

3. 耐震改修工事について

(1) 既存施設の耐震性

1964年に竣工した国立代々木競技場は、1981年に改正された現行の耐震基準以前に建設された建築物であることから、「建築物の耐震改修の促進に関する法律」に基づく耐震安全性の確認を行う必要があるため、耐震診断を実施しました。

その結果、補強を行うなど耐震改修が必要であることが明らかとなったため、耐震改修工事を実施することとしました。

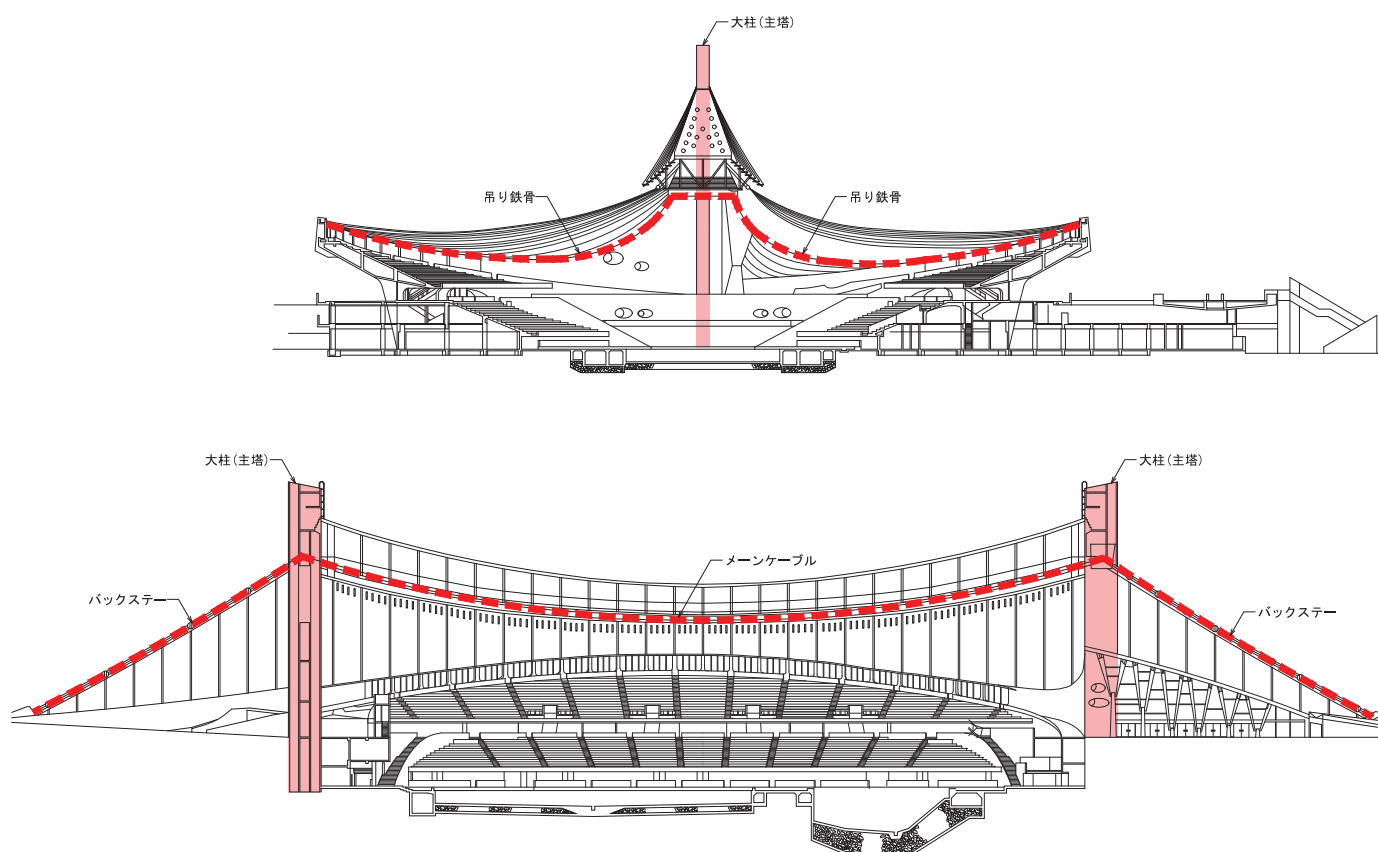
(2) 耐震改修工事の概要

①国立代々木競技場第一体育館の構造概要

第一体育館は、鉄筋コンクリート造の下部構造と鉄骨造の屋根構造で構成されています。

下部構造は、建物の東西にRC造の主塔があり、主塔はメインケーブルを支え屋根荷重を地盤に伝えるほか、耐力壁の役割を持っています。

屋根構造は、2本のメインケーブル（外形330mm： $\phi 52\text{mm} \times 31$ 本＋ $\phi 34.5 \times 6$ 本のスパイラルロープ）からスタンド外周部との間に吊り材（I形鋼190×梁高500～1,000mm）を架ける吊り屋根構造となっており、吊り鉄骨、メインケーブル、押えケーブル及び屋根鉄板で構成されています。



②耐震改修の基本方針

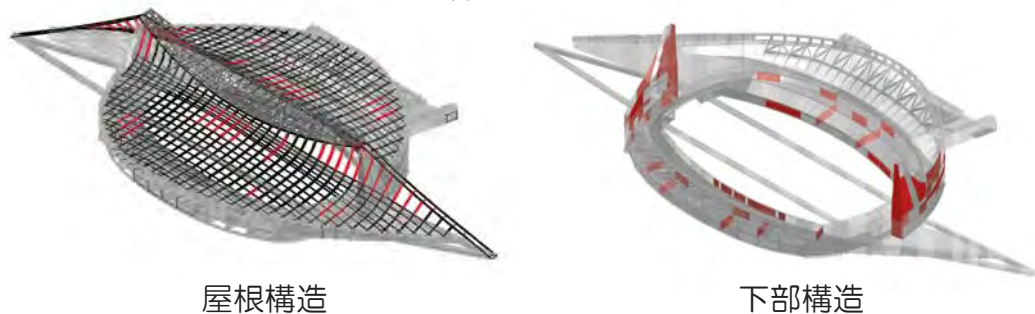
耐震性の目標は、大地震が起こった際の人命確保に加えて、構造体の大きな補修をすることなく建物を使用できることを目標としています。

また、歴史的建造物として評価の高い建築物であることを踏まえ、原設計の設計概念、意匠性に配慮することも重要な方針としています。

③耐震安全性の判定方法

建物の耐震安全性の確認は、完全立体モデルによる時刻歴応答解析により判定するとともに、構造耐震指標（ $G I_s$ ）による判定も行っています。また、耐震改修計画の内容は、一般財団法人建築保全センターの評価を受けています。

○立体モデル



④下部構造の耐震改修概要

下部構造の耐力を確保するため、主塔及び地下1・2階のアリーナ周りを中心に耐震壁の新設及び増厚補強（200mm、400mm）を行いました。

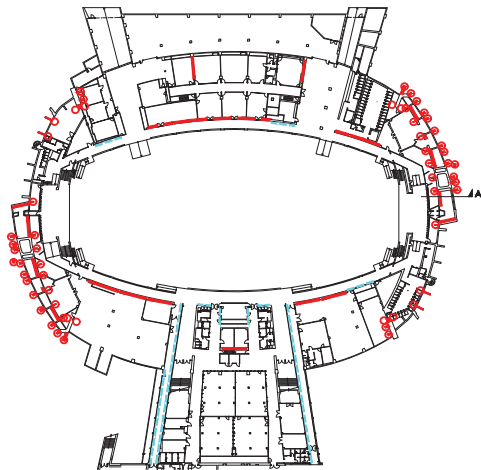
また、基礎の補強として、東西の主塔周りを中心に場所打ちコンクリート杭による補強を行いました。

⑤屋根構造の耐震改修概要

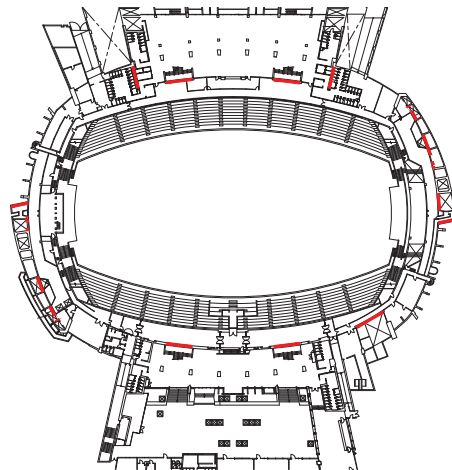
屋根の吊り鉄骨（I形鋼）に補強を行う計画としています。補強内容は、下フランジの横座屈長さを短くするための補強と上下フランジの断面不足を補強するためのプレート補強を行いました。

⑥意匠性への配慮

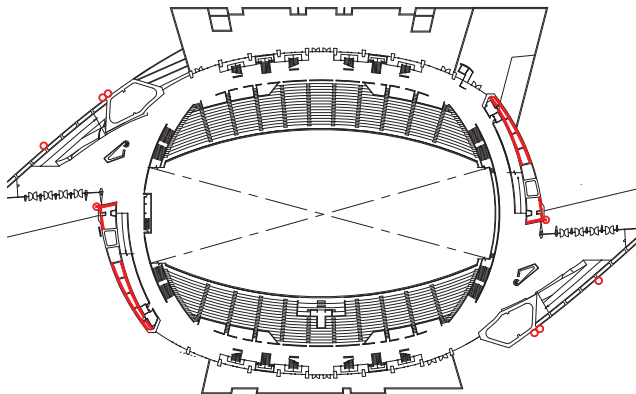
耐震改修において行う耐震壁の新設・増厚は、すべてアリーナに面する壁の裏側に行う計画として、アリーナ側の意匠に影響のないように配慮しています。また、主塔の補強についても、主塔の内側で増厚を行っています。



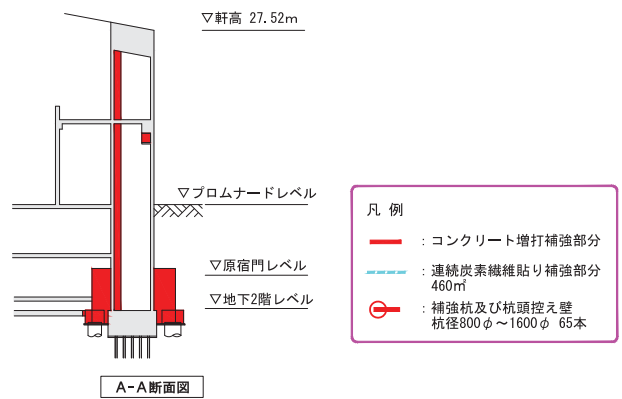
地下2階耐震補強範囲図



地下1階耐震補強範囲図



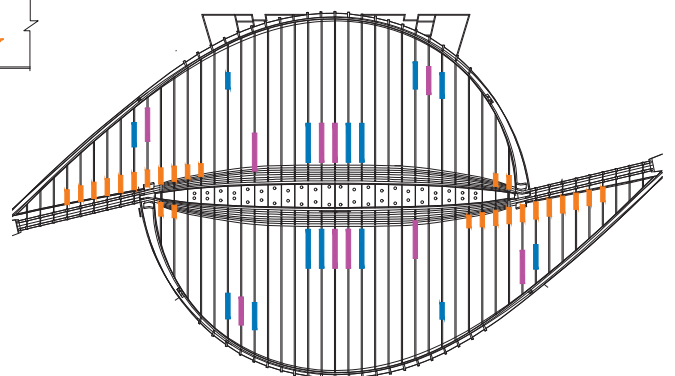
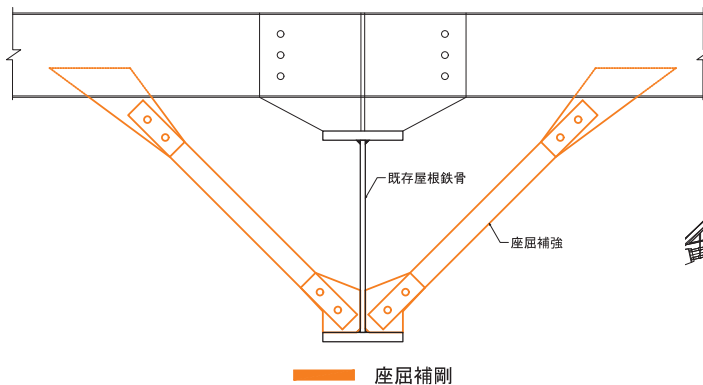
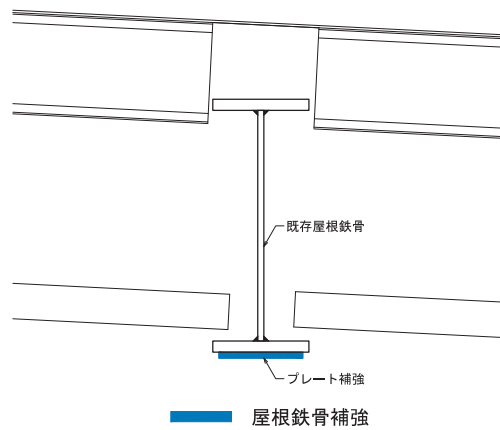
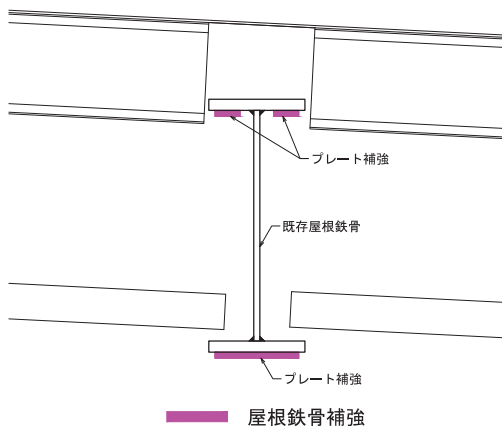
1階耐震補強範囲図



A-A断面図

国立代々木競技場 第一体育館

耐震補強範囲図



国立代々木競技場 第一体育館

屋根構造の耐震改修図

⑦非構造部材の耐震改修概要

本施設の耐震改修の基本方針は、「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する」としています。そのため、主要構造部の耐震改修に加えて、非構造部材の耐震改修も重要となります。通路等の安全を確保するため次の改修を行いました。

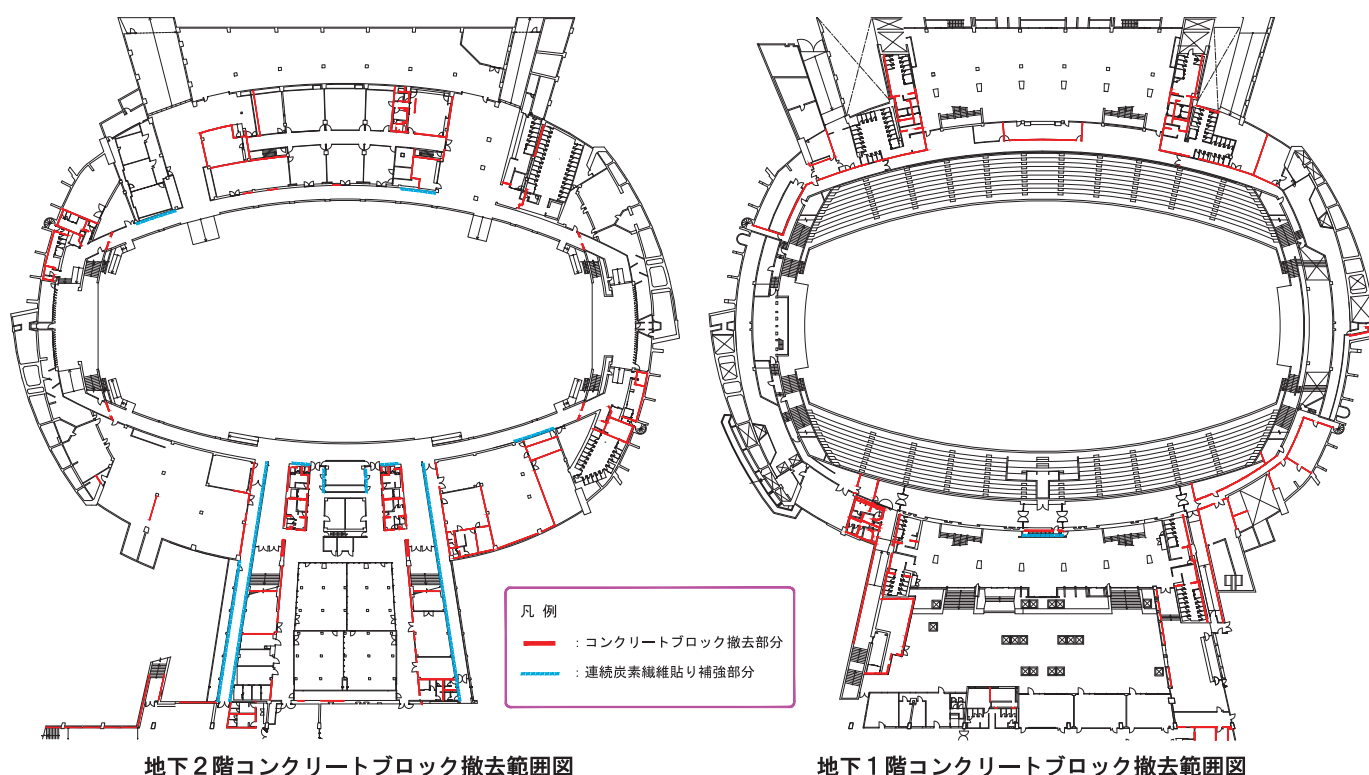
A) コンクリートブロック造間仕切壁の改修

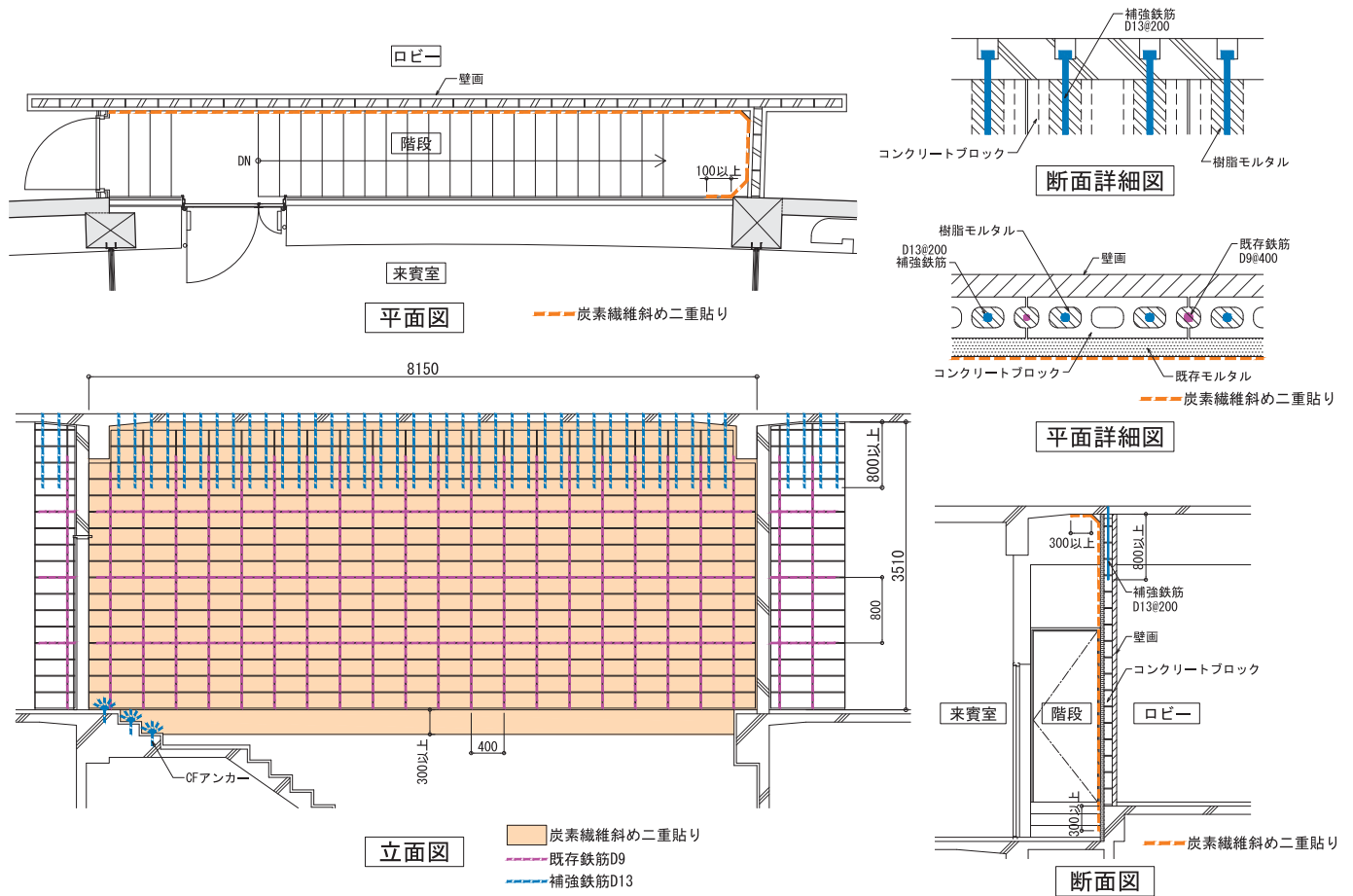
コンクリートブロック造間仕切壁については、調査の結果、梁・天井スラブ等に鉄筋が固定されておらず、倒壊の恐れがあることが判明したため、施設内のコンクリートブロック造間仕切壁は全て撤去しました。

ただし、壁画の下地となっている部分については、鉄筋の状況等を調査し、不足している鉄筋を設置するなど補強工事を行い安全性を確保しました。

B) 鉄筋コンクリート造間仕切壁の改修

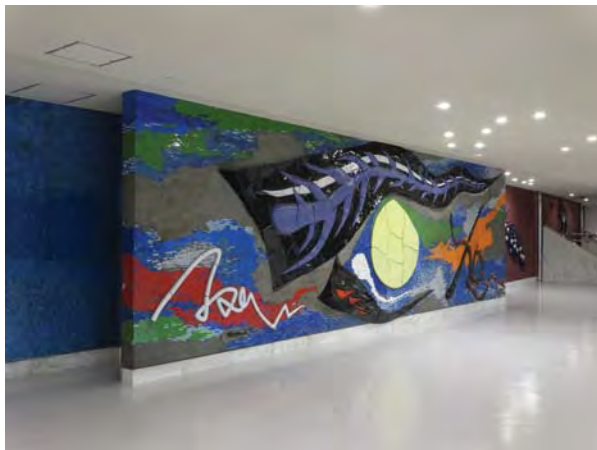
一部の鉄筋コンクリート造間仕切壁については、調査の結果、壁厚が80mmとなっており、大地震時に大きなひび割れが発生する恐れがあることが判明したため、既存仕上りモルタル等の落下対策として連続繊維補強シートによる補強を行うこととしました。



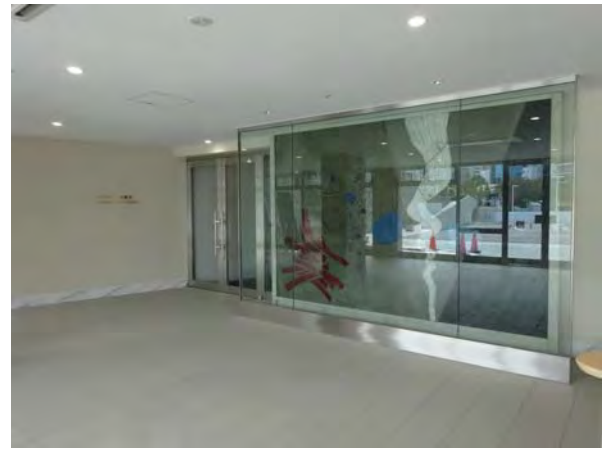


国立代々木競技場 第一体育館

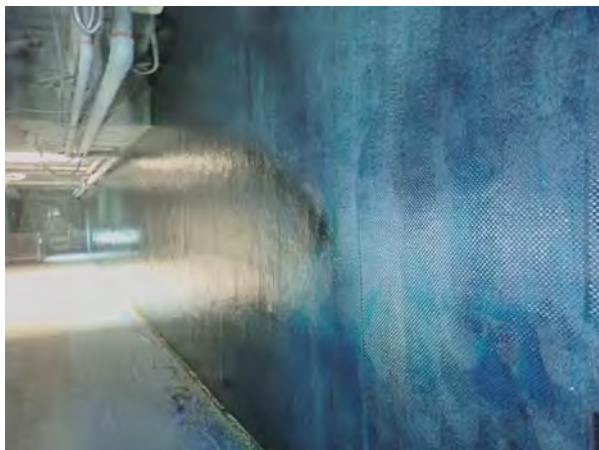
壁面部コンクリートブロック耐震補強図



改修後の南ロビー壁画



改修後の正面玄関壁画（ガラススクリーンによる保護）



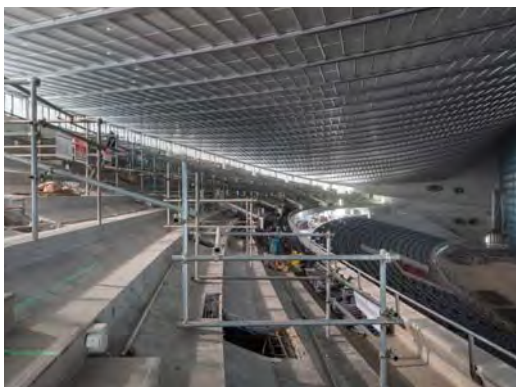
連続繊維補強シートの施工



改修後のアリーナ通路壁面（連続繊維補強シート施工面）

C) 鉄筋コンクリート造天井スラブの改修

上部スタンド部の鉄筋コンクリート造二重スラブについては、調査の結果、下部スラブ厚が80mmとなっており、大地震時にひび割れが発生する恐れがあることが判明したため、コンクリート等の落下対策として連続繊維補強シートによる補強を行いました。



作業用開口

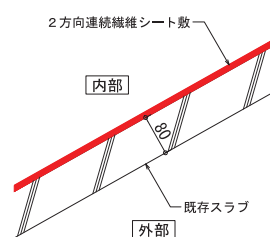
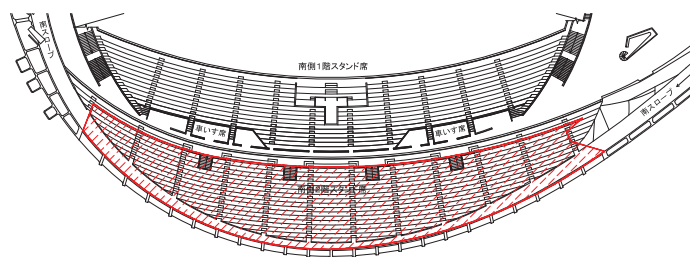
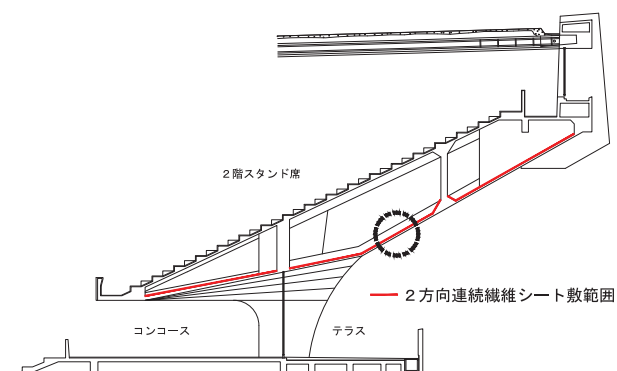
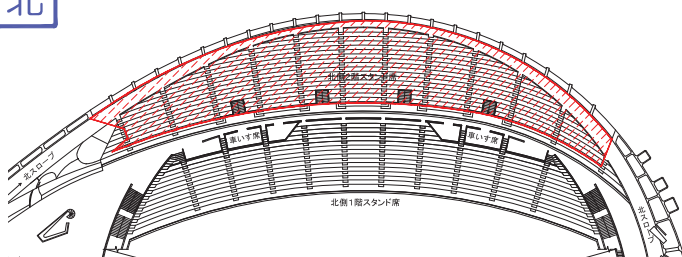
・観客席を撤去して上部スラブに作業用の開口を設ける。



補強完了

・下部スラブ上面に連続繊維補強シートによる補強を行った。

北



スラブ補強詳細図

南

 2方向連続繊維シート敷範囲

D) アリーナ天井の改修

アリーナ天井は、吊り構造で、天井高さが6m以上、天井面積200㎡以上となっており、建築基準法により天井の脱落対策が義務付けられている特定天井に該当するため、鉄骨梁等に直接固定する方法に改修しました。

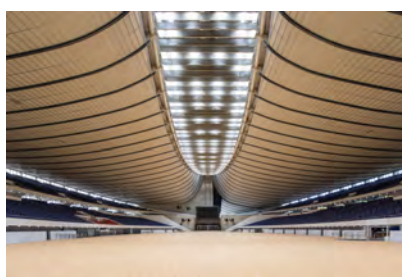
天井材は、既存の材料を再利用しており、改修前と同じ内観を維持しています。

工事の実施にあたっては、第一体育館のアリーナ天井が様々な角度で構成された3次元の曲面となっているため、水平面、緩勾配、急勾配の3種類の実物大試験体を制作し、水平加力と鉛直加力に対する力学的性状を静的加力試験により確認しました。

さらに施工者の技術提案により、静的加力試験の結果を踏まえて決定した天井耐震化仕様の試験体を制作し、大地震時の応答を想定した振動台試験を行い、改修後の安全性を検証しました。



改修前のアリーナ天井

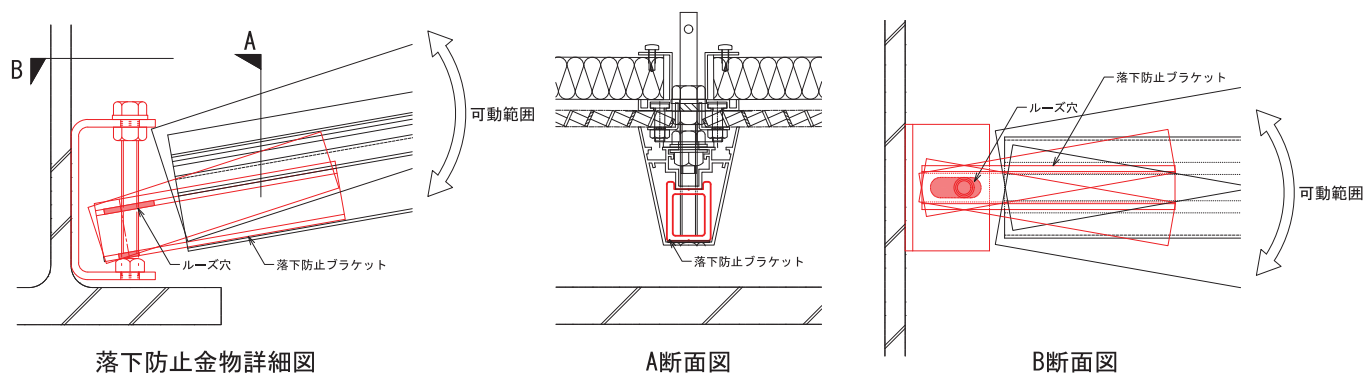
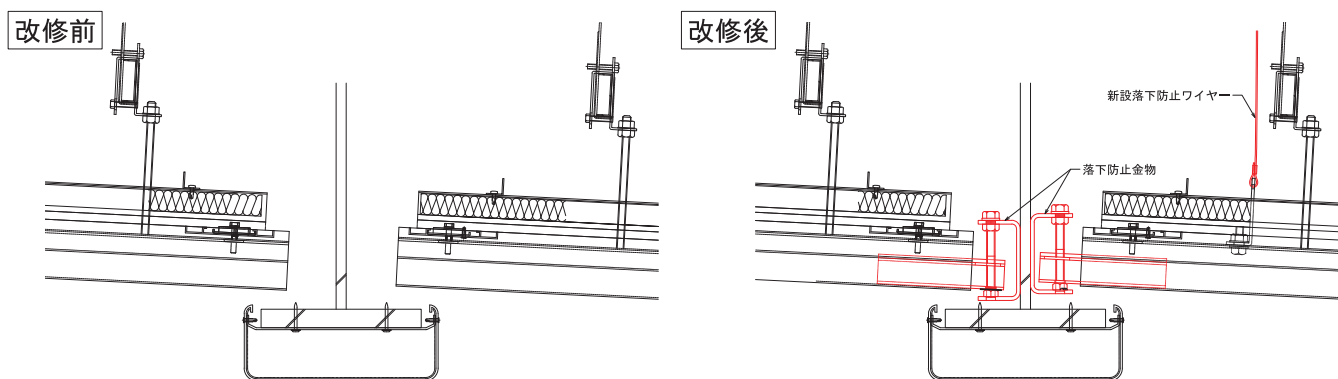


改修後のアリーナ天井



改修のために設けられた足場

・観客席部分は固定足場とし、アリーナ面は移動式の足場となっている。



■ 静的加力試験（2018.2.19・26実施）

改修仕様選定のため、現況および各案の力学的性状（耐力・剛性・変位）を、静的加力試験により確認した。

各種実大モックアップ試験体（全5体）を製作し、パンタグラフジャッキにより鉛直・水平加力を実施。



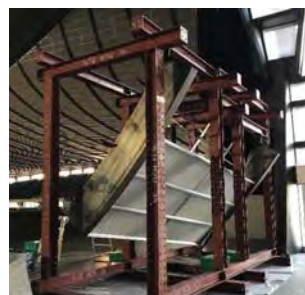
無勾配天井試験体 3体

- ・ 現況（改修前）仕様
- ・ 改修設計原案仕様
- ・ 新規提案仕様



緩勾配天井試験体 1体

- ・ 新規提案仕様



急勾配天井試験体 1体

- ・ 新規提案仕様



鉛直加力



水平加力

【結果】

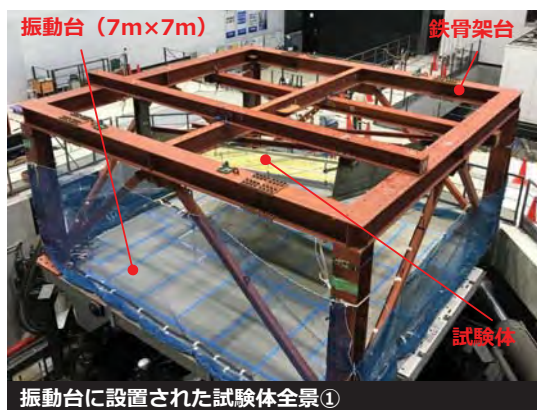
想定荷重に対し、改修設計原案仕様、新規提案仕様とも、天井落下等の損傷は生じず、所要の性能を確保されていることが確認された。

なお変位追従性、鉛直方向剛性確保の観点から、新規提案仕様を採用することとした。

■ 動的振動試験（2018.3.12実施）

採用した天井耐震化仕様について、モックアップ試験体の振動台試験を行い、大地震時の応答を想定した動的入力波を作用させた際の挙動を確認した。

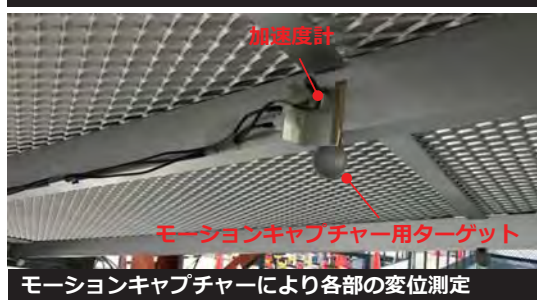
設計者が実施した各種地震波による建物の応答解析結果から得た天井当該部の応答波による加振を実施。



振動台に設置された試験体全景①



振動台に設置された試験体全景②



モーションキャプチャーにより各部の変位測定

【結果】

入力した各種応答波に対し、天井落下等の損傷は生じず、所要の性能を確保されていることが確認された。

⑧外構の安全対策

本施設の敷地は、高低差が大きく、敷地東側で最大12mとなっており、石積よう壁が設置されています。この石積よう壁の耐震性を確認したところ、地震時に転倒する恐れがあることが明らかになったことから、通路等の安全を確保するため次の改修を行いました。

工事の実施にあたっては、既存よう壁の形状を保全するため、3次元測量を行い、形状を記録したうえで、復原しています。また、石材も既存の石を再利用しています。

A) 南東角部よう壁

高さ12mの既存よう壁の形状を維持するため、鉄筋コンクリート造の柱、梁、壁による構造体を構築しています。また、通常時の荷重及び土圧や地震時の慣性力及び土圧に抵抗するため、杭基礎を設けています。

B) 東側二段よう壁

5mから10m程度の高低差のある敷地東側は、二段のよう壁で構成されています。地震時の安全性を確保するため、下部のよう壁をし型の鉄筋コンクリート造とし、底盤に滑り止めの突起を設けています。

