担を軽くすること、屋根の支持部分に過大な水平変位を生じさせないこと、鉄骨製作を簡略化すること、施工性を向上させること等の要件が考慮されている。その結果、メインスタンドとバックスタンドの大屋根の架構は、四角錐を基本ユニットとするダブルレイヤーの鋼管立体トラスを配置し、前面には鉄骨アーチ部分に、H形鋼で四角断面を組んだキールトラスと呼ばれる鉄骨アーチ(幅5.5m、高さ5m、長さ約196m)を配置している。立体トラス部分の接合部は、鍛造品のボールジョイントを用い、これにネジ穴を切り、個々の鋼管の端部とボルトで接合している。

一つの屋根架構は、前面のキールトラス部両端と鋼管立体ト

屋根伏図(メインスタンド)



ラス部後方2箇所、のわずか4箇所支持されている。キールトラス側は、スタンド架構上に立てられた直径80cmの4本の鋼管による組柱に接合支持し、立体トラス部後方は、4本の鋼管を逆四角錐に組んだトラス柱により、スタンド架構上部にピン支持している。システムトラスの支持部分には鋳鋼品が使われている。屋根の総面積は約31,000m²であり、総重量約6,000tに及ぶ鉄骨が使用されている。キールトラスの最大高さは約60mである。施工時には、キールトラスを40ブロックに分け、システムトラスを93ブロックに分割し、地上で組み上げた後クレーンで持ち上げ組み立てたという。

イメージとテクノロジーが調和する —— 静岡スタジアム「エコパ」

静岡スタジアム「エコパ」の屋根は、やさしい印象を与えるデザインである。上空から眺めると、観客席スタンドの上部に楕円形の膜屋根が載っているだけのように見える。しかし、実はメインスタンドとバックスタンドで大きく高くなり、両サイドのスタンドで小さく低くなるような立体的な起伏を持った構造となっている。スタジアムの周囲に広がる緑の丘陵や美しい山並みの景観に調和することを指向したデザインという。

新潟スタジアム「ビッグスワン」(42,300人収容)
設計:日建設計
施工:鹿島建設ほかJV、清水建設ほかJV、大成建設ほかJV

エコパの設計を担当した斎藤公男教授(前出)は、エコパのデザインについて次のように語っている。

「最初に全体の形態を決めた後それに合わせた構造をはめ込む設計の進め方は、技術的な問題や、工期および費用にしろ寄せがかりやすかった。そこでエコパでは、このような問題を解決するためにイメージと技術の融合を図り、いわゆるホリスティック(包括的)なデザインを目指した。つまり、システム、材料、細部、工法、維持および構造表現を総合的に意識することによってデザインを進めた。」

このため、全体の形態を分割する方法でなく、独立した架構体(キャンティラス)を一つ一つ連続させていくことを基本とし、直線的なトラスと曲面(ストリング、メンブレン)を組み合わせ、最後に「魅力的なツリー(構造体)」が出来上がるようにした。

エコパでは、力強さと緊張感を表現するために、キャンティラス方式の屋根構造が採用されている。使用されたキャンティラスは、合計56本であるが、断面形状は比例形で長さおよび高さがそれぞれ38~50mおよび34~43mとなっている。またジョイントは、すべて共通な鋳鋼品であり、シンプルなピン支承となっている。このような細部は、「デザインを効率よく実現する」設計思想を表したものととして注目されている。

トラスの据付は、組み立てておいたトラス(最大で70t)を一本ずつクレーンで吊り上げスタンド上部に設置するという方法で行われた。トラスの角度調整は、スタンドの上部を支点にし、周囲に張ったバックステイケーブル(65~85mmφ)上部のロッドを回転させ長さを調節することによって行った。この方法によって、スタンドの内外に支保構(足場)を設けることなくトラスの設置が可能となった。また、スタンドの内側に耐風ケーブルを鉛直に設けることにより、全体に柱や梁の少ない軽快な印象のスタジアムを実現している。



屋根には立体的で柔らかなウェーブがある
(提供:SS名古屋)



キャンティラス方式の構造モデル



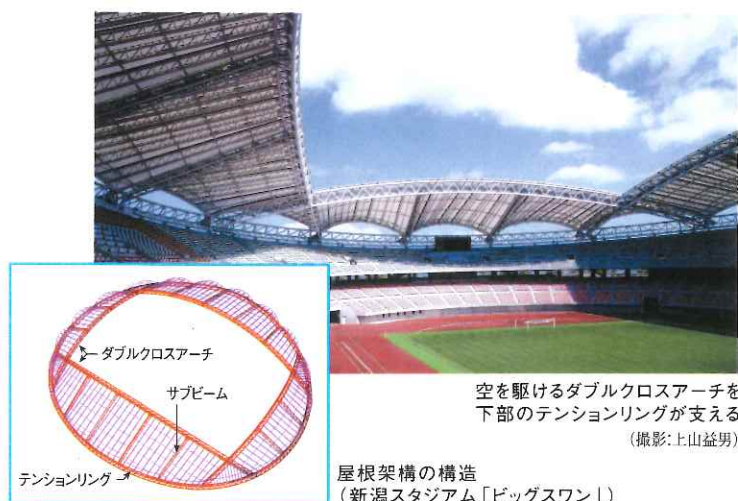
空にかけるビッグアーチ ——新潟スタジアム「ビッグスワン」

スタジアム全体を包み込むデザインの屋根によって「観戦しやすく、快適にプレーの臨場感を共有できる劇場空間」を目指す演出を狙ったのが、新潟スタジアム「ビッグスワン」である。ビッグスワンでは、屋根が観客席のほぼ全域を覆っており観客の声援がフィールド内によく反響するので、選手と観客が一体感に浸れる空間を演出することができる。

設計段階では、スタジアムをスポーツ公園内に建設するため、周辺の景観との調和が求められた。また、軟弱地盤と積雪寒冷地という厳しい条件に対応させるために、屋根の架構は4本のアーチを井桁状に配置した「ダブルクロスアーチ構造」とした。このような構造のアーチは、片側だけに雪が積もって荷重が偏在しても安定しているという特徴がある。このアーチは、地面ではなく、テンションリングと呼ばれるスタジアムを一周する周囲約800mの鉄骨製フレームによって支えられている。メインアーチ

静岡スタジアム「エコパ」(51,349人収容)
設計:佐藤総合計画、斎藤公男
施工:鹿島建設ほかJV、住友建設ほかJV、大林組ほかJV、銭高組ほかJV





空を駆けるダブルクロスアーチを
下部のテンションリングが支える
(撮影:上山益男)

屋根架構の構造
(新潟スタジアム「ビッグスワン」)

には、溶接性や加工性に優れ降伏比の小さな建築構造用鋼材(引張強さ: 590MPa)が使用されている。その理由は、屋根全体が完成した時点で安定する構造となること、また溶接箇所も多いために溶接箇所の強度を確保することがきわめて重要であり、溶接部の材質変化が小さく、組立溶接時の溶接長さが短くてすみ鋼材が求められたこと、さらには大きな地震エネルギーを吸収できることなどである。

シャープな印象を与える金属屋根 ——宮城スタジアム、神戸ウイングスタジアム

10のワールドカップスタジアムのうち、金属屋根を全面的に採用しているのは宮城スタジアムと神戸ウイングスタジアムの2つである。

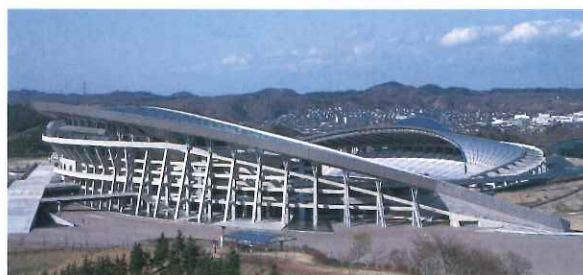
宮城スタジアムは、宮城総合運動公園内にあり、敷地内の丘の起伏を延長する形状にバックスタンドがデザインされている。この独特なデザインが、周囲の景観との一体感を生み出している。屋根は、伊達正宗の兜の三日月をイメージしたデザインで、一般的なスタジアムとは異なり非対称な構造となっている。

屋根の材料は、アルミメッキ処理を施したステンレス鋼であり、優れた耐食性や良好な熱伸縮性能を有している。メインスタンドの金属屋根は、ピン節点で建物につながっており、遠くから見ると建物の上に軽く浮かんでいるように見える効果を出している。

メインスタンド側の屋根は、面積が約15,000m²で長さが約360mであり、スタジアムをまたぐように傾斜して伸びた鉄骨トラスアーチで支えられている。鉄骨トラスアーチによる30MNの反力を支えるために、巨大なプレストレスト・タイ・ビーム(prestressed tie beam、地中梁)がスタジアムの地中に埋込まれ走っている。この地中梁が屋根の両端で結ばれ、弓の弦のような役割を担い、上記の反力を支えている。

一方、バックスタンド側の屋根は、面積が約9,000m²で、躯体から客席上部に張り出したパイプトラスのキャンティレバーによって支えられている。また片持ち梁を客席上部に張り出しており、それぞ

宮城スタジアム(49,133人収容)
設計:針生・阿部共同アトリエ
施工:鹿島建設・奥村組・橋本・奥田建設JV



ステンレス屋根はアーチとともに三次元的にうねっている (撮影:斎部 功)



神戸ウイングスタジアム(42,000人収容)
設計・施工:大林組・神戸製鋼所JV

れのキャンティレバー梁は構造的に独立して支えられている。

神戸ウイングスタジアムは、外観が翼の形に似ていることに名前の由来がある。メインスタンド側とバックスタンド側とを合わせた屋根の総面積は、約15,000m²である。また、屋根には、85tのアルミニウム折板屋根材が使用されている。屋根材料としてアルミニウムが用いられているのは、兵庫県南部地震の教訓によって軽量屋根の高い耐震性が評価されたこと、海岸部でも良好な耐食性を発揮すること、リサイクル性に優れていること等の理由に起因している。

スタジアムは、神戸市海岸部の住宅街に隣接した地区に位置している。このため、住環境に配慮して、屋根材の表面にはアルミニウム素材の色調を生かしながら太陽光を乱反射させる低光沢処理が施されている。このような低光沢処理を施しても太陽光の熱反射率が依然として高く表面温度上昇が抑制されるので、夏季の冷房効率を大幅に高めることが期待できる。

また、屋根の裏貼り材に制振材料を利用することによって、観客にとっては雨音が抑えられるとともに、スタジアム内部の騒音が外部に洩れないようになり騒音発生量を住宅街に対する規制値以下に減少させることができた。

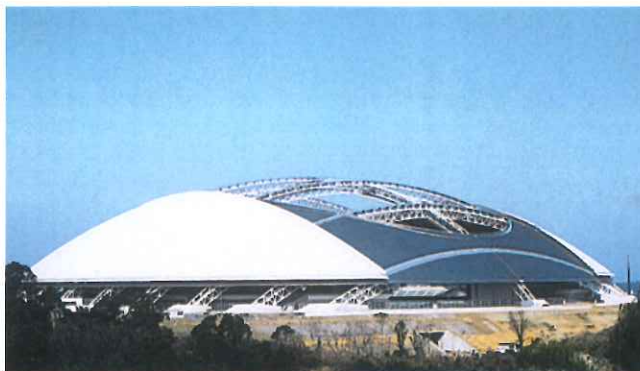
神戸ウイングスタジアムでは、ワールドカップ終了後に第二期工事が行われる予定である。この工事では、重さ50t、面積約10,000m²の可動屋根が取り付けられる。工事の完了する2003年には、開閉ドーム式のスタジアムとして生まれ変わることになる。

ユニークな機構に期待が集まる ——大分ビッグアイ、札幌ドーム

非日常的な空間であるスタジアムには、スポーツやイベントをドラマチックに演出するための工夫が求められている。このような演出を実現するためのユニークな設備や機構は、スタジアムのニュース性を高める格好の話題となる。

大分スポーツ公園総合競技場「ビッグアイ」は、国内10会場のうち唯一の開閉式屋根付きスタジアムである。外観は、球体の一部を切り出し宙に浮かべたような形をしている。鉄骨屋根架構は球面形状を実現する球状クロスアーチ架構であり、東西方向に沿って40m間隔に7本のメインアーチが走り、南北方向に1本のキールアーチが走っている。開閉ドームはテフロン膜可動屋根であり、同可動屋根はチタン製固定屋根で支えられている。この可動屋根は、中央部で2つに分かれ、固定屋根の球面に沿って設置されたレール上を移動する。ちなみに、開閉

大分スポーツ公園総合競技場「ビッグアイ」(43,000人収容)
設計:黒川紀章建築都市設計事務所ほか
施工:竹中工務店・さとうベネック・高山総合工業JV



「走るスカイカメラ」は頂部のキールトラスに沿って移動する (提供:新建築社)

個性を発揮する韓国のサッカースタジアム

韓国でも、日本と同様に10のサッカースタジアムで試合が行われる。どのスタジアムも個性をアピールしているが、そのうち2つをご紹介します。

ソウルワールドカップ競技場

ワールドカップの開幕戦と準決勝戦が行われるソウルワールドカップ競技場は、収容人数が6万人を超え、埼玉スタジアム2002と並ぶアジア最大級のサッカー専用スタジアムである。デザインは韓国の伝統的な帆船の美しさをイメージしており、構造は膜屋根が覆った屋根をスタンドに立てられた支柱がケーブルで支えるキャンティレバー方式となっている。



釜山総合運動場主競技場

ソウルに次ぐ韓国第二の都市である釜山に建てられたスタジアムが、釜山総合運動場主競技場である。このスタジアムでは、ワールドカップに引続き、2002年9月にアジア大会が行われる予定である。円形状の外観は宇宙空間を象徴し、屋根は釜山の海の波をイメージしている。デザインは細部に至るまで柔らかな円弧で構成され、ケーブルドーム形式という特殊な構造が採用されている。 (写真提供はともに共同通信社)

札幌ドーム(42,831人収容(固定席))

設計:原広司・アトリエ・ファイ建築研究所、アトリエブシク

施工:大成建設・竹中工務店・シャルボヴィスJV

地上53mの展望台からは札幌市街が一望に見渡せる



ドーム内部に設置された空中エスカレータ

操作の所要時間は約20分である。

ビッグアイは多目的スタジアムであり、イベントの種類に合わせた劇場感覚が味わえるようなさまざまな演出効果が考慮されている。最も特徴的な設備が、「走るスカイカメラ」と呼ばれるテレビカメラ装置である。スカイカメラは、スタジアム頂部中央の南北方向に走っているキールアーチに沿って設置されたレール上を最高速度30km/hで走行する。このテレビカメラ装置により、従来にない高い視点からの移動映像を撮影することができる。さらに、イベント種別、使用エリア、屋根開閉状態等に応じて、16種類の照明点灯パターンや8種類の音響拡声パターンが用意される等、配慮の細やかさがうかがえる。

札幌ドームもユニークな設備や機構を有する点では負けてはいない。全天候型スタジアムであり、屋根の総面積は約53,000m²と国内最大である。屋根の形状は、冬季の積雪対策のために、北西からの風が屋根の雪を吹き飛ばすような独特なシェル型をしている。

札幌ドームの最大の特徴は、天然芝のフィールド全体が移動するシステムを世界で初めて採用したことである。そのサッカーフィールドは、「ホヴァリング・サッカーステージ(hovering soccer stage)」と呼ばれ、長さが120m、幅が85m、総重量が8,300t(ジャンボジェット機約30機の重量に相当)である。移動式ステージの骨組みは、フィールド長辺方向の大梁(H型鋼、8.4mピッチ)と同短辺方向の小梁(H型鋼、2.5mピッチ)によって構成されている。この骨組みの上に、下から順にコンクリート床、芝土、天然芝が積層している。移動式ステージは、普段は屋外に設置し日光をあてて芝を養生させる。一方、試合時には、わずかに陽圧(1.09気圧程度)の空気を用いて総重量の約90%を支持しステージを地面から7.5cm浮上させ、ステージの外周部に配置された動輪を使って駆動しアリーナ内に収納する。これらの動輪は普段格納されており移動時にのみ駆動に必要な重量を負担するので、特別な鋼製レールを設置する必要がない。ステー

ジの収納に合わせて、観客席の一部も移動することができる。

このようなスタジアムのレイアウト変更によって、サッカー、野球、コンサート等の種々のイベントに柔軟に対応することができる。また、札幌ドームには、国内スタジアム初の空中エスカレータや展望台等、多くの設備が整備されている。イベントが開催されていない場合にも、市民が楽しめるスポットにしたいという意気込みが強く感じられる。

世界最高水準の技術の証明

2001年10月に、名古屋でIASS(International Association for Shell and Spatial Structure、国際シェル・空間構造学会)の国際会議が開催された。1986年にも同学会による会議が日本で開催されたが、この15年間に大空間建築の世界は大きく進化した。150m級のドームが17件、スタジアムが12件、その他70m以上の大規模建築物(体育館、展示会場など)が15件建設された(ドームとは、上方にふくらみがあり、空間を一つに包み込むシェルターを持つ建築構造物を指す。「150m級」は野球場(主に軟式)の大きさで、大規模ドームの一般的な目安となる)。かつては、このような建築物の規模そのものが話題となる時代があった。しかし最近では、デザインの独創性や構造技術および使用材料の新奇性に話題が移っている。日本はこの分野において現在世界の最高水準に達しており、最新のワールドカップスタジアムがその水準の高さを証明している。

2002年5月のワールドカップサッカーを観戦する機会には、その舞台を演出するスタジアムのさまざまな表情にもぜひ触れていただきたい。

●取材協力

2002年FIFAワールドカップ日本組織委員会、日本大学理工学部 建築学科 斎藤研究室、鹿島建設(株)、(株)梓設計、(株)日建設計、日本鋼管(株)、神戸ウイングスタジアム(株)、(株)竹中工務店、(財)大分スポパーク21、太陽工業(株)、札幌ドーム(株)、(株)近代建築社