

# PCカーテンウォールの 軽量化技術

清 家 剛

## 軽量こそがカーテンウォールに求められる

カーテンウォールが日本に本格的に導入されはじめた1950～60年代には、その最も重要な特質として「軽量」という言葉があげられていた。カーテンウォールという言葉が日本に紹介された初期の文献として、1950年の雑誌「国際建築」の「カーテン・ウォール」(木村俊彦他)がある。ここでは、「カーテンウォールが採用された直接の理由はもちろんそれ自体の持つ経済的な有利さ」として「第1に、壁体の軽量化(荷重の減少)は構造骨組みについての経費節約であり、同時に薄い壁それ自体はそのために必要なInsulationの費用の増大を考えても従来より廉くなる。」と記述されている。もちろんこれはアルミニウムやスチールなどの金属を主材料とするメタルカーテンウォールを指しているのだが、ある規模の建物を造る場合には、荷重の軽減による構造躯体への影響が非常に重要な要素であったことがわかる。

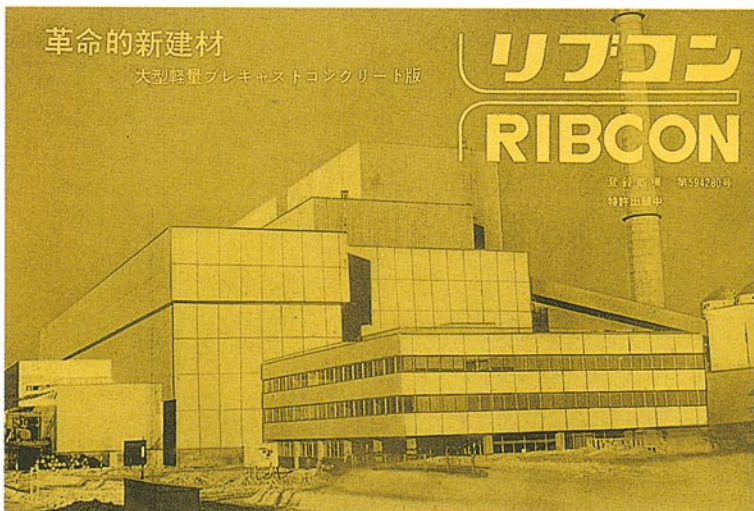
そのころカーテンウォール先進国のアメリカでは、1950年代に国連ビルやレバーハウスなど高層ビルにメタルカーテンウォールが採用されていたが、1950年代後半には、早くもPCカーテンウォールが登場する。その初期の事例であるワシオピア銀行では、特徴として彫りの深いデザインが可能であることと、金属より断熱性があること、そして石にかわる素材として石よりも「軽量」ということが唱われていた。(「コンクリートを建築の顔に仕立てる技巧」松村秀一、「ファサードを作る」PCSA、1994年より) PCカーテンウォールの初期には、やはり「軽量」というキーワードが必要だったのである。

一方日本におけるPCカーテンウォールは、1957年の銀座露天商組合ビル(丹下健三)と日本相互銀行本店ビル(前川國男建築事務所)を皮切りに、外装の化粧部材として発達する。1960年代に入るとさまざまな形式のものが

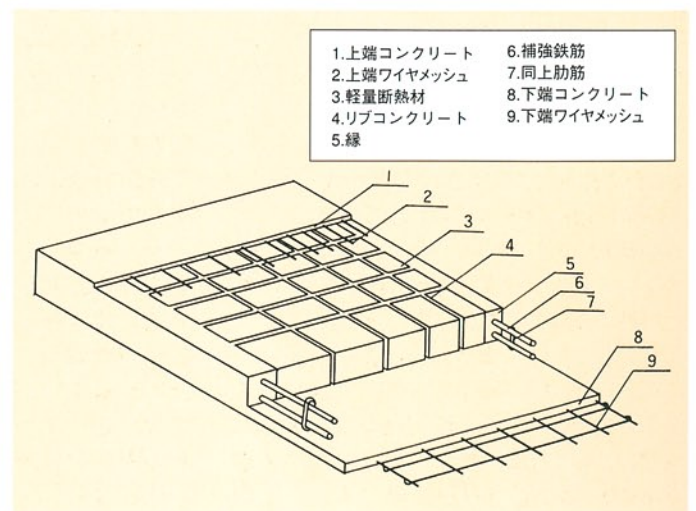
作られるようになった中で、大型「軽量」PC版・リブコンパネルが登場する。

リブコンパネルとは、1958年に日本断熱工業により開発された、断熱材などのブロックを打込みコンクリートの量を減らすことで軽量化を図ったPCパネルである。カタログによると比重0.7～1.2、鉄筋コンクリートの1/2～1/3の重量で、1962年に北海道電力江別発電所(大成建設)〈写真1〉の外壁及び屋上に取り付けられたのが最初の事例である。1970年代までかなりの実績を残すがその後姿を消した。(図1)

1964年には赤坂中央ビル(圓藤建築設計事務所)〈写真2〉、富山第一生命ビル(竹中工務店)、岸記念体育会館(松田平田建築設計事務所)により、PCカーテンウォールが日本でも本格的に採用されることになった。当時はメタルカーテンウォールによるデザインの限界を超えて、彫りの深い「重厚な」表現をするために導入さ



〈写真1〉北海道電力江別発電所(リブコンカタログより)



〈図1〉リブコン版の構成図(リブコンカタログより)



〈写真2〉赤坂中央ビル全景(左)とパネル(右)



れており、「重い」ことは不利となるかもしれないが、それ以上のメリットがあるという態度であった。例えば赤坂中央ビルでは、「①プレファブリケーションの利点を生かせること、②廉価であること、③耐火性が高いこと、④デザインによりルーバー的な効果が期待できること、⑤造形性が豊かなこと」が採用の条件としてあがっている。  
(「赤坂中央ビル」SPACEMODULATOR 18より)

このように1960年代におけるPCカーテンウォール登場の時期には、リブコンのような「軽量」を特徴とするものと、「重い」こと以上のメリットを強調したものが存在していた。いずれにしろ、「軽量」であることが理想であるという認識では一致していたのである。ところが、日本初の超高層PCカーテンウォールでは、「重い」ことが採用理由に挙げられているのである。

## 重いから採用された 京王プラザホテル

100mを越える超高層ビルの世界では、1968年の霞ヶ関ビル(山下寿郎設計事務所)で初期に一部PCを採用する案が検討されたり、1969年の浜松町の世界貿易センタービル(日建設計工務)では、PCカーテンウォールによる案が有力だった。これらが結局両方とも全面メタルカーテンウォールになったのは、超高層における実績や性能面の他に、「軽量」であることがセールスポイントになっていたことは間違いない。これに対して、初めて超高層ビルにPCカーテンウォールが採用された1971年の京王プラザホテル(日本設計事務所)〈写真3〉では、重量が大きいことがその選択理由の一つにあげられていた。

当時の記述によると「超高層建築は重さとの闘いであり、いかに建物を軽くするかということが重要な課題となる。従って軽量のメタルカーテンウォールが採用されていた。」のだが、「京王プラザホテルはホテルという性格上、非常にスレンダーなプロポーションであるために、地震に対しても風に対しても高層部の下の方でかなりの引き抜き荷重が発生する。この引き抜き荷重に対するおもりとしての役割をPCカ

ーテンウォールが果たすことにより構造計画上からもメリットがでてくることになり、超高層建築としてははじめてPCカーテンウォールを採用することになった。」のだという。

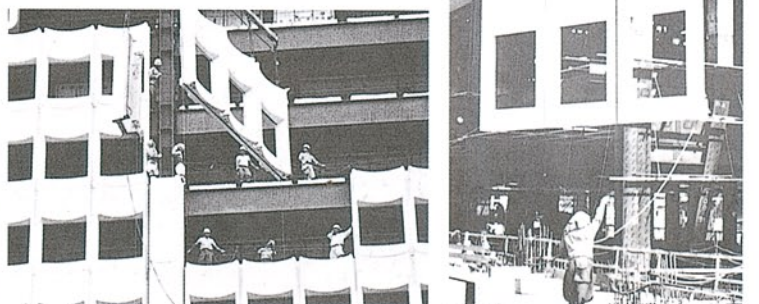
(「京王プラザホテル 超高層都市ホテルとしての意味と諸問題」村尾成文、新建築1971年7月より) さらに施工性を考えて3窓連続の大型パネルを隣接する街区で製作しており、現在から見ても非常に大きく重いパネルで作られていた。もちろんPCカーテンウォールによるデザインも重要だったと思われるが、それにしても「軽量」であることがよいというカーテンウォールの基本的な価値観を覆す建物であった。〈写真4〉

その後はクレーンなどの揚重機の発達により施工上の弱点が軽減されたことや、鉄骨造の発達により構造体そのものが比較的安価になり、PCカーテンウォールによ



〈写真3〉京王プラザホテル

〈写真4〉  
京王プラザホテルの  
カーテンウォールの  
取付け風景(右・下)  
(リブコンカタログより)





る荷重増の影響が低減され、この「軽い」か「重い」という議論よりは、トータルコストを検討しながらどのような性能とデザインが実現可能かという議論が中心になされるようになってきたのである。

## やっぱり 軽い方がいい

しかし、基本的にカーテンウォールは「軽い」に越したことはないのである。軽量化の目的を整理すると、一般的には以下の3点となる。

- ① 構造躯体の負荷を低減する
- ② ①により躯体コストを下げる
- ③ 揚重が必要な製作・輸送・取付け時を効率化する

これに加えて最近時代の変化とともに、新たな軽量化の必要性も生じてきている。それは前号の特集において松村秀一先生も指摘しているが、今後増加が見込まれる、あるいは増加しつつある建物のリニューアルへの対応である。

リニューアルを考えると、カーテンウォールの軽量化は必要不可欠な技術である。まず建物の構造上の性能を考えると、もとの外壁より軽

〈写真5〉 改修後の丸の内ビルディング(上・中)



いものへの変更は可能だが、重いものへの変更は難しい。さらに建物全体の構造性能向上のために耐震補強を行うものが多いので、よけいに、荷重を軽減することが求められる。例えば大規模な改修事例としては、つい最近取り壊されてしまったが丸の内ビルディング(三菱地所、フラ一社)がある。1923年に竣工したこの建物は外壁の劣化に伴いタイルの落下の可能性が生じたため、1982年にGRCパネルで旧外壁面全面をカバーした。これは軽量なパネルだからこそ可能なことだったのである。

〈写真5〉

さらにリニューアル時の施工性を考慮しても、軽量化が必要となる。建物施工時にタワークレーンで揚重されるPCカーテンウォールは、竣工後に他の揚重機で版を取り外すのがせいぜい可能なことで、同じ重量のもの

をタワークレーンなしに再び揚重することは殆ど不可能である。例えば兵庫県南部地震の補修の際にも同様の問題点が浮かび上がっていたが、巨大なクレーンを用いても高層ビルへ再びPCカーテンウォールを取り付けることはできないのである。また隣に高架鉄道があるため充分な施工条件が得られず、軽量な金属系の材料によって改修せざるを得ない例もあった。これらは揚重機の劇的な進歩でもない限り、今後も難しい。〈写真6〉

一方で様々な形状や仕上げに対応可能である点で、あるいは断熱性など新たな性能を付け加えることが可能という点で、PCカーテンウォールはリニューアルに対して優れた技術といえるのである。従って軽量化の技術を保有することにより、その可能性がさらに広がるのである。



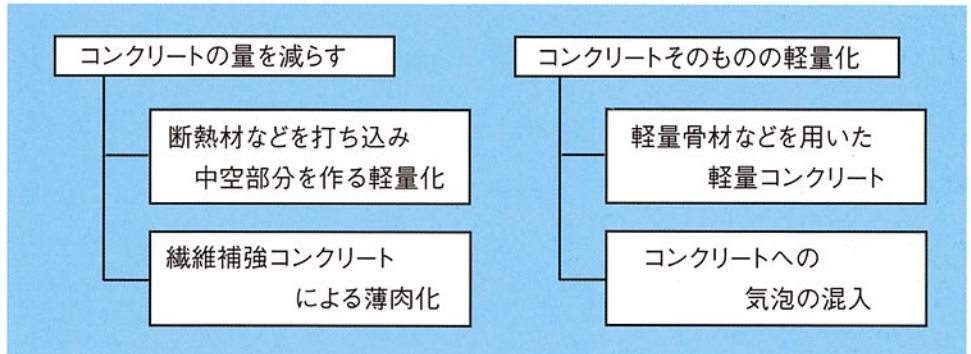
〈写真6〉 地震後にPCカーテンウォールから金属建材に改修された事例



## 軽量化技術の系譜

ここでPCカーテンウォールの軽量化の技術を整理する。その方法には主として二つの考え方があり、ひとつはコンクリートの量を減らすことによる軽量化、もう一つはコンクリートそのものの軽量化である。コンクリートを減らす技術としては、断熱材などを打ち込み中空部分を作る軽量化と、繊維補強コンクリートによる薄肉化がある。コンクリートを軽くする技術としては、軽量骨材などを用いた軽量コンクリートの採用と、コンクリートへの気泡の混入の2つがある。以下これらを概説する。〈図2〉

〈図2〉コンクリート軽量化技術の系譜



### 断熱材などを打ち込み 中空部分を作る軽量化

断熱材などを打ち込み中空部分を作る軽量化は、古くは先述のリブコンがこれにあたる。またリブコン以外にも断熱材を内蔵してPC版の軽量化を図った1969年の大阪マーチャндаイズマート(竹中工務店)などの例があり、近年も時折採用されている。

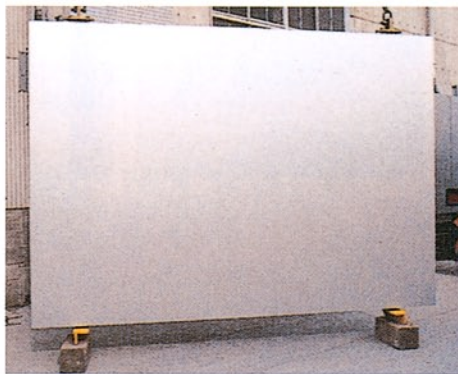
この考え方は、打込み材料を使わずともリブ状にコンクリートで版を作ることや、補助として鉄骨を組み込むことによって実現可能である。これを本格的に追求したのがショックベトン・ジヤパンにより開発されたラチスライトである。〈写真7〉

ここまで徹底したものでなくとも、リブ付きパネルによるコンクリート量の軽減は、PCカーテンウォールが登場した頃より行われている。この手法は基本的には個別設計の工夫で実現可能な技術であり、単純で優れた考え方といえるが、製造の手間が多くなる傾向にあり、製造のシステム化、効率化ができればなかなかコストが軽減できないのが現状であろう。

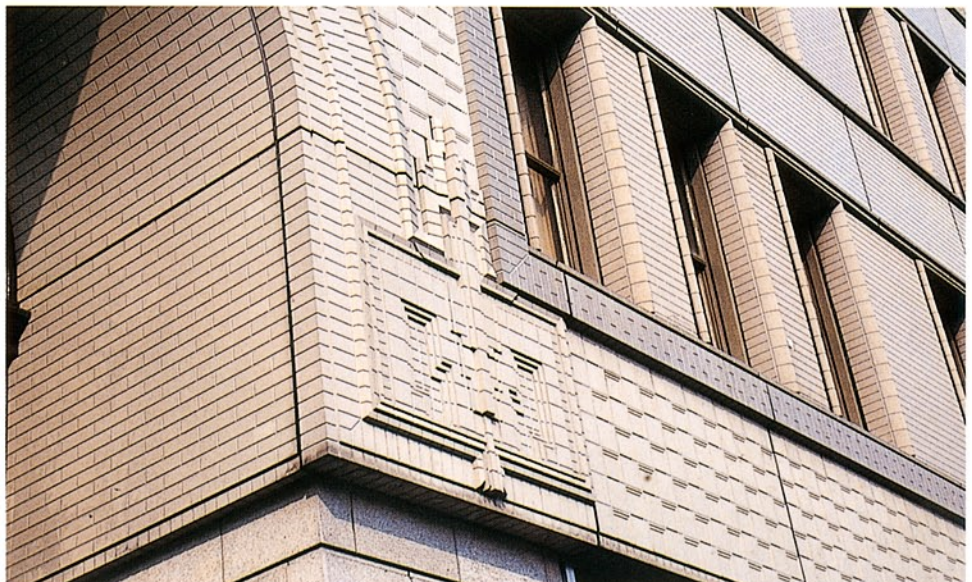
であるが、薄肉化の効果の方がより大きい。GRCは1970年代にガラスメーカーによりヨーロッパから技術導入された。コンクリートや金属では難しい模様や複雑な形状が作りやすく、装飾的な形状のものによく採用され、そのため歴史

的建築物の改修にも採用される。先の丸の内ビルディング(写真8)の改修はその1例である。

SFRCは1981年に矢橋大理石の花崗岩貼り専用のカーテンウォールとしてステンレス鋼繊維補強モルタル版と鉄骨フレームと複合したYM



〈写真7〉ラチスライト表(左)、裏(右)



〈写真8〉丸の内ビルディングのGRCパネル

### 繊維補強コンクリート による薄肉化

繊維補強コンクリートによる薄肉化については、現在採用されている主な材料としてGRC(ガラス繊維補強セメント)、SFRC(鋼繊維補強コンクリート)、CFRC(炭素繊維補強コンクリート)、VFRC(ビニロン繊維補強コンクリート)の4つがあげられる。それぞれ各種繊維の導入により薄肉のパネル製作が実現可能となっている。これらは素材そのものも軽量



表1 繊維補強コンクリートの特徴

特徴 種類	性能			材料					
	気乾比重	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	耐火性能	セメント	骨材	繊維材料	混和剤	鉄筋の防錆
軽量GRC	1.50	430	90	外壁耐火1時間 梁、柱合成耐火3時間	特殊セメント	超軽量骨材 珪砂	耐アルカリ性 ガラス繊維	高性能 減水剤	ステンレス
SFRC	1.91	450~550	80~120	外壁耐火1時間 梁、柱合成耐火3時間	早強ポルトランド セメント	人工軽量骨材	ステンス繊維	減水剤 増粘剤	特になし
CFRC	1.65	250	80	外壁耐火1時間 梁、柱合成耐火3時間	特殊セメント	粉末珪砂	ピッチ系 炭素繊維	増粘剤	ステンレス
VFRC	1.65	250	80	外壁耐火1時間 梁、柱合成耐火3時間	特殊セメント	粉末珪砂	ビロン繊維	増粘剤 流動化剤	エポキシ 樹脂塗膜

ストーンパネルを商品化している。またステンレス鋼線の補強PC版としては、1989年に竹中工務店と大和建材店(現ダイワ)により実用化され、1993年にP&G本社(竹中工務店)で採用された。〈写真9〉特徴としては引張、曲げ、せん断強度が高く、靱性も大きくひび

割れ発生後もひび割れが進展しにくい、板厚を薄くできる。また平滑な面が出来る事が特徴の一つである。

CFRCは1980年代に日本でも研究され、1986年に六本木アークタワーズ(入江三宅建築事務所、森ビル開発)の外装カーテンウォー

ルに採用され、その後多くの実績を残している。引張強度や曲げ強度、靱性、耐久性、寸法安定性に優れており、セメントモルタルの強アルカリ中でも安定で劣化がないため、長期間にわたり強度変化が少ない。SFRCと同様平滑な面が出来る事が特徴である。

VFRCは、1990年代になり発達してきた技術で、現在も様々な開発が進んでいる。ここ数年でやっと建物の実績が登場しているが、今後の発展が期待できる。

これら4つの特徴を表に示す。〈表1〉

繊維補強コンクリートは、もっとも新しいVFRCを除けば既に一般化しているので、それぞれの特徴を把握して適材適所に使用することが肝要である。しかし特許や製造上の設備などの関係で、全てのメーカー、全てのPC工場で製造可能とは限らない。技術提携関係などの注意が必要である。



〈写真8〉P&GのSFRCのパネル



以上の4つ以外に金網、棒鋼などで補強したモルタルである連続鋼繊維補強モルタル(フェロセメント)もある。外装材として曲面などの複雑な形状が容易に製造でき、薄い断面で軽量化が図れ、金網メッシュによりひび割れ分散性が良いなどの特徴を持っている。階段や笠木などの部品としても使用されるが、カーテンウォールとしての実績は1970年代後半からある。

また繊維補強コンクリート以外にも、ストレスの導入によって薄肉化をはかる場合がある。大規模に採用されたのは、古い事例だが1955年に渋谷の東急会館(坂倉準三建築研究所)の妻壁のパネルで採用された。しかし、ねじれ

(写真10)富士銀行本店ビル(左・右)



などの問題が発生しやすく、現在主流となっているタイルや石の打込み仕上げ材に影響があるので、その後はあまり採用されていない。

## 軽量骨材などを用いた 軽量コンクリート

次に素材であるコンクリートを軽量化する方法として、人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートについて解説する。その長所は、軽量でありながら強度が普通コンクリート並にあるという点であり、かなり早い時期から採用されている。

軽量コンクリートを最初に用いたのは1964年のホテルニューオータニ本館(大成建設)の妻壁部分であり、その後1966年の富士銀行

本店ビル(三菱地所)(写真10)の低層部の石張りPCカーテンウォールなどいくつかの建物に使われた。当時は軽量骨材が高価であったが1980年代以降は比重1.9の「軽量1種コンクリート」がもっとも一般的に用いられるようになった。1970年代からは細骨材にも人工軽量骨材を用いた「軽量2種コンクリート」が採用されているが、脱型時の欠けが比較的多く生じることや、骨材の粒度の関係で収縮亀裂が生じやすいことなどの注意点もある。

1990年代に入ると「超軽量人工骨材」が開発され、さらに軽いコンクリートの開発が盛んになってきた。これを採用すると気泡を入れることなく比重1.4程度が可能となる。細骨材をより軽くしたり気泡の混入を工夫すれば、1.2、

あるいは1.0程度まで実現可能である。ただし製造時の骨材の扱いや耐火など課題もある。現在のところいくつか実用化されたものもあるが、各社で開発中というのが実態である。製造は可能だがまだ実績がないメーカーも多数ある。今後注目したい技術である。

## コンクリートへの気泡の混入

気泡の混入とは、コンクリート中に気泡を導入して気乾比重を2.0以下とした「多孔質軽量コンクリート」を製作することである。カーテンウォールに本格的に使われはじめたのは1973年に三好商会が「オートクレープ養生気泡PC版(ユニトン)」を商品化してからで、



1975年の群馬ロイヤルホテル（坂倉建築研究所設計）（写真11）などに採用され、その後いくつかの種類が開発されている。特徴としては比重1.0～1.4と軽量であり、また断熱性能が高い。

〈表2〉ではコンクリートの軽量化について、PCSA会員各社の製品や主な実績を紹介している。この表は、筆者の手元にある資

料により作成したが、現在多様なものがあることがわかる。ただし前述したように、特に「超軽量人工骨材」による軽量コンクリートについては発展途上の技術であり、現在の状況を説明したものであって、このような表の形に出来ないものも多数存在する。全てをカバーしているわけではないので注意されたし。



〈写真11〉群馬ロイヤルホテル（株式会社三好商会提供）

**表2 各種軽量コンクリート**

分類	商品名	比重	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	骨材など製品の特徴
超 軽 量 人 工 骨 材	エスシーライト	1.0～1.4	18～30	粗骨材 超軽量人工骨材 細骨材 廃ガラス再生利用骨材
	エルク100	1.1	21	粗骨材 超軽量人工骨材 細骨材 廃ガラス再生利用骨材
	コンテエステ	1.4	24	超軽量人工骨材を高流動モルタルに混入
	アキュライト	1.45	30	粗骨材 超軽量人工骨材 細骨材 廃ガラス再生利用骨材
	—	1.4±0.2	30	骨材 超軽量人工骨材
	—	1.35～1.4	27～30	骨材 超軽量人工骨材
	—	1.4	24～30	骨材 超軽量人工骨材
	—	1.5	30	粗骨材 超軽量人工骨材 細骨材 軽量人工骨材
気 泡 混 入	ユニットン2	1.35	27	気泡混入、セラミック系発泡骨材
	カルコン11	1.15	24	気泡混入、粗骨材 超軽量人工骨材 細骨材 廃ガラス再生利用骨材
	カルコン14	1.4	30	気泡混入、粗骨材 軽量人工骨材 細骨材 廃ガラス再生利用骨材
	エヌフォーム145	1.45	29	気泡混入、軽量2種コンクリート
	エヌフォーム120	1.2	24	気泡混入、骨材を145より軽量化
	LC1350	1.35	24	気泡混入、人工軽量骨材
	LC1400	1.4	30	気泡混入、人工軽量骨材
そ の 他	軽量1種	1.9	30	粗骨材 人工軽量骨材
	軽量2種	1.6～1.7	30	粗骨材、細骨材とも人工軽量骨材
	エルク150	1.5	36	粗骨材、細骨材とも人工軽量骨材
	トップクリート	1.9	50	人工軽量骨材を高流動モルタルに混入

※商品名の(—)は、特に名称のないものである。



## 技術が「ある」と「使える」と

ここで技術が「ある」と「使える」ことについて話をしたい。つまりこれらは一致しないことが多々あり、それが問題となるからだ。この特集の意義にも関連している。

ある一つの技術が登場する場合、それを開発した会社が存在する。特許をとるなどさまざまな形でそのメリットを守らねばならない。しかし1社単独の技術は場合によっては設計者から見ると使いにくいこともある。これは会社の数によるかもしれないが、たとえばガラスブロックなどのようにもともと1社しか製造していない場合は、その技術が全てであり、設計者から見ても特に問題は生じにくい。例えば主として5社で製造されるALCをみると、彼らはここ10年かけて各社でロッキング構法を開発してきた。ところが、それぞれ微妙に異なるので発注しにくいとの理由で、現在1つの標準構法にまとめようとしている。これまでは技術が「ある」が、そ

れぞれ異なるため設計者は使いにくかった。それを1つにまとめて簡単に「使える」ようにしようという考え方だ。しかし、初期に開発した会社の優位性は失われてしまうし、5つの技術の中の個別の優れた点も失われてしまう。

PCカーテンウォールの軽量化技術はどうだろうか。PCSAには30数社が正会員として参加しており、それらがいくつもの軽量化技術を開発している。ところがそれらが同じ技術を有しているわけではない。たとえば同じ建物の実績があるとしても、自社で開発したもの／他社と共同開発したもの／他社と技術提携しているもの／製造のみ受注した実績のあるもの／一般的に普及しているものなどの違いがある。実績が無くとも依頼すれば実現可能な技術もあれば、設備投資などを必要とするため実現不可能なものもある。技術が「ある」のは確かだが、どうすれば「使える」のかは見えにくい状態である。

しかしPCカーテンウォールのようにオーダーメイドのものは、技術の標準化が難しい。ある程度幅を持たせた標準化を提案する方法もあるが、むしろ様々な技術が林立した上で、どのメーカーが受注してもある範囲内の仕事出来るよう各社が努力すべきだと思う。

さらに軽量化の技術については、超軽量骨材を使った軽量コンクリートの開発が盛んであり、現在発展途上の分野である。そのようなものを全体として把握するのは難しい。次号が発行されるときには、別の新しいものが登場しているかもしれない状況なのである。

従って今回表にまとめた各社の技術は、これが全てではないが、PCSA総体としていろいろな技術を保有していることが、つまり技術が「ある」ことが読者に伝われば良いのだと、私は思っている。「使える」ことについては、各プロジェクトで前向きに検討していただきたい。

## 軽量化技術の今後

外壁デザインの流行のサイクルは比較的早い。PCカーテンウォールはこれまでタイルや石など仕上げのバリエーションを増やしたり、複雑な形状に対応するなどして、技術を蓄積してきた。かといって今後現状の技術のみで十分かどうかはわからない。一方でカーテンウォールの基本は「軽い」ということであるし、リニューアルなどの今後の新分野の可能性を広げるためにも、「軽量化」は必要な技術である。ようするに外壁のバリエーションの1つとして保有しておくべき技術なのである。またこれらを蓄積しアピールして、実際のプロジェクトで実現していくことが、全体の技術の向上にもつながってくる。

今後のPCSA会員各社の活躍に期待するところ大である。

<原稿全体の注>

- ・文中建物名の後の( )内は設計者名(当時の名前)
- ・写真は注がなければ筆者撮影

### 著者プロフィール



### 清家 剛・せいけ つよし

東京大学工学部建築学科 助手

1964年 徳島県生まれ  
 1987年 東京大学工学部建築学科卒業  
 1989年 同大学院修士課程修了  
 1991年 現職 研究分野は建築構法計画、建築生産  
 1992～96年 日本建築学会材料施工委員会  
 カーテンウォール工事小委員会幹事  
 「JASS14 カーテンウォール工事」  
 96年の改定に関わる

著書 「新・ファサードシステム」(共著)  
 「カーテンウォールって何だろう」(共著)  
 「ファサードをつくる」(共著)