

5. 超高層RC造集合住宅の施工計画の合理化

社名:(株)フジタ

氏名:柿本 正和

事例概要

項目	内容
1. 工事概要	
(1)工事名称	西新宿五丁目中央北地区第一種市街地再開発事業新築工事(A1地区)
(2)規模(延床面積、階数)	延床面積: 103, 911m ² 、地下2階、地上60階、塔屋2階
(3)用途	共同住宅、店舗
(4)主要構造	RC造、一部S造
(5)建設地	東京都新宿区
(6)施工期間	2014年1月 ~ 2017年10月
(7)工事費	30, 869(百万)
(8)設計者	株式会社フジタ首都圏支社一級建築士事務所
2. 改善概要	
(1)問題点・背景 (施工上あるいは従来工法の問題・課題など改善前の状況)	<ul style="list-style-type: none"> GL-16. 5mまでの掘削で82, 000m³もの土量を搬出しなければならず、地上工程を確保するために、土工事期間を短縮しなければならなかった。 200mを超えるフルPCaによる躯体工事のため、強風によるタクトの遅れが生じる問題があった。
(2)改善の目的	<ul style="list-style-type: none"> 土工事、山留め工事の合理化によって、工期短縮とコストダウンを図る。 既存公共埋設物と地盤アンカーの品質を確保する。 竣工日厳守のために、地上工事のタクト工程を4日/階とする。
(3)改善概要	<ul style="list-style-type: none"> 地盤アンカーの設計の見直し、また追加ボーリング調査より得られる地盤の詳細評価による山留め壁芯材の見直しをする。 施工BIMによる地盤アンカー干渉チェックを実施する。 高自立タワークレーンと高速工事用エレベーターを採用する。 ALC立上りのサイトPC化、支保工の先行架設、昇降式荷受構台を採用する。
(4)改善による効果	
・Q(品質)	・高層部フルPCa化、施工BIMの活用により、高品質を確保した。
・C(コスト)	・山留め芯材見直しにより20%、地盤アンカー設計見直しにより20%削減した。
・D(工期)	・山留め壁芯材見直し、地盤アンカーの採用、地山スロープによる掘削で、土工事を1. 5ヶ月短縮した。高層部タクト4日/階を崩さず、工期を厳守した。
・S(安全)	—
・E(環境)	—
・その他の効果	—

超高層RC造集合住宅の施工計画の合理化

株式会社フジタ 東京支店
柿本 正和

1. 概 要

JR 新宿駅の西約 1.2km に位置する地上 60 階建ての超高層鉄筋コンクリート造集合住宅が 2017 年 10 月に竣工した（写真 1）。新築工期のみでも 4 年弱を要する大型工事である。新築工期が 4 年弱あるものの、60 層もの地上工事では約 2 年の工期を必要とすることから、地下工事における工期の遅延は許されない状況にあった（図 1）。

そのような中、着工前より、山留め計画、掘削工事計画について最適な計画とするべく多くの検討を重ねた。また、超高層、特に 60 層もの RC 造建物を施工するにあたっては、1 層あたりの躯体施工を如何に効率良く進めるかが重要となる。そのため、柱や梁をはじめ、柱梁接合部、床、階段のほとんどの躯体をプレキャスト（PCa）化し、かつ 3 台のタワークレーンを効率良く稼動させることで、1 層あたり 4 日での施工を実現した。

本報では、都心という制約条件の多い中、大型案件において、工程遵守ならびにコスト低減のために取り組んだ地下工事・地上工事計画の課題解決、改善を行った内容について報告する。

2. 工事概要

工事名称 西新宿五丁目中央北地区第一種市街地再開発事業新築工事

工事場所 東京都新宿区西新宿五丁目 700 番

施 主 西新宿五丁目中央北地区市街地再開発組合

設 計 株式会社フジタ首都圏支社一級建築士事務所

施 工 株式会社フジタ東京支店

工 期 2014年1月1日~2017年10月31日

構造：鉄筋コンクリー

用途：共同住宅、店舗

規模：地下2階、地上60階、PH2階

敷地面積：7,530.65m²

延床面積：103,911.4

建物高さ：199.16m 最高高さ：2

基礎工法：場所打ち鉄筋コンクリート杭



写真1 建物全景

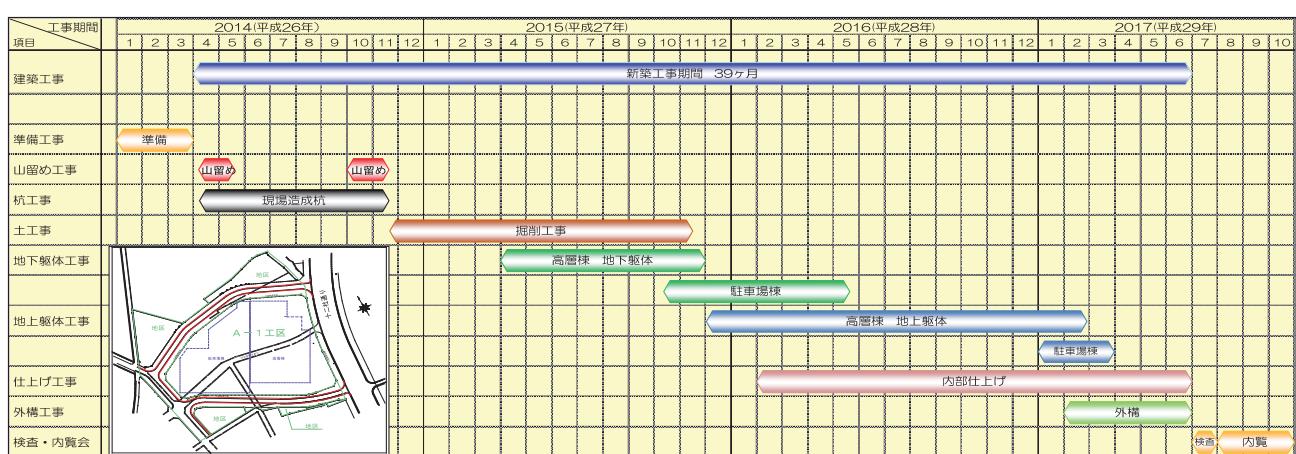


図 1 全体工程

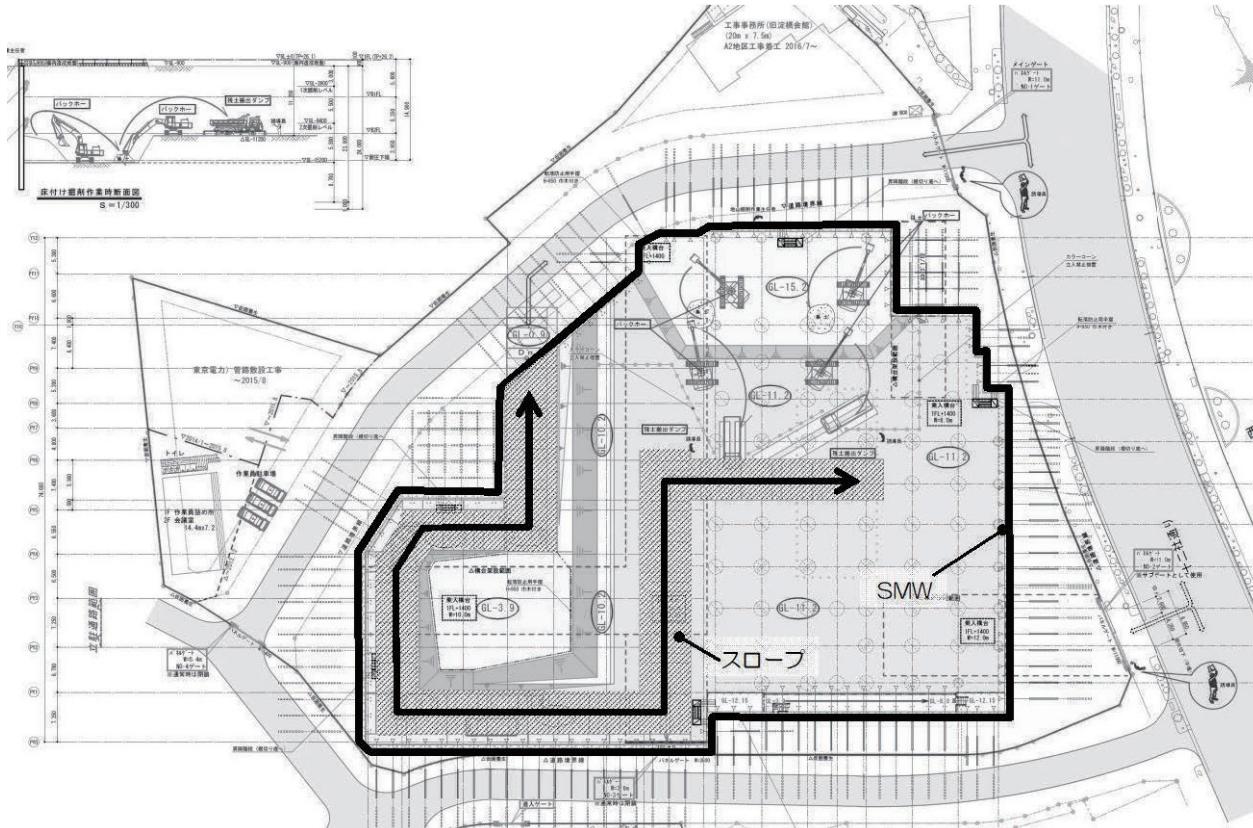


図2 土工事における総合仮設計画図

3. 山留め計画と実施

掘削工事における総合仮設計画図を図2に示す。

計画建物は、地下2階で床付け面GL-14.7m（最深部GL-16.5m）と深く、また地下水位がGL-3～4mであることから、山留め壁は全周ソイルセメント壁（以下、SMW）とする計画とした。

計画敷地内には、既に4箇所のボーリング調査が実施されていたが、敷地が広大であるため、調査量が不足していると考えられた。そこで、杭の設計妥当性の確認と山留め設計用を兼ね、6箇所のボーリング調査を追加で行った。一例として追加調査した柱状図を図3に示す。

掘削工事では、山留め壁近傍において大型重機による作業が計画されていたため、これを考慮した上載荷重20kN/m²の設計を行う必要があり、過大な山留めの変形が懸念された。

山留めの設計では、砂質土の場合、通常は粘着力を考慮しないが、上載荷重を考慮した山留め設計を行うと山留め芯材が大断面となることが予想された。

そこで、粘性土を含んだGL-5.5～9.0m付近の東京砂層に対し、3軸圧縮強度試験を実施し、その結果から得られた粘着力C=23kN/m²、内部摩擦角φ35°を地盤定数として採用し、山留め壁の設計を行うことで山留め芯材を必要最小限とすることとした。

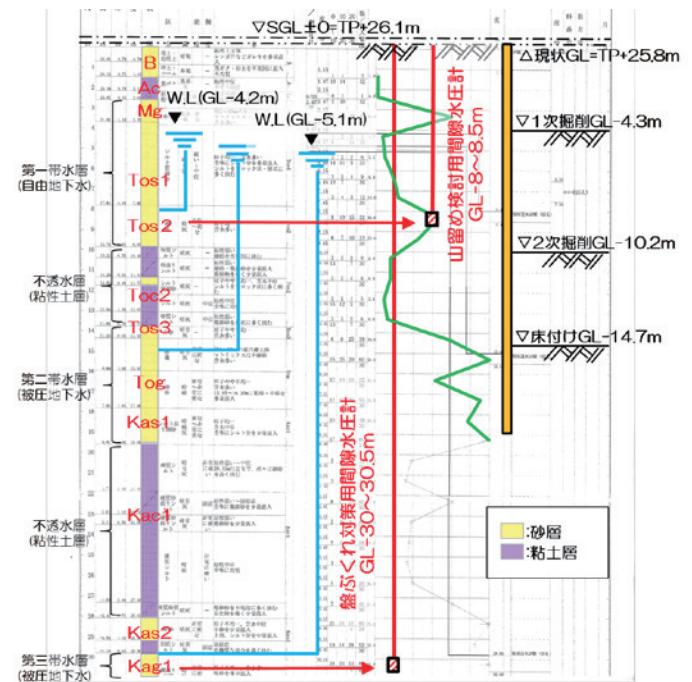


図3 ボーリング柱状

当初、SMW の芯材は、H-500×200×10×16 で計画を進めたが、壁の剛性が小さく、変形を許容範囲内とするには芯材間隔を@450mm とする必要があった。

この場合、芯材の総重量が大きくなることから、大口径 ($\phi 850$) の削孔を行い、芯材を H-700×300×13×24 とし、芯材間隔を@1.2m とすることとした。これにより、芯材重量を約 2 割削減することができた。

しかしながら、芯材間隔を大きくしたことにより、ソイルセメント部分に作用するせん断応力度が増大したため、通常の SMW で用いられるソイルセメントの設計基準強度 $F_c=0.5\text{N/mm}^2$ に対し、 $F_c=0.8\text{N/mm}^2$ とすることで対応した。また、確実な遮水壁を構築するため、ソイルセメント長は GL-22m までとし、GL-20m 付近の上総層に対し十分な根入れを確保した。芯材長は $L=19\text{m}$ とした。

上記のほか、追加を含め得られたボーリング調査結果が東西南北で異なったことから、それぞれの地盤定数を用いて設計を行うとともに、山留め壁近傍での重機作業に伴う上載荷重についても 20kN/m^2 、 10kN/m^2 の 2 つのパターンにエリアを明確に分けて設計を行うことで合理化を図った。

4 地盤アンカーの計画および引抜試験

4. 1 地盤アンカーの計画

本工事における掘削土量は約 $82,000\text{m}^3$ (その内、高層棟部分は $61,000\text{ m}^3$) あり、掘削残土を如何に効率良く搬出するかが課題であった。そのため、掘削効率の高い地盤アンカー工法を採用することとした。地盤アンカーは、除去式アンカー 2 段の計画としたが、採用に際しては、本敷地周辺の都道、区道を占用する必要があり、民間工事において前例がほとんどなかったため、特に区道に対する協議に多くの時間を費やすこととなった。協議にあたっては、約 1 年間を費やしたが、本工事が市街地再開発事業であり、公共性があることなどから、占用が許可された。

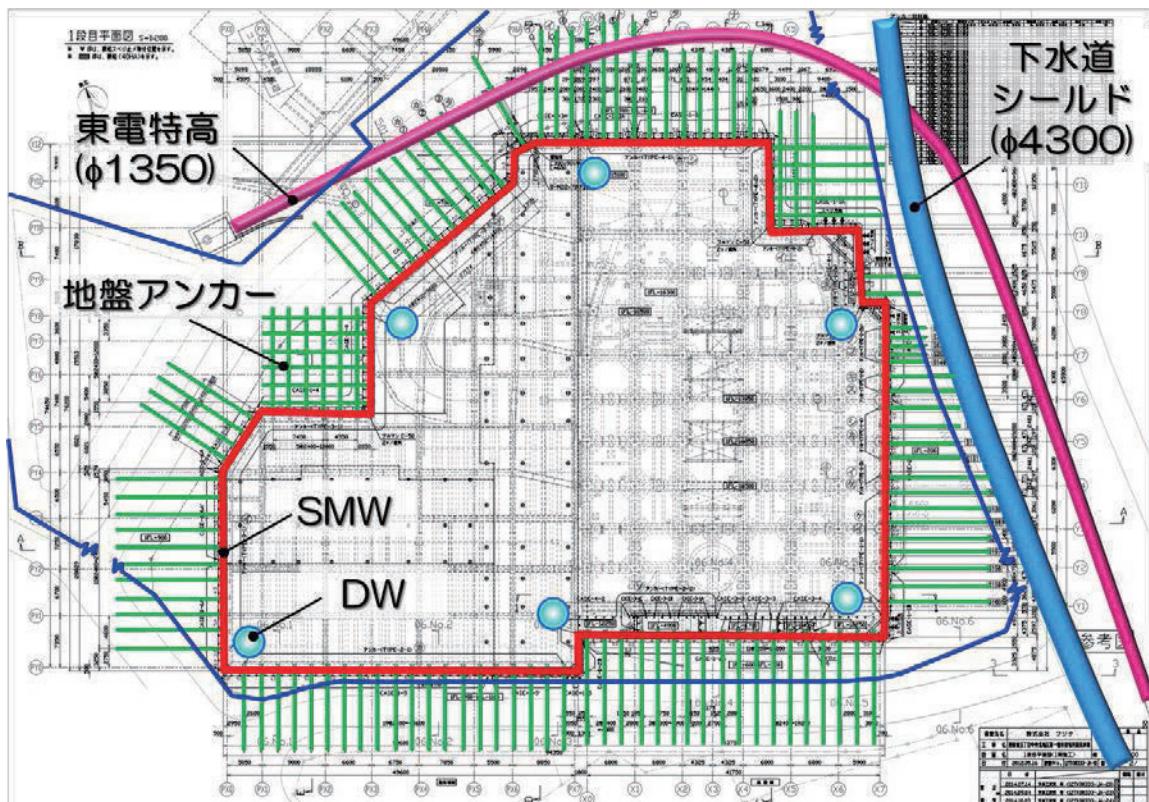


図 4 アンカー計画

地盤アンカー計画図を図4に、BIMによる地盤アンカーと周辺公共埋設物との干渉チェックを図5にそれぞれ示す。敷地の北側から十二社通り沿いの深度約16mの深さには、東京電力の特別高圧 $\phi 1,350\text{mm}$ の地下構造物が埋設されている。さらに十二社通りには、深度約11mの深さに下水道シールド $\phi 4,300\text{mm}$ も埋設されている。通常、地盤アンカーは45°の角度で設置されるが、そのような設置ではアンカーと埋設物と干渉する箇所が多数生じる。

そこで、北側および東側（十二社通り）について、地盤アンカーの断面をすべて作図し、アンカー1本ごとに干渉しない角度を設定した。

さらに、施工に際してはBIMを用いて三次元での最終納まりを確認した上で施工することにより、地下構造物に影響を与えないようにした。BIMの利用により、地盤アンカーによる公共埋設物への影響は全く生じず、高品質を確保できた。

一方、地下構造物との干渉を避けるために、アンカーアングルは35~55°となった。50°を超える角度でのアンカーの施工例は少なく、角度が大きくなつたことにより、台座を特殊形状の台座とする必要が生じた。

4.2 地盤アンカーの設計

一般的に、仮設の地盤アンカーの設計は、地盤工学会「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」¹⁾に基づき設計されることが多い。この基準により設計した場合、地盤アンカーの総延長が4,705mになった。

そこで、日本建築学会「建築地盤アンカー設計施工指針・同解説」²⁾を参考して設計を見直すこととした。定着体応力分布の概念を文献²⁾より引用して図6に示す。

同指針では、本計画で対象とした分散支圧型の除去式アンカーに対し、耐荷体の段数による荷重割増係数 β が1.0~1.6まで設定されており、これは、図6(a)に示すように、緩い~中位の砂層に定着した実験において、下段の耐荷体に比較して、上段の耐荷体ほど大きな荷重が生じるという実験結果を考慮したものである。

一方、図6(b)に示したように、剛性の大きい地盤に定着させた場合には、そのような傾向は見られない、旨の記述が解説になされており、本地盤アンカーの設計では、このことに着目し設計を行うこととした。

すなわち、本計画では、地盤アンカーをGL-14m以深のN値40以上の東京層に定着させる計画としていることから、耐荷体の段数による荷重割増し係数を考慮せず $\beta=1.0$ として

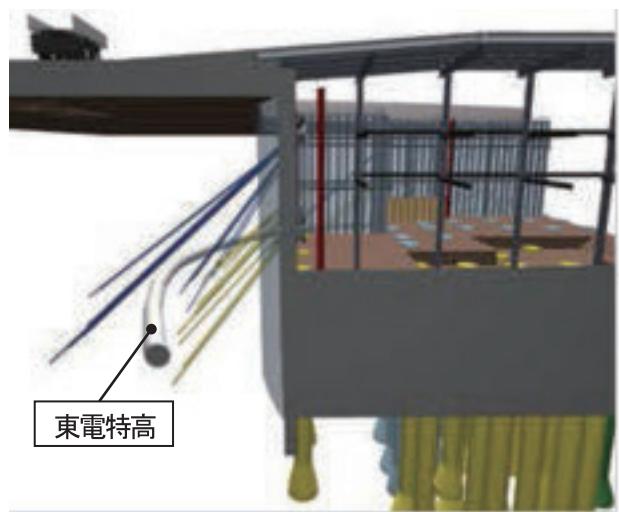
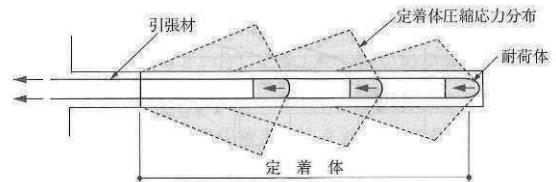
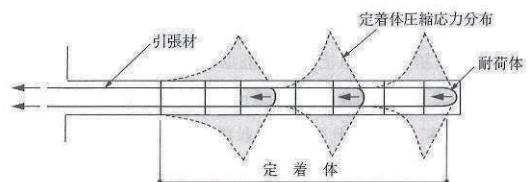


図5 BIMによる地盤アンカーと
周辺公共埋設物干渉チェック



(a) 定着地盤の剛性が小さい場合



(b) 定着地盤の剛性が大きい場合

図6 定着対応力分布の概念²⁾



写真2 地盤アンカー引抜き試験状況

設計することとした。これにより、地盤アンカーの総延長が4,705mに対し、8割弱の3,607mに削減することができた。

4.3 地盤アンカーの引抜試験

前記のとおり、荷重割増係数 $\beta=1.0$ として地盤アンカーの設計の妥当性を検証する必要があった。そこで、洪積層である東京砂層での地盤アンカーの極限引抜抵抗力を確認した実績がなかったこともあり、地盤アンカーの引抜試験を実施することとした。引抜試験状況を写真2に示す。定着長は1.5m、耐荷体は3段とした。

引抜試験は、地盤アンカーを打設した約1ヶ月後に実施した。引抜試験により得られた荷重と変位量との関係を図7に示す。最終的に最大荷重690kNまで加力を行ったが、荷重～変位量関係は概ね弾性挙動を示した。これ以上の加力はPC鋼より線の脆性破断を招く危険性があつたため加力を中止した。

試験結果より、PC鋼より線の強度によって決定した最大荷重を見なしの極限摩擦応力とし、仮設時(2年未満)における許容摩擦応力度を定めたとしても $\tau_a=542\text{kN/m}^2$ が得られ、引抜試験を省略する場合の許容摩擦応力度9N(N=40)の1.5倍以上であることが確認された。これにより、荷重割増係数 $\beta=1.0$ を採用した地盤アンカーの設計が、十分な安全性を有していることを確認した。

5. 堀削工事の計画

本工事では、高層棟がクリティカルパスとなるため、高層棟部分を先行して堀削工事を進める必要があった。

高層棟部分の堀削工事の遅延は、あと工程に大きな影響を及ぼすため、図2、写真3に示すように駐車場棟を法面として残し、敷鉄板によるスロープを造成し、床付け面まで直接残土搬出車両を下ろして堀削した。この計画のためには、前述の地盤アンカーの採用は不可欠であった。

その結果、高層棟の堀削土量61,000m³に対し、1,000m³/日もの残土搬出が安定して実施でき、高層棟の堀削を3ヶ月で完了することができた。これは、全面切梁架設をした場合の工期と比べ、約1ヶ月の短縮となった。

なお、駐車場棟は21,000m³であり、この堀削については構台上からテレスコクラムによる堀削を中心に行った。

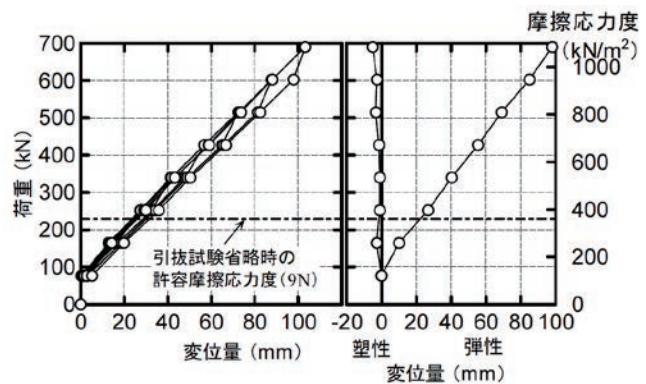


図7 アンカーリー引抜試験による荷重～変位関係



写真3 堀削状況

6. 地上躯体施工計画と実施

6.1 施工計画概要

地上躯体工事の検討フローを図8に示す。本工事のポイントは、地上60層の躯体構築であり、躯体サイクル工程が全体工期に大きく影響する。そのため、当初より地上サイクル工程を1層あたり4日とする前提に、その方策について図8に示すフローに沿い検討を重ねた。

揚重機の能力比較を表1に、揚重計画の検討図表を図9にそれぞれ示す。JCL460Hに比較して、吊り能力は劣るもの自立高さが高く巻き上げ速度、起伏速度、旋回速度に優れるJCL350NKを選定した。吊り能力の低さは、

建物内部に2基設置することで作業半径の小ささを補う計画とした。

また、図9に示す検討図表を基に検討を重ね、一日の作業時間を考慮した上で、最終的に3基のタワークレーンを設置する計画とした。1フロア2工区分けに対し、建物内部の2基が各工区の主な揚重用、外部の1基が両工区共通の補助用である。地上総合仮設平面図を図10に示す。

地上躯体工事における荷取り、コンクリート打設は低層棟上部に架設した構台上より行う計画とした。また、PCa部材の荷取りは相番クレーンを用いず、すべて運搬車上より直接行うこととした。

建物内部へ設置したタワークレーン2基は、内部仕上げ工事への影響を最小限とするためにフロアクライミング、外部の1基はマストクライミングとする計画とした。フロアクライミングに対しては、クレーン基礎部の本体梁下部に補強が必要となったが、盛り替えが極力迅速に行えるよう、方杖型ハの字補強を1層行うこととした。

工事用エレベータは、南側に2台、北側に1台の計3台とし、いずれも SEL-2000H（揚程 200m、積載荷重 2,000kg、85m/min）を用いた。台数の決定にあたっては、上階への資材の搬送量ならびに作業員の搬送人数や朝晩の渋滞時間を勘案した上で決定した。実際には、多数の見学者の搬送にも使用したため不足感は否めなかつた。

以上のように、本工事では、地上躯体工事のサイクル工程を4日/フロアを基本として工程計画を立てた。ただし、地上200mもの超高層建物の施工であることから、地上躯体工事の工程計画にあたっては、過去の気象データを基に、日最大風速12m/min以上の発生確率を考慮した稼動日数を設定した。

また、地上150mを超える範囲では、風の影響や高揚

項目	unit	min	min	hour	unit	hour	unit	hour	unit	hour	unit	hour	備考
	/unit												
大梁支保工	0	5	0	0.0	0								3号機
ALC	0	9	0	0.0		0							3号機
PCa床版	60	6	385	6.4		50	5.3		0.0				
コンピ音	21	121	25	0.4				2	0.4		0.0		
グラウト材	0	9	0	0.0	0								3号機
PC階段	2	23	47	0.8			2	0.8					
PC柱	343	9	320	5.3		34	5.3						
足場	43	15	60	1.0				4	1.0		0.0		
PCa大妻	37	171	644	10.7	22	6.4	4	1.2					3号機TOP負担(n=36P)
制震壁	18	30	30	0.5		1	0.5						
制震間柱	0	30	0	0.0									
鉢骨	7	12	87	1.4	7	1.4							
斜材・リブバー	8	5	40	0.7				3	0.7		0.0		
床板支保	0	5	0	0.0									3号機
リフトクライミング	4	120	480	8.0				4	8.0		0.0		
スラブ筋	6	6	38	0.6			6	0.6					
合 計					7.8	7.0	6.8	10.1		0.0			

図9 躯体タクト工程の検討図表

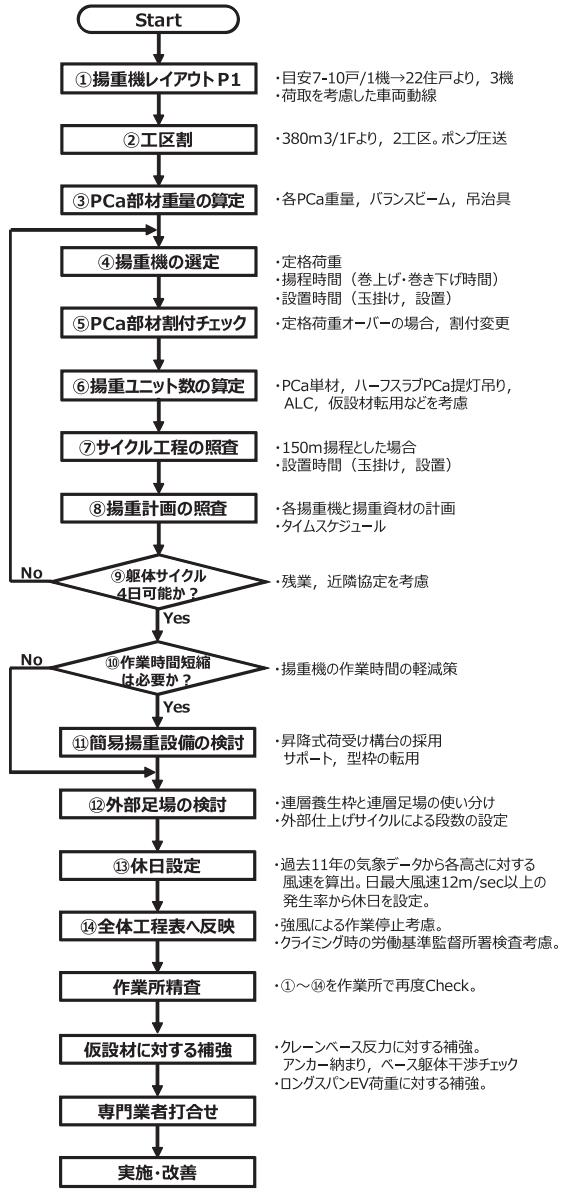
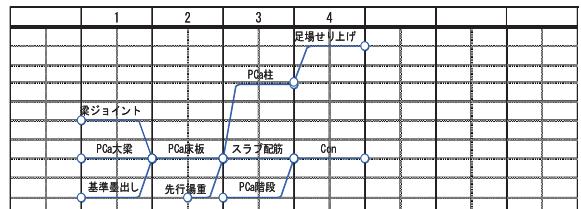


図8 地上サイクル工程の検討フロー

表1 揚重機の能力比較

項目	JCL460H	JCL350NK
吊り能力	35m×13TON 20m×20TON	35m×8TON 20m×16TON
巻上げ速度	低速 1.22~0.38m/s 高速 2.17~0.67m/s	低速 1.68~0.63m/s 高速 2.2~0.67m/s
起糾速度	0.27m/s	0.38m/s
旋回速度	0.045rsd/s	0.054rsd/s
フロアクライミング回数	7	5
マストクライミング回数	10	7



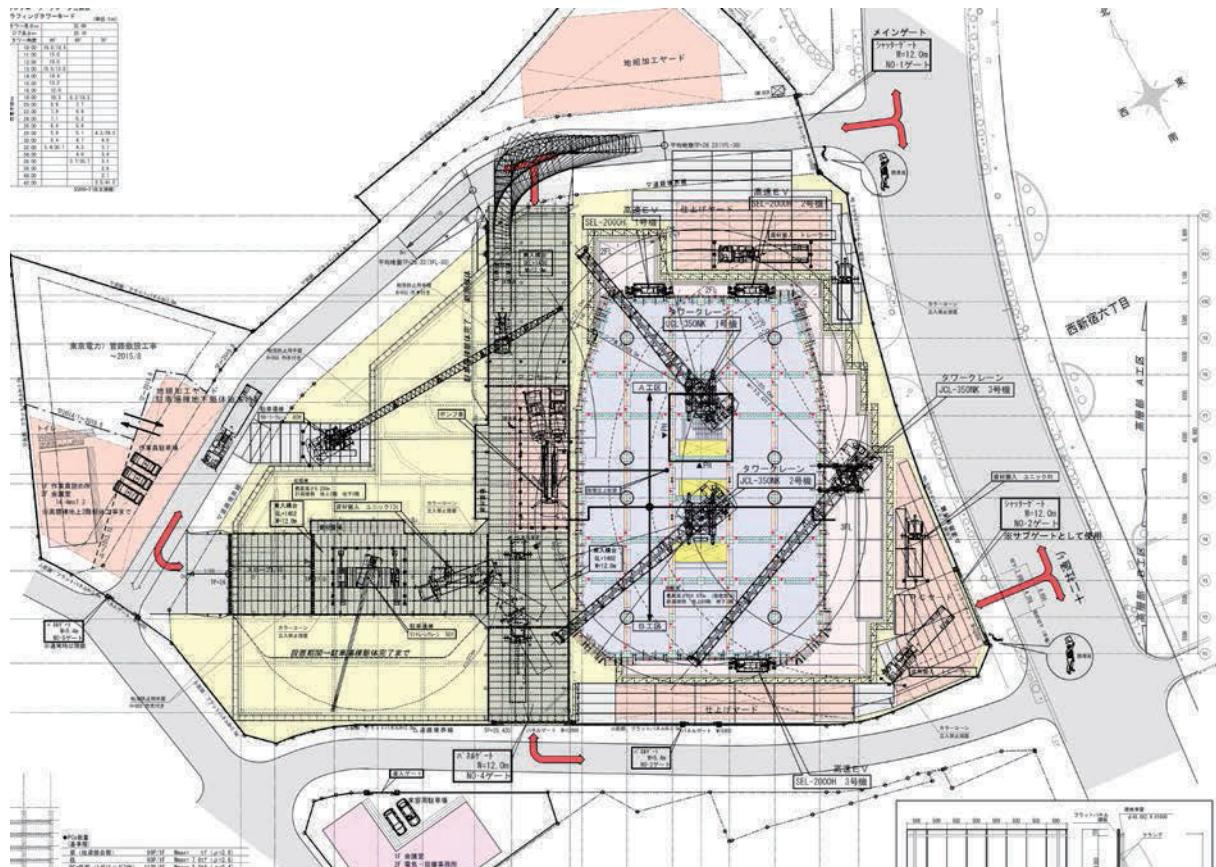


図 10 地上総合仮設計画平面

程に伴う揚重時間の延長を考慮し、45 階以上のタクト工程は 5 日/フロアの計画とした。この結果、地上躯体工事として約 15 ヶ月の計画とした。

本工事における外部足場は、せり上げ方式を採用した。せり上げ養生・足場の検討図を図 11 に示す。本建物は、基本的にアウトフレームのインナーバルコニー形式である。そのため、建物外周部の PCa 梁外面の塗装仕上げを PCa 工場で行うことにより、外部での作業は基本的に生じない。

一方、建物の四隅にはバルコニーがなく、直接外部サッシとなっているため、現場では外部作業を行わざるを得ない。これらを勘案し、図 11 の検討図を基に、躯体サイクル工程に合わせたせり上げを検討した結果、建物の四隅以外の部分は安全・飛散防止設備として 3.5 層分の養生、四隅部においては外部での作業用として 5.5 層分の足場が必要との結論に達し決定した。

6. 2 施工実施概要

本節では、前述の計画概要を基に実施した施工概要について述べる。全体工程表を図 1 に、作業状況を写真 4 にそれぞれ示す。実際の PCa 建方手順は以下のとおりである。

1) サイクル 1 日目

サイクル 1 日目の主な作業は、柱梁接合部を含む PCa 大梁の設置（写真 4a）である。PCa 大梁の揚重には伸びが小さい特徴を有する「マニラロープ」を用いて介錯し風対策を行った（写真 4b）。大梁受け支保工は、ハーフ PCa 大梁に受け治具を埋めることにより、床コンクリート打設前に支保工が設置できるようにした（写真 4c）。PCa 大梁の位置調整には「ピタカイ」（写真 4d）を用いることとし、設置後は直ちに玉外しをしてクレーンの占用時間の短縮を図った。大梁設置後は、PCa 柱梁接合部のグラウト充填、梁現場打ち部の配筋および主筋のグラウト注入を行った。

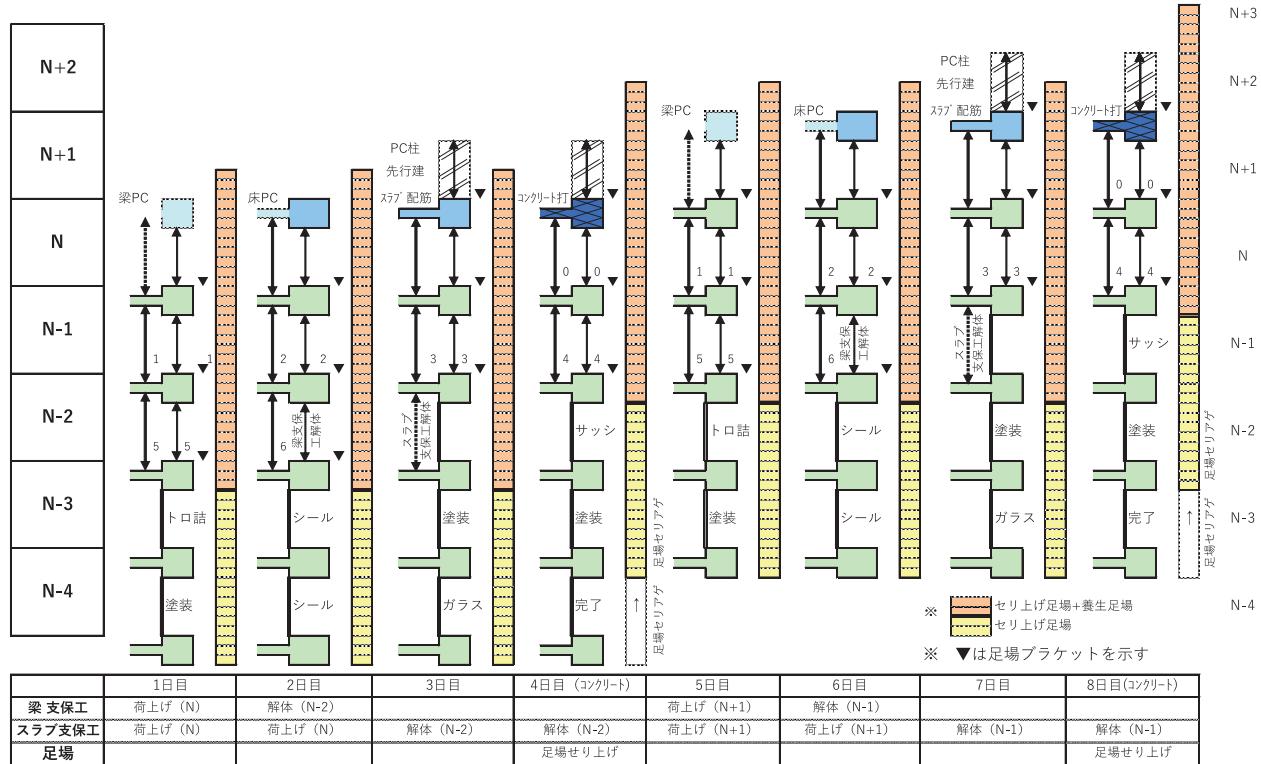


図 11 セリ上げ養生・足場の検討

2) サイクル2日目

サイクル2日目の主な作業は、ALC等の下階への先行投入資材の揚重およびハーフ PCA 斜ラブの敷設(写真4e)である。ハーフ PCA 斜ラブは、計画時では50p/日程度としていたが、実施においては習熟効果もあり、61p/日の敷設が可能となり、残りの時間を利用してサイクル3日目に予定していたPCA柱10p程度の建方を行うことができた。

3) サイクル3日目

サイクル3日目の主な作業は、PCA柱の建方(写真4f)および斜ラブ配筋である。柱の建入れおよびレベル調整は、PCA接合部上面に埋込んだレベル調整ボルト(4-M20)を用いた。また、位置合わせはPCA柱接合と同様に「ピタカイ」を用いた。斜ラブ配筋後は、バルコニー部分の溝型枠、段差床型枠を組立てた。セリ上げ養生・足場のクライミングおよび大梁受けの支保工の組立てもこの日に行った。

4) サイクル4日目

サイクル4日目の作業は、コンクリート打設である。コンクリート打設は、構台上より、縦配管にて各階に圧送した。ポンプ車には超高压仕様のポンプを用いた。事前の検討で選定した



写真4 施工実施状況

適用ポンプ車により、60階まで圧送することができた。

以上の4日/フロアのサイクル工程は、2工区分けに対し2日ズレで実施した。

約15ヶ月と計画した地上躯体工事であったが、実施では、強風による建方中断がほとんどないという幸運にも恵まれたこと、高揚程に伴う揚重時間の延長をPCa建方の習熟効果でカバーできたことなどにより60階まで4日/フロアのタクト工程が維持できた。その結果、約14.5ヶ月で地上躯体工事が完了でき、当初計画と比較すると0.5ヶ月短縮でき、その分仕上げ・外構工事へ費やすことができた。

6.3 効率化のためのその他の取組み

実施工においては、省力化やタワークレーンの稼働率向上のため、その他いくつかの取組みも行った。その一つはALC立上りのPCa化(写真4g)である。このPCa立上りは、作業所敷地内でのサイトPCaで製作し、スラブコンクリート打設前に設置した。バルコニーと室内側の段差スラブを一度に打設することで工程短縮を図った。もう一つは昇降式荷受構台「昇吉」である。「昇吉」(写真4h)は3層分昇降可能なため、特に仮設支保工の上階への輸送に効果的で、タワークレーンのPCa建方に掛かる稼働率を向上することができ、これらの取り組みは、4日/フロアのタクト厳守に貢献した。

7.まとめ

本報では、高さ200m、地上60階建て超高層RC造住宅の施工に関し、計画から実施に至るまでの合理化について述べたが、総括を以下にまとめる。

工期

交渉が難しかった地盤アンカーの採用により、大幅に掘削効率が改善され、土工事期間で約1ヶ月短縮できた。地上躯体工事では、45階以上で強風によるタクト工程の遅れを見込んでいた5日/フロアのタクト工程が、ほぼ4日/フロアでできること、高自立タワークレーンを使用してクライミング回数を減らせたこと、4日/フロアタクトにすべく、色々な取り組みが全て計画通りに奏功したことなどにより、約0.5ヶ月短縮できた。

コスト

追加ボーリングから得られた情報を基に、より詳細な山留め検討を実施したことにより、SMW芯材を20%削減でき、約1,000万円のコストダウンとなった。

地盤アンカーは、定着地盤がN値40以上の洪積層地盤(砂礫層)に着目し、耐荷体の段数による荷重割増係数 β の見直しにより、アンカー総延長が約20%削減できたことで、約700万円のコストダウンとなった。また、設計の見直しの妥当性を確認するため、地盤アンカー引抜き試験を実施した。

品質

BIMを用いて既存公共埋設物への干渉を事前に予測し、影響を与えることなく、地下工事が完了できた。また、地上階躯体をフルPCa化したことにより、高品質な躯体構築ができた。

【引用ならびに参考文献】

- 1) 地盤工学会:グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説、2012.5
- 2) 日本建築学会:建築地盤アンカー設計施工指針・同解説、2001.1

6. 野球場施設施工における各種省力化の取り組み

社名：株安藤・間

氏名：伊藤 高義

事例概要

項目	内容
1. 工事概要	
(1)工事名称	山形市新野球場建設建築工事
(2)規模(延床面積、階数)	延床面積: 7, 298m ² 、地上3階
(3)用途	野球場
(4)主要構造	PCaPC造(プレキャストプレストレスコンクリート造)、一部RC造
(5)建設地	山形県山形市
(6)施工期間	2015年7月～2017年6月
(7)工事費	3, 999(百万円)
(8)設計者	株式会社 本間利雄設計事務所
2. 改善概要	
(1)問題点・背景 (施工上あるいは従来工法の問題・課題など改善前の状況)	<ul style="list-style-type: none">建設地が山形県であり、冬季間厳しい気象条件が予測される中、実質工期20ヶ月(冬季間4ヶ月)での高品質を確保し、工期短縮を図る必要があった。施工上の主な課題として、PC斜め柱や段梁の施工精度の確保と、在来部分の工期短縮が挙げられた。
(2)改善の目的	<ul style="list-style-type: none">PC斜め柱、段梁の施工精度の確保。基礎と上部躯体在来部分における、省力化による工期短縮と品質の確保。
(3)改善概要	<ul style="list-style-type: none">柱に取付けた仮設水平ブラケットを支保工で受け、位置高さの調整を行った。基礎工事においては、鉄筋の先組工法、及びラス型枠を採用した。上部躯体在来部分においては、型枠と鉄筋を先組し、一体取付を行った。外野スタンド内側擁壁躯体のPCa化を行った。
(4)改善による効果	
・Q(品質)	<ul style="list-style-type: none">柱頭部の精度管理値に対し、斜め柱と段梁の施工精度を確保できた。外野スタンド内側擁壁躯体の品質が向上した。
・C(コスト)	—
・D(工期)	<ul style="list-style-type: none">躯体工期が4ヶ月短縮した。
・S(安全)	<ul style="list-style-type: none">高所足場上作業を大幅削減し、安全性を確保した。
・E(環境)	<ul style="list-style-type: none">ラス型枠、PCa化による型枠削減で環境負荷を低減した。
・その他の効果	—

野球場施設施工における各種省力化の取り組み

株式会社安藤・間 東北支店
伊藤 高義

1. はじめに

本工事は、野球場という特殊建築物を短工期で施工した実例である。短工期施工を実現するため、PC斜め柱、段梁の施工精度の確保と現場にて採用した省力化工法を紹介する。

2. 工事概要

工事名称： 山形市新野球場建設建築工事
発注： 山形市
設計： 株式会社 本間利雄設計事務所
監理： 株式会社 本間利雄設計事務所
山形市まちづくり推進部建築課・
河川道路整備課
所在地： 山形県山形市落合町1番地内
工期： 平成27年7月16日～平成29年6月23日
用途： 野球場
構造規模： PCaPC造、地上3階
基礎形式： 杭基礎 PHC、PRC、SC杭
径600～700 杭長30m230本
建築面積： 5,785.57m²
延床面積： 7,298.83m²
最高高さ： 16.4m
外装仕上： 外壁PC板・コンクリート打放：
フッ素樹脂塗装
押出成型セメント板：吹付タイル
内装仕上： 床：耐スパイク用ゴムタイル
壁：吹付タイル
天井：杉小巾板（準不燃処理）、
化粧石膏ボード
屋内練習場：床—人工芝
段床裏面—結露防止剤吹付

3. 問題点と背景

3.1 背景

本野球場は、スタンドに内野8,096席、外野4,164席、車椅子12席を設けた両翼100mの野球場である。

本建物（スタンド）の特徴として、両翼外野側スタンド観覧席（サブスタンド）の下に屋内練習場がある（写真-1、図-2～4）。屋内練習場のスペース確保のため、外側の柱は斜め柱、段梁はスパン30mで、それぞれPC鋼棒、PC鋼線で圧着する工法となっている。

斜め柱は2分割、段梁は4分割されており、部材の最大重量は斜め柱25.3t、段梁20.4tと重い。また斜め柱の間にはアルミカーテンウォールが配置されているため、建方時の支保工計画と精度確保が重要である。

本建物の供用開始時期は平成29年9月に決定してお



写真-1 全景



写真-2 室内練習場

り、工期厳守（24ヶ月）が求められていた。その中で、施工場所の気象条件から、冬季（1月～2月）の2シーズンはコンクリート打設、外構工事等が困難であり、当初から4ヶ月の工期短縮が求められていた。

そのため、労務確保に懸念がある在来工法部分の施工合理化、省力化工法の採用による工期短縮が必須の課題であった。

3.2 問題点（改善の目的）

本工事では、上記の背景等から、以下の2点を重点課題と捉え、問題解決に取り組んだ。

【品質】 PCaPC部材の精度確保（斜め柱、段梁）

PCaPC部材の施工精度 位置精度

（管理値±5mm）

【工期】 在来工法部分の工期短縮 -4ヶ月



図-1 全体配置

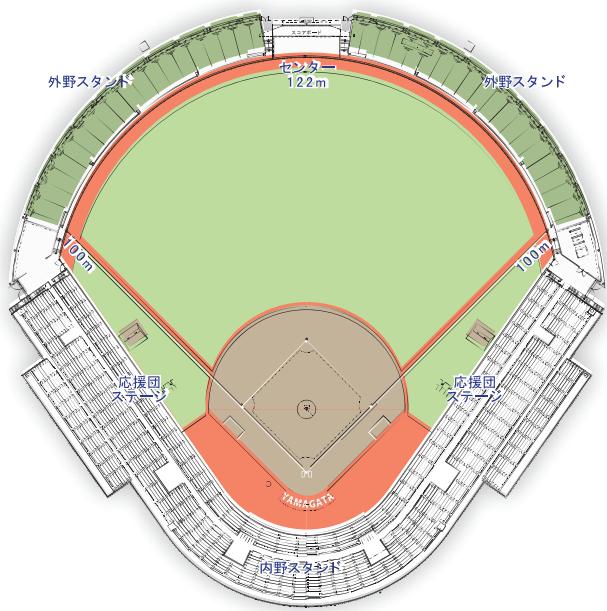


図-2 観客席平面

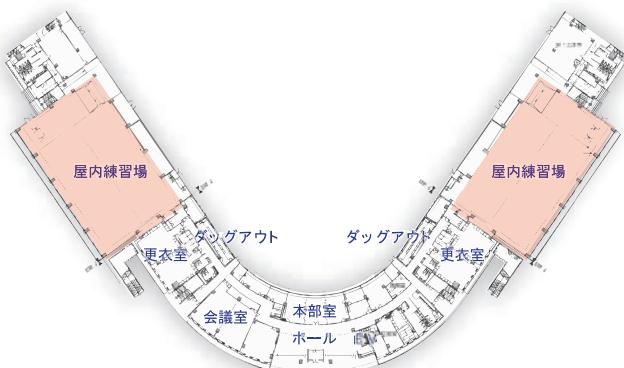


図-3 1階平面

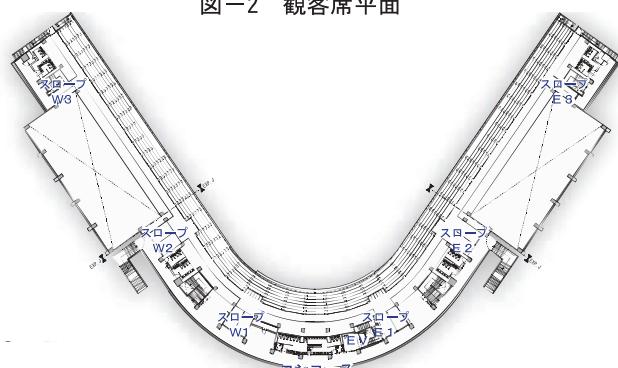


図-4 2階平面

4. PCaPC斜め柱、段梁の施工

今回のPCaPC工法は、ポストテンション方式による圧着工法がメインとなる。垂直の柱と傾斜のついた斜め柱があり、それらに梁、段梁を圧着する。

施工場所の東西（地上57m）にはマイクロ波が通過しており、マイクロ波を避けた綿密な揚重、建方計画を作成する必要があった。また、PCaPC柱及び梁は仮設金属ブラケットを介して先行して設置した支保工で支持する計画とした。

4.1 揚重計画

今回敷地内に、南北に回線1（中心高65.33m）、回線2（中心高57.43m）のマイクロ波が上空を通過しており、PCaPC部材の揚重作業が制限を受けた（図-5）。

周囲にテニスコート、アイススケート場もあるため、PCaPC部材の揚重作業は、グランド側からのみ行う計画とした（図-1、6）。また、トラッククレーンの作業範囲制限装置を活用し、マイクロ波の通過範囲を避けて作業を行った。

揚重機については、クローラークレーンは移動が容易であるが、走行路の整備作業が内野盛土作業と重複するため、トラッククレーンを選択した。クレーン設置場所は6箇所に限定し、盛土を先行して行い、設置場所に敷き鉄板を敷き込み対応した。

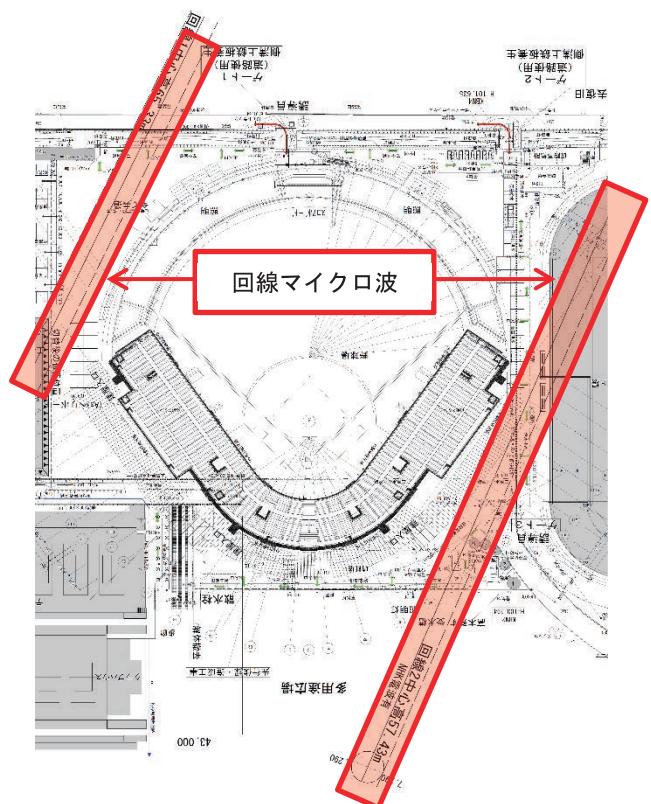


図-5 マイクロ波通過状況

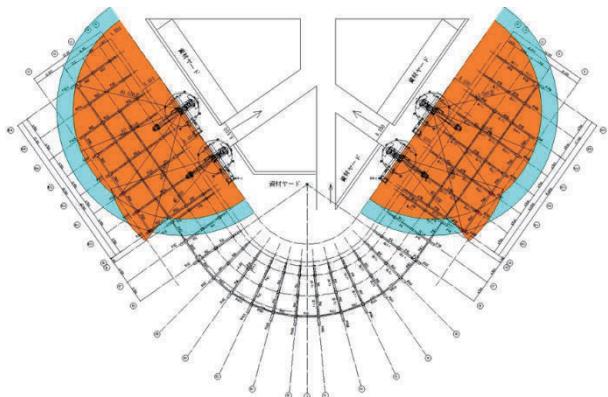


図-6 重機配置計画（サブスタンド）

4.2 PCaPC斜め柱の架設

室内練習場部分の外周側の柱は斜め柱となっている。斜め柱は2分割で最大重量は25.3t/P、高さは15mあるため、通常のPCサポート等では対応が難しいと判断し、支保工足場で支持する方法を検討した。

その結果、四角支柱とI形鋼を使用して支保工を形成し、そこに柱側面に取り付けた仮設ブラケットを乗せて柱の荷重を支持する計画とした（図-7、写真-3）。また、支保工は周囲の作業用足場と強固に連結し、位置ずれを防止すると共に、地震時等の安全性を確保した。

なお、PCaPC斜め柱は重量物のため設置後の位置の微調整が難しいことから、足元のライナーでの高さ調整と、ブラケットを受ける支保工の高さを予め所定の高さに合わせておくことで、設置後の調整を最小限とした。微調整についてはブラケット下にライナーを差し込むことで対応した。斜め柱が架設されるスパン間はアルミカーテンウォールが取付けられるため、精度確保に細心の注意を払いながら架設を行った。その結果、位置精度は管理値（ $\pm 5\text{mm}$ ）を確保できた。

斜め柱の架設は、チェーンブロックを使用して柱の傾斜を予めつけた状態で行ったが、傾斜のついたままPC鋼棒を差し込むという作業に当初は手間取り1P/日のペースでの架設となつた。後に人員配置の構成や施工方法について再度検討を進めながら、架設を繰り返すことで最終的には予定通り2~3P/日のペースで架設することができた。



写真-3 PCa斜め柱建方状況

4.3 PCaPC段梁架設

大空間の屋内練習場を構成するPCaPC段梁はスパン約30mで4分割となっており、最大荷重は20.4t/Pである。

屋内練習場部分の段梁は4分割で構成されているが、中間に柱がないため、斜め柱と同様に支保工足場を先行して架設する計画とした。また柱と同様に、梁側のブラケットを乗せる支保工の高さを所定の高さに合わせておくことで、設置後の調整を最小限とし位置精度を確保した（写真-4）。最終的には3P/日のペースで架設することができた。

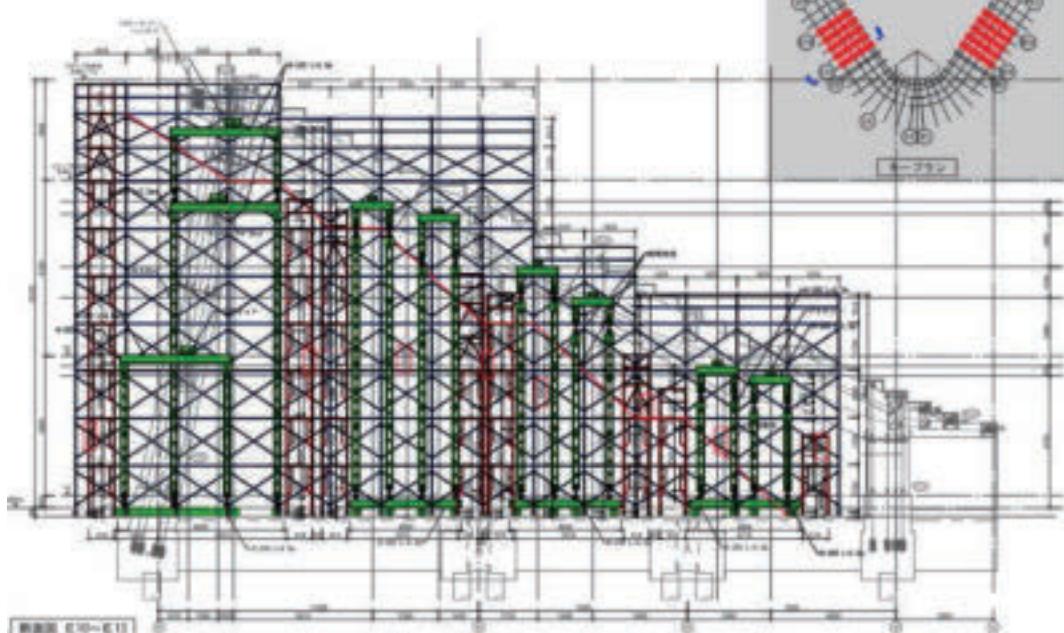


図-7 支保工計画

なお、段梁の最大荷重が20.4tと重いため、支保工によって荷重を受けるスラブが構造上問題ないか、仮設ブレケットを取付けて架設するにあたって金物・埋込みアンカーの強度に問題がないか等を検討し、事前に監理者に確認して建方計画を作成した。

段梁架設後、PCケーブル通線・緊張を行った後、支保工足場を解体し大空間を構成した。

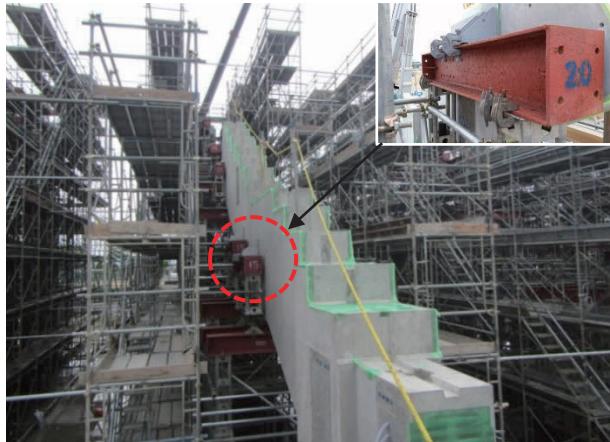


写真-4 PCa段梁建方状況

4.4 PCaPC段床版架設

段床版はスタンドを形成するためにL型となっており架設時にはチェーンブロックと吊治具、予め埋め込まれている仮設用インサートを用いて水平を保ち、建方作業を行った。スタンド最下部からの積み上げ式で架設していくため、高さ・位置等の建て方精度が3mm以下となるよう、特に最下段には細心の注意を払い管理した(写真-5)。

段床版は、段床版先端に埋め込まれた固定ボルトにより高さと位置を調整した後、予め段梁に埋め込んだシース管と段床版の孔(L型天端の中央一箇所)に無収縮モルタルを入れ、そこにアンカー筋を差し込んで固定した。当初は5P/日を予定していたが、最終的には7P/日のペースで建方を行うことができた。



写真-5 PCa段床建方状況

5. 在来工法部分の施工合理化、省力化工法の採用

今回の工事では、安全の確保、工期の短縮、労務不足への対応から、積極的に省力化工法を提案し採用した。

グラウンドの盛土作業は休工としたが、省力化工法を取り入れることで、外部作業のできない冬季期間(1月～2月)の影響を最小限とし、4ヶ月間の工期短縮を実現できた。

5.1 基礎型枠にメッシュ型枠の導入

基礎型枠工事において、エコウェルメッシュ工法を採用した(写真-6)。メッシュ型枠は、コンクリート打設後も解体作業がほとんどなく、組立作業も短期間で施工ができた。

当現場では、ピットとなる場所以外の埋戻し部分においてメッシュ型枠を採用した。これにより、基礎型枠の組立、解体工事で約2ヶ月を予定していたが、およそ半分の約1ヶ月で施工できた。



写真-6 メッシュ型枠施工状況

5.2 鉄筋先組み工法の導入

基礎鉄筋工事において、鉄筋ジャバラユニット工法を採用した(図-8)。

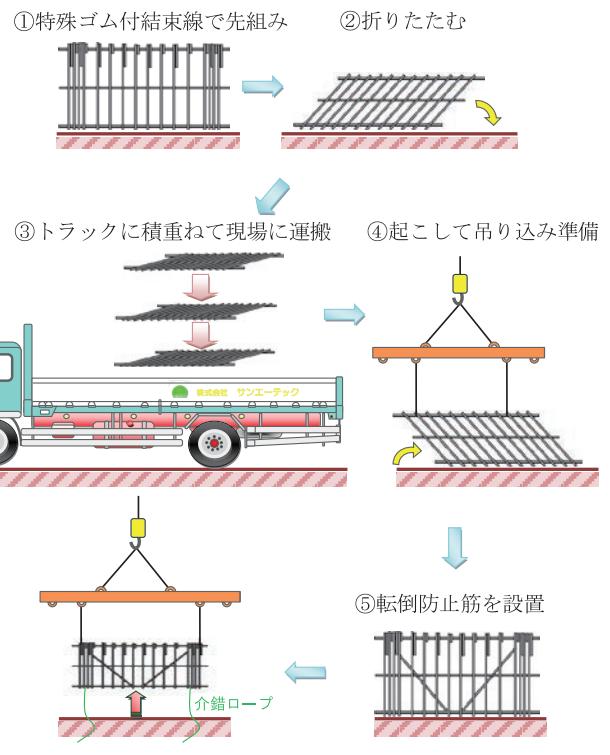


図-8 ジャバラユニット工法概要

この工法は、梁部材を特殊ゴム付結束線にて工場で先組みし、ゴムの弾力性を利用して折りたたむことで運搬効率を確保しながら工程の短縮ができる。ストックヤードの省スペース化も図れ、工期の短縮、品質の向上、仮設設備の削減、安全作業の確立を図ることができた。また、現場設置後の継手は機械式継手にて行った。

これらにより、基礎梁の鉄筋組立作業は約3ヶ月を予定していたが、約2ヶ月に短縮できた。

5.3 地上在来躯体の鉄筋・型枠の先組、一体取付

地上躯体においては、在来工法の梁に鉄筋と型枠の先組み工法を採用した。従来、内部足場を組み高所作業にて配筋・型枠を行なうが、予め先組みしておくことで作業時間の短縮と安全性の向上を図った。

ストックヤードで、型枠、鉄筋及びPCシース管を先行して組立て一体化し、所定の位置に揚重して設置した（写真-7、8）。PCaPC梁の下段に取り付く在来工法の梁については、その下部地上にて組立て、特殊な吊治具を使用して取付けた。

各部材接合部の処理は高所作業車で行い、仮設設備の削減と安全性の向上を図ることができた。

地上躯体の在来工法の梁の組立ては約2ヶ月を予定していたが、約1ヶ月に短縮できた。



写真-7 梁筋及び型枠ストック状況



写真-8 梁筋及び型枠の一体取付状況

5.4 外野スタンド擁壁のPCa化

外野スタンドの内側擁壁構築は冬季期間にかかると共に、グラウンドや外野スタンドの盛土、整備作業の遅

延要因となるため、PCa化して工期短縮を図った（図-9）。

このPCa化に伴い、当初の逆T形擁壁をL型形状とした（図-10）。擁壁は高さが3mあるため、在来工法での施工であれば仮設足場が全面に必要となる。また曲面の形状となっているため、在来工法では躯体精度の確保が困難であった。この擁壁のPCa化により、安全性及び、品質の向上を図ることができた（写真-9）。

また、擁壁の構築は当初約2ヶ月を予定していたが、約1ヶ月に短縮できた。



図-9 外野スタンド擁壁PCa化部位

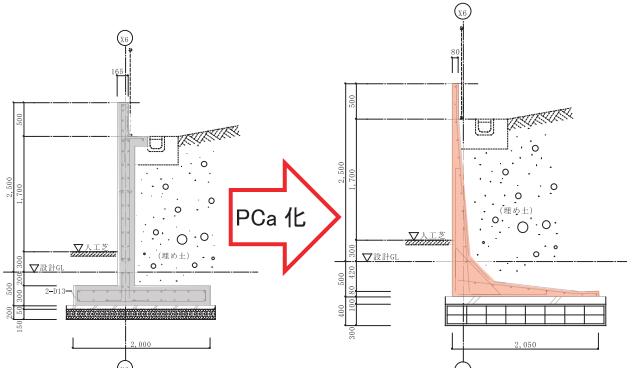


図-10 拥壁PCa化概要



写真-9 拥壁PCa施工状況

6. まとめ

上記の取組みにより、下記の改善効果が得られた。

【品質】 PCaPC部材の精度確保（斜め柱、段梁）

- ・設定した管理値（ $\pm 5\text{mm}$ ）を全てクリアし、施工精度を確保した。
- ・外野スタンド擁壁のPCa化により、施工精度、品質が向上した。

【工期】 在来工法部分の工期短縮

目標 -4ヶ月（全体） → -4ヶ月（全体）を達成

- ・基礎メッシュ型枠 -1ヶ月
- ・鉄筋先組み工法（基礎） -2ヶ月
- ・地上躯体の鉄筋・型枠の先組、一体取付 -2ヶ月
- ・外野スタンド擁壁PCa化 -1ヶ月

【安全】

- ・足場の組払い作業の削減、高所での鉄筋、型枠の組立作業の削減と、それに伴う高所作業の削減により安全性が向上した。

【環境】

- ・基礎メッシュ工法の採用と外野スタンド擁壁のPCa化により、合板型枠を削減し環境負荷を低減した。

基礎型枠 : $3,200\text{m}^2$ 削減

外野擁壁 : $1,220\text{m}^2$ 削減

7. 終わりに

今回施工したPCaPC造の野球場建設工事（写真-10）にあたり留意点を上げると、施工計画においては「部材揚重計画」と「支保工計画」が全ての面において、大きなウエートを占めることを実感した。また今後の社会情勢から、安全・工程を確保し高品質な建物を提供するため、省力化工法・PCa工法の積極的な採用と発展に期待する。



写真-10 全景

7. 構造部材PCa化による生産性向上

社名: 清水建設株

氏名: 加藤 計輔

事例概要

項目	内容
1. 工事概要	
(1)工事名称	熊谷ラグビー場新スタンドほか建設工事
(2)規模(延床面積、階数)	延床面積: 17, 071m ² 、地上4階
(3)用途	観覧場
(4)主要構造	RC造、一部S造
(5)建設地	埼玉県熊谷市
(6)施工期間	2016年12月 ~ 2018年8月
(7)工事費	7, 322 (百万円)
(8)設計者	株式会社 松田平田設計
2. 改善概要	
(1)問題点・背景 (施工上あるいは従来工法の問題・課題など改善前の状況)	<ul style="list-style-type: none"> 在来工法では躯体や外装工事が12か月必要となり、フィールドの天然芝施工時期が真夏の7月となることが問題であった。 東京オリパラの影響により、労務が不足する懸念があった。
(2)改善の目的	<ul style="list-style-type: none"> 暖地型天然芝施工に最適な時期である4月に施工するため、躯体や外装工事を3か月短縮する。 労務不足による工程遅延を防止するために、労務の平準化を図る。
(3)改善概要	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材(梁、スラブ、腰壁、段床)のPCa化と鉄骨化により、躯体工事サイクル工程の短縮を図った。 曲面や段差等の施工が難しい、複雑な形状の躯体のPCa化と、工区分けを踏まえたサイクル工程を組立てることにより、労務の平準化を図った。
(4)改善による効果	
▪ Q(品質)	<ul style="list-style-type: none"> 複雑な形状の躯体でも、精度の良い高品質の躯体を造ることが出来た。
▪ C(コスト)	<ul style="list-style-type: none"> PCa化により、躯体工事コスト約2. 0%の圧縮を図ることが出来た。
▪ D(工期)	<ul style="list-style-type: none"> 3か月の工期を短縮し、目標を達成。
▪ S(安全)	<ul style="list-style-type: none"> 高所作業の大幅な削減。 現場労務の大幅な削減。
▪ E(環境)	<ul style="list-style-type: none"> 型枠用熱帯材使用量と躯体工事で生じる産廃発生量の大幅な削減。
▪ その他の効果	<ul style="list-style-type: none"> 躯体工事や外装工事の現場労務の大幅な削減と労務の平準化ができ、標準延労働時間の85%に圧縮することができた。

構造部材 P C a 化による生産性向上

清水建設株式会社 関東支店
加藤 計輔

1. はじめに

本工事は、ラグビーワールドカップ2019™日本大会の会場として利用するため、埼玉県発注による熊谷ラグビー場の大規模改修を行うプロジェクトであり、大屋根の設置など通常の工事と比較して技術的難易度が高い工事であった。

また、工期内に確実に工事を完成させる必要があったため、実施設計者に対して施工者が設計技術協力を行う、E C I (Early Contractor Involvement)方式が採用された。

本報告では、課題対策のため、E C I 業務期間中に提案した項目のうち、特に改善効果が高かった構造部材のP C a 化について報告する。

2. 工事概要

本工事概要は以下の通りである。なお、完成予想パースを(図1)に示す。

工事名称：熊谷ラグビー場新スタンドほか
建設工事

規 模：延床面積17,071m² 地上4階

用 途：観覧場

主要構造：R C 造 一部S 造

建 設 地：埼玉県熊谷市

施工期間：2016年12月26日～2018年8月31日

工 事 費：7,322,000,000 (税抜)

設 計 者：株式会社松田平田設計



図1 完成予想パース

3. 工事の問題点

1) 工期内施工の厳守

本工事の工程を計画する上で課題となつたのが、フィールドの天然芝施工時期であった。

基本設計の躯体・外装を在来工法で施工すると12か月必要であり、天然芝敷込みが真夏の7月施工になつてしまつた事が問題となつた。

暖地型天然芝敷込みに最適な4月に施工するため、躯体・外装工事を3か月短縮する必要があつた(図2)。

2) 労務の確保

東京オリンピック・パラリンピック競技大会関連工事の影響による労務不足の懸念があつたため、労務不足による工程遅延を防止するために労務の平準化を図る必要があつた。

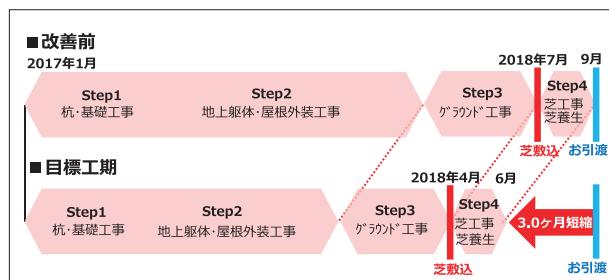


図2 工程の課題

4. 問題への対応(方針と実施)

1) 設計時の改善

3か月の工程短縮のため、構造部材の徹底したP C a 化を図つた(図3)。

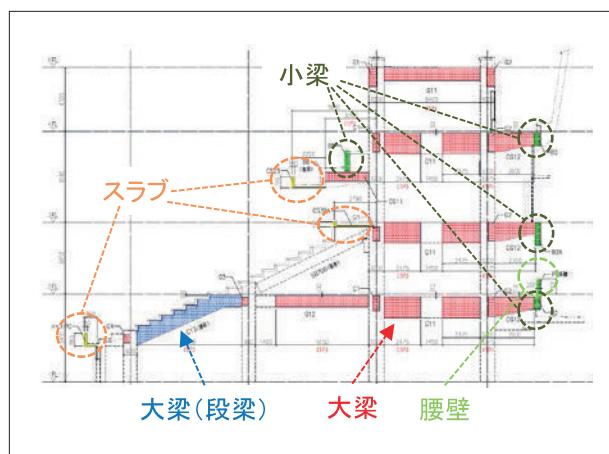


図3 P C a 化概要例 (メインスタンド)

在来躯体のPCa化計画にあたり、以下の検討を実施した。

① PCa部材の組合せと接合部検討

大臣認定を取得せず、躯体をPCa化する場合、鉄筋の継手位置は柱際から梁せい寸法の範囲内に設ける事が出来ない。

その条件をふまえ、揚重回数と現場作業を減らすために、PCa部材の十字やT字の地組と、単梁仕口部の配筋の地組の最適な組合せを検討して、接合位置を決めた(図4)。



図4 PCa部材の組合せと接合部 (メインスタンド)

②柱・梁断面の変更

柱梁躯体については、断面のスリム化とPCa部材寸法の統一を図り、使用材料の強度を上げて、出来る限り断面寸法を統一した。

また、梁筋の落し込みの施工性を向上させるために主筋径と強度を上げて本数を減らし、主筋ピッチを大きくした(図5)。

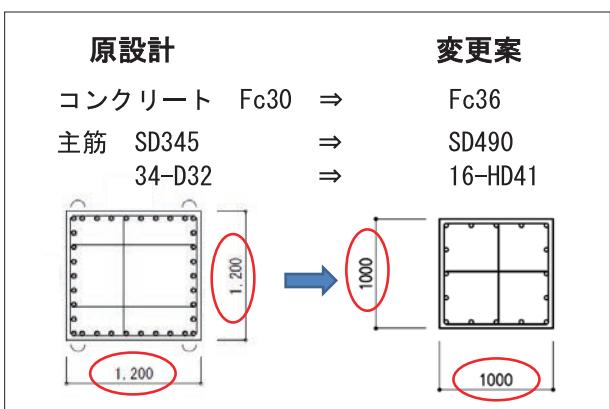


図5 柱断面の変更

③小梁の鉄骨化

小梁については、工程短縮と作業性の向上を図り、出来る限り鉄骨化した。鉄骨化することで支保工を不要とした(図6)。

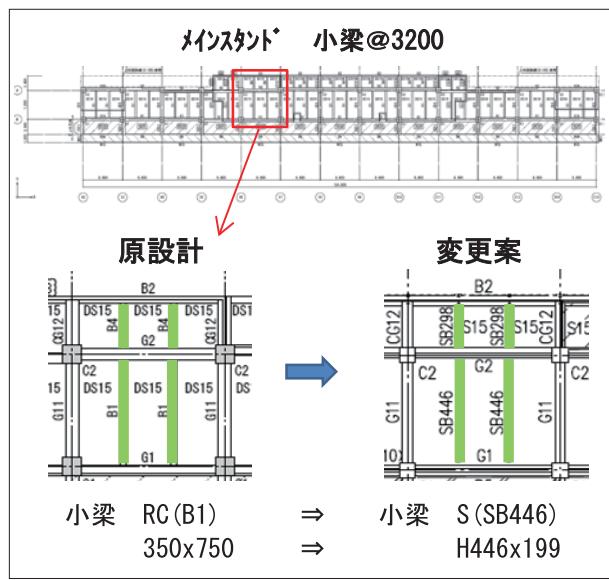


図6 小梁の鉄骨化

2) 施工時の改善

①躯体サイクル工程の検討

労務確保のために労務平準化を図った。

労務平準化ができるように、メインスタンドは、ほぼ左右対称な形状をしているため、半分の2工区にわけてサイクル工程を組立てた。平準化のために1工区と2工区の作業が繰返し作業となるように留意した。1工区のサイクル工程は以下の通り。

a. 1~7日目(写真1、2)

現場：柱型枠→PCa支保工→柱コン打設
ヤード：PCa梁部材搬入地組→配筋



写真1 柱コン打設状況



写真2 PCa梁地組状況



写真5 仕口部型枠状況

b. 8~13日(写真3)
柱型枠解体→支保工まとめ→PCa梁取付



写真3 PCa梁取付状況

c. 11~16日(写真4、5)
鉄筋嵌合→仕口部型枠



写真4 鉄筋嵌合状況



写真6 スラブ・柱配筋状況

②取付精度の確保
設計時に柱梁主筋のピッチを可能な限り大きくしたが、主筋同士のクリアランスは最小5mmであったので、柱筋の精度確保のためテンプレートを使用してコンクリート打設後の精度を確保した(写真7)。



写真7 柱筋固定状況

また、梁鉄筋嵌合のため、PCa梁の地組精度確保も重要であるので、架台、ヤードの鉄板に墨出しをして、取付精度±5mm以内を

確保した。

③施工性の高い地組ヤード計画

PCa部材の地組ヤード計画については、以下について検討をした(図7、写真8)。

- a. 揚重機の最少作業半径を考慮した。
- b. PCa取付時の揚重機位置を決めて、地組部材の配置を検討した。
- c. 地組の向きと取付の向きを合わせた。
- d. 梁上端筋、仕口部の配筋をする作業スペースの確保を図った。

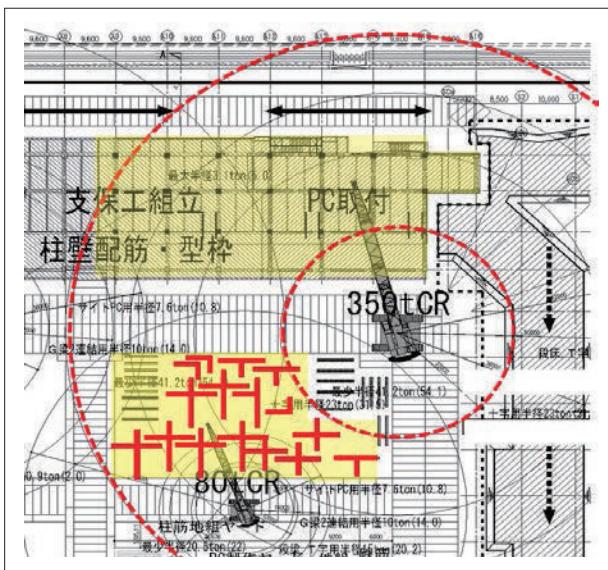


図7 地組ヤード計画



写真8 地組ヤード状況

④支保工計画

段床受梁は梁底が斜めになっているため、梁側面に仮設ブラケットを取り付けて、荷重を垂直に受ける支保工とした(写真9、10)。

大梁の仕口型枠支保工はPCa梁のシステム支保工と兼用し、躯体工事用の高所作業車の動線を確保するように配置した(写真11)。



写真9 段梁支保工施工状況



写真10 段梁支保工受拡大



写真11 大梁仕口型枠施工状況

5. 改善効果

以上の設計段階、施工段階における改善を行った結果、以下の効果を得られた。

1)品質

PCa化により、複雑な形状でも、精度の良い高品質な躯体を造ることができた。

2)コスト

PCa化と躯体仕様の合理化により、在来工法に比べ、躯体工事コスト約2.0%の圧縮を図ることができた。

3) 工期

本報告の構造部材のP C a化により2か月の工期短縮ができたほか、杭工事の合理化と基礎躯体工事の工業化により0.5か月、大屋根鉄骨、カーテンウォール及び外壁のユニット化により0.5か月の工期短縮をした。

この結果、躯体・外装工事で3か月の工期短縮目標を達成し、天然芝の敷込みを4月に施工することができた(写真12~14)。

4) 安全

高所作業の大幅な削減、現場労務の大幅な削減ができた。

5) 環境

型枠用熱帯材使用量と躯体工事で生じる産

廃発生量の大幅な削減ができた。

6) その他の効果

躯体工事や外装工事の現場労務の大幅な削減と労務の平準化ができ、標準延労働時間の85%に圧縮することができた。

6.まとめ

今後、建設業の労務不足が見込まれており、担い手の確保・育成とともに生産性向上の推進が不可欠となっている。

今回のP C a化やユニット化により、非常に大きな改善効果が得られたので、生産性向上施策の一つとして、水平展開がされねばと考える。



写真12 天然芝施工状況(4月)



写真13 完成状況(曲面梁ほかP C a化)



写真14 完成状況(全景)