

「白金の丘学園」 ～板状のPCaPC 部材を用いた張弦構造～

株式会社 日建設計 勝矢 武之
宇田川貴章



写真-1

1. はじめに

1 階を体育館、その上部屋根を運動場とした学校施設において、剛性・耐力が高い板状のPCaPC 部材を用いた張弦構造を屋根梁とした。

運動場という用途、つまり子供たちが日常的に運動を行う屋根・床として、居住性の点で問題のない性能確保が絶対条件であった。そのため、張弦材の下弦材をテンション材の線材ではなく、厚みのある帯状のコンクリートの板とし、初期張力、プレストレス力を入れ、版自体を長期荷重にも圧縮状態とすることで、耐力に加え、剛性にも寄与させた。

これにより、性能に加え、美観にも特徴ある構造を実現させることができた。

表 1 建築概要

建物名称：白金の丘学園 所在地：東京都港区白金 建築主：港区 設計監理：(株)日建設計 施工者：大成建設(株) 建築面積：7,519.50㎡ 延床面積：17,967.66㎡ 階数：地下1階、地上6階、塔屋1階 最高高さ：29.7m 工期：2012年7月～2014年12月	【低層棟】 階数：地上2階 構造：鉄筋コンクリート造・一部プレキャスト プレストレスコンクリート造、鉄骨鉄 筋コンクリート造 【中層棟】 階数：地上1階、地上6階、塔屋1階 構造：鉄筋コンクリート造
--	--

2. 建築計画概要

敷地が北西に下っていく斜面地であることから、道路沿いの北側足元に2層の低層棟をつくり、ここに道路沿いに体育館やホールなど地域に開放する「地域連携ゾーン」を配置し、街と学校をつなぐスペースを生み出した。そして低層部の屋上と斜面の上を連続させて「第二の地盤」を生み出し、ここにグラウンドを配置した。

南側の教室主体の中層棟では、4-3-2の学年区分をベースに1~3階に第1期4学年、5階に第2期3学年、6階に第3期2学年の教室を配置し、成長段階に基づき緩やかな分節を行った。(図-1)。

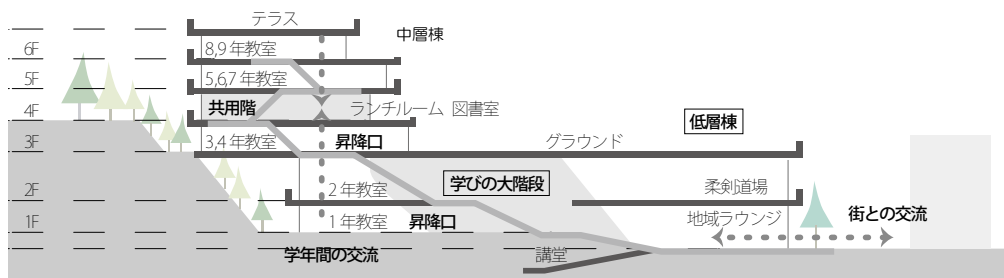


図-1 断面構成

3. 構造計画概要

(1) 全体計画

本計画の特徴の一つは高低差のある敷地を有効活用するため、体育館の屋根を運動場としたことである(写真-1)。そうすることで敷地に余裕をもたせた配置計画となるが、運動場という用途、つまり子供たちが日常的に運動を行う屋根・床としての構造体であるため、居住性の点で問題のない性能確保が絶対条件であった。

そのため、張弦材の下弦材をテンション材の線材ではなく、厚みのある帯状のコンクリートの版とし、初期張力、プレストレス力を入れ、版自体を長期荷重にも圧縮状態とすることで、耐力に加え、剛性にも寄与させた(写真-2、写真-3)。



写真-2 張弦構造

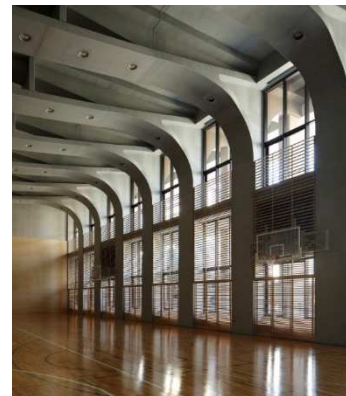


写真-3 張弦構造(AI 通り)

これにより、振動数も4Hz程度となり歩行振動の共振領域から外れ、必要性能を確保でき

た。

体育館の屋根の構造のほかのもう一つのテーマは、大スパンを有する2階建ての低層と12mの高低差の敷地に6階建、4階建が跨る中層棟の構造のつなぎ方である。用途上は1,2階で一体となる平面計画であるため、止水ラインをなるべく設けたくない。しかし、低層棟は、直接地業べた基礎（一部地盤改良）で壁主体の架構、高層棟は既製コンクリート杭で壁付ラーメン架構である。基礎、架構とも異なる形式のため、EXP.Jを設けて別構造とした（写-4,図-2）。

耐震設計上は、いずれも1,2次設計とも1.25倍の重要度をかけ、耐震グレードを向上させる設計とした。

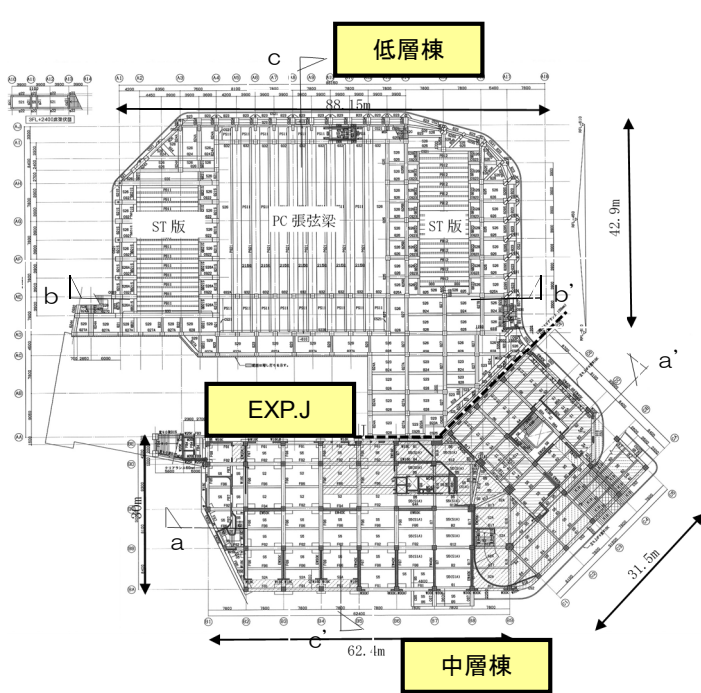


図-2 3階床梁伏図



写真-4 学びの大階段

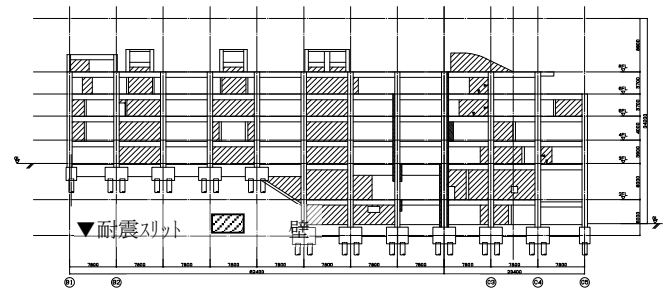


図-3 a-a' 軸組図

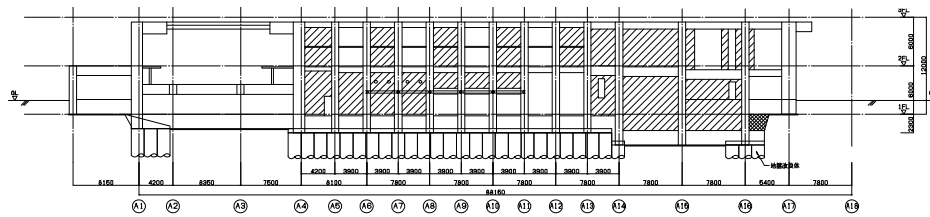


図-4 b-b' 軸組図

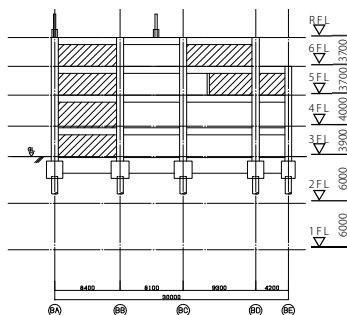
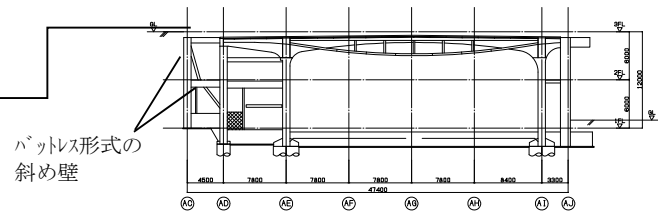


図-5 c-c' 軸組図



(2) 板状のPCaPC 部材を用いた張弦構造

PCaPC 部材を用いた張弦構造の最大スパンは 31.8m であり、端部を剛接合とし、連続梁とすることで剛性を高めている (図-4, 5, 6)。短スパンとなるA J 通り側の外端柱には、長期荷重時に引張力が生じることが予想されたため、PC 鋼棒(2-32φ)により予め圧縮力(導入力 1196kN)を導入し、固定度を確保した。A J 通り部分の基礎スラブ厚さはカウンターウェイトとするため 1800mm とした (図- 5, 6)。

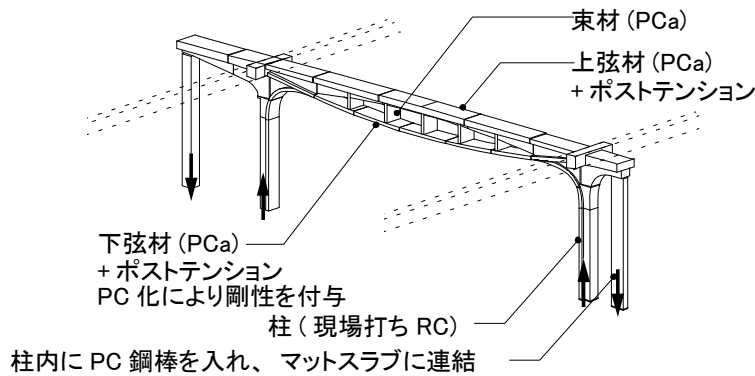


図-6 PCaPC 張弦梁概念図



写真-5 張弦構造

下弦材は、天井材を兼用しており、幅 150cm 厚さ 25cm の PCaPC 版とし、高さ方向の形状は、放物線を近似した円弧とした。スパン中央において下弦材の下端から上弦材上端までは 2400mm とした。下弦材は AE 通り～AF 通り間、AH 通り～AI 通り間で上弦材と一体化させ、軸力を上弦材に伝達させている (図-7)。下弦材は長期荷重時においても引張応力が生じず圧縮材として抵抗するよう予め緊張力を与えることでフルプレストレスの設計とした。上弦材は幅 175cm、成はスパン中央で 75cm、端部で 250cm としている。張弦構造の間隔は 390cm とし、上弦材間には、ハーフプレキャスト版を用いた (写真-6)。

下弦材には一部照明用の開口(270φ、端部のみ 600mm×300mm×300mm)を設けている (写真-6)。

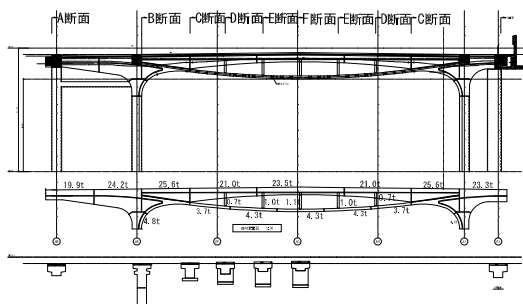


図-7 PCaPC 張弦梁形状図



写真-6 張弦構造

下弦材と上弦材をつなぐ束材は、幅 150cm、厚さ 20cm の PCaPC 版とした。上弦材及び下弦材と束材は 4-D22 を用いて一体化した（図-8）。

緊張力導入時に二次的な曲げが生じないようにシングル配筋とし継手は機械式継手とした。運搬性を考慮し、上弦材は 8 分割、下弦材は 5 分割とした。

上弦材も下弦材と同様のフルプレストレストの状態となるよう、バランス良く緊張力（上弦材 4c-7-15.2φ 導入力 4972kN、下弦材 6c-7-15.2φ 導入力 7458kN）を設定した（図-8）。

上弦材、下弦材共部材全体に緊張力が導入されるよう部材断面内で均一なケーブル配置とした。緊張による柱の水平方向の倒れを小さくするため、緊張方法は両引きとした。AE 通りと AI 通りの張弦構造と現場打ち柱の柱頭との接合部分は PCa 部材とし施工精度を確保した。

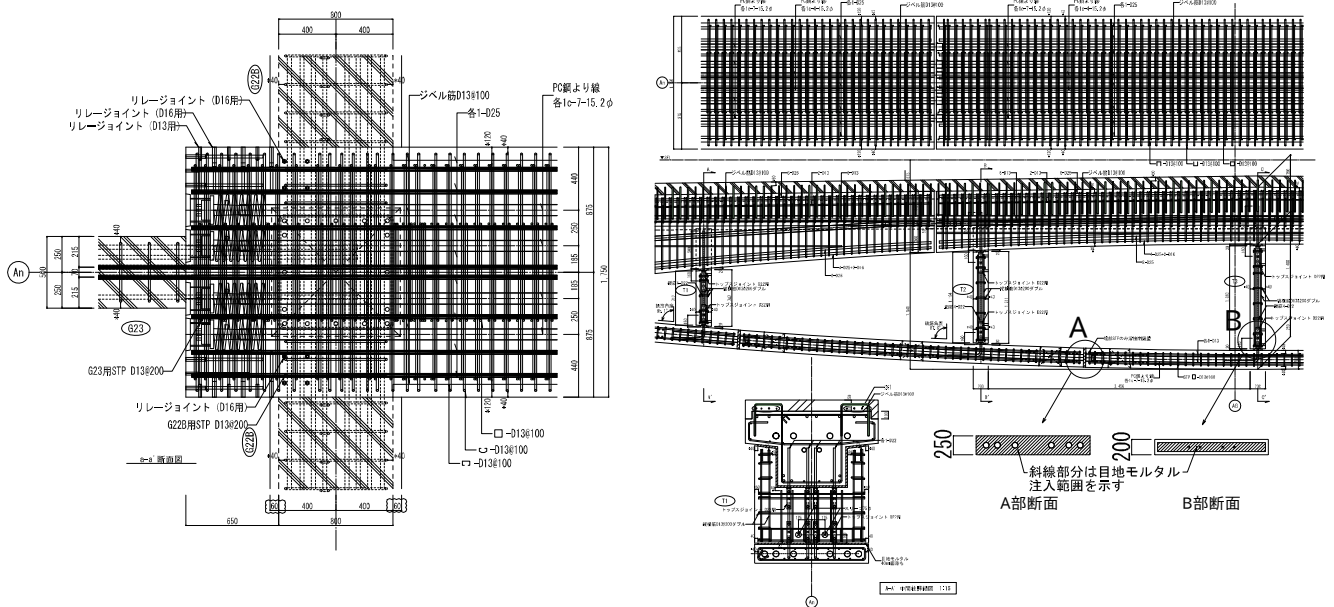


図-8 PCaPC 張弦梁束詳細図

3) FEM解析

PCaPC 部材を用いた張弦構造の各施工段階における応力・変形状態を確認するために FEM 解析を行った。解析ソフトは MIDAS を用いた。PCaPC 部材はソリッド要素でモデル化している。施工順序を考慮し、トップコン打設後に作用する仕上げ・積載荷重に対しては、トップコン断面もモデル化した別の解析モデルを用いて解析を行った（図 9）。

長期荷重時に PCaPC 張弦梁の各部材には、引張応力は生じていないことを確認した（表 1）。

緊張完了時のスパン中央変位は、約 5mm（上向き）、長期荷重作用時には約 6mm（下向き）となった（図 10）。各施工段階ごとの変位量の測定値はほぼ解析結果と一致した。

鉛直方向の固有周期は、固定荷重+積載荷重時において約 4Hz である。

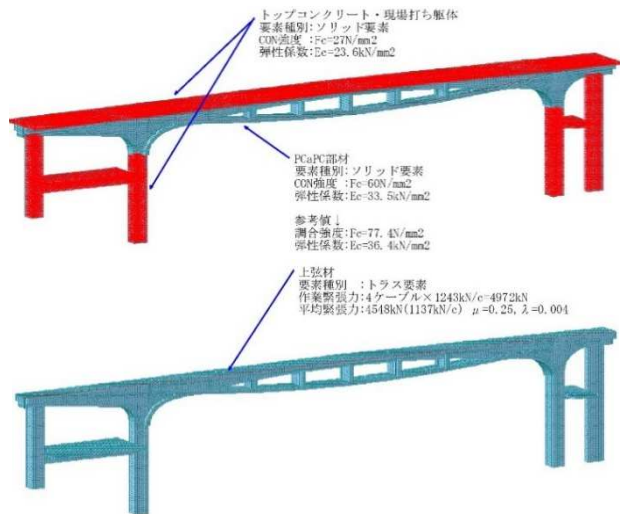


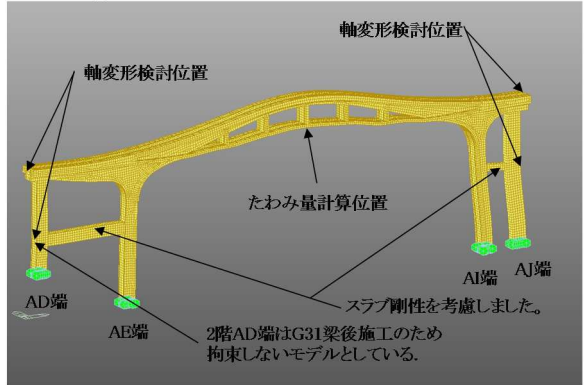
図-9 解析モデル図

表-2 解析結果

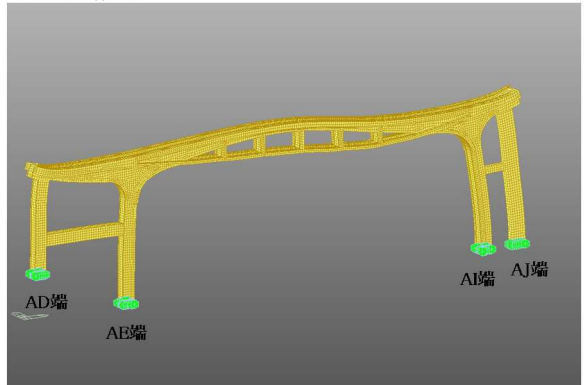
部材	位置	DL	PC板	PC鋼材	PC2次	PC	PC	TP	仕上	PCを考慮	STEP7	STEP8	STEP8+LL
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	しない応力	①~⑥	①~⑦	①~⑧
トップコン	上縁	-	-	-	-	-	-	-	-1.84	-1.84	-	-	-1.84
上弦材	上縁	-2.70	-0.35	0.07	-0.95	-2.49	1.74	-0.92	-1.71	-5.68	-4.68	-5.60	-7.31
	下縁	1.64	0.22	0.13	-0.99	-3.88	-9.01	0.57	2.42	4.85	-11.89	-11.31	-8.89
下弦材	上縁	3.14	0.45	-0.12	-0.42	-3.51	-9.83	1.18	3.98	8.74	-10.29	-9.11	-5.14
	下縁	2.93	0.42	-0.19	-0.34	-3.32	-9.97	1.10	3.83	8.28	-10.47	-9.37	-5.54

圧縮をマイナスとする(N/mm²)

下弦鋼材緊張時



上弦PC鋼材緊張時



仕上・積載荷重時

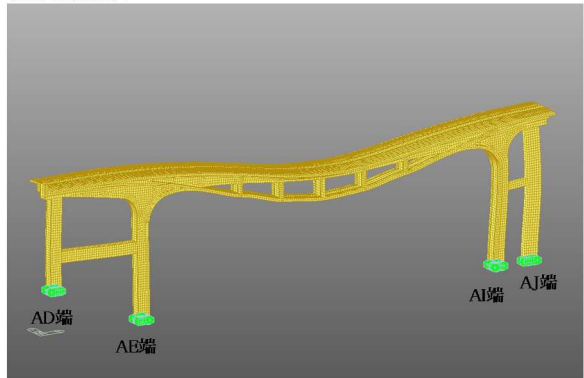


図-10 解析結果

4. 施工概要

(1) PCa 部材の製作

部材の形状及び配置を図 11 に示す。

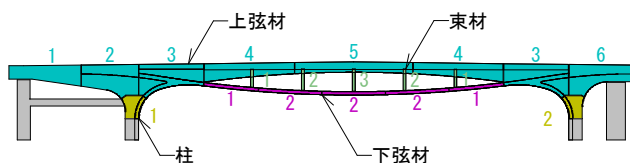


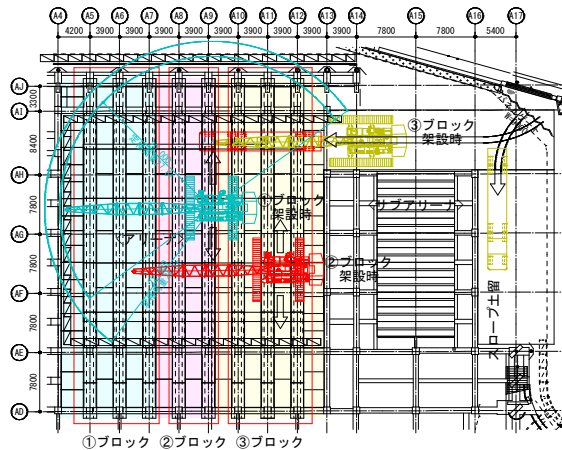
図-11 部材配置・形状図



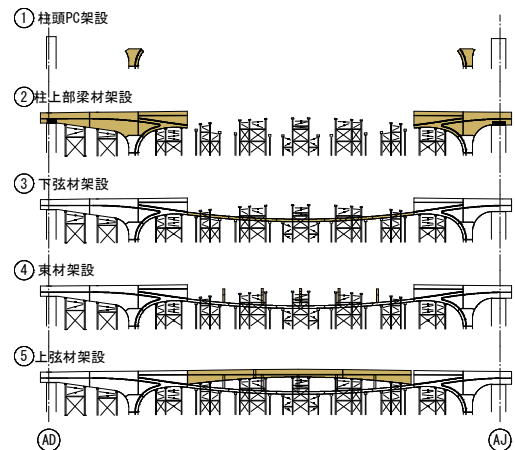
写真-7 下弦材 2 部材

(2) PCa 部材の建て方

架設計画図を図 12 に示す。敷地条件により A5 通りから A12 通り側へ架設を行ってクレーンを移動する建逃げ架設を行う必要があった。そのため支保工は施工完了後にジャッキを用いて全体を移動するシステムを採用した。工区は 8 梁を 3-2-3 梁の 3 ブロックに分けて、150t クローラークレーンを使用して架設を行った。



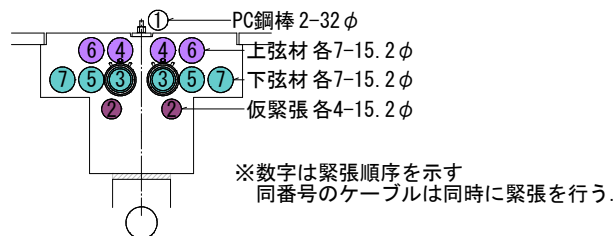
図一12 架設計画図



図一13 架設手順図

(3) 緊張工事

緊張工事は部材のひずみ及び変形を測定し、前述の FEM 解析の結果と比較して、適切にプレストレスが導入され張弦梁部材の性能が発揮されているかを確認しながら行った。プレストレス導入にあたって周辺躯体の拘束条件が解析モデルと一致するよう後施工範囲を計画した。上下弦材の緊張作業は、ステップを 5 段階に分けステップ毎に隣接フレームに移って軸変形差を少なくなるよう配慮した。



図一14 緊張ステップ図

(4) ひずみ及び変位の測定

躯体表面のひずみ計測は1ブロック中央のA6通りにて実施した。上弦材中央(L6 および R6)のひずみ計測結果と中央鉛直変位(以下、ムクリ)測定結果を図-15,図 16 に示す。ひずみ測定値は解析値に近い値となり、左右差も見られなかった。掲載以外の各計測値も解析値に沿った値を示した。ムクリ量は緊張完了後(STEP7-2)で最大値 13mm となり解析値の 6mm より大きい値となったが、実測値と同様な傾向を示した。



写真-8 緊張状況

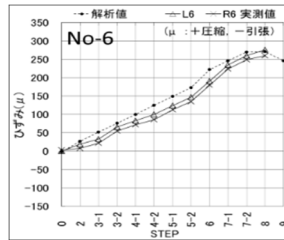


図-15 ひずみ計測値

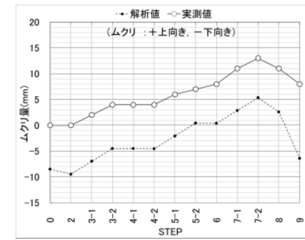


図-16 ムクリ計測値

5. おわりに

計画の段階から竣工に至るまで、大変お世話になりました港区の皆様と施工に携わった大成建設株式会社、株式会社ピーエス三菱をはじめ関係者の皆様方に感謝し、深く御礼申し上げます。

写真 3,5 撮影 Nacasa & Partners inc.