

### 第3章 太陽の塔の改修履歴および保存管理

「太陽の塔」は、大阪万博が閉幕してから現在までに平成4年度（1992）と平成28年度（2016）に2度の大きな工事が行われている。

大阪万博閉幕後には、シンボルゾーンのうち太陽の塔のみを残して、地下の展示空間及び大屋根などは全て解体された。

平成4年度（1992）の修理工事では、傷みが著しかった外観を中心に外壁モルタル（化粧吹付けモルタル）の亀裂補修や正面のイナズマ・背面のコロナのガラスモザイクタイルの張り替え、黄金の顔の鉄板の取り換え等が行われた。

平成28年度（2016）の改修工事は、内部公開を前提とした工事であったため、建築基準法における適合を前提とした来館者の安全と公開活用を考慮した耐震補強や設備改修、来館者用のルートの整備、生命の樹に取り付く生物模型など展示物の修理や整備（再現）等が行われた。

1階のエントランスと展示室として新たに整備された増築棟は、太陽の塔を囲むように配置し、来館者は北側から太陽の塔を回り込むように建物内に入る。太陽の塔の壁面には北・南東・南西の3ヶ所に出入口を設け、それぞれ北側を管理者用、南東・南西をそれぞれ来館者用の出口および入口とする。各出入口は昭和45年（1970）当時の出入口だが、平成28年度（2016）の工事開始時には南東・南西の出入口はコンクリートで閉塞されていたため本工事では出入口として再度機能を復活させた。

竣工当初に胴体内部の移動手段として使用されていたエスカレーターは老朽化に伴い全て階段に変更され、腕部のエスカレーターは耐震診断の結果荷重の軽減が必要となり撤去されている。

本章では、平成4年度（1992）と平成28年度（2016）に実施された各工事の内容について記述する。

#### 1. 平成4年度（1992）の修理工事<sup>37)</sup>

太陽の塔は大阪万博閉幕後の20数年の間、風雨にさらされていたため、黄金の顔をはじめ外壁などに傷みが生じており、そのため外観を中心とした修理工事が行われた。

修理工事は、平成4年（1992）9月30日から平成5年（1993）年3月30日にかけて実施され、設計は株式会社林設計事務所、施工は株式会社大林組が担当した。日本万国博覧会記念協会の担当者から当初の形を維持するようにとの指導があったため、工事は昭和45年（1970）の創建当時の姿（外観）を基本にできる限り忠実に施工することを念頭に置き、工法や材料の選択に十分配慮がなされた。

仮設は150tクレーンを使用し足場の組立てが行われた。足場は太陽の塔の外形にあわせて組み上げられ、黄金の顔の下端をステージ足場の最上段（高さ70m近く）とした。また、修理作業は全て現場にて行われた。

外部は胴体および両腕の表面の塗装が剥がれ亀裂が散見され、亀裂部からは錆汁などの汚損も見られた。また、化粧吹付けモルタルは、ところどころに浮きや剥離が確認された。特に右腕の上部の破損（表面劣化）は著しく、塗膜は剥がれ表面の化粧吹付けモルタルが砂のような状態となっていた。

<sup>37)</sup> 平成4年度の修理工事の際に監理技術者であった五熊隆（当時 株式会社大林組）からのヒアリングに基づく。

外壁に生じた亀裂は仕上材の化粧吹付けモルタルに生じたもので、ショットクリート（吹付けコンクリート）や鉄筋コンクリートの躯体の内側にも亀裂は散見されたものの躯体に影響が及ぶような大きな亀裂は見られなかった。また、外壁の仕上材の化粧吹付けモルタルに生じた亀裂からは水の侵入が見られたが、ショットクリート（吹付けコンクリート）や鉄筋コンクリートを貫通し内部にまで及ぶような水道は確認されなかった。

亀裂補修については、亀裂にクラックスケールを当てて幅を測定し、0.3mm を境に亀裂幅の大きい箇所にはエポキシ樹脂注入による亀裂補修、0.3mm 未満の亀裂についてはエポキシ樹脂シール入り込み補修が行われた。

外部の表面の浮きや剥離については劣化した部分を除去し、との形状にあわせてファイバー入りポリマーモルタルにて成型した後に吹付け塗装が行われた。特に傷みが著しかった右腕上部については、劣化した吹付けモルタルを除去した後に塗膜防水を塗布し、他の部分と同様にファイバー入りポリマーモルタルにて成型した後に特殊塩化ビニル樹脂系塗料（ナブコホワイト<sup>38)</sup>）による吹付け塗装が行われた。

黄金の顔は、仕上げのスコッチカルフィルムの劣化が進行しており、素地のスチール鋼板には錆が発生していた。黄金の顔の修理は、傷んでいた全てのスチール鋼板を丁寧に取り外し、同形状のステンレス板を配置のうえ、ステンレス製のビスにて固定された。

内部は腕部のショットクリート（吹付けコンクリート）における表層部のモルタルの剥落や露筋、漏水による白華が確認されたため、モルタルによる補修と中性化防止剤の塗布が行われた。



図 3-1 平成 4 年時の太陽の塔の外観（正面中央）



図 3-2 黄金の顔 フィルムの劣化と赤錆



図 3-3 左腕表面の亀裂（背面）



図 3-4 右腕付け根 仕上材の剥離（背面）

<sup>38)</sup> 材料名は、平成 4 年度の修理工事の竣工図及び設計時における内訳明細の記述「材料：特殊塩化ビニル樹脂系艶消し塗料吹付け（ナブコホワイト（白壁）仕上げ 関西ペイント）または同等品以上とする。」による。



図 3-5 左腕付け根 亀裂部からの漏水



図 3-6 左腕上部 モルタルの劣化



図 3-7 胴体上部内側 白華



図 3-8 腕部内側 被り不足による露筋

各工事における詳細は次ページ以降に記述する。

## 外部

### ① 外壁補修

外壁は仕上モルタルの広い範囲で多くの亀裂が見られたため亀裂の幅(0.3mmを基準)に応じた修理が行われた。

#### [亀裂補修]

##### ・ショットクリート部(吹付けコンクリート部)

胴体上部および腕部のショットクリート部(吹付けコンクリート部)における仕上材の化粧吹付けモルタルには、多数のひび割れが散見されたため、破損箇所と破損状況について調査を行い以下の通り修理を実施した。

亀裂幅が0.3mm以上の箇所(計2,493m)<sup>39)</sup>については、下地処理のうえ、シール材による養生を行い、ポンプを用いてエポキシ樹脂(強度発現型)の注入を行った。0.3mm未満の箇所(計約532m)については、下地処理のうえひび割れに沿って弾性エポキシ樹脂シール材をすり込み、最後にはみ出た材料をふき取り仕上げとした。

##### ・鉄筋コンクリートおよび鉄骨鉄筋コンクリート部

鉄筋コンクリートおよび鉄骨鉄筋コンクリート部は、仕上材の化粧吹付けモルタルの亀裂が多数確認されたため補修が行われた。ひび割れが0.3mm以上の箇所(計約160m)および0.3mm未満の箇所(計221m)では、それぞれ「ショットクリート部(吹付けコンクリート部)」

<sup>39)</sup> 補修箇所の数量については「太陽の塔改修工事 日本万国博覧会記念協会(平成4年9月)」竣工図による。

と同様の仕様での補修を実施した。

#### [浮き及び剥離部分の補修]

外部表面の化粧吹付けモルタルの浮きや剥離、表面劣化が確認されたため破損箇所（計約 296 m<sup>2</sup>）における補修が行われた。補修方法は、ピックハンマーおよび高圧洗浄機にて劣化部分のモルタルを除去し、下地処理、プライマーを塗布しファイバー入りポリマーモルタルによる吹付け補修、仕上げに吹付け塗装（下塗・中塗・上塗）が行われた。化粧吹付けモルタルの表面劣化が特に著しかった右腕の上面については、劣化していたモルタルを除去した後に下地処理、プライマーを塗布した後に防水が行われている。

外部は全体的に汚れが目立っていたため高圧洗浄のうえ各所補修が行われ、下地にはセメントフィラーによる吹付けが行われた。仕上塗装には特殊塩化ビニル樹脂系塗料が使用されている。



図 3-9 仮設の様子



図 3-10 外壁補修 エポキシ樹脂注入



図 3-11 胴体下部鉄筋コンクリート部補修



図 3-12 腕部補修



図 3-13 下地吹き付け作業



図 3-14 仕上塗装

### [鋳汁・露筋・セパレーター頭部の露出補修]

外部において露筋や鉄筋からの鋳汁、セパレーター頭部の露出などが確認されたため各所補修が行われた。破損箇所の脆弱部分や頭部の露出箇所を研り取り、鉄筋の鋳のケレン等の下地処理を行い、セメント系防錆剤を塗布した。研り箇所には、プライマー（2液型エポキシ樹脂）を塗布し、エポキシ樹脂モルタルにて復旧した。

### [接続部におけるシーリング補修]

両腕とリング部の接続部は、ショットクリート部と鉄骨鉄筋コンクリート部の境目となっており、ウレタンゴム系のシール材が使用されていたが、亀裂等の劣化が著しかったため、既存シーリングを除去のうえ白色のシリコンシーリングによる充填が行われた。

## ② 黄金の顔の修理

建築当初の黄金の顔は、鉄骨下地に 340 枚（正面 169 枚、背面 171 枚）の鉄板が取り付けられていたが、鉄板の腐食が著しいことから、鉄板は全て取り外しステンレス製の板に更新され、表面はスコッチカルフィルム（3M 製）貼りにて仕上げた<sup>40)</sup>。

黄金の顔については昭和 45 年（1970）の竣工時の姿に復旧すべく、解体前の全ての鉄板に番付を行い、一枚一枚丁寧に解体した。取り外した 340 枚の鉄板は工場でステンレス板（SUS304）に正確に型を写し取り、解体前と同じように鉄骨下地に配置し、当初と同位置にステンレス製のビスで固定した。ステンレス板は鉄板と同じく 0.4mm 厚の材料を採用した。鉄骨下地は既存のものをケレンし、鋸止め塗装を施して再度使用した。また、顔を支持する中央の鉄骨もケレンを行い鋸止め塗装が行われた。

顔の正面上部と背面にはスチール製のステージが取り付いていたが腐食が著しいことから安全面を考慮してステンレスに取り換えた。同じくステージまでのタラップについても取り換えが行われた。黄金の顔の工事は、鉄板の解体から取り付けまで 20 日間で行われた<sup>41)</sup>。

平成 4 年度（1992）の修理工事で解体された鉄板は EXPO ‘70 パビリオン（鉄鋼館）で保管されていたが、平成 23 年度（2011）に修理が行われており、その際に補修材として一部背面の鉄板が使用されている<sup>42)</sup>。現在建築当初の黄金の顔は、前面のみ EXPO ‘70 パビリオン別館にて公開展示されている。



図 3-15 黄金の顔 解体作業



図 3-16 鉄板 取り外し作業

<sup>40)</sup> 黄金の顔に使用されていた鉄板の枚数については、大阪府日本万国博覧会記念公園事務所所蔵の解説板による。

<sup>41)</sup> 映像「甦る太陽の塔－平成の修復工事記録－」大林組総務部・広報課による。

<sup>42)</sup> 当時の修理業者へのヒアリングによる。平成 23 年度（2011）の修理では、正面の鉄板（1 枚）のほかに鋸などの破損が著しかった鼻の下、口・目の周りの材料は取り換えが行われている。



図 3-17 鉄骨下地 ケレン作業



図 3-18 ステンレス板 取り付け作業

### ③ ガラスモザイクタイルの更新

正面のイナズマおよび背面のコロナには、それぞれ赤色と緑色のイタリア製のガラスモザイクタイルが使用されていたが、タイルの剥落や破損が著しかったため全て張り替えが行われた。材料は既存のものと同じ大きさ（ $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ）で同色のモザイクタイルをイタリアから取り寄せて使用した。

既存のタイルは全て撤去し、下地モルタルで調整のうえ、樹脂モルタルを塗り（厚さ 3 mm）、新規のガラスモザイクタイルで張り替えが行われた。



図 3-19 モザイクタイル張り替え作業

### ④ 避雷針の補修

避雷針は当初のままである。黄金の顔の修理にあわせて、ケレンを行ったうえでフッ素樹脂塗装による塗り替えのみを行った。避雷針上部のステージと顔の裏面に設置されたはしごも同工程による修理が行われた。

### ⑤ 太陽の顔・黒い太陽

太陽の顔及び黒い太陽は、特段大きな傷みは確認できなかったため、太陽の顔は高圧洗浄のうえ特殊塩化ビニル樹脂系塗料による吹付けを行い、黒い太陽は高圧洗浄のみとした。

### ⑥ 顶部斜面部の補修

斜面部は腐食が進み鏽も進行していたため、古い塗膜をケレンし、鉄板の素地部分を露わし鏽止め塗装を施して再塗装が行われた。（鉄面については 2 種ケレンを行ったうえで、フッ素樹脂塗料による塗装を行った。）

### ⑦ 背面出入口建具

太陽の塔の背面 1 階には、外部からの出入口としてスチール製の両開き扉が設置されていたが、

ガラリ付きのスチール製両開き扉に更新のうえ合成樹脂調合ペイント（SOP）による塗装が行われた。

## ⑧ 外構整備

太陽の塔の外周にはドライエリアが廻っており、擁壁上部にはステンレス製の防護柵が設置されている。平成4年度（1992）の修理工事では、仮設の設置に伴い一旦取り外し、工事后に復旧した。また、防護柵の外側には、排水設備や舗装（磁器質タイルを敷き詰め）の整備、1.5mの外柵が新設された。

### 内部

#### ⑨ 内壁補修

##### [亀裂補修]

###### ・鉄筋コンクリートおよび鉄骨鉄筋コンクリート仕上部

鉄筋コンクリートおよび鉄骨鉄筋コンクリート部は、仕上モルタルの亀裂が確認されたため補修が行われた。ひび割れが0.3mm未満の箇所（約66m）では、下地処理のうえひび割れに沿って弾性エポキシ樹脂シール材をすり込み、最後にはみ出た材料をふき取り仕上げとした。

##### [浮き及び剥離・露筋部分の補修]

内壁についてはショットクリート部におけるモルタルの浮き・剥離、露筋、露筋部分からの錆汁や白華などが多数確認されたため、補修が行われた。

ショットクリートの表面の浮き・剥離、露筋箇所の脆弱部分を研ぎ取り、ケレン・清掃などの下地処理を行い、セメント系防錆剤塗布、研ぎ箇所にはプライマー（2液型エポキシ樹脂）を塗布した後にエポキシ樹脂モルタルを充填した。また、ショットクリート部の傷みが進行しないよう全面に中性化防止剤を塗布した。ショットクリート部は、下地処理のうえ中性化防止剤を塗布し、プライマー（2液型エポキシ樹脂）、パテ材（2液型エポキシ樹脂）を順次塗布した。最後に2液型柔軟ポリウレタンにて上塗りした。

RCおよびSRCの内壁は、幅0.3mm未満の亀裂箇所が散見されたため、下地処理のうえ亀裂に沿って弾性エポキシ樹脂シール材をすり込み、最後にはみ出た材料をふき取り仕上げとした。



図3-20 中性化防止剤塗布作業

## 2. 平成28年度（2016）の改修工事

平成28年度（2016）の改修工事は内部公開を前提とした工事であったため、「工作物」であった「太陽の塔」を「建築物（展示場）」に用途変更を行い、来館者の安全面に配慮した耐震補強を中心に、岡本太郎の作品として外観内観共にできる限り建設当初の姿を維持することを目的に実

施された。設計は株式会社昭和設計、施工は大林組、展示設計・施工は現代芸術研究所により進められた。

構造計算については、太陽の塔は建築基準法第20条第1項第一号による建築物であることから「時刻歴応答解析」を行い、国土交通大臣が指定した指定認定機関による構造性能評価を実施し大臣認定を取得した。また、令第126条の3第1項第一号の排煙設備の構造・防煙区画における計画の不適合により避難計算等による検証をおこない<sup>43)</sup>、国土交通大臣が指定した指定認定機関による避難安全性能評価を実施し大臣認定を取得した。また、既存不適格事項については全て現行法を適合させた。

以下改修工事の内容について記述する。

#### (1) 改修工事（建築）

##### ① 階数

「太陽の塔」は、高さが約63m、地面から腕までの高さが約25mあり、3階建て以上と判断された場合、非常用進入口の設置が必要となり外観に影響が及ぶ。また、腕の内部空間に露出する鋼管に対して耐火性能が求められるため、何かしらの耐火被覆が必要となり、腕部の内部空間の見え方が大きく変わる。吹田市の建築主事と協議を重ね、最終的に腕の高さである約25mを2階と判断した。

##### ② 排煙設備

排煙設備については、来館者の視界に入らないよう2階上部のホリゾントの更に上部の空間に機械排煙を設置した。火災時には、排煙機から煙を吸い込み排煙ダクトを通じて排煙口から外部に排出する構造としている。排煙口は「太陽の塔」の頂部斜面部、ちょうど「黄金の顔」で見えない位置に設置されているため、内部はもちろん、外部からも来館者の視界に入らないよう配慮されている。

給気については、「太陽の塔」の背面のメンテナンス用の扉を利用している。扉はパネル加工が施されており、火災時に信号が送られると自動的にパネルが室内側に倒れることで給気ができる仕組みとなっている。通常のメンテナンス用の扉が、火災時に排煙用の給気口を兼ねる工夫がなされている。

##### ③ エレベーター

塔内のエレベーターは、1階フロアと中間フロア、2階フロアに着床するようにした。着床については、可能な限り階数を増やしたかったが、これまで議論を重ねた階判定に矛盾がないように3フロアのみとした。

エレベーター更新に伴い、機械類は取り換えを行ったが、シャフトは再利用した。

<sup>43)</sup> 「火災室の設定の確認」「在室者（在館者）の設定が適切であることの確認」「避難行動の予測方法が適切であることの確認」「煙等の流動性状の予測方法が適切であることの確認」「煙降下時間等の予測結果」において検証が行われた。

#### ④ 階段

塔内においては、壁面の内側に 200 mmの増し打ち補強を行うことになっていたため既存の階段室の幅が狭くなることが予想された。「直上階の居室の床面積合計 $>200\text{ m}^2$ の地上階用」の階段については階段幅・踊り場幅 1,200 mm以上必要という規定があり、踊り場も含めた居室面積が 200 m<sup>2</sup>を超える部分の規定を満足している。また、全館避難安全検証法により、通路幅に対して避難時の安全性を同時に確認している。

#### ⑤ 防火戸

2階エレベーターホールの扉は、改修前は常閉の防火扉であったが、全ての観覧者が通る観覧ルートになることを考慮し、常開の防火扉とした。

#### ⑥ 回り階段

回り階段については、大阪府福祉のまちづくり条例に関して既存不適格となるため、階段室の内側から 150 mmまでの位置の色を変更し視認性を高めることで安全性を確保した。

#### ⑦ 設備計画

空調については、地下 1 階に機械室を配置し 1 階は床面、2 階は天井面に空調吹き出し口を設けた。1 階床面の空調の吹き出しノズルについては来館者から見えない位置に配置し、室外機についても屋外のドライエリアに配置しており、いずれも来館者の視界に入らないよう配慮された。

#### ⑧ 避難安全性の担保

「太陽の塔」については、全館避難安全検証法により、排煙区画 (500 m<sup>2</sup>) と竪穴区画の適用が除外された。避難安全性の検証とは、火災時に煙が充満した場合でも安全に避難できるかを検証するものである。検証にあたっては、出火した際に一番危険な位置を出火点と想定し、煙の量やそれぞれの踊り場から防火区画された階段室まで煙に巻き込まれずに避難できるかを検証する。

「太陽の塔」の場合は、塔内 1 階中央部を出火点と想定し検証が行われた。結果として、来館者は 17 名毎 5 グループに分かれ、観覧時間は 30 分とし、85 名全員が安全に観覧できるようにすること、また塔内には、機械排煙設備（能力 35,000 m<sup>3</sup>/h）を搭上部に設置することで安全性が担保された。この他に、観覧者が展示物に手が届かないようにするという条件も出された。

#### ⑨ ホリゾントの再現

塔内上部には、既存の鉄骨の内側に四角形のフレーム補強が行われた。このため内部空間はもとより狭くなつたため、ホリゾントは改修前より一回り小さく制作された。ホリゾントの制作には模型や CG を利用し、また、来館者からの見え方については VR を利用することでより既存に近い展示を実現させた。

素材は、軽量化を考慮して 6 mmの珪酸カルシウム板を使用した。既存の厚みは 25 mmのハニカ

ムパネルであったため、6mmの珪酸カルシウム板に18mmの塩ビ製の見切り材を設けることで見え方にも配慮した。ホリゾントに使用された珪酸カルシウム板は23枚からなり、波型の形状は、模型やCG、VRなどを使用して検討を行い決定された。

## (2) 耐震補強工事

「太陽の塔」は、超高層建築物の構造方法性能評価について国土交通大臣認定を取得している。以下、耐震診断から耐震補強までの内容について整理する。

### ① 【耐震診断】

#### ・建物既存概要

胴体下部の基礎部は正円ではなく、直径約20mの楕円形（腕の直工方向に若干長）となっている。また、胴体再頂部は直径9mの円形とする。

塔状比は約1:3.2、地上から約30m付近に両腕が取り付く。腕のはねだし長さは約25mとし、腕の元端の直径は約6.5mとする。

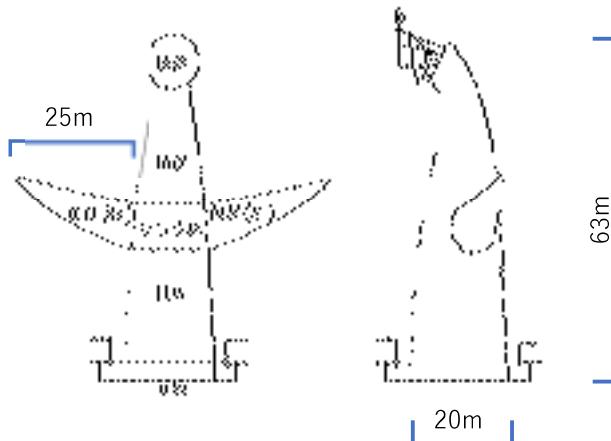


図3-21 耐震診断で使用する部位名称と寸法

#### ・構造形式

部分	仕様
顔部	鉄骨フレーム+アルミパネル
頂部・腕部	鉄骨フレーム(S造)+ショットクリートシェル(コンクリート吹付け仕上げ) (鋼管は、114Φ~267Φの円筒形のシングルレイヤで構成されたトラス構造。 仕上げは、100mm厚のショットクリート吹付け仕上げ。)
リング部	鉄骨鉄筋コンクリート(SRC造) (鋼管柱とH型の梁を内蔵した壁厚300mm~600mmのSRC造。両腕を支持するためにリング部の上下(肩と腕の付け根あたり)にリングという部材が設置されている。ドーナツ状のリングは、鋼板が内蔵されたSRC造。)
胴体	鉄筋コンクリート造(RC造) (壁厚300mmの円筒形)
基礎	鉄筋コンクリート造(RC造) (胴体下部のRC造が地下まで下りた状態のドーナツ状の布基礎。)
地盤	N値50以上の砂礫層に直接基礎で支持。

#### **・建物調査**

建物調査として、鉄骨部材の調査およびコア抜きによるコンクリート圧縮強度試験、中性化深さ測定試験を実施した。コアは、各階（当時は 6 階）1 箇所、計 6 個を採取し、採取したコアを使用し中性化深さ測定試験を実施した。

鉄骨は、部分的な面鋸は認められるものの、減肉などの傷みは見られず良好な状態であった。コンクリートは、平均圧縮強度は  $27.8 \text{N/mm}^2$ 、中性化の最大値は 19 mm の結果となり良好であることが確認できた。

#### **・耐震診断**

建造物の高さが 60m を超えているため、「時刻歴応答解析」による耐震診断を実施した。

#### **・耐震診断結果**

耐震診断は、時刻歴応答解析により外力分布を定め、保有水平耐力 ( $Qu/Qun$ ) から耐震性能の有無について判断した。保有水平耐力は、0.6～0.9 という数値となり耐震性能の不足が確認された。腕部については、縦地震荷重 1G 加入時に短期許容応力度を超えている部材を確認した。

## **② 【耐震補強計画】**

#### **・方針**

補強は内観外観を変えないことが前提だったため、外周の内側で検討した。また、右腕部のエスカレーターは重量軽減と同時に老朽化のため撤去することとした。

#### **・補強案**

耐震補強は、建物の内部に耐震要素を増設することで強度型の補強を目指すこととした（頂部鉄骨の補強、RC 増し打ち補強）。また、胴体下部における RC シェル最下層の開口補強も実施した。

##### **(ア) 頂部の鉄骨補強**

頂部は地震力の増幅が大きいため、既存の鉄骨にできるだけ応力を負担させない方法として、剛性の高い四角形のフレームを既存の鉄骨の内側に内接する方法を採用した。  
(鉄骨フレームに 7 割ほどせん断力を負担)

柱は  $267\Phi$  (9 mm 厚)、梁は H 形鋼の (200 mm × 200 mm × 8 mm × 12 mm)、ブレースは  $\square 200$  mm × 200 mm × 9 mm とした。

##### **(イ) RC 増し打ち補強（胴体下部の補強）**

胴体下部は既存の RC 壁の内側に 200 mm の鉄筋コンクリートの増し打ち補強を行った。解析結果から、胴体下部にはかなり大きな曲げモーメントとせん断力がかかることが分かったため、曲げモーメントの大部分を 200 mm の増し打ち壁内の鉄筋 (D19、ピッチ 150 mm) に、せん断力を 500 mm の RC 壁に負担させる計画とした。

##### **(ウ) RC シェル最下層の開口補強**

「太陽の塔」の壁面には、もとから出入口や設備等で使用されていた大きな開口が設けられていたため、開口周りに補強筋を配する計画とした。

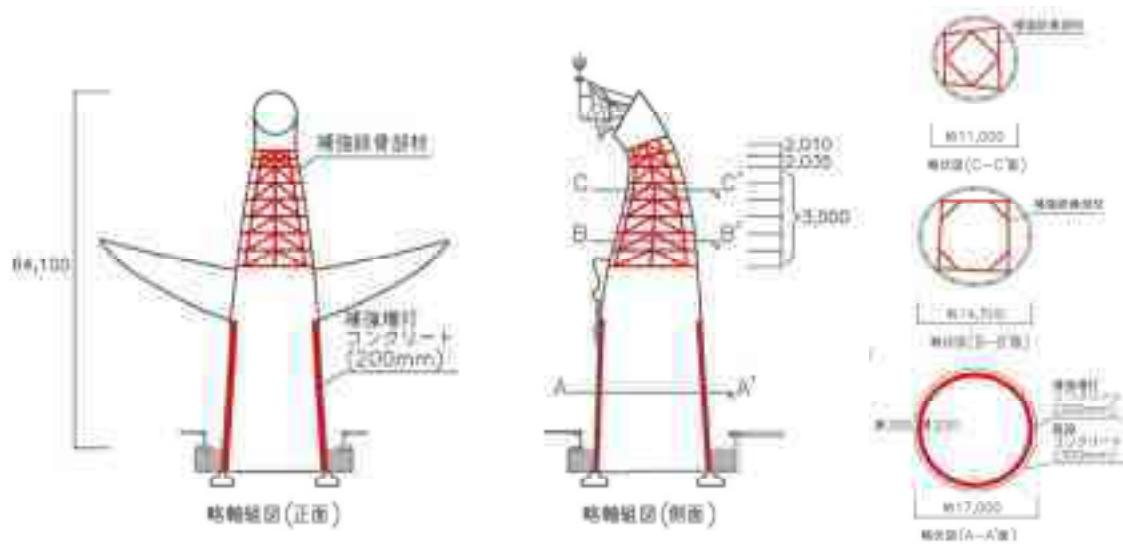


図 3-22 太陽の塔に施工された構造補強

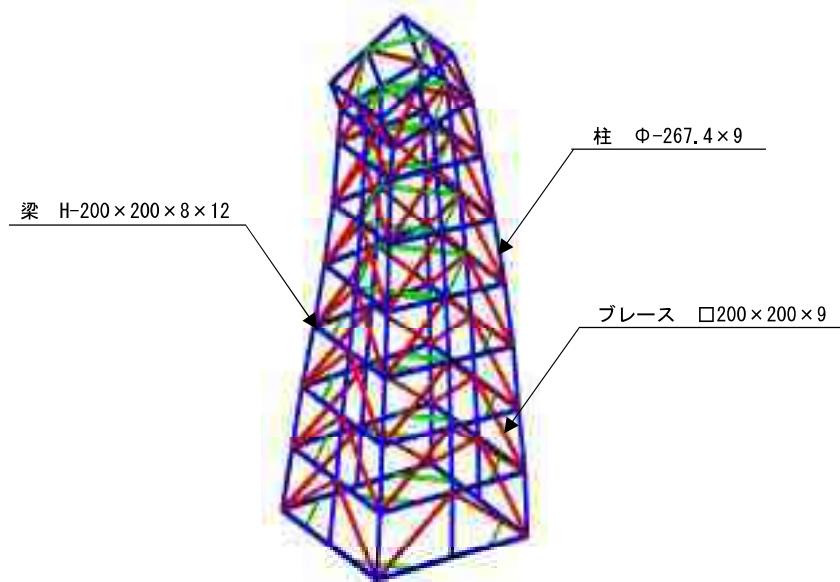


図 3-23 胴体上部 内部に設置された鉄骨フレーム補強

#### ・補強計画における検証

弾塑性立体モデルによる時刻歴応答解析を実施した。また、超高層建築物として評定と国土交通大臣による認定を取得した。

#### ・耐震性能の設計クライテリア（耐震設計の目標）

クライテリアは、「極めて稀に発生する地震動」について、胴体上部と腕部における部材の塑性率を 3.0 以下、最大変形角を 1/200 以下とした。胴体下部については、終局強度以下とした。

### ・解析結果

解析は水平動と上下動と別々に行い、合わせたものを解析結果とした。

既存の鉄骨部材の塑性率は2.0程度、補強の鉄骨部材は塑性率1.2程度、RC造増し打ち壁内の鉄筋の塑性率は1.1程度、500mmの胴体下部にかかるせん断力は終局強度以下となつた。

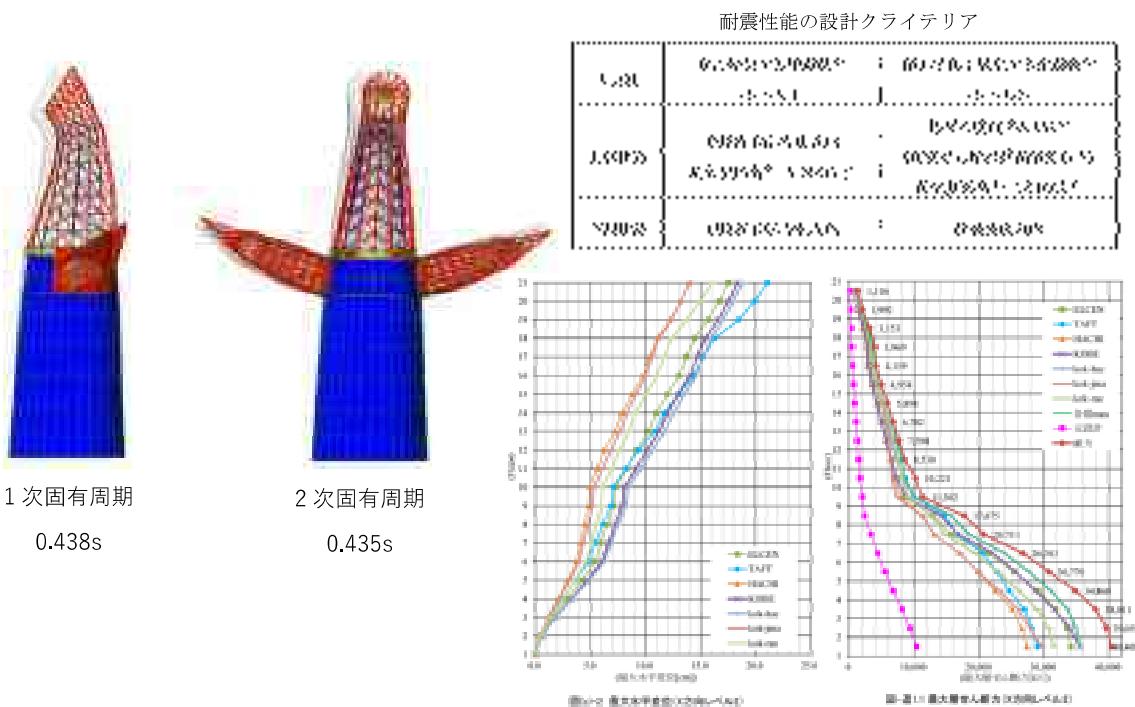


図3-24 耐震性能クライテリア

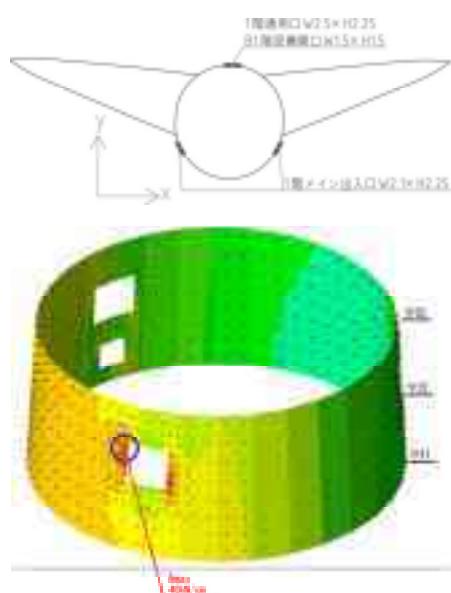


図3-25 RC開口部における解析モデル



図3-26 腕の上下動検証

### ③ 【耐震補強工事】

太陽の塔の耐震補強工事では、これまでの耐震診断等の結果をもとに、以下(ア)～(ウ)の補強が必要な箇所に講じられた。以下の補強を施すことにより、クライテリアを満足する耐震性能を確保した。

#### (ア) 頂部の鉄骨補強

頂部における耐震補強は、4本柱の四角形の鉄骨フレームによる補強が行われた(図3-22、23参照)。出入口は狭隘であったため、細分化した鉄骨部材を、太陽の塔の最下部から搬入、中央に設置されたシャフトを利用し上部まで引き上げ、組み立てが行われた。鉄骨フレームは既存の円筒形の塔内に内接するよう配置された。既設の鉄骨と補強材の接続部にはベースプレートが溶接され、平面上4カ所上下9箇所、計36箇所にて接続された。



図3-27 (ア) 鉄骨補強材の搬入



図3-28 (ア) 既設鉄骨と補強材の最頂部接続部

#### (イ) RC増し打ち補強(胴体下部の補強)

鉄筋コンクリート造の胴体下における耐震補強は、約1000枚の既設の拡散板を取り外し、躯体の塗装を剥がし、その後に既設300mmの壁体にコンクリート躯体を200mm増し打ちする工事が行われた。壁面には約1万本のアンカーが設置され、配筋、型枠の設置、コンクリートの打設が行われた。完了後、型枠を取り外し、壁面の再塗装を行ったうえで、拡散板の美装を行い、再度取り付けを行った。取り付けは改修前と同じように躯体へのビス止めとした。



図3-29 (イ) 当初壁面塗装書き落し作業



図3-30 (イ) 型枠工事

### (ウ) RC シェル最下層の開口補強

昭和 45 年（1970）年当時の太陽の塔の 1 階には 3 箇所の開口（出入口）、地下 1 階には 1 箇所の設備用の開口が設けられていたが、1 階の 2 箇所の開口（出入口）は平成 28 年（2016）時の工事着手時にはコンクリートで塞がれていた<sup>44)</sup>。今回これら既設の 4 箇所の開口を増築部からの動線として活用するために、閉塞されていた 2 箇所のコンクリートは撤去のうえ、4 箇所全ての開口部に対して開口補強が行われた。開口部の周囲にコンクリート増し打ち補強が行われ、4 箇所の出入口（1 階は幅 2,100 mm × 高さ 2,170 mm、地下 1 階は 1,500 mm × 1,500 mm）を確保した。既設の開口部の内側に接着系アンカーが設置され、配筋、型枠の設置、コンクリートの打設が行われた。

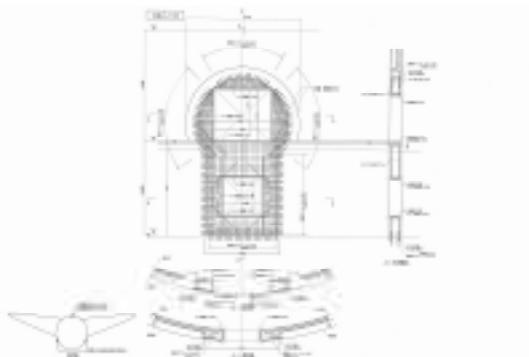


図 3-31 (ウ) 北側開口補強図

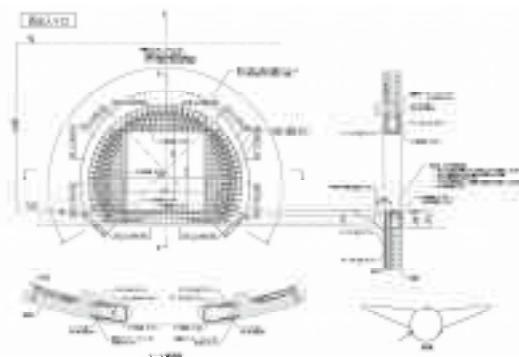


図 3-32 (ウ) 西側開口補強図

### (3) 展示工事

#### ① 拡散板再設置

塔内壁面に設置されたスチール製の拡散板は、壁面内側における鉄筋コンクリート増し打ち補強に伴い一度全て撤去され、補強後に再設置とした。復旧に際しては、取り外す前の並びや色むらを再現した。補強により壁面の周囲が短くなったこと、また、安全面を考慮し来館者の手が届く位置への取り付けは行わないという方針に基づき、設置枚数を 1,153 枚から 857 枚に減らして取り付けられた。

#### ② 生命の樹および展示

##### 生命の樹

生命の樹本体は、塗装の塗り直しのみが行われた。

##### 生物模型

生物模型の改修に当たっては、当時の計画思想を表現した「再生」を目指し、機械的な「再現」にならないように考えられた。そのため、使用材料も当時のものに拘らず、現時点でも最も合理的かつ効果的に造形表現できるものが選択された。展示効果を損ねない範囲での制作や設置数を低減するとともに、メンテナンス負担が軽減できるように仕様が変更されている。当時の制作物のうち再生可能なものはできる限り再利用するが、耐久性、安全性、展示効果の面から再利用が困難なものは新規制作とした。その際、一部はオリジナルの造形を原型と

<sup>44)</sup> 平成 28 年度（2016）の改修工事着手前の状況については、株式会社昭和設計の回答に基づく。

して使用した。

現在は 33 種 183 体の模型が展示されている。太陽虫、オルトセラスペルキドウム、キルトセラスデクリト、オーム貝、サソリ等は経年変化状況等を考慮して新規制作となった。新規造形物は、オリジナル制作時の発泡材造形および樹脂コーティングではなく、纖維ポリエスチル樹脂を用いた FRP 成型とした。オリジナルを修復する場合は、クリーニング後に必要に応じて芯材を挿入し、FRP によるオーバーレイ加工している。植毛は粉塵や害虫の温床となりかねないので、質感に留意した原型制作と彩色処理で毛質感を醸し出せるように工夫した(マンモス、オナガザル、テナガザル、オランウータン、チンパンジー)。ネアンデルタール人とクロマニヨン人の衣には人工毛皮を使用した。塗装はウレタン塗料とした。オリジナルで一部使用されていた蛍光塗料は、照明効果の妨げにもなる蓄光状態を避けるため使用しないこととした。加えて、蛍光塗料の寿命は概ね 2~3 年で、発色性能の低下が顕著であるため、メンテナンスの面からも選択を取りやめた。ポリープの一部、クラゲ、太陽虫は内照とした。樹上の生物群は日常的なメンテナンスが物理的に不可能であるため、作動機構は割愛した。修復をせず、当初の姿を残すのはゴリラのみである。直にブラシ等で粉塵を強く払うと植毛のみならず下地の石膏や金網まで破損してしまう恐れがあったため、プロアーと柔らかい刷毛等による丁寧なクリーニングに留めている。各生物の仕様については、表 2-2 の通りである。

現在多くの模型が EXPO' 70 パビリオンに保管され、一部は別館、スペースシアターにて展示されている。



図 3-33 生命の樹及び生物模型（2006 年）



図 3-34 生命の樹及び生物模型



図 3-35 生物模型のゴリラ



図 3-36 当初の生物模型

### 3. 太陽の塔の保存管理の状況

#### (1) 保存管理の現状

先述した通り太陽の塔は創建時からこれまで 2 度の改修工事が行われており、部分的な改変は見られるものの、当時の展示施設としての機能を維持しつつ創建当時の姿に配慮されている。平成 4 年度（1992）の修理工事は主に経年に伴う外観の劣化補修を中心とした修理で、当該施設を維持するうえで必要な工事を行った。平成 28 年度（2016）の改修工事では内部の公開活用を行うための耐震補強や展示の整備が行われている。活用のための改変としてはエスカレーターから階段への変更が行われている。また、耐震補強は胴体下部の RC 増し打ち補強と胴体上部の鉄骨フレーム補強が行われている。

以下、建物の各部位における保存の状況について記載する。

#### ① 外壁仕上げ及び躯体

躯体は鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨造である。鉄骨造の部分の外壁は被覆材として湿式ショットクリート（吹付けコンクリート）を採用し、鉄筋コンクリート造と鉄骨鉄筋コンクリートの部分を含めた躯体全体を化粧吹付けモルタルで仕上げ、その上に特殊塩化ビニル樹脂系塗料が吹付けられている。

平成 4 年度（1992）の修理工事では、主に化粧吹付けモルタルにおける亀裂補修が行われたが、補修に当たっては当初の材料より耐久性のあるファイバー入りポリマーモルタルが使用されている。工事から約 31 年が経過し、外壁には亀裂や汚損が散見されるため、今後の修理を行う際は躯体への影響を考慮しつつ、これまでの修理内容を参考に工法や材料の選択を行う。

#### ② 外観（意匠）

外観は過去に工事が行われているが、工法や材料などの配慮もあり、ほぼ創建時の姿を留めている。黄金の顔のスチール板は老朽化に伴い耐候性のあるステンレスに更新されているが形状は忠実に復原されており、現時点では特に傷みは確認できない。黄金の顔の仕上材については創建時、平成 4 年度（1992）と 3M 製のスコッチカルフィルムを採用している。スコッチカルフィルムの耐用年数は 5 年ほどとされており、容易に貼り替えはできないものの平成 4 年度（1992）の工事から約 31 年余りが経過しているため仕上材については経過観察を継続し、今後の工事のタイミングでの修理も視野に入れる必要がある。

さらに、黄金の顔はスチール板からステンレス板に取り換えてはいるものの、下地の鉄骨材は創建当時の材料を再使用しているため、顔の骨格はほぼ当初の材料にて構成されている。また、正面のイナズマと背面のコロナのタイル（20 mm × 20 mm）は更新されてはいるものの、色彩等については当初材に近似したイタリア製のものを採用している。屋外に露出している外壁等に使用される材料は今後も意匠に配慮しつつ耐水性や耐候性を考慮した材料の選択を検討する必要がある。

なお、創建当時の黄金の顔のスチール板（正面のみ）は、令和 5 年（2023）8 月より EXPO' 70 パビリオン（鉄鋼館）に隣接する別館にて公開展示が行われている。

### ③ 塗装

維持管理のために外壁仕上げの定期的な補修と塗装の塗り替えが必要である。これまでも樹脂系塗料が採用されているが、今後も外観に支障のない範囲で耐水性や耐候性のある材料を採用する。色彩等については、当初のものを踏襲しつつ維持管理に適した材料の検討を行う。

### ④ 内部（軀体・意匠など）

太陽の塔の耐震補強は外観に配慮し全て内部にて行われている。このため内部空間は当初よりやや狭隘となるが、生命の樹自体を保存しつつ空間上部のホリゾントや生物模型は狭隘を感じさせないほど忠実に再現されている。

1階・2階、踊り場においては、床の仕上げは更新されているものの床材は全て創建当時からのものである。また、壁に取り付く拡散板は壁面積が狭くなった分、枚数は減るもの当初の材料を復旧している。

設備に関しては、内部での移動手段を当初のエスカレーターから階段に変更しているが、階段の設置に際してはエスカレーターの設置時に使用されていた取り付け金物を再利用している。

内部空間は今後も展示を継続するため、仕上材など定期的に取り換えが必要なものは内部空間の意匠に配慮しつつ活用に即した材料を検討する。

### ⑤ 展示（生命の樹・生物模型）

生命の樹は平成 28 年度（2016）の改修工事の際に再塗装が行われた。過去の工事としてはこの一度のみであり、創建時からの姿を留めているといえる。

生物模型の本格的な修理が行われたのは平成 28 年度（2016）の改修工事時であり、これにあわせて枝や幹に取り付く模型の取り外しが行われている。現在は耐震補強工事により内部空間が当初より狭くなったりもあり、修理や整備を終えた 33 種 183 体の生物模型が展示されている。生物模型は再生可能なものはできる限り再利用し、耐久性、安全性、展示効果の面から再利用が困難なものは新規に制作されている。材料については当時のものに拘らず、現時点でも最も合理的かつ効果的に造形表現できるものが選択されている。このように維持管理の負担が軽減できるように仕様の変更などの工夫も見られる。

再利用が困難となった当初の模型の一部は、EXP070 パビリオン（鉄鋼館）の別館やスペースシアターで展示されている。

現在、生命の樹・生物模型共に工事や修理、整備を経て間もない傷みなどは見られない。

今後も維持管理のために塗装の塗り替えが想定されるため、塗装に際しては、仕上げや色彩等の踏襲を検討する。

## （2）まとめ

昭和 45 年（1970）創建当時を基本に、平成 4 年度（1992）および平成 28 年度（2016）に実施された各工事における改変箇所について時代ごとに区分した。（表 3-1、図 3-37～40：p. 66～p. 71）

生物模型については、平成 28 年度（2016）に修理が実施されており、表 2-2（p. 28～p. 31）の修理内容を参考に「当初・修復・新規」に区分した。（図 3-41：p. 72）

昭和 45 年（1970）当時は仮設建築物として建築されたが、平成 4 年（1992）には工作物、平成 28 年（2016）には建築物として建築基準法上の確認申請が行われており、用途や種類においても、万国博テーマ展示施設から記念塔、展示場へと施設の活用に伴い変更してきた。

ただし、太陽の塔そのものの高さや構造は建築された昭和 45 年（1970）から大きな改変は行われていない。

黄金の顔は、仕上材を鉄板からステンレス板に変更しているものの大きさや形状、取り付け方法については当時に倣い施工が行われている。黄金の顔の頂部と背面に配置するステージやはしごも材料はステンレスに変更されているが大きさや形状は当時に倣い施工がされている。ガラスモザイクタイルは全て張り替えが行われているが大きさや色は当時のものに倣いイタリアから取り寄せたものを使用している。外壁の仕上げにはモルタル吹付けが行われているが、平成 4 年（1992）の修理工事ではファイバー入りポリマーモルタルに変更されている。材料は変更されているが、補修範囲は最小限とし、太陽の塔の今後の保存を考慮した選択が行われている。

現在までに改変されたものとしては、増築棟の新築、耐震補強、エスカレーターの撤去・階段への変更など設備の更新などである。

創建時の地下展示空間は万博閉幕後に解体され敷地は埋め戻され現存しないが、太陽の塔を展示空間として蘇らせるために便益的な要素を含む増築棟が新築されている。耐震補強は、来館者の安全を確保するために、胴体の下部と上部にそれぞれ異なった補強が行われている（図 3-22 参照）。RC 造の胴体下部には軀体の内側に RC の増し打ち補強が行われているため、内部空間はもとより少し狭い。上部は鉄骨のフレーム補強とするが、既存鉄骨との接続はホリゾントの上部で行われているため内部空間への影響は少ない。また、エスカレーターは老朽化のため全て撤去され胴体部分のみ階段に変更されている。

なお、外構も当時からは大きく変更されているがドライエリアは現在も保存されており平成 28 年度（2016）の改修工事の際に空調設備等の室外機置場として使用されている。

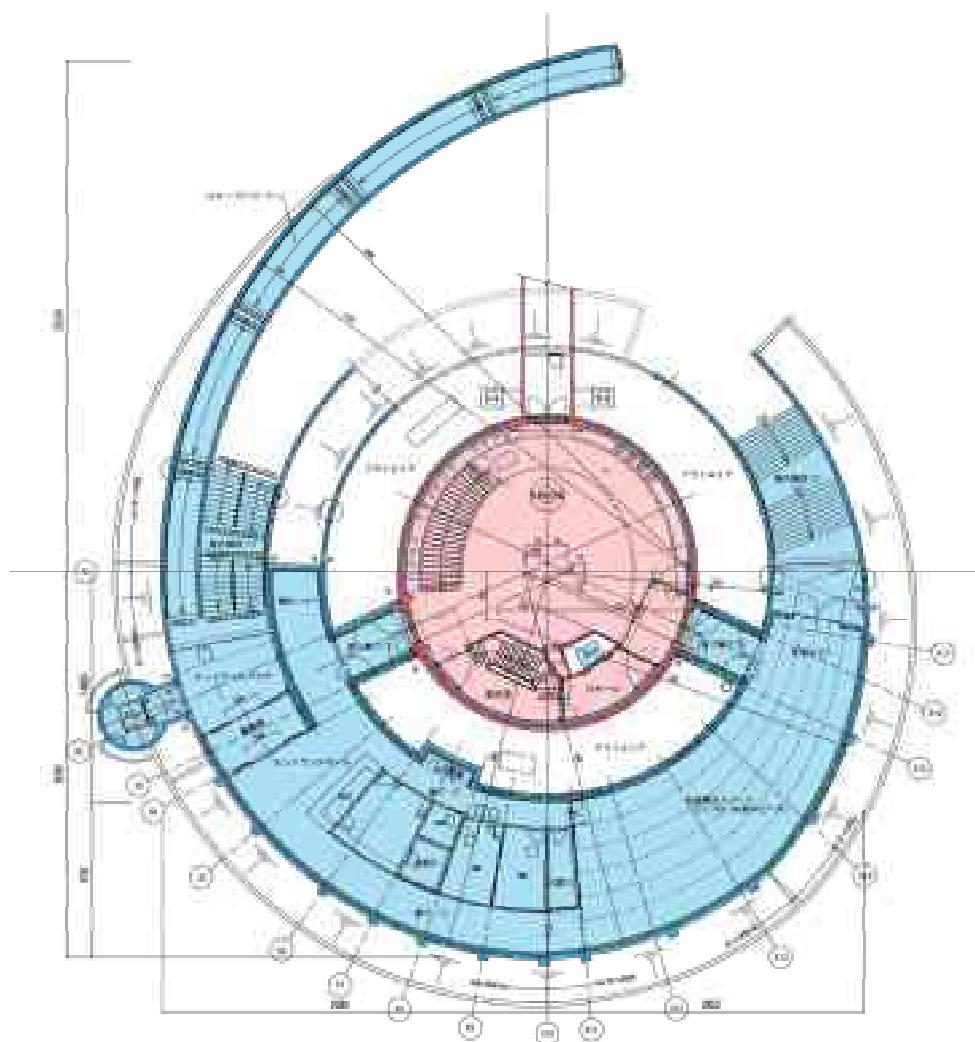
以上のように、太陽の塔は、昭和 45 年（1970）の創建当時から 2 度の改修工事を経て、一部材料の取り換えが行われているものの、岡本太郎の作品としての外観は維持されている。構造体については、過去の修理によりショットクリートをはじめ当初材が比較的良好な状態で保存されている。

内部に関しては、公開に伴い来館者の安全面を優先に耐震補強（増し打ち補強・鉄骨補強）や展示整備が行われているものの、生命の樹や一部展示においては創建当時のものをそのまま利用し、岡本太郎が作り上げた空間をできる限り忠実に再現している。表 3-1 は今までの修理履歴をまとめたものである。

表 3-1 太陽の塔の修理履歴

工事名称 部分部位	昭和 45 年 (1970) 創建当時の仕様	平成 4 年度 (1992) 修理工事における改変箇所	平成 28~29 年度 (2016~2017) 改修工事における改変箇所
建築基準法上	地下 1 階地上 2 階「仮設建築物」	「工作物」	地下 1 階地上 2 階「建築物」
	高さ : 64,100mm (1FL から)、 68,000mm (地下から) 足元直径 : 19,450mm × 20,300mm 構造 : 胴体上部・腕部 : 鉄骨造 + 湿式ショットクリート (吹付けコンクリート) / リング部 : 鉄骨鉄筋コンクリート造 / 胴体下部 : 鉄筋コンクリート造 / 基礎 : 鉄筋コンクリート造 主要用途 : 万国博テーマ展示施設	※高さ・足元直径・構造・基礎 は左に同じ 工作物の種類 : 記念塔	高さ (最高高さ) : 62.72m ※高さ・足元直径・構造・基礎 は左に同じ ただし、胴体上部および胴体下部には補強を実施 用途 : 展示場
<b>外部</b>			
黄金の顔	表面 : スチール板 + 3M 製スコッチャカルフィルム貼り 下地 : 鉄骨 目 : キセノンライト	表面 : ステンレス板 + 3M 製スコッチャカルフィルム貼り ※目 : 平成 22 年 (2010) LED 照明に改修	—
避雷針	避雷針 : スチール製 仕上げ : 塗装 ステージ (頂部・背面) : スチール製	避雷針 : スチール製 仕上げ : フッ素樹脂塗装 ステージ (頂部・背面) : ステンレス製	—
太陽の顔	ガラス繊維強化プラスティック (FRP) + 発泡ウレタンチップ吹付け 仕上げ : 特殊塩化ビニル樹脂塗料吹付け (ナプコビン)	—	—
黒い太陽	黒色陶板タイル (信楽焼)	—	—
イナズマ	赤色ガラスモザイクタイル 20mm × 20mm (イタリア製)	赤色ガラスモザイクタイル 張り替え 20 mm × 20 mm (イタリア製)	—
コロナ	緑色ガラスモザイクタイル 20 mm × 20 mm (イタリア製)	緑色ガラスモザイクタイル 張り替え 20 mm × 20 mm (イタリア製)	—
胴体上部 両腕部	鉄骨 + 湿式ショットクリート (吹付けコンクリート) 仕上げ : 化粧吹付けモルタル + 特殊塩化ビニル樹脂系塗料吹付け (ナプコビン) ※腕の上部についてはショットクリートとモルタル層との間にタールウレタン防水塗布	化粧吹付けモルタルの補修材として「ファイバー入りポリマーモルタル」を使用 (補修範囲は最小限) 仕上塗装には特殊塩化ビニル樹脂系艶消塗料 (ナプコホワイト) を採用 ※腕の上部については湿式ショットクリート (吹付けコンクリート) とファイバー入りポリマーモルタル層との間に塗膜防水塗布	—

工事名称 部分部位	昭和 45 年 (1970) 創建当時の仕様	平成 4 年度 (1992) 修理工事における改変箇所	平成 28~29 年度 (2016~2017) 改修工事における改変箇所
リング部	鉄骨鉄筋コンクリート 仕上げ：化粧吹付けモルタル+特殊塩化ビニル樹脂系塗料吹付け（ナプロビン）	化粧吹付けモルタルの補修材として「ファイバー入りポリマーモルタル」を使用（補修範囲は最小限） 仕上塗装には特殊塩化ビニル樹脂系艶消塗料（ナプロホワイト）を採用	—
胴体下部	鉄筋コンクリート 化粧吹付けモルタル+特殊塩化ビニル樹脂系塗料吹付け（ナプロビン）	化粧吹付けモルタルの補修材として「ファイバー入りポリマーモルタル」を使用（補修範囲は最小限） 仕上塗装には特殊塩化ビニル樹脂系艶消塗料（ナプロホワイト）を採用	—
基礎	鉄筋コンクリート造	—	—
<b>内部</b>			
生命の樹	幹部高さ 41,000mm (1FL から) 幹部太さ (最大) : 1,000mm 枝 部 の 長 さ : 1,918mm ~ 11,675mm	—	—
生物模型	33 種類 292 体	—	33 種類 183 体 (当初 1 体、修復 27 体、新規制作 155 体)
拡散板	1,153 枚	—	857 枚 (再利用)
ホリゾント	厚さ 25 mm ケイカル板	—	厚さ 6 mm ケイカル板
耐震補強	—	—	(胴体上部) 鉄骨補強 (胴体下部) RC 増し打ち補強、RC シェル最下層の開口補強
設備	(胴体部) エスカレーター (4 基) (腕部) エスカレーター (1 基) (昇降機) 1 基	—	(胴体部) エスカレーターを階段に変更 (腕部) エスカレーター撤去 (空調設備) (衛生設備) (電気設備) (防災設備) (昇降機) 2 基※塔内のエレベーターシャフトは既存のものを再利用し機械のみ更新
外構		落下防止柵新設：ドライエリア擁壁上部 新規外構手摺：太陽の塔外周	



1階平面図

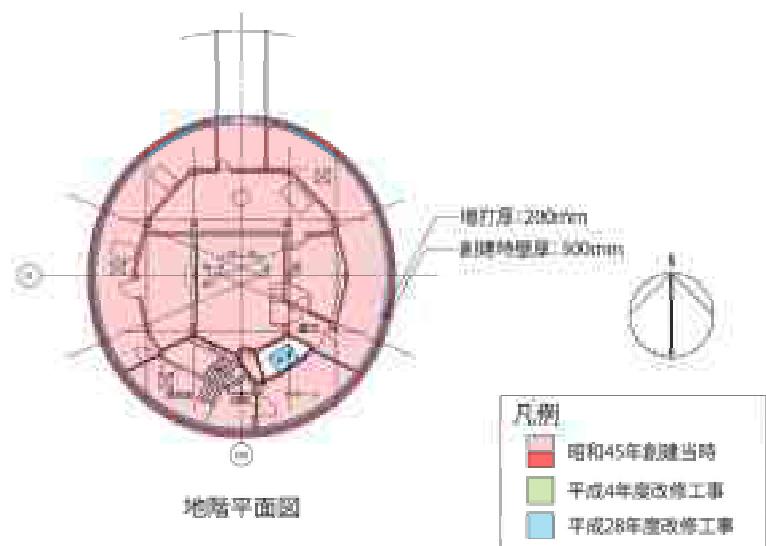


図 3-37 平面図（1）（改修箇所区分図）

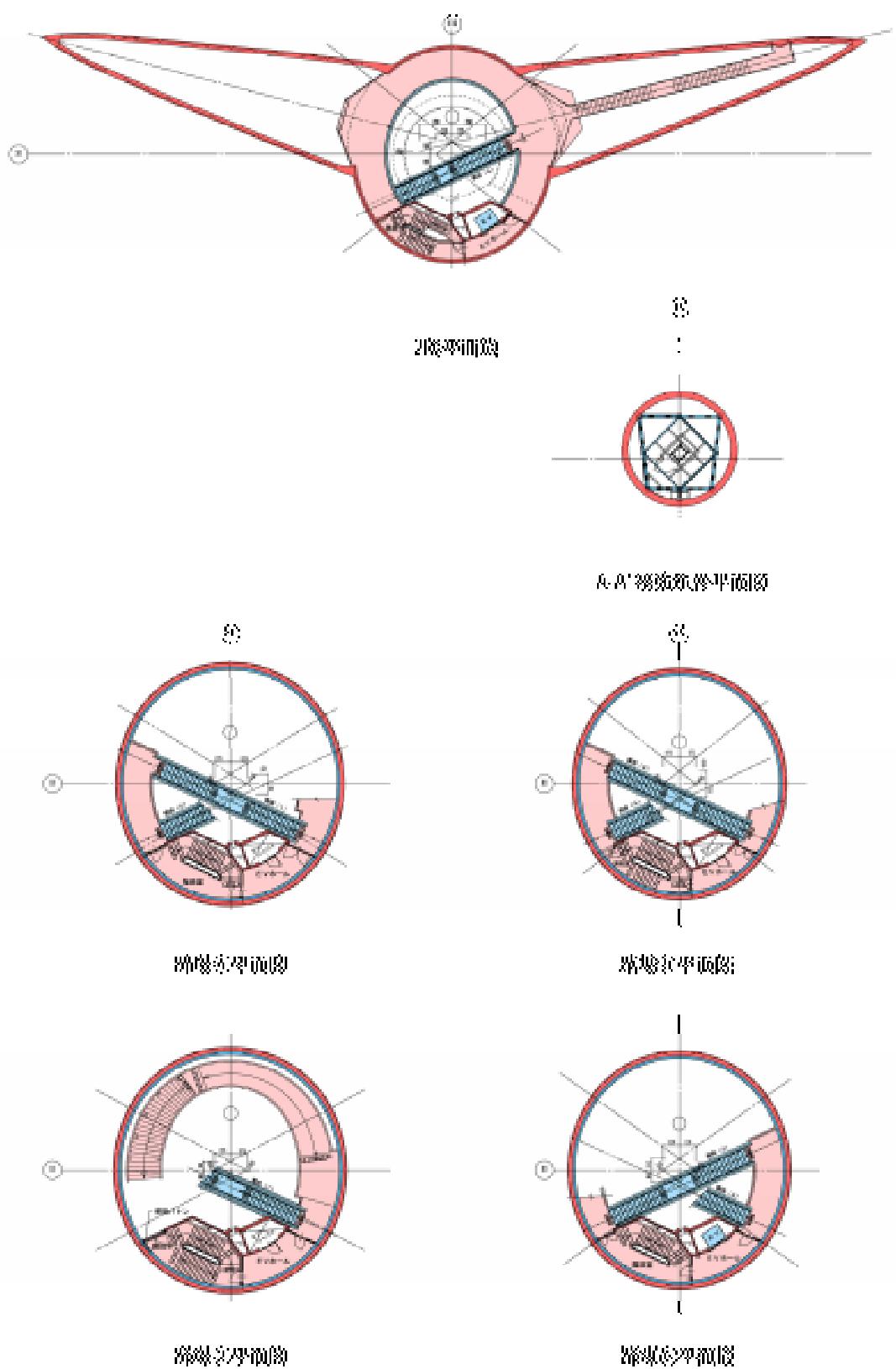


图 3-38 平面图 (2) (改变齒所区分圖)

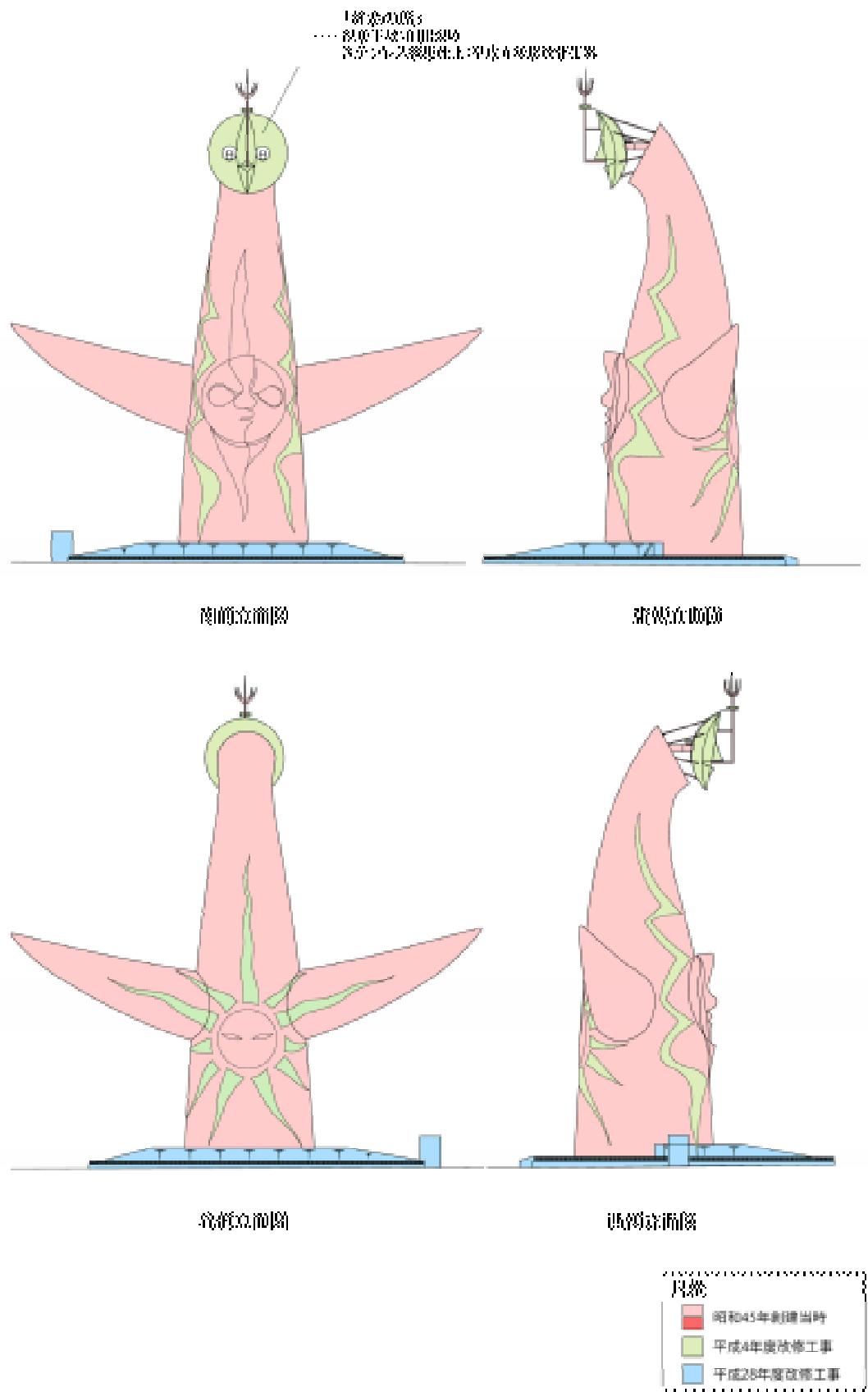


図 3-39 立面図（改変箇所区分図）

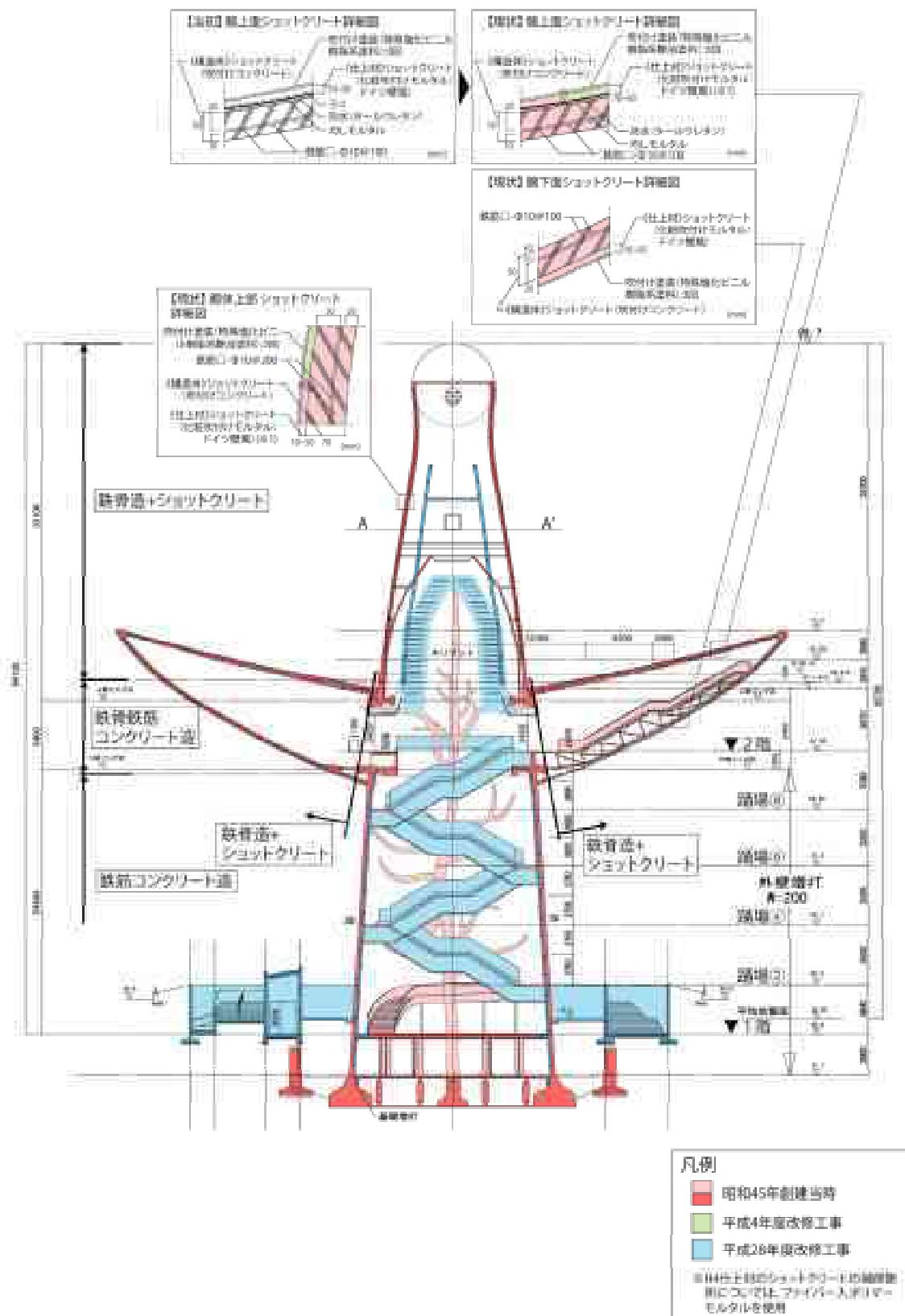
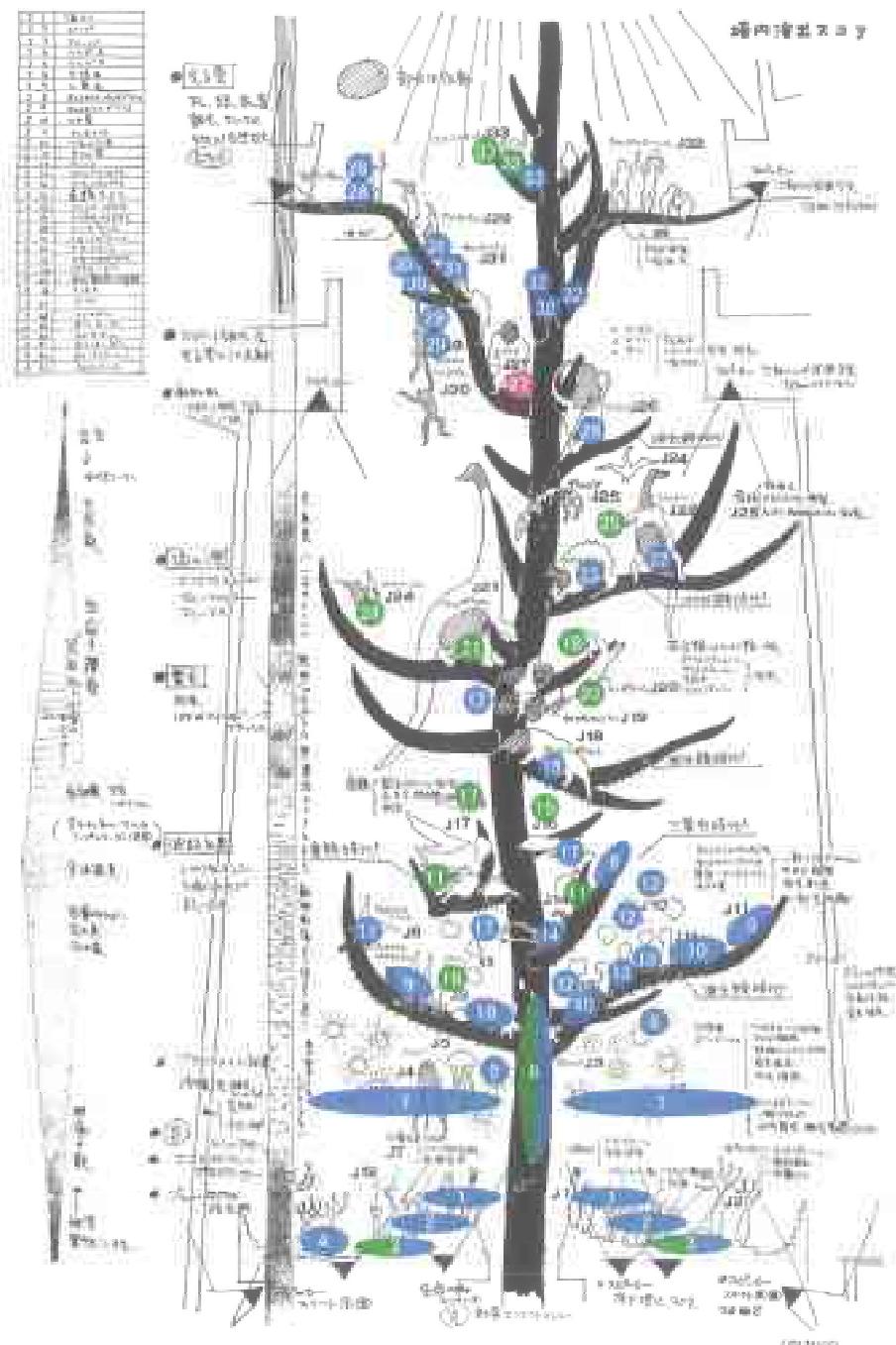


図 3-40 断面図（改変箇所区分図）



生命の樹の生物 現在の配置図

・場内演出スコア（『EXPO' 70 の建築』工画調査会、1970年）をベース図とする。  
・番号は『太陽の塔内部展示制作委託競工図』（平成30年3月）に基づくため、  
図中左上の表と一割ズレがある。

凡例  
■ 当初  
■ 修復  
■ 新規

図 3-41 生物模型（修理区分図）