

東京都第二本庁舎における外装カーテンウォール工事

Work of Exterior Curtain Wall System on Tokyo Metropolitan Government No.2 Buliding

賢谷 敏生*
Toshio Kentani

要 約

本報文は、東京都第二本庁舎建設工事において、外壁に使用した石打込みのPCカーテンウォールに関する施工報告である。

日本で柔構造の高層ビルにPCカーテンウォールが用いられて約20年が経過し、その間さまざまな改良や工夫がなされ、カーテンウォールの耐火性能や水密性能は向上し、現在では高層ビルの外壁として、一般的な仕様となっている。

また、当建物には新宿の超高層ビルとして初めて電波吸収パネル打込みのPC板が部分的に使用されている。テレビ電波が高層ビルの外壁で反射して起こるゴースト現象は超高層ビル建設に伴う環境問題として注目されているが、本工事では電波吸収パネルを使用し、建物側で防止策を試みたものである。周辺には十数棟もの超高層ビルが林立しているため、都庁舎だけで結果を判断することは難しいが、今後の超高層ビル建設の参考になるであろう。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. PC板の製作
- §4. PC板の取付
- §5. 電波吸収パネル
- §6. おわりに

§1. はじめに

都庁舎の外装工事も終わり、複雑なパターンをもつ外壁模様が現われている。2色のみかげ石で構成されたパターン模様が周囲の超高層ビルとは異なったイメージを表わしている。

テレビ電波が、建物壁面に反射しておこるゴースト障害の防止策として、第一本庁舎と第二本庁舎の外壁の一部に、電波吸収パネルが採用されている。PCカーテンウォールとともに電波吸収パネルの施工概要もあわせて報告する。

§2. 工事概要

工事名称：東京都第二本庁舎建設工事

工事場所：東京都新宿区西新宿二丁目9番

企業先：東京都

設計監理：丹下健三・都市・建築設計研究所

施 工：鹿島・大林・西松・住友・巴組・石原・白石・新・京王・工新建設共同企業体

工 期：昭和63年3月15日～平成2年12月24日

構 造：SRC造(地下3階～1階), S造(2階～34階)

規 模：地下3階 地上34階, 最高高さ 163m

*東京建築(支)

延床面積 141,034㎡, 建築面積 9,785㎡
 外壁：みかげ石打込 PC カーテンウォール
 施工面積 44,700㎡, ピース数 4,460枚
 その内電波吸収パネル
 施工面積 5,026㎡, ピース数 465枚
 また, 建物配置および平面, 断面図を Fig.1~3 に示す.

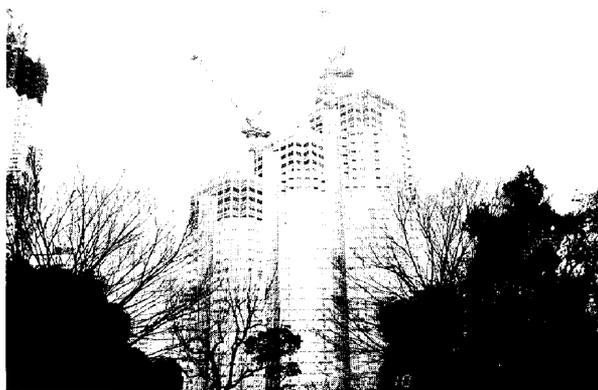


Photo 1 建物外観



Fig.1 建物配置図

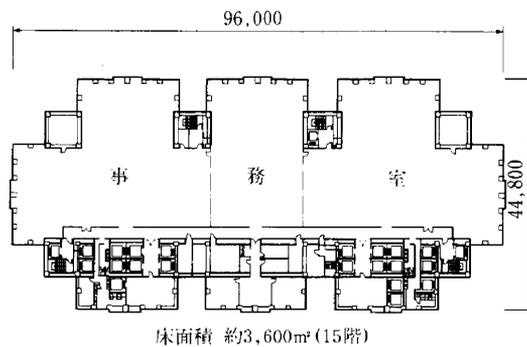


Fig.2 基準階平面図

Table 1 PCカーテンウォールの概要

石材	外国産みかげ石 { ホワイトパール(スペイン, ポンテベドラ産) { マホガニー(スウェーデン, ベステルビク産)
コンクリート	軽量一種コンクリート 設計基準強度 $F_c=300\text{kg/cm}^2$ 比重 $\delta=1.9\text{t/m}^3$ 脱型強度 $F_t=120\text{kg/cm}^2$
鉄筋	SD30, SR24 JIS G3112 鉄線 JIS G3532
型枠	鋼製型枠
石材との接合金物	シアコネクター SUS-304
石材裏面処理	反応硬化形エポキシ樹脂と珪砂3号併用
シーリング材	一次シーラー——パネルジョイントは変成シリコン(二成分) 石+石ジョイントはポリサルファイド系 二次シーラー——シリコンスポンジ環目地 耐火目地
サッシ	アルミ押出型材 (JIS H4100) A6063S-TS アルミ抜材 (JIS H4000) A3004 仕上——陽極酸化皮膜 20μ +透明樹脂塗膜 7μ
ガラス	複層ガラス ⑦8+6+6mm~⑦15+6+15mm 外部側熱線吸収反射ガラス
パネル方式	下置ロック方式, 固定方式

PC板の概要および要求性能を Table 1, 2 に示す.

3-2 詳細

(1) ファスナー形式

- ・柱タイプパネル：下置きロック方式 (回転方式)
- ・梁タイプパネル：固定方式

PC板のファスナーについては, 建物内部の柱型内に納める形状となっているため, 同一形状のPC板でもファスナーの位置が異なるものもある.

ファスナーの詳細を Fig.4, Photo 2 に示す.

§ 3. PC板の製作

3-1 概要

PCカーテンウォールの基本的ディテールは第一本庁舎, 第二本庁舎, 議会棟で共通である. しかし外観は同じでも, 各JVの考え方により, PC板の製作や施工方法に多少の違いが見られる.

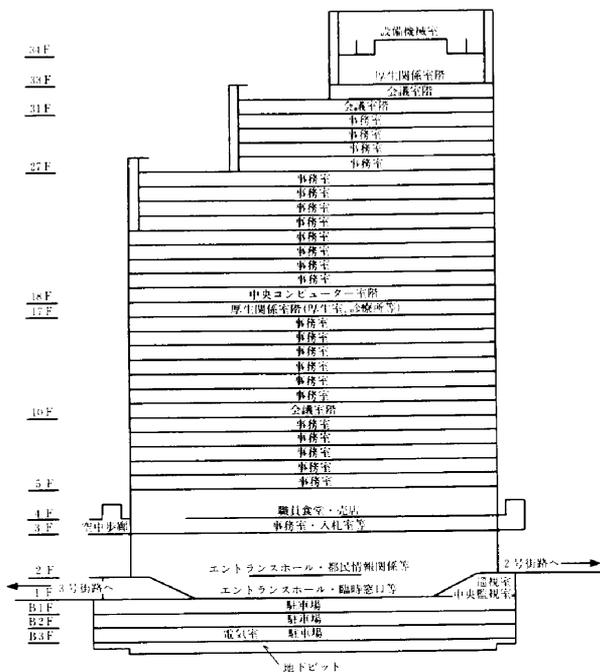


Fig.3 断面図

Table 2 PCカーテンウォールの要求性能

	層間変位角(H:階高)	
	X方向	Y方向
層間変位追従性能	レベル1	±1/300H
	レベル2	±1/100H
設計用震度は水平、上下方向とも K=1.0。 レベル1は外部各部とも何ら損傷が起こらない。 レベル2はシール部の局部的補修程度で、各 部材が破損、脱落しない。		
耐風圧性能	耐風圧 P+	耐風圧 P-
	第1本庁舎	552kg/m ² 967kg/m ²
配筋・ファスナー断面算定用。 建築物荷重指針による風荷重(再現期間150年) と建設省告示による風荷重の内大きい値を採用。		
断熱性能	基準階標準部分の外装ユニットの平均熱貫流率は K=3.2kcal/m ² ・h・°C以下。 開口部分を含めたカーテンウォール全体の熱貫 流抵抗は0.8m ² ・h・°C/kcal以上。	
遮音性能	基準階標準部分の外装ユニットの音の平均透過 損率は30dB以上。	
水密性能	開口部水密	50 kg/m ²
	FIX部水密	300 kg/m ²



Photo 2 PC板ファスナー部詳細



Photo 3 PC板ジョイント部詳細

(2) ジョイント

PC板とPC板の目地はクローズドジョイントである。二次シール材はPC製作工場に取り付けて現場に搬入した。ジョイント部の詳細を Fig.5, Photo 3, 4 に示す。

3-3 製作

(1) 製作メーカー

使用するPC板の数量が多いので、4社に分割発注した。分割区分は電波吸収パネルを1社で、その他を3社で製作した。製作メーカーおよび区分を Table 3 に示す。

(2) みかげ石

外壁仕上げに使用されたみかげ石は、色の濃い方がロイヤルマホガニー(スウェーデン・ベステビク産)、淡い色がホワイトパール(スペイン・ポンテベドラ産)でどちらもみかげ石である。

PC板に打ち込まれる石の面積は38,000m²で、枚数にして約12万枚にもなり、形状・寸法の違いによる種類は2,000種類にも及ぶ。

石の色合い、斑点および縞模様などは設計者との協議で許容範囲を決定した。色合わせは特に行わなかったが、建物の正面になる東側壁面の色調を優先するために、多少色むらのある石は西側壁面のPC板に使用した。

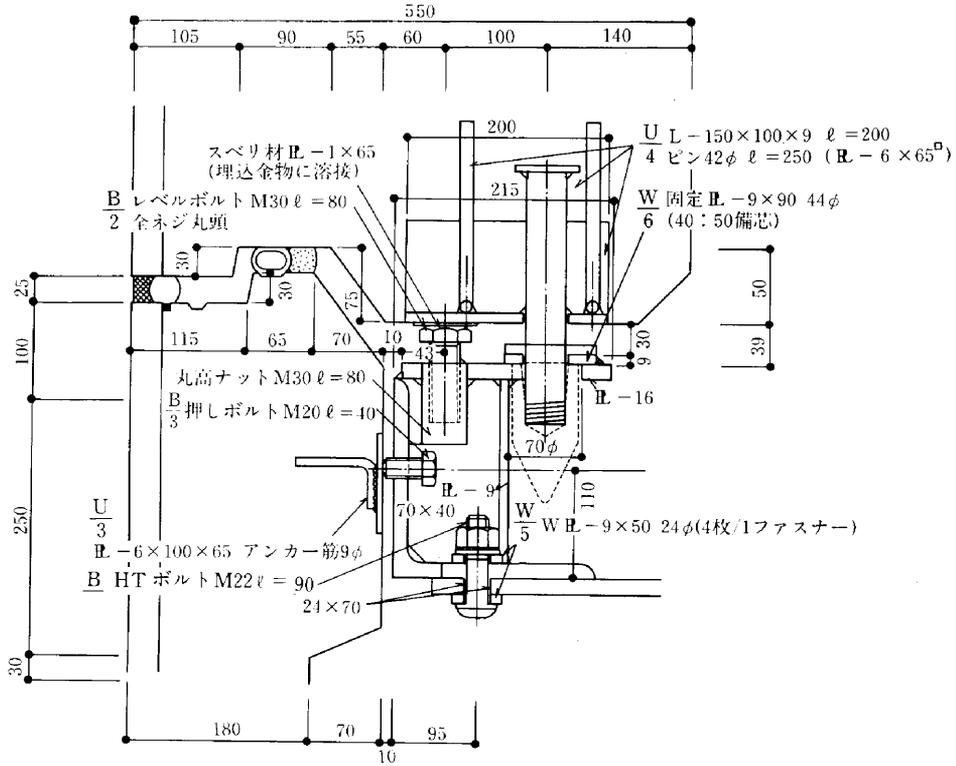


Fig.4 ファスナー部詳細



Photo 4 PC板ジョイント部詳細

Table 3 PCメーカー一覧表

メーカー	所在地	製作担当部位	製作ピース数
S社	埼玉県川越市	南側	1,657枚
T社	茨城県結城郡 (結城工場)	北東側	1,133枚
H社	茨城県西茨城郡	北西側	1,205枚
K社	東京都江東区	電波吸収板	465枚
	合計		4,460枚

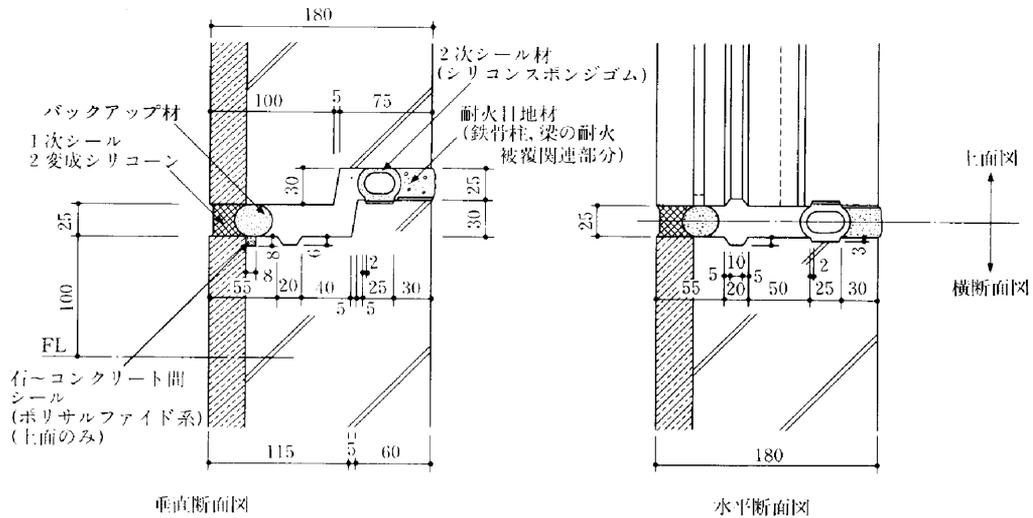


Fig.5 ジョイント部詳細

みかげ石は第一本庁舎、第二本庁舎、議会棟の三棟共イタリアのカンポロギー社に発注し、イタリアの加工工場ですライス、水磨きまでを行った。その後船便で輸入し、国内の石材業者で寸法切断、役物加工を行ったのち、各製造工場でPC板に打ち込むことにした。

(3) 支給材料

共同企業体からのPC板製造業者への支給材料としては、石、アルミサッシ、アルミボーダー、ゴンドラレールおよび打込金物(ドレーン、インサート等)があり、PC板の製造工程に合わせて各メーカーからPC板製造工場へ納入した。これら副資材は製造工程管理、製品検査を行い、PC板の製造工程に支障がでないようにした。

(4) 型枠

型枠材は鋼製で石敷込み面にはクロロプレンゴム、プラスチック等を使用した。ただし、ファスナー受けのアゴなど特異な形状に対しては木製型枠を併用した。

(5) みかげ石のセット

PC板打込み2~3日前に石の裏面にエポキシ樹脂を塗り、その上に珪砂(3号)を散布する裏面処理を行ったのち、シャーネクターのセットを行った。敷込み直前の型枠清掃を完全に行った上で、製作図に基づいて型枠定盤上に石を敷き並べた。

石を敷き並べる際に、石の目地部分には所定の目地幅を確保するためアクリル樹脂製スペーサーを介在し、裏打ちコンクリートを打ち込む際にペーストが漏れないようにエサフォームを挿入し、さらにシール剤を目地部およびサッシ開口廻りに充填した。目地部分の詳細を Fig. 6 に示す。

石のセット完了後、鉄筋、ファスナーおよび脱型用吊フックなどの金物を取り付け、ファスナーの取り付けアゴの部分型枠をセットする。その後コンクリートを打設し蒸気養生のあと、型枠を脱型した。Fig.7 にPC板の立面図および断面図を示す。

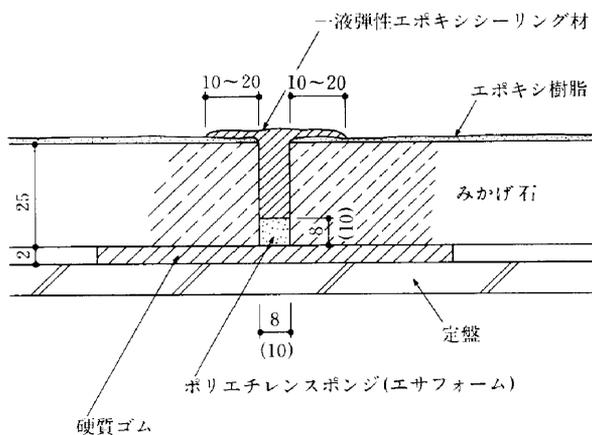


Fig.6 みかげ石目地部

(6) 出荷

出荷にあたっては製品表示および二次シールの接着状態等を確認した。さらに汚れ、ひび割れ、角欠け、錆などの有無を目視により確認し合格したもののみ出荷した。合格した製品の見えがくれ部分にメーカー名、製造年月日、製品記号を入れた。

(7) 検査

PC板製作時の工場における品質検査項目を Table 4 に示す。

Table 4 品質検査項目

検査	検査項目
コンクリート試験練り	<ul style="list-style-type: none"> 配合計画照合 スランプ …… 5 ± 1.5cm 空気量 …… 3 ± 1.0% コンクリート温度 塩分含有量 …… 0.3kg/m²以下 脱型強度 …… 120kg/cm²以上 標準養生 7日・28日強度 …… 300kg/cm²以上
型枠配筋検査	<ul style="list-style-type: none"> 型枠寸法 石配置 裏目地シール 配筋 ファスナー位置 金物位置
製品検査	<ul style="list-style-type: none"> 製品寸法(同一型枠20枚ごとに1回)…辺長、板厚、対角線長、曲がり、ねじれ、そり、面の凹凸、金物位置、サッシ位置 石の模様、色あい…色むら、染みを石のカラーレンジ内におさめる 裏目地シール…の漏れの有無を確認する コンクリート打設状況…気泡、じゅんかの有無を確認する

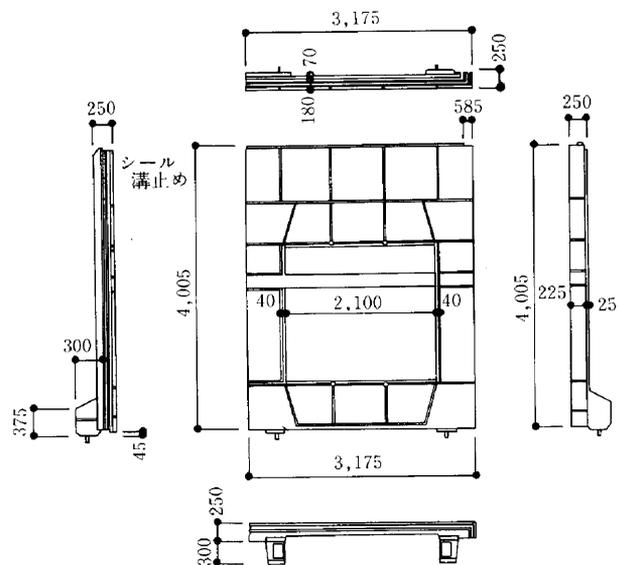


Fig.7 PC板立面断面図

§ 4 . PC 板の取付

4-1 人員配置およびタイムスケジュール

(1)人員配置

係 員：PC板製造業者から各社1名
打合せ、安全指導、検査、車輛手配等
を行う。

PC板取付工：1組当たり4名程度
PC板の荷卸し、取付等を行う。

金物取付工：1組当たり3名程度
金物配置、墨出、金物取付等を行う。

PC板調整工：1組当たり3名程度
PC板の微調整を行う。

鍛 冶 工：2名程度
取付金物の溶接を行う。

(2)タイムスケジュール

建物を平面的にA1、A2の2工区に分割し、1日当りの取付数量をA1工区で24枚、A2工区で27枚となるようなタイムスケジュールを計画した。

荷卸し：3分/1枚(50t吊りクローラークレーン使用)

取付け：20分/1枚(クライミングクレーン使用)

また、荷卸しは原則として午前中に終了するようにした。

4-2 運搬・荷卸し・ストック

(1)輸送計画

輸送に先だち、運行経路、距離、所要時間を調整する

と共に、交通規制、現場内外の状況から荷姿、搬入時間を決定した。車種は10t積みトラックおよび30t積みトレーラーを使用した。

積載はPC板仕上面を下向きにし、クッション材を挟んで2、3枚重ねとした。また、運搬中に荷くずれしないよう堅固に固定した。

(2)荷卸し

部材に埋め込んだインサートに荷卸し金物を緊結し、玉掛けワイヤー4本で水平に吊り上げストックヤードに仮置きした。Fig.8に荷卸し図を、Photo5に荷卸し状況を示す。

(3)ストックヤード

雨天、強風、揚重機の故障および工程の変更等により取付けを中断する場合を予想して、1日分の取付枚数をストックできる場所を確保した。ストックヤードには建物外周部の仮設構台上を使用した。

4-3 墨 出

墜落落下防止、内部への風雨の吹き込み防止、立ち上がった鉄骨によるゴースト障害の防止、PC板ファスナー周辺の駄目コンクリート回避などの目的で、床スラブのコンクリート打設前に外周のPC板を取付けることとした。そのため、PC板取付用の墨は、鉄骨より上で面内方向に割付け墨(目地芯)を出し、面外方向に返り墨を出した。水平高さは鉄骨柱にマークしてある基準墨より計測した。

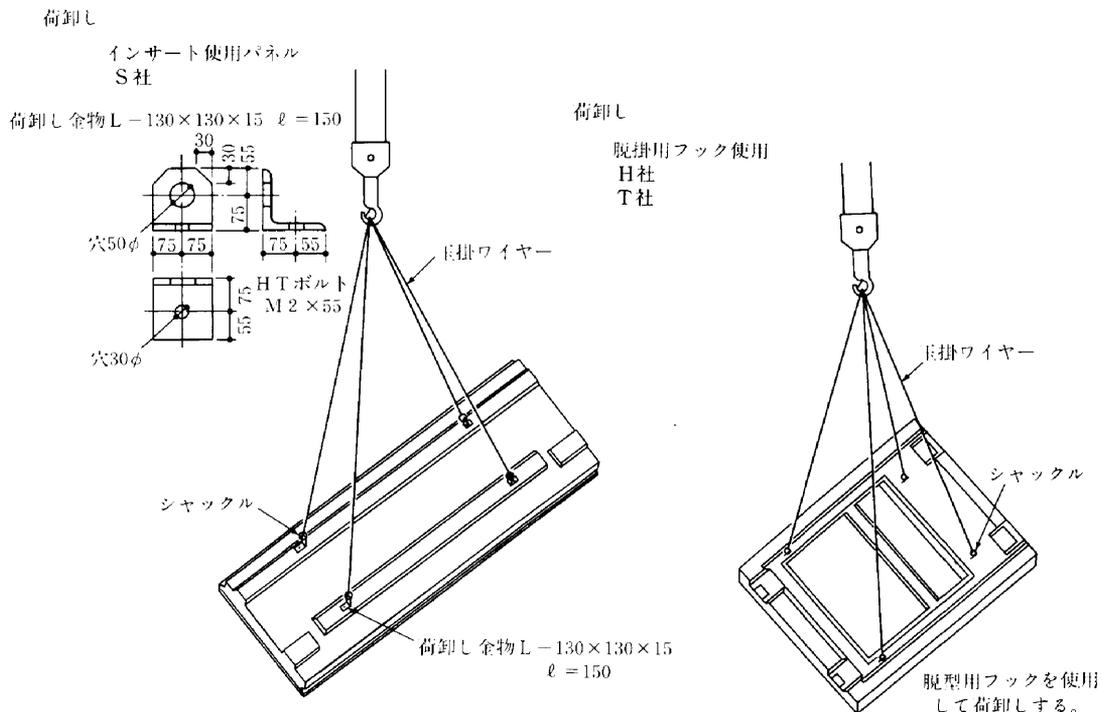


Fig.8 PC板の荷卸し

4-4 作業手順

(1) 取付け

取付けはクライミングクレーンを使用し、PC板1枚当たりの取付時間20分の内分けは、玉掛作業約7分、取付作業約13分の計20分である。玉掛作業手順を①～⑦に示し、取付作業手順を⑧～⑯に示す。

- ①PC板の吊りインサートに吊り金具を取り付け、ボルトの締め付けを確認する。
- ②クレーンのフックに取り付けたチェーンブロックにPC板の吊り金具をシャックルで取り付ける。このときシャックルの締め付け、フックのはずれ止めを確認する。
- ③PC板を建て起こす際に床と接する支点部にゴムマットを敷く。
- ④クレーンを巻き上げ、PC板の建て起こしを行う。建て起こし状況を Photo 6 に示す。
- ⑤PC板を垂直に建て起こしたら巻き上げを停止し、吊り治具の確認をする。
- ⑥低速でクレーンを巻き上げ、地切りをしてから荷振れを止める。
- ⑦クレーンを巻き上げ、PC板を取付け位置へ移動する。合図を取付階の合図者へ引継ぐ。Photo 7 に吊り上げ状況を示す。
- ⑧PC板を建屋等に当てないように注意して取付位置に誘導する。
- ⑨取付位置近くで一旦停止し、PC板の向きを直し荷の振れを止める。
- ⑩ブームを旋回または起こしてPC板を引き寄せる。Photo 8 に引き寄せ状況を示す。
- ⑪取付高さより10cm位上でクレーンを停止する。
- ⑫レバーブロックでPC板上部を控え取りする。PC板下部の荷重受が所定の位置にかかるまで引込む。

- ⑬チェーンブロックを緩め、荷重受（ボルト、ナット）に荷重をかける。
 - ⑭バールでPC板を墨に合わせる（割付け、出入り共）。上部はレバーブロック、キャンバーで墨に合わせる。
 - ⑮ファスナーを仮り付けし、ボルトの締め付けを行う。
 - ⑯クレーンを解除し、吊りボルトとワッシャーは布袋に入れる。
- (2) 微調整

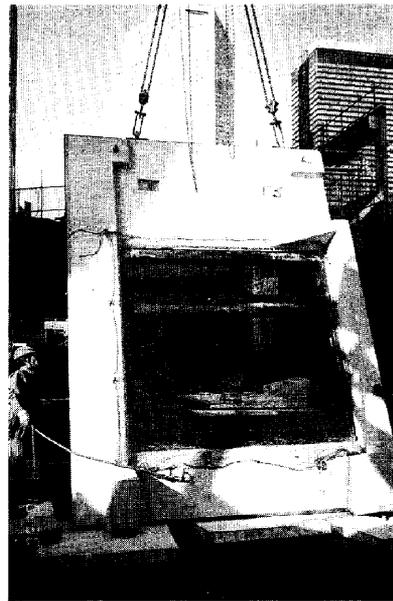


Photo 6 PC板玉掛け作業

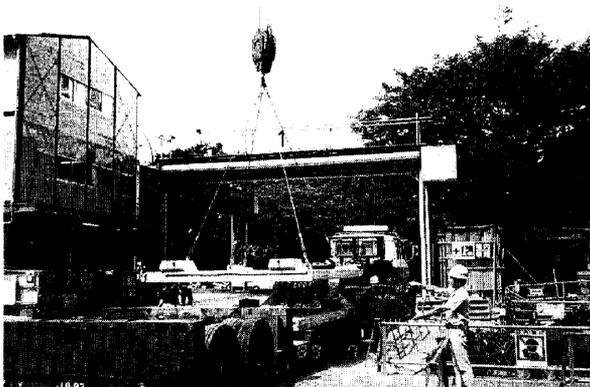


Photo 5 PC板荷卸し状況

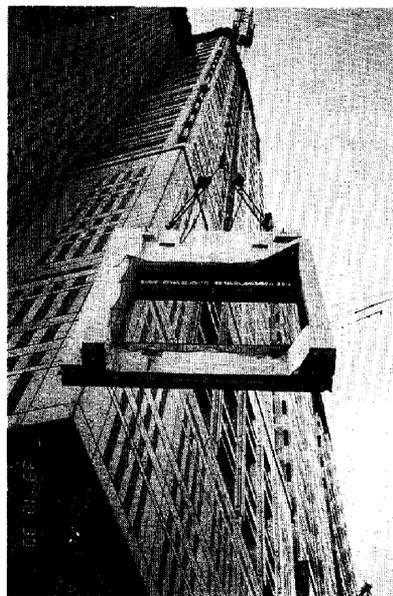


Photo 7 吊り上げ状況

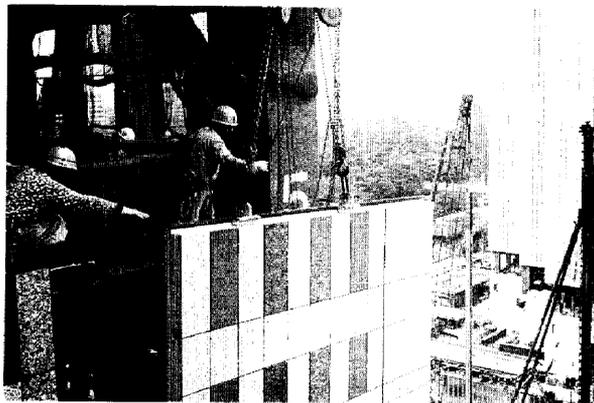


Photo 8 PC板引き寄せ状況

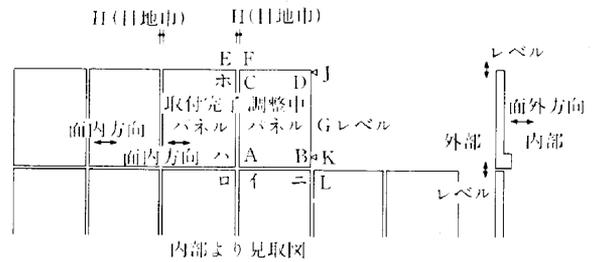


Fig.9 PC板の調整

PC板の微調整概略を Fig.9 に示す。

1) 面外の調整

- ① A を目視でイ、ロ、ハに合わせる。
- ② B を返り墨により合わせ、B とニの誤差を差し金でチェックする。
- ③ D を返り墨により合わせ、C とホの誤差を差し金でチェックする。

2) 面内の調整

- ① K と L を合わせ、A～ハ間とイ～ロ間の目地巾のずれを目視で確認する。
- ② J の位置を墨により合わせ、目地巾 H をスケールで測定する。

3) 高さの調整

- ① G 点をレベルで測定し、E 面と F 面の誤差を計る。誤差が 3mm を越えた場合は、部材全体を上下させ、誤差を振り分ける。

4-5 検査

PC板調整後、取付チェックシートをもとに、企業体の立合検査を行った。検査項目を以下に示す。

- ・現場搬入時の荷受検査
- ・PC板の取付および調整後の検査
- ・ファスナー溶接検査
- ・溶接部の防錆処理外観検査

§ 5 . 電波吸収パネル

5-1 テレビ電波の受信障害

ビル建設に伴い、テレビ電波の受信環境が悪化することはよく知られており、超高層ビルによるテレビ電波への悪影響は広範囲に及んでいる。テレビ電波は90MHz～222MHzのVHF帯に12チャンネル、470MHz～770MHzのUHF帯に50チャンネルが割り当てられている。

テレビ電波の電界成分と磁界成分はそれぞれ電波の進行方向に対して直角であり、電界成分には地面と水平な水平偏波と、垂直な垂直偏波がある。特にテレビ画面に支障を与えるのは、磁界の強度である。テレビ電波は光と同様に回折、反射等の性質がある。このためテレビ電波の伝播路にビルが建設されると、テレビ電波がビルに遮られることにより生ずる遮へい障害の他に、ビルの壁面で反射した電波により生ずるゴースト障害が発生する。その結果テレビの画面にノイズが目立ってきたり、画面が二重、三重になるなどの症状が現れる。

5-2 受信障害対策

遮へい障害に対しては共同受信施設を設け、ゴースト障害に対しては電波吸収壁を設けることで対策とした。第二本庁舎の外壁に使用されたPC板は、4,460枚であり、その内の465枚が電波吸収パネルである。東京タワーからの電波が直接当たる南側および東側壁面に電波吸収パネルを使用した。TV電波到来方向を Fig.10 に示し、電波吸収パネル取付位置を Fig.11 に示す。

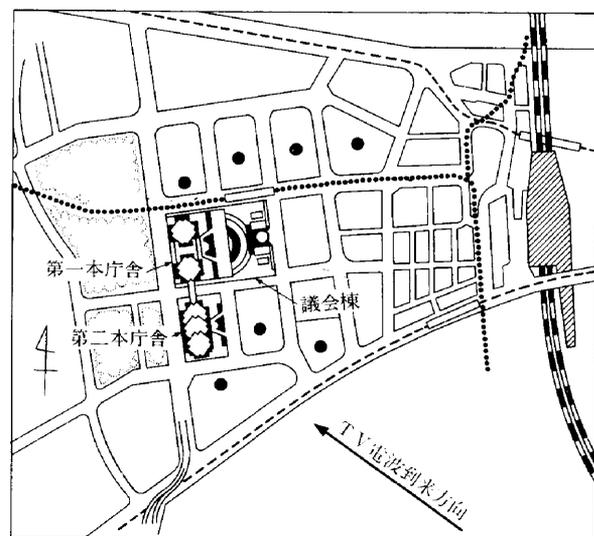


Fig.10 TV電波到来方向

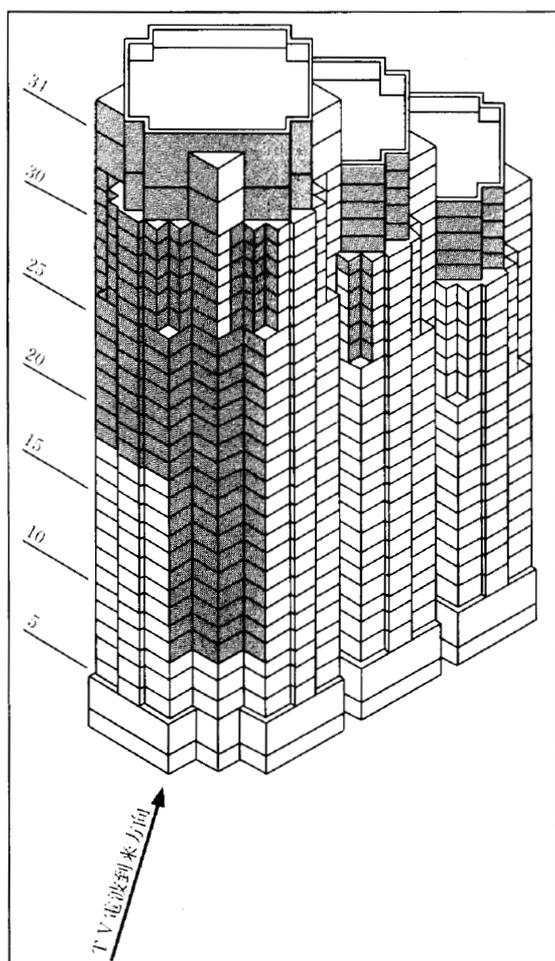


Fig.11 電波吸収パネル取付位置図

PC板の仕上面には御影石が打ち込まれており、この石の裏面に10cm四方の電波吸収体(フェライトタイル)が、第二本庁舎だけでも20万枚、約90°が取り付けられている。

窓ガラスは熱線吸収板ガラスに金属酸化物を焼付けたものが使用されており、熱線反射板ガラスと、熱線吸収板ガラスの両性能を併せ持ち、テレビ電波の反射を防ぐと共に、すぐれた省エネ効果を発揮するものである。

5-3 電波吸収体の特性

電波吸収体とは入射した電磁エネルギーを吸収、減衰させて、熱エネルギーに変換させてしまう物体であり、電波エネルギーに対して損失を与える物質からできている。フェライトタイルもその一つで、下記の特性をもっている。

- ・化学的に安定している。
- ・電波吸収による経年変化が少ない。
- ・耐候性、耐久性が良い。
- ・少ない厚み(4~9mm)ですぐれた電波吸収性を有す

る。第二本庁舎では厚さ約9mmの材料を使用した。フェライトとは酸化鉄(Fe₂O₃)に2価の金属NiO、ZnOなどを混合し千数百度で高温焼結したセラミックス磁性体であり、Table 5の物理特性を有する。

フェライト電波吸収体の原理は、フェライトがもつ磁気共鳴現象を利用して電磁波エネルギーを熱エネルギーに変換することにある。

本工事でPC板に用いられた方法を以下に述べる。

PC板の前面から入射したテレビ電波は、石裏面に取り付けられた電波吸収体(フェライトタイル)で減衰された後、裏面の金属反射板(PC板の内部鉄筋)で反射し、再度電波吸収体により減衰される。したがって、PC板を透過したテレビ電波はゴースト障害を起こさない電波となる。

5-4 フェライトタイル

(1) 製造メーカー

日本フェライト株式会社

(2) 材質および品名

材質: T-314

品名: SD-100-100-9

(3) 形状および寸法

Fig.12に示す。

(4) 平行度(接合面)

フェライトタイル平行度測定点をFig.13に示す。

1) 製品長さのバラツキ

①~③3点測定 最大-最小≤0.3mm

2) 製品厚さのバラツキ

④~⑧5点測定 最大-最小≤0.1mm

3) 接合方法

Fig.13に示すように、フェライト板接合面はA、B側とし、印をした面を表にして接着する。

(5) 抗折強度

抗折強度は4kgf/mm²以上とし、下式で算定する。

$$\text{抗折強度 } \sigma = 3PL / 2Wh^2 \geq 4 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

ここで P: 荷重(kgf) W: 幅(mm)

L: 支点間距離(mm) h: 厚さ(mm)

(6) 外観基準

著しい欠損が無いこと。目視でひびわれが確認された場合は不合格とした。

5-5 電波吸収壁の構造

フェライトタイルの電波吸収体を外壁のPC板として使用するために次のような措置をとった。

① 三層型電波吸収壁

表面の石材とコンクリートとの間にフェライトタイルを配置する三層構造とした。

Table 5 フェライト電波吸収体の物理特性

比重	4.6~5.0
抗折強度	65MPa 以上
引張り強度	6 MPa 以上
圧縮強度	700MPa 以上
ビッカース硬度	700以上
ヤング率	1.3×10^5 MPa 以上
ポアソン比	0.23
線膨張率	$8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
熱伝導率	4W/m $^{\circ}\text{C}$
比熱	750J/kg $^{\circ}\text{C}$

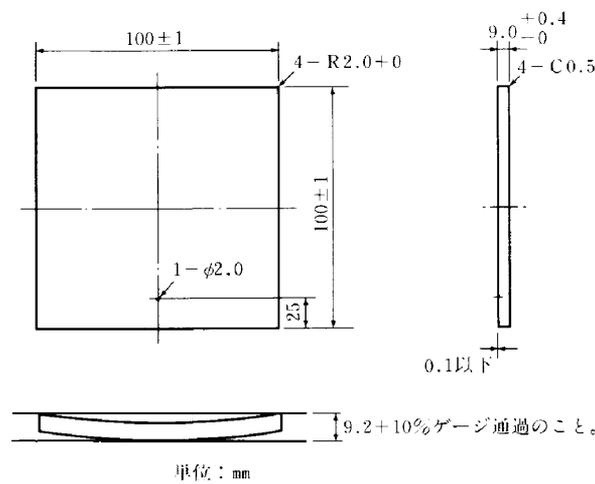


Fig.12 フェライトタイルの形状・寸法

② 鉄筋コンクリート構造

PC板は鉄筋コンクリート構造で、内部鉄筋が反射板の役割をする。格子状鉄筋はD10で、格子間隔は100mm程度までなら反射板としての機能を果たす。

③ 配置

フェライトタイルは1枚(100×100×9mm)で490gもあるため、単位面積あたりに占める枚数はできるだけ少なくする必要があった。また、石とコンクリートの間にフェライトタイルを配置する三層構造のため、温度変化によりフェライトタイルと石が剥離する危険性がある。それらの対策として、石を固定するシアーコネクタが配置できるように、フェライトタイルの配置は、間隔を

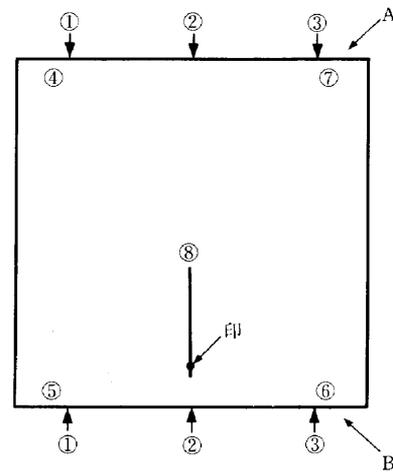


Fig.13 フェライトタイル平行度

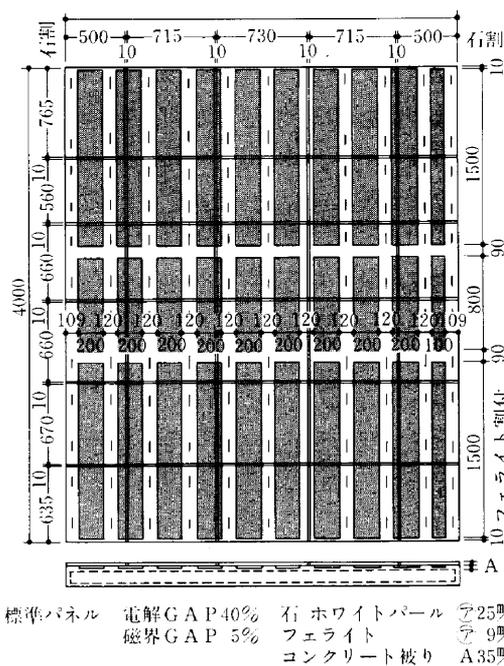
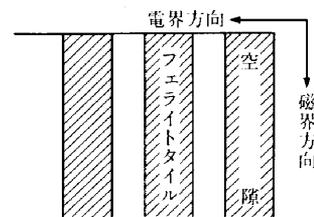
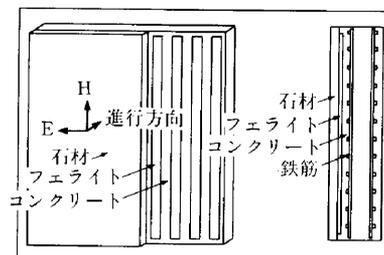


Fig.14 フェライトタイル配置例



フェライトタイルを磁界方向に連続とし電界方向は不連続とする。



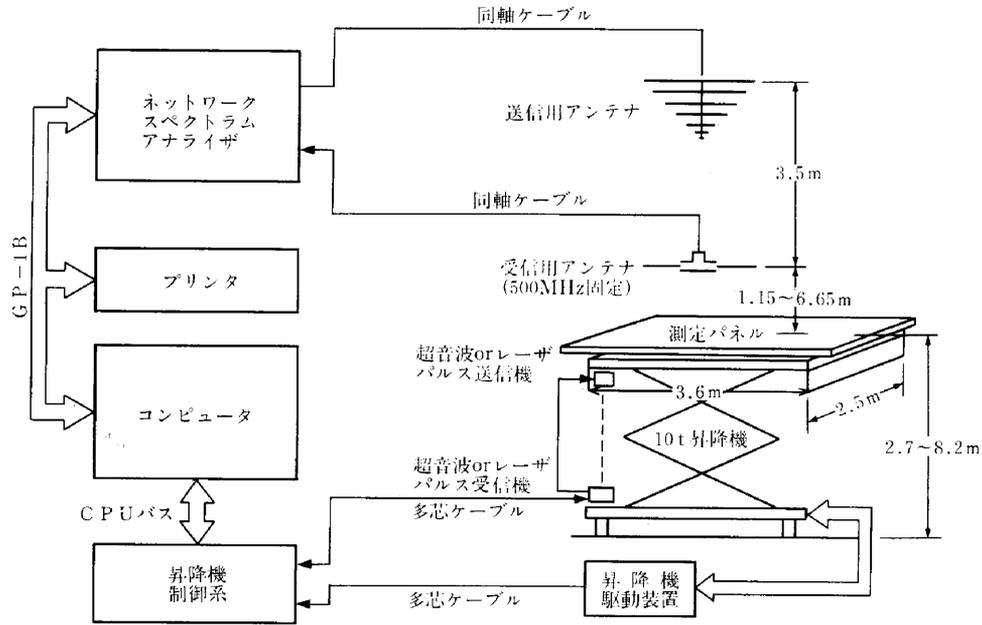


Fig.15 測定系統図

おく必要がある。電界方向に空隙をおいて配置しても磁界方向がほぼ連続的になっている限り特性の変化は少ない。テレビ電波は地面に対して垂直に磁界方向をもっているため、同一方向にフェライトタイルを密着させた配置とした。フェライトタイル配置例を Fig.14 に示す。

5-6 フェライトタイルの取付

フェライトタイルの取付は、PC板製作工場にて行い、石のフェライトタイル固定位置にエポキシ樹脂で接着して取り付けた。

5-7 電波吸収性能の測定

(1) 測定装置

測定は供試体の移動による自由空間定波法により行い、記録ができる装置を使用した。Fig.15 に測定系統図を示す。

(2) パネルの測定

各形状のパネルについて下記の方法により測定した。

① 無開口のパネル

そのまま測定

② 窓付き・ガラリ付パネル

開口部に電波吸収板を置き測定

(3) 測定結果

反射損失測定結果で、その平均値が100MHzで15dB (個々の値は最低14dB) 以上および200MHzで11dB (個々の値は最低10dB) 以上を合格とした。

結果は全パネル合格であった。

§ 6. おわりに

今後 PC カーテンウォールに対する要求性能は、これまで以上に厳しくなってくると思われる。遮音性、防音性、断熱性、耐風圧性、耐震性、水密性などの機能的、構造的な面もさることながら、設計者のデザイン的な要求もより強くなると思われる。

また、超高層ビルの建設は今後ますます多くなるであろうが、それによって生じる受信障害の範囲が最小限になるように努めることも重要である。今回は都庁舎のみの対策のため、新宿副都心全体の超高層ビルの影響を判断することは難しいが、今後建てられる高層ビルに対して参考になれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり御指導、御尽力いただいた関係各位にここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建築の技術 施工, 彰国社刊, 1989.8, 1990.1.
- 2) 電磁環境工学情報 EMC, ミマツデータシステム 発行, 1990.9.