

ファサードエンジニアリングの統合に関する研究

—統合ファサードの提案および性能評価—

STUDIES ON INTEGRATED FACADE ENGINEERING

—Proposal for integrated facade and its evaluation—

竹内 徹*¹, 小谷野 一尚*², 安田 幸一*³, 湯浅和博*⁴, 岩田 衛*⁵Toru TAKEUCHI, Kazuhisa KOYANO, Koichi YASUDA,
Kazuhiro YUASA and Mamoru IWATA

Building facade plays an important role for not only creating urban landscape design, but also affecting the environmental impact through energy consumption. Also such perimeter zones are effective area for placing seismic resisting elements in structural design. For satisfying all of these demands, the authors proposed the concept of integrated facade engineering, which treats architectural design, structural and environmental design combined together. Following the previous paper, detailed examples of "Integrated Facade" are proposed in this paper, and their performances in each axis are evaluated.

Keywords: *Facade Engineering, Environmental Impact, Structural Element, Urban Landscape*

ファサードエンジニアリング, 環境負荷, 構造要素, 都市景観

1. 序

大都市における建築ストックを新陳代謝していく際には、従来のスクラップ・アンド・ビルト一辺倒ではなく、建物を改修しながらその性能を向上させていく方法も環境負荷面や建物の継続使用面から今後重要となっていくものと考えられる。中でも建物の外壁面を構成するファサードは都市景観を形成する重要な要素の一つであるとともに、建物内部を外的環境から保護し、建築物の消費エネルギー効率に影響を与える要素であることから、改修によって大きな性能向上が期待できる部位となる。既存建物の改修に当たっては、ファサードを適切なものに交換することで、建物外観を一新すると共に建物のエネルギー負荷を低減することが可能となる^{1)~15)}。

一方、既存建物には最新の耐震規準を満足しない、いわゆる既存不適格建物が多く含まれており、この場合には予想される大地震時の被害を低減するための耐震改修を合わせて行う必要がある。耐震要素を配する場所としては建物外周部が適していることから、外面に露出して補強が付加されることが多いが、これらの機能がファサードと無関係に構造要素として設計されるために、景観として劣悪となり上述した機能と矛盾を生じる場合が多い¹⁶⁾。

筆者らは上記問題を効果的に改善するために、これら各分野のファサードエンジニアリングを統合化(図1)することにより、上記の問題への対処を一体に行う概念を前論文¹⁷⁾で提案するとともに、既存建物事例を通じてファサードを構成する性能評価規準の整理を行っ

た。前論文で触れたように、本概念は新築建物の設計においても通用する可能性があり、カーテンウォールの普及と共に分離してきた建物のペリメータゾーンにおける建築及び環境設計と構造設計を再統合することによる、新たな建築設計の可能性をその延長線上に期待できるものと考えられる。本概念は建物ファサードを意匠・構造・環境の3軸を通して評価する手法を必要としており、こういった試みは現在まで異なる価値観で個々に行われてきた専門分野を横断する総合研究となるため、前例があまり見られないのが現状である。

本論文では上記コンセプトに基づく「統合ファサード」の具体例を設定し、前論文で示された評価軸に基づいた性能評価を行うことを目的とする。検討対象は既存建物を設定し、この改修を想定したファサードおよび同種の建物を新築で構成することを想定したファサードを、構造要素と意匠・環境要素の統合レベルを変化させながら複数設定し、それぞ

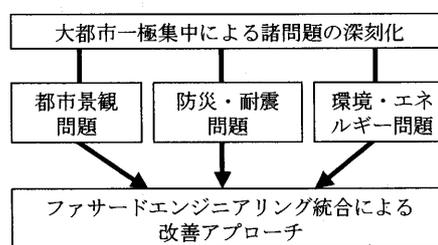


図1 本研究の目的

*¹ 東京工業大学理工学研究科建築学専攻 助教授・博士(工学)*² 神奈川大学大学院 修士課程*³ 東京工業大学理工学研究科建築学専攻 助教授・建修*⁴ 東京工業大学理工学研究科建築学専攻 助教授・工博*⁵ 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate School Student, Kanagawa University

Assoc. Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, M. Arch.

Assoc. Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Arch. and Building Eng., Kanagawa Univ., Dr. Eng.

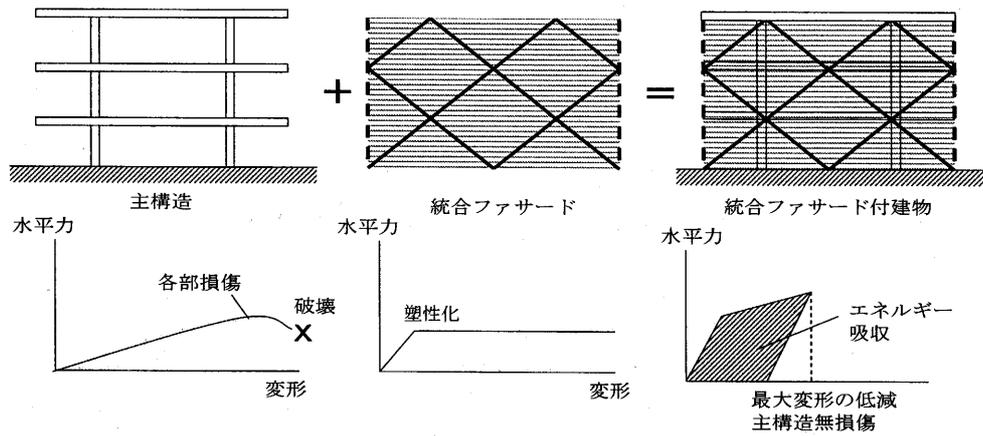


図2 統合ファサードの構造面でのコンセプト

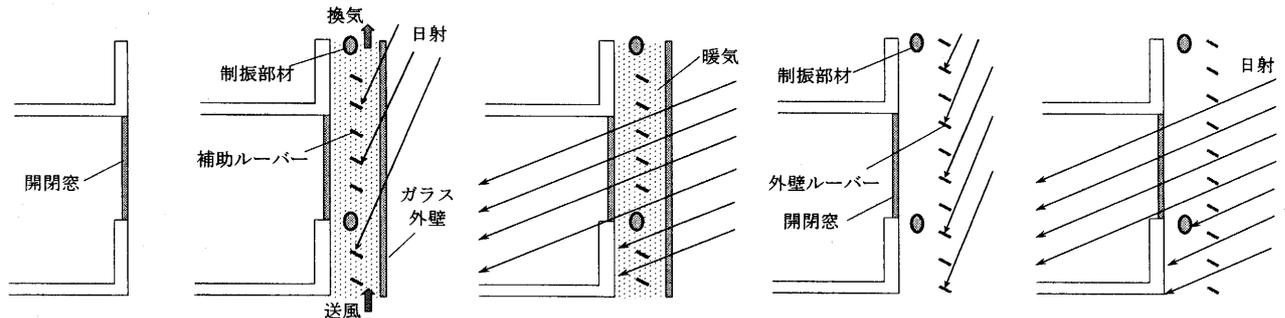


図3 統合ファサードの環境面でのコンセプト

これを構造面、環境面、意匠面の評価軸より前論文で設定した代表的な評価因子において定量的な評価を試みながらその優劣を論じる。

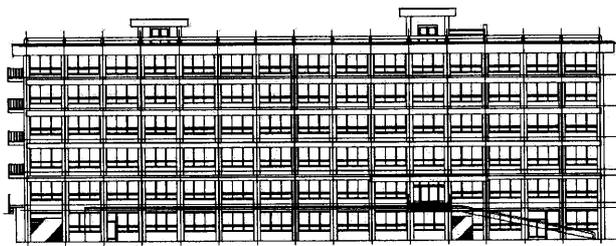
2. 統合ファサード検討モデルの設定

図2に想定する統合ファサードの構造面でのコンセプトを示す。従来の耐震補強には強度型のブレースを使用することが多かったが、本構法では構造要素に履歴型の制振ブレース(座屈拘束ブレースなど)を想定する。強度型のブレースでは主構造や基礎に大きな反力が発生し、既存架構に大きな負担を与える一方、最大耐力を発揮した後は座屈・破壊を生じて耐力が大きく低下する危険性がある。制振ブレースを使用することによって主構造や基礎に発生する反力を抑制し、部材の履歴エネルギーにより地震エネルギーを吸収し応答そのものを低減することができる。これより、主構造への負担が低減され、より細い部材でファサードを構成することが可能となる。

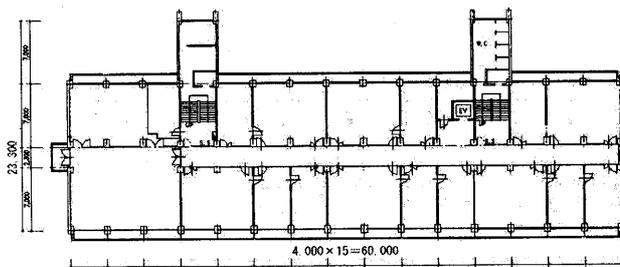
図3に統合ファサードの環境面でのコンセプトを示す。欧州で多用されているダブルスキンは同図中の(b)(c)にあたり、ガラスの外皮と内皮およびその間に配置されたルーバーにより構成されている。本システムでは夏期は直射日光をルーバーで遮蔽して発生した熱を上方向に排出し、冬期は直射日光を直接室内に導き、ダブルスキンの断熱性能により熱が屋外に逃げるのを防止することにより、季節を通じたエネルギー負荷の低減を図っている。しかし本システムは年平均気温が低く、冬期のエネルギー低減が主体となる地域に適しており、日本のように夏期の熱負荷の高い地域には適していない可能性がある。また、春秋の中間期において自然換気を行うことが難しい。そこで、図3(d)(e)に示すように、外皮に直接ルーバーを設けることを考える。この処置によって断熱性は低減するが、夏期の熱溜まりを防止し、内壁の開閉口を開閉することで中間期の自然換気が可能となる。

これらのコンセプトを反映し、より具体的なファサードの設定を行う。図4に検討対象とする既存建物の概要を示す。本建物は1969年に建設された地上5階、地下1階の実在の大学研究棟を模した典型的な教育・研究施設の建物である。同図中(a)に立面図、(b)に基準階平面図を示す。構造は鉄筋コンクリート造で1971年の建築基準法¹⁰⁾改正前の設計に拠る既存不適格建物であり、耐震補強を必要とする。また、長辺方向がほぼ南に面しており、夏期の熱負荷の大きな建物である。桁行き方向は4m間隔で柱が並んでおり、同グリッドに沿ったファサード設計を行う。具体的には図5(a)に示すように、鉄筋コンクリート建物の外壁底部にファサードを付加する事による耐震上、環境上、意匠上での改善を図る。このタイプでは鋼管状の制振ブレースを支持材として利用し外壁のルーバーが取り付けられており、これを制振ブレース・ルーバー分離型または単に分離型(Sシリーズ)と定義する。この場合、既存の外壁がファサード付加後は内壁となる。一方、図5(b)のように板状の座屈拘束ブレースを菱形に配置してそのままルーバーとして利用し、斜行ルーバーと一体化したファサードを制振ブレース・ルーバー一体型または単に一体型(Uシリーズ)と定義する。一体型では鉄骨造の新築建物を想定し、外壁架構より内壁をセットバックさせた内部の無柱空間を実現している。これらのシリーズに、さらに外壁をガラス(g)、ルーバー(l)としたもの、上部ルーバーと下部ガラスを組み合わせたもの(lg)を定義し、ファサード付加前の状態(Og)と合わせて図6に示すような計6種類のファサードを設定する。

以上のファサードについて、構造面、環境面、意匠面での評価を行う。前論文で定義した図7の評価軸の内、外壁により大きな影響を受ける構造面(シェルター機能軸)のうち「エネルギー吸収機能」、環境面(環境軸)のうち「空気流動性」および「断熱性」、意匠面(デザイン軸)の各機能因子に関する評価を試みる。

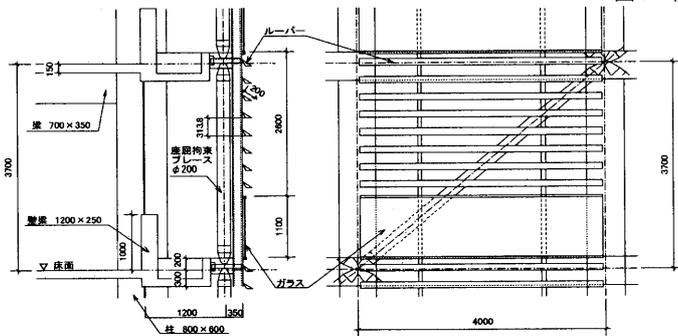


(a) 立面図

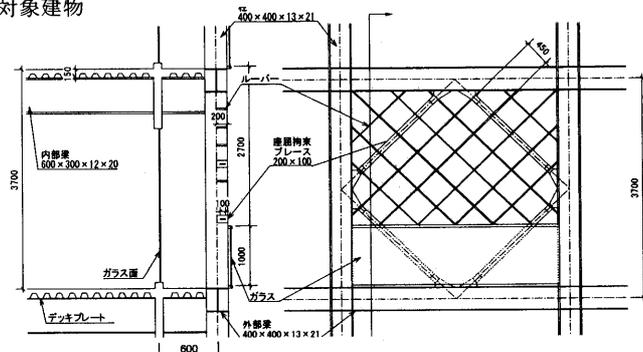


(b) 基準階平面図

図4 検討対象建物



(a) 制振プレース・ルーバー分離型 (Sシリーズ)



(b) 制振プレース・ルーバー一体型 (Uシリーズ)

図5 検討ファサードの形式

	ガラス	ルーバー	ガラス+ルーバー
分離型	Sg 	Sl 	Slg
	Og(補強前) 	Ul 	Ulg
一体型			

図6 検討ファサードタイプの名称と外観

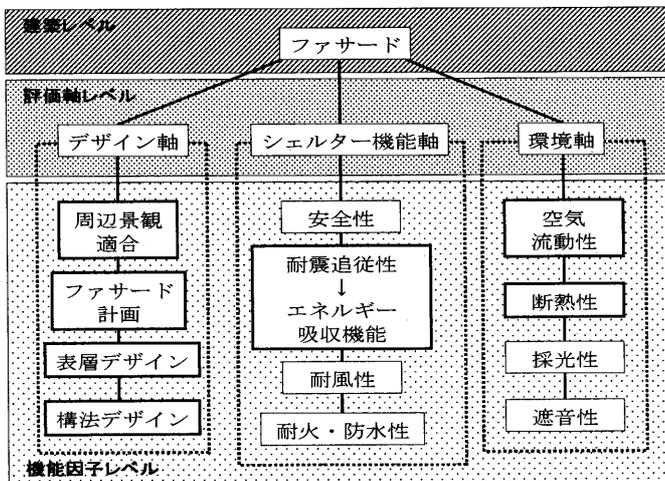


図7 エネルギー吸収機能を有するファサードの性能評価項目

3. 構造面(エネルギー吸収機能)の評価

表1に分離型の検討対象とした既存建物の部材リストを示す。また、図8(a)に同構造の水平荷重増分解析結果を示す。同構造はせん断破壊が予想される柱を多く含んでおり、雑壁の少ない2階で日本建築防災協会耐震診断標準¹⁹⁾による耐震指標(Is値)が目標値0.7に対して0.3以下となっている。同架構に対し最大速度 $V_{max}=50\text{cm/sec}$ に規準化した観測地震波 EL CENTRO-NS, TAFT-EW, HACHINOHE-NS, JMA KOBE-NS および BCI-I2²⁰⁾を使用した時刻歴応答解析を行った結果を図8(c)~(e)に点線で示す。2階の最大応答層間変形角は1/100に達し、せん断破壊の限界層間変形角1/250を大きく超過している。これは既存の建物が同レベルの地震に遭遇した場合、2階での層崩壊が生じる可能性を示唆している。

次に同構造に制振プレースを含んだ分離型ファサードを付加した場合の耐震性能について検討する。ファサードに使用する制振プレースの断面リストを表2に、ファサード付加後の各層の荷重-変形関係を図8(b)に示す。制振プレースは層間変形角1/800程度から塑性化し地震エ

表1 分離型モデル既存構造柱梁断面

階	柱		梁	
	RC-650×700	RC-350×600	主筋	腹筋
5F	主筋	18-D19	主筋	上端 5-D19 下端 3-D19
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250
4F	主筋	14-D19	主筋	上端 7-D22 下端 4-D22
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250
3F	主筋	4-D22 10-D19	主筋	上端 8-D22 下端 6-D22
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250
2F	主筋	14-D22	主筋	上端 8-D25 下端 7-D25
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250
1F	主筋	6-D25 8-D22	主筋	上端 8-D25 下端 7-D25
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250
BF	主筋	24-D25	主筋	上端 8-D25 下端 9-D25
	腹筋	9φ@250	腹筋	9φ@250

*コンクリート $f_c=21N/mm^2$ 、主筋SD345

表2 分離型付加ファサード制振部材

階	芯材	座屈拘束鋼管	本数
5F	-	-	-
4F	PL-19×152	φ216.3×4.5	15
	PL-32×153	φ216.3×8.2	3
3F	PL-32×153	φ216.3×8.2	10
	PL-40×159	φ216.3×12.7	15
2F	PL-40×159	φ216.3×12.7	28
1F	PL-40×159	φ216.3×12.7	18
BF	PL-40×159	φ216.3×12.7	19

*芯材鋼種はLY225

表3 一体型主構造柱梁断面

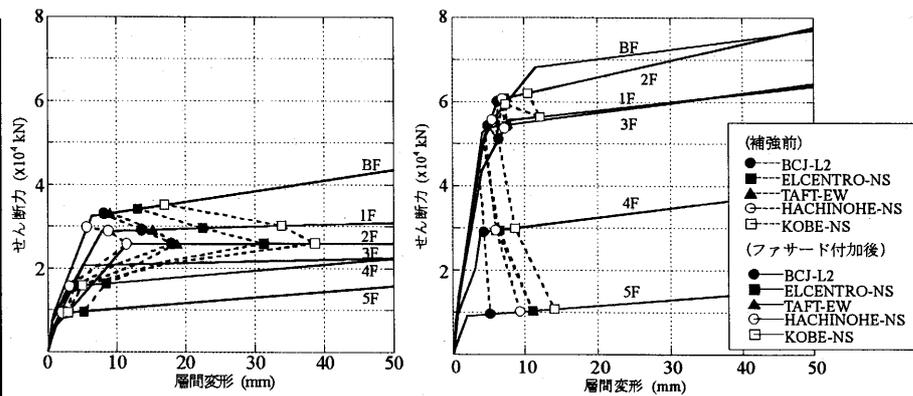
階	柱
6F	H-340×250×9×14
5F	H-340×250×9×14
4F	H-350×350×12×19
3F	H-350×350×12×19
2F	H-350×350×12×19
1F	H-350×350×12×19
階	梁
6F	H-350×175×7×11
5F	H-350×175×7×11
4F	H-400×200×8×13
3F	H-400×200×8×13
2F	H-500×200×10×16
1F	H-500×200×10×16

*鋼種はSN400

表4 一体型ファサード制振部材

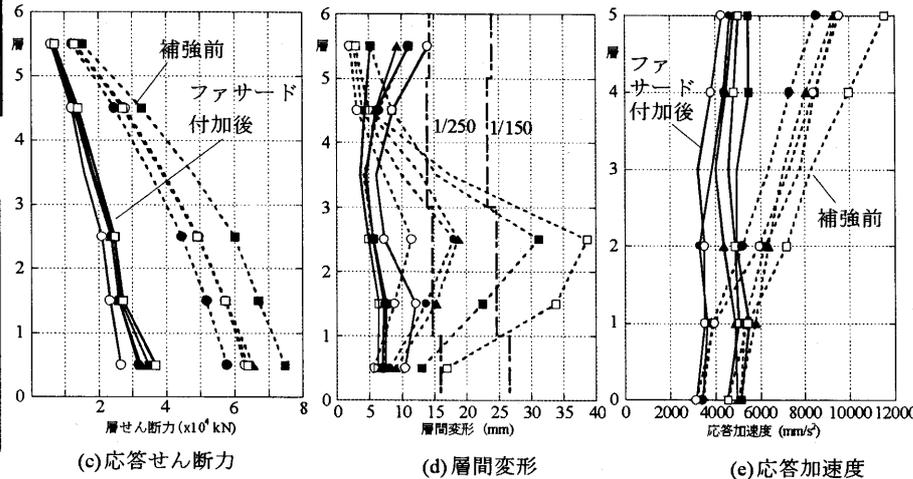
階	芯材	座屈拘束鋼管	本数
6F	PL-16×81	□-200×100	60
5F	PL-16×100	□-200×100	60
4F	PL-16×100	□-200×100	60
3F	PL-16×100	□-200×100	60
2F	PL-16×125	□-200×100	60
1F	PL-16×140	□-200×100	60

*芯材鋼種はSN400



(a) 荷重-変形関係(補強前)

(b) 荷重-変形関係(ファサード付加後)

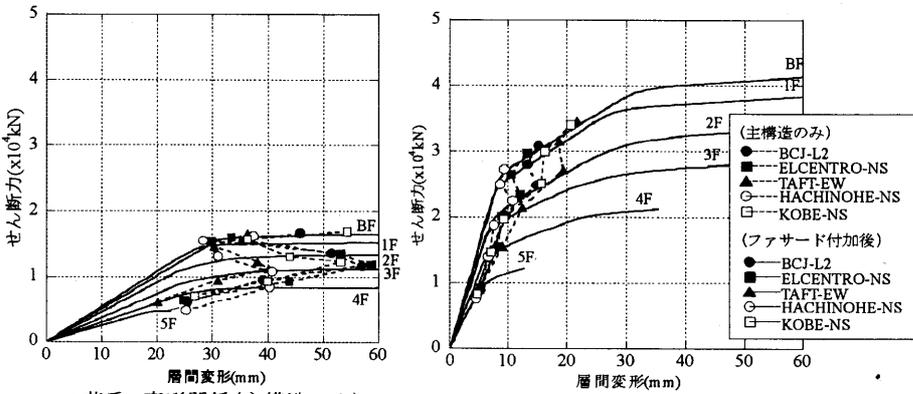


(c) 応答せん断力

(d) 層間変形

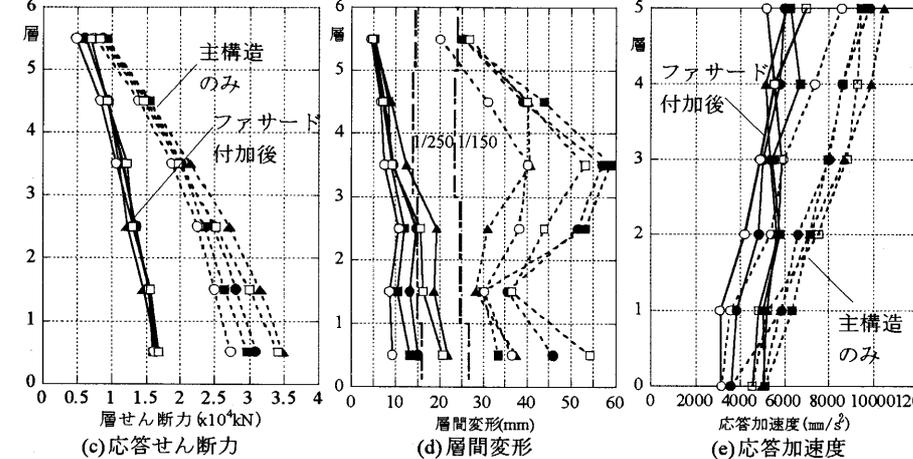
(e) 応答加速度

図8 制振ブレース・ルーバード分離型ファサードの耐震性能



(a) 荷重-変形関係(主構造のみ)

(b) 荷重-変形関係(ファサード付加後)



(c) 応答せん断力

(d) 層間変形

(e) 応答加速度

図9 制振ブレース・ルーバード一体型ファサードの耐震性能

エネルギーを吸収し始めるよう設定している。図8(c)~(e)にファサード付加後の最大応答を実線で補強前と合わせて示す。最大応答層間変形角は1/250以下に低減され、最大応答せん断力も半分程度に減少している。これより、本建物はファサード付加によりレベル2地震動に耐える耐震性能を得られていることが分かる。

次に制振ブレース・ルーバー一体型の鉄骨造建物について同様の条件により耐震性能を評価する。

表3には図4と同様の平立面を有する建物を想定し設計した一体型ルーバーを有する鉄骨構造の部材リストを示す。また、表4にはファサードに含まれるルーバー型制振ブレースの断面サイズを示す。図9(a),(b)はそれぞれブレース無し、有りの場合の各階の荷重-変形関係である。図8と同様の地震波に対する時刻歴応答解析結果を図9(c)~(e)に示す。同図中、点線が主構造のみ、実線がブレース付きの応答を示す。主構造のみの層間変形角が1/100を超えているのに対し、ブレース付きの最大層間変形角は高品位鉄骨建物の許容量である1/150以下となっており、鉄骨造一体型のファサードであっても、十分な耐震性能を持つ架構が設計可能であることが確認できる。

4. 環境面(空気流動性・断熱性)の評価

環境面に関しては各季節における東京南中時の日射量を算定し、床面、壁面およびガラス面よりの熱放射を評価したCFD解析を行うことによって、ペリメータゾーンの熱環境を評価する。

表5に内外壁に使用するガラスの諸元、表6に解析条件、図10にそ

れぞれのファサードの解析モデルを示す。解析は各モデルにおいて日射およびその透過により床、壁面およびガラス面より単位時間に発生する熱量およびその領域を算定してモデル内に初期条件として与え²¹⁾、室内での対流による温度分布状況をCFD解析により求める。CFD解析にはWindperfectを使用し、乱流モデルには標準k-εモデルを使用する²²⁾。解析時間は120秒を設定する。なお、各モデルにおいて、ルーバー部は日射を透過せず、発生熱量も無視している。また、一体型ルーバーでは、日射透過率の等価な水平ルーバーにモデル化して解析を行っている。ペリメーター部の熱対流によって得られた内壁面の環境温度は、ガラス部の熱透過率を考慮して室内側の発熱条件にフィードバックし再計算を行う。なお検討モデルにおいては、ガラス・ルーバーにおいて排気・開閉等の機械的装置を用いない固定型かつ各層において完結したファサードを想定し、ペリメータ部は閉鎖型となっている。

図11に得られた熱環境解析結果を示す。(a)の夏期の解析においては、既存外壁Og-Suの外壁面が40℃を超える温度に達し、ガラスのダブルスキンとしたSg-Suも内外壁間の温度が44℃に達し、その影響で室内の壁側の温度も上昇している。一方、ルーバーを付加したSl-Su、Slg-Su、Ul-Su、Ulg-Suでは日射の大部分がルーバーにより遮蔽され、ペリメータ部に到達しないために室内側の温度の上昇は殆ど見られない。

(b)の中間期にはルーバーの間より日射が室内側に到達するようになるため、ルーバー付きファサードにおいても室内側での熱の発生が見られるようになるが、概ね夏期と同様の傾向となっている。

(c)の冬期においては、ダブルスキンSg-Wiは良好な保温効果を発揮

表5 ガラスの緒元

材種	フロートガラス
厚さ	15 mm
熱透過率	5.6 W/m ² K
透過率	65.80%
反射率	6.30%
内面放射率	9.20%
外面放射率	18.80%

表6 熱環境解析条件(東京)

記号	季節	時刻	日射角(deg.)	鉛直面照射熱(W/m ²)	初期温度(℃)	解析時間(sec)
Su	夏期(7/23)	正午	74.24	288.4	33	120
Im	中間期(10/24)	正午	42.04	698.0	24	120
Wi	冬期(1/24)	正午	27.8	572.1	5	120

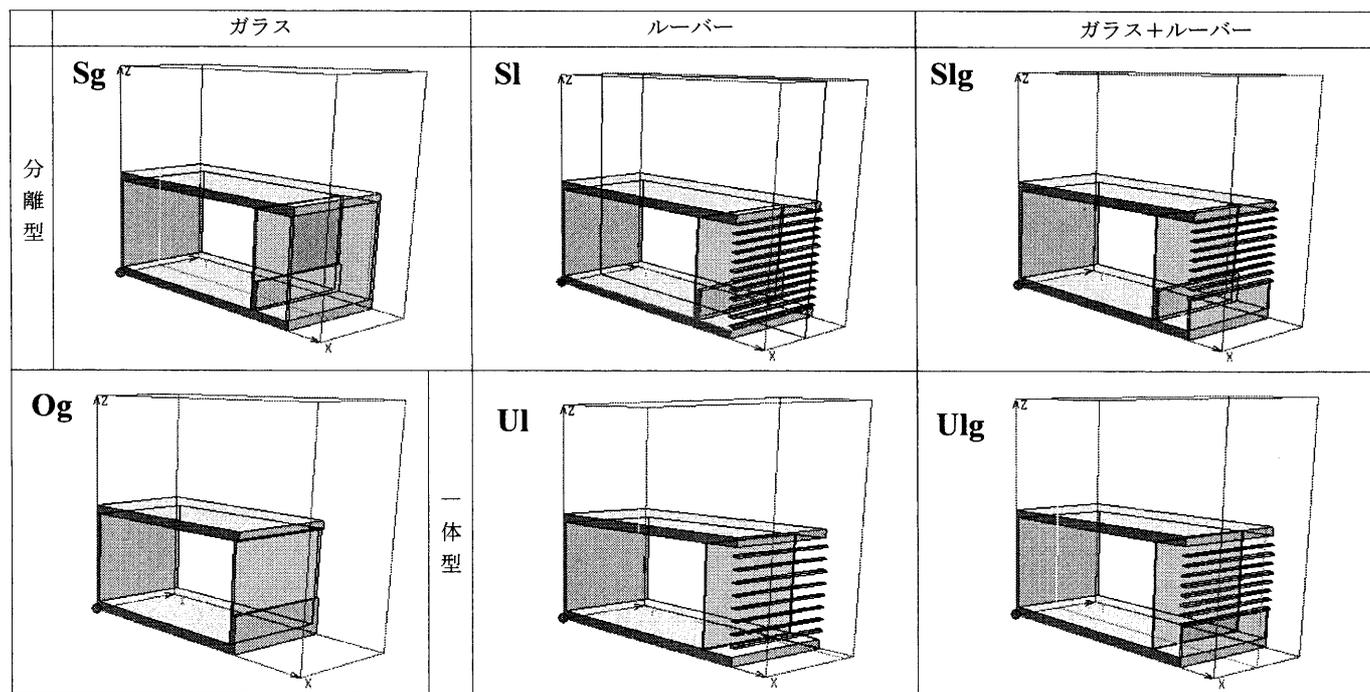


図10 熱環境解析モデル

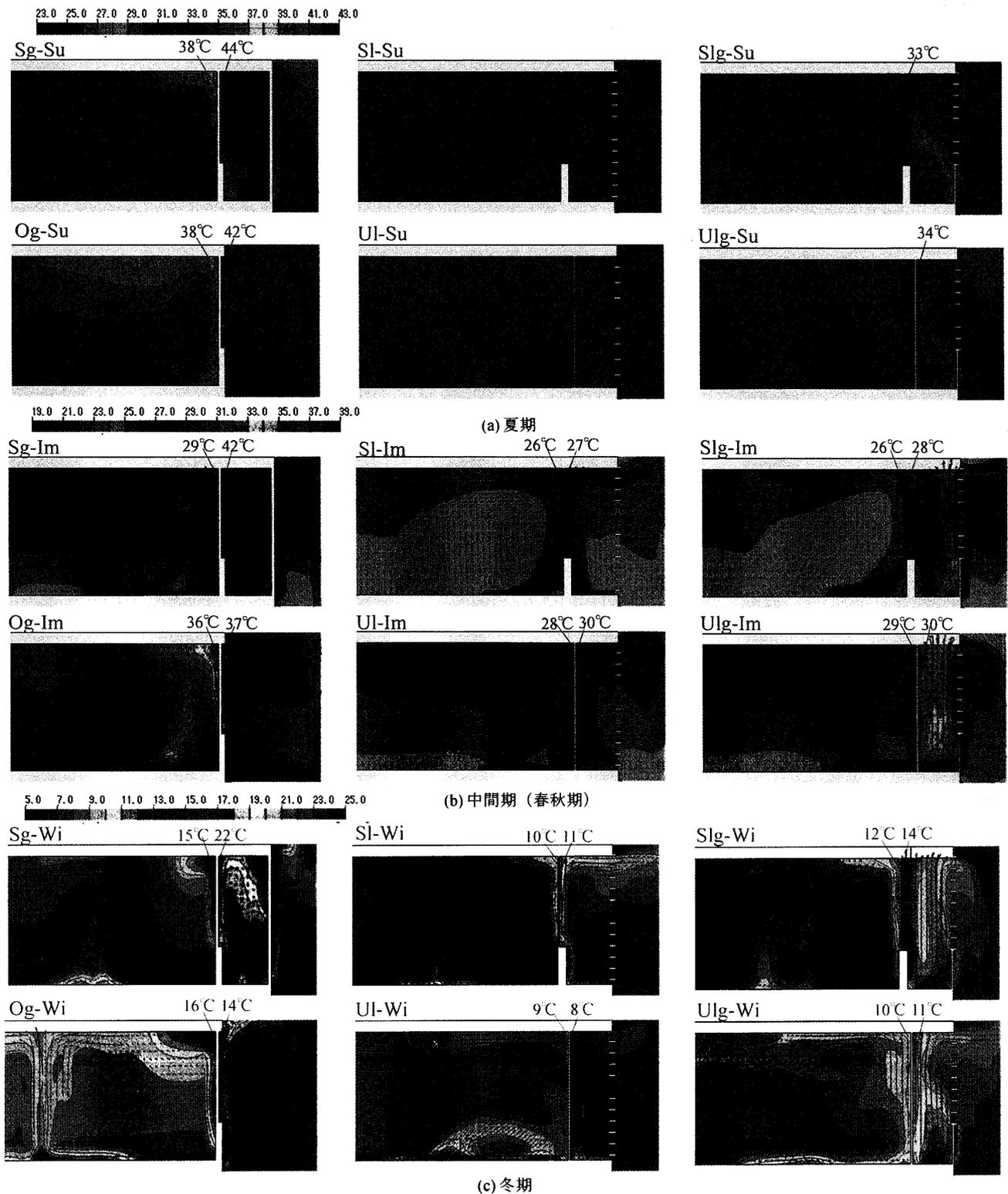
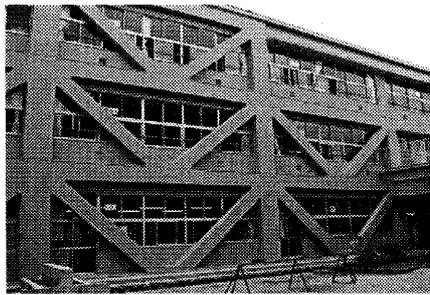


図11 熱環境解析結果

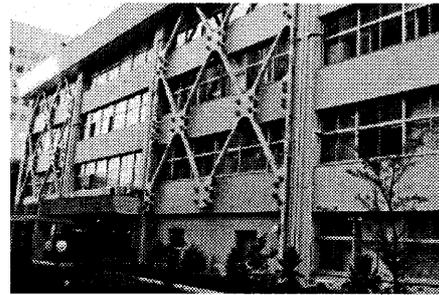
し、ペリメータ部の温度を22℃にまで上昇させると共に室内側の保温に寄与している。一方、ルーバーのみのファサードSl-Wiではルーバーの間より差し込む日射により室内の発熱は期待できるものの、ペリメータ部の温度は外気温とほぼ変わらず、ダブルスキン効果は殆ど得られていない。これに対し、ルーバーとガラスを組み合わせたSlg-Wiでは下部ガラスを通して腰壁部に到達した日射が発熱を生じ、ペリメータゾーンの温度が14℃程度まで上昇していることが分かる。このことにより、冬期もガラスのダブルスキンに準じた効果が得られている。この傾向はブ

レース・ルーバー一体型のUlg-Wiでも同様の傾向となっている。

以上を総合すると、排気・開閉機構を持たない固定型のガラスのダブルスキンファサードは、冬期の保温効果は最も期待できるものの、夏期の熱負荷が大きく、暖房負荷より冷房負荷の大きな東京の気候には不向きであるといえる。一方、ルーバーとガラスを組み合わせたlgタイプは排気・可動等の機械的機構のない固定型でも夏の熱負荷を軽減するとともに冬期の保温効果も期待でき、わが国の気候に適したファサードシステムのひとつと考えることができる。



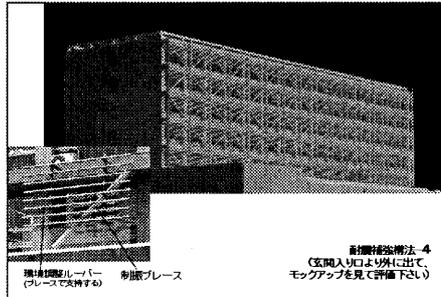
(a) Type1:強度型鉄骨フレーム補強



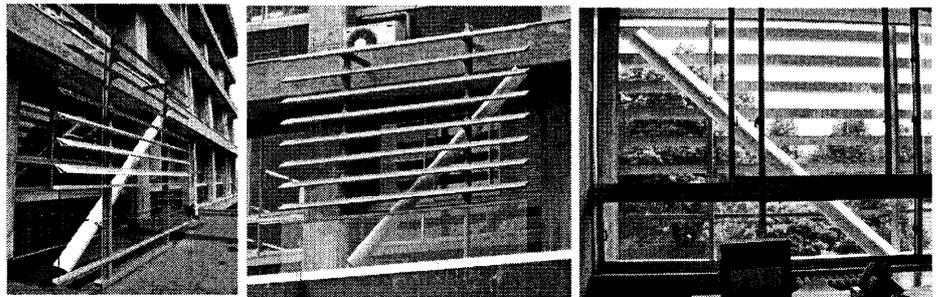
(b) Type2:強度型鉄骨ブレース補強



(c) Type3:強度型PCフレーム補強

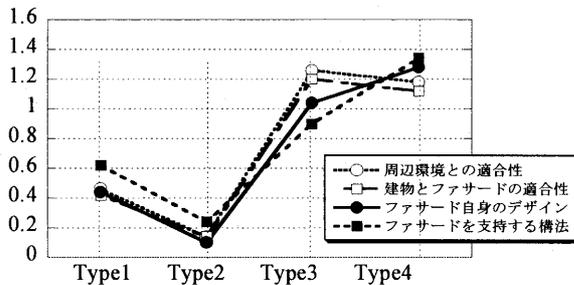


(d) Type4:制振ブレース+ルーバー補強 (SIgタイプ)

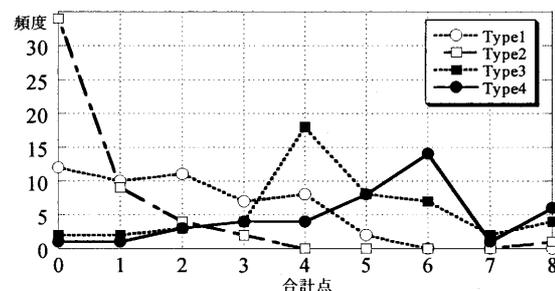


(e) Type4:SIgタイプ実大モックアップ

図12 外観デザイン評価対象およびモックアップ



(a) Type毎の評価平均



(b) 評点のばらつき

図13 外観デザイン評価結果

5. 意匠面(デザイン軸)の評価

以上の検討より、既存建物への改修ファサードとして、制振ブレースにルーバーとガラスを組み合わせたSIgタイプを想定し、実大モックアップを製作・設置し従来の耐新補強構法との外観デザイン評価比較を行う。実大モックアップの内外観を図12(e)に、比較評価対象とした構法を図12(a)~(d)に示す。(a)Type1は強度型のブレース付きフレームを既存建物の外壁に接着するもので、耐震補強として最も一般的に行われているもののひとつである。新たな基礎の設置を必要とするが、付加フレームの自重は小さいため、比較的軽微となる。(b)Type2は強度型の引張りブレースを既存フレームにアンカーする方式の構法であり、簡易ではあるがブレースが十分な反力を発揮するまで主架構が健全である必要がある。想定以上の地震入力に対しては、主架構の破壊と共にブレースの反力も処理できなくなり、ブレース自身も座屈によるスリップ型の性状に移行するため、余裕度は比較的少ない構法と言える。(c)Type3は剛なプレキャストコンクリートフレームを外壁面に構築する強度型の耐震補強構法を想定している。必要強度および剛性を確保するためには既存の柱梁を超えるサイズのフレームが必要となるが、既存ファサードと概ね同様のグリッドでの構成が可能である。ただし、基礎は強大となり、建設コストも比較的高くなる。以上の3タイプに関しては外観写真による評価を行う。(d)Type4は前章までで検討した制振ブレース+ルーバー分離型の統合ファサード(SIgタ

イブ)で、模型写真およびモックアップによる評価を行う。評価はランダムに抽出した建築を専攻する20~22歳の学生50名を対象に、各Type毎に前論文の「デザイン軸」で使用した評価項目である(1)ファサードの周辺環境との整合性、(2)ファサードの建物デザインとの整合性、(3)ファサード自身のデザイン、(4)ファサードを支える構法の洗練度の4項目について、良い(2点)普通(1点)悪い(0点)の3段階で評価してもらうことにより行う。

得られた結果の一覧を図13に示す。(a)は各Type、各項目毎の平均取得点数で2点が満点となる。全体としてはType3とType4が平均1.2程度を確保し最も良い評価となっており、逆にType2は極端に低い評価となった。Type3とType4を比較すると、Type3は周辺環境や建物との整合性で高い評価を得ており、Type4はファサード自身のデザインおよび構法で高い評価を得ている。

図13(b)は各Type毎の評点のばらつきを見たものである。各項目の評点を合計しているため、満点は8点となる。Type2は過半数の評価者が0~1点に集中しており、Type1は0~6に広く分布している。Type3、Type4も広い範囲に分布しているが、Type3は4点、Type4は6点に明確なピークが見られる。

以上より、耐震補強構法としてみた提案構法(SIgタイプ)は、既往の耐震補強構法と比較し高いデザイン評価を得られることが分かる。

6. 結

本論文では意匠・構造・環境面を通して設計された「統合ファサード」の具体例を設定し、前報で示された評価軸に基づいた性能評価を試みた。検討対象として実在の既存建物を設定し、改修および同種の建物を新築で構成することを想定した制振ブレースとルーバー、ガラスを組み合わせた6種類のファサードを設定し、エネルギー吸収機能、熱環境、外観デザインの3軸より定量的な評価を行った。その結果以下の知見が得られた。

- 1) 構造面(エネルギー吸収機能)では、RC架構の耐震補強構法としての分離型ファサード、新築鉄骨造を想定した一体型ファサード共に、数百年再現期間のレベル2地震動に耐え得る良好な耐震性能を確保することが可能である。
- 2) 環境面(熱環境)では、欧米型のガラスのダブルスキンは換気を伴わない場合、夏期の温度上昇が著しく、熱付加の増大が予想される。これに対し、ルーバーとガラスを組み合わせた外壁は、分離型、一体型共に夏期、冬期の双方に対し良好な熱環境改善効果を示す。
- 3) ルーバーとガラスを組み合わせた耐震補強構法としての分離型統合ファサードは、一般的に使用されている他の耐震補強構法と比較して、高いデザイン評価を得た。

本論で提案したルーバーとガラスを組み合わせた分離型・一体型のファサードについては、さらに構造実験、環境実験を実施し、その性能を確認する予定である。また環境軸の内、採光性に関する検討は、別途行うものとする。

謝辞

本研究におきまして、ご協力を頂きました、松下環境空調株式会社・定政啓氏、新日本製鉄株式会社・富本淳氏、Ove Arup &

Partners, Graham Dodd氏、Michel Krarh氏、東京工業大学大学院・今富陽子氏、岡山俊介氏、神奈川大学・橋本めぐみ氏、金木洋平氏に感謝の意を表します。なお本研究は平成17年度科学研究費補助金基盤研究(B)(1)(課題番号16360283)によるものです。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：地球環境建築のすすめ，彰国社，2002.8
- 2) Richard Saxon: Atrium Buildings-Development and Design-, 2nd Edition, Architectural Press 1986
- 3) Commission of the European Communities: Solar Architecture in Europe- Design, Performance and Evaluation, Prism Press, 1991
- 4) 日本板硝子：Glass Architecture in Europe, Space Modulator, 1991.3
- 5) M. Wigginton: Glass in Architecture, Phaidon, 1996
- 6) 旭硝子：ダブルスキン・ファサード，Glass & Architecture, 2001.12
- 7) 建築画報特別号：Facade Engineering, Vol.39, 2003.12
- 8) 日本建築学会：ガラスの建築学、学芸出版社，2004
- 9) ファサードの挑戦者：日経アーキテクチュア，2004年10月4日号
- 10) 建築外装メカニズム読本、建築技術，1995.12
- 11) 吉田倬朗：ガラス建築の設計手法，建築技術，No.653, pp.91-193, 2004.6
- 12) 建設大臣官房官庁営繕部監修：グリーン庁舎計画指針及び同解説，公共建築協会，1999
- 13) 竹内徹，大野隆司：透明被膜の建築技術，日本建築学会建築年報1993, pp.32-33
- 14) 斎藤公男：透明なデザインと建築技術，建築技術，No.550, 1996.1
- 15) 日本建築学会：デザインとエンジニアリングの融合，建築雑誌，2004.10
- 16) 日本構造技術者協会編：構造レトロフィット，建築技術，2001.6
- 17) 竹内徹，小谷野一尚，岩田衛：ファサードエンジニアリングの統合に関する研究－既存ファサードの性能調査・分析－，日本建築学会環境系論文集，pp.97-104, 2005.6
- 18) 日本建築センター：構造計算指針・同解説，1981
- 19) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断規準・同解説(改訂版)，2001
- 20) 建設省建築研究所：建築研究資料 第83号，設計用入力地震動作成法，1994.11
- 21) 空気調和・衛生工学会：設計用最大熱負荷計算法，丸善，1989
- 22) 村上周三：CFDによる建築・都市の環境設計工学，東京大学出版会，2000.9

(2005年10月7日原稿受理，2005年12月2日採用決定)