

2 構造計画

2-1 構造設計概要書

本計画は、建築基準法に基づき、自重、積載荷重、積雪、風圧、地震等の衝撃に対して、安全な構造とするとともに、同施行令で示される使用上の支障となる変形・振動が生じない構造とする。

2-1-1 構造設計方針

構造計画は、全体計画、意匠設計等との調和をはかるとともに、以下に示す性能を目標とする。

(1) 長期荷重

常時では床・スラブの使用上支障となる変形や、柱・基礎等の不同沈下を生じさせないことに配慮する。

(2) 地震荷重

本建物は市有施設であるが、国有施設に適用する『官庁施設の総合耐震計画基準』（以下、官庁基準と称す）による分類、および、『むつ市新体育館基本構想・基本計画（平成28年3月）』に基づき耐震設計の目標値を選定する。

i) 耐震安全性の分類

表 2.1 に耐震安全性の分類を示す。計画建物は、同表の「多数の者が利用する施設」に分類されることから、構造体の分類をⅡ類相当とする。

ii) 耐震安全性の目標

表 2.2 に、官庁基準による耐震安全性の目標を示す。Ⅱ類の場合は、「大地震後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られる」性能を有する。官庁基準によると、地震力に対して、建築基準法の 1.25 倍の耐震性能が求められる。また、建築非構造部材、建築設備については、それぞれ表 2.2 では、B 類、乙類が適用されるが、新体育館は、大地震後に利用することが想定される。地震後の使用形態を配慮し、必要な諸室、部位等の耐震レベルを引き上げるものとして、原則、A 類、甲類を適用する。（表 2.3）

(3) 風圧力

建築基準法で規定する水準とする。

(4) 積雪荷重

建築基準法で規定する水準とする。

(5) 使用性（振動、騒音）の確認

建築基準法で規定する使用上の支障とならない水準とし、スラブ、小梁は、歩行、小走り等の外力で、有害な振動を生じさせず、重量衝撃音にも配慮し、必要な剛性を有するものとして計画する。

(6) 耐久性

建築基準法で定める対策を講じる。

2-1-2 使用材料の選定

使用材料、採用強度の選定には、構造計算による必要性能に加えて、コンクリートの選定では、日本建築学会の標準仕様書（JASS5）に定義される計画供用期間の級を「標準」として計画する。建物の耐久性は、環境条件、内外装の条件、日常の保守等の影響を受けるが、この「標準」の級は、軽微な補修を超える大規模な補修を必要とせず鉄筋の腐食やコンクリートの重大な劣化が生じない期間（大規模補修不要予定期間）を 65 年、供用限界期間を 100 年と想定している。

表 2.1 耐震安全性の分類

分類	活動内容	対象施設	耐震安全性の分類		
			構造体	建築非構造部材	建築設備
災害応急対策活動に必要な施設	災害時の情報の収集、指令二次災害に対する警報の発令 災害復旧対策の立案、実施防犯等の治安維持活動 防犯等の治安維持活動 被災者への情報伝達 保健衛生及び防疫活動 救援物資等の備蓄、緊急輸送活動等	都道府県災害対策本部 都道府県庁舎、市庁舎 都道府県警察本部、警察署	I 類	A 類	甲類
		都道府県災害対策本部地方支部 都道府県出先事務所 区庁舎	Ⅱ類	A 類	甲類
	被災者の救難、救助及び保護 救急医療活動 消火活動等	病院、消防関係施設のうち災害時に拠点として機能すべきもの 消防本部、消防署、拠点病院 病院、消防関係施設のうち左記以外のもの 病院、保健所	I 類 Ⅱ類	A 類 A 類	甲類 甲類
避難所として位置づけられた施設	被災者の受け入れ等	学校、研修施設等のうち地域防災計画により避難場所として指定されたもの 学校施設、研修所、体育館、青少年・婦人会館、集会所、公民館、児童館のうち、避難所として指定されたもの	Ⅱ類	A 類	乙類
○ 人命及び物品の安全性確保が特に必要な施設	○ 多数の者が利用する施設	危険物を貯蔵又は使用する施設 放射性物資、病原菌類を貯蔵又は取り扱う施設及びこれらに関する試験研究施設 放射性物資・病原菌等保有施設	I 類	A 類	甲類
		石油類、高圧ガス、毒物、劇薬、火薬類等を貯蔵又は取り扱う施設及びこれらに関する試験研究施設 石油・高圧ガス等貯蔵施設	Ⅱ類	A 類	甲類
その他		文化施設、学校、社会教育施設、社会福祉施設 美術館、博物館、劇場、図書館、展示館、学校施設、 体育館 、青少年・婦人会館、集会所、公民館、児童館、児童福祉施設、老人福祉施設、障害者福祉施設	Ⅱ類	B 類	乙類
		一般官庁施設 上記以外の施設	Ⅲ類	B 類	乙類

本表は、「総合耐震計画基準」の「表 2.1 耐震安全性の分類」を利用し、対象施設欄を、平成 8 年 全国営繕主幹課長会議幹事会付託事項「地方公共団体施設の耐震安全性の検討について」検討報告書(案)の表に記載されている施設に入れ替えたもの（WG：宮城県，東京都，神奈川県，静岡県，大阪府，建設省）

【参考】以下本文より抜粋

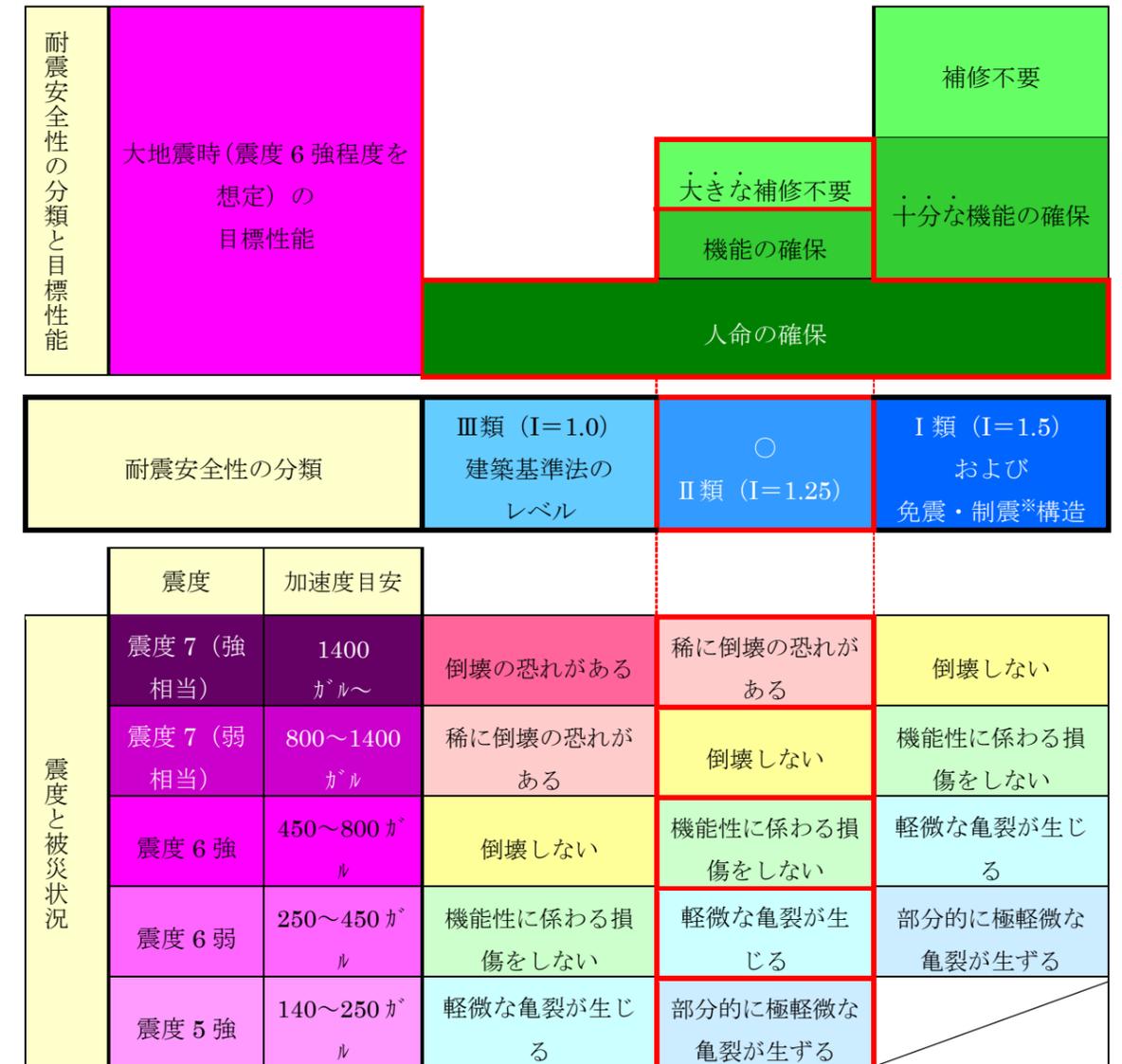
『具体的な施設への適用に当たっては、各地方公共団体において地域的特性や施設の行政目的、位置づけ等に応じ個別に判断すべきものである』

表 2.2 耐震安全性の目標

部位	分類	耐震安全性の目標
構造体	I 類	大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	○ II 類	大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られている。
	III 類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られている。
建築非構造部材	○ A 類	大地震動後、災害応急対策活動や被災者の受け入れの円滑な実施、又は危険物の管理のうえで、支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	B 類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。
建築設備	○ 甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていると共に、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続できる。
	乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。

○印の分類を適用する

図 2.1 耐震性の分類と目標性能、被災目安



* 高度な解析を行っている制震構造は、I類と同等程度と考えられるが、躯体コストの削減等を目的として制震装置を設置している場合で、II類、III類と同等程度のものがある。

震度 7 に強弱の表現はないが、計測震度 7.0 未満を震度 7 (弱相当)、それ以外を震度 7 (強相当) と定義した

I は設計地震力の割増係数

加速度目安は河角式による

なお、耐震安全性のレベルを表す用語には、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(品確法)により住宅性能評価等で使用される耐震等級という言葉もあり、耐震等級 1 が III 類相当、耐震等級 2 が II 類相当、耐震等級 3 が I 類相当となっている。

2-2 上部構造の構造計算

2-2-1 構造概要

階数 地上2階
 構造種別 鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）
 構造形式 ラーメン構造

2-2-2 使用材料

コンクリート	普通コンクリート	$F_c=27\text{N}/\text{mm}^2$
	普通コンクリート	$F_c=21\text{N}/\text{mm}^2$ （外構）
	普通コンクリート	$F_c=18\text{N}/\text{mm}^2$ （無筋コンクリート）
鉄筋	SD345(D19~D29)	主に柱・はりの主筋
	SD295A(D10~D16)	上記以外の帯筋、あばら筋、壁筋、床筋等
鉄骨	角形鋼管	BCP325（主要な柱）
		STKR400（その他の柱）
	形鋼	SN400B（大梁の一部）
		SN490B（大梁の一部）
		SN400C、SN490C（通しダイヤフラム）
		SN400A（二次部材の一部）
		SS400（階段、水平ブレース、二次部材の一部）
	軽量形鋼	SSC400（母屋、胴縁）
	高力ボルト	F10T（S10T）
デッキプレート	型枠用デッキプレート	
柱脚	スーパーハイベース工法	

2-2-3 設計荷重

(1) 地震荷重

地震力の設定は、建築基準法に基づき、下式により計算する。

$$Q_i = C_i \sum W_j, \quad C_i = ZR_t A_i C_0$$

- Q：設計せん断力
- W：各階重量
- C_i ：せん断力係数
- Z：地域係数（=1.0）
- A_i ：せん断力分布係数
- C_0 ：標準せん断力係数（Ⅱ類：一次設計用 0.20，二次設計用 1.25）
- $T_c=0.6\text{s}$

(2) 積雪荷重

積雪荷重は、青森県建築基準法施行規則による数値（1.3m）を採用する。

積雪深度 130cm（長期荷重扱い）

単位質量 30N/m²/cm

堆雪デッキの荷重

ゾーニングにより、直接雪が落下するゾーン（ゾーン C）、一時的に堆雪することが想定されるゾーン（ゾーン B）、妻側のゾーン（ゾーン A）の3段階に分類し、長期の積載荷重として考慮する。直接、雪が落下するゾーン C は、積雪荷重が蓄積する場合に加え、落雪による衝撃力を考慮した上で荷重を設定する。（図 2.2、表 2.3）積雪量は、日本建築学会「建築物荷重指針・同解説(2015)」による7日増分積雪量（むつ市は 0.96m）を使用する。

図 2.2 堆雪デッキ設計荷重の考え方

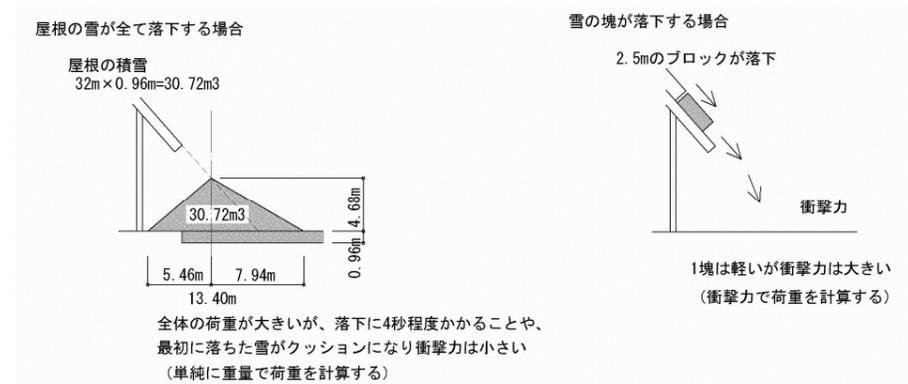


表 2.3 堆雪デッキの荷重

室用途	床版・小梁用	架構用	単位：N/m ²
			地震用
ゾーン A	6,000	6,000	2,900
ゾーン B	12,500	12,500	2,900
ゾーン C	27,000	16,000	2,900

(3) 風圧力

風圧力の設定は、建築基準法に基づいて計算し、計算に使用する指標値は下記による。

基準風速 $V_0=34\text{m/s}$

地表面粗度区分 II

(4) 積載荷重

積載荷重、地震荷重等の構造設計の与条件となる積載荷重を表 2.4 に示す。別途、長期に作用する荷重として、積雪荷重を考慮する。堆雪デッキは、(2) 積雪荷重 による。

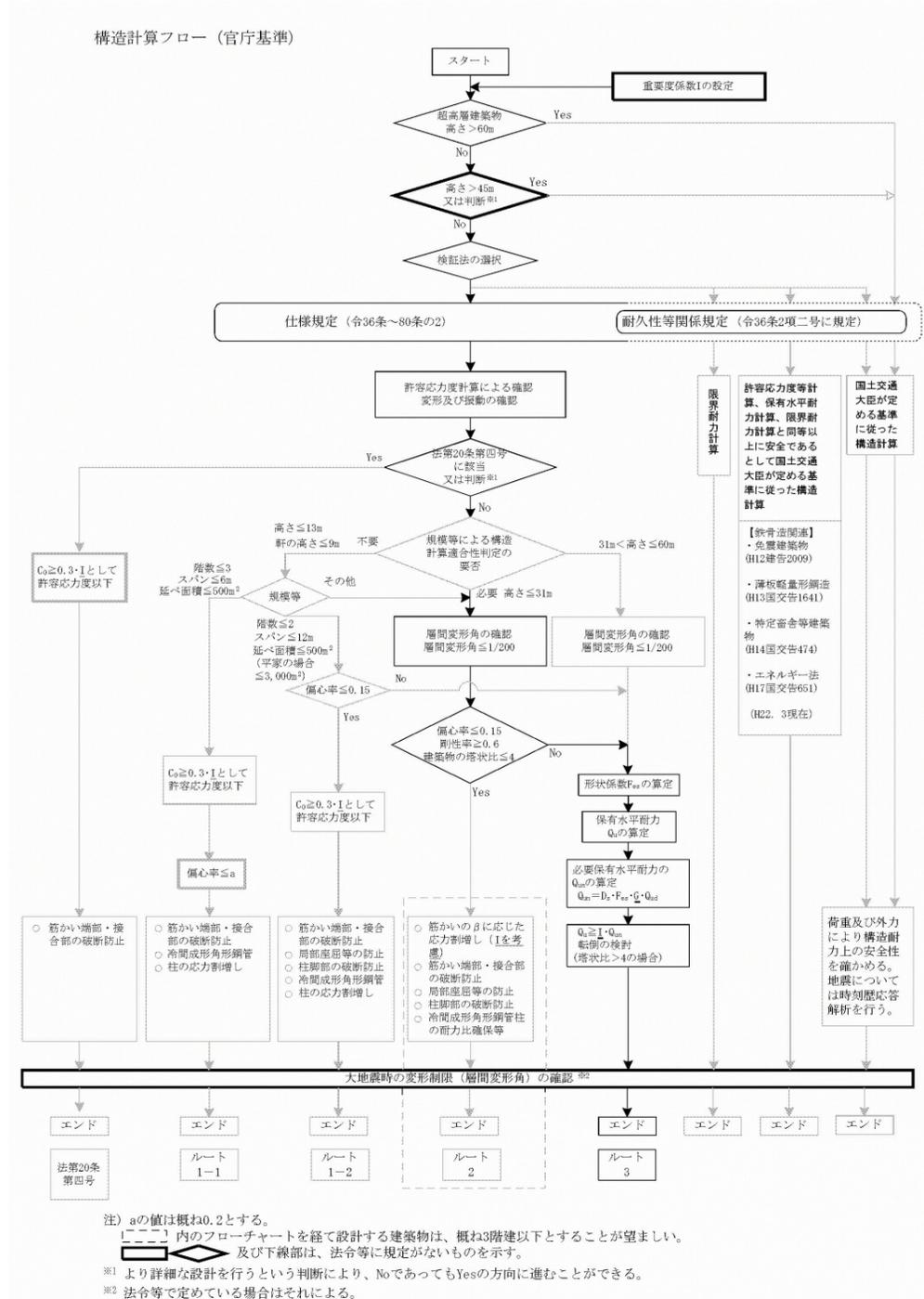
表 2.4 積載荷重

室用途	単位：N/m ²		
	床版・小梁用	架構用	地震用
屋根	900	650	300
金属屋根	300	300	300
堆雪屋根 B	12,500	12,500	300
堆雪屋根 C	27,500	16,000	300
室外機置き場 A	4,900	2,900	2,000
室外機置き場 B	7,800	6,900	4,900
備蓄倉庫	3,900	2,900	2,000
アリーナ、観客席	3,500	3,200	2,100
トレーニング室、ランニングコース	3,500	3,200	2,100
エントランスホール、ラウンジ、 ウッドデッキ、テラス、ロビー、共用廊下、 共用階段	3,500	3,200	2,100
研修室	2,900	2,600	1,600
事務室、更衣室、事務部廊下	2,900	1,800	800
器具庫、倉庫	7,800	6,900	4,900
機械室	4,900	2,900	2,000
電気室	9,800	4,900	2,900
受水槽室	7,800	6,900	4,900
消火ポンプ室	3,900	2,400	1,600
アプローチ、回廊等	2,900	1,800	800

2-2-4 構造計算のルートと計算結果の概要

耐震設計のルートは、大地震時の耐震性能を確認するルート3とする。(図2.3)

図2.3 構造設計のフローチャート



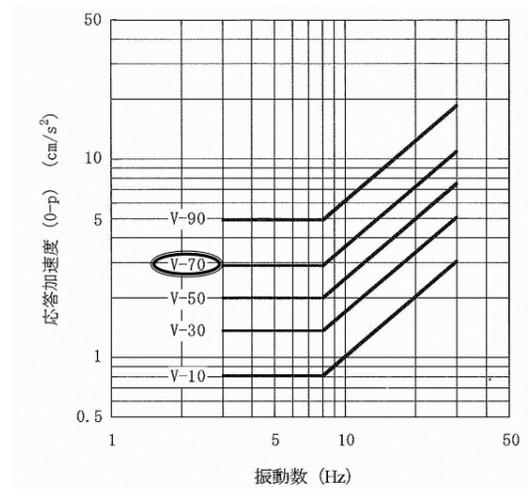
2-2-5 振動性能、重量衝撃音に対する確認

建築基準法施行令第82第4号、建設省告示第1459号(建築物の使用上の支障が起らないことを確かめる必要がある場合及びその確認方法を次のように定める件)で定める水準を原則とする。

衝撃力に対しては、日本建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針同解説」の鉛直振動に関する性能表の曲線でV-70の性能(図2.4)を有することを目標とする。

強風時の水平振動は、計画建物が低層建物であり風圧力が小さい上に、風圧力よりも約2倍の大きさの地震力で架構の断面、強度が決まり、層間変形角の制限値を満足することから問題とならないことから、特に検討を行わない。

図2.4 衝撃等級



2-3 屋根支持構造部の選定

屋根支持構造部は、平行弦トラス、張弦トラス、キールトラス、鋼管システムトラス等の6工法を比較した。(図2.5)

比較は、コスト、意匠性、施工性等の6項目を行い、最終的に総合評価を行う。

その結果、コスト、意匠性、架構への影響で優れ、ボールジョイントの採用により加工が容易で、施工性も高い、鋼管システムトラス(アーチ形)を採用することとする。

図2.5 トラスの比較

	在来工法(平行弦トラス)	張弦トラス	キールトラス	形鋼システムトラス	鋼管システムトラス(アーチ形)	鋼管システムトラス(フラット形)
						
コスト比	◎ 1.0	△ 1.2	○ 1.1	○ 1.05	◎ 1.0	× 1.4
積雪耐荷重	○ 弦材、束材等、在来の鋼材を使用し材料の制約が小さいので、積雪への対応は容易	× 計画スパンが大きく、上下の変形が大きい 多雪地域のむつ市には不向き	○ キールトラスが小梁的に働き、大スパンでは、効率的な架構となる。 キールトラス間のトラスを軽量化できコストを抑えられる。	○ 大スパンを覆う架構。積雪荷重にも強い。	◎ アーチ形にすることで、経済的な計画ができる	△ 計画スパンが長いので、鋼管サイズの制約から、上弦、下弦間距離を大きくする必要がある
意匠性	△ 形鋼、ボルト接合部が現しになり、意匠性は低い	○ 材が細く、意匠性が高い	○ キールトラスがアクセントになり、意匠性は高いが、大きなキールトラスが計画上の制約となる場合がある	△ 学校の屋内体育館のような固いイメージになり、意匠性は高くはない	◎ 軽快で、柔らかなイメージ。意匠性は高い	○ 柔らかなイメージで、意匠性は高い
架構への影響	○ 下弦材レベルで水平方向の剛性が弱く、トラスを支える部分に予期せぬ応力が作用する可能性がある	△ 張弦材には、舞台機構、キヤットウォーク、点検通路等の取り付けができない	○ キールトラスを支持するための大きな部材(柱、壁)が必要となる	△ トラスの間隔を柱に合わせる事が難しいため、四周に支持梁が必要	○ 各柱に均等に荷重が作用する支持柱への横力が大きいので、中央が高くなっており、支持柱が短くなる	△ トラスの間隔を柱に合わせる事が難しいため、四周に支持梁が必要トラスのレベルを、競技の有効高さに合わせて合わせる事になり、トラスを支持する柱が長くなる
加工のしやすさ	○	△	△	○	○	◎
施工のしやすさ	○	△	○	○	○	○
総合評価	△	×	○	○	◎	×

2-4 基礎構造の選定

本設計時の地盤調査結果に加え、しもきた克雪ドームの地盤調査結果等も参考として基礎工法の選定を行った。

2-4-1 地盤資料

図 2.6 に調査位置図を、図 2.7 に代表的な柱状断面図を、図 2.8 に地層構成図を示す。

調査結果によると、上層の埋め立て土 (Fs 層、Fc 層) の N 値は 10 程度で比較的締まっているものの、その下層の砂層 (As-c 層) に液状化のリスクがあり、軟弱地盤と位置づけられている。(以下、総称して浅層部と記す)

5~15m の砂礫層 (Dg-s 層、以下、中間層と記す) は、N 値が大きい、転石も確認される。この層において、柱状図 No. 1 のみは、N 値が低い層で分けられている。(図 2.7 参照)

調査で良好な支持地盤が確認されているのは、GL から 15m 以深の火山灰質砂層 (Dvs) で、N 値が 60 を超えて、安定している。

図 2.6 地質調査位置図

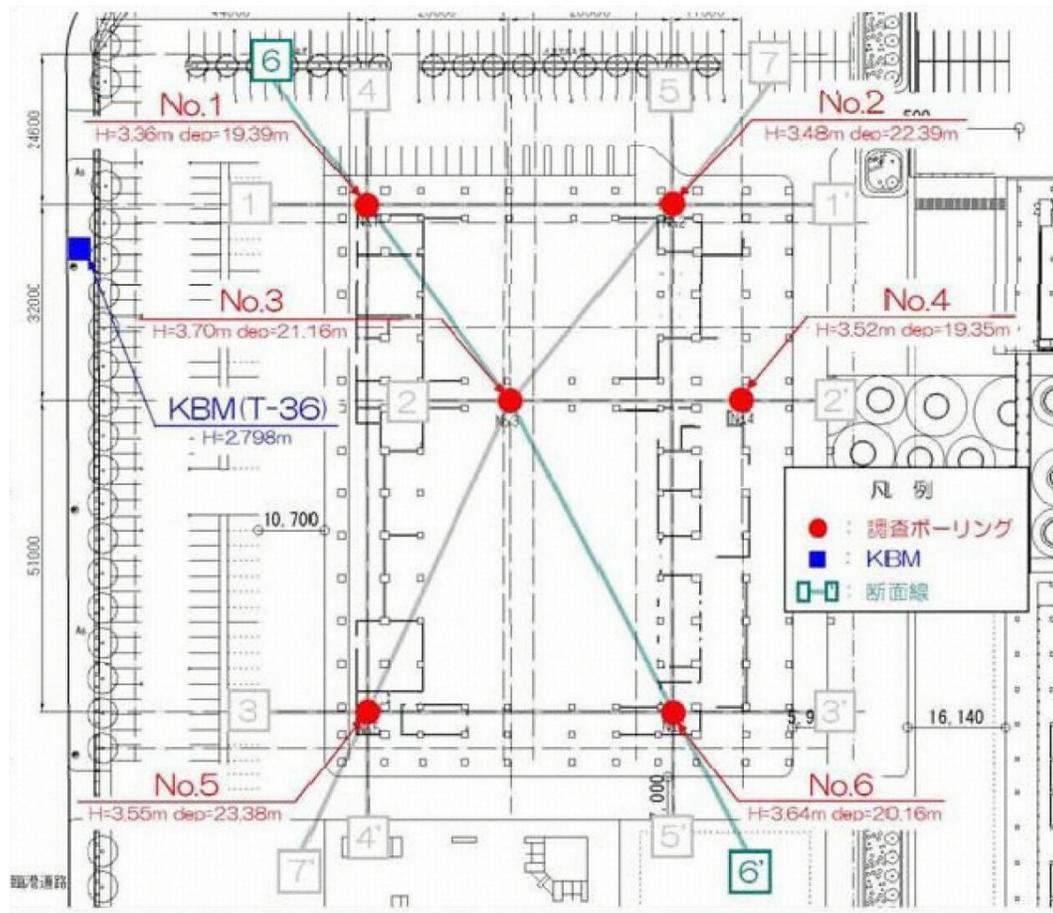
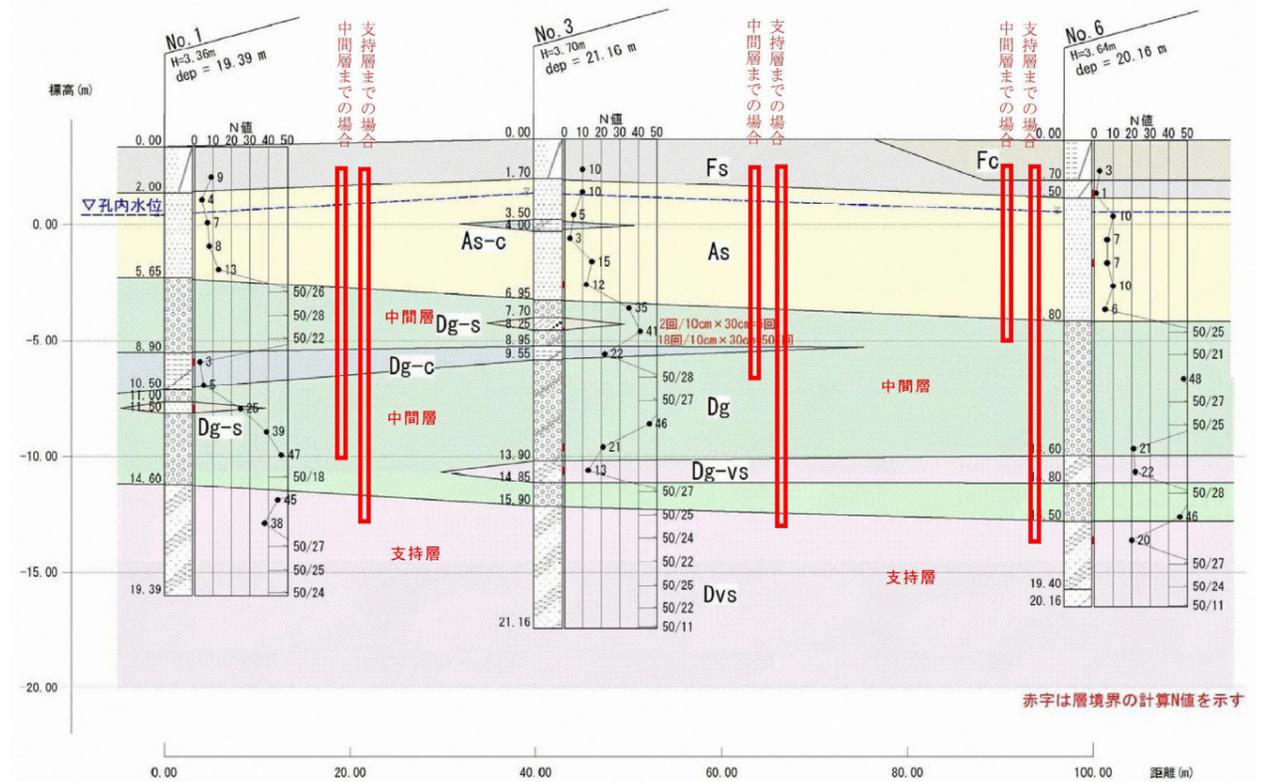


図 2.7 地質調査断面図



上图中 赤枠は杭を示す

図 2.8 地層構成図

地質時代	記号	層区分	主な土質	層厚 (m)	N 値 (回)
沖積世	Fc	埋土 (粘性土)	有機質シルト シルト	0.40~1.70	3
	Fs	埋土 (砂質土)	細砂	0.80~2.00	1~10
	As	砂質土層	細砂 シルト質砂	3.65~6.70	1~15
第四紀洪積世	As-c	狭在粘性土層	有機質シルト	0.40~0.50	-
	Dg	礫質土層	砂礫 玉石混じり砂礫	6.85~9.75	21~50<
	Dg-c	狭在粘性土層	砂混じりシルト 砂質シルト シルト 有機質シルト	0.30~1.60	3~22
	Dg-s	狭在砂質土層	細砂 礫混じりシルト質砂 シルト混じり砂	0.50~0.55	6~25
	Dg-vs	狭在火山灰質砂質土層	火山灰質砂	0.55~1.20	13~35
	Dvs	火山灰質砂質土層	火山灰質砂 シルト混じり砂	2.80<	20~50<

赤字は層境界の計算N値を示す

2-4-2 基礎工法の選定

東日本大震災では、支持層まで達しない浅層部のみの地盤改良を行った建物が、不同沈下を起こしたケースが多く報告されている。本計画では、基礎が支えるのが、建物の外皮部分を支える上屋ではなく、観客席、ランニングコース等を有する架構であることや、土間床部（1階床版）についても、公式競技が行える室内運動場であることで傾斜が許されないこと等に配慮し、杭基礎で支持し、床についても、不同沈下を防止する構造床を採用する。

杭は中間層で支持する計画とする。GL から 15m 以深の火山灰質砂層で杭を支持する計画を採用する場合、それより浅い層（中間層）の N 値が大きく、転石が確認されており、施工時に、杭の工事が滞るリスクが高い。本計画では、先端支持力を安全側に軽減することで、中間層を支持層とする。また、No. 1 のように N 値が小さく先端支持力が十分に発揮できない場合でも、摩擦力に期待できる工法が望ましい。

なお、中間層が浅い場合があるが、長杭と短杭が混在すると、短杭に予期せぬ応力が作用したり、大地震時の変形性能が異なり短杭の破壊が先行したりするため、長杭としての埋め込み深さを確保する。

2-4-3 杭工法の選定

表 2.5 に基礎工法の比較表を示す。

比較は、既製コンクリート杭（ストレート杭、節付杭）、鋼管杭、場所打ち杭に、柱状改良に加えた 5 種類を行い、項目は、コストの他に、N 値にバラツキへの対応性、中間支持層の状態や、海岸部に対する適正、排土量と、産業廃棄物の可否、工期遅延リスクを行い、最終的に、総合評価を行った。

杭基礎は、コストが優れること、支持深さとした中間層の N 値にバラツキがあるため先端支持力と摩擦力が大きい工法が望ましいこと、工期遅延リスクが小さいこと等に配慮し、既製コンクリート杭（節付杭）を選択する。

具体的な工法は、採用工法の中で、扱っているメーカーが多く、支持力が大きい Hyper MEGA 工法（標準型）（図 2.9）同等工法とし、Hybrid ニーディング工法も可能とする。

図 2.9 Hyper MEGA 工法（標準型）

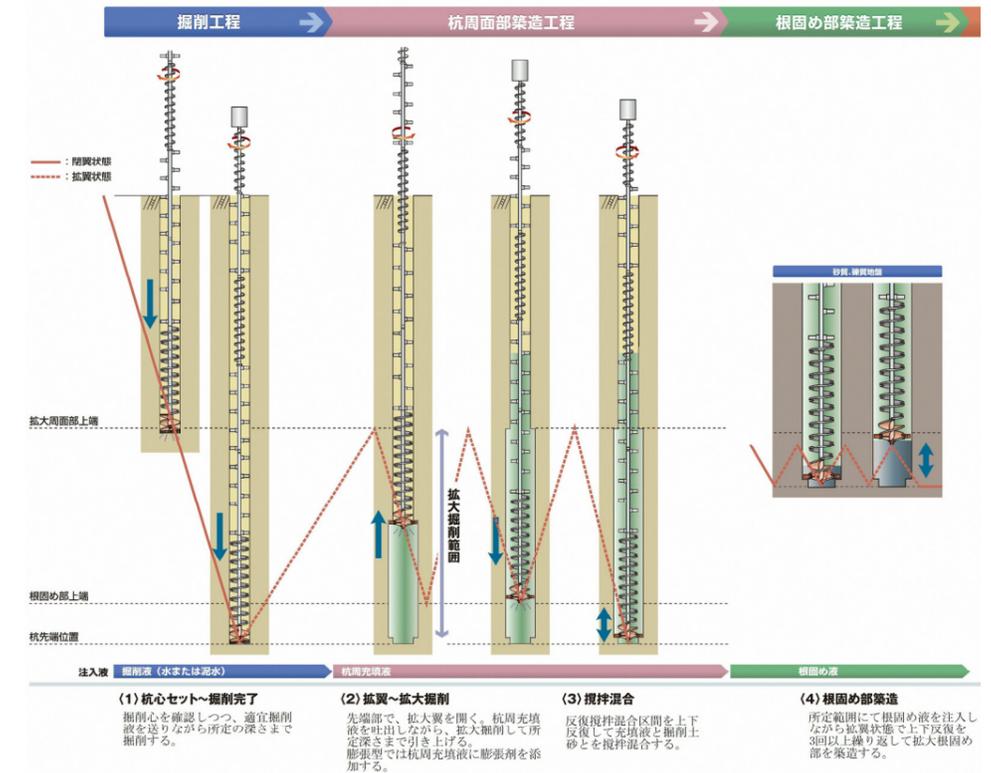
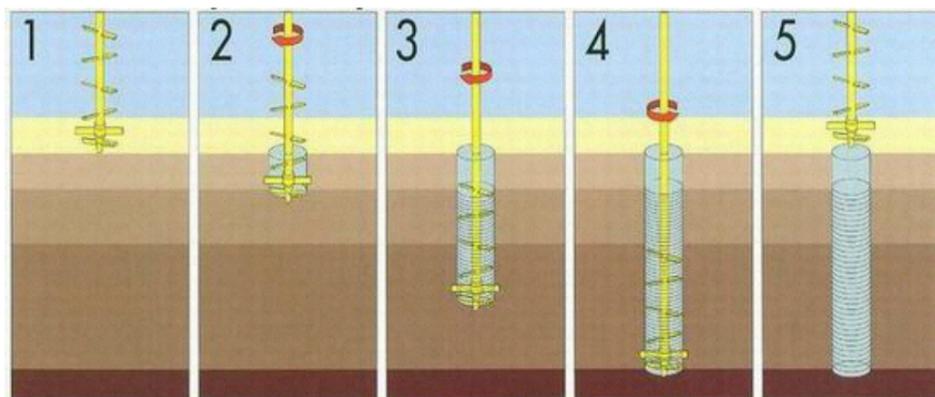


表 2.5 基礎工法の比較

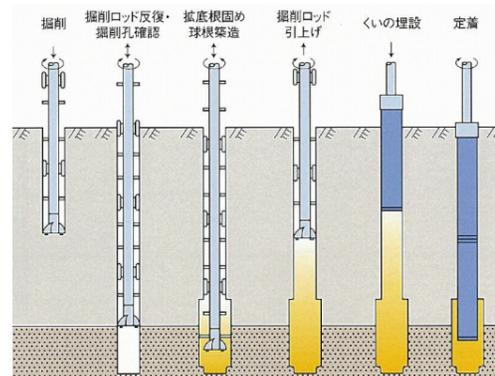
工法	独立基礎（柱状改良併用）	既製コンクリート杭（ストレート杭）	既製コンクリート杭（節付き杭）	回転圧入鋼管杭	場所打ち杭
概要	スラリー状にしたセメント系固化材を地盤に注入し、原地盤と機械的に攪拌混合することによって築造される柱状改良体で支持する	根固め液で球根を築造し、必要に応じ、杭周固定液を注入した後、杭を自重、または、回転によりセットする	掘削液を吐出し掘削後、拡大ヘッドを拡翼させ、上下反復しながら周充填液を注入した後、先端部に球根を築造し杭を定着させる	鋼管の先端に螺旋状の羽根を溶接した鋼管杭を回転圧入する工法	現場で鉄筋コンクリートの円杭を施工する工法で、先端部を拡大（拡底）することができる
杭数	1830 カラム	330 本	250 本	134 本	201 本
N 値のバラツキ	△	△	○	△	○
中間層が固い	○	△（先行掘削）	○（一部先行掘削）	△	△
地下水が多い	○	○	△	○	△
排土量	少	中	中	少	多
発生土	産廃	主に産廃	主に産廃	通常	産廃含
工期遅延リスク	中	大（転石）	中	大（転石）	大（気象）
コスト	2.0 億円	2 億円+1.2 億円 （浅層部 中間層先行掘削+砂利置換）	1.3 億円+0.5 億円 （浅層部の一部 先行掘削上部層+砂利置換）	3.3 億円	2.7 億円
総合評価	○	○	◎（採用）	×	△

コスト、工期は工法検討時の計画によるもの

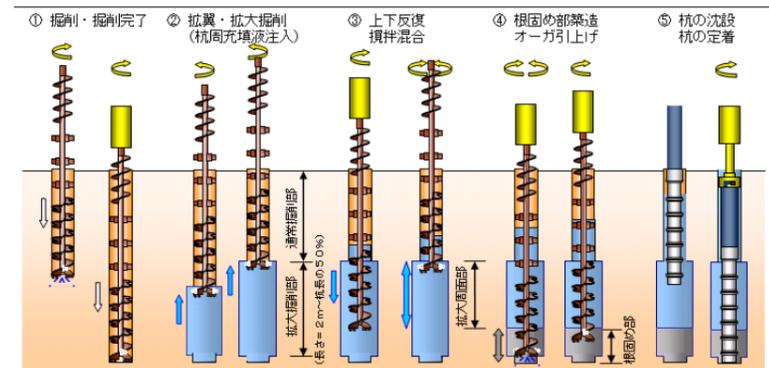
図 2.10 比較工法の施工手順



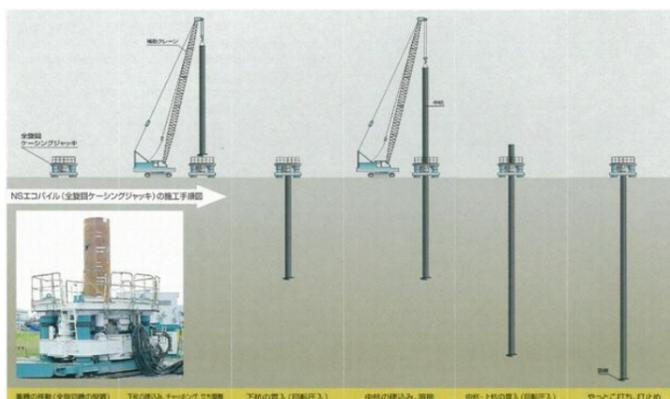
柱状改良



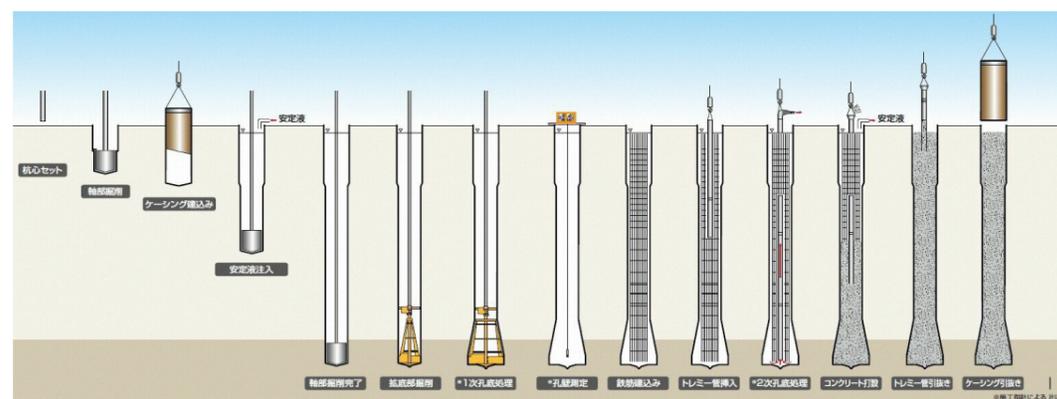
既製コンクリート杭（ストレート杭）



既製コンクリート杭（節付き杭）



回転圧入鋼管杭



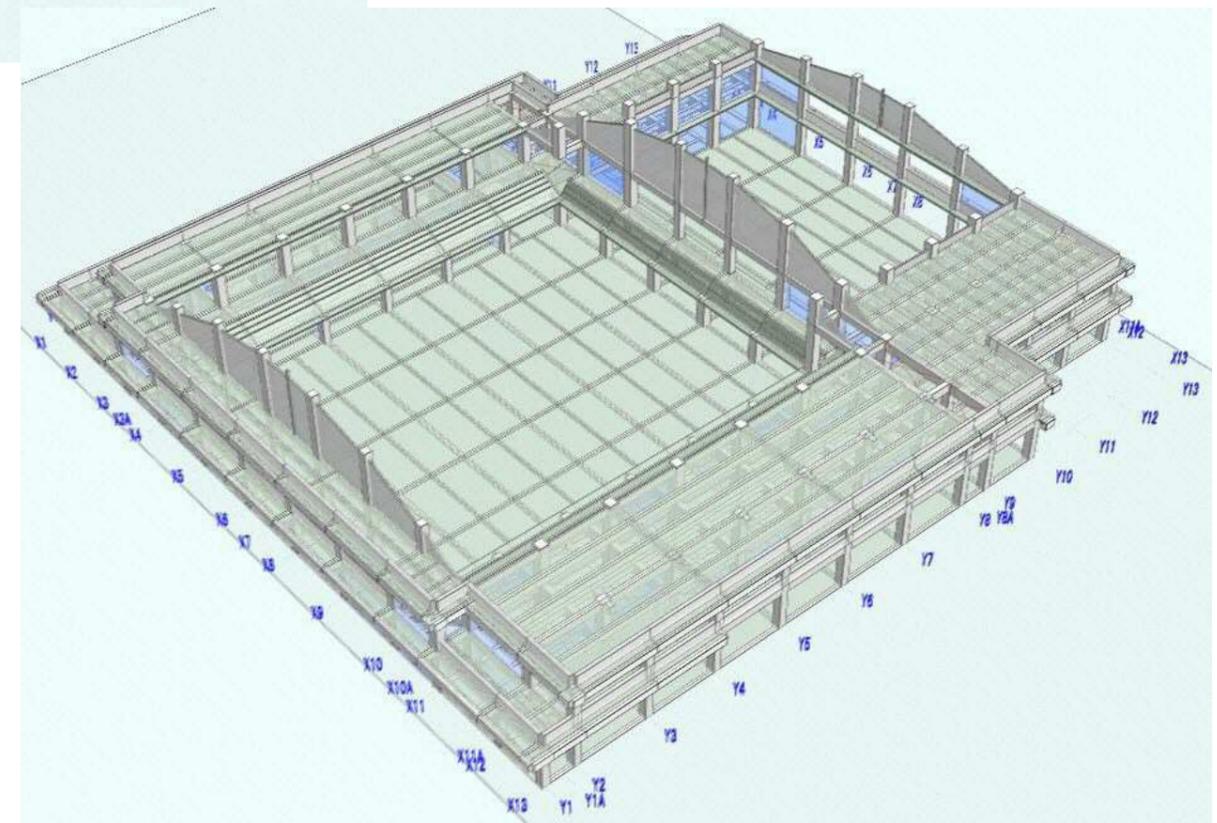
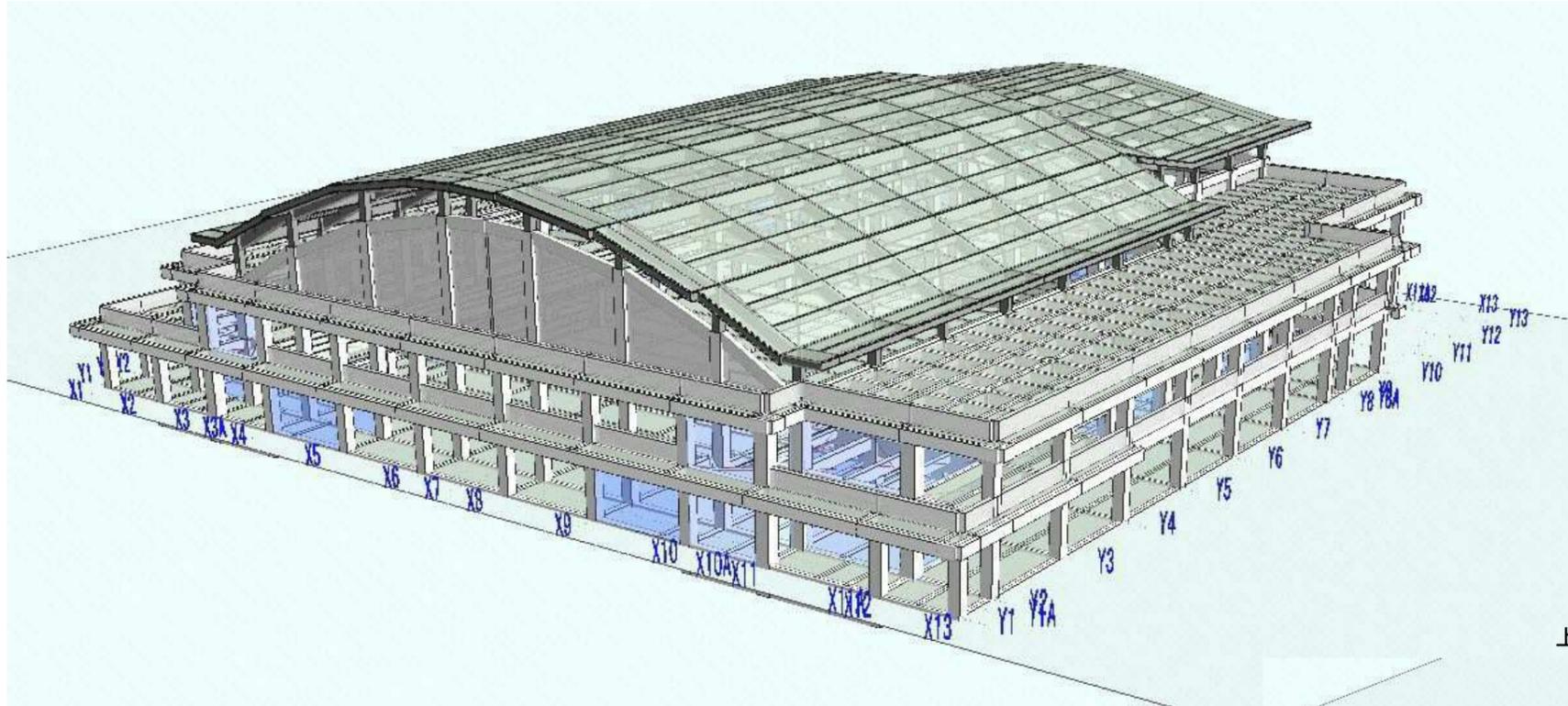
場所打ち杭

2-5 仮定断面

2-5-1 仮定断面検討モデル

仮定断面を検討したモデルのイメージを示す。構造計算上のモデル化を図示したもので、実際のパースとは、部分的に異なる場合がある。

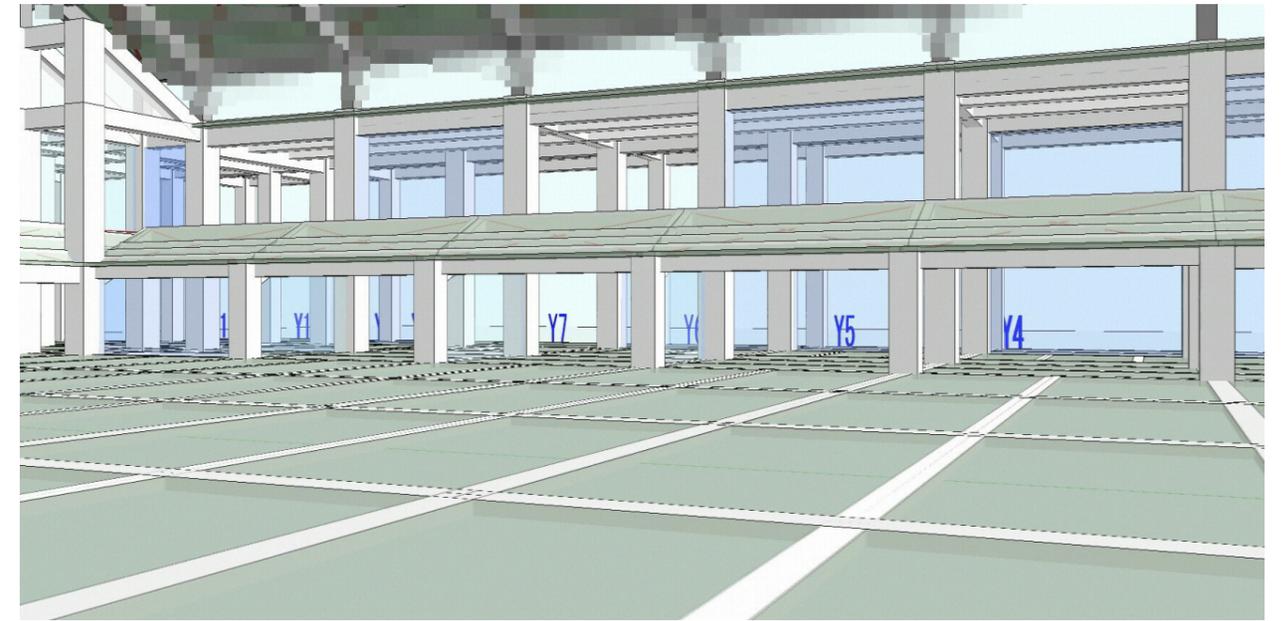
南東側外観



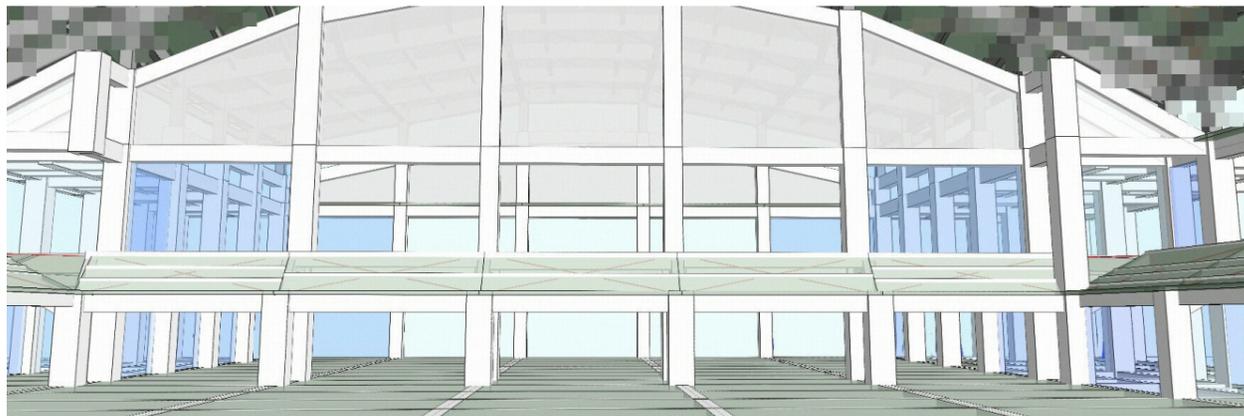
エントランス側外観



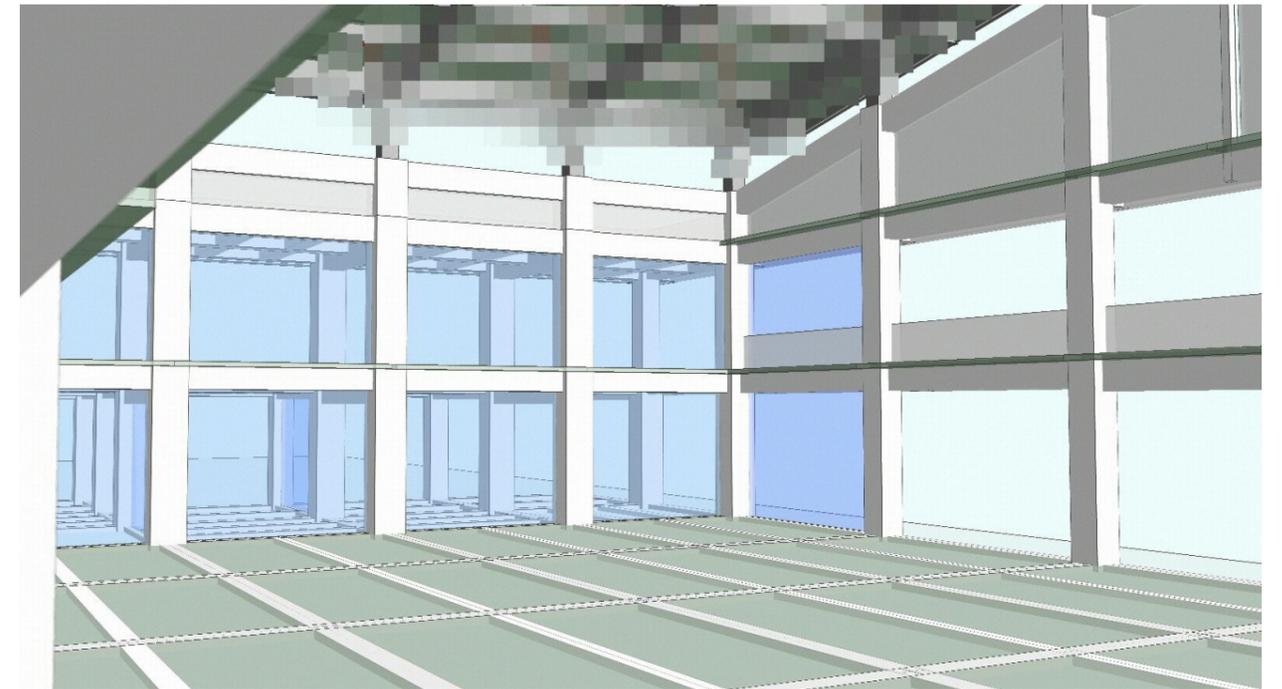
メインアリーナ

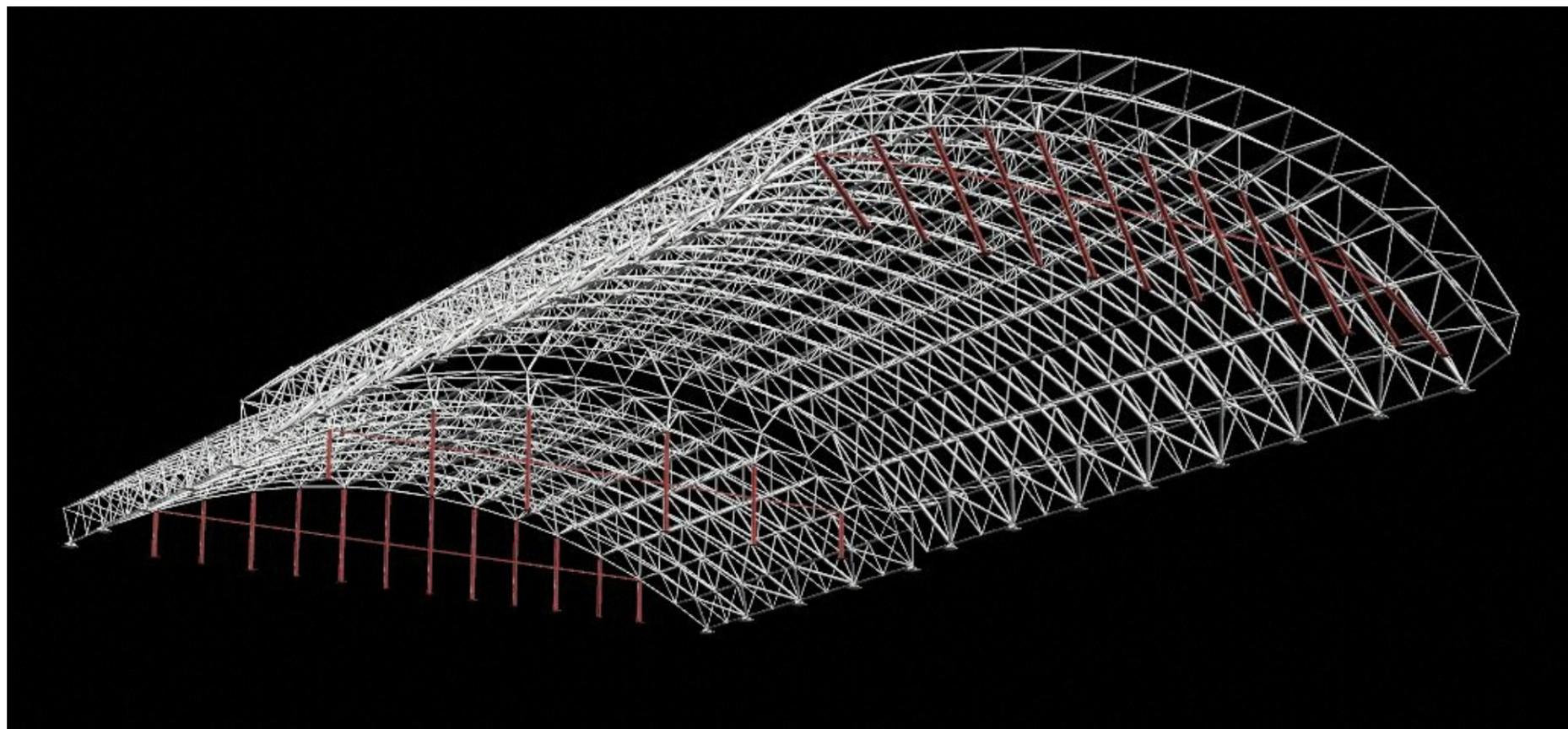


メインアリーナ～サブアリーナ



サブアリーナ





内観イメージ

