

香港の超高層ビルに使用した「特殊カーテンウォール」とその性能試験

Performance Test for New Curtainwall System with High Storey Building in Hong Kong

若月 鐵之*
Tetsuyuki Wakatsuki

要 約

今日、超高層ビルの外装仕上材として「カーテンウォール工法」が広く採用されているが、此度、香港支店が施工した地上122m、34階建ての「上環(シオンワン) オフィスビル」で、従来行われてきたカーテンウォールと「デザイン」「構造」とも大きく異なる新しいタイプのカーテンウォールを採用した。

このカーテンウォールの採用に当り、香港では今迄実績の無い工法については全て実大性能試験が義務づけられているため、日本においてその性能試験を実施した。

カーテンウォールの設計基準は、日本と香港とでは多少の相違があり、「風圧」や「水圧」に関しては香港の方がより厳しく、結果的にはコスト面で日本より割高となった。

当建物におけるカーテンウォール工法の概要及び日本との設計基準の相違点、実大試験結果について述べている。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. カーテンウォールの特徴
- §4. 日本及び香港におけるカーテンウォール設計基準
- §5. カーテンウォールの性能試験
- §6. おわりに

の固定方法に「ストラクチャーシール (Structural Silicone Seal)」を全面的に採用しており、外観のデザインもこれまでのカーテンウォールと異にし、すっきりしたものが得られている。こうした形式のカーテンウォールはデザイン的な面から今後も広く採用されてゆくものと考えられる。以下その概要とその採用に当り行った性能試験について述べる。

§2. 工事概要

工事名称：上環オフィスビル新築工事

企業先：ハンルン社

工事場所：香港地下鉄 アイランドライン 上環駅上

工 期：昭和61年6月2日～昭和62年10月18日

延床面積：41,160m²

構造規模：RC 造地上34階、塔屋2階

標準階の階高3.30m、総高122.51m

カーテンウォール部総面積 15,000m²

(内訳) ガラスカーテンウォール 9,500m²

アルミパネルカーテンウォール 5,500m²

ストラクチャーシール 延長 15,000m

用 途 1 F～3 F 店舗, 4 F 機械室

§1. はじめに

超高層ビルの林立するここ“香港”。そこでそれぞれに特異な形体を主張するビルの多様な群像。それ等のビルの外装は90パーセント以上カーテンウォールで占められていると言っても過言ではない。

今回香港支店において、以前に当社で施工した香港地下鉄アイランドラインの終着駅「上環(シオンワン) ステーション」の上部に、地上122mのRC造超高層ビルを建設したが、この建物の外装にもやはりカーテンウォールが採用されている。このカーテンウォールには、硝子

*香港(支)セントラル(出)副所長

5 F~34F 貸事務所

§ 3. カーテンウォールの特徴

3-1 デザイン上の特徴

今日まで採用されてきたカーテンウォール外観のデザインは、一般論として概ね次の四様に分類することができる。

- (1) グリッド (格子) 全面硝子方式 …… Fig. 1 (A)
格子状の枠の中に硝子を嵌めこんだスタイル。
- (2) 柱型強調方式 …… Fig. 1 (B)
構造体でもある柱型を外部に表わし、その間に硝子、パネル等を嵌め込んだスタイル。
- (3) 硝子+腰パネル方式 …… Fig. 1 (C)
(1)の変形で、全面硝子のかわりに腰部分にアルミ等のパネルを嵌め込んだスタイル。
- (4) 水平方向強調方式 …… Fig. 1 (D)
マリオン (堅枠) が内部に隠れ、ガラスの固定をストラクチャーシールで行ういわゆる垂直の線の出ないスタイル。

以上四種類が従来採用されてきた形態と考えられるが、今回上環オフィスビルで採用された方法は、前記のいずれにも属さないものであり、新たに分類するとすれば次のようにいえる。

- (5) 垂直方向強調方式 …… Fig. 1 (E)
これはマリオン (堅枠) のみで、トランザム (横棧) が内部に隠れる方式。即ち(4)とは逆に水平の線を出さず、建物の高さを強調するスタイル。

3-2 構造上の特徴

当建物のカーテンウォールは Fig. 2 に示す如く、ガラス自体をカーテンウォール本体の内側に隠されたトランザム (横棧) にストラクチャーシールで取り付け、「風圧」

等水平方向の“正・負”圧力に対処している。今回、このストラクチャーシール材は米国の DAW CORNING 社製「DAW795」のシリコンを使用した。また、シリコンの物性上「剪断力」に弱いことから上下硝子間に硬度90度のネオプレン硝子ライナー* [Fig. 2~Fig. 4 参照] を挿入し、垂直の力が直接ストラクチャーシールに作用しないよう設計されている。

* Neoplane Rubber Setting Block が正式名称である。

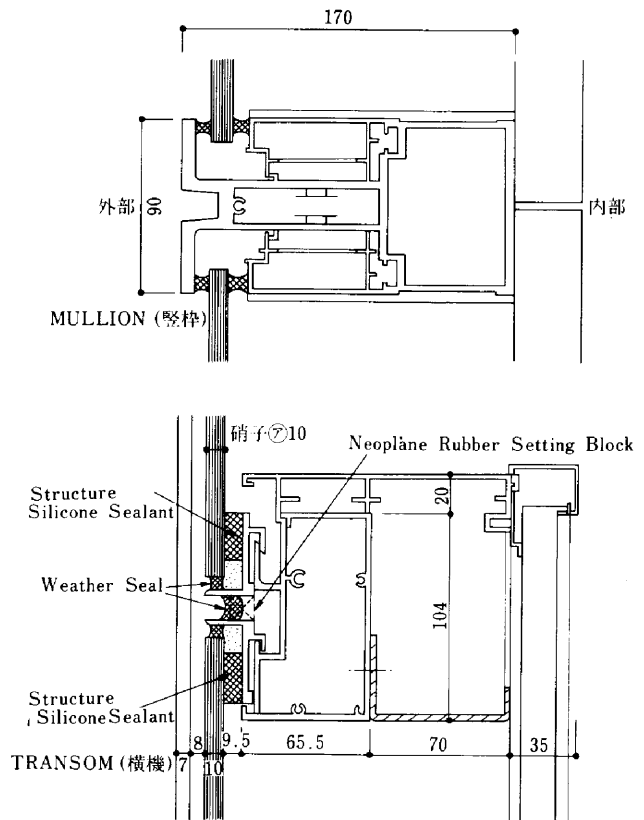


Fig.2 MULLION & TRANSOM断面詳細図

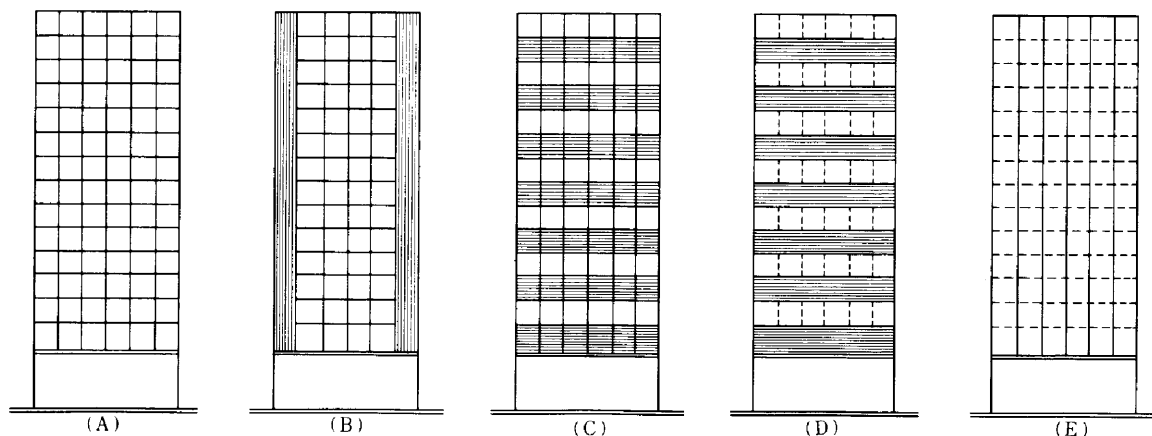


Fig.1 カーテンウォールデザイン上の区分

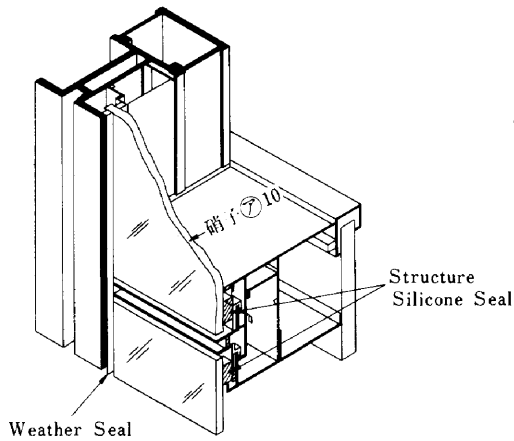


Fig.3 MULLION及びTRANSOM納まり姿図

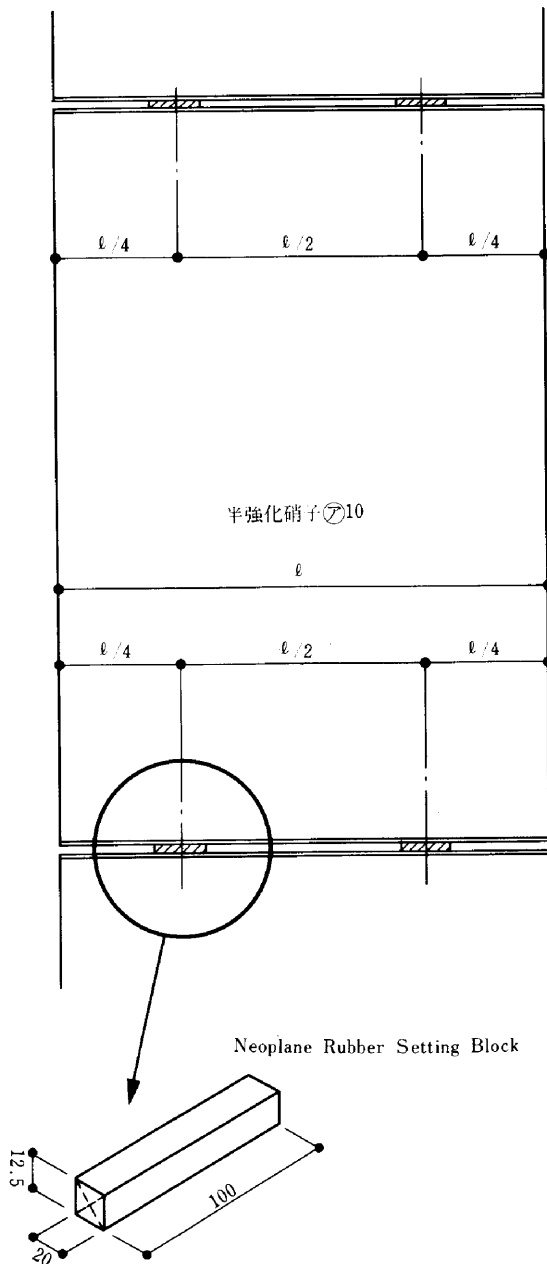


Fig.4 ネオプレン硝子ライナー説明図

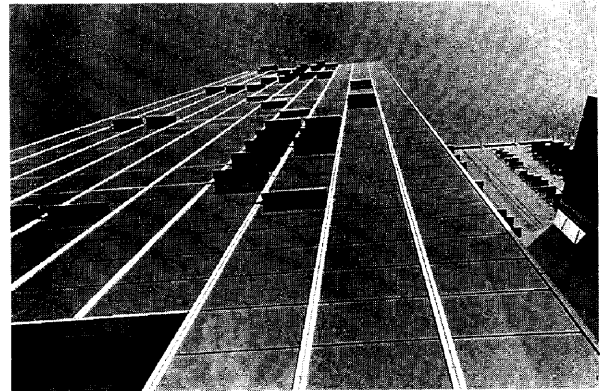


Photo 1 カーテンウォール外観

§ 4. 日本及び香港におけるカーテンウォールの設計基準

日本と香港におけるカーテンウォールの設計基準の相違について簡単に記す。

4-1 風圧

風圧に関する基準の比較を Table 1 に示す。

香港では超高層ビルのカーテンウォールは、今迄実績のない設計仕様の場合(当現場はこれに該当する)、全て実物の試験体による風圧実験が義務づけられている。その場合は上記の条件より厳しくなり「15分間の正圧テスト」において、次の3項目をクリアしなければならないと規定されている。

(1) 風 圧

負圧：一般部×1.4×1.25 [kgf/m²]

正圧：一般部×1.4×1.0 [kgf/m²]

(2) 最大撓み

上下支点間の中心(通常は階高が支点間に相当)において階高の1/180以下または20mm以下。

(3) 応力復帰

応力解除15分後における部材の戻りが95%以上であること。

4-2 水圧

水圧に関する基準の比較を Table 2 に示す。

4-3 地震

地震に関する基準の比較を Table 3 に示す。

4-4 層間耐火材

層間耐火材に関する基準の比較を Table 4 に示す。

4-5 適用規格

適用される規格を Table 5 に示す。

以上の如く日本と香港では設計基準に相違があるが、香港の基準は「風圧」「水圧」に関して日本の基準よりも厳しいため、カーテンウォール自体のコストは日本より割高の傾向となる。

Table 1 風圧に関する基準

カーテンウォール	〔日本〕	〔香港〕
一般部分	建物高さ30m以下 $60\sqrt{h}$ kg/m ² 以上	建物の各高さにより下記の如く規定されている 階高(m) 強度(kgf/m ²) 0~10 122.4以上 11~30 224.4 " 31~50 255.0 " 51~100 306.0 " 101~150 (*) 357.0 " 151~200 387.6 " 201~250 418.2 " 250以上 438.6 " 今回は(*)印に該当する。
	建物高さ31m以上 $120\sqrt[3]{h}$ kgf/m ² 以上の強度を有すること。 〔特例〕 海岸より4km以上 内陸に入った場所 では上記数値の 0.8倍以上。	
隅角部分	カーテンウォールの隅角部分(図-5の斜線部)については、一般部の1.5倍の強度であること。	負圧力に対して 一般部の1.4倍 正圧力に対して 一般部の1.0倍 の強度であること。

Table 5 適用規格

カーテンウォール	〔日本〕	〔香港〕
規格	(1) JIS (2) JCMA (3) 建設省告示	(1) BS (2) AA (3) AISI (4) ASTM (5) ISO (6) JIS

(略語説明) ○JCMA (2)
Japan Curtainwall Manufacture Association
○BS (1)
British Standard
○AA (2)
Aluminium Associate
○AISI (3)
American Iron & Steel Institute
○ASTM (4)
American Society for Testing & Materials
○ISO (5)
International Organization for Standard.

Table 2 水密に関する基準

カーテンウォール	〔日本〕	〔香港〕
開き窓部分	風圧150kgf/m ² で 毎分4ℓの散水を 10分間続けた後 「漏水」のないこと	風圧200kgf/m ² で毎分5ℓの 散水を10分間続けた後「有 害な漏水」のないこと
嵌殺し部分	風圧250kgf/m ² で 毎分4ℓの散水を 10分間続けた後 「漏水」のないこと	風圧300kgf/m ² で毎分5ℓの 散水を10分間続けた後「有 害な漏水」のないこと

Table 3 地震に関する基準

カーテンウォール	〔日本〕	〔香港〕
建物高30m以下	特にカーテンウォールに対する規定なし。	カーテンウォールと地震の関係についての規定はない。
建物高31m以上	一般的に地震時において上・下支点間(通常階高)の一端を固定し、他端をピンとした時の変位が±12mm以内。	(注)一般的に香港では地震に対する配慮は重視されていないが、重要構造物の設計については、日本の場合の1/5~1/20位の地震荷重が規定されている。

Table 4 層間耐火材に関する基準

カーテンウォール	〔日本〕	〔香港〕
耐火時間	1時間耐火	2時間耐火

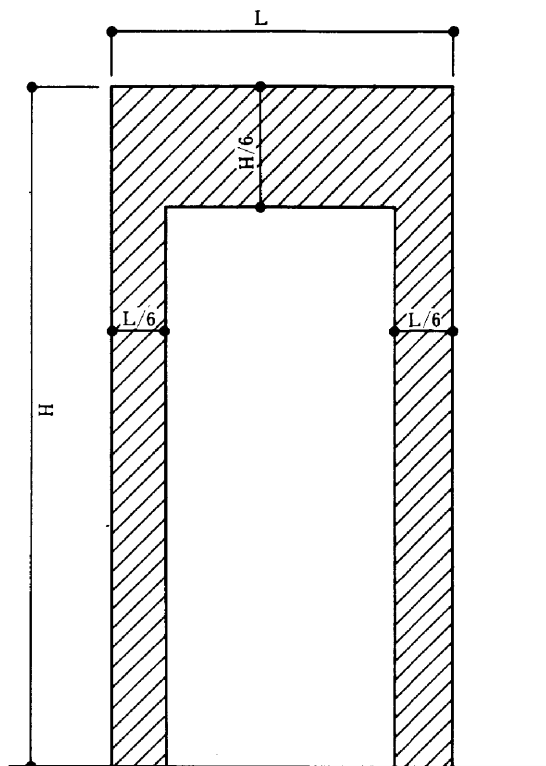


Fig.5 カーテンウォールの隅角部分図

§ 5. カーテンウォールの性能試験

前述のような設計基準に従って製作され、かつ初めての形式である今回の「カーテンウォール」について、その強度、性能等を確認するため、実物試験体による風圧試験を行った。

5-1 試験概要

試験体 昭和鋼機株式会社製アルミ合金製カーテンウォール「EXTERIOR ALUMINIUM CURTAIN WALL FOR MARINE CINEMA SITE I.L.8487 HONG KONG」

寸法 幅3,970mm×高さ7,550mm

試験担当者 財団法人 建材試験センター

試験期間 昭和61年12月10日～昭和62年2月10日

試験場所 昭和鋼機株式会社所沢工場動風圧試験装置

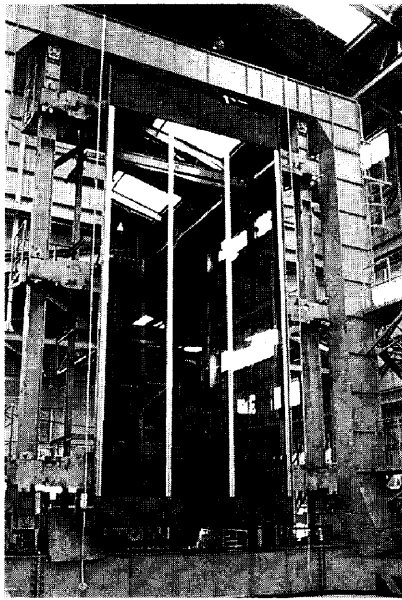


Photo 2 試験体外観

- 試験項目 (1)水密性試験
(2)耐風圧強度試験
(3)面内変形試験

5-2 試験装置及び試験方法

(財)建材試験センターの職員が昭和鋼機株式会社所沢工場に設置してある動風圧試験装置を用いて Table 6 に示す順序で試験を行った。

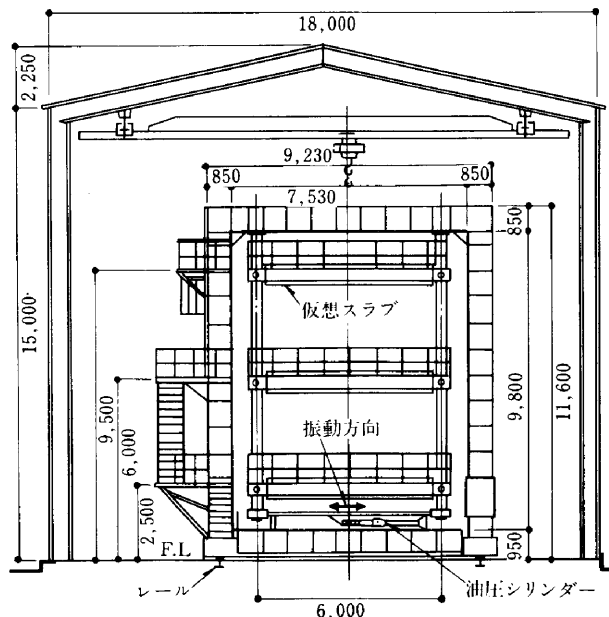
Table 6 試験順序

順序	試験項目
1	水密(第1回)
2	耐風圧強度(静圧を載荷)
3	耐風圧強度(脈動圧を載荷)
4	水密(第2回)
5	水密(第3回シールカット後)
6	面内変形

(1) 試験装置

動風圧試験装置の機構を Fig.6 に示す。試験に先立ち、本装置の圧力制御装置、散水装置及びデータ収録装置の性能を確認した。圧力制御装置は圧力室内の圧力を2台の高圧ブロアー(加圧ブロアー及び減圧ブロアー)によって増減することにより、圧力室内に取り付けた試験体に圧力を加える方式のものであり、高圧ブロアーの操作はプログラム発振器によって行う。また、圧力室内に取り付けられた散水装置によって、試験体の全面一様

大型動風圧・層間変位試験装置正面



大型動風圧試験装置と層間変位試験装置・結合前の状態

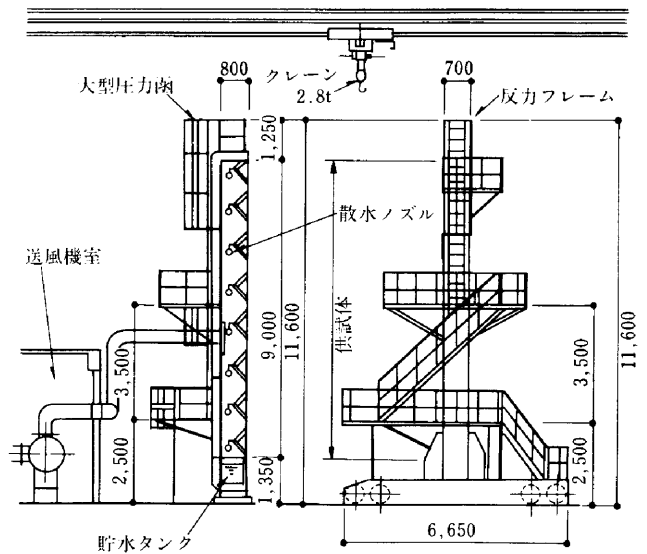


Fig.6 大型動風圧試験装置の概要

に水を噴霧することができるようになっている。

(2) 水密試験

試験体に毎分 5 l/m²の割合で水を噴霧しながら Fig. 7 に示す加圧プロセスに従い圧力を加え、試験体裏面からの漏水状況を目視によって観察した。

(3) 耐風圧強度試験 (静圧を载荷)

試験体に Fig. 8 に示す载荷プロセスに従い、荷重を载荷しながら試験体各部の変位を測定するとともに異常の有無を観察した。

(4) 耐風圧強度試験 (脈動圧を载荷)

試験体に Fig. 9 に示す载荷プロセスに従い、荷重を载荷しながら試験体各部の変位を測定するとともに異常の有無を観察した。

(5) 面内変形試験 (耐震強度試験)

仮想スラブ間に Fig. 10 に示すプロセスに従い、層間変位を与え、試験体各部の変位を測定するとともに異常の有無を観察した。変形方向は室内側から見て左方向を正、右方向を負とした。

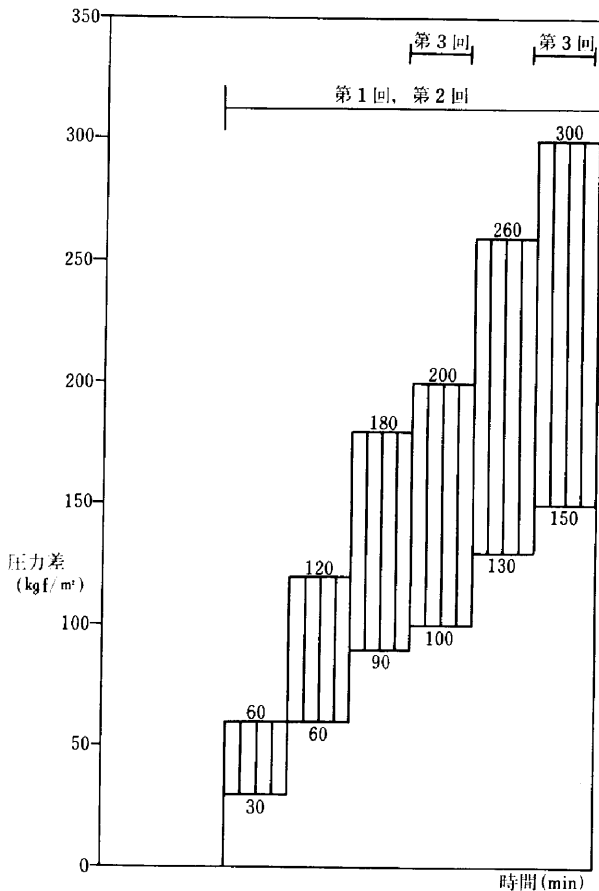


Fig.7 水密性試験加圧プロセス

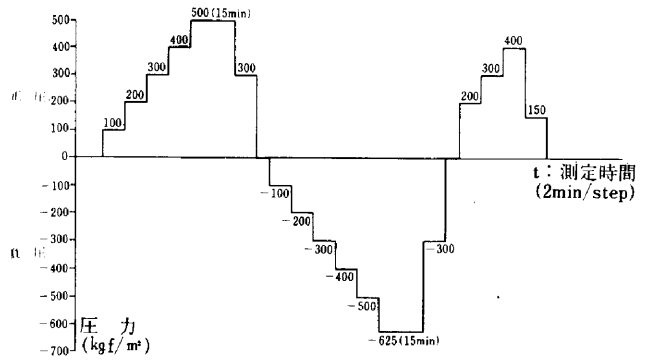


Fig.8 耐風圧強度試験加圧プロセス (静圧)

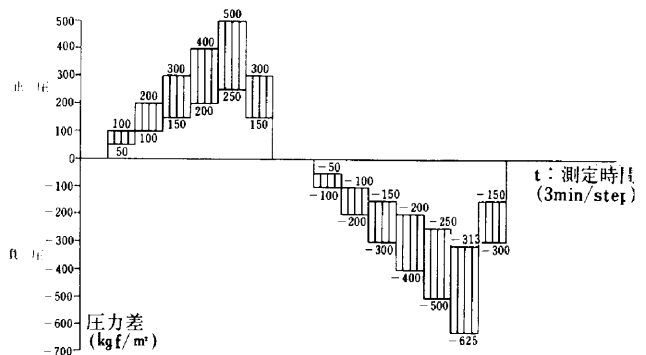


Fig.9 耐風圧強度試験加圧プロセス (脈動圧)

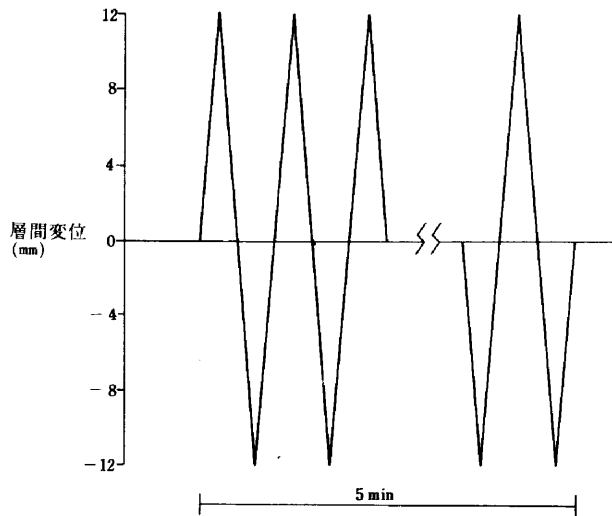


Fig.10 面内変形加圧プロセス

5-3 試験結果

以上の諸試験の結果、当該カーテンウォール形式が香港のカーテンウォール性能基準を全て満足していることが確認され、香港政府建築局 (B.O.O.) の承認を得て本施工へと移行した。

試験結果のまとめを Table 7 及び Table 8 に示す。

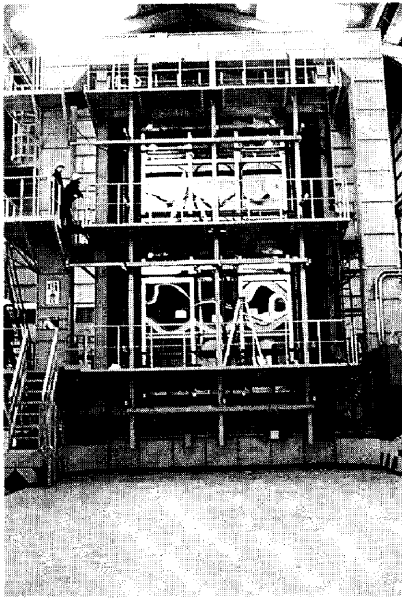


Photo 3 脈動圧加圧状況

§ 6. おわりに

この報文の中で「ストラクチャーシール」そのものについての実施状況、材料等に関しても言及しなかったが紙面の都合もあり次の機会にゆずることとした。

また、この報告作成にあたり資料提供、アドバイス等「昭和綱機(株)香港支店」安部氏、拙稿のまとめにあたり種々の御指導を「香港支店設計課」市川課長に賜りました。この誌上をお借りし厚く御礼申し上げます。

参考文献

(財団法人) 建材試験センター「試験成績書」第36297号

Table 7 試験結果

試験順序	試験項目	試験結果						性能仕様書による規定	
1	水密 (第1回)	ビジョン部及び スパンドレル部	圧力差300kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差300kgf/m ² において有害な漏水のないこと
		ベンチレーター部	圧力差200kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差200kgf/m ² において有害な漏水のないこと
2	耐風圧強度 (静圧を加圧した場合)	正圧500kgf/m ² 、圧力除去後、負圧500kgf/m ² 、負圧625kgf/m ² 及び圧力除去後における各部のたわみ及びたわみ率を以下に示す							
		部 材 名	正 圧 500kgf/m ²	圧力除去後	負 圧 500kgf/m ²	負 圧 625kgf/m ²	圧力除去後		
		方 立	A	9.1mm (1/318)	- 0.1mm (99%)	-10.9mm (1/265)	-13.3mm (1/217)	- 0.3mm (98%)	正圧500kgf/m ² 及び負圧625kgf/m ² における 方立、無目及びベンチレーターフレームの たわみは20mm以下、部材長さの1/180以下 であること
			B	7.5mm (1/361)	0.2mm (97%)	- 8.5mm (1/318)	-10.2mm (1/265)	- 0.4mm (96%)	
		無 目	C	2.4mm (1/479)	0 mm (100%)	- 2.6mm (1/442)	- 3.3mm (1/348)	- 0.1mm (97%)	正圧500kgf/m ² 及び負圧625kgf/m ² を除去し、 15分後の方立、無目及びベンチレーターフレ ームの残留たわみの回復率は加圧時におけ る最大たわみに対して95%以上であること (注)
			D	2.4mm (1/476)	- 0.1mm (96%)	- 2.7mm (1/423)	- 3.4mm (1/336)	-0.15mm (96%)	
		ベンチ レーター フレーム	E	2.0mm (1/571)	0 mm (100%)	- 2.1mm (1/544)	- 2.6mm (1/439)	- 0.1mm (96%)	本文中における等分布荷重(kgf/m ²)と風速 (m/sec)との関係を下記に示す。 風速(m/sec) = 4 √A (kgf/m ²) 例えば、625kgf/m ² とは、風速100m/sec
			F	2.4mm (1/475)	- 0.1mm (96%)	- 2.7mm (1/423)	- 3.4mm (1/336)	- 0.1mm (97%)	
上段はたわみ、下段はたわみ率を示す 圧力除去後における下段は加圧時におけるたわみに対する回復率を示す									
		正圧500kgf/m ² 、負圧625kgf/m ² 除去後において残留変形は認められなかった						正圧500kgf/m ² 、負圧625kgf/m ² 除去後にお いて残留変形のないこと	
3	耐風圧強度 (脈動圧を加圧した場合)	正圧500kgf/m ² 及び負圧625kgf/m ² を除去後、残留変形は認められなかった						正圧500kgf/m ² 、負圧625kgf/m ² 除去後にお いて残留変形のないこと	
4	水密 (第2回)	ビジョン部及び スパンドレル部	圧力差300kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差300kgf/m ² において有害な漏水のないこと
		ベンチレーター部	圧力差200kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差200kgf/m ² において有害な漏水のないこと
5	水密 (第3回)	ビジョン部及び スパンドレル部	圧力差300kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差300kgf/m ² において有害な漏水のないこと
		ベンチレーター部	圧力差200kgf/m ² において有害な漏水は認められなかった						圧力差200kgf/m ² において有害な漏水のないこと
6	面内変形	残留変形は認められなかった						—	

Table 8 変位測定結果

項目 測定位置 圧力 (kgf/m ²)	変位 (mm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
正圧	100	1.0	2.7	1.9	2.4	1.9	3.2	0.5	1.3	0.4	2.9	1.7	2.3	2.3	2.7	2.7	3.0	1.8
	200	2.1	5.3	3.7	4.9	3.8	6.1	1.1	2.5	0.7	5.7	3.5	4.7	4.5	5.4	5.4	6.1	3.6
	300	3.0	7.7	5.2	6.6	5.3	8.3	1.5	3.5	0.8	7.9	5.0	6.8	6.4	7.9	7.7	8.7	4.9
	400	4.0	10.5	7.1	9.0	7.2	10.9	2.2	4.8	1.1	10.5	6.9	9.4	8.6	10.7	10.5	11.8	6.8
	500	5.0	13.0	8.9	11.4	9.1	13.4	2.8	6.0	1.4	13.0	8.7	11.9	10.8	13.5	13.3	14.8	8.7
	300	3.3	8.3	5.9	7.4	6.0	9.2	2.0	4.1	1.0	8.8	5.8	7.8	7.1	8.8	8.5	9.6	5.7
	0	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	0.7	0.5	0.3	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
	-100	-1.4	-3.4	-2.4	-2.9	-2.5	-3.2	-0.9	-2.0	-0.1	-3.2	-2.5	-3.2	-3.1	-3.6	-3.5	-4.1	-2.6
	-200	-3.0	-7.2	-5.5	-6.6	-5.6	-7.4	-2.6	-4.8	-0.3	-7.2	-5.8	-7.2	-6.7	-7.9	-7.9	-8.7	-6.1
	-300	-4.9	-10.5	-9.0	-9.5	-8.0	-10.8	-3.2	-6.4	-0.6	-10.2	-8.2	-10.5	-9.6	-11.4	-11.2	-12.4	-8.6
-400	-6.4	-14.0	-10.5	-12.6	-10.5	-14.2	-3.9	-8.0	-0.9	-13.3	-10.8	-13.8	-12.6	-15.0	-14.7	-16.3	-10.8	
-500	-7.4	-16.7	-12.8	-15.3	-12.6	-17.2	-4.3	-9.6	-1.2	-16.1	-13.0	-16.7	-15.0	-18.2	-17.8	-19.6	-13.2	
-625	-8.8	-20.3	-15.6	-18.7	-15.3	-21.2	-5.2	-12.1	-1.7	-19.7	-15.8	-20.6	-18.2	-22.5	-21.8	-24.1	-16.0	
-300	-5.9	-12.2	-9.8	-11.3	-9.7	-12.7	-4.0	-7.6	-0.8	-12.1	-10.0	-13.1	-11.4	-13.8	-13.2	-14.9	-10.0	
0	-1.8	-2.1	-2.0	-2.1	-2.1	-2.1	-1.8	-2.2	-0.1	-2.5	-2.3	-3.0	-2.4	-2.8	-2.5	-2.8	-2.3	
項目 測定位置 圧力 (kgf/m ²)	変位 (mm)																	
正圧	18	2.3	2.5	2.4	2.9	4.7	2.7	2.4	1.8	2.8	2.2	1.9	0.6	0.5	0.5	2.2	2.2	
	4.9	4.4	4.9	4.8	5.7	9.2	5.6	4.8	3.7	5.6	4.5	3.6	1.2	0.9	0.9	4.2	4.2	
	6.3	6.3	7.0	6.9	8.1	13.0	8.0	6.9	5.3	8.1	6.4	5.1	1.6	1.0	1.1	6.1	6.1	
	9.5	8.7	9.5	9.4	11.1	17.4	10.8	9.5	7.1	10.8	9.0	7.0	2.3	1.5	1.6	8.4	8.4	
	12.1	11.0	12.0	12.0	14.0	21.5	13.7	11.9	8.9	13.6	11.4	9.1	3.0	1.9	2.0	10.7	10.7	
	8.0	7.1	7.8	7.7	9.2	14.3	9.0	7.7	5.8	8.9	7.3	5.8	2.1	1.5	1.4	6.9	6.9	
	0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
	-100	-3.3	-3.1	-3.2	-3.2	-3.5	-5.4	-3.6	-3.4	-2.5	-4.1	-2.8	-2.4	-0.6	0.0	-0.1	-3.1	-3.1
	-200	-7.6	-6.9	-7.0	-7.1	-7.8	-11.4	-7.9	-7.2	-5.5	-8.6	-6.5	-5.5	-2.1	-0.5	-0.5	-6.8	-6.8
	-300	-10.6	-9.7	-9.9	-10.0	-11.2	-16.3	-11.3	-10.2	-7.8	-12.5	-9.4	-8.0	-3.1	-0.9	-1.0	-9.6	-9.6
-400	-14.0	-12.6	-13.0	-13.0	-14.6	-21.4	-14.7	-13.2	-10.3	-16.5	-12.6	-10.6	-4.1	-1.4	-1.4	-12.5	-12.5	
-500	-17.1	-15.2	-15.7	-15.8	-17.8	-25.7	-17.8	-15.9	-12.5	-19.8	-15.3	-12.7	-4.9	-1.8	-1.8	-15.2	-15.2	
-625	-21.0	-18.7	-19.2	-19.4	-21.8	-31.0	-21.6	-19.2	-15.1	-23.9	-18.7	-15.5	-5.9	-2.2	-2.1	-18.5	-18.5	
-300	-13.3	-11.7	-11.8	-11.9	-13.7	-19.2	-13.6	-12.0	-9.7	-15.3	-11.6	-10.2	-4.3	-1.0	-0.9	-11.3	-11.3	
0	-2.9	-2.5	-2.4	-2.4	-2.5	-2.7	-2.6	-2.6	-2.3	-2.8	-2.6	-2.6	-1.9	0.2	0.5	-2.4	-2.4	

変位測定位置

備考

加圧方向：室内側への加圧 (圧力箱を加圧) を正圧、
室外側への加圧 (圧力箱を減圧) を負圧
とする

変位方向：室内側への変位を正、室外側への変位を
負とする