

SSG構法における国内外ガイドラインに関する比較検討

Comparative study on domestic and global guidelines regarding SSG system

石井 久史^{*1}

1. 序

SSG構法（Structural Sealant Glazing System: 以下SSG）は、デザイン性や環境エネルギーに対する有用性から、グローバル市場では一般化された技術である。しかしながら、わが国での適用事例は少ない¹⁾。カーテンウォール構法（以下CW）に適用されるガラスの支持方法の一つであるSSGは、従来のCWフレームにガラスを嵌込む支持形態とは異なり、フレームとガラスとを構造的に接着する構法である。構造接着であるから、物理的支持というよりは化学的結合による支持となる。SSGは、この化学的結合による支持で、あらゆる外乱に対し長きに渡り安全かつ円滑に荷重伝達する事が要求される。

SSGには、主に支持形態の違いによる2辺SSGと4辺SSGが存在する。2辺SSGは、ガラス4辺のうち上下辺もしくは縦2辺を構造接着で支持し、残り2辺をフレームに嵌込み支持をする。これは、謂わば、フェイルセーフ付きSSGとなるが、SSG最大の特徴である外観上のフレームレス化は残念ながら実現できない。一方、4辺SSGは、ガラス4辺を構造接着とするため、SSG特有の性能や効果は得られるが、フェイルセーフへのケアは希薄に映る。それでも、4辺SSGは世界の主流であることに変わりはなく、わが国でも安全性に配慮しながら4辺SSGが適用し易い環境を整えられれば、4辺SSGが持つ性能や効果を楽しむことができるはずである。したがって、ここでは、4辺SSGに着眼した。本報では、各国ガイドラインからSSGにおける比較検討を行い、設計課題の抽出と国内ガイドラインの改定に向けた一つの提案を行いたい。

2. SSG 構法の特徴

4辺SSGには、既報¹⁾でも説明した通りだが、要約す

ると以下のようなメリットとデメリットが存在する。

(1) メリット

- ・外観上フラットネスを構成できる（写真-1）。
- ・熱的性能の向上が見込める²⁾。
- ・汚れ溜まりを極小化し汚れを低減できる（写真-1）。
- ・太陽光発電などの有効面積を最大化できる（写真-2）。
- ・衝撃波によるガラスの脱落飛散を緩和できる（写真-3）。
- ・工場施工により品質の維持管理ができる。

(2) デメリット

- ・構造接着に起因するガラス保持能力への不安感。
- ・ガイドラインが更新されていないため拠り所とし難い。
- ・適用に向けた要件が現状と合致していない。
- ・接着性試験内容の煩雑さ。



写真-1 フラットネスの実現

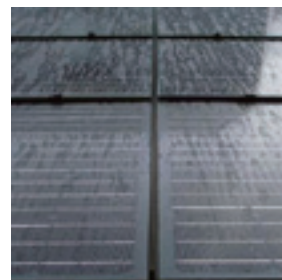


写真-2 有効面積の最大化³⁾



写真-3 爆風による耐衝撃性実験⁴⁾

^{*1} ISHII Hisashi: 株式会社LIXIL Technology Research 本部 先端技術研究所 環境エネルギー研究グループ 主任研究員 博士(工学)

- ・施工後のメンテナンスに関する手順が未整備。
- ・工場施工によるCWユニットが基本となる。

4辺SSGの最大のメリットの一つに、外観フレームレス化によるフラットネスの実現が挙げられる。この外観フレームレス化は、デザイン性に加え、更なるメリットをもたらす。それは、熱的性能の向上と汚れ難さである（図-1）。前者は外観が4辺フレームレスにより断熱性能が10-20%向上でき²⁾、後者はフレームによる余分な突起が無いため粉塵などのゴミが溜り難く汚れを低減できる。また、4辺SSGによる外観のフレームレス化は、BIPV（Building Integrated Photovoltaics：建材一体型太陽光発電）などの設置面積を最大化でき、環境エネルギーに寄与する（図-2）。さらに、構造接着の特性が活かせるのは、爆風などに対する耐衝撃性である^{4)・5)}。もちろん、合わせガラスとの併用が条件となるが、構造接着によりガラスが破損した際にフレームから抜け落ちることをある程度抑制できる。その他、温湿度管理された工場の施工環境により、品質が現場施工より優位なのは言うに及ばない。

一方、デメリットは、何と言っても構造接着による保持への不安である。構造接着への不安は、設計施工時のみならず、竣工後も建物寿命を迎えるまで、安全に保持されなければならない。当然、長期に渡り保持できない場合も想定すべきなので、保持機能やメンテナンス手法を提供する必要がある。

現行のガイドライン⁶⁾には、試験方法や設計方法などが記されているが、その内容の一部が現在の環境と合致し難くなってきている。最近のファサードは、高層化、大型化、高性能化、デザインの複雑化が進み⁷⁾、ガラスサイズは3.5m²～5m²くらいになる（写真-4）。そのため、文献2)で示されている1m²程度が望ましいという点や2階までの外壁に適用し、ファサード前面には植込みを設ける（写真-5）といった推奨要件では、対応しきれないケースもある。もちろん、安全性に配慮しながら、少しでも現在の環境に合致させるには、既往の要件を踏襲しつつ、最新事情を鑑みた仕様へと調整変更していく必要があるだろう。

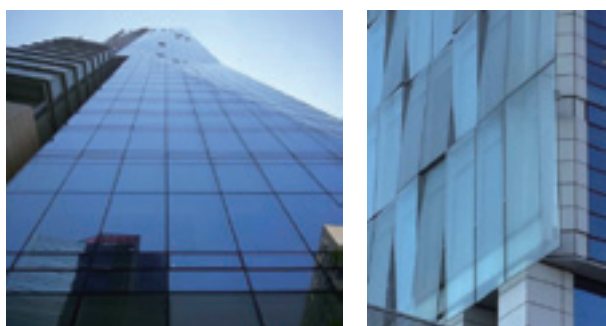


写真-4 大型化複雑化したファサードの事例⁷⁾



写真-5 4辺SSG前面に植込み設置した事例⁷⁾

3. SSG 構法に関連する規格

本章では、SSGに関連する各国、各地域における代表的な規格やガイドラインなどについて抽出し、経緯も含め簡単に説明する。なお、規格、指針およびガイドラインなどの用語は一部を除き、ガイドラインに統一する。

3.1 国内

SSGは、1980年代から1990年代にかけて、既に先行していた欧米諸国の事例研究から始まり、国内へ適用していくための研究開発が行われてきた。国内の研究報告書では、日本建築学会において1989年に「SSG構法の研究報告書⁸⁾」があり、さらに1993年にはBCS（Building Contractors Society：建築業協会 現建設業連合会）から「SSG構法の採用にあたって⁶⁾」が出版されている。SSGは、ガラスファサードに適用されるカーテンウォール構法の一つであるため、ガラス工事やカーテンウォール工事に該当する。日本建築学会では、JASS17 ガラス工事⁹⁾にSSGが記載されており、標準工事として4辺SSGを除き、2辺SSGを中心に採用のケースが増えていった。これらのガイドラインは、設計者や施工者の拠り所となり、確実に機能してきた。しかしながら、1995年以降は2辺SSGの採用事例も大幅に減少し、現時点では、ごく一部の特別仕様を除いて、ほぼ存在しない。これが今日までガイドライン改定に踏み切ってこなかった理由の一つであると推察する。このような背景から、わが国ではSSGに対する理解と実績が希薄な状況にある。

3.2 国外

国外では、欧米諸国が1970年代から4辺SSGの採用に踏み切っており、既に多くの施工実績がある。そのため、各国や各地域では、規格やガイドラインが十分に整備され機能している。例えば、米国では、ASTM（American Society of Testing Material）C1401 - 14「Standard Guide for Structural Sealant Glazing¹⁰⁾」がSSGのガイドラインとなっており、その適用方法について詳細に記されている。また、欧州では、ETAG（Guideline for

European Technical Approval) 002「Structural Sealant Glazing Kits (SSGK)¹¹⁾」, EN (European Norm) 1302-1「Glass in building. Structural sealant glazing. Glass products for structural sealant glazing systems for supported and unsupported monolithic and multiple glazing¹²⁾」とEN1302-2「Glass in building. Structural sealant glazing. Assembly rules¹³⁾」が広く適用されている。さらに、これら欧米のガイドラインをベースに国際規格化したものがISO 28278-1「Glass in building - Glass products for structural sealant glazing -Part 1 : Supported and unsupported monolithic and multiple glazing¹⁴⁾」と28278-2「Glass in building - Glass products for structural sealant glazing-Part 2 : Assembly rules¹⁵⁾」である。近隣諸国では、近年目覚ましい発展を遂げた中国のガイドラインにもSSGに関連する記述がある。中国のSSGに関連するガイドラインには、JGJ 102「Technical code for glass curtain wall engineering¹⁶⁾」が該当する。このJGJ102は、カーテンウォール工事に関係するガイドラインであるが、SSGの設計要件が詳細に記されており、手順に従い設計できるようになっている。構造シーラントの材料規定は、中国の国家規格であるGB16776に記されている。以上より、国内外の比較にあたっては、ASTM、ETAG 002、ISO、JGJ102およびJASS、BCSでのガイドラインを対象とし、わが国のJASSとBCSは、JASSに表現を統一し説明する。

4. 国内外の規格による違い

本章では、SSGにおける国内外の規格・ガイドラインによる違いについて、既報^{1), 2), 7), 17), 18)}を用いて設計の立場から簡潔に説明する。設計的要件は、広範囲に及ぶため、ここでは、関心の高いと思われる項目を中心に抽出した。

4.1 適用範囲

SSGは、ファサードに作用するあらゆる荷重を「構造接着」により安全かつ円滑に伝達するが、その際、ファサード面の適用領域が重要となる。図-1と表-1には、各国や各地域のSSGに対するガイドラインが指す適用範囲と鉛直面と等価な傾斜角の関係を示す。国内外での大きな違いは、傾斜面を受け入れているか否かの違いである。JASSによるSSGの適用可能領域は、原則、鉛直面のみとなっており、傾斜面への適用は考慮されていない。

一方、国外では、傾斜面への適用を認めているが、その適用範囲や鉛直面とみなす傾斜角度は各国のガイドラインにより差異がみられる。例えば、ASTMでは、図-1に示すように鉛直面から $\theta > \pm 15^\circ$ の場合、傾斜面と

して扱う必要があると明記している。図中①が示すように外側に倒れていれば、傾斜角に応じた引張応力が常時作用し、図中②のように内側に倒れている状態であれば、傾斜面に応じた圧縮応力が常時作用するため、応力状況を考慮した設計が必要となる。逆に傾斜面が $\theta \leq 15^\circ$ の場合は、鉛直面と同様に扱えることになる。そもそもASTMには、傾斜面に対する角度の制約は存在しない。

ETAGでは、図中③のように水平面から $7^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ までの範囲を傾斜面として取扱うと定義しており、オーバーハング（室外側への傾斜）についての記述は無い。この点はASTMとの大きな違いである。

ASTMやETAGより後に制定されたISOでは、図中⑤のように鉛直面に対して $\theta \leq 15^\circ$ は鉛直面と同様に扱うこととしており、ASTMと同じである。傾斜面が $\theta > 50^\circ$ の場合は、メカニカルデバイスによるガラス自重受けの効果は見込めないため、自重は全て構造シーラントで保持することになる。また、ISOの図中⑥については、ISO中に文言として記されていないが、鉛直面と同様に水平面から 7° までを水平とみなすという意味と推察する。

JGJでは、明確に適用範囲を示していないが、CWとしては、水平面より $75^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲を鉛直とみなすことができ、それ以上の傾斜面については、SSGとして傾斜面に対する応力計算の要求や死荷重に対する検討が明記されている。さらに図中の④の様に天井に適用した際の接着幅算定式が示されていることから、傾斜面に対しては、適用範囲と判断できる。

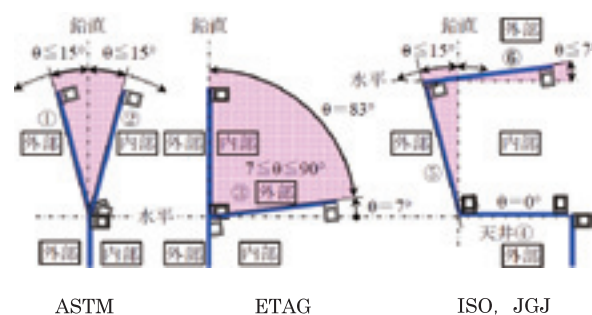


図-1 SSGの適用範囲と鉛直面と等価な傾斜面^{17), 18)}

表-1 SSGの適用範囲と鉛直面と等価な傾斜面^{17), 18)}

規格等	ASTM	ETAG	ISO	JGJ	JASS
適用範囲	規定なし	③	規定なし	④	鉛直のみ
鉛直と等価	①, ②	規定なし	⑤	②	

4.2 支持方法

SSGの適用領域は、JASSを除き、傾斜面への適用を許容している。そのため、SSGによるガラスの支持方

法は、設計上重要となる。SSGによる支持要件は、単板ガラスやLow-E複層ガラス（以下IGU：Insulating Glass Unit）などガラス構成によっても異なる。フェイルセーフ機構は、ASTMやJGJには明示されていないが、ETAGとISOには支持形態が図-2に示す様に分類されている。

ETAGおよびISOは、SSGの支持方法をType I～IVの4つに分類している。各タイプ別の事例を写真-6に示す。この4分類での大きな違いは、ガラス自重を受けるメカニカルデバイスと落下防止機構としてのメカニカルリテンションの有無である。Type- I, IIには自重受けはあるが、Type- III, IVには自重受けがない。そのため、Type- III, IVの構造シーラントは、長期せん断荷重を負担する必要がある、荷重負担状況を明確にする上で単板ガラスのみが適用可能となっている。図中Type- I, IIIには、脱落防止機構があり、フェイルセーフ機能は向上する。

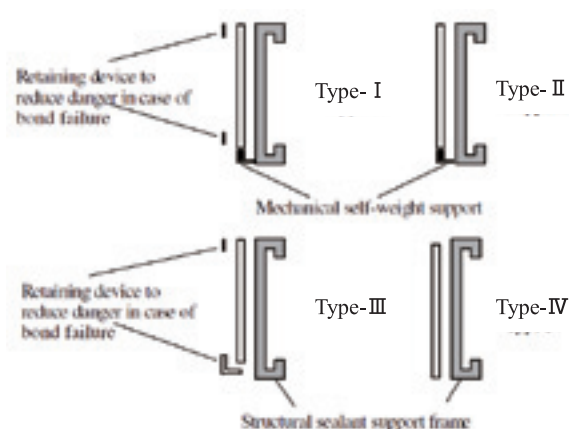


図-2 SSGの適用範囲と鉛直面と等価な傾斜面^{11)~14)}

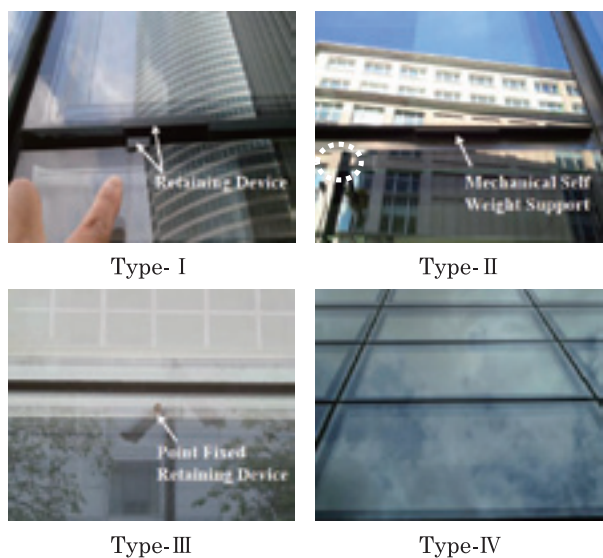
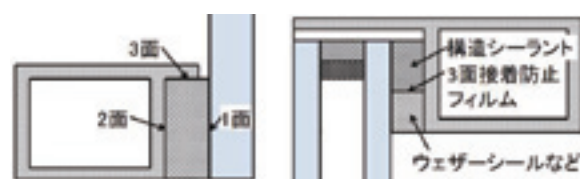


写真-6 Type別支持方法の事例¹⁸⁾

構造シーラントは、被着体であるCWフレームとガラスの2面を構造接着しているが、図-3のように周囲にはアルミフレームの一部やガasketなどが配置される。そのため、これらと接着すると3面接着の懸念やコンパチビリティの問題が生じる。構造シーラントは、2面接着で十分な性能を発揮するため、ETAG、JGJ、JASSでは原則3面接着を禁止している。ASTMでも有害な3面接着を避けることと記されており、ISOでは3面接着を防止するように防止フィルム（ボンドブレイカーなど）の挿入が示されている。



例えば ETAG 002¹⁾

例えば ISO28278-1²⁾

図-3 構造シーラントにおける3面接着禁止

4.3 荷重

CWには、風や熱伸縮など様々な荷重が作用する。ここでは、各ガイドラインにおいて要求される荷重を表-2に示す。設計上、これらの荷重が構造シーラントに作用する際、接着幅や接着厚の決定を左右するため、どの荷重要件が該当し、クリティカルであるのかを明らかにすることが肝要である。この一覧表から、国内外のガイドラインによる荷重要件の違いと特徴が明らかとなる。

表-2 各国各地域ガイドラインに対する作用荷重の種類¹⁸⁾

	ASTM	ETAG	ISO	JGJ	JASS
風荷重	✓	✓	✓	✓	✓
積雪荷重	✓	✓	✓	✓	✓※
自重	✓	✓	✓	✓	-
地震荷重	✓	-	-	✓	✓※
層間変位	✓	-	-	✓	✓
熱伸縮	✓	✓	✓	✓	✓
衝撃荷重	✓	✓	✓	-	-
メンテナンス荷重	✓	-	-	-	-
その他	-	振動	-	-	-

※：SSGガイドラインには記されていないが、他のガイドラインなどを参考に検討することが設計上慣例的であるものを指す。

表-2より、風荷重、積雪荷重および熱伸縮荷重は、各国共通の普遍的な荷重であり、SSGの設計には必ず適用されている。SSGによる自重保持や衝撃荷重は、JASSでは見込んでいない。また、地震荷重や層間変位追従性

能に対して、JASSとJGJでは詳細に検討式が示され、その検討を要求している。ASTMでは、熱伸縮、地震および層間変位は二次荷重として扱われ、一次荷重である風荷重とは分けている。ETAGやISOでは、地震の危険がある場合、構造シーラントの設計は負荷に耐えるには不十分であり、補完的な取り決めが必要と記されている。

積雪荷重は、ASTMでは傾斜面水平面に積もった雪や水を自重として見込み、鉛直面でも氷が形成されれば、同様に自重としてカウントする。ETAGでは、積雪と氷が作用する複合応力下では安定していなければならないため、積雪地域では予め荷重を見込んでおく必要がある。

以上より、SSGに作用する荷重検討については、地域特性による差が明確に見られた。

4.4 許容応力度

SSGにおける許容値には、許容応力度と許容変形率があるが、ここでは、設計上重要な許容応力度について説明し比較する。また、許容応力度には引張、せん断および圧縮があるが、風荷重や熱伸縮が主な荷重要件のため、それらに影響する引張およびせん断許容応力度を取り扱うこととする。その際、便宜上、許容応力度と表現する。

JASSにおける短期許容応力度は、0.14MPaであり、これはASTMの値と同じである。また、自重などの長期許容応力度は、構造シーラントで自重を受ける（せん断応力）ことを想定していないため、設定はされていない。

ASTMの短期許容応力度は、ASTM C1184で要求される345kPa（50psi）の最小破断強さに対し、最小設計安全率2.5を用いて許容応力度139kPa（20psi）を採用している。これがSSG業界で推奨される値である。また、長期許容応力度は、7kPa（1psi）以下に制限する前例があり、この制限は一般的に3.5kPa（0.5psi）に応力制限するメーカーの上限として確立されている。構造シーラントによるガラスの自重支持は、メーカーにより適切かつ許容可能であることが認められなければならないとされている。

ETAGにおける実用上の短期許容応力度は0.14MPa、長期許容応力度は7kPaであるが、原則、式（1）で算定した結果を用いることとなっている。最大耐力（破壊時応力特性）は、確率論により抽出された安全側の値として定められる。したがって、最大耐力に対して、通常は安全係数を短期の場合6、長期の場合は10で除して算定する。また、せん断応力度は、熱伸縮の様な短期許容応力度は式（2）、自重を負担する長期許容応力度は式（3）で算定する。

ISOでは、ETAGと概ね同じ検討内容となっており、式（1）～（3）により導かれた結果もしくは、140kPa（短

期）、7kPa（長期）を採用するとしている。その際、式（2）の安全率は6、式（3）の安全率は10と規定されている。

JGJの許容応力度は、短期で0.2MPa、長期で1MPaとしており、他のガイドラインよりも高い値を採用する。

$$\sigma_{des} = R_{u,5} / \gamma_{tot} \text{ [MPa]} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Gamma_{des} = R_{u,5} / \gamma_{tot} \text{ [MPa]} \dots\dots\dots (2)$$

$$\Gamma_{des} = R_{u,5} / \gamma_c \text{ [MPa]} \dots\dots\dots (3)$$

ここに

σ_{des} : 設計引張応力度 (23℃時)

Γ_{des} : 設計せん断応力度 (23℃時)

$R_{u,5}$: 破壊時応力特性

γ_{tot} : 総合安全係数 通常は6

γ_c : 永久荷重時安全係数 通常は10

4.5 接着要件

構造シーラントには、図-4に示す様に接着幅（b）と接着厚（t）が存在する。この構造シーラントの接着幅と接着厚は、風荷重による引張圧縮応力や熱伸縮によるせん断応力などに抵抗する重要な部位である。図-5と表-3には、全国各地域における構造シーラントの接着幅と接着厚に関する適用可能範囲を示す。

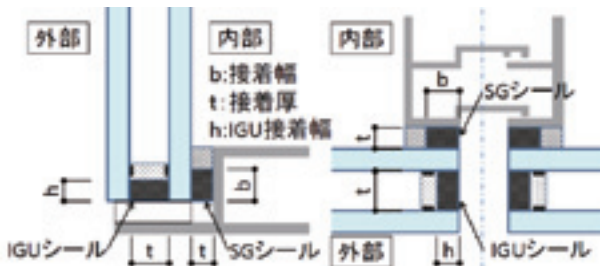


図-4 接着幅(b)と接着厚(t)の説明

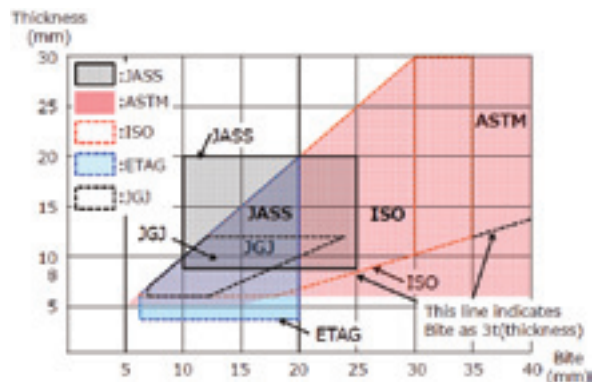


図-5 全国各地域における接着厚および接着幅の適用範囲¹⁸⁾

表-3 接着幅と接着厚およびIGU二次シール高さ比較¹⁸⁾

	ASTM	ETAG	ISO	JGJ	JASS
接着幅 b (mm)	$t \leq b \leq 3t$	$6 \leq b \leq 20$ $t \leq b \leq 3t$	$6 \leq b \leq 3t$ $b \leq 30, 35$	$7 \leq b \leq 2t$	$10 \leq b \leq 25$
接着厚 t (mm)	$5 \leq t$ (現場) $6 \leq t$ (工場)	$4 \leq t$ $6 \leq t$ (推奨)	$6 \leq t \leq B$	$6 \leq t \leq 12$	$8 \leq t \leq 20$
IGU高 h (mm)	-	$6 \leq h$	$6 \leq h$ (平滑) $4 \leq h$ (段差)	-	-

ASTMは、工場施工の場合、最小接着幅および接着厚を共に6mmとしている。これは、ETAGやISOおよびJGJでも概ね同じである。また、国外ガイドラインでは、JGJを除き $t \leq b \leq 3t$ を適用可能範囲としている。これらとJASSを比較すると明確な違いがある。例えば、JASSでは、図-5の斜め左上の領域をカバーしているが、この領域が接着幅に対する接着厚が2倍となることも可能なため、ディテール上、アンステーブルさを露呈してしまう。

接着幅や接着厚の最大値は、図-5に示す通りであるが、ISOの接着幅の最大値は、通常の場合 ($b \leq 30\text{mm}$) と耐衝撃性の場合 ($b \leq 35\text{mm}$) とで分けている。ここで耐衝撃性とは、爆風のような衝撃波に対するガラスの保持能力を指す。

一方、ASTMでは、接着幅や接着厚の最小値は定められているが、最大値に対しての制限が無い。通常、ガラスを構造接着する際は、施工性などを考慮するとサイズは限定される。この制限を設けない理由は、石材パネルなどの接着も視野に入れた結果ではないかと推察する。

ETAGは、最小値および最大値共に規定されており、接着幅、接着厚共に20mmが最大である。これは、ASTMやISOと比較すると適用範囲が明らかに狭い。JGJは、ETAGよりもさらに狭い範囲となっている。

ETAGやISOでは、IGUの2次シール高さ (h) に対して、最小適用高さが規定されている。特にISOでは、図-6に示すような従来のフラッシュ (平滑) IGUと、ステップ (段状) IGUとで使い分けている。ステップIGUを採用する理由は、構造的負担の軽減とType-ⅡとⅣ (図-2、写真-6) での取扱いが解釈上、可能になる点にある。原則、IGUの外部側ガラスがアルミフレームと構造接着されるため、IGUの2次シールから室内側ガラスへの荷重負担は小さくて済み、さらに外部側ガラスが単板ガラスの役割を果たすとみなせれば、メカニカルリテンションや自重受けを設けなくても成立させることが可能となるためである。また、ステップIGUには、図-7に示すように端部からの段差距離が規定されており、IGUの外側ガラスの板厚に対する縁端距離Rが5倍以内かガラスとアルミフレームの構造接着部下端より40mm以内と規定されている。

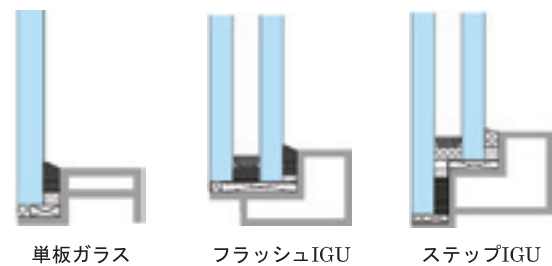
図-6 各国各地域における接着厚および接着幅の適用範囲¹⁴⁾Type-Ⅳの事例²⁾縁端距離の制約¹⁵⁾

図-7 ステップIGUの規定

4. 6 設計的要件

4. 6. 1 風荷重

構造シーラントは風荷重に対して抵抗する場合、接着幅 (b) が支配的となる (図-4)。ここでは、前述の接着要件を踏まえた上で、各国各地域の接着幅算定式について説明し、比較する。以下に各国の接着幅の算定式を示す。式 (4) はASTM、式 (5)、(6) はETAGの自重支持有りの場合とIGUの2次シール高さ、式 (7)、(8) はISOの自重支持有りと自重支持無し、式 (7) はJGJおよび式 (8) はJASSである。どの式も風荷重に対する短辺方向の線荷重を許容応力度で除して接着幅を決定している。ただし、ETAGとISOでは、IGU2次シールの算定式が規定されている。算定は、IGUの内外ガラス厚さに応じて変化する β 値 (表-4) により、荷重負担率から接着幅を決定する。 β 値は、IGUのガラス構成厚さに依存する係数であり、ETAGとISOでは異なる値を採用するが、本質的には同じである。

$$B = \frac{L_2 P_w}{2 F_t} \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$h_c \geq \frac{aW}{2 \cdot \sigma_{des}} \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$r \geq \frac{\beta \times a \times W}{2 \cdot \sigma_{des}} \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$h = c \geq \frac{0.5 \cdot F \cdot s_{\min}}{\sigma \cdot \beta} \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$h_u \geq \frac{0.5 \cdot P \cdot a}{\sigma \cdot \beta} \text{ [mm]} \cdots \cdots \cdots (8)$$

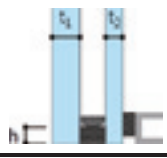
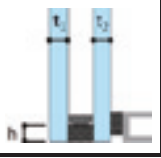
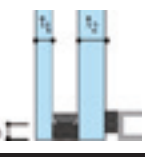
$$c_s = \frac{wa}{2000 f_1} \text{ [mm]} \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$d = \frac{0.5 pl}{f_a} \text{ [mm]} \cdots \cdots \cdots (10)$$

ここに

- B, h_c, c, c_s, d : 接着幅 (mm)
- r, h, h_u : IGUの接着幅 (mm)
- L_2, a, S_{min}, l : 短辺部材長 (mm)
- P_w, W, F, P, w, p : 風荷重 (kPa, Pa, kN/m²)
- $F_t, \sigma_{des}, \sigma, f_1, f_a$: 許容応力度, 設計応力度(MPa)
- β : 板厚構成による係数

表-4 IGUのガラス構成厚さに依存する係数^{3),18)}

			
ETAG	$\beta=1, t_1 > t_2$	$\beta=0.5, t_1 \leq t_2$	
ISO		$\beta=2, t_1 \leq t_2$	

4. 6. 2 熱伸縮

外壁構成部材には、太陽光や季節間温度差などの屋外環境と内部熱源や空調制御などの屋内環境による差から熱伸縮が生じる。これは、物理的性質に依存するが、各部材間による伸縮差は、少なくとも年365回以上の頻度で生じ、そのうち数回はピークに達する。さらに、継続時間も長いので大きな負荷となる。したがって、熱伸縮は構造シーラントの接着厚 (t) を決定する上で極めて重要である。熱伸縮は、一般的に部材の実効温度に部材の線膨張係数と対象部材長を乗じて算定される。この考え方は、国内外のガイドラインでは共通である。しかしながら、その実効温度の設定や部材長の取り方などは、各ガイドラインで異なる。表-5には、各ガイドラインの実効温度差を示す。ISOとJGJには、明確に記されていない。

表-5 部材の実効温度差および部材温度

	ガラス	アルミフレーム
ASTM	建設地の外気温, 施工時温度および部材の太陽吸収係数や熱容量定数から決定	
ETAG	透明 80℃ 不透明 100℃	従来型 55℃ 露出型 80℃推奨
JASS	60~70℃	従来型 10~40℃ 露出型 20~50℃

各ガイドライン間の相違は、SSG構法のディテール上の違いと実効温度設定方法の違いが挙げられる。表-5には、従来型と露出型が表記されているが、これは、SSGのディテール上の違いを指している。その違いを図-8に示す。従来型はガラス面に対してアルミフレームの一切が外部側に露出しないディテールであり、露出型はアルミフレームがガラスと同面で露出するディテールを指す。露出型は、従来型と比較して太陽スペクトルの吸収や固体熱伝導による熱流、対流熱伝達などの影響を受けやすいため、露出型の方が大きい値となる。この従来型と露出型の違いは、表-5に示す様にJASSでも規定されている。

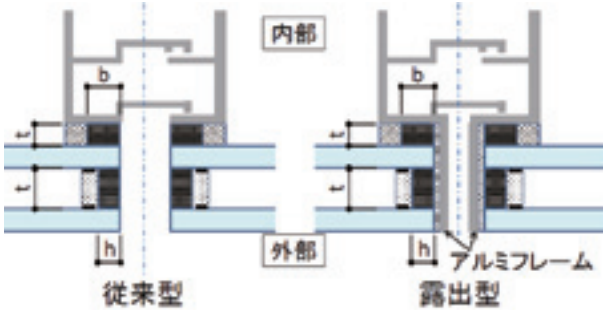


図-8 従来型と露出型の違い

実効温度差は、部材温度と工場施工温度により決定されるが、部材温度が解り難いことが多いため、ここでは参考までに実建物における部材温度の測定結果を示す。実測した建物は、1988年に竣工した都内の事務所ビルであり、外壁は全面が縦2辺SSGタイプのCWである。このCWは、熱線反射ガラスとアルミパネルで構成され、縦辺には免震機構を採用している。測定面は、周囲に日射を遮る高層建物が無い南面とした。図-9には、内観側から見た測定箇所と結果の一例を示す。測定箇所は、開口部の室内側CWフレーム（上下フレームは白色、縦フレームは黒色）とガラスおよび構造シーラント部などである。抽出日時は2018年3月1日12:49である。東京の外気温は気象庁のデータ（2018年3月1日12:50）より17.4℃、瞬間風速は南西の風5.1m/s、平均で南南西の風2.8m/sで、ガラス中心部の温度は50.7℃、上下フレームは33.9~36.3℃、縦フレーム中央は41.7℃、縦辺構造シーラント中央部は44.8℃であった。春先の気象条件にも関わらず、ガラス中心部は比較的高温となった。この結果から、直達光が多い時期や方位において、スパンドレル部の様な閉鎖的な部位や開口部でも空調運転が停止するような場合を想定すると、さらに過酷な状況が予想されるので注意が必要である。ただし、測定結果から工場の施工時温

度を仮に20℃とした場合、ガラスの実効温度差は30℃となり、JASSが規定する最大値の70℃を採用するならば、ガラスの温度は90℃までが許容範囲となるので、ガラス温度の最大値まで40℃の余力があることとなる。

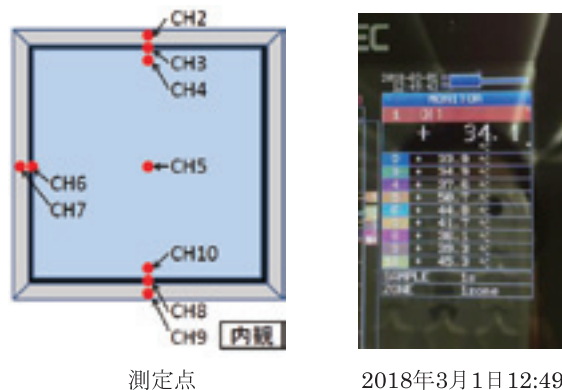


図-9 SSG採用物件の温度実測結果の一例

先程簡便に確認したJASSやETAGの実効温度差では、具体的な温度範囲が提供されているが、ASTMの実効温度差は、建設地の季節による外気温、施工時温度および部材の太陽吸収係数や熱容量定数から式(11)、(12)により決定している。すなわち、建設地の環境や季節、部材の太陽吸収率および熱容量を考慮する点異なる。

$$T_s = T_a + H(A) \quad (11)$$

$$\Delta T_s = T_s - T \quad (12)$$

ここに

T_s : 予測夏期表面温度 [℃] T_a : 夏期室外温度 [℃]

H : 太陽吸収係数 A : 熱容量定数

ΔT_s : 実効温度 [℃] T : 工場打設時温度 [℃]

熱伸縮による部材長の取り方も各ガイドラインにより若干異なる。以下に各ガイドラインの熱伸縮量算定式を示す。ASTMの熱伸縮算定式は式(13)、ETAGは式(14)と(15)、ISOは式(16)と(17)、JASSは式(18)である。ASTMとJASSは、ガラスの実効温度差の算定方法は異なるが算定式自体は同じである。ETAGとISOでは、サポートの有無を分けた算定式となっており、これも内容は同じである。ASTM、JASSとETAG、ISOとの違いは、厳密に言えば、ガラス部材長の取り方だけが異なる。その違いを分かりやすく図-10に示す。部材の熱伸縮方向は、一般的には長辺方法を採用することがクリティカルで安

全側の評価となる。図に示すようにASTMやJASSでは、この長辺方向を採用している。一方、ETAGやISOでは、前述の支持方法においてIGUのサポートの有無などを規定しているため、サポートが有る場合は、ガラス面下辺中央から上辺隅部までを結んだ線（縦と横半分による斜辺長）とし、サポート無しの場合は、熱伸縮方向が部材中心から四方に広がるため、ガラス面の中心から隅部までの距離（縦半分と横半分による斜辺長）としている。

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \alpha \quad (13)$$

$$\Delta = \{(T_c - T_0)\alpha_c - (T_v - T_0)\alpha_v\} \sqrt{(a/2)^2 + b^2} \quad (14)$$

$$\Delta = \{(T_c - T_0)\alpha_c - (T_v - T_0)\alpha_v\} \sqrt{(a/2)^2 + (b/2)^2} \quad (15)$$

$$\Delta_s = \{(T_f - T_0)\alpha_f - (T_g - T_0)\alpha_g\} \sqrt{(B/2)^2 + H^2} \quad (16)$$

$$\Delta_u = \{(T_f - T_0)\alpha_f - (T_g - T_0)\alpha_g\} \sqrt{(B/2)^2 + (H/2)^2} \quad (17)$$

$$\delta_T = L \cdot \Delta T_G \cdot \alpha_G \quad (18)$$

ここに

$\Delta L, \Delta, \Delta_s, \delta_T$: 熱伸縮量(mm)

$\alpha, \alpha_v, \alpha_g, \alpha_G$: ガラスの線膨張係数 (1/℃)

α_f, α_c : フレームの線膨張係数(1/℃)

T_g, T_v : ガラス度差(℃)

T_f, T_c : フレーム温度(℃)

$\Delta T_s, \Delta T_G$: ガラスの実効温度差(℃)

T_0 : 構造シーラントの打設時温度(℃)

L : ガラス辺長(mm)

B, a : ガラス横辺長(mm)

H, b : ガラス縦辺長(mm)

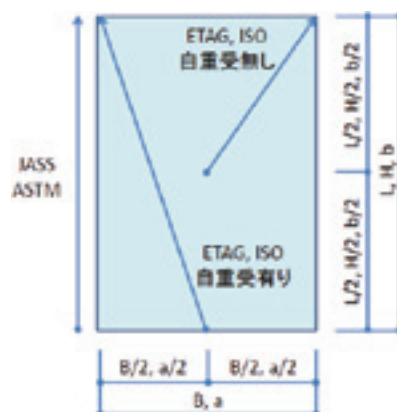


図-10 熱伸縮における部材長の取り方

部材の熱伸縮によって与えられる構造シーラントへの変位量は、前述より理解できたと思うが、熱伸縮によるせん断変形の捉え方が、国内外のガイドラインでは大きく異なる。JASSでは、せん断変形率M1という判断基準を設けており、その数値は熱伸縮による構造シーラントの伸び δs が接着厚 t に対して15%以下としている。一方、ASTMの熱伸縮によるせん断変形は、図-11に示すように部材間熱伸縮差によるせん断変形とするのではなく、せん断変形が構造シーラントに生じた際の斜辺の伸び量 ΔTL を採っている。これは、JASSの15%せん断変形率をASTMに置き換えた場合、1.12%の伸びでしかない。この1.12%の伸びは、構造シーラントの一般的な応力ひずみ曲線から、引張応力度としては25kPa程度となり、せん断応力度としては、25kPaの1/3程度となる。また、ASTMでは、せん断変形率が何%という閾値ではなく、風荷重に対する引張応力度と熱伸縮によるせん断応力度との合成によって決定される。その算定は式(19)により行われる。この点は、わが国の許容変形率の考え方とASTMの考え方との違いとなる。

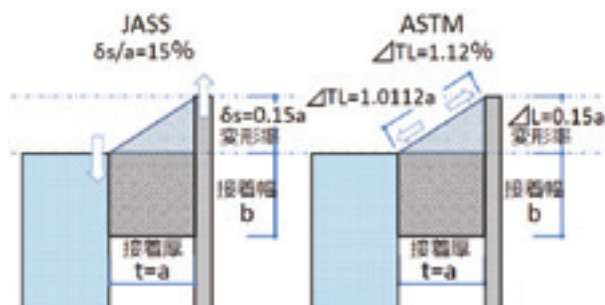


図-11 各国各地域における接着厚および接着幅の適用範囲³⁾

$$\frac{f_v^2}{F_v^2} + \frac{f_t^2}{F_t^2} = 1 \quad (19)$$

ここに

F_t : 許容引張応力度 (MPa)

F_v : 許容せん断応力度 (MPa)

f_t : 計算による引張応力度 (MPa)

f_v : 計算によるせん断応力度 (MPa)

JASSの場合は、熱伸縮による検討は、基本的には部材の実効温度差を用いて部材の長さや部材の線膨張係数より算定した熱伸縮量を許容変形率で除して接着厚を決定している。これに対し、ETAGやISOの熱伸縮による検討は、JASSと同様に算定した熱伸縮量にせん断弾性率を乗じて許容せん断応力度で除して接着厚を決定し

ている。せん断弾性率を許容せん断応力で除すことは、すなわち変形率を示しているため、意味合いは同じとなる。以下に各ガイドラインの算定式 (ASTMは式 (20)、ETAGは式 (21)、ISOは式 (22)、JASSは式 (23))を示す。

JGJでは、層間変位追従性による検討の部分で、温度変化による伸縮も検討すると記載されているだけであり、具体的な実効温度などの表記や許容変形率の設定はない。

$$\% = \left\{ \frac{\sqrt{(\Delta L)^2 + T^2} - T}{T} \right\} \cdot 100 \quad (20)$$

$$e = \frac{G \Delta}{\Gamma_{des}} \quad (21)$$

$$f_{shear} = \frac{G \Delta s}{e} \quad (22)$$

$$a \geq \frac{\delta_T}{\varepsilon_T} \times 100 \quad (23)$$

ここに

T, e, a : 接着厚 (mm)

$\Delta L, \Delta, \Delta_s, \delta_T$: 温度ムーブメント (mm)

G : せん断弾性率 (N/mm²)

Γ_{des}, f_{shear} : 設計せん断応力度 (N/mm²)

ε_T : 長期せん断変形率

4.6.3 地震荷重と層間変位

外壁に作用する地震荷重は、地震の揺れによる慣性力と主要構造部の変形に対する外壁の追従性との差が構造シーラントに引張圧縮方向やせん断方向の負荷を与える。ここでは、地震荷重として外壁の自重と慣性力に依存し外壁に作用する引張や圧縮およびせん断荷重と層間変位追従時に作用するせん断負荷について比較検討する。

構造シーラントの接着幅 (b) は、風荷重を受けた際の引張や圧縮に依存する。地震の揺れによる慣性力は、作用する向きにより構造接着部への引張圧縮およびせん断による負荷となる。地震時の慣性力は、JASS 14カーテンウォール工事19)では、水平震度 $K_H = 1.0G$ 、鉛直震度 $K_V = 0.5G$ にガラス自重を乗じて作用方向毎に決定する。慣性力の方向が、水平方向にガラス面外へ作用する場合は、ガラス自重に対する引張圧縮となり、風荷重の負荷と比べても小さいため、風荷重が支配荷重となる。これは、せん断方向についても同様で層間変位追従性能の方が支配的となることが多い。地震荷重に関して具体

的な計算式を提供しているガイドラインは、JGJのみである。JGJでは、地震荷重に対する接着厚の決定を式(24)により行っている。この算定式は、風荷重と地震時水平方向荷重の1/2を考慮し、風荷重と地震荷重の同時作用性を評価している。JASS 14 カーテンウォール工事では、風荷重と地震荷重の同時作用性を見ることは無く、その点では独自の検討項目となっている。また、JASS 14では、地震時水平方向荷重を1.0G ($K_H \times$ 自重)としているので、SSGを検討する場合は、この地震荷重も考慮することが常識的である。地震荷重はCW面に対して、面外方向、面内方向、上下方向への慣性力としてカウントされる。その際、接着幅だけではなく、接着厚も検討が必要となるが、熱伸縮に比して小さい値となるため、敢えて検討項目としては挙げていないと推察する。

$$c_s = \frac{(w + 0.5q_E)a}{2000 f_1} \dots\dots\dots(24)$$

ここに

c_s : シリコン構造シーラントの粘着幅 (mm)
 w : ユニットに作用する風荷重 (kN/m²)
 q_E : ユニットに作用する地震荷重 (kN/m²)
 a : 長方形ガラス板の短辺の長さ(mm)
 f_1 : 短期許容設計応力度 0.2 (N/mm²)

地震により主要構造部に層間変位が生じた際には、外壁は、その層間変位に追従する。この層間変位追従性については、ASTM、JASS、JGJがガイドラインにおいて取り上げている。ASTMでは、中程度の地震に対する層間変位追従性に対して高モジュラスの場合、1/175まで耐えられるという試験結果が示されている文献を紹介しているが、具体的な接着厚の算定式は示されていない。また、重大な地震ムーブメントに対しては、サブフレームによる変形追従型ディテールの有用性にも言及しており、層間変位追従性を考慮することを明確に示唆している。

JASSでは、地震時層間変位による接着厚の算定式として式(25)が示されている。これは、熱伸縮と基本的には同じである。ただし、せん断変形率M2は、20%である点と層間変位によるせん断変形量を用いる点は異なる。

$$a \geq \frac{\delta_s}{\varepsilon_R} \times 100 \dots\dots\dots(25)$$

ここに

a : 構造シーラントの接着厚 (mm)
 ε_R : 変形率
 δ_s : 構造シーラントの変位 (mm)

JGJでは、JASSの層間変形追従時のせん断変形率と同様に図-12、13に示す相対変位に対し、構造シーラントのせん断変形を式(26)、(27)に従って計算することになっている。その際、せん断変形率は、応力ひずみ曲線から0.14MPa時の変形率を用いる。JGJでは、許容応力度を0.2MPaと設定しているが、その点は使い分けている。

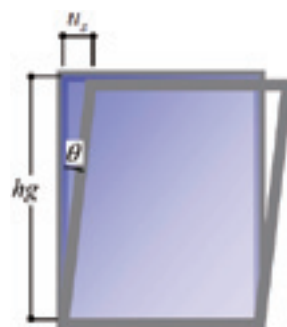


図-12 枠の変形

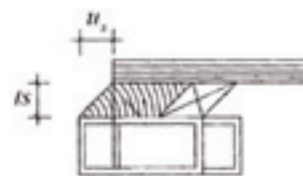


図-13 JGJのせん断変形²⁾

$$t_s \geq \frac{u_s}{\sqrt{\delta(2 + \delta)}} \dots\dots\dots(26)$$

$$u_s = \theta \cdot h_g \dots\dots\dots(27)$$

ここに

t_s : 構造シーラントの接着厚 (mm)
 u_s : CWフレームとガラスの相対変位 (mm)
 θ : 層間変位角 (rad)
 h_g : ガラス高さ (mm)
 δ : 構造シーラントの変位 (mm) 0.14MPa時の値

4.6.4 自重

自重については、国外と日本とは、その見解は大きく異なる。国外では前述した通り、自重に対する長期許容応力度を7kPa～10kPaと定めており、サポート無しによる構造シーラントの支持に対しても明確に計算方法が示されている。以下に自重受けデバイスが無い場合の各ガイドラインにおける検討式を示す。ASTMでは式(28)、ETAGは式(29)、ISOは式(30)、JGJは式(31)である。ASTMとJGJは、ガラス自重に対して構造シ

ーラントの4辺全長に長期許容応力度を乗じた値で除して、接着幅を決定している。ETAGとISOは基本的に同じであり、計算上は、ガラス縦辺で自重方向の荷重を負担することを想定している。一方、JASSでは、自重受け無しの適用を見込んでいないため、そもそも記述されていない。

$$B = \frac{L_1(L_2)(W)}{2F_d(L_1 + L_2)} \dots\dots\dots(28)$$

$$h_c = \frac{P}{2 \cdot \Gamma_{des} \cdot h_v} \dots\dots\dots(29)$$

$$h_u \geq \frac{P_u}{2 \cdot \Gamma_{\infty} \cdot l_s} \dots\dots\dots(30)$$

$$c_s = \frac{q_G ab}{2000(a+b)f_2} \dots\dots\dots(31)$$

ここに

B, h_c, h_u, c_s : 構造シーラントの接着厚 (mm)

W, P, P_u, q_G : ガラスの単位荷重 (kN/m²)

h_v, l_s : ガラス縦辺長さ (mm)

L_1, b : ガラス長辺長さ (mm)

L_2, a : ガラス短辺長さ (mm)

F_d, f_2 : 長期許容応力度 (kPa, MPa, N/mm²)

$\Gamma_{des}, \Gamma_{\infty}$: 設計せん断応力度 (kPa, MPa, N/mm²)

5. 設計に関わる提案

本章では、各国各地域のSSGに関するガイドラインの要件を踏まえ、現状、わが国に適しているであろうSSGの設計上の検討事項などについて提案を行う。

SSGの適用範囲は、現状の鉛直面のみからETAGやISOをベースに図-14に示す $7^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ を想定した。この傾斜面は、手前側に傾斜するものだけが対象である。

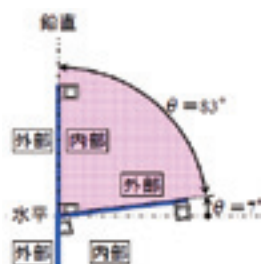


図-14 提案する適用範囲

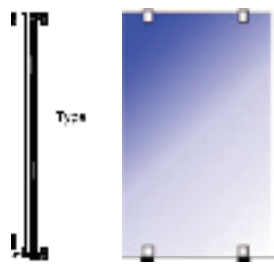


図-15 フェイルセーフ機構

これは、多様なデザインへの対応も見据えているが、水平方向の傾斜はガラス自重により圧縮方向に作用する常時荷重として風荷重の剥離による負圧を若干キャンセ

ルできる。そのため、圧縮によるクリープだけを考慮すれば良く、今まで蓄えてきたデータから構造安全性を十分に担保できると判断したためである。もちろん、4辺SSGを許容するのであるから、万が一に備えて安全性を確保する必要があり、そのためには、フェイルセーフ機構としてETAGやISOで規定するType- I (図-2、写真-6) のメカニカルリテンションを条件として付したい (図-15)。

メカニカルリテンションは、風荷重を受けた際にガラスに接触しない構造とし、SSGにエラーが生じた緊急時にのみ、ガラスを保持できるディテールとすることを設計上、推奨したい (図-16右)。これは、常時から弾性部材によって接触することで、ガラスには局部応力が生じるため、ガラス厚を増やすことや熱処理ガラスを採用して局部応力の緩和を行わなければならないことへのケアである (図-16左)。さらに、メカニカルリテンションを拡張して、竣工後にメンテナンス対応も可能とする外押縁 (図-17) 形式のCW設計を予め見込んでおけば、竣工後の維持管理にも有意に働くはずである。

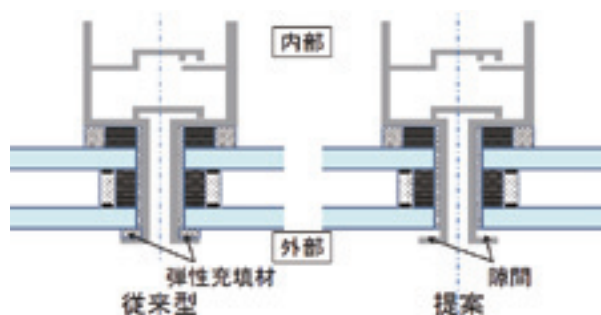


図-16 メカニカルリテンションのあり方

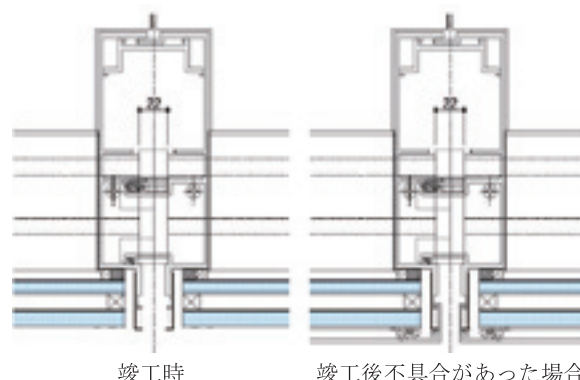


図-17 メンテナンス対応型のディテール例

国内外の構造シーラントメーカーでは、JASSのせん断変形率15%に対し、ASTMの15%に置換えて検討することがある。これは、図-18に示す様に斜辺伸張を15

%とすることを意味し、この斜辺伸張15%は、JASSのせん断変形率の56%に相当する。そのため、JASSの許容せん断変形率15%でNG判定となったとしても容易にクリアできてしまう。この検討方法は、熱伸縮が生じた場合だけを想定して接着厚を決定している。もちろん、今日まで各メーカーによる実証データなどに基づき、そのような対応をしていると想像するが、設計上、諸手を挙げて受け入れることは難しい。一方、ASTMでは、せん断変形による斜辺伸張が引張応力に対応して、風荷重との合成により算定すると前述した。この点は、JASSをASTMに置換えて実務上取扱っている内容とは異なっている。すなわち、安全性の観点から、熱伸縮による変形が生じている状態でピーク風圧が生じることは可能性としてはゼロではなく、そのような背景から熱伸縮と風荷重を合成して算定するASTMの検討方法は、実現象に近く設計上相応しいと考える。そのため、ここではASTMの合成応力による検討内容について、今後議論を重ね、我が国にふさわしいせん断変形への検討方法を確立したいと考えている。

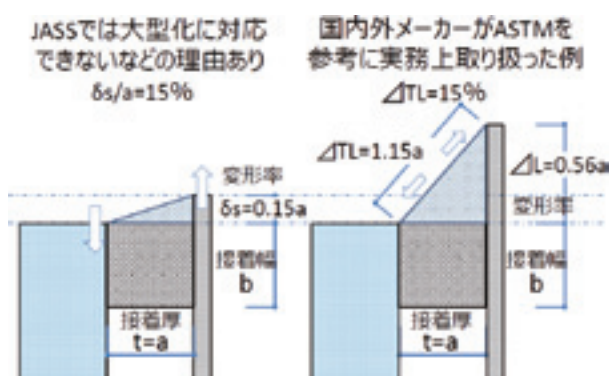
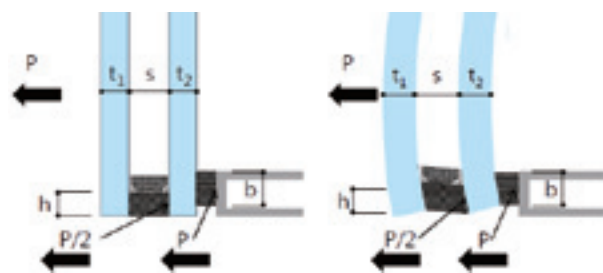


図-18 国内外構造シーラントメーカーの実務上の取扱い例

接着幅と接着厚の領域（図-5）は、他のガイドラインと大きく異なっているため、見直しが必要な部位でもある。例えば、ETAGやISOに代表される範囲をベースに再検討すべきと考える。特に欧州諸国に比べ風荷重が大きく、地震発生率も高く、熱伸縮の影響も受けやすい気候にあるわが国では、安全性確保を最優先とすれば、接着領域の広いISOに準拠した数値を採用した方がよいと考える。また、最小厚さや最小幅は、施工性などが重要な要件となるため、ディテール上の検証と合せて今後さらに検討が必要な部分である。また、許容せん断変形に関連して、実効温度差を確定するには、実際の部材の環境温度を把握することが重要であり、原則的には実験結果に基づくデータを採用した方がよいが、実験が容易では

ないときは、熱伝導解析などによる数値解析で判断することもある。既往の研究成果などと併せて上記の検討することもある一つの方策と想定される。

IGUの2次シールに関する接着幅は、ETAGやISOにおいて算定式が示されている。IGUの内外ガラスの板厚が同じ場合、風荷重 P に対して、図-19に示す様な荷重負担割合となること、ETAGやISOの算定式とIGUのガラス構成厚さに依存する係数 β （ETAGは0.5、ISOは2）から読み取れる。すなわち、内外ガラスの負担荷重は等価な状態となることを意味するが、厳密にはIGUの内外ガラスが等価な板厚の場合であっても、荷重負担割合は等価とはならないと現時点では考えており、ETAGとISOの算定式に著者は疑義を抱いている。この点については、文献¹⁸⁾にて、IGUにおける2次シール幅の算定式を提案しており、別の機会に、IGUの2次シール幅算定式の提案内容について、ご紹介したい。



ここに

h_1 : IGUハーメチックシールの接着幅 (mm)

h_2 : 構造シーラントの接着幅 (mm)

P : 風荷重 (Pa)

t_1, t_2 : IGUの外側ガラス、内側ガラス板厚 (mm)

図-19 ETAGとISOにおけるIGU2次シールの荷重負担¹⁸⁾

6. 結

本報では、SSG構法における各国各地域のガイドラインにおいて設計に関わる部分の比較検討を行った。比較検討結果から、各ガイドラインの地域性や特性が把握でき、どの項目がわが国に適しており活用可能か大筋の見当が得られた。ガイドラインの制定にあたっては、必要な荷重要件に対して的確かつ合理的にSSGの接着幅と接着厚を規定することが主目的であり、その過程において安全性と持続可能性に配慮し、わが国に適した検討項目を提供することが重要と考えている。今回の報告内容の一部は、現在、日本建築学会のJASS 17 ガラス工事改定小委員会SSG構法検討WG（主査：清家剛 東京

大学大学院 准教授)にて検討を進めている中で、情報提供し議論しているものであり、なるべく早い時期に設計者や施工者の拠り所となる資料の提供を目指し、業界に貢献して参りたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 石井久史：ガラスファサードにおける4辺SSG構法の適用可能性について，日本建築総合試験所，GBRC Vol.38 No.1, pp.14-21, 2013年1月
- 2) H. ISHII: Application Possibility of Four Sided Structural Sealant Glazing Systems in Japan, ASTM Selected Technical Paper C24 Fifth Symposium on the Durability and Construction on Sealants and Adhesives DOI: 10.1520/STP158320140095, pp.85-105, 2015.8.
- 3) 石井久史，他：BIPVって何？太陽を纏う建築，太陽エネルギーデザイン研究会，p.55, 2015年7月
- 4) Blast trial report Sika® Sikasil SG550 High Strength Structural Silicone GL Spadeadam: Oct.2012
- 5) Kenneth Yarosh, Andreas Wolf, and Sigurd Sitte: Evaluation of Silicone Sealants at High Movement Rates Relevant to Bomb Mitigating Window and Curtain wall Design, Journal of ASTM International, Vol. 6, No. 2, Mar.2009
- 6) 建築業協会：SSG構法の採用にあたって，1993年10月
- 7) 石井久史，他：ファサードデザインを支える構造シーラント，第9回防水シンポジウム，p.55, 2017年10月
- 8) 日本建築学会：SSG構法研究報告書，日本建築学会，1989年11月
- 9) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS17 ガラス工事，2003年12月
- 10) ASTM C1401 - 14 [Standard Guide for Structural Sealant Glazing], Jun.2014
- 11) ETAG 002 [STRUCTURAL SEALANT GLAZING KITS (SSGK)], May.2012
- 12) EN 1302-1 [Glass in building. Structural sealant glazing. Glass products for structural sealant glazing systems for supported and unsupported monolithic and multiple glazing], Jun.2014
- 13) EN1302-2 [Glass in building. Structural sealant glazing. Assembly rules], Jun.2014
- 14) ISO 28278-1 [Glass in building - Glass products for structural sealant glazing -Part 1:Supported and unsupported monolithic and multiple glazing] Dec.2011
- 15) ISO 28278-2 [Glass in building - Glass products for structural sealant glazing-Part 2: Assembly rules, Dec 2010
- 16) 中華人民共和國建設部，JGJ 102 Technical code for glass curtain wall engineering, Apr.2004
- 17) 石井久史，松尾隆士，岩崎功，他：海外におけるSSG構法のガイドラインに関する調査研究 その3 設計，日本建築学会学術講演会（近畿）梗概集，pp1293-1294, 2014年9月

- 18) H.ISHII: Comparative study of guidelines regarding the design of four-sided SSG systems applied to facades, ASTM Selected Technical Paper, ASTM Committee C24, Sixth Symposium on the Durability of Building and Construction Sealants and Adhesives, Toronto, Canada June 2017.

- 19) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS14 カーテンウォール工事，2012年2月

【執筆者】



*1 石井 久史
(ISHII Hisashi)