

最上階から吊下げられた下地鉄骨とカーテンウォールの施工報告 Construction report for installation of curtain wall and Steel supporting hanging from the top floor

中筋 知行* Tomoyuki Nakasuji
中島 重登* Shigeto Nakashima
小久保 遊* Yuu Kokubo
楠谷 淳士* Hitoshi Kususako
斉木 健次* Kenji Saiki

要 約

本工事は、地下2階、地上22階建の超高層建築（大学）の建設工事である。外装材として、北面の高層部にはシンボリックな外観をもつアルミニウムユニットカーテンウォール（ACW801）が配置されており、その取付け下地である鉄骨は、屋上の鉄骨から吊り下げるといった特徴的な構造部材となっている。本報告書は、ACW801の吊構造に関する施工検討と結果を報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 地上工事の基本施工計画
- § 4. ACW801における課題とその背景
- § 5. ACW801工事の対策と施工計画
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

学校法人常翔学園は、創立100周年記念事業の取り組みで学園が運営する大阪工業大学の教育・研究活動の拠点として、2017年4月に梅田キャンパスを開設する。

梅田キャンパスの高層階（8階より上階）北面外装は、オープンマインドの象徴として透明性を強調するために幅42m、高さ87mにわたり全面ガラスカーテンウォールで構成されており、室内側は各階で部分的に床がある不規則な吹抜け空間となっている。この大吹抜け空間『コミュニケーションボイド』は、オープンミーティングができる場となり、リフレッシュスペースやプロジェクターを使ったオープンな報告会や講演などにも供され、当キャンパスの学生間のフレキシブルなコミュニケーションエリアとして重要な一端を担う。



写真-1 航空写真

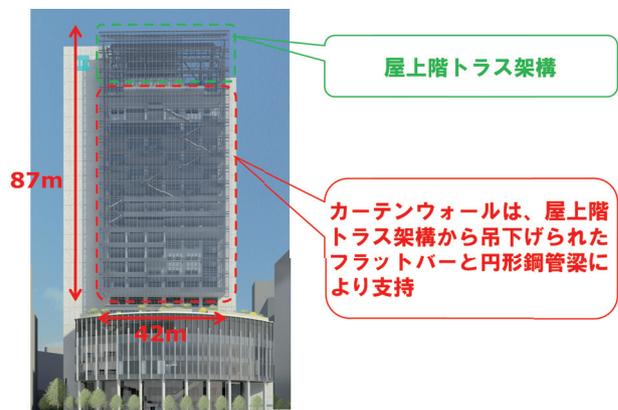


図-1 北面パース

* 西日本(支)常翔梅田(出)

§2. 工事概要

工事件名：学校法人常翔学園梅田キャンパス
 (仮称) 新築工事
 発注者：学校法人常翔学園
 設計者：服部・石本・安井設計監理共同企業体
 工事場所：大阪市茶屋町地区土地区画整理事業
 街区番号1画地番号③④
 工期：平成25年9月30日～平成28年10月31日
 建物規模：延床面積：33,329.89 m²
 軒高：125.1 m
 構造種別：S, SRC 造
 階数：B2階 / 22階
 建物用途：学校 (大学)

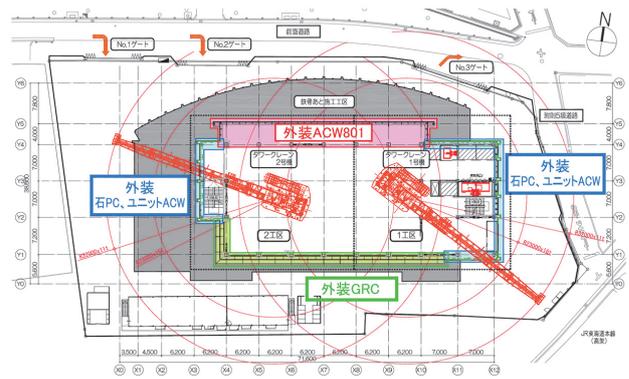


図-2 仮設計画図

表-1 鉄骨・外装工事施工サイクル

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1工区	鉄骨建て方					PC版			ACW	GRC	ACW801 吊材設置
ピース	92	53	87	44	88	11	11	10	16	12	
2工区	PC版		ACW	GRC		鉄骨建て方					
ピース	9	9	8	12	12	76	87	80	90	85	

§3. 地上工事の基本施工計画

外装材は、東西のコア周りに石打込み PC 版、東西面と北面にアルミニウムカーテンウォール、南面は太陽光パネル付 GRC 庇であり、多様な構成となっている。

地上躯体の施工は、狭い敷地を有効に利用するため、高層直下以外の低層部をあと施工とし、上棟後に着手する手順とした。高層階は、東西2工区に分割したうえで各々にタワークレーン1・2号機を配置し、鉄骨と外装材を11日サイクルで組立てる計画とした。

通常、超高層建築物では、外装材は躯体に続き下階から順次施工するが、北面の ACW801 は下地鉄骨が最上階から吊下げられた構造であるため、上棟前に取付けることができない。よって、ACW801 の取付け工程は全体のサイクルから外し上棟後に内装工事が迫るさなか、急速施工をする必要があった。

上棟後には ACW801 を施工しながら低層のあと施工鉄骨を建て、屋上機器類の揚重完了をもって2基のタワークレーンを解体し、ヘリポートに設置するタワークレーン3号機で屋上周りのユニットカーテンウォールを施工する計画とした。(図-2)

基本施工サイクルは、鉄骨建て方と外装工事を各工区とも5日とし、1サイクルを11日とした。なお、このサイクルには ACW801 は含んでいない。(表-1)

§4. ACW801 における課題とその背景

ACW801 は、屋上階鉄骨トラス架構(ハットトラス)から6.2m間隔で吊下げた全長72.545m、厚さ80mm、幅450mmの鋼製フラットバーとそれらを水平方向につなぐφ318.5mmの円形鋼管梁を支持部材とし、各階の本体鉄骨とは2フロアおき程度に水平方向の振止めを取るのみで上下方向にはフリーな関係にある特徴的な支持方法をもつ。

建物本体は施工が進むにつれ自重により軸縮みしてい

くが、ACW801 の支持部材である吊材は、逆に自重により軸方向に伸びていくため高さ方向の精度確保が難しい。さらに、完成後にも地震や建物内外の温度差による挙動が建物本体と吊材とで異なるため、それに追従できるディテールが求められる。

また、吊材は屋上のハットトラスから支持されるが、鉄骨の建て方は下から組立てられるため、吊材を鉄骨建て方と同時に施工するためにはハットトラスが構築されるまでこれを仮受けする部材が必要となる。

この ACW801 の内部空間であるコミュニケーションポイドは、大きな吹抜けにキャンティスラブや鉄骨階段が不規則に点在する配置となっており、階ごとに異なる ACW のヤード計画が必要となる。

また ACW801 の施工時には、東西コアや南面の外装、内部間仕切壁、中央部では耐火被覆吹付けや天井配管工事までが進捗している状況であり、施工ヤードは限られたスペースを利用して計画する必要がある。

このような背景から抽出した課題を以下に示す。

- 1 吊材と本体鉄骨の接合部ディテール検討
- 2 ACW801 の高さ方向の精度確保
- 3 吊材取付け時の仮受け部材の検討
- 4 ACW801 吊出し計画及びヤード計画

§5. ACW801 工事の対策と施工計画

5-1 吊材と本体鉄骨の接合部ディテール検討

本体鉄骨と吊材は図-4の●部で接合されており、水平方向は拘束され、鉛直方向には自由として設計されている。

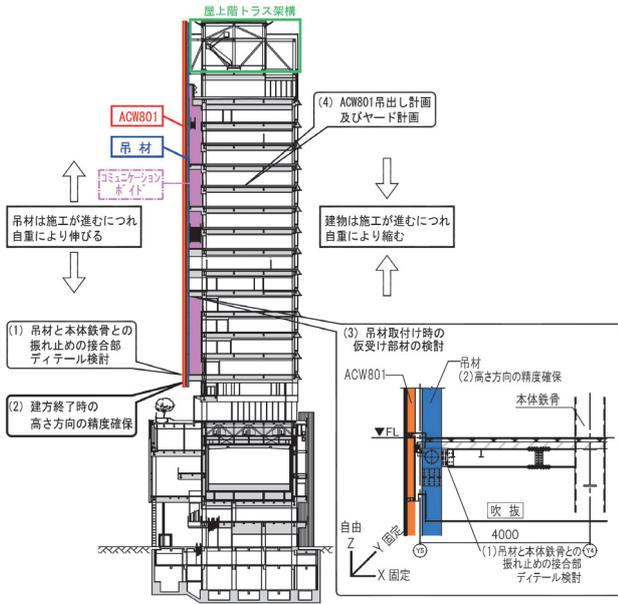


図-3 課題の抽出

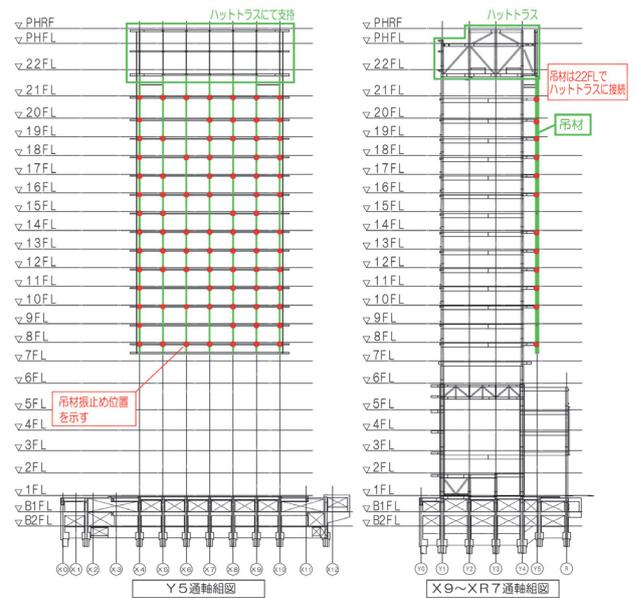


図-4 本体鉄骨と吊材振れ止め配置

表-2 地震時、温度変化時の吊材の軸伸び

階	地震時ハットトラス先端たわみ (mm)	地震時吊材軸伸び (mm)	吊材の熱伸び (15℃) (mm)	施工誤差 (mm)	挙動範囲 (mm)
21F	4.28	0.29	1.26	10.00	15.83
20F	4.28	0.52	2.34	10.00	17.14
19F	4.28	0.70	3.24	10.00	18.22
18F	4.28	0.87	4.14	10.00	19.29
17F	4.28	1.02	5.04	10.00	20.34
16F	4.28	1.15	5.94	10.00	21.37
15F	4.28	1.28	6.84	10.00	22.40
14F	4.28	1.39	7.74	10.00	23.41
13F	4.28	1.48	8.64	10.00	24.40
12F	4.28	1.56	9.54	10.00	25.38
11F	4.28	1.63	10.44	10.00	26.35
10F	4.28	1.69	11.34	10.00	27.31
9F	4.28	1.73	12.24	10.00	28.25
8F	4.28	1.77	13.68	10.00	29.73

ACW801 とその下地鉄骨は、地震時や建物本体との温度差が著しい時に建物本体と異なる挙動を示すことが想定されるため、本体鉄骨と吊材振れ止め部の接合部詳細について検討を行った。

吊材の支持条件を以下に示す。

- ・ 常時鉛直荷重 → 屋上ハットトラスより支持 (吊材には圧縮力をかけない)
- ・ 地震時鉛直荷重 → 屋上ハットトラスより支持 (吊材には圧縮力をかけない)
- ・ 地震時水平荷重 → 本体鉄骨より接合部で支持
- ・ 吊材の熱伸び → 本体鉄骨と吊材との温度差による熱伸び量の差に追随

以上4点について建築技術部・建築設計部と協議し、外力を以下のように定め解析を行った。

- ・ 短期荷重：X, Y方向 1G, Z方向 0.5G
- ・ 温度：本体鉄骨と吊材の温度差 15℃

解析結果より、建物完成後、接合部は上下方向に最大 30 mm のルーズが必要であると考えられた。(表-2) そこで、接合部は上下にルーズホールとし、スプライスプレートにはフッ素樹脂シートを貼り付け、中ボルトにて手締めの上、ロックナットにてゆるみ止めとするディテールを採用した。(図-5)

5-2 ACW801 及び下地吊材の高さ方向の精度確保

(1) 建物本体の軸縮みと吊材の軸伸び、ハットトラスのたわみを考慮した精度確保計画

ACW801 は、最下階の8階から順次図面どおりの高さ

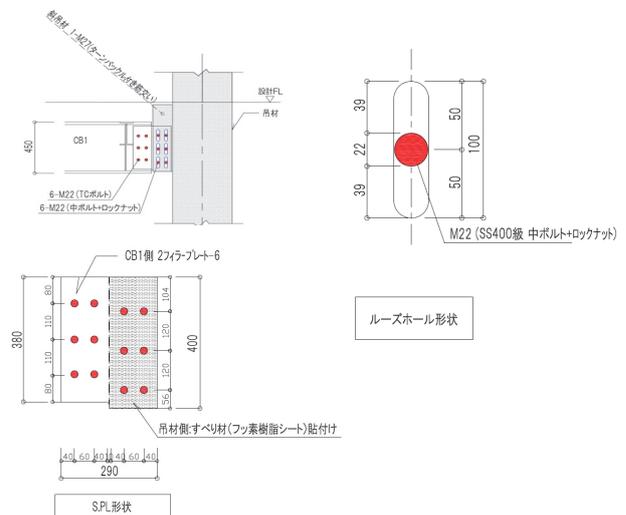


図-5 振れ止め部ディテール

寸法で施工した場合、最上階の取付け完了時点で自重により8階で約12mm、建物本体と相対変位が発生すると予想された。

さらに、建物完成時は、床荷重を40kg/m²とした場合で相対変位が約20mmとなる計算結果が得られた。これらをふまえたうえで、完成時に相対変位がおおむねゼロに近づくような精度確保計画が必要となった。

そこで、自重により下がることをふまえて、ACW801の取付け高さを各階必要量あげ越すこととした。具体的には、最大変位が見込まれる8Fで+15mm、以降1フロアごとに1mmずつ減らし、最上階では±0で取付ける計画とした。

なお、ACWのファスナーの調整しろは、製作・施工誤差吸収用で±27mmとなっているが、8Fで15mm上げて取付けるために、鉄骨ブラケット自体の高さも各フロアで適宜上げて製作した。

(2) ACW801の妻ユニットレベル管理計画

ACW801には、**図-6**のような本体建物と直行する構面を持つユニットが両妻側に存在する。

妻側のACWは、下地鉄骨の元端が本体鉄骨に接続されているため元端側では相対レベルは下がらず、先端に近付くにしたがって先程の相対変位を生じることになる。このため、妻ユニットは取付け時には左右にレベル差を持たせ、平行四辺形に取付けざるを得ない。**(図-7)**

当社においてはカーテンウォールユニットを平行四辺形で取付けた実績がなく、施工上の不安があったため、実際のユニットを先行製作し施工試験を行った。

その結果、ユニットがゆがんだ状況では枠内でガラスが強制ロックするが、平行四辺形を長方形に戻したときに、ガラスの脱落やガasketの抜けなどの支障は見られず、実施工に採用できると判断できた。**(写真-3)**

5-3 吊材取付け時の仮受け部材の検討

ACW801の支持鉄骨はフラットバー (FB-80 × 450) であり、位置精度確保が難しいが、そのまま仕上材となるため高い精度での取付けが求められる。このため、各節、本体鉄骨が固まり精度が確保できたのちに吊材を取付ける計画とした。**(図-8)**

吊材には構造上圧縮力をかけられないため、この時点では継手部は接合せず、各節ごと仮設の斜吊材により位置を保持する計画とした。**(図-9)**

斜吊材は2層分の吊材重量および床先端のキャンティスラブハーフPC荷重を負担するものとし、ターンバックル付プレスM27を奇数階に配置する計画とした。

コミュニケーションボイドに点在する床は800mm以上突出したキャンティスラブとなっており、ACW支持鉄骨の円形鋼管梁上に位置する。これを安全かつ効率的に施工するためにハーフPC化し、コンクリートの強度が発現するまでは円形鋼管梁から支持する計画とした。

鉄骨建方時に仮設斜吊材で仮受した吊材は、上棟後に

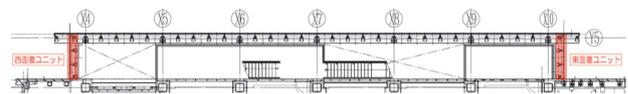


図-6 妻ユニット位置

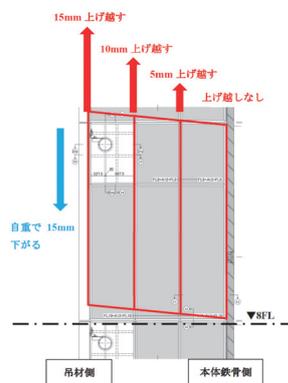


図-7 妻面概念図



写真-3 施工試験状況

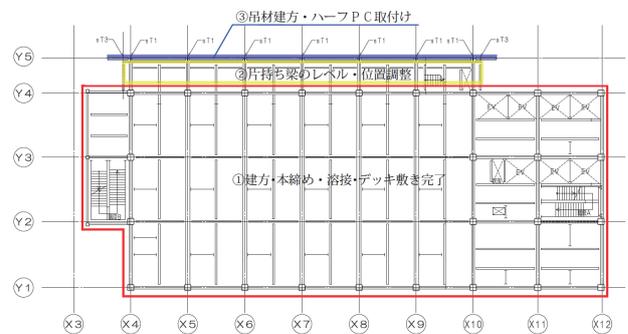


図-8 鉄骨建て方、吊材取付け順序

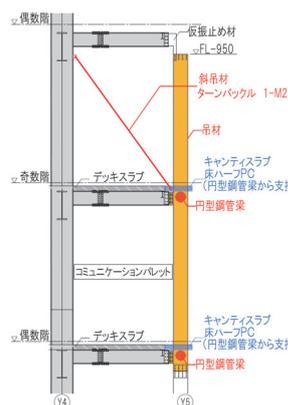


図-9 吊材取付図

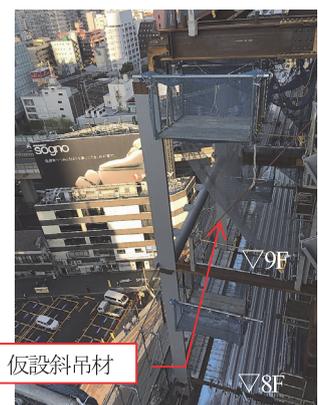


写真-4 吊材

屋上のハットトラスに吊り替える必要がある。吊り替えは、最上階の床コンクリート打設後、レベル・位置の再調整を行ったうえで、上階から順に吊材をハットトラスにつなぎながら斜吊材を切断する手順とした。

5-4 ACW801 吊出し計画及びヤード計画

(1) 吊出し計画

ACWユニットは、ガラスを現場取付けとしており、そのヤードはユニット取付け階およびその上階と設定している。ガラス取付け後、フォークリフトとテルハクレーンにより、各フロアから吊出し、所定の位置にテルハクレーンで移動させ据付ける。テルハクレーンで取付けることができない妻面のユニットは、タワークレーンを使用する計画とした。

テルハクレーンは揚程の関係で14階に設置したのち、設置階の2フロア下までのユニットを吊込み、20階、PHR階と順次盛替える計画とした。

なお、屋上部分のACWはヤードを19・20階に設け、タワークレーン2号機撤去後の開口を利用しタワークレーン3号機にてユニットの吊出しを行う計画とした。

揚重計画図を図-10に示す。

(2) ヤード計画

各階のACW801の施工に必要なヤードとして、吊出しスペース、ユニット敷並べスペース、ガラス取付けスペース、ACWとガラスの空パレット置場等があり、全体で1,000㎡程度を要する。ところが、ヤードとして有効なスペースが1フロアあたり700㎡程度しかない。

また、12～20階では、吊出しスペース付近には100～335mmのスラブ段差があり、ユニットを吊出し場所に移動するために勾配のゆるい大きめのスロープが必要となる。

ガラスの仮置きについては、1パレット当りの重量が約600kgになることから、構造体への負担を最小限とするため大梁端部付近に配置する必要がある、レイアウトの制限となった。

ACW801は1フロアあたり40ユニットあるが、上記をふまえると1フロアに敷並べできるユニット数は最大25ユニット程度であったため、取付けフロアと直上階の2フロアをヤードとする計画とした。基準階のヤード計画図を図-11に示す。

(3) ACW801 工程計画

ACW801のサイクル工程は、ユニット敷並べ1日、ガラスの取付け1日、ユニット吊出し1日の3日間とした。表-3にサイクル工程を示す。

ACW801の工程は、8階からPHR階ユニットの17フロアを3日サイクル、途中テルハクレーンの盛替えて2日間が2回、監理者及び施主立会検査で2日間と、実働で57日間の工程とした。

人員配置は、テルハクレーンリモコン操作1名、フォークリフト運転1名、ユニット下端取付け2名、ユニット上端取付け2名の計6人体制で計画した。

ACW801のヤードとして各フロアを占有する期間は、ユニット搬入から吊出し完了に予備日1日を加え、5日間の計画とした。



写真-5 敷並べ

写真-6 ガラス取付



写真-7 吊出し

写真-8 取付

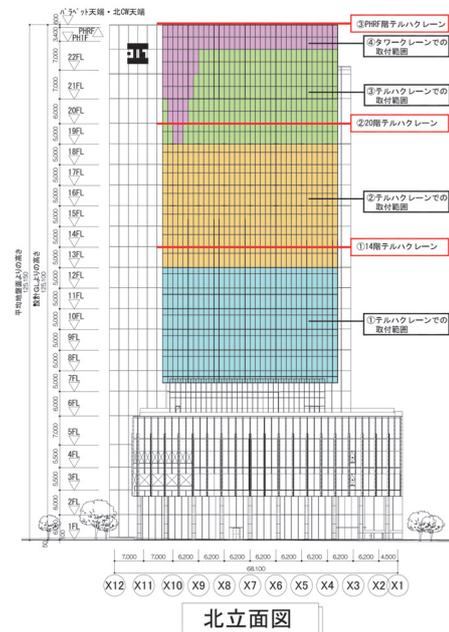


図-10 揚重計画図

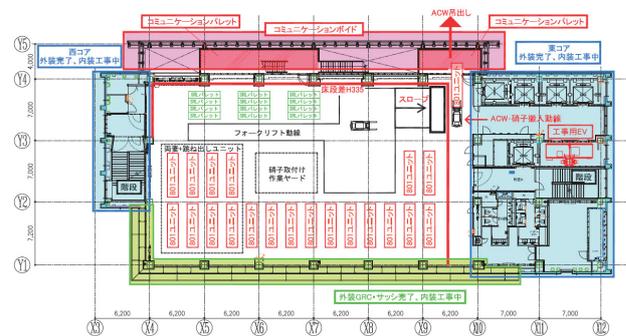


図-11 ヤード計画図

表-3 サイクル工程

日	1	2	3	4	5	6	7	8
N+3階							CW搬入	CW敷並べ ガラス搬入
N+2階				CW搬入	CW敷並べ ガラス搬入	ガラス取付	CW搬入	CW敷並べ ガラス搬入
N+1階	CW搬入	CW敷並べ ガラス搬入	ガラス取付	CW搬入	CW敷並べ ガラス搬入	ガラス取付	CW吊出し	調整
N階	CW搬入 CW吊出し	CW敷並べ ガラス搬入	ガラス取付	CW吊出し	調整			

§6. まとめ

6-1 鉄骨建て方

高層部の鉄骨建方にあたっては、建物全体の高さを完成時に確保するために、建物本体の軸縮みの値を考慮して5節から柱を高めに取り付けるべく精度管理を行った。しかし、長めに作りたかった柱の製品長さが許容値内ながらも短めの傾向であり、本体鉄骨のレベル管理には苦労した。原因は、製作時の仕口部の溶接縮みの管理が難しかったためであると考えられる。

また、精度向上のため建方エリアごとに3回（本締め前、溶接前、溶接完了後）の監理者立会いの建入れ検査を行った。これには、職員・作業員共に根気強さが求められる。今更ながら鉄骨を精度良く建てるためには作業員の意識を向上させ、まとまりのある組織を作ることがとても重要だと感じさせられた。

吊材の取付けには、吊材の仮固定と最終のレベル調整に使う仮設の支持部材としてM-27ターンバックル付プレスを採用した。吊材の建方時（仮取付時）は、それほど荷重がかかっていないため調整が可能でありスムーズに建方を進めることができたが、吊材の最終調整時は荷重がかかり、人力ではターンバックルの調整が難しく、チェーンブロックで1本ずつ調整を行うこととなった。これら熟練した鳶工・鍛冶工等の地道な苦勞の結果、ACW支持鉄骨をとて精度良く納めることができた。

6-2 カーテンウォール

ACW801の高さ精度は、下階では想定値の-5mm以内、上階では-2mm以内となった。これにより解析結果は概ね妥当であり、適切な施工であったといえる。

ACW801の施工サイクルは、計画通り3日で実施した。サイクル厳守はヤードの占有期間やACWユニットやガラス等の搬入予定の問題のみならず、全体工程に影響する非常に重要なポイントであった。

ACW801ヤード計画では、ユニットの搬入前に資機材を一斉に片付け、フロアを明けわたしてもらう必要があった。ACW801の取付けが上棟後となることや必要となるスペースについて協力をあおぎ、工種を問わず関係者が一丸となることではじめて、計画どおりにヤードを確保することができた。

ACW801の歩掛りは、680ユニットに対し合計319人であり、ほぼ計画通りの人工で施工を完了できた。

謝辞. この計画には関係各位に多大な協力を頂いた。計画に携わって頂いた方々には頻繁に施工中に足を運んで頂き、工事の進捗を常に気に留めて頂き心強かった。ここに心からの感謝の念を表して謝辞としたい。

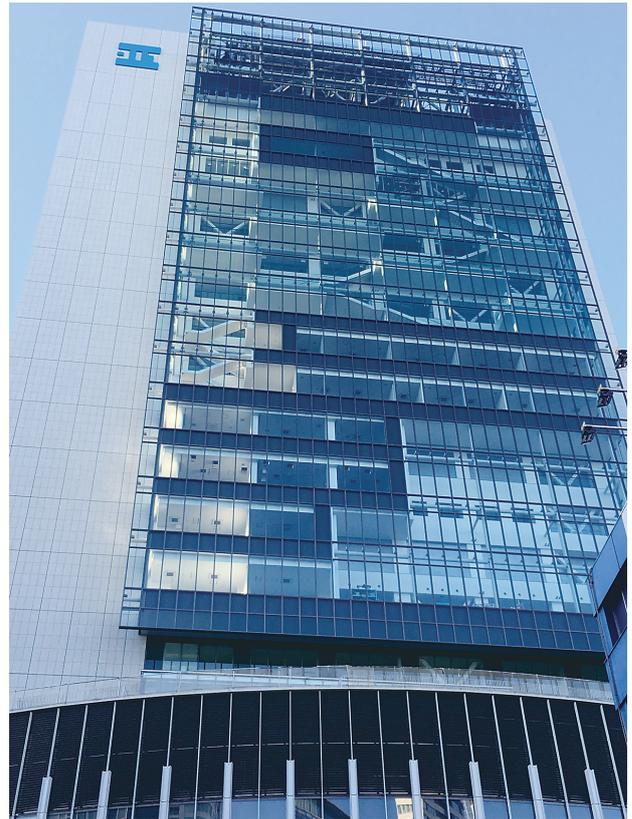


写真-9 外観

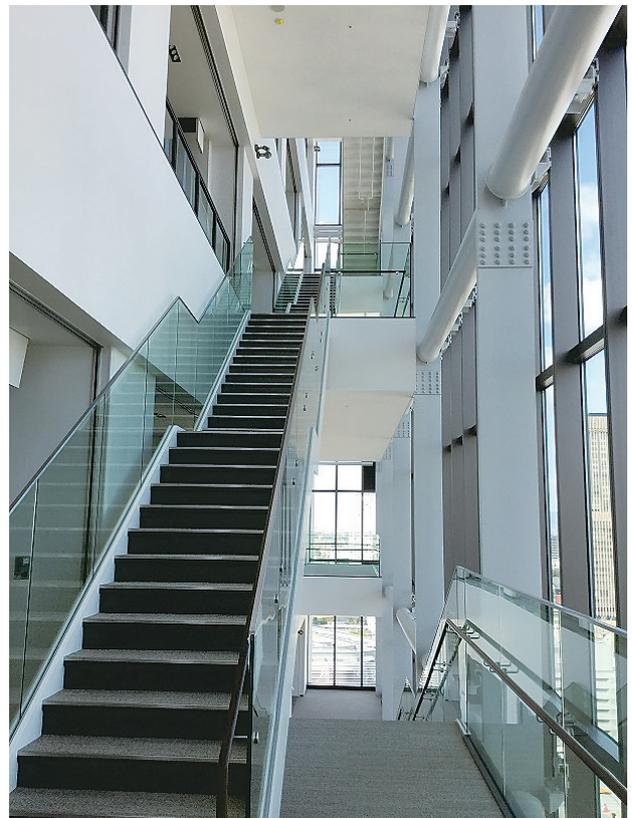


写真-10 内部吹抜（コミュニケーションパレット）