

PCaPC 超高層板状免震マンションの PC 工事報告

—小田急海老名分譲マンション計画—

荒木 修治*1・伊藤 雅俊*2・和智 美徳*3・石田 雅宏*4

1. はじめに

小田急線海老名駅前にツインタワーで計画された PCaPC 超高層板状免震集合住宅の PC 躯体工事が 2004 年 2 月に完了した。

これまで PCaPC 工法は中低層の建物には多く用いられてきたが、本建物のような超高層で計画されたものはわが国で最初である。設計的な考え方も新たなものであるが、それを施工的に実現するために多くの問題点を解決し、さらに厳しい工程に載せることも可能となった。

本報告は PC 躯体工事の概要と超高層建物ゆへの留意点と工夫についてまとめたものである。構造計画や PC 部材の揚重機として開発された天井クレーンシステムについては文献 1) を参照して頂きたい。

2. 工事概況

工事名称	小田急海老名分譲マンション新築工事
建築用途	共同住宅 (C 街区：129 戸 B 街区：184 戸)
建築場所	神奈川県海老名市中央 1 丁目 1129 番 3
建築主	小田急電鉄株式会社
設計・監理	鹿島・小田急建設 設計共同企業体
施工者	鹿島・小田急・東急建設共同企業体
PC 工事	(株)ピーエス三菱
全体工期	平成 14 年 4 月～平成 16 年 7 月
建築面積	C 街区：1 031 m ² B 街区：1 423 m ²
延床面積	C 街区：15 149 m ² B 街区：20 932 m ²
建物高さ	C 街区：地上 23 階 76.6 m B 街区：地上 22 階 74.5 m
構造形式	免震構造+プレキャスト・プレストレストコンクリート造

図 - 1 に PCaPC フレーム概要、図 - 2 に建物配置図、図 - 3 に立面および使用材料区分図、図 - 4 に PC 部材断面リストを示す。また、表 - 1 に PC 部材数量、表 - 2 に PC 鋼材数量を示す。

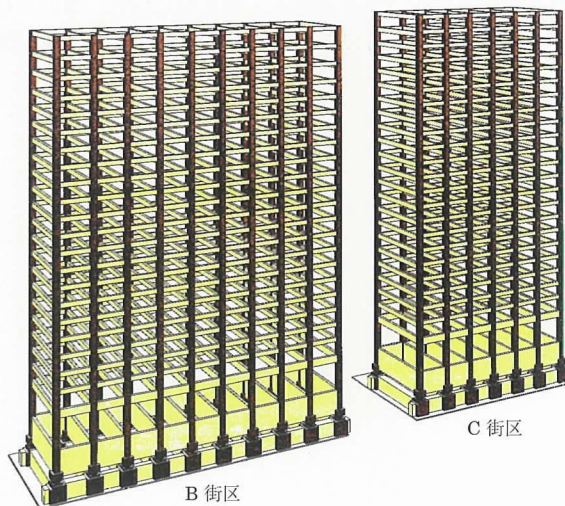


図 - 1 PCaPC フレーム概要

3. 工程

図 - 5 に躯体工事工程表を示す。本建物では天井クレーンを使用する 5 階以上の躯体工事に要する工期を、いかに短縮するかが一つの課題であった。各種作業のムダとムラを徹底的に洗い出し、綿密なタイムスケジュールを作成することにより 1 サイクルの所要日数の短縮に努めた。その結果、架設工事のみではなく一連の PC 工事 (目地・PC 鋼材通線・緊張・グラウト工事) がクリティカルとなるため綿密な計画のもとに工程を組み立て、C 街区で平均 10 日/



*1 Syuji ARAKI

鹿島建設 (株) 横浜支店 小田急海老名マンション JV 工事事務所



*2 Masatoshi ITOU

(株)ピーエス三菱 東京建築支店 PC 工事部



*3 Yoshinori WACHI

(株)ピーエス三菱 東京建築支店 PC 工事部



*4 Masahiro ISHIDA

(株)ピーエス三菱 東京建築支店 PC 工事部

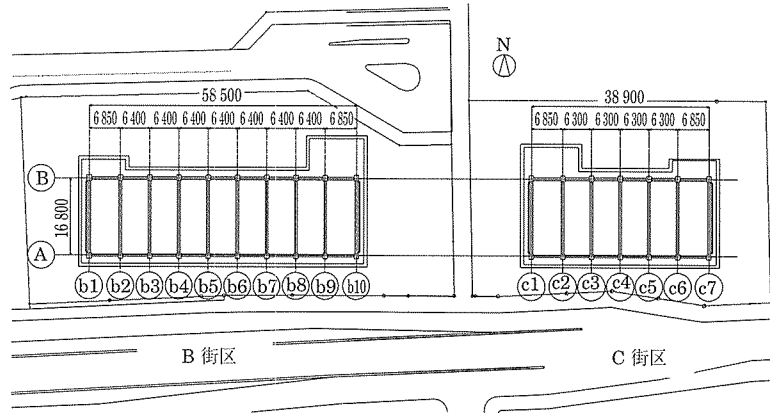


図 - 2 建物配置図

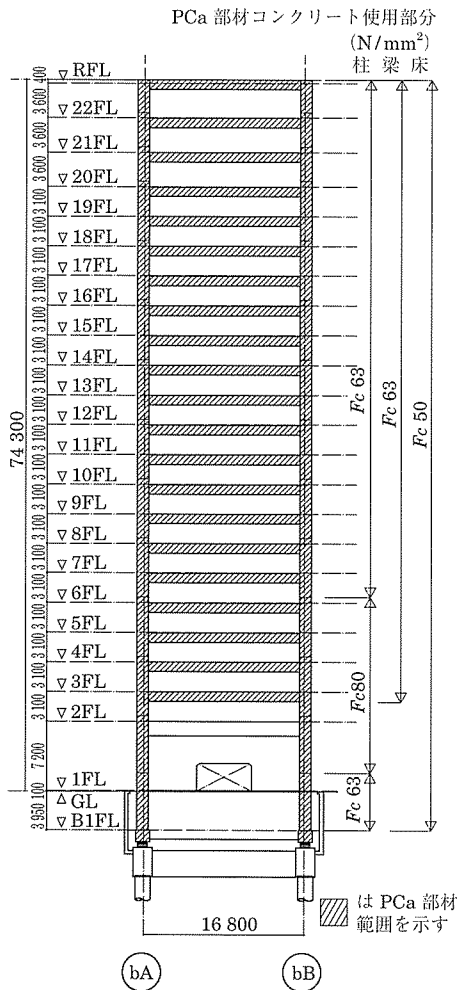


図 - 3 立面および使用材料区分図

表 - 1 PC 部材数量

種別	街区	寸法 (mm)	重量 t/P	1サイクル 部材数	部材総数	
					P	m'
柱	B	950 × 1200 × 6200	17.7	20 P / 節	280	1774
	C	950 × 1200 × 6200	17.7	14 P / 節	196	1275
スパン 梁	B	600 × 900 × 15700	21.2	20 P / 2層	210	1735
	C	600 × 900 × 15700	21.2	14 P / 2層	154	1272
桁梁	B	600 × 850 × 5390	6.9	36 P / 2層	378	1099
	C	600 × 850 × 5290	6.8	24 P / 2層	264	757
床板	B	1200 × 5860 × 150	1.9	408 P / 2層	4249	—
	C	1200 × 5760 × 150	1.7	278 P / 2層	3021	—

表 - 2 PC 鋼材数量

材料名	規格	総数 (t)	
		B 街区	C 街区
PC 鋼棒	32 φ · 36 φ (SBPR 1080 / 1230)	92.2	66.5
PC 鋼より線	5 ~ 12S 15.2 φ (SWPR 7 BL)	332.5	249.4

サイクル (最短 9 日 / サイクル), B 街区で 12 日 / サイクルで施工を行った。ここで, PC 柱の分割を 2 層 1 節としたことからサイクルの単位もこれに合わせて 2 層分を 1 サイクルとしている。したがって, 1 層あたりの所要日数は前述の半分となる。また, 1 日あたりの施工床面積は C 街区 69 m², B 街区 86 m²であった。

図 - 6 に PC 工事タイムスケジュールの一例を示す。架設フロアのみではなく, 後追い作業となる一連の PC 工事についても時間管理を行った。これら以外にも緊張ジャッキを始めとする使用機器や使用材料の荷揚げのタイミングも重要なファクターである。このタイムスケジュールに基づき, 各フロアでの作業員数および当該フロアでの平面的な資機器材および人員の配置を決定し, 効率的な施工を行った。

4. PCaPC フレーム組立て手順

図 - 7 に PCaPC フレーム組立て手順を, 写真 - 1 ~ 16 にこの手順に則った各施工状況を示す。本建物は超高層建物であるがゆえに PCaPC フレームの組立て手順を計画するにあたり, とくに配慮すべき項目を有している。大別すると以下の (1) ~ (3) の 3 点に集約できる。

	スパン梁	桁梁		柱
断面	1000 600	850 600	断面	1200 950
1次ケーブル	1c-9-15.2 mm	-----	PC 鋼材	10-36 φ
2・3次ケーブル	6c-12-15.2 mm	4c-11-15.2 mm		

図 - 4 PC 部材断面リスト

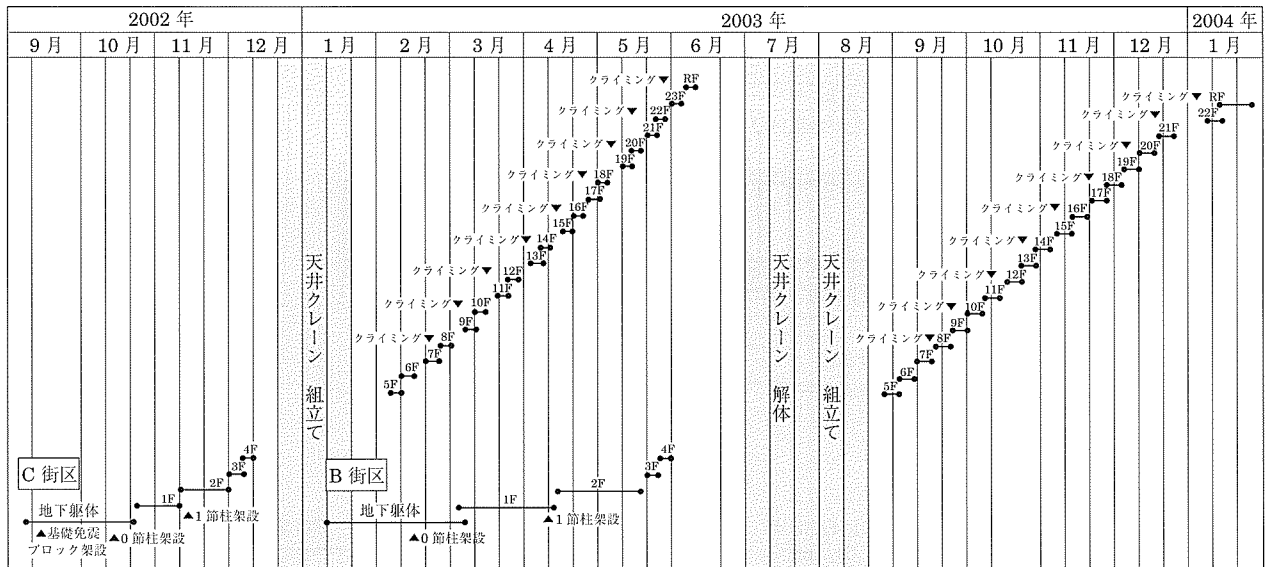


図 - 5 躯体工事工程表

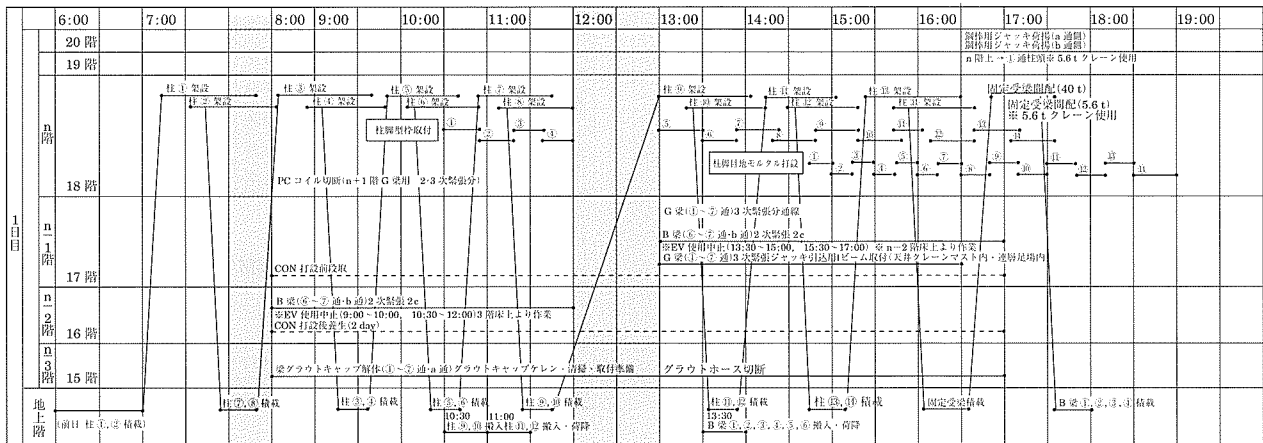


図 - 6 PC 工事タイムスケジュール

(1) 施工時の安全性

いうまでもなく施工時の最重要課題である。周知のとおり PCaPC 工法は PC 部材という重量物の取り扱いや、ジャッキにより PC 鋼材に大きな緊張力を与えるなど、一つ間違えれば大きな事故につながりかねない作業を含んでいる。作業手順と安全教育の徹底には今まで以上に留意した。

さらに一般工法と同様、機器や材料の飛来落下防止対策を行い、墜落災害に対しても十分な教育を行った。

とくに本計画は市街地での施工ということもあり、第3者に対する配慮も大きなウエイトを占めた。通勤通学時間帯の歩行者の安全と付近道路渋滞防止にも配慮し、部材の早朝搬入の実施や車両の安全誘導を徹底した。

(2) 施工時の構造体の健全性

本建物は純ラーメンで計画された超高層建物であるため、これまでの建物に比較して PC 鋼材の量が多くなっている。これに伴い導入するプレストレス量も多く、スラブ断面を無視した矩形断面で算定すると 20 N/mm² を超えている梁もある。このことはプレストレス導入に伴いフレームに生じる不静定 2 次応力が大きくなることを意味しており、施工

手順によりこれを抑える必要性があった。そのためにはフレームとして極力完成系に近い状態でプレストレスを与えることが有効である。これに近づけ、かつ施工時における地震や風による外力に対して安全で、工程を最短にできる組立て手順を決定した。また、部材に構造的な欠損が生じないように配慮を随所に行った。写真 - 16 は柱のグラウト注入状況であるが、座堀とゴム製の逆止弁を用いることにより、これまで部材に埋め込んでいたグラウトホースを無くした。逆止弁はグラウト作業完了後取り除き、左官仕上げをするため構造的な欠損は無い。

(3) 施工サイクルの短縮化

前述 2 点をクリアできる条件で施工サイクルの短縮化について検討した。施工サイクルの組立てに際しては、一つの作業がクリティカルとなり工程を支配しないよう、それぞれの作業を見直し効率化を図った。

例をあげると、

- ① PC 柱部材は 2 層分を 1 節とし (写真 - 3, 7)、架設、目地工事、緊張作業の半減を図った。6.2 m の PC 柱の自立と建入れ精度の確保のために、調整は柱頭での PC

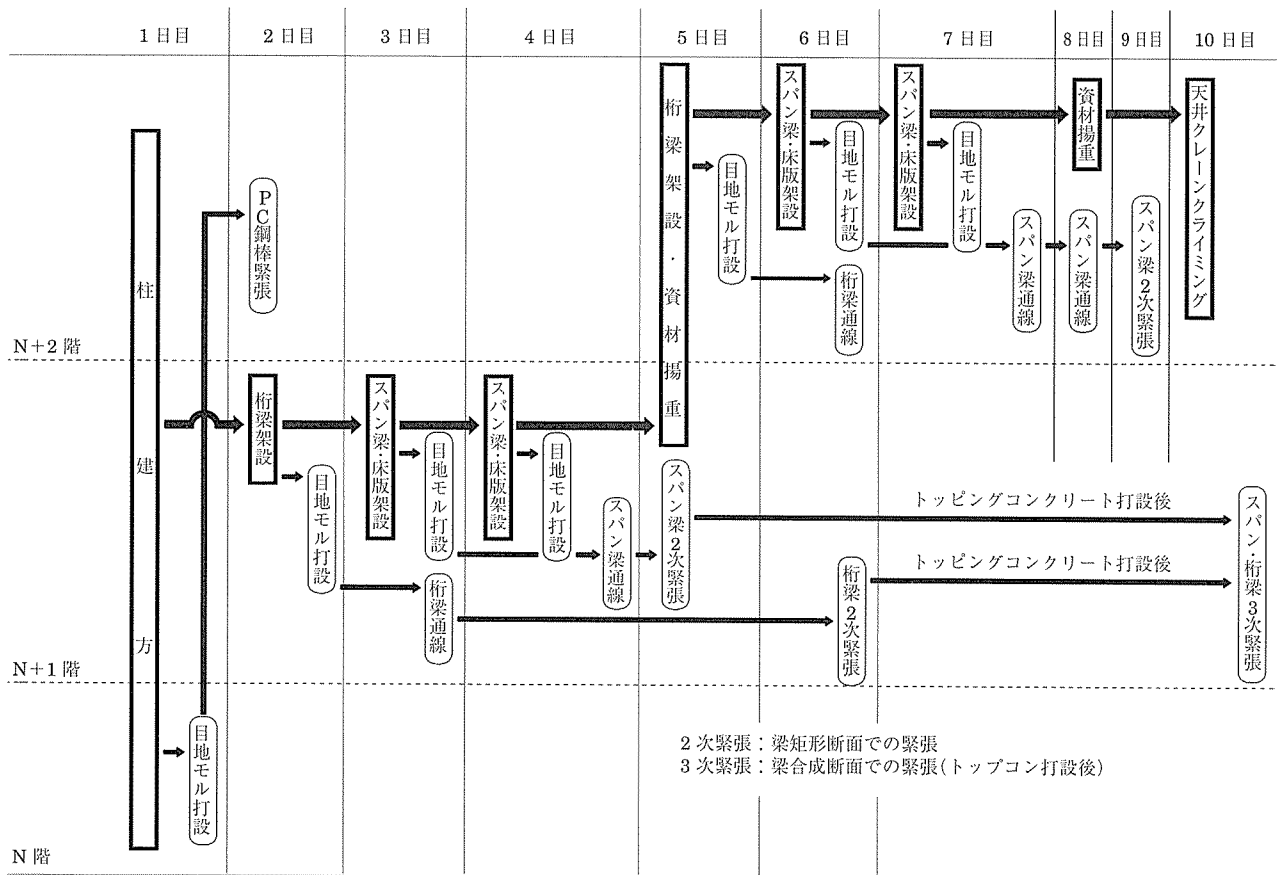


図 - 7 PCaPC フレーム組立て手順

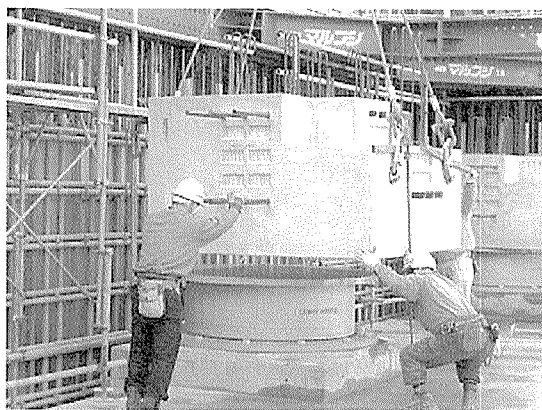


写真 - 1 免震基礎ブロック据付け



写真 - 2 地下 RC 柱建入れ状況

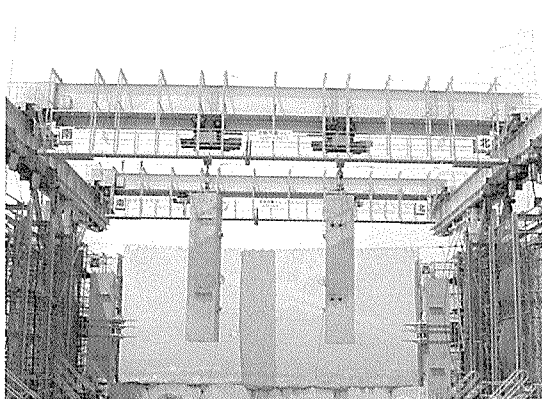


写真 - 3 2層1節 PC 柱架設状況

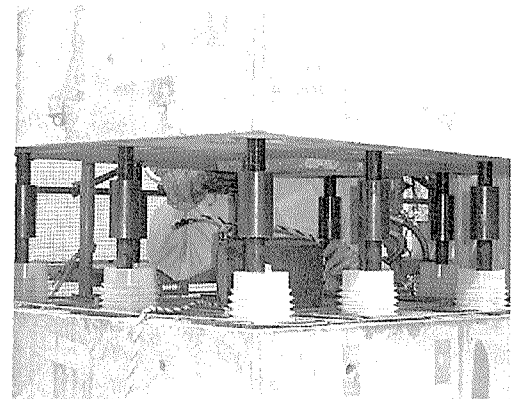


写真 - 4 柱 PC 鋼棒接続状況

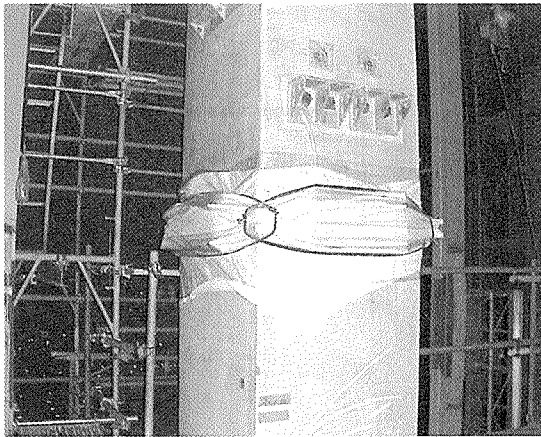


写真 - 5 柱一柱接合目地加熱促進養生状況



写真 - 6 柱 PC 鋼棒緊張状況

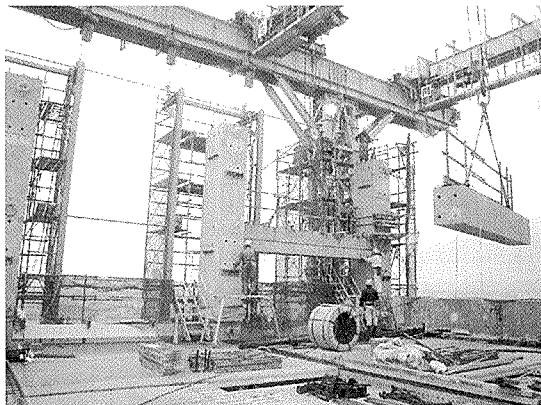


写真 - 7 桁梁架設状況

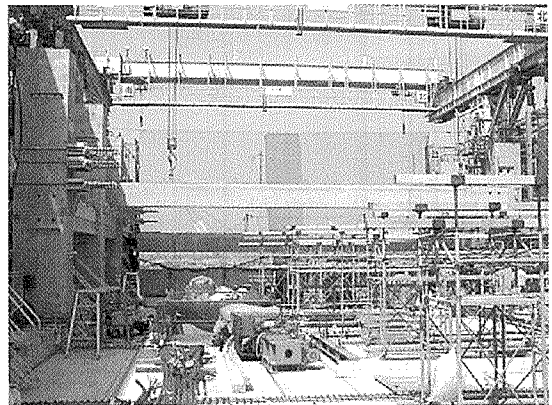


写真 - 8 スパン梁架設状況

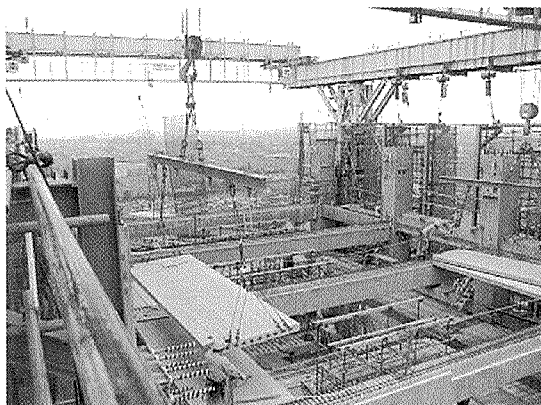


写真 - 9 PC 床版敷設状況

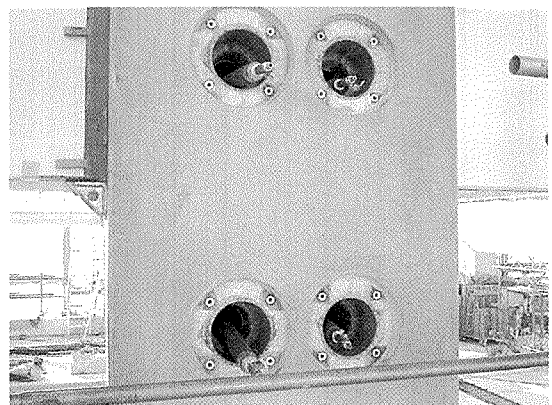


写真 - 10 モールドバッグ使用状況

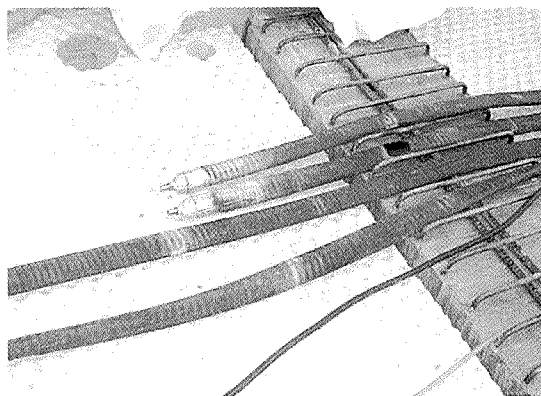


写真 - 11 モールドバッグ形状

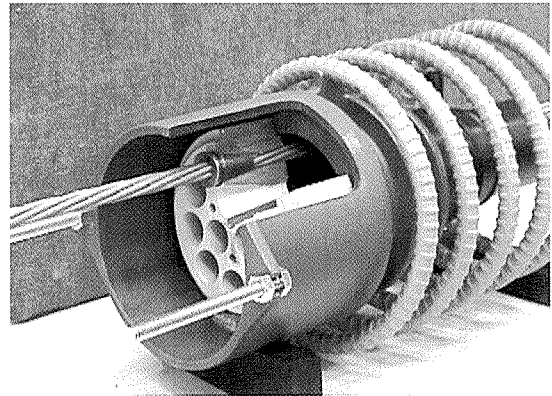


写真 - 12 ディビダーク工法定着体

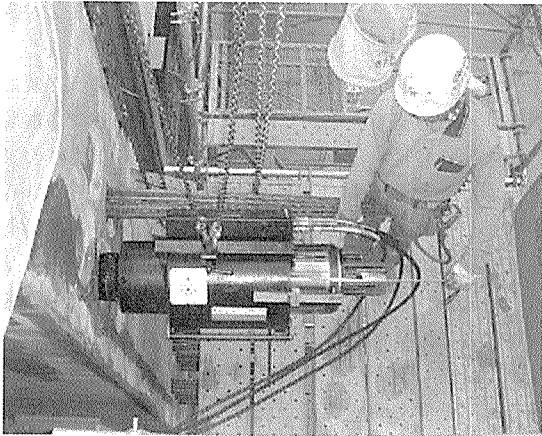


写真 - 13 梁 PC 鋼より線緊張状況



写真 - 14 グラウトプラント (1階)



写真 - 15 グラウト中継点 (16階)

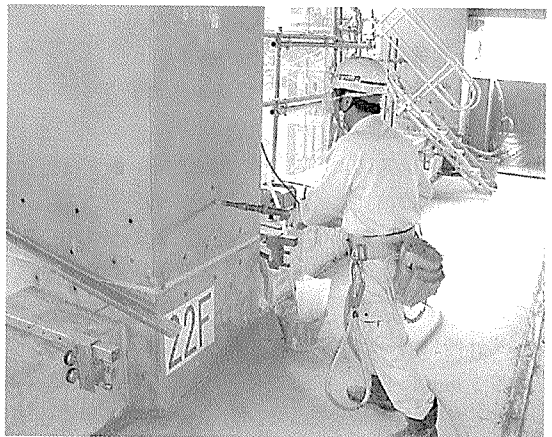


写真 - 16 柱グラウト注入状況

鋼棒の締め込みにより行った。

②図-7のPCaPCフレーム組立て手順を見ると分かるように、1日目の柱建方翌日には柱PC鋼棒の緊張を行い、緊張済みの柱から順次B梁(桁梁)の架設を行っている。緊張時に柱-柱接合目地モルタルに必要な強度は20 N/mm²であるが、このときの材齢は20時間程度である。材料メーカーでの保証値が無いため、恒温実験室にて若材齢時の強度発現性状について調べたうえで手順を決定したが、冬季には必要なモルタル強度が確保できないために加熱促進養生(写真-5)を行い、この手順を実現している。

また、このようなサイクルの繰り返しで進む工事では、直接的な工期短縮施策の他に、工程に影響を与える可能性がある隠れたマイナス要素の排除が重要となる。施工ミスなどによる手戻りは全体工程が影響を受けることになる。PCaPC工法で起こり得るものの一例として、柱-梁接合目地モルタルのシース内への流入事故があげられる。これに対しては以下の工法を採択した。

③柱-梁接合目地部にはジョイントシースを使用せずに、モールドバッグ(ゴム風船型枠)工法(写真-10, 11)を採用した。図-8にモールドバッグ工法概要を示す。梁の架設後にシース内にモールドバッグを挿入し、エアにより膨張させた状態でモルタルを打設。硬化後

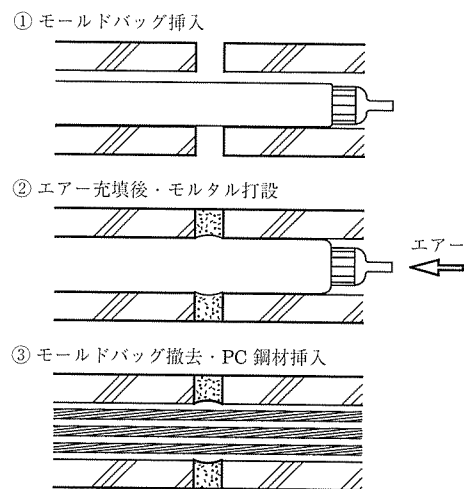


図 - 8 モールドバッグ工法概要

にエアを抜きモールドバッグを引き抜いてPC鋼材を挿入する。

5. 建物の変形に対する配慮

一般的にコンクリート系建物は場所打ちで作られ、完成系に近い状態まで支保工などで支えられており、これが解除されて初めて変形すると考えられる。したがって完成し

た構造系に全荷重が作用して変形すると考えて差し支えない。

しかし、PCaPC 工法の場合は構造系が刻々と変化し(柱：片持ち→ラーメン、梁：単純梁→ラーメン)、梁の場合は断面形状の変化(矩形→T型)も伴う。さらに、これを組み立てるためにプレストレス力を与えることから、これらの組み合わせを反映した変形に対する検討が必要である。ましてや本建物のように大きな緊張力を与える場合は、それが直接施工精度にも影響を与えるために重要な検討項目の一つであった。以下、項目別にまとめる。

(1) スパン梁のたわみ

スパン梁は単純支持状態で自重と PC 版重量を受け、2 次緊張により剛接された後にトップコン重量を受ける。単純支持状態での変形が大部分を占め、これが支配的であることから、1 次ケーブルの量と偏心により設計時でゼロとなるようにこれを制御した。部材長が 15.7 m と長いことから、工場でのストック期間における若材齢時のクリープ変形も考慮した。

(2) プレストレスによる節点水平変位

節点水平変位は前述したような構造系の変化を考慮した弾性解析を行った。表 - 3 に柱が自立した以降に生じるプレストレスによる節点水平変位の計算値を示す。

この計算結果を基に、柱建入れの際の倒し量をスパン・桁方向共外側に表 - 3 の節点変位の最大値よりも小さめの値である 5 mm に設定した。これは柱建方時に、梁は 2 次緊張までしか行われていないため、3 次緊張の変形分を見越した管理は煩雑になるばかりでなく基準位置を定めることができなくなることを避けたためである。また、コンク

リートの実強度が設定より高くなり、ヤング係数が大きくなることも考慮している。

とくに弾性変形が大きい構造体の場合はクリープ変形に対する配慮が必要である。一般にクリープ変形は弾性変形量に比例して進行する。表 - 3 に示すように本建物のプレストレスによる変形の多くは 2 次緊張により生じている。しかしこの変形は変形後に打設されるトップコンの影響などによりその後の拘束が大きくなっているためクリープ変形としては進行しにくくなっている。また、同表中のスパン方向の節点変位量には、片持ち状態の 2 層 1 節柱の 1 層目の梁を緊張した際に生じる 2 層目接点の幾何学的な変位も含まれているため弾性変位自体は小さくなる。こうした理由から施工計画段階では節点水平変位のクリープによる変形は無視した。

表 - 3 プレストレスによる節点水平変位計算値

	節点変位 (mm)	2 次緊張による変位が占める割合
スパン方向	7 ~ 2	50 ~ 70 %
桁方向	9 ~ 4	約 70 %

実際の施工では各階の柱建方前に最下階から基準墨を出し、柱の倒し量を各節ごとに調整し施工誤差の補正を行った。計算と実施工の結果との比較では 2 次緊張段階の値にはばらつきがあったものの、完成時の最終管理目標値である ± 5 mm の範囲に収めることはできた。結果がばらついた原因としては、部材や目地モルタルの強度のばらつきなどが考えられる。

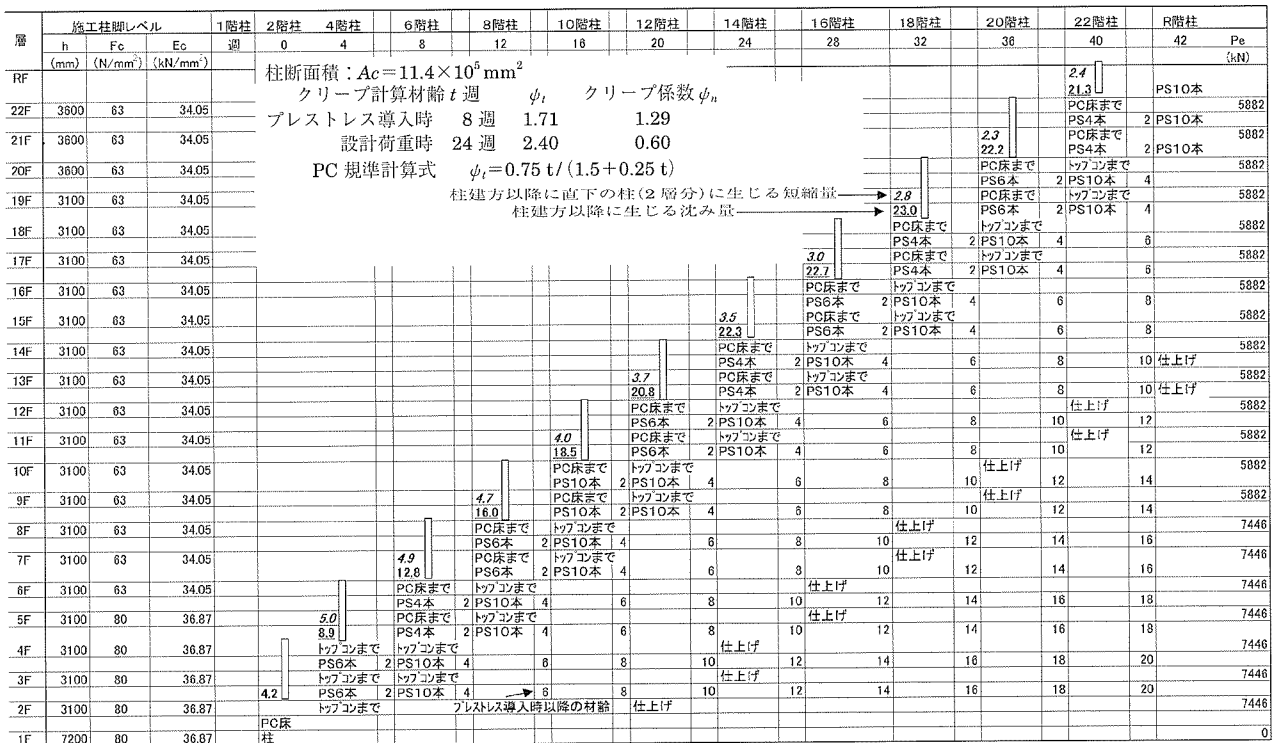


図 - 9 軸力とプレストレスによる節点鉛直変位

(3) 軸力とプレストレスによる節点鉛直変位

節点鉛直変位は、同一フロアの全柱が鉛直方向に均等に
変位することを想定して柱単材として解析を行った。考慮
した変形は、設計軸力 (DL と FL + LL) とプレストレス
による弾性変形およびクリープ変形とした。

解析に際してはそれぞれの力が作用する材齢を考慮して、
クリープ変形の最終値を算出している。

解析上の仮定を以下に示す。

〔工程〕

- ① 架設サイクルは1層1週とし1層のDL分軸力が作用
- ② 材齢8週で現場搬入、建て入れ、半数のPC鋼棒を緊張
- ③ 2週後残りの半数のPC鋼棒を緊張
- ④ 建て入れ後8週でFL+LL分軸力が作用

〔解析に用いた諸係数〕

ヤング係数、クリープ係数ともPC規準²⁾に準じる。

図-9に軸力とプレストレスによる節点鉛直変位の解析
結果を示す。解析結果ではクリープの最終値までに最大で
23 mm 設計レベルより下がることになった。これを施工に
反映するか否か議論した結果、設計基準強度 63 N/mm² のコ
ンクリートで実強度が 80 N/mm² を超えること、水セメント
比が小さく (F_c 63 で 28 %, F_c 80 で 19 %) クリープ係数
も小さくなることが予測できること、さらに1層あたりの
変形量とすれば 1 mm 程度であることから、実施工ではこ
れを無視し施工時に各フロアの設計レベルに合わせるこ
と

とした。

6. ま と め

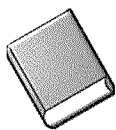
初めての超高層 PCaPC 建築ということで計画段階から細
かいものを含めると非常に多くの問題提起がなされたが、
事前に対策を講じたことが今回の施工が順調に進んだ一つ
の要因であったと感じる。もちろん想像の域を超えた諸問
題も生じたが、関係各位の協力もあり、前述したタイトな
工程を無事故で実現することができた。さらに PCaPC 工法
のメリットの一つである高い躯体精度を超高層建築におい
ても達成することができ、アウトフレームである本建物を
美しく見せている。

本編では触れていないが、本工事で採用された天井ク
レーンシステムは動作も非常にスムーズで、PC部材の架設工
程の短縮に大きく寄与したと感じる。とくに風が強い日な
どの架設にもほとんど影響を受けることなく工程を守ること
ができた。本工事のようにサイクルで進む工事での架設
揚重機の選定の重要性を実感した。

参考文献

- 1) 杉村, 丸田, 丸山: PCaPC 超高層板状免震マンションへの新たな
PC 施工システム導入・実施報告—小田急海老名マンション計画
—, プレストレストコンクリート, Vol.45, No.4, pp.56-62, 2003
- 2) 日本建築学会: プレストレストコンクリート設計施工規準・同解
説, 1998

【2004年5月17日受付】



刊行物案内

PC 橋架設工法

2002年版

頒布価格：会員特価 4 000 円 (税込み・送料別途 400 円)
：非会員特価 4 800 円 (税込み・送料別途 400 円)
社団法人 プレストレストコンクリート技術協会