

土木・建築部門の協働による津波避難施設の設計・施工

－桑名市津波避難誘導デッキ－

建築本部	設計部	土岡央
名古屋支店	建築工事部	細見哲也
名古屋支店	建築工務部	中柴光信
東京建築支店	建築設計部	今村雅泰

概要：本施設は過去に当社が手掛けた津波避難施設の実績をもとに、プレキャスト・プレストレストコンクリート（以下、PCaPC）工法に対して地域住民や発注者の深い理解を得て発注された。設計施工一括の公募型プロポーザル方式で三重県桑名市より発注され、公入札による PC 建築元請工事を初めて受注することができた。また、PC 建築の拡大とエリア展開を進め、受注の強化と収益力の向上を図るため、PC 技術を核とした元請および設計施工案件の取り組みを強化することで受注の拡大を図るといふ戦略を実践し、受注した案件である。土木・建築部門そして支店の垣根を超えて取り組んだプロジェクトである。

Key Words：社内横断型プロジェクト、避難誘導デッキ、PCaPC 工法

1. はじめに

桑名市長島町は広大な海拔ゼロメートル地帯を有し、三重県が公表した理論上最大クラスの南海トラフ地震による津波では、地区のほぼすべてが浸水する想定になっている。中でも長島町伊曾島地区は、安全な高台への避難経路は国道 23 号のみとなるが、万一、地震動によって堤防が破損したり水門が壊れたりして津波到達を待たずに浸水が始まった場合は、多くの地区在住者が国道 23 号までたどり着けないことが想定された。こうした地震動による被害状況を見極めるための避難環境を整える必要があったほか、地震動による浸水が生じなかった場合であっても、高齢者などの要配慮者は、津波到達までに避難することは困難となることが想定された。こうした課題に対応するため、南海トラフ地震発生時において、緊急一時避難場所とも、津波到達までの一時退避場所ともなり得る津波避難施設の整備が望まれ、液状化対策が施されて避難路となり得る堤防道路に近い、当該整備予定地への施設整備に至ったものである。

計画段階では、大阪支店建築部門と名古屋支店土木部門の営業所である三重営業所との協働で、発注者および地域住民に対して、PCaPC 工法による津波避難施設の広報を行なった。過去に行った公入札に対するさまざまな資料を精査し、さらに地方自治体と繋がりが深い土木部門と PC 建築に専門知識のある建築部門が一体となり、初期より協働した結果、本施設においてプレストレストコンクリート構造（以下、PC 構造）の採用に至った。



土岡央



細見哲也



中柴光信



今村雅泰

本施設の公入札は、提案力を求められる設計施工一括・公募型プロポーザル方式で行われたため、三重営業所や名古屋支店のみの体制では難しいと判断した。そのため、PC建築の技術に明るい建築本部を主導とし、名古屋支店、東京建築支店、九州支店、および大阪支店も一体となった社内横断型の協働プロジェクトを立ち上げ、技術提案書を作成した。その結果、PC建築元請工事として受注に至ることとなったが、本プロジェクトは、前述のように当社の総合力を結集した協働による受注の在り方を示す先進的な事例となった。表-1に実施工段階におけるプロジェクト体制表を示す。

表-1 プロジェクトチーム体制表

プロジェクトチーム			
役職	担当・資格	氏名	所属・役職(当時)
現場代理人		細見 哲也	名古屋支店 建築工事部
工事監理者	管理技術者	藤田 真也	建築本部 設計部長
	担当技術者	※1 兼務	
(設計チーム)			
管理技術者	構造設計一級建築士	石井 孝幸※1	九州支店 建築設計部長
総合主任担当技術者	一級建築士	土岡 央※1	建築本部 設計部
構造主任担当技術者	構造設計一級建築士	大迫 一徳※1	東京建築支店 建築設計部長
構造担当技術者	構造設計一級建築士	今村 雅泰※1	東京建築支店 建築設計部
設備電気担当技術者		遠藤 正	建築本部 設計部
(施工チーム)			
主任技術者	監理技術者	細見 哲也	既出
総合建築担当技術者		森川 策也※2	名古屋支店 建築工事部
専門技術者 (電気設備工事)		中柴 光信	名古屋支店 建築設備部
PC建築担当技術者		青木 嘉顕	東京建築支店 建築工事部
全体監修			
プロジェクトリーダー		藤浪 博万	名古屋支店 建築工事部長
工事統轄		川路 智則	名古屋支店 建築工事 GL
営業	担当	吉田 孝史	三重営業所長
	支援	清水 俊一	名古屋支店 副支店長
		高橋 伸光	名古屋支店 建築営業部
		大瀬戸浩彰	建築本部 建築営業 GL
		坂井 良雄	東京建築支店 建築営業部部長
技術支援	生産設計	渡部 恵太	東京建築支店 建築設計部
サポートチーム			
技術支援チーム		和智 美徳	東京建築支店 建築工事部部長
品質管理チーム		宮本 靖	名古屋支店 安全品質環境室室長
		藤浪 博万	既出
		竹本 忍	東京建築支店 建築工務部 GL
安全環境チーム		宮本 靖	既出
購買部		川路 智則	既出

※1：兼務，※2：元社員

※3：上記メンバーのほか、受注プロジェクトに対しては、建築本部、名古屋支店、東京建築支店、大阪支店、および九州支店において、様々な関係者に協力をいただいた。

2. 建築計画

2.1 建築概要

工事名称：桑名市津波避難誘導デッキ
 工事場所：三重県桑名市長島町白鷄 1-19,
 1-2 の一部

発注者：桑名市

用途：津波避難施設

構造形式：PC 造 (PCaPC 工法), S 造

最高高さ：13.30 m

建築面積：705.75 m²

延床面積：1,499.86 m²

部材製作：ピー・エス・コンクリート(株)
 滋賀工場

工期：2021 年 3 月 23 日

～2022 年 8 月 20 日 (解体工事含む)



写真-1 全景写真 (空撮)

2.2 避難計画

本施設では、円滑な避難と長期避難への対応について求められたため、円滑な避難に対しては、避難経路の計画、構造寸法、および付属設備について提案した。本施設の全景写真を写真-1 に示す。

避難経路の計画では、避難施設の西側市道および南側道からを主要避難経路と考え、さらに伊曾島まちづくり拠点施設駐車場側からの動線も考慮して円滑な避難ができるように敷地への出入り口、避難施設の位置、避難階段、およびスロープ位置等を決定した (図-1)。

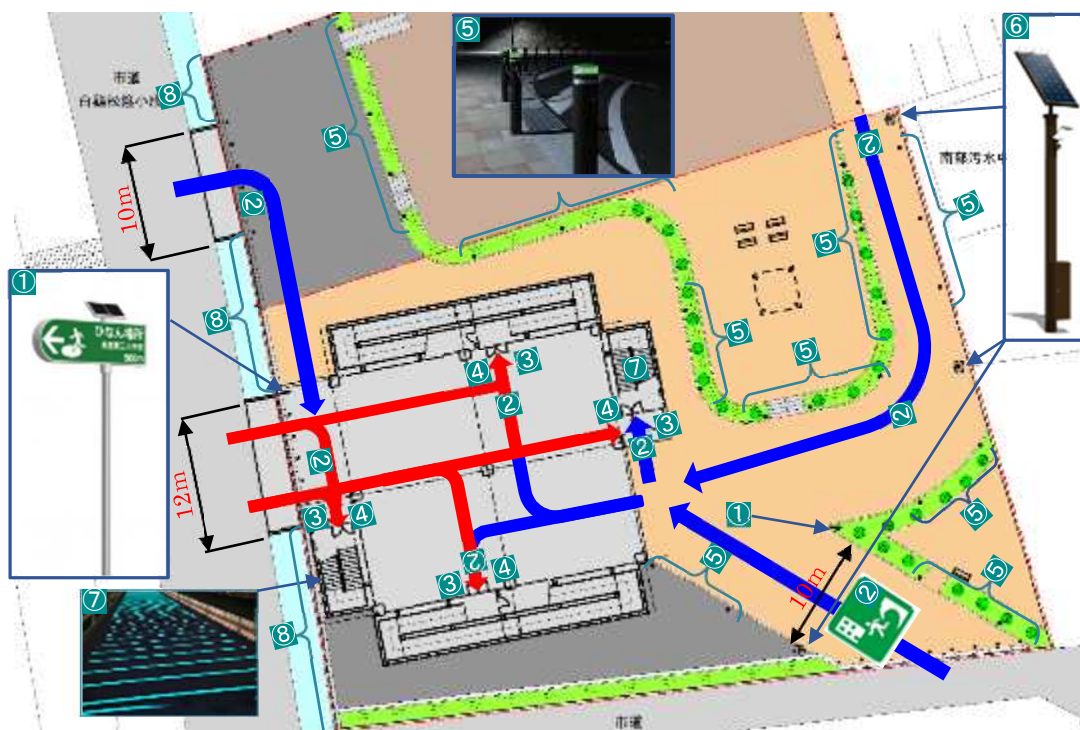


図-1 想定避難経路と特徴 (提案時)

構造寸法では、避難施設の昇降に使用する階段およびスロープは、「三重県ユニバーサルデザインまちづくり推進条例」を遵守し、想定した人数が津波到達前に避難完了できるよう細目を決定した。なお、想定する条件は 1,200 人 (1 人/m² とし、備蓄品収納スペース等を考慮) が 8 分以内 (津波到達時間 10 分 - 避難開始までの時間 2 分) に 2 階まで避難完了できるように設定した。

付属設備については、図-2 に示す位置に付属設備を設置することにより、地域住民だけでなくすべての避難者にわかりやすい施設とした。

また、長期避難への対応については、避難施設建設地周辺は標高が低く、津波によって浸入した水が引きにくい場所であるため避難日数が長期となることが予想された。そのため、十分な備蓄品の保管施設や救護場所等の各種施設の配置が柔軟に行えることを課題とした。また、悪天候にも対処するよう図-2 に示すように長期避難に必要な設備を配置した。

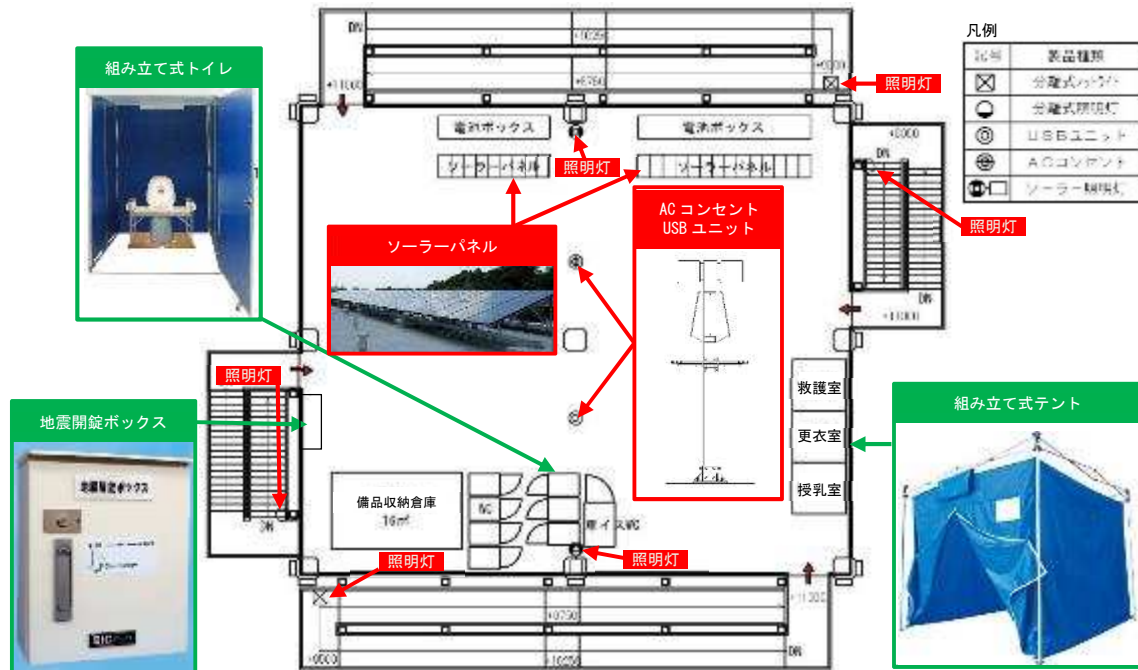


図-2 長期避難に必要な設備の配置案（提案時）

3. 構造計画

3.1 構造概要

本施設は、PC 構造であることから、柱間隔を大きく長スパンとし、大空間の確保を可能とする特性を活かし、耐震性を確保しながら津波の波圧を低減できる形状寸法とした。避難フロアの形状寸法は 21m×24m の 3 層構造とし、柱寸法は 950mm×950mm、梁の寸法は 650mm×900mm とした。避難フロアの階高は、1 層目を 5m とし、2 層目および 3 層目を 3m とした。また、スラブは過去の地震で耐震性が確認されている PC 床版の上にトップコンクリートを打設した PC 合成床板を採用した（図-3）。

3.2 耐震安全性について

構造体は、「官庁施設の総合耐震・耐津波計画基準」に規定される II 類とし、建物の層間変形角 1/200 時点での保有水平耐力が必要保有水平耐力の 1.25 倍以上であることを確認した。また、南海トラフ巨大地震への対応として、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会及び首都直下地震モデル検討会」において検討された南海トラフの長周期地震動波形を用いた時刻歴応答解析を行い、耐震性を確認した。

建設地周辺は液状化が懸念されたため、地質調査では標準貫入試験に加えて液状化を判定するための各種土質試験を併せて行った。また、杭の先端は GL-45m 以深の砂礫層に支持させ、杭は液状化を考慮して設計した。なお、建設地内が液状化した場合でも避難可能とするため、津波避難施設の 1 階を構造スラブとして、液状化による沈下を防いだ。

3.3 耐津波安全性について

耐津波安全性構造計算には、「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（H25.10）」および「津波避難ビル等の構造上の要件の解説（H24.2）」を準用して安全性を確認した。津波波圧算定は、「三重県地震被害想定調査結果のうち理論上最大クラス」により解析された設計用浸水深 2.0m および水深係数 $a=3$ を用いて行い、

建物の保有水平耐力が津波の水平荷重以上であることを確認した。また建物が、浮力および自重を考慮して津波荷重によって転倒しない（引張側となる支点到引張軸力が生じない、また圧縮側となる支点において軸力が杭の短期圧縮応力度以下である）ことを確認した。さらに、建物が滑動しないように、杭の終局せん断耐力が津波荷重を上回ることを確認すると共に、漂流物の衝突により柱の一部が損傷しても、建物全体が崩壊しないことを確認した。

3.4 高潮および洪水について

高潮による波圧は、「高潮浸水想定区域内（伊勢湾沿岸）令和 2 年 8 月三重県」による設計用浸水深 6.6m とし、洪水による波圧は、「国の木曾川水系洪水浸水想定区域図のうち想定最大規模」により解析された設計用浸水深 3.7m を用いた。なお、高潮および洪水は、流速が早くないため水深係数は考慮しないものとした。

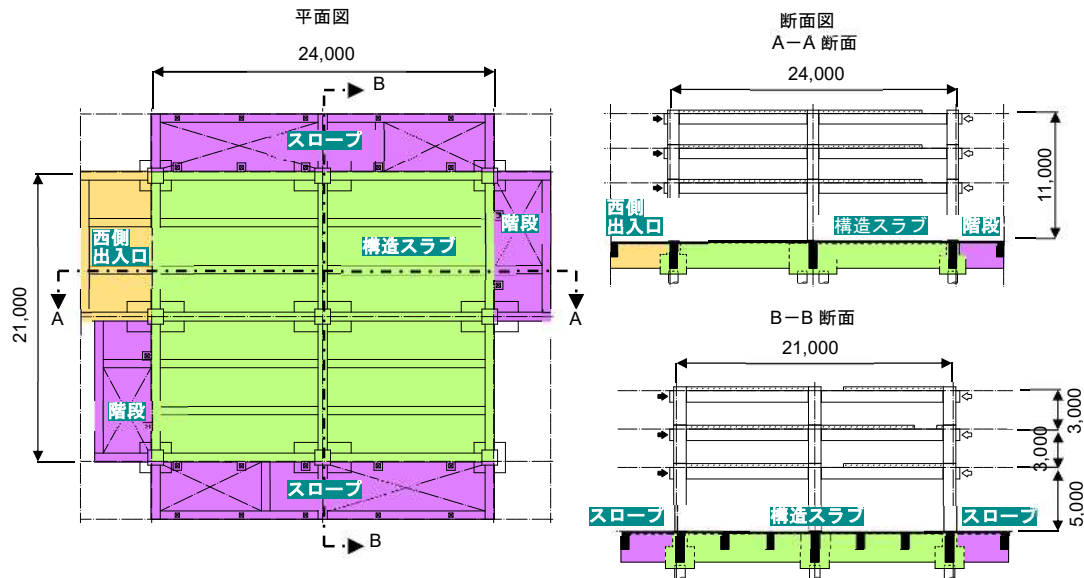


図-3 津波避難施設の構造寸法（提案時）

4. 施工計画

4.1 施工概要

本施設の施工に際しては、工場製作の PCa 部材および既成杭は長尺の運搬となることから、近隣地域の道路事情を考慮した運搬経路の設定を行った。また、施工時には大型重機（220t ラフタークレーン）を使用し、地上 10m を超える高所作業となることから、安全に十分留意することが重要であった。さらに、施工場所は地元住民の家屋が近いことから、第三者の安全に対しても配慮が必要となったため、各工事において 4.2 以降のような配慮を行い、安全性を確保した。

また、解体も含めた全体工期は、2021 年 3 月 23 日～2022 年 8 月 20 日の約 17 か月であり、本施設のみでの工事は 12 月より施工したため、約 9 か月で完了した。なお、近隣のレジュー施設の繁忙期にあたる夏季休暇期間（7 月末～8 月）は、4.6 で後述するように周辺道路の交通混雑に配慮し、主要工種および工事関係の大型車の通行を制限した工事抑制期間とした。さらに、昭和 9 年の伊勢大橋完成記念として始まった桑名水郷花火大会の開催された 7 月 30 日は完全休工期としたが、期日通りに施工を完了した。

4.2 基礎工事

本施設は、木曾川と揖斐川に挟まれた中洲にあり、さらに河岸隣接したエリアであることから、地盤が脆弱であった。支持層が地中深くにあるため、杭を 43m 以深の支持層まで打ち込む必要があった。本施設の建物高さは地上 13.3m であるが、杭の深度は十数階の建築物と同程度の深さまで打ち込むことにより、津波にも抵抗できるようになっている。なお、既成杭の運搬にあたっては、敷地の西側市道 2 路線に限定し、運搬前には周辺地域へ事前周知することで、周辺交通への影響を低減した。

杭工事は埋め込み杭工法のプレボーリング根固め工法（Hyper-ストレート工法）であり、オーガーヘッド、スクリー、攪拌ロッドおよび連結ロッドなどで構成される掘削攪拌装置を使用して施工した。まず、掘削

攪拌装置の先端を杭施工位置に合わせ、回転させながら所定掘削深度まで掘削した。その後、掘削底面において根固め液を注入し、上下反復して根固め球根を築造した。根固め液の注入完了後、杭周固定液注入範囲に杭周固定液を注入しながら掘削攪拌装置を引き上げ、施工された孔内に径 ϕ 800～ ϕ 1,000の杭を自沈または回転によって挿入し設置した。



写真-2 施工時写真一覧

4.3 PCaPC 工事

PCa 部材は、ピー・エス・コンクリート(株)滋賀工場にて製作した。毎月開催された定例会議において、東京建築支店の製品技術部と綿密な連絡を図ることにより、滞りなく部材の搬入が行われた。PCaPC 梁は長さが約 12m、重量が約 13t であるため、220t のラフタークレーンを用いて揚重を行った。PCa 部材の数量は、柱部材 27p、梁部材 36p、床部材 72p であり、PCa 部材の製作期間は、型枠数やアバットラインを削減するため 4.5 ヶ月で行った。

なお、敷地の近隣にラジオ局の電波塔があったため、ラフタークレーンを設置した際に電波を受信したことで異常電圧が発生した。架設の工期があることから、クレーンメーカーと協議を行い、絶縁フックおよびアース線を取り付けることで対処した。また、玉掛けなどに際しては、感電防止のための絶縁手袋を着用するなどの対策を行った。

架設のサイクルは、①柱部材の架設、②柱脚目地モルタル施工、③柱の PC 鋼棒の緊張、④梁部材の架設、⑤梁端部目地モルタル施工、⑥梁の PC 鋼材の通線および 2 次緊張、⑦床版の架設、⑧床上のトッピングコンクリートの施工、⑨梁の PC 鋼材の 3 次緊張、⑩PC グラウトの施工とした。なお、1フロアは 6 日サイクルで施工を行い、PC 工事の工程は 2 ヶ月で行った。施工時写真を写真-2 に示す。

4.4 鉄骨工事

本施設の避難通路として、建物の南北に鉄骨スロープと東西に鉄骨階段が取り付けられている。鉄骨工事は PCaPC 工事が完了した後に施工したため、基礎に埋め込んだアンカーボルトおよび PCaPC 部材に埋め込んだアンカー筋との接続に非常に苦慮した。また、各鉄骨部材も自立式であり、部材断面が大きいことから、

部材各ピースの重量も最大で4.2tあり、25tおよび45tのラフタークレーンを用いて揚重した。

4.5 電気設備工事

緊急時に円滑に避難するためには、避難通路を明確にする必要があったため、電気設備を設置することにより、地域住民だけでなくすべての避難者にわかりやすい施設とした。そのため、以下のような電気設備を設置することにより、夜間においても避難施設であることが明確となり、地域住民に対しても安心感を与える施設となった(図-4, 写真-3)。なお、当施設の電源供給は商用電源を使用せず、再生可能エネルギー(太陽光)と蓄電池で対応している。

- ・施設入口に津波避難施設を示す①ソーラー式看板(多言語対応)の設置。
- ・夜間の避難を想定し、避難経路となる外構、階段、およびスロープに避難誘導灯として、②ソーラー蓄電照明灯の設置。器具には待機時の出力を抑えた人感センサー検知式を採用した。
- ・3層目フロア(R階)には、③ソーラーパネル(90W×21台)を設置し、無日照時でも照明や情報収集機器を5日間程度使用可能とした。
- ・各層フロアには、④ソーラーパネルによる分離電源照明灯(2基)に加え、通信手段として必要な携帯電話などの充電やラジオ等電気製品使用に対応した⑤ACコンセント(4口)および⑥USBユニット(8口)を設置(各1基)した。

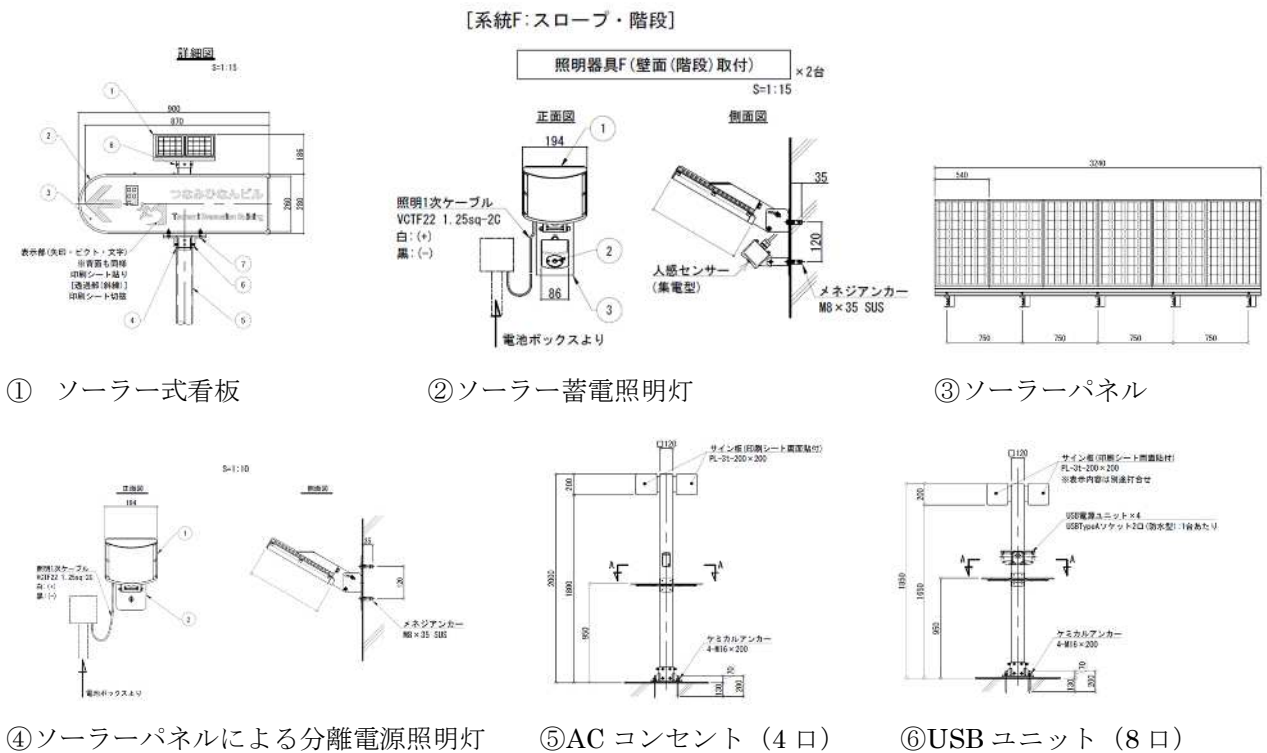


図-4 本施設に設置した各器具類



日景



夜景

写真-3 照明器具の設置による昼夜の全景

4.6 安全対策について

建設地の近隣にレジャー施設があり、休日になると多くの来園者が訪れるため、休日における資材の搬入を制限した。PCa 部材をはじめ資材を運ぶ車両の搬入、生コン車によるコンクリート打設は平日に行うように工程を管理し、車両事故の防止も併せて、工事工程に支障が出ないよう配慮した。

なお、本施設の周囲には障害物がなく、河川に囲まれた地域であることから風の影響が強い。特に冬期には強風になることが多いため、デジタル風速計を設置し、瞬間風速だけでなく、平均風速においても基準以上に達した場合には、クレーン作業を中断することとした。また、一般的には足場には資材などの飛散防止、および足場作業、通行者の安全対策のために防護シートを掛けるが、強風の抵抗を防護シートが受けて足場が倒壊する危険性が増すことから、本現場では巾木を設置することで防護シートを取り外すこととした。ただし、シートを外したことによる資材などの飛散を防止するために、現場内の資材の整理整頓およびゴミ拾いなどを作業員全員で徹底した。

5. 技術提案に対する対応

本施設のプロポーザルにおいて、9つのテーマに対して71項目の技術提案を行った。テーマには、業務に対する実施方針や建設地の地域の活性化、耐震性・耐津波安全性、避難計画など多岐にわたっているが、本プロジェクトチームにおいて協働することで、ほぼ履行することができた。

5.1 場所打ちコンクリートおよび PCaPC 工事の品質に対する対応

津波避難施設は、いつ発生するか想定できない事象に対して長期間使用する必要があるため、耐久性を向上させる品質向上対策が重要であった。

場所打ちコンクリートについて、自社試験において湿潤養生が10日間に延長することで耐久性向上の指標となる透気係数が1/4に低減され、緻密度が大幅に向上することが確認されていることから、養生マットを用いて湿潤養生を材齢10日まで延長して実施した。

PCaPC 工事においては、プレストレスの導入管理はデジタル式の圧力計を採用し、管理制度の向上を図った。また、PC 鋼材を腐食から保護するための PC グラウトは、材料にプレミックスタイプ、水は自動計量装置を使用することで、計量誤差を防止して所定の品質を確保した。PC グラウトの注入では超粘性タイプ（太平洋ハイジェクターPremix-A1）を採用し、真空ポンプによって減圧注入を行った。

5.2 BIM の活用

3次元モデルによって実構造物をイメージしやすくし、品質の確保および円滑な事業推進を図るために BIM を活用した。使用した BIM は、Revit および Navisworks (Autodesk) であり、仕口部における定着体およびシースの干渉の確認(図-5)を行うことで、部材製作における品質の確認、また現場打ち基礎部と PCa 柱柱脚部の収まりを確認した。また、地上の PCaPC 躯体の施工ステップを作成(図-6)することにより、可視化により施工時検討の漏れを防ぐなどに利用した。なお、毎月開催された定例会議において、監理者、設計者、および施工者が一堂に会し、計画中の製作および施工方法による問題点の有無の検証や、安全及び品質管理上における留意事項について確認した。

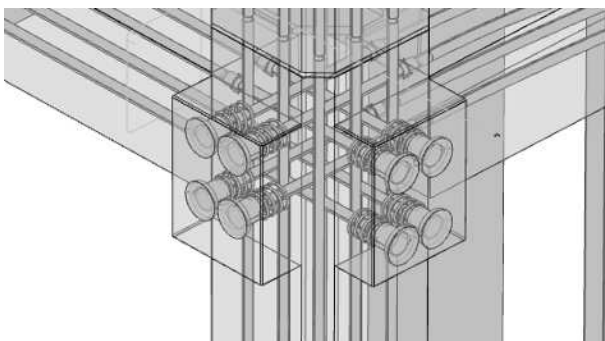


図-5 定着体の収まり確認 (BIM)

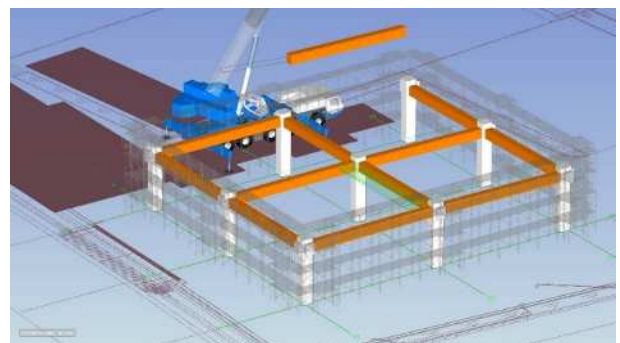


図-6 施工ステップ (BIM)

6. まとめ

本施設は、提案力を求められる設計施工一括・公募型プロポーザル方式に対し、本部および各支店が一体となった社内横断型の協働プロジェクトを立ち上げ、技術提案書を作成し受注に至った。本プロジェクトを通して、土木・建築の部門を横断した協働による受注の在り方を示す先進的な事例（写真-4）となった。

謝辞

本施設の受注、設計および施工では、発注者の方々の多大なご支援をいただいた。また、本プロジェクトに携わった、本部、各支店および営業所の担当者各位、ピー・エス・コンクリート(株)滋賀工場に対し、本稿をもって心よりお礼申し上げます。



写真-4 竣工写真一覧