

統合ファサードにおける意匠展開、
室内光・温熱環境、火災安全に関する研究

平成 28 年度学位論文

三澤 温

論文概要

都市部への一極集中やスクラップ・アンド・ビルド型の開発・更新により、都市景観問題や防災・耐震問題、環境・エネルギー問題が顕在化している。これらの問題を効果的に改善するためには、新築のみならず、都市の大部分を構成する既存建物の改修に適用できる問題解決手法を提示する必要がある。

建物の外皮であるファサードは、都市景観を形成する重要な要素の一つであり、かつ建物内部空間を外的環境から保護し、建築物の消費エネルギーに影響を与えるものである。これらファサードに求められる意匠性や環境性能等の諸性能に、耐震性や火災安全性などの防災機能を加えて、各要素を技術的に統合しファサードシステムとして提供することは、都市が抱える問題を解決する一つの具体的な方策を示すことになる。

このような統合されたファサードシステムを開発するにあたって重要となるのがファサードエンジニアリングである。ファサードエンジニアリングはヨーロッパを中心に展開されている。ヨーロッパでは、特に景観に配慮しファサードの改修が行われる。地震がない地域においては、ファサードの更新こそが改修の重要なテーマであり、ヨーロッパでファサードエンジニアリングが発展してきたのは、このような経緯によるところが大きい。

一方で、日本はヨーロッパとは気候が異なり、かつ地震国である。ヨーロッパ式のファサードエンジニアリングを日本へそのまま適用することは難しい。さらに、ファサードは部材の構成要素が多く、耐風圧性能、耐震性能、水密性能など複数の高度な性能が要求される部位である。部材ごとの性能の積み上げによる個別かつ具体的な専門技術が集積し成立している。そのため、ファサードは、意匠・環境・構造の各分野を個別に検討し、それらの検討を積み重ねることで成立する構成となりやすい。このような経緯から日本におけるファサードエンジニアリングも諸機能が個別に検討される傾向にある。統合ファサードには、初期の段階から専門分野を横断する総合的な取り組みが求められる。

本研究では、統合ファサードの開発にあたって、ファサード全般を俯瞰し、先ず評価軸を設定する。意匠軸・環境軸・防災軸の3軸を評価軸として統合ファサードを提案する。評価軸をもとに統合ファサードシステムを構成する要件を検討する。その後、具体的な構法を着想し、統合ファサードの性能を実物大実験や解析検討から検証する。特に本論文では、統合ファサードの重要な性能でありながら既往研究が少ない統合ファサードの環境性能（自然光利用及び空調負荷）や火災安全性について検討する。

環境性能については、自然環境に対する社会的要求の高まりを考え自然光利用による室内光環境について実物大実験及び光環境解析を行い検討する。また

空調負荷、消費エネルギー量についても複数の統合ファサードの温熱環境解析を行い検討する。安全上重要である火災性状については、開口噴出熱気流の上階延焼に対する安全性について実物大実験を通して検討する。なお統合システムの開発にあたり防災軸のひとつである耐震性については、筆者を含む他者らの研究において、統合ファサードの主構成材である座屈拘束ブレースの一連の研究が行われ成果をあげている。そのため、本研究では座屈拘束ブレースの開発に伴う一連の研究は既往の研究として扱う。

統合ファサードでは、座屈拘束ブレースの使用を前提とする。開発された座屈拘束ブレースは、断面寸法が 100mm 角と小さくファサードの構成部材と親和性がある。小寸法の座屈拘束ブレースに着目し、構造要素である座屈拘束ブレースを構造要素としてのみならず火災安全や環境性能に寄与するものとして、その発展性を検証する。耐震性が要求される建築物に適用される座屈拘束ブレースが単なる構造要素ではなく、統合ファサードのシステム材として複合性能を担うことは、意匠性の向上による景観への配慮、使用部材の省資源化、短工期やコストに寄与する。

本論文の前段部分にあたる統合ファサードの意匠性については、他者らと行った意匠軸の設定やアンケート等の既往研究に加えて、統合ファサードの一部の複雑なシステム(バウンドルーバータイプ)について施工性、生産性を検証し、意匠展開を図るとともに実現性を確認する。

第一章「序論」では、本研究の背景について、社会的背景や耐震性、環境配慮型設計とファサードエンジニアリング及びファサードの諸機能を整理し、本研究の目的と位置づけおよび論文構成と既発表論文を示す。

第二章「統合ファサードの構成と発案」では、統合ファサードに求められる諸機能および統合ファサードのコンセプトと構成を示す。これまでに開発された座屈拘束ブレースを主構成材として活用した統合ファサードの提案を行う。

第三章「統合ファサードの意匠展開」では、提案する複数の統合ファサードの意図と機能を解説する。そのうえで、アンケート調査を実施し統合ファサードの意匠性、意匠面での発展性を評価する。意匠性の評価軸は、表層デザイン、構法デザイン、ファサード計画、周辺環境適合性などであり、これらの指標を用いて統合ファサード案の評価を行う。また、製作上の課題やコストについても施工性や生産性の観点から検討を行う。特に提案するバウンドルーバー案は、統合ファサードの中でも、部材数、接合数が多い。バウンドルーバー案の設計とモックアップの製作を通して統合ファサードの実現性を検証する。

第四章「統合ファサードと環境(室内光環境)」では、統合ファサードにおける自然光利用と室内光環境の関係を実物大実験および解析検討により確認する。実設計においては、眺望や視界の確保の観点からルーバーの窓面全面への設置

が難しいことがある。それでも従来型である水平ルーバータイプや縦ルーバータイプは、日射コントロール等による環境への配慮から適用されることが多くなっている。しかし、提案する斜行ルーバータイプの自然光利用については、視界の確保や室内照度への影響（照度低下や照度分布の不均一性）についての知見がない。そこで、斜行ルーバー2タイプの実物大模型を製作し室内光環境の実物大実験を行う。実物大模型内の窓面近傍、室中央、室奥の各点において照度を測定し、ルーバー有無による昼光率の比較を行う。また実物大模型を再現した解析モデルを作成し解析検討を行う。実験値と解析値の整合性を確認し設計段階での解析検討の有用性を示す。

第五章「統合ファサードと環境（空調負荷と消費エネルギー）」では、統合ファサードを介した室内への日射熱量の取得が室内空調負荷及び消費エネルギーに与える影響を検討する。第四章の室内光環境の検討で得られた統合ファサードの構成および仕上げに関する知見や自然光解析モデルを活用することで、統合ファサードを介した室内への日射侵入熱量を算定する。日射侵入熱量の算定にあたっては、外部遮蔽係数を提案し時刻歴応答解析に用いる。外部遮蔽係数を適用することで、室内空調負荷及び日射熱取得による消費エネルギー量が算出可能となる。標準オフィスを想定した解析モデルを作成し室内空調負荷及び消費エネルギーの検討を行う。解析モデルには外壁性能や内部発熱に加えて、COPの実効値を再現できる最新のエアコンモデルを反映している。統合ファサードの設置される壁面の方位を考慮し、ルーバー無しのケースを含む計6種類の解析検討を行い、統合ファサードの有用性を検証する。

第六章「統合ファサードと火災安全」では、統合ファサードの開口部からの噴出熱気流性状に着目し、開口噴出熱気流による上階および隣棟への延焼性について検討する。統合ファサードでは外付ルーバーが窓面を半遮蔽する状況となり一般的なファサードの構成とは異なる。既往研究において、外付ルーバーのような開口の外部側に部材が設置されたファサードについてのルーバー近傍の火災性状を示した知見はほとんどない。そのため統合ファサード近傍の開口噴出熱気流性状を把握するための実物大模型を製作し火災実験を実施する。実物大模型は、統合ファサードの水平ルーバータイプ、斜行ルーバータイプとし、火災実験を行う。熱電対による温度測定、放射熱量測定およびサーモビューアによる熱画像の記録から統合ファサードの開口噴出熱気流性状を明らかにする。

第七章「環境配慮型設計と火災安全を関連付けた統合ファサードの設計フローの提案」では、これまでの意匠軸と環境軸を統合した環境配慮型設計と、安全設計の要因である防災軸の耐震追従性及び火災安全性の検討から得た知見をもとに、環境配慮型設計と火災安全を関連付けて統合ファサードの設計フローを提案する。現行のファサードに関する防火関連規定及び火災時の状況を整理し、

また実物大模型を用いた火災実験から得た知見や室内光環境及び温熱環境の検討結果をもとに、開口噴出熱気流中心軸と外付ルーバーの設置位置、外壁面と外付ルーバーの離隔距離および外付ルーバーによる外壁の遮蔽割合を設計フロー上の主な判定項目とし、統合ファサードの設計の方向性を示す。

第八章「結論」では、各章で得られた研究成果を要約し本論文の結論を述べる。

目次

第一章 序論	1
1.1 研究の背景	3
1.2 研究の目的	5
1.3 本論文の構成	6
1.4 本論文と既発表論文	8
第二章 統合ファサードの構成と発案	11
2.1 はじめに	13
2.2 統合ファサードの機能	13
2.3 統合ファサードの構成	15
2.4 統合ファサードの提案	16
2.5 耐震要素に関する既往研究	18
第三章 統合ファサードの意匠展開	23
3.1 はじめに	25
3.2 意匠評価（斜行ルーバータイプ）	25
3.3 意匠評価（タイプ別比較検討）	30
3.4 施工性と生産性	40
3.5 まとめ	48
第四章 統合ファサードと環境（室内光環境）	51
4.1 はじめに	53
4.2 目的	53
4.3 斜行ルーバーの導入	53
4.4 実物大実験	56
4.5 光環境解析	67
4.6 他のルーバータイプへの展開	70
4.7 1/2モデルによる実験	72
4.8 まとめ	78
第五章 統合ファサードと環境（空調負荷と消費エネルギー）	87
5.1 はじめに	89
5.2 目的	89

5.3	既往の検討	-----	89
5.4	日射シミュレーションの概要	-----	90
5.5	外部遮蔽係数	-----	92
5.6	ルーバーの概要	-----	93
5.7	日射量計算結果	-----	94
5.8	空調負荷計算概要	-----	104
5.9	計算条件	-----	106
5.10	計算結果	-----	108
5.11	考察	-----	113
5.12	まとめ	-----	114
第六章 統合ファサードと火災安全			-----119
6.1	はじめに	-----	121
6.2	目的	-----	121
6.3	実大火災実験（水平ルーバータイプ）	-----	122
6.4	実験結果と考察	-----	130
6.5	水平ルーバー実験のまとめ	-----	139
6.6	実大火災実験（斜行ルーバータイプ）	-----	140
6.7	実験結果と考察	-----	147
6.8	斜行ルーバー実験のまとめ	-----	158
6.9	まとめ	-----	159
第七章 環境配慮型設計と火災安全を関連付けた 統合ファサードの設計フローの提案			-----183
7.1	はじめに	-----	185
7.2	設計要因の整理	-----	185
7.3	防火関連規定等の整理	-----	187
7.4	統合ファサードの火災時の状況	-----	189
7.5	統合ファサードの火災安全性と設計要因	-----	191
7.6	設計フローの提案	-----	196
7.7	まとめ	-----	198
第八章 結論			-----201

第一章

序論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 研究の目的
- 1.3 本論文の構成
- 1.4 本論文と既発表論文

第一章 序論

1.1 研究の背景

都市部への一極集中やスクラップ・アンド・ビルド型の開発・更新により、都市景観問題や環境・エネルギー問題、防災・耐震問題が顕在化している。これらの問題を効果的に改善するためには、新築のみならず、都市の大部分を構成する既存建物の改修に適用できる問題解決手法を提示する必要がある。

図1-1に示すように建物の外皮であるファサードは、都市景観を形成する重要な要素の一つであり、かつ建物内部空間を外的環境から保護し建築物の消費エネルギーに影響を与えるものである。これらファサードに求められる意匠性や環境性能等の諸性能に耐震性や火災安全性などの防災機能を加えて、各要素が技術的に統合されたファサードシステムを提供することは、都市が抱える問題を解決する一つの具体的な方策を示すことになる。

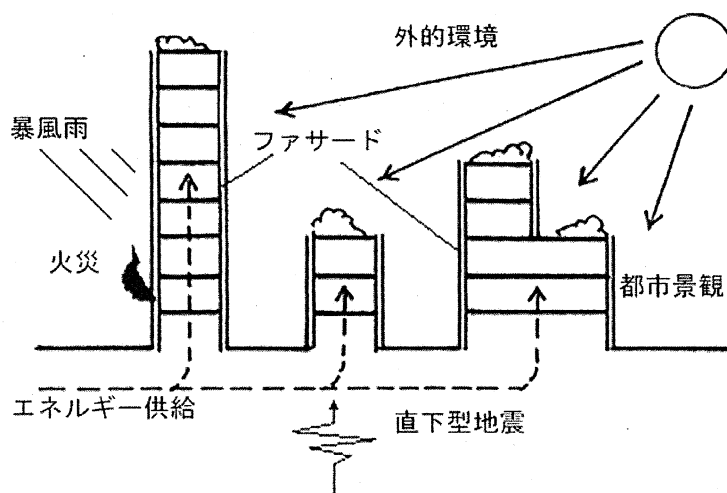


図1-1 ファサードと都市景観・環境・防災

統合されたファサードシステムを開発するにあたって重要となるのが、ファサードエンジニアリングである。ファサードエンジニアリングはヨーロッパを中心に展開されている。ヨーロッパでは、特に景観に配慮しファサード改修が行われている。地震がない地域においては、ファサードの更新こそが改修の重要なテーマであり、ヨーロッパでファサードエンジニアリングが発展したのは、このような経緯によるところが大きい。一方で、日本はヨーロッパとは気候が異なり、

かつ地震国である。ヨーロッパ式のファサードエンジニアリングを日本に適用するには改良が必要である。さらにファサードは部材の構成要素が多く、かつ耐風圧性能、耐震性能、水密性能など複数の高度な性能が要求される部位である。部材ごとの性能の積み上げによる個別かつ具体的な専門技術が集積し成立している。そのため、ファサードは、意匠・環境・構造の各分野を個別に検討し、それらの検討を積み重ねることで成立する構成になりやすい。このような経緯から日本におけるファサードエンジニアリングも諸機能が個別に検討される傾向にある。図1-2にファサードエンジニアリングの一般的な領域を示す。ファサードの検討内容は様々な領域にまたがっている。統合ファサードには、初期の段階から、これら専門分野を横断する総合的な取り組みが求められる。

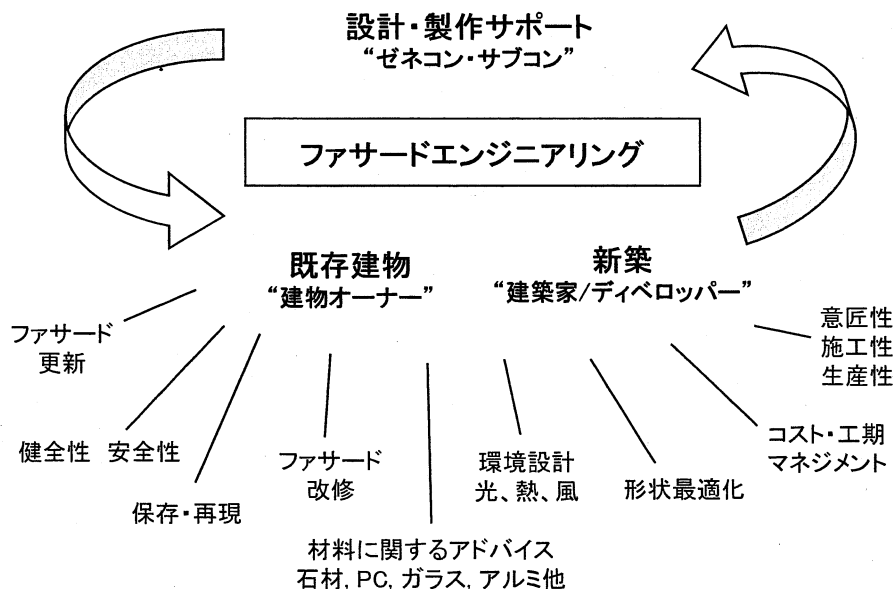


図 1-2 ファサードエンジニアリングの領域

ここで既存建物をみると、これらの建物の中には耐震改修が必要な建物も多く含まれている。また、耐震改修を行った既存の建物の中には、外壁にブレースを付加するタイプのものも多い。写真1-1は既存の外壁面に耐震要素を付加した耐震改修の例である。不足している耐震性能を補う目的でブレースが付加されたものであるが、意匠性、景観への配慮及び外壁に求められる性能に配慮しているとはいえない。耐震改修における課題といえる。

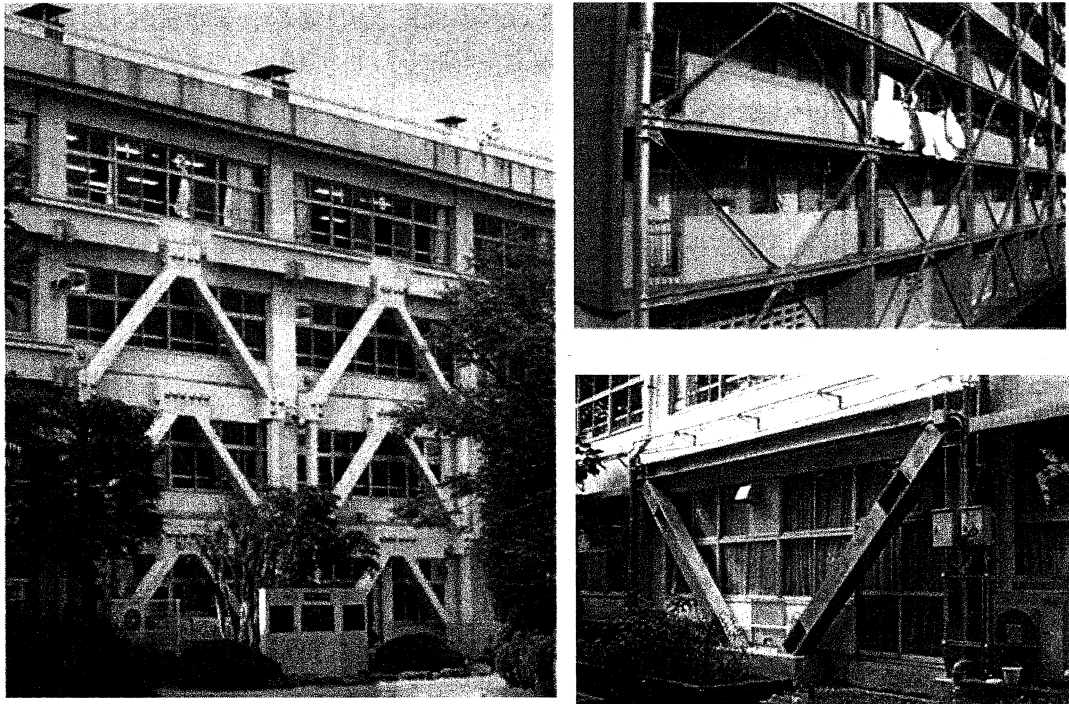


写真 1-1 既存の耐震改修例

1.2 研究の目的

本研究の目的は、新築・改修を問わず耐震性能の向上と同時にファサードの諸性能を向上する統合ファサードシステムを提案し、実用にむけて統合ファサードの諸性能を確認及び検証することである。統合ファサードの開発にあたっては、先ず、意匠軸・環境軸・防災軸の3軸を評価軸として統合ファサードを提案し、統合ファサードシステムを構成する要件を探る。その後、統合ファサードの具体的な構法を着想し、統合ファサードの性能を実物大実験や解析検討から検証する。特に本論文では、統合ファサードの重要な性能でありながら既往研究が少ない統合ファサードの環境性能（自然光利用及び空調負荷、消費エネルギー量）や火災安全について検討する。環境性能については、自然環境に対する社会的要
求の高まりを考え自然光利用による室内光環境について実物大実験及び光環境解析を行う。また空調負荷、消費エネルギー量についても複数の統合ファサードの温熱環境解析を行う。安全上重要である火災安全については、開口噴出熱気流の上階・隣棟延焼に対する安全性について実物大実験を通して火災性状を把握し、統合ファサードの実用性を検証する。さらに、これら実物大実験や解析検討を通して統合ファサードの実用性の検証と設計フローの提案を行う。

なお統合システムの開発にあたり防災軸のひとつである耐震性については、

筆者を含む他者の研究において、統合ファサードの主構成材である座屈拘束ブレースの一連の研究が行われ成果をあげている。そのため、本研究では座屈拘束ブレースの開発に伴う一連の研究は既往の研究として扱う。統合ファサードでは、この座屈拘束ブレースの使用を前提とする。開発された座屈拘束ブレースは、断面寸法が小さくファサードの構成部材と親和性がある。小寸法の座屈拘束ブレースに着目し、構造要素である座屈拘束ブレースを構造要素としてのみならず火災安全や環境性能に寄与するものとして、その発展性を検証する。耐震性が要求される建築物に適用される座屈拘束ブレースが単なる構造要素ではなく、統合ファサードのシステム材として複合性能を担うことは、意匠性の向上による景観への配慮、部材の省資源化、短工期やコストに寄与する。

本論文の前段部にあたる統合ファサードの意匠軸については、他者らで行った意匠軸の設定やアンケート等の既往研究に加えて、統合ファサードの一部の複雑なシステム（バウンドルーバータイプ）について施工性、生産性を検証し、その意匠面での発展性ならびに実現性を確認する。

1.3 本論文の構成

図1-3に本論文の構成を示す。本論文は八章で構成されている。各章の構成は次のとおりである。

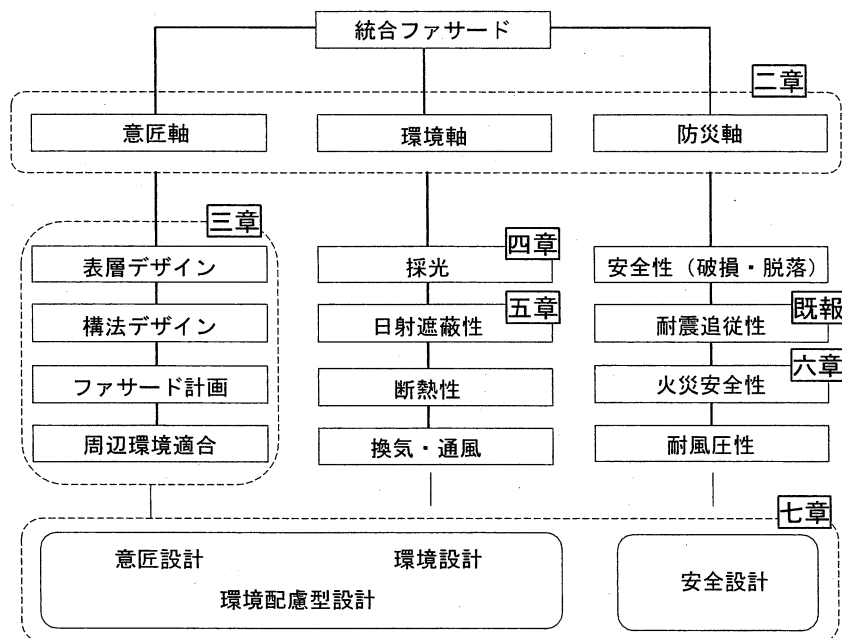


図 1-3 本論文の構成

第一章「序論」では、本研究の背景について、社会的背景やファサードが担うべき役割、ファサードエンジニアリングの領域および既存の耐震改修の課題を明確にし、本研究の目的と位置づけを示す。

第二章「統合ファサードの構成と発案」では、統合ファサードに求められる諸機能を整理し、統合ファサード各部の構成を示す。これまでに開発された座屈拘束ブレースを主構成材として活用した統合ファサードの提案を行う。

第三章「統合ファサードの意匠展開」では、提案する複数の統合ファサードの意図と機能を解説する。そのうえで、アンケート調査を実施し統合ファサードの意匠性を評価する。意匠性の評価軸は、表層デザイン、構法デザイン、ファサード計画、周辺環境適合性などであり、これらの指標を用いて統合ファサード案の評価を行う。また、製作上の課題についても施工性や生産性の観点から検討を行う。特に提案するバウンドルーバー案は、統合ファサードの中でも、部材数、接合数が多い。バウンドルーバー案の設計とモックアップの製作を行い、実現性を検証する。

第四章「統合ファサードと環境（室内光環境）」では、統合ファサードにおける自然光利用と室内光環境の関係を実物大実験および解析検討により検証する。実物件においては、眺望や視界の確保の観点からルーバーを窓面前面へ設置することが難しいことがある。それでも従来の水平ルーバーや縦ルーバーは、日射コントロール等による環境への配慮から設置されることが多くなっている。しかし、提案する斜行ルーバータイプの自然光利用については、視界の確保や室内照度への影響（照度低下や照度分布の不均一性）についての知見がない。そこで、斜行ルーバー2タイプの実物大模型を製作し室内光環境の実験を行う。実物大模型内の各点において照度を測定し、ルーバーの有無による昼光率の比較を行う。また実物大模型を再現した解析モデルを作成し解析検討を行う。実験値と解析値の整合性を確認し設計段階での解析検討の有用性を示す。

第五章「統合ファサードと環境（空調負荷と消費エネルギー）」では、統合ファサードを介した日射熱量の取得が室内空調負荷及び消費エネルギーに与える影響を検討する。第四章の室内光環境の検討で得られた統合ファサードの構成および仕上げに関する知見や自然光解析モデルを活用することで、統合ファサードを介した室内への日射侵入熱量を算定する。日射侵入熱量の算出にあたっては、外部遮蔽係数を提案し時刻歴応答解析に用いる。外部遮蔽係数を適用することで、室内空調負荷及び日射熱取得による消費エネルギー量が算出可能である。標準オフィスを想定した解析モデルを作成し室内空調負荷及び消費エネルギーの検討を行う。解析モデルには外壁性能や内部発熱に加えて、COPの実効値を使用した最新のエアコンモデルを反映している。統合ファサードの設置される壁面の方位を考慮しルーバー無しの場合を含む計6種類の解析検討を行

い統合ファサードの有用性を検証する。

第六章「統合ファサードと火災安全」では、統合ファサード開口部からの噴出熱気流性状に着眼し、開口噴出熱気流による上階および隣棟への延焼性について検討する。統合ファサードでは外付ルーバーが窓面を半遮蔽する状況となり一般的なファサードの構成とは異なる。既往研究において、外付ルーバーのような開口の外部側に部材が設置されたファサードにおけるルーバー近傍の火災性状を示した知見はほとんどない。そのため統合ファサード近傍の開口噴出熱気流性状を把握するための実物大模型を製作し火災実験を実施する。実物大模型は、統合ファサードの水平ルーバータイプ、斜行ルーバータイプとし火災実験を行う。熱電対による温度測定、放射熱量の測定およびサーモビュアによる記録から統合ファサードの開口噴出熱気流性状を明らかにする。

第七章「環境配慮型設計と火災安全を関連付けた統合ファサードの設計フローの提案」では、これまでの意匠軸と環境軸を統合した環境配慮型設計と安全設計の要因である防災軸の耐震追従性及び火災安全性の検討で得た知見をもとに、環境配慮型設計と火災安全を関連付けて統合ファサードの設計フローを提案する。現行のファサードに関する防火関連規定及び火災時の状況を整理し、また実大模型を用いた火災実験から得た知見や室内光環境及び温熱環境の検討結果をもとに、開口噴出熱気流中心軸と外付ルーバーの設置位置、外壁面と外付ルーバーの離隔距離および外付ルーバーによる外壁の遮蔽割合を設計フロー上の主な判定項目とし、統合ファサードの設計の方向性を示す。

第八章「結論」では、各章で得られた研究成果を要約し本論文の結論を述べる。

1.4 本論文と既発表論文

本論文は、次に示す 1) から 6) の筆者が第一著者である筆者らの既発表論文と 7) 以降に示す共著の既発表論文及び梗概集をもとに、新たな研究成果を加えてまとめたものである。なお第二章から第七章の各章においては、各章の最後に参考文献をまとめて記す。

- 1) Yutaka Misawa, Shigeru Hikone, Kenji Aburano, Yoshifumi Omiya, Shizuo Iwamoto and Mamoru Iwata: Fire Experiment on Diagonally Arranged External Louver for Integrated Facade System, Fire Science and Technology, Vol.28 No.2, 2009
- 2) 三澤 温, 彦根 茂, 油野健志, 大宮喜文, 岩本静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける斜行ルーバーに関する実大火災実験, 日本建築学会技術報告集, Vol. 16, No 33, 2010

- 3) 三澤 温, 彦根 茂, 油野健志, 大宮喜文, 岩本静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける水平ルーバーに関する実大火災実験, 日本建築学会技術報告集, Vol. 16, No 34, 2010
- 4) Yutaka Misawa, Shigeru Hikone, Shizuo Iwamoto and Mamoru Iwata: Sustainable upgrading system for existing buildings, International Union of Architects, 2011
- 5) Yutaka Misawa, Shigeru Hikone, Makoto Nakamura, Shizuo Iwamoto and Mamoru Iwata: Diagonally arranged louvers in integrated façade systems - effects on the interior lighting environment, Journal of Facade Design and Engineering, 2015
- 6) Yutaka Misawa, Keisuke Azuma, Wanghee Cho, Shizuo Iwamoto and Mamoru Iwata: Simulation Study on Energy Conservation Performance for Integrated External Louver Facades, Journal of Facade Design and Engineering, 2016

共著

- 7) 彦根 茂, 三澤 温, 中村 慎, 岩本静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける斜行配置ルーバーによる室内光環境, 日本建築学会 環境系論文集, Vol. 74, 2009
- 8) 中村 慎, 彦根 茂, 三澤 温, 岩本静男, 岩田 衛: ルーバーと座屈拘束ブレースから成る統合ファサードの構法成立, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, 2010
- 9) Shigeru Hikone, Yutaka Misawa, Mamoru Iwata, Shizuo Iwamoto, Makoto Nakamura: Sustainable and Quake-resistant Façade for Existing buildings, International Association for Bridge and Structural Engineering, 2010
- 10) 竹田浩彰, 彦根 茂, 三澤 温, 岩田 衛: 統合ファサードにおけるバウンドルーバーの研究, 日本建築学会技術報告集, Vol. 17, 2011

- 11) 佐藤 智之, 久保 賢太郎, 彦根 茂, 三澤 温, 趙 旺熙, 岩本 静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究 ルーバーの日射遮蔽効果と年間空調負荷のケーススタディ, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 77, 2012

梗概集

- 1) 竹田浩彰, 彦根 茂, 三澤 温, 岩田 衛: 統合ファサードにおけるバウンドルーバーの研究(設備・ファサード設計, 環境工学 II), 日本建築学会大会梗概集, 2010
- 2) 佐藤 智之, 彦根 茂, 三澤 温, 久保 賢太郎, 深澤 たまき, 岩本 静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究: その1 ルーバーの日射遮蔽効果(開口部の熱性能(2), 環境工学 II), 日本建築学会大会梗概集, 2011
- 3) 久保賢太郎, 彦根茂, 三澤温, 佐藤智之, 深澤たまき, 岩本 静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究: その2 ルーバーの日射遮蔽効果を考慮した年間空調負荷のケーススタディ(開口部の熱性能(2), 環境工学 II), 日本建築学会大会梗概集, 2011
- 4) 久保賢太郎, 彦根茂, 三澤温, 佐藤智之, 深澤たまき, 岩本 静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究, ルーバーの日射遮へい効果と年間空調負荷のケーススタディ, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集, 2011
- 5) 牧野由佳, 彦根茂, 三澤温, 趙 旺熙, 岩本 静男, 岩田 衛: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究: その3 空調負荷と消費エネルギーの削減効果(外皮と熱環境評価, 環境工学 II, 2012 年度大会(東海)学術講演会・建築デザイン発表会), 日本建築学会大会, 2012

第二章

統合ファサードの構成と発案

- 2.1 はじめに
- 2.2 統合ファサードの機能
- 2.3 統合ファサードの構成
- 2.4 統合ファサードの提案
- 2.5 耐震要素に関する既往研究

第二章 統合ファサードの構成と発案

2.1 はじめに

第二章では統合ファサードに求められる諸機能を整理し、統合ファサードのコンセプトと構成を示す。これまでに開発された座屈拘束ブレースを主構成材として活用した統合ファサードの提案を行う。

統合ファサードの機能については、ファサード事例の文献調査から統合ファサードの評価軸の設定を行うとともに評価軸毎に統合ファサードの諸機能を整理する。次に評価軸に基づき統合ファサードのコンセプトを設定する。統合ファサードのうち外付ルーバーと座屈拘束ブレースを用いた構成が、評価軸を考慮すると諸性能と合致する可能性が高く発展性がある。なお統合ファサードの耐震要素である座屈拘束ブレースについては、本章の最後に既往研究としてまとめる。

2.2 統合ファサードの機能

統合ファサードを発案するうえで、ファサードの機能を分析することは重要である。そのためには既存のファサード事例について、ファサードの諸機能を把握する必要がある。既存ファサードの事例調査は、建築専門誌である「日経アーキテクチュア」を参照する。1993年から2004年の12年間にわたる既存建物のファサードに関する事例を調査する。そこからファサードに要求される機能を分析し統合ファサードの評価軸と機能を設定する。なお事例の調査において、要求される機能を意匠軸、環境軸、防災軸の3軸に分類する。都市景観を考慮するものを意匠軸、自然利用やエネルギー面を考慮するものを環境軸、防災・耐震などの安全性を考慮するものを防災軸とする。これらの事例及び関連文献^{1) 2) 3) 4)}を参考に各軸におけるファサードの機能因子が分類される。各評価軸と機能因子の関係を図2-1に示す。評価軸と機能因子は、統合ファサードを発案するうえで考慮すべき要因と位置づけられる。

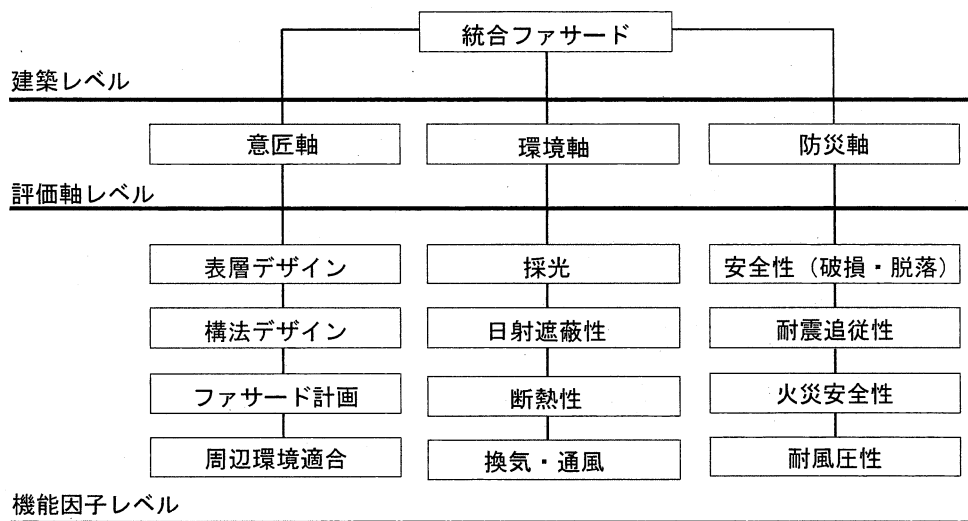


図 2-1 統合ファサードの評価軸と機能因子

過去 12 年間のファサード事例をみると、機能因子の多少に偏りはなく各評価軸は互いに独立性が高い。ここから言えることは、ファサードは異なる独立した機能が求められる部位であり、それらを高度に集約したエンジニアリングが必要であるといえる。同時に現代のファサードには、主構造となる機能が期待されていないこともわかる。これは 19 世紀以前の組積造においては、外壁が鉛直荷重や水平力を負担することがあったが、主構造が RC 造や S 造へ変わったことおよび非耐力壁であるカーテンウォールが台頭してきたことで、ファサードは主構造の機能を受け持たなくなっている。

一方で、僅かではあるがファサードに構造要素を取り込む事例も見られた。これはファサードの二次部材の省力化や耐震追従性などに寄与する何らかの新しいシステムを用いることで、透明性やフレキシビリティを実現し、ファサードと構造を一体化する試みである。免震装置や制振部材を利用し地震力の低減を図るものもみられる。

そこで統合ファサードの提案においては、構造は一般的なファサード支持材のように層間変形に追従するだけの受動的なものではなく、耐震要素として積極的に水平力を負担するものとする。このような構造要素として、統合ファサードには既に開発された座屈拘束ブレースを用いる（座屈拘束ブレースについては、2.5 節を参照）。構造要素とともに日射遮蔽性などの環境性能を持ち、かつ意匠性も高いファサードが構成可能であれば、建物の更新時または新築時に、意匠、環境、防災の各性能を同時に向上させることが可能となる。

2.3 統合ファサードの構成

統合ファサードのコンセプトを図2-2に示す。統合ファサードの機能に基づきコンセプトを設定している。各評価軸の考え方を次に示す。

1)意匠軸

意匠性はファサードの構成材、仕上げ材によるところが大きい。統合ファサードでは、これらの部材の選定および意匠上の構成は、環境軸、防災軸から要求される諸機能をもとに統合する。評価軸としては、諸性能が同時に検討され統合された表層デザインとなっていること、実現性の高い構法デザインとなっていること、都市の街並み、周辺環境に適合する構成となっていることがあげられる。

2)環境軸

統合ファサードの環境面の構成は、日射遮蔽性、断熱性に優れるダブルスキンを参照する。ダブルスキンの基本構成は、ガラスの外皮と内皮およびその中間の緩衝空間（キャビティ空間）に配置されたブラインドによる。ダブルスキンは、夏季はブラインドで日射を遮蔽し日射熱を外部に排出する。冬季は内皮で断熱するとともにブラインドを上げて直射光を室内に導く。季節ごとに負荷の低減を図るシステムである。この方式は、主に冬季の断熱が主体となる欧州において発展したシステムである。しかし、日本では夏季の日射遮蔽が主目的となる。統合ファサードでは、ダブルスキンの日射遮蔽機能に着目し、外部に固定ルーバーを設ける外付ルーバーの構成とする。

なお、既往の研究⁵⁾において、ダブルスキンの環境性能を検討したところ、キャビティ空間の換気を行わない場合、夏季の温度上昇が高くなり熱負荷が増加する結果となった。一方で外付ルーバーでは温熱環境の改善がみられた。日本のように夏季の熱負荷が大きい地域では、外付ルーバーを用いた統合ファサードが効果的と考える。

3)防災軸

耐震要素は開発された座屈拘束ブレースを用いる。座屈拘束ブレースは現行の強度型のブレースより断面寸法が小さく（100mm 角）、ファサードの構成材と親和性がある。座屈拘束ブレースは、引張力と圧縮力に同等の性能を有するため、ブレースの配置はX型やV型にこだわることなく、一方向の配置も可能である。そのため意匠面での発展性がある。また、強度型のブレースは主構造や基礎に大きな反力が生じ既存躯体に大きな負担を与える。このため統合ファサードには、強度型のブレースは使用しない。火災安全性については構成部材を不燃材とする。開口部の外側に部材が設置される場合には、隣棟および上階への延焼

に影響がないかを確認する。風圧に関する安全性は、本体架構もしくは座屈拘束ブレースがファサード構成部材を支持する。追加で支持部材（二次部材）を設けることが無いよう省力化を図る。

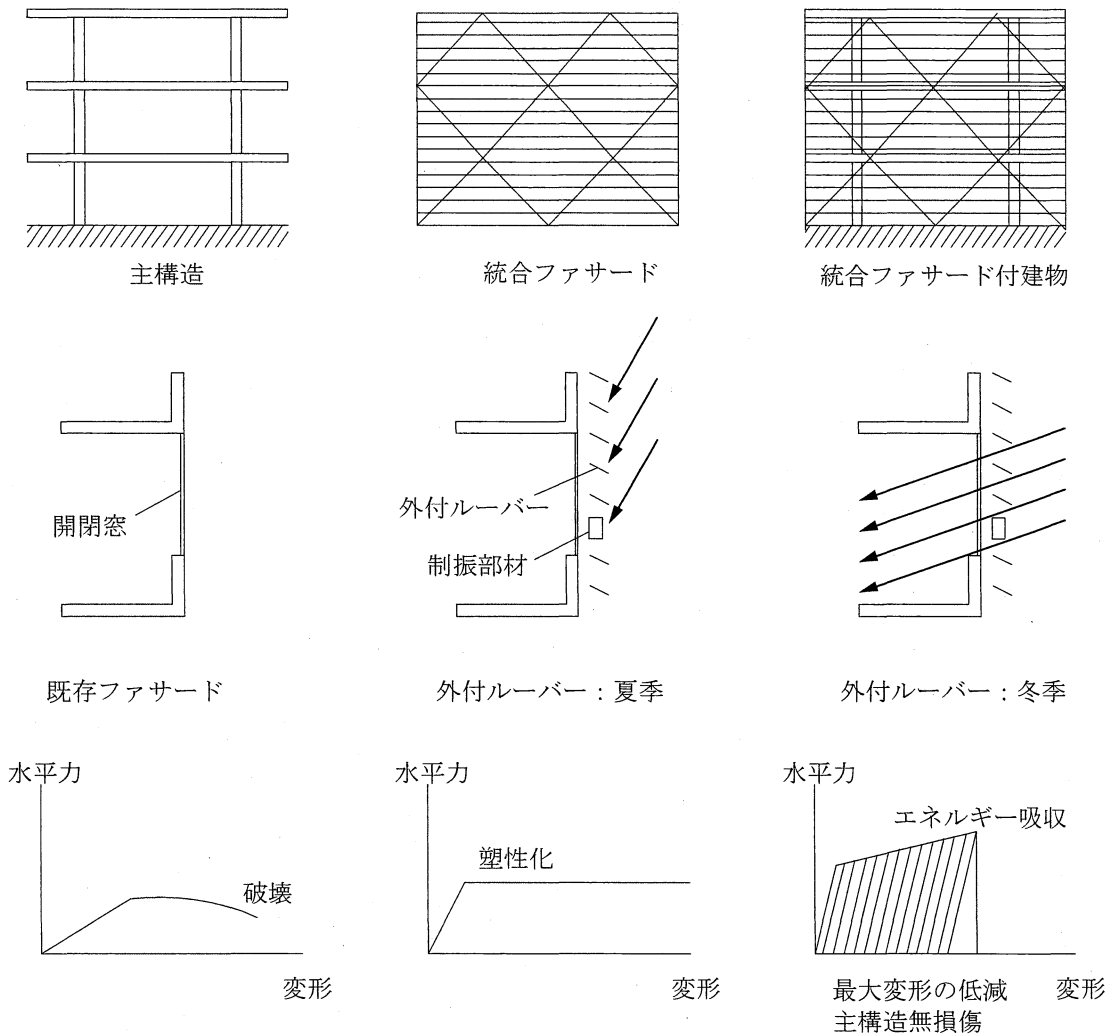


図 2-2 統合ファサードのコンセプト

2.4 統合ファサードの提案

外付ルーバーと座屈拘束ブレースを用いた統合ファサードには、大きく 2 つの構法が考えられる。1 つは分離型ファサードであり、もう一方は一体型ファサードである。図 2-3 に 2 つの構法の特徴を示す。分離型及び一体型ファサードの特徴は次のとおりである。

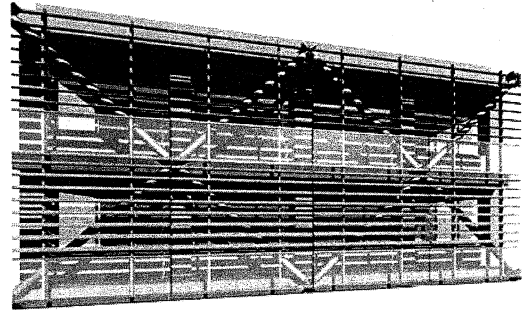
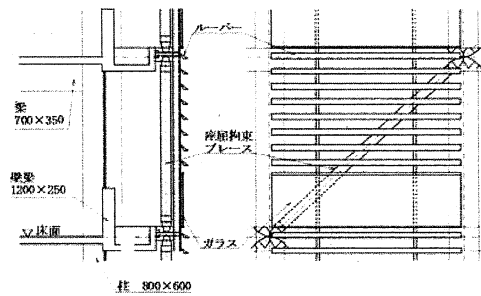
1)分離型ファサード

分離型ファサードは鋼製の座屈拘束ブレースを設置し、これをファサード支持材として外付ルーバーやガラスを取り付けるものである。既存の外壁の外側に新設の統合ファサードが設置される。この構法では、外付ルーバーと座屈拘束ブレースは同一面内ではなく座屈拘束ブレースは外付ルーバー支持部材となる。座屈拘束ブレースには外付ルーバーと同様な日射遮蔽機能を期待されない。この構法では外付ルーバーとして主に水平ルーバーが設置される。

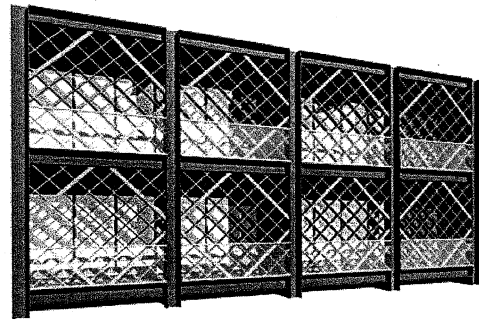
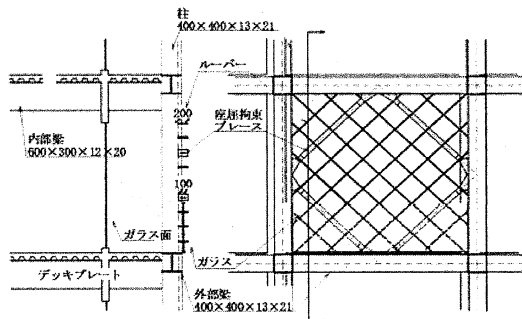
2)一体型ファサード

一体型ファサードは主に菱形タイプと斜行タイプに分かれる。菱形タイプは、板状の座屈拘束ブレースを菱形に配置し、これを外付ルーバーとする。格子状の斜行ルーバーと座屈拘束ブレースを一体化した構成である。斜行タイプは、曲げ剛性・捩れ剛性の高い角型鋼管梁を剛性の低い弱軸配置 H 形鋼柱間に架け渡し、この外面に斜行状に座屈拘束ブレースを配置する構成である。座屈拘束ブレースは柱間に斜行配置され外付ルーバーの役目を担う。全てのルーバーが座屈拘束ブレースである必要はなく、座屈拘束ブレースは必要に応じてルーバー間にルーバー材と同形状に配置される。

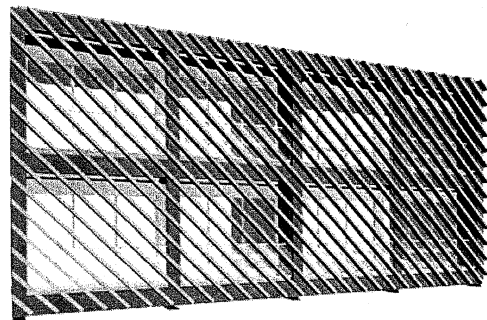
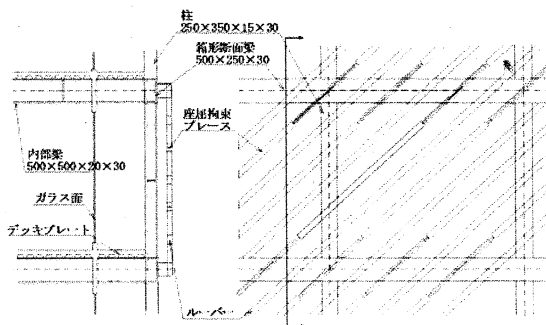
本研究では、これら分離型、一体型の2つの類型をもとに、外付ルーバーの形状等を変えることで統合ファサードの展開を図る。



分離型ファサード



一体型ファサード 菱形タイプ



一体型ファサード 斜行タイプ

図 2-3 統合ファサードの分類

2.5 耐震要素に関する既往研究

統合ファサードの耐震要素である座屈拘束ブレースについては、既往研究において有効性が実証されている。図 2-4 に本研究で用いる座屈拘束ブレースの概略を示す。座屈拘束ブレースは芯材（鋼材）と芯材の周りにモルタルを充填した鋼製プレートを用いた構成となっている。この座屈拘束ブレースを使用した分離型ファサード、一体型ファサードの耐震性能に関する既往の知見と改修

に関する耐震要素の知見は次のとおりである。

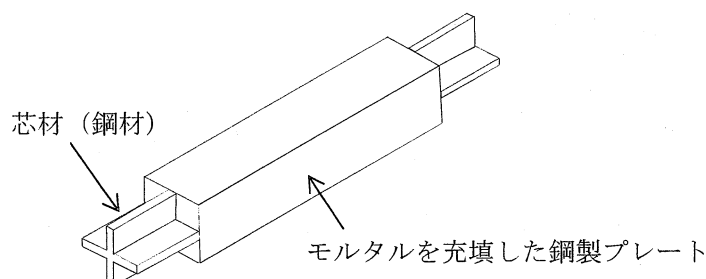


図 2-4 座屈拘束ブレースの概略

1) 分離型ファサード

RC 造の既存建物を想定モデルとして補強設計を実施し応答解析を行っている⁵⁾。応答解析では、層間変形角 $1/800$ 程度から塑性化する座屈拘束ブレースを用いることで、補強後の建物の最大応答層間変形角を $1/250$ 以下に抑えている。また、想定建物の柱梁 1 スパンを抜き出し $1/2.5$ スケールモデルの試験体を製作し実証実験を行っている⁶⁾。試験体は、無補強の試験体と座屈拘束ブレースで耐震補強を施した試験体の 2 体としている。耐震補強を施した試験体では、層間変形角 $1/50$ まで安定した復元力特性を示すことを確認している。また、実験⁶⁾で得られた復元力特性に対し、RC 造を武田モデル、座屈拘束ブレースをバイリニアモデルとしてモデル化し解析を行っている⁷⁾。解析で得られた復元力特性は、実験で得られた復元力特性と概ね一致し、解析モデルの妥当性が示されている。また、この解析で用いた履歴モデルを使用して、座屈拘束ブレースの塑性化部の長さをパラメータとした解析モデルを作成し、補強前後の応答値の比較を行っている。座屈拘束ブレースの塑性化部を短くしていくと応答値を抑えられることが確認されている。

2) 一体型菱形タイプ

新築の S 造を想定モデルとして応答解析を行っている⁵⁾。応答解析の結果、一体型菱形タイプを設置した S 造建物では、高品位鉄骨建物の許容量である応答層間変形角 $1/150$ 以下を満足する。また、 $1/2.5$ スケールモデルの試験体を作成し実証実験を行っている¹⁰⁾。実験結果によると一体型菱形タイプは層間変形角 $1/50$ まで安定した復元力特性を示す。また、一体型菱形タイプの実験結果と解析モデルの復元力特性を比較し妥当性を示すとともに、解析モデルを用いて応

答解析を行い新築 S 造で高品位鉄骨建物の許容量である応答層間変形角 1/150 以下を満足することを確認している。実験¹⁰⁾の剛性に関する計算値と実験値を比較し整合性を確認している¹¹⁾。

3) 一体型斜行タイプ

曲げ剛性、捩れ剛性の高い角型鋼管梁を剛性の低い弱軸配置 H 型鋼間に掛け渡し、その外側に座屈拘束ブレースを配置するディテールを採用して、新築への適用を想定した解析が行われている¹²⁾。解析結果より、一体型斜行タイプは、高品位鉄骨建物の許容量である応答層間変形角 1/150 以下を満足することを確認している。提案した一体型斜行タイプ¹¹⁾の 1/2.5 スケールモデルの試験体を製作し実証実験を行っている¹³⁾。実験によれば、一体型斜行タイプは層間変形角 1/100 の変形を 100 回以上繰り返しても安定した復元力特性を持つ。一体型斜行タイプを耐震補強に用いた場合に問題となる梁の捩れについて、梁の異なる試験体を製作し構造実験及び解析検討を行っている¹⁴⁾。実験および解析結果から、耐震補強において捻り剛性の低い H 型鋼を用いた場合、座屈拘束ブレースの初期剛性が低下することで主架構に損傷を与える恐れがあることを指摘し、耐震補強においては角型鋼管梁を用いることが望ましいと結論付けている。

4) 改修に関する研究

4-1) 座屈拘束ブレースの剛性

座屈拘束ブレースを耐震補強に用いる際に重要となる座屈拘束ブレースの降伏耐力と軸剛性の調節について検討している¹⁵⁾。芯材端部に鋼板(増厚板)を溶接することで、座屈拘束ブレースの剛性の向上を図り、同時に降伏耐力も調節することで、より小さい変形からエネルギー吸収を行う座屈拘束ブレースを提案している。既往の座屈拘束ブレースについて、実験値と計算値の比較を行い、計算式の妥当性を検討し増厚板を用いた座屈拘束ブレースの有効性について検討している。実際に増厚板を溶接した試験体を製作して繰返し載荷実験を行い、座屈拘束ブレースの性能を確認している。

4-2) 既存躯体との接合部

座屈拘束ブレースをはじめとする履歴型ダンパーの補強効果に影響を与える接合部の実験を行っている¹⁶⁾。繰返し荷重を受ける接合部の剛性が低下した場合には、座屈拘束ブレースをはじめとする履歴型ダンパーの補強効果も低減する。実験結果より直接接合法を用いた接合部は、間接接合法を用いた接合部と異なる履歴曲線を示し小振幅から剛性が低減することを確認している。

第二章の参考文献

- 1)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、第592号、pp97-104、2005.6
- 2)建築外装メカニズム読本、建築技術、1995.12
- 3)吉田倬朗：ガラス建築の設計手法、建築技術、1995.12
- 4)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
- 5)竹内徹、小谷野一尚、安田幸一、湯浅和博、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－統合ファサードの提案および性能評価－、日本建築学会環境系論文集、第601号、pp81-88、2006.3
- 6)宮崎健太郎、金木洋平、竹内徹、岡山俊介、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－その4 ブレース・ルーバー分離型ファサードの検討－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9
- 7)竹内徹、安田幸一、湯浅和博、岡山俊介、宮崎健太郎、岩田衛：統合ファサードによる既存不適格建物の耐震改修、日本建築学会技術報告集、第24号、pp161-166、2006.6
- 8)小谷野一尚：ファサードエンジニアリングの統合に関する研究－構法成立－、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2
- 9)橋本めぐみ：ファサードのモックアップ実験、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2
- 10)金木洋平、宮崎健太郎、竹内徹、岡山俊介、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－その3 ブレース・ルーバー一体型ファサードの検討－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9
- 11)金木洋平、竹内徹、宮崎健太郎、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－統合ファサードの構造性能－、日本建築学会技術報告集
- 12)大島康昌、金木洋平、宮崎健太郎、竹内徹、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－一体型斜行配置ファサードの提案－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8
- 13)金木洋平、竹内徹、岩田衛、宮崎健太郎：ファサードエンジニアリングの統合に関する研究－一体型斜行配置ファサードの構造実験－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8
- 14)金木洋平、彦根茂、山下哲郎、岩田衛：斜行配置座屈拘束ブレースによる耐震補強、日本建築学会構造系論文集、第73巻、第634号、pp2215-2222、2008.12

15)中村慎、山下哲郎、村井正敏、岩田衛：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究－芯材の降伏耐力および軸剛性の調節－、日本建築学会構造系論文集、第73巻、第629号、pp1143-1150、2008.7

16)早川智美、中村慎、山下哲郎、村井正敏、岩田衛：外付制振ブレースを用いた既存RC造建築物の耐震補強における接合部の繰返し加力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008.9

第三章

統合ファサードの意匠展開

- 3.1 はじめに
- 3.2 意匠評価（斜行ルーバータイプ）
- 3.3 意匠評価（タイプ別比較検討）
- 3.4 施工性と生産性
- 3.5 まとめ

第三章 統合ファサードの意匠展開

3.1 はじめに

本章では統合ファサードの意匠面の評価を行う。統合ファサードの外観は、耐震要素である座屈拘束ブレースと外付ルーバーの配置で決まる。一般的な耐震補強は、耐震要素によって外観が損なわれる可能性があるが、統合ファサードでは外付ルーバーとの統合を図り意匠面に配慮した提案を行う。第二章では、統合ファサードの機能をまとめ評価軸を設定しコンセプトに基づいた類型（一体型、分離型）を提案している。しかし、これら提案された外付ルーバーとブレースの配置は考える一例にすぎない。CASBEE にみられるように建築を意匠、環境、防災の総合的視点から評価し設計する機運も高まっており、限定的な提案にとどまらず統合ファサードの展開を図ることが重要となる。たとえば、水平ルーバーや縦ルーバーは既存建物でも多く採用され、その外観は容易に想像できる。しかし本章で提案する斜行ルーバータイプやバウンドルーバータイプは一般的には想像できない。そこで本章では、これらのタイプの意匠性および実用性を確認するために始めに斜行ルーバータイプの意匠面の評価を行う。その後、バウンドルーバータイプを含めて神奈川大学12号館への適用を前提に各提案の意匠評価を行う。最後に部材数や接合点数が多く実現性が特に懸念されるバウンドルーバータイプの施工性や生産性の検討を行う。

3.2 意匠評価（斜行ルーバータイプ）

3.2.1 評価対象

斜行ルーバータイプを2タイプ提案し評価対象とする。それぞれRタイプ、Cタイプとする。図3-1、図3-2にRタイプとCタイプを示す。Rタイプは、外付ルーバーの断面が長方形で短手面が正面を向いている。Cタイプは外付ルーバーの断面が正方形で角部を正面に向けている。意匠評価において、これら2つの斜行ルーバータイプと既存の耐震補強例を比較する。図3-3から図3-5に既存の耐震補強を示す。Oタイプは既往の研究で提案された統合ファサードで、ブレースとガラス、ルーバーが取り付く。グッドデザイン賞金賞を受賞している。Vタイプは強度型のブレース付フレームを既存建物の外壁に施工するものである。耐震補強として最も一般的に行われている。Xタイプは、強度型の引張ブレースを既存フレームにアンカーする方式で、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。意匠評価は、図3-1から図3-5に示すCGと写真を用いてアンケートを行う。

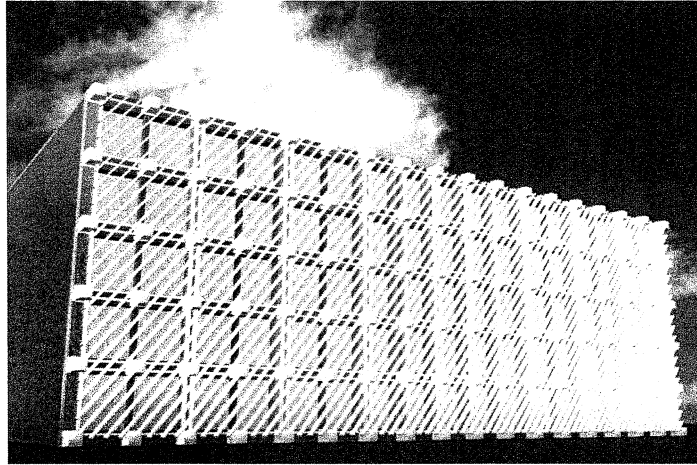


図 3-1 斜行ルーバータイプ Rタイプ

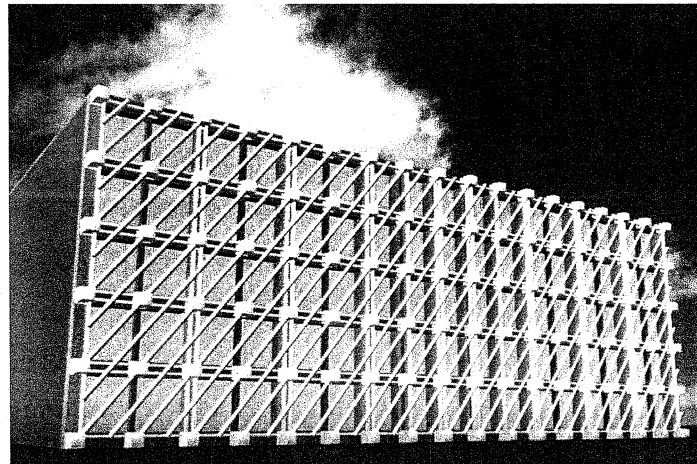


図 3-2 斜行ルーバータイプ Cタイプ

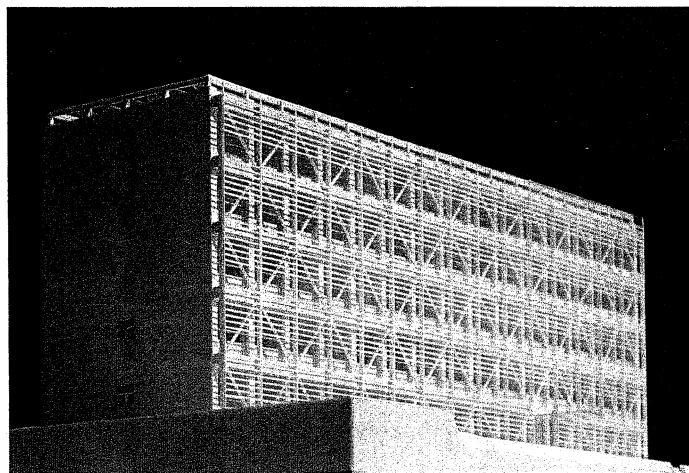


図 3-3 既存改修例 Oタイプ

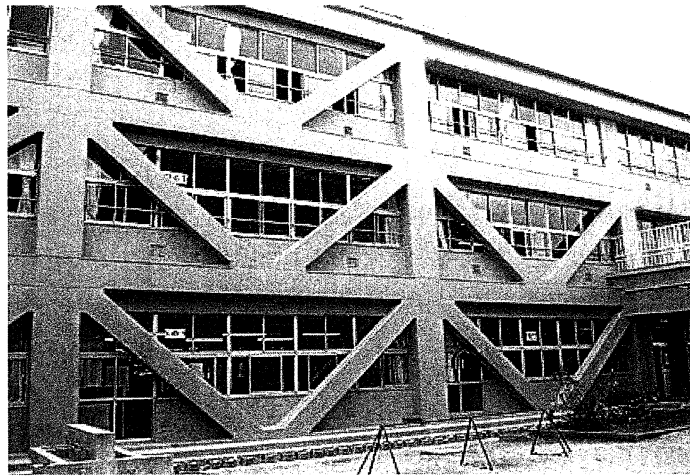


図 3-4 既存改修例 Vタイプ

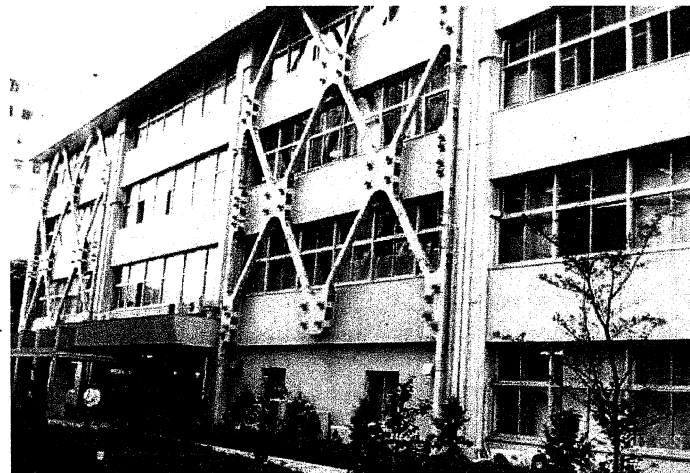


図 3-5 既存改修例 Xタイプ

3.2.2 評価方法

神奈川県建築学科二年生 87 名を対象にアンケートを行う。アンケート用紙を図 3-6 に示す。各タイプのスライドを示したうえでアンケートに回答する。アンケート内容は以下の項目である。

- (1) 建物とファサードのデザインに適合性がある
- (2) ファサード自身の表装デザインが美しい
- (3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

これら 3 項目について、そう思う (2 点)、どちらとも言えない (1 点)、そう思わない (0 点) の選択肢から 1 つを選ぶ方式で行う。

アンケート：5つの耐震補強構法を見て、外観デザインの下記項目についてそれぞれ3段階で評価し、
□にチェック（レ）下さい。

耐震補強事例-1

1-1) 建物とファサードのデザインに適合性がある

そう思う どちらとも言えない そう思わない

1-2) ファサード自身の表装デザインが美しい

そう思う どちらとも言えない そう思わない

1-3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

そう思う どちらとも言えない そう思わない

耐震補強事例-2

2-1) 建物とファサードのデザインに適合性がある

そう思う どちらとも言えない そう思わない

2-2) ファサード自身の表装デザインが美しい

そう思う どちらとも言えない そう思わない

2-3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

そう思う どちらとも言えない そう思わない

耐震補強事例-3

3-1) 建物とファサードのデザインに適合性がある

そう思う どちらとも言えない そう思わない

3-2) ファサード自身の表装デザインが美しい

そう思う どちらとも言えない そう思わない

3-3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

そう思う どちらとも言えない そう思わない

耐震補強事例-4

4-1) 建物とファサードのデザインに適合性がある

そう思う どちらとも言えない そう思わない

4-2) ファサード自身の表装デザインが美しい

そう思う どちらとも言えない そう思わない

4-3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

そう思う どちらとも言えない そう思わない

耐震補強事例-5

5-1) 建物とファサードのデザインに適合性がある

そう思う どちらとも言えない そう思わない

5-2) ファサード自身の表装デザインが美しい

そう思う どちらとも言えない そう思わない

5-3) ファサード自身の表装デザインが独創的である

そう思う どちらとも言えない そう思わない

図 3-6 意匠評価アンケート用紙

3.2.3 結果

図3-7に各タイプの平均得点を示す。各項目とも2点満点である。Rタイプ、Cタイプ、Oタイプの評価は高く、Vタイプ、Xタイプの評価は低い。Rタイプ、Cタイプ、Oタイプはほぼ同等の評価で3タイプに大きな差は見られない。Oタイプは適合性が高く、Rタイプ、Cタイプは独創性が高い。一方で、Vタイプ、Xタイプは美しさが特に低い。Rタイプ、Cタイプはほぼ同様の評価を得たがCタイプの評価が若干高い。

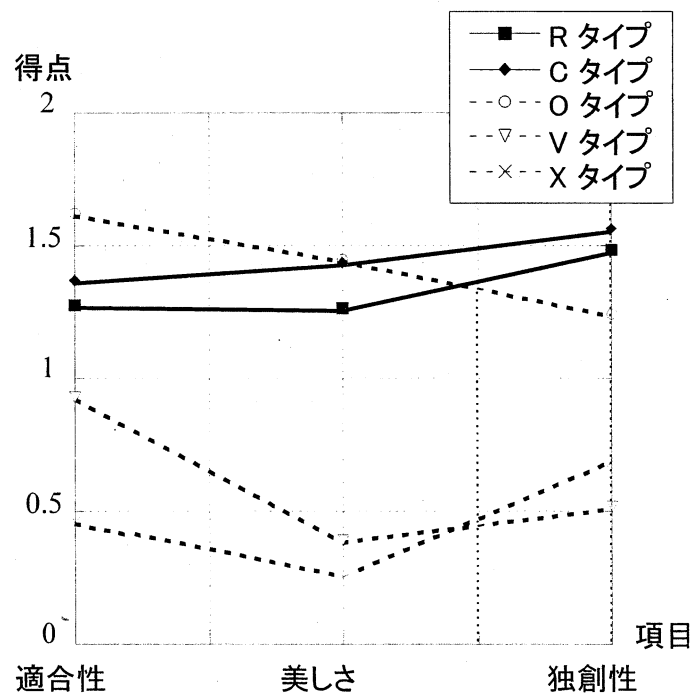


図3-7 アンケート結果 (項目別)

図3-8に各タイプの合計点数を示す。6点満点となる。Rタイプ、Cタイプ、Oタイプは4点ないし5点にピークがあり得点が高い。また3タイプとも0~2点は非常に少ない。一方で、Vタイプ、Xタイプは0~2点にピークがあり、2タイプとも4~5点は非常に少ない。

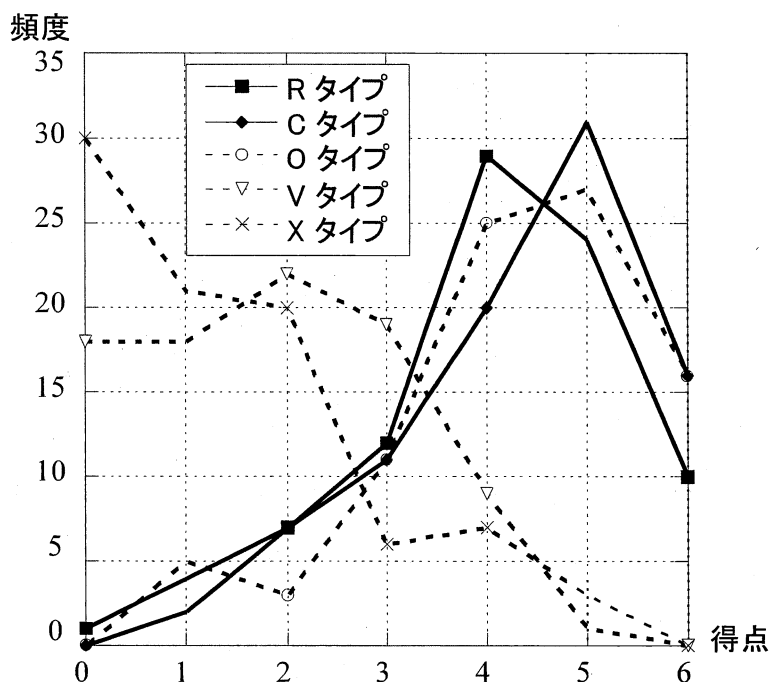


図 3-8 アンケート結果 (総点)

3.2.4 評価のまとめ

Rタイプ、Cタイプは、従来の耐震補強であるVタイプ、Xタイプと比べ意匠性が高い。Oタイプがグッドデザイン賞を受賞していることから、アンケート結果がOタイプと同等のRタイプ、Cタイプも優れた意匠性を有しているといえる。CタイプはRタイプに比べて全体的に高い評価である。

3.3 意匠評価 (タイプ別比較検討)

3.3.1 評価対象

斜行ルーバータイプは、前述のアンケート結果により、新たな意匠展開として統合ファサードとなりうる可能性が高い。そこで統合ファサードの外付ルーバーの検討には、既存の水平ルーバー数種に加えて斜行ルーバーも加える。ここで斜行ルーバーは、水平ルーバー等の一般的なルーバーに比べ斜行の向き(右上がり、右下がり)によって外観に方向性が表れるという特殊性がある。そこで図3-18に示すように、水平ルーバーや縦ルーバー、斜行ルーバーを掛け合わせて方向性を無くしたバウンドルーバーを提案し検討に加え意匠評価を行う。統合ファサードは神奈川大学12号館への適用を考えている。神奈川大学12号館を適用建物として、斜行ルーバータイプの意匠評価方法と同様に耐震要素と外

付ルーバーの配置に対するアンケートによって意匠性を評価する。

3.3.2 アンケートの実施

各統合ファサードのCGを用いて意匠評価アンケートを行う。アンケートはランダムに抽出した建築学専攻の学生（神奈川大学の学部生および大学院生）50人を対象とする。評価項目は次のとおりとする。

- (1) 補強架構と既存部分の適合性
- (2) 表装デザインの美しさ(意匠性)
- (3) 補強架構の創造性

評価は、当てはまる(2点)、どちらともいえない(1点)、当てはまらない(0点)の3段階で行う。アンケートに用いた統合ファサードのCGを図3-10から図3-18に示す。また改修前の建物写真を図3-9に示す。なお図3-10から図3-18に示す番号(No)は、アンケートの回答結果の番号と同じである。



図3-9 改修前の建物写真

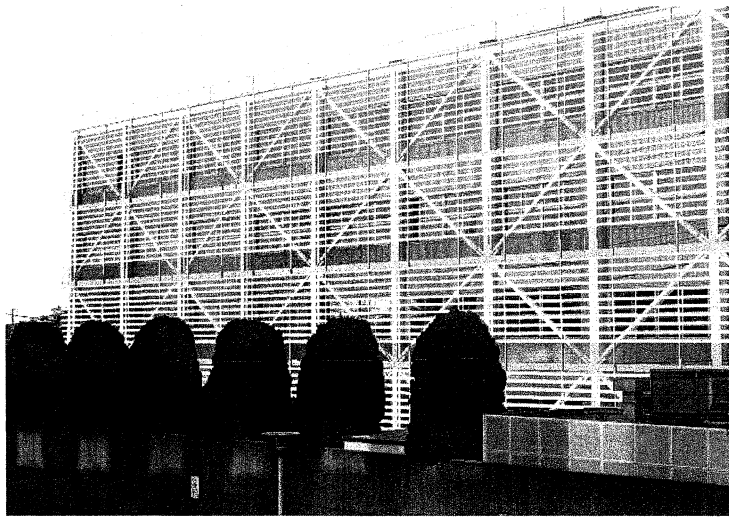


図 3-10 X 型+水平ルーバータイプ (分離型) No1

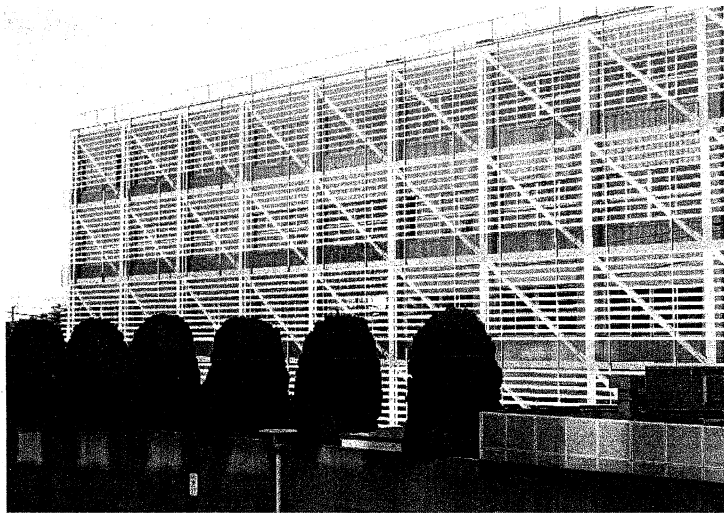


図 3-11 斜行ブレース+水平ルーバータイプ (分離型) No2

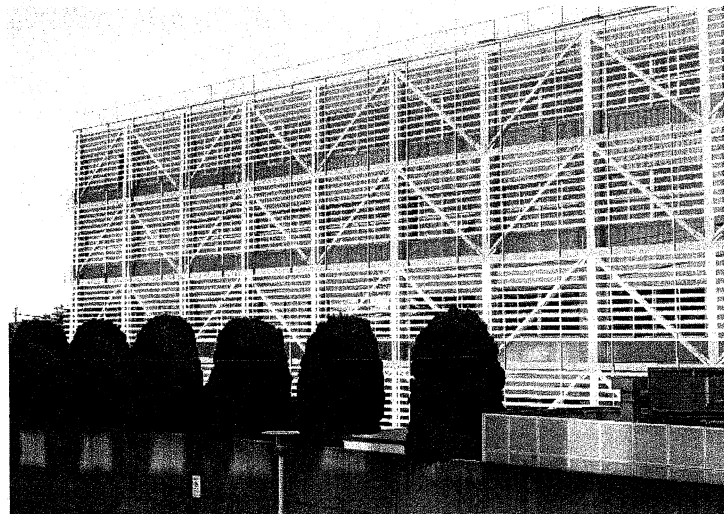


図 3-12 V 型+水平ルーバータイプ (分離型) No3

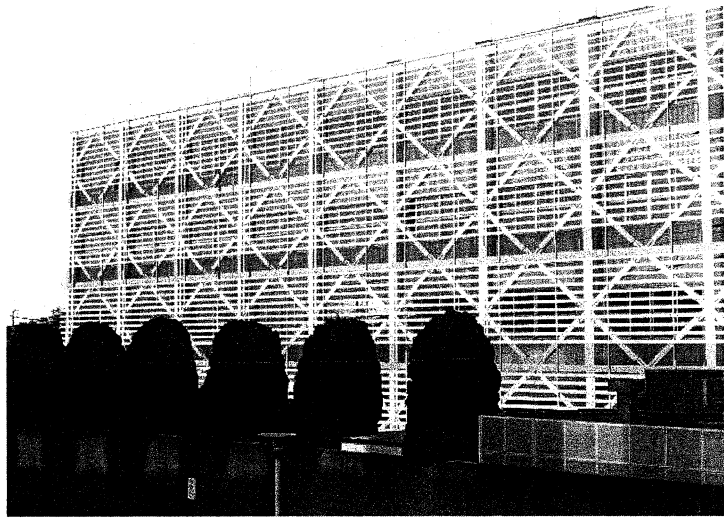


図 3-13 格子型+水平ルーバータイプ (分離型) No4

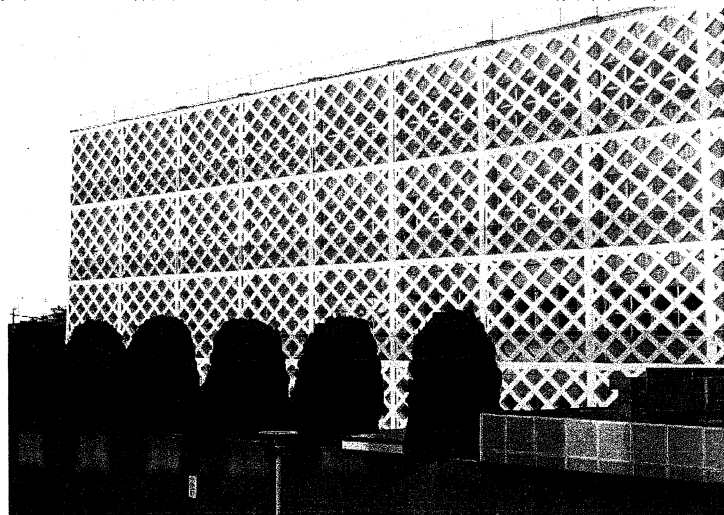


図 3-14 格子型+斜行ルーバータイプ (一体型) No5,6,7

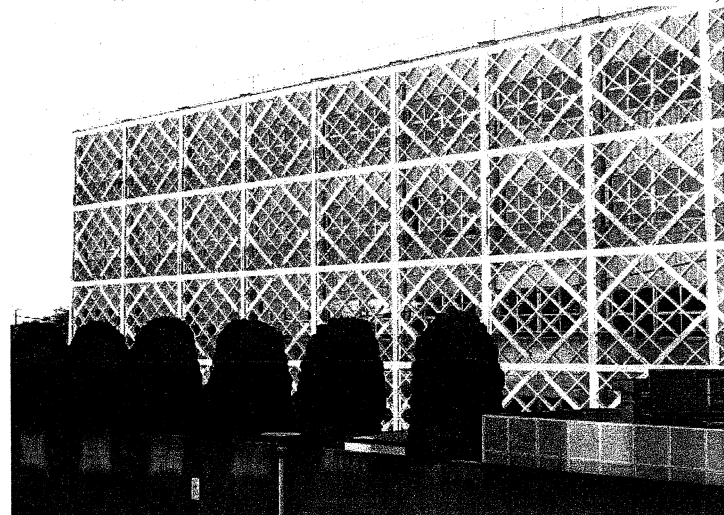


図 3-15 格子型+斜行ルーバータイプ (一体型) No8

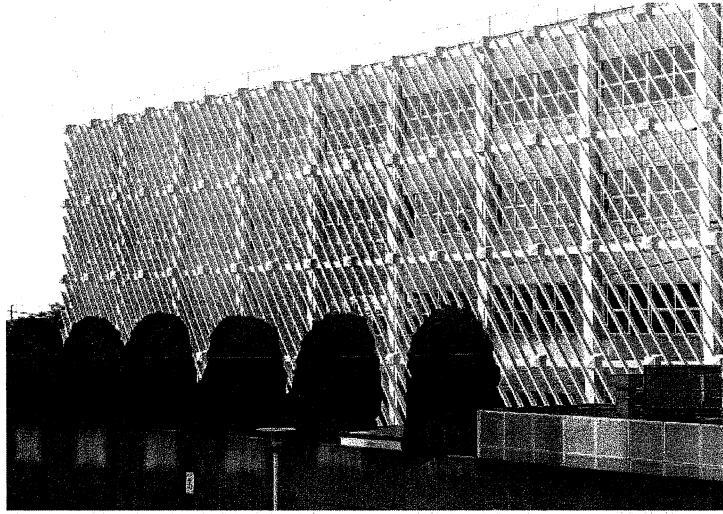


図 3-16 斜行ブレース+斜行ルーバーR タイプ (一体型) No9

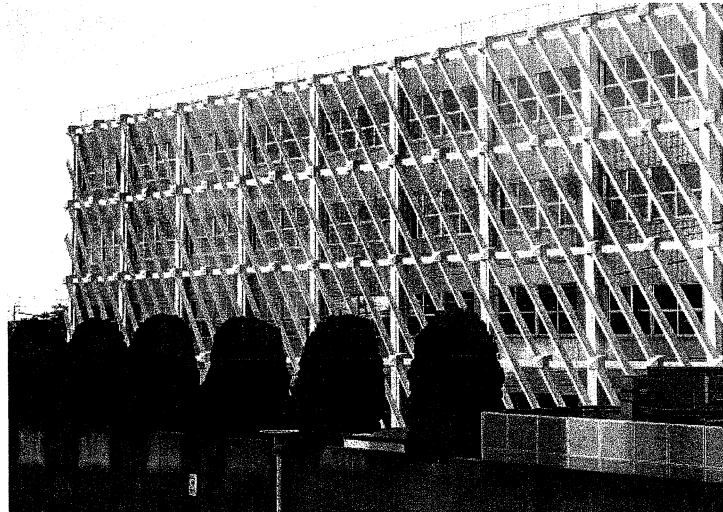


図 3-17 斜行ブレース+斜行ルーバーC タイプ (一体型) No10

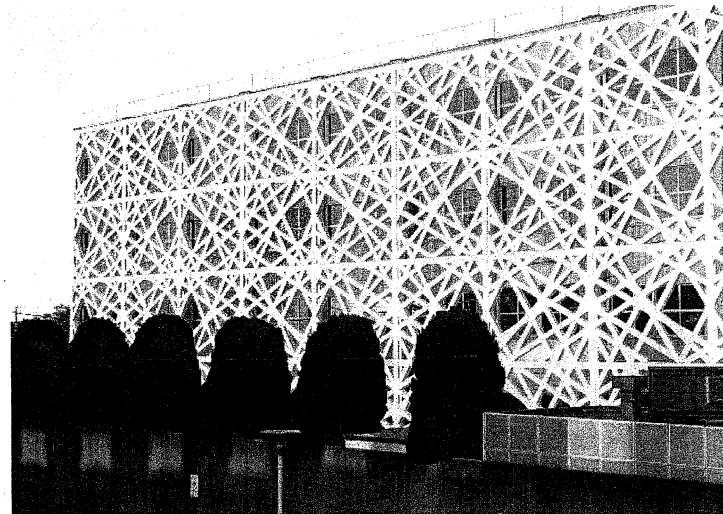


図 3-18 斜行ブレース+バウンドルーバータイプ (一体型) No11,12,13

3.3.3 結果

適合性、意匠性、創造性のアンケート結果を表 3-1 から表 3-3 に示す。また、アンケート結果を平均したグラフを図 3-19 に示す。

表 3-1 アンケート結果 (適合性)

No	評価								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5.6.7	No.8	No.9	No.10	No.11.12.13
1	1	2	2	0	0	1	1	0	2
2	2	2	0	2	0	2	0	0	0
3	1	0	1	1	2	1	0	0	2
4	2	0	0	2	0	2	0	0	0
5	2	0	0	1	2	1	1	1	0
6	1	1	2	0	0	1	0	0	0
7	1	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	2	1	1	1	0
9	1	1	1	1	1	1	2	1	2
10	2	2	2	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2	0	1	1	0	1	0	0	2
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	0	0	2	2	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	2	2	1	1	2
16	0	0	0	0	0	2	1	1	0
17	1	1	1	1	2	2	0	0	2
18	2	1	2	2	1	1	0	0	0
19	2	1	1	2	0	1	1	1	0
20	1	1	2	1	0	2	2	2	0
21	2	2	2	2	0	2	0	0	0
22	0	0	1	2	2	2	1	0	0
23	2	1	2	1	0	2	0	0	1
24	2	2	2	1	1	1	0	0	0
25	2	1	1	1	1	1	1	1	2
26	2	1	2	0	0	1	0	0	1
27	2	2	2	0	0	1	0	0	1
28	2	2	2	2	1	2	1	1	1
29	0	0	0	0	0	0	2	1	1
30	2	1	2	2	0	1	0	0	1
31	1	1	1	2	1	2	1	0	0
32	2	2	2	2	1	1	1	1	1
33	1	1	0	1	1	1	1	1	1
34	2	1	2	1	0	1	2	1	2
35	1	0	2	2	1	1	1	1	0
36	1	1	1	1	0	0	0	0	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	2	2	2	2	1	1	0	0	2
39	2	2	2	1	1	1	0	0	1
40	2	1	1	1	0	2	0	0	2
41	1	1	2	2	2	1	0	0	2
42	2	2	2	1	1	2	0	0	2
43	2	0	1	0	1	1	2	0	1
44	1	1	1	1	0	0	1	1	0
45	2	0	1	2	0	1	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	2
47	1	1	1	1	1	1	1	1	0
48	2	2	2	2	0	2	2	1	0
49	2	2	1	1	0	0	1	1	1
50	2	1	1	1	1	2	1	1	1

表 3-2 アンケート結果 (意匠性)

No	評価								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5.6.7	No.8	No.9	No.10	No.11.12.13
1	1	2	2	0	0	1	2	2	1
2	1	2	0	1	0	2	0	0	0
3	1	0	2	2	1	2	0	0	2
4	1	0	0	1	2	2	0	0	2
5	1	0	0	2	2	2	1	2	0
6	1	0	1	1	0	2	0	1	1
7	1	1	1	1	0	0	0	0	2
8	0	0	0	0	2	1	1	2	2
9	1	1	1	1	1	1	2	1	2
10	2	1	2	2	0	1	1	2	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2	0	1	1	0	2	0	0	2
13	0	1	0	2	0	0	0	1	1
14	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15	0	1	0	1	2	1	2	2	2
16	1	1	1	1	0	1	1	1	0
17	2	1	2	2	2	2	0	0	2
18	1	0	1	2	2	1	1	1	1
19	1	1	1	1	0	1	1	1	1
20	0	2	2	1	1	2	2	1	2
21	0	2	0	2	0	1	1	2	0
22	1	0	1	0	0	1	0	0	0
23	1	1	1	1	0	1	0	0	2
24	2	2	2	1	1	1	1	1	0
25	1	1	1	1	1	1	0	1	2
26	1	0	0	0	0	1	0	0	2
27	2	2	2	0	2	2	0	0	0
28	1	1	1	2	0	1	1	2	0
29	2	1	2	1	0	0	1	0	1
30	1	0	1	1	0	1	0	0	1
31	1	0	1	2	1	2	1	0	0
32	2	1	1	2	0	1	0	1	1
33	2	0	1	2	1	1	1	1	2
34	2	1	2	1	0	2	2	2	2
35	1	0	2	1	1	1	1	1	0
36	1	1	1	0	0	1	0	0	1
37	1	1	1	2	2	2	1	0	0
38	2	1	1	2	1	2	1	1	2
39	0	1	0	1	1	1	1	1	0
40	1	2	1	1	0	1	0	0	2
41	1	1	1	1	1	1	1	2	2
42	2	1	2	1	1	2	0	0	2
43	1	0	0	1	2	1	1	0	1
44	2	2	2	1	1	1	1	2	1
45	0	0	0	1	1	0	0	0	2
46	0	0	0	0	0	0	0	0	2
47	1	0	1	1	0	1	1	1	1
48	2	2	1	2	0	1	1	0	0
49	1	1	1	2	1	0	2	2	1
50	2	1	1	1	1	2	1	1	1

表 3-3 アンケート結果 (創造性)

No	評価								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5.6.7	No.8	No.9	No.10	No.11.12.13
1	1	2	2	0	0	1	1	2	2
2	0	2	0	2	0	2	0	0	0
3	0	1	0	1	2	1	1	1	2
4	0	0	0	1	0	0	0	0	2
5	0	0	0	0	2	0	1	2	0
6	0	0	0	0	1	2	2	2	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	2
8	0	0	0	0	0	0	0	1	2
9	1	1	1	1	1	1	1	1	2
10	1	1	1	2	0	1	2	2	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	0	1	1	0	0	1	2
13	0	1	0	2	0	0	2	2	2
14	0	0	0	1	0	0	0	0	2
15	0	1	0	1	2	2	2	2	2
16	1	1	1	1	0	1	1	1	2
17	1	1	1	1	2	2	1	1	2
18	0	0	0	0	2	1	2	2	2
19	1	0	0	0	0	0	0	0	2
20	0	1	1	1	1	2	2	2	2
21	0	1	0	1	2	2	2	2	2
22	1	0	1	1	1	1	0	0	0
23	1	1	1	1	0	1	0	0	1
24	2	2	2	2	1	1	2	1	2
25	0	1	0	1	2	1	2	1	2
26	0	0	0	1	2	2	2	2	2
27	2	2	2	2	2	2	1	1	2
28	1	1	1	1	1	1	1	1	2
29	1	0	2	1	0	1	0	0	1
30	1	0	1	1	1	1	0	0	2
31	0	0	0	1	1	1	1	1	2
32	0	1	0	2	1	1	0	0	2
33	1	1	1	2	2	2	0	0	2
34	1	0	1	0	0	2	1	1	2
35	1	1	1	1	2	1	1	1	0
36	0	0	0	0	1	1	1	1	2
37	1	1	1	1	2	1	1	0	2
38	1	0	1	1	1	2	1	1	2
39	0	0	0	1	1	0	0	1	0
40	0	0	0	0	0	1	0	0	2
41	0	0	1	1	1	0	2	2	2
42	0	0	0	1	2	1	2	2	2
43	2	0	0	2	1	2	2	2	2
44	0	0	0	2	2	2	1	1	2
45	0	0	0	2	1	2	0	0	2
46	0	0	0	0	0	0	0	0	2
47	1	1	1	1	1	1	1	1	2
48	1	2	1	1	2	1	1	1	2
49	0	0	0	0	0	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1	2

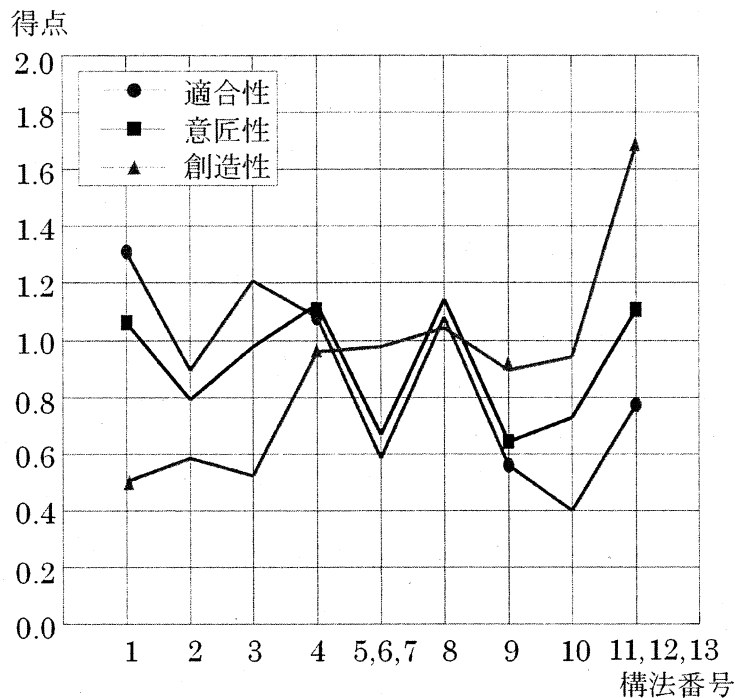


図 3-19 意匠評価アンケート結果

アンケートより適合性、意匠性、創造性の項目について次の結果を得る。

1) 適合性

“X型+水平ルーバータイプ（分離型）No1”が最も評価が高い。2番目に高い評価は“V型+水平ルーバータイプ（分離型）No3”であり、No1と同じく水平ルーバー、ガラス、座屈拘束ブレースの構成である。これらの構成を持つ統合ファサードは適合性において比較的评价が高い。ただし同じ水平ルーバー、ガラス、座屈拘束ブレースの構成であっても“斜行ブレース+水平ルーバータイプ（分離型）No2”は評価が低い。このことから、斜行ブレース（座屈拘束ブレース）の配置方法が適合性に与える影響は大きい。また、“格子型+斜行ルーバータイプ（一体型）No8”も比較的评价が高い。しかし、格子ルーバーと座屈拘束ブレースの構成を持つ構法についても、ルーバー径が大きい“格子型+斜行ルーバータイプ（一体型）No5,6,7”は低い評価であり、ルーバー径が適合性に与える影響は大きい。

2)意匠性

“格子型+斜行ルーバータイプ（一体型）No8”が最も高い評価となり、次いで“格子型+水平ルーバータイプ（分離型）No4”、“斜行ブレース+バウンドルーバータイプ（一体型）No11, 12, 13”が高い評価となる。ただし、“格子型+斜行ルーバータイプ（一体型）No5, 6, 7”のようにルーバー径が大きくなる場合や、“斜行ブレース+水平ルーバータイプ（分離型）No2”のように斜行ブレースを用いても配置方法が異なる場合には評価は大きく変化する。

3)創造性

“斜行ブレース+バウンドルーバータイプ（一体型）No11, 12, 13”が高い評価である。評点は2点満点中1.7点に迫り大多数の評価者に支持されている。他の構法は、ほぼ横ばいの評価だがNo1からNo3は評価が低い。これは分離型がすでにグッドデザイン賞を受賞し紹介されていることや、水平ルーバーや縦ルーバーを用いた建築が増えている影響と考えられる。

以上の評価において、統合ファサードの斜行ルーバーやバウンドルーバーは、他のタイプと比較しても遜色なく意匠展開に適切なタイプといえる。

3.4 施工性と生産性

3.4.1 バウンドルーバーの実現性

バウンドルーバータイプは意匠性において高い評価を得た。しかし他のルーバータイプに比べ複雑な形状であり実現性が懸念される。そこで本節では、意匠性が高く評価されたバウンドルーバータイプについて、施工性と生産性を検討し実現性を検証する。バウンドルーバータイプは他のルーバーよりも取合いが多い。複雑な形状のバウンドルーバータイプを検討することは、他のルーバータイプの実現性を裏付けるものとなる。バウンドルーバーの製作方法を提案し生産性と施工性を確認する。

3.4.2 設計方針

バウンドルーバーを構成する個々の外付ルーバーは、既存建物の構造スパンに合わせて耐震補強時に設置される鉄骨の四周枠に取り付けられる。四周枠は柱梁1スパンで1グリッドとなる。耐震補強には座屈拘束ブレースを用いるがバウンドルーバー材とブレースは同一材で仕上げており意匠性を損なわない。

バウンドルーバーの形状は、個々のルーバーが四周枠に鏡面反射（バウンド）を繰り返すことで決定される。そのためルーバーの向きはランダムとなる。これら1グリッドのランダムなバウンド形状を図3-20のように連続して展開し

立面を構成する。また、図3-21のように1グリッドの中心点を参照し点对称とすることで、中心から対角にある接合部は同形となるよう調整する。接合部の種類を減らし生産性の向上を図る。

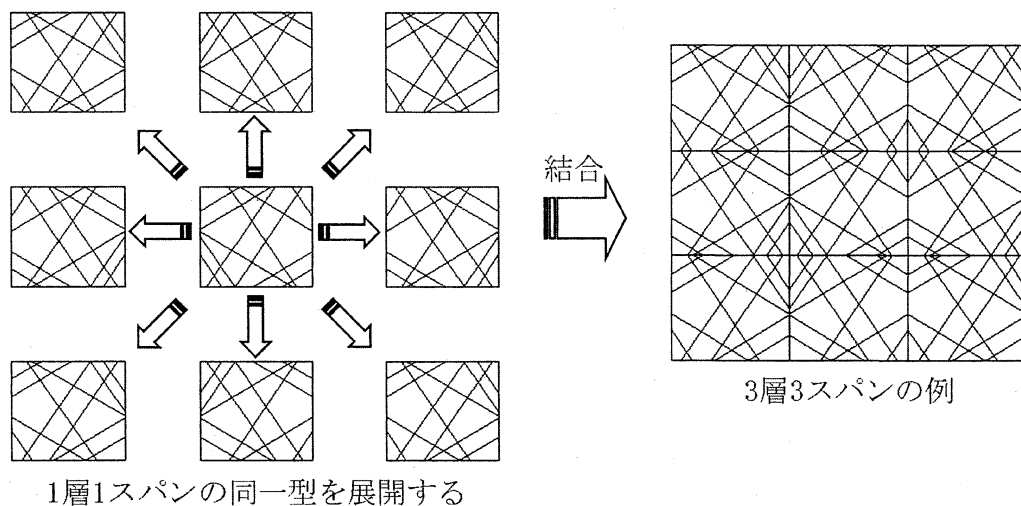


図3-20 バウンドルーバーの連続した展開

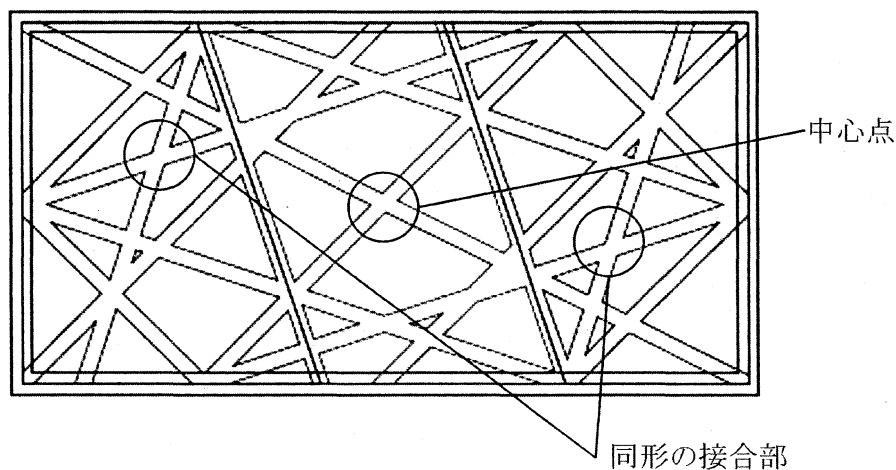


図3-21 バウンドルーバーの対称性

3.4.3 施工性と大きさ

バウンドルーバーの形状を決定する要因は、施工性や運搬・搬入の制限、ルーバー接合部や日射遮蔽性である。施工性や運搬・搬入については、ルーバーの部

材長や重量を考慮する必要がある。接合部については、接合部の少数化と簡易化を図る必要がある。ルーバー材の適正寸法は、工期や居ながら施工、重機や運送制限を考慮し決定する。作業性を考慮すれば、1 グリッド内のルーバーを適切に分割しユニット化することが望ましい。このユニット幅は、重量や重機、搬入経路によって異なるが、ユニット高さは通常のカーテンウォールの高さと同様に階高とする。ユニット幅の分割数は最適となるよう下式を提案する。

$$N \geq \frac{L}{\alpha} + \beta$$

N: 分割数

L: スパン長

α : ユニット幅の最大長さ(m)

β : 傾き係数

スパン長 L は既存建物の柱スパンに依存する。 α は施工上、運搬・搬入に関する係数であり、 β は 1 グリッドをユニットに分割する分割線が外付ルーバーと一体視されるように意匠性に配慮した係数である。N はスパンの分割数で、1 グリッド内にあるバウンドルーバーが個々のユニットに分割される。N は、運搬・搬入の制限を考慮した最少ユニット数である。

3.4.4 生産性と接合部

ルーバーの生産性は接合部数と形状に大きく左右される。簡易化は最大の課題である。そのため接合部数の制限を設け形状の簡易化を図る。接合部数の制限は、日射遮蔽性（開口率）を配慮し決定する。日射遮蔽の有効性と室内からの視界の確保から 1 グリッドの開口率に制限を設ける。

ここでバウンドルーバーは四周枠で線材が反射する意匠である。図 3-2 2 は接合部の簡易化を図る方法である。図 3-2 2 b のようにルーバーの跳ね返り点（バウンド点）を 1 グリッドの四周枠からオフセットし接合部に極力狭角がないように配慮する。こうして製作した形状と同形のパネルを図 3-2 2 c のように回転し重ね合わせることで接合部の異形数を少なくし生産性の向上を図る。

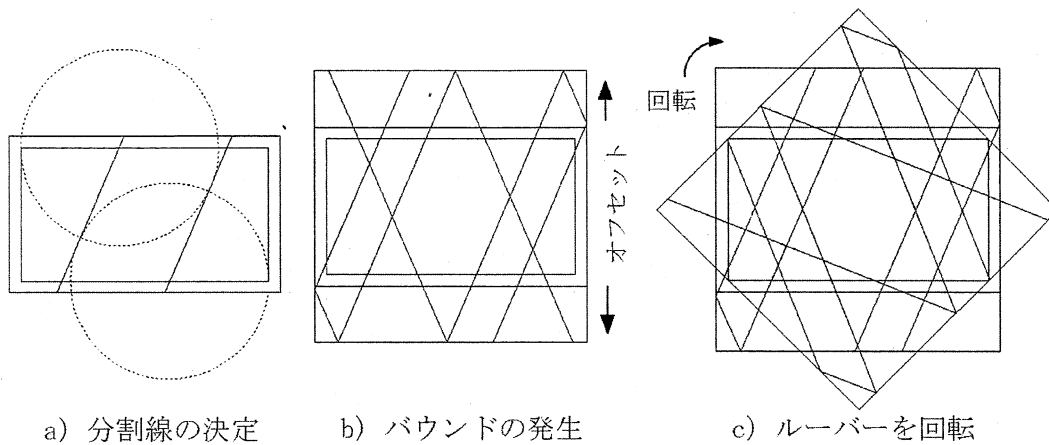


図 3-22 バウンドルーバーの発生方法

3.4.5 開口率の決定

日射遮蔽性は開口率の設定と遮蔽角（回転量）により決定する。外付ルーバーは建物の立地に合わせて回転量を決め重ね合わせを行う。回転の基点をパネル中央とすることで1グリッドのバウンドルーバーは点対称となる。

3.4.6 グリッドタイプ

分割線で区切られた1ユニットの製作方法は、ユニットを工場で作成する方法と現場で作成する方法が考えられる。製作方法の場合分けを図3-23に示す。Case1からCase3はユニット工法で、Case4はロックダウン（現場施工）である。各ケースの特徴を次に示す。

Case1：1グリッドを2枚のレイヤーに分割し工場で作成する。

このユニット化されたレイヤーを座屈拘束ブレースを挟んで内外より現場で施工する。接合部を削減することができる。

Case2：分割式を用いて分割を行い、建物の外側から現場施工する。

Case3：分割式を用いて分割を行い、建物の内外から現場施工する。

Case4：個々のルーバーを現場でボルト接合もしくは溶接する方法。

作業性や運搬上の観点から、Case2、Case3が妥当と判断するが、詳細はモックアップを製作し確認する。

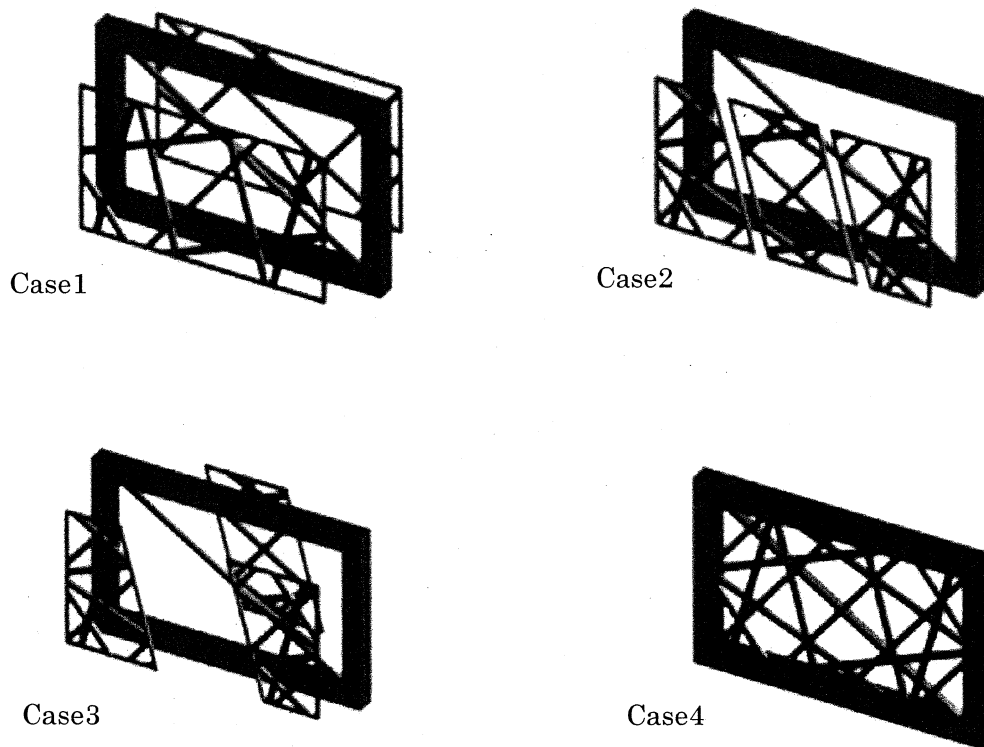


図 3-23 バウンドルーバーのグリッドタイプ

3.4.7 設計フロー

バウンドルーバーの設計フローを図 3-24 に示す。最初に座屈拘束ブレースを設計しブレースの断面形状を決定する。この断面形状を外付ルーバーの形状（見付幅）に引用する。次に、判別式を用いて運搬に最適な大きさにユニットを分割する。最後に日射遮蔽性を考慮し回転・重ね合わせを行いルーバーの開口率を決定する。

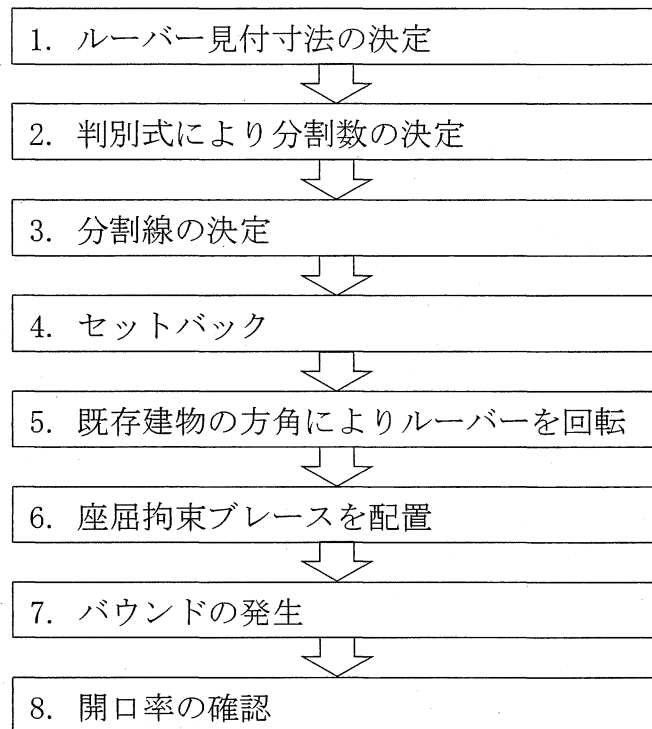
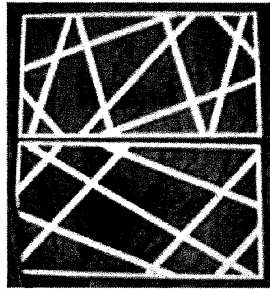
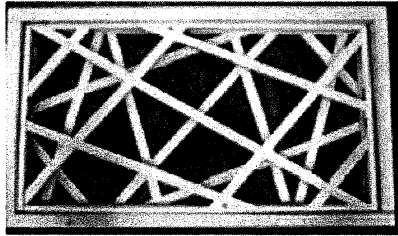


図 3-24 バウンドルーバーの設計フロー

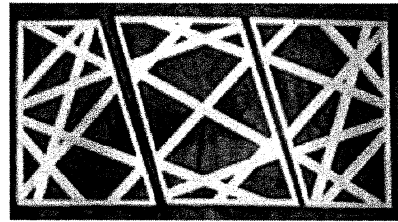
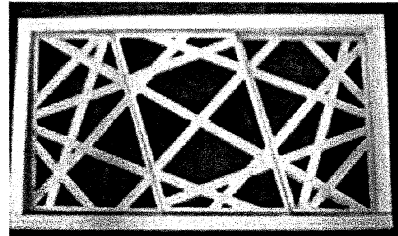
3.4.8 プロトタイプを検証

3.4.8.1 施工性の検証

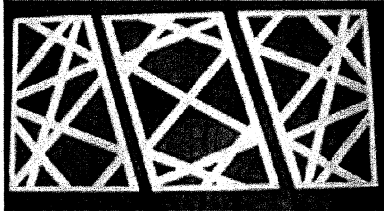
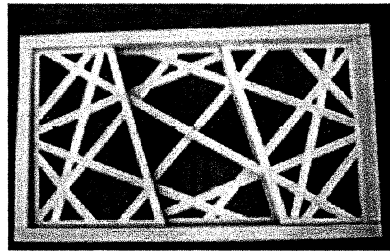
バウンドルーバータイプのプロトタイプを製作する。プロトタイプは分割式における係数 α を搬送車の高さ制限から 2.2m とし β は 0.27 とする。またユニットの開口率は 60%とする。ルーバーの回転量は南東・南西の設置面を想定する。図 3-25 にプロトタイプの実物（スケール 1/5）と取り付け例を示す。Case1 はユニットが大きくユニットの剛性が低下し作業性が悪い。運搬も不向きである。Case4 は、現場作業における作業スペースの確保や作業時間が現実的でない。Case2 及び Case3 が適切な施工法といえる。ここで Case2 は、一方向からの取り付けが容易で Case3 に比べ作業効率は良い。Case2 が最も現実的な施工法である。



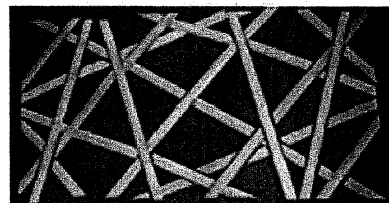
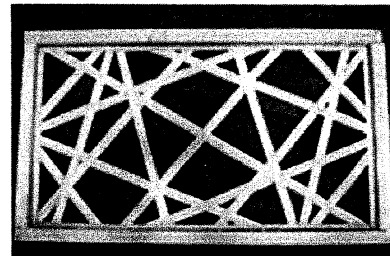
Case1



Case2



Case3



Case4

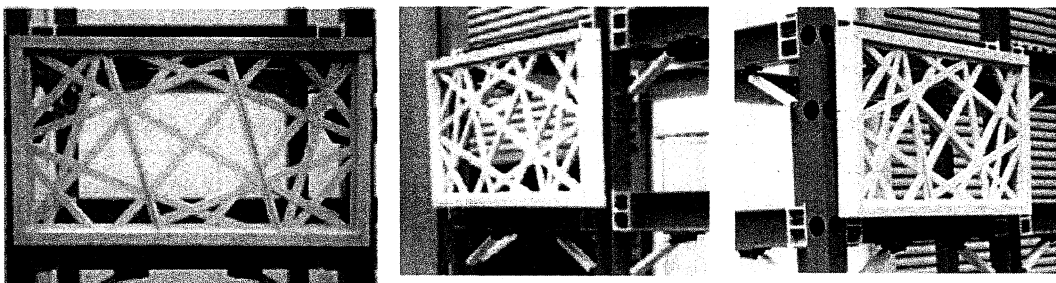


図 3-25 モックアップと取付け例

3.4.8.1 接合部の検証

図3-26に3種類の接合部を示す。接合部は最終的にアルミ材で覆い接合部位は露出しない。構成は芯材とアルミ製の押縁とし、押縁は内外から施工可能である。押縁は容易に取り外せ接合部の点検が可能である。以下に3タイプの接合部の特徴を示す。

Type1 : すべてのルーバーを鋼材としアルミ製押縁でカバーする。接合部はボルト接合する。

Type2 : ルーバーはアルミとし接合部のみ鋼材とする。接合部はボルト接合する。

Type3 : Type2と同様にルーバーはアルミとし接合部を溶接する。

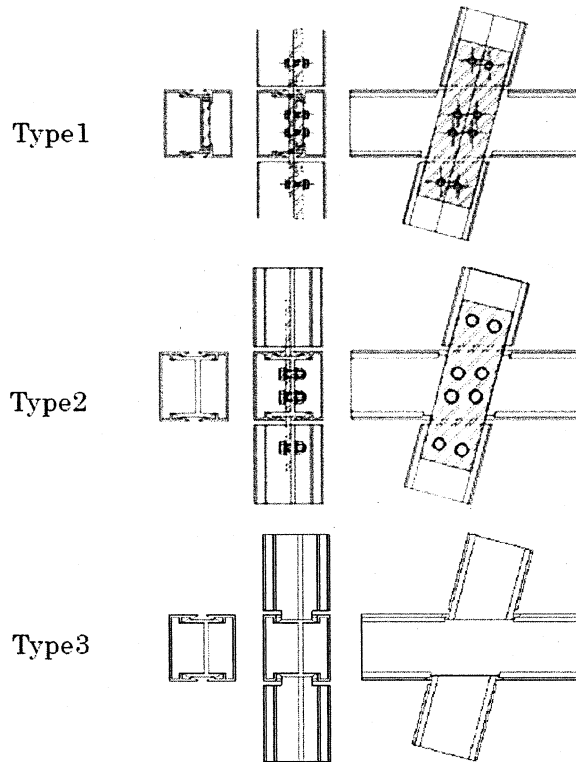
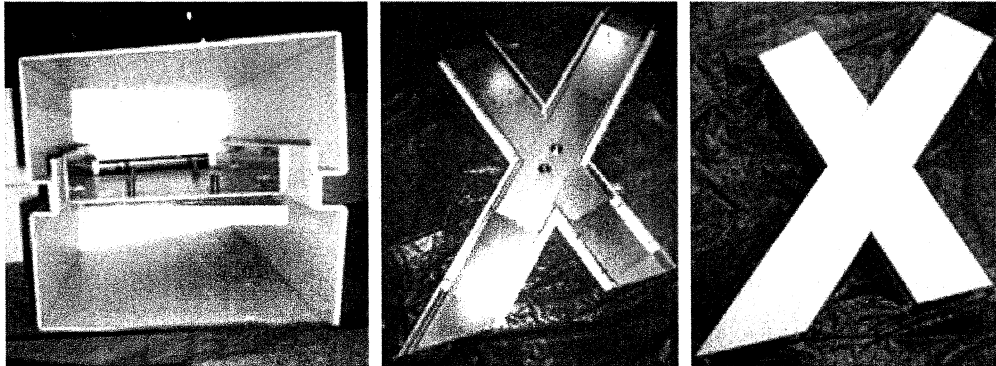


図 3-26 接合部

Type1 は鋼材の全面使用のため重量の増加が著しい。重く施工性が悪い。Type3 は、アルミの溶接に裏当て金が必要になる。溶接箇所の形状が複雑で現実的とはいえない。Type2 の妥当性を確認するためモックアップを製作する。図3-27に接合部のモックアップを示す。接合部のカバーは取り外しが容易で、ルーバーの継ぎ目も目立たず意匠性もよい。



断面

スチールプレート接合部

アルミカバー

図 3-27 接合部

3.5 まとめ

本章では統合ファサードの意匠面の評価を行った。統合ファサードは、外付ルーバーと耐震要素の統合を図り意匠性の向上を図る。意匠面の確認を行うため意匠アンケートを実施し、統合ファサードの意匠上の発展性を確認した。その結果、次の知見を得た。

- 1) 統合ファサードの外観は、耐震要素である座屈拘束ブレースと外付ルーバーの配置で決まる。
- 2) 座屈拘束ブレースの特徴である斜行配置に着目した斜行ルーバータイプ2タイプ（RタイプとCタイプ）の検証を行った。その結果、グッドデザイン賞を受賞したOタイプとほぼ変わらない評価を得た。意匠面からみると、斜行ルーバータイプも水平ルーバータイプ、縦ルーバータイプとともに統合ファサードとなりうる。
- 3) 斜行ルーバータイプは外観に方向性（右上がり、右下がり）があることから、外観の方向性を無くしたタイプであるバウンドルーバータイプを提案した。バウンドルーバータイプは、水平ルーバーと縦ルーバーおよび斜行ルーバーを組み合わせたタイプである。
- 4) 神奈川大学12号館への適用を前提にバウンドルーバータイプを含めた意匠アンケート調査を再度行った。その結果、バウンドルーバータイプについても高い評点を得た。意匠的な観点からは、斜行ルーバーと同様にバウンド

ルーバーも統合ファサードとなりうる。

- 5) バウンドルーバータイプの設計方針を示し適切なサイズでユニット化を行うことで製作工数の削減と接合部の簡略化を図った。設計方針に従い複数のプロトタイプを製作し設計方針の妥当性を確認した。
- 6) バウンドルーバータイプは、部材数及び接点数の多さから実現性が懸念される。そのため複数のプロトタイプを製作し、バウンドルーバータイプの施工性、生産性を確認した。この過程を通して実用的な製作方法を確認した。
- 7) 斜行ルーバータイプ及びバウンドルーバータイプは意匠上の評点も高く、また施工性、生産性の観点からも発展性がある方式であると結論付ける。

第三章の参考文献

- 1)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、第592号、pp97-104、2005.6
- 2)建築外装メカニズム読本、建築技術、1995.12
- 3)吉田倬朗：ガラス建築の設計手法、建築技術、1995.12
- 4)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
- 5)竹内徹、小谷野一尚、安田幸一、湯浅和博、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－統合ファサードの提案および性能評価－、日本建築学会環境系論文集、第601号、pp81-88、2006.3
- 6)宮崎健太郎、金木洋平、竹内徹、岡山俊介、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－その4 ブレース・ルーバー分離型ファサードの検討－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9
- 7)竹内徹、安田幸一、湯浅和博、岡山俊介、宮崎健太郎、岩田衛：統合ファサードによる既存不適格建物の耐震改修、日本建築学会技術報告集、第24号、pp161-166、2006.6
- 8)小谷野一尚：ファサードエンジニアリングの統合に関する研究－構法成立－、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2
- 9)金木洋平、宮崎健太郎、竹内徹、岡山俊介、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－その3 ブレース・ルーバー一体型ファサードの検討－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9
- 10)金木洋平、竹内徹、宮崎健太郎、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－統合ファサードの構造性能－、日本建築学会技術報告集
- 11)大島康昌、金木洋平、宮崎健太郎、竹内徹、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－一体型斜行配置ファサードの提案－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8
- 12)金木洋平、竹内徹、岩田衛、宮崎健太郎：ファサードエンジニアリングの統合に関する研究－一体型斜行配置ファサードの構造実験－、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8
- 13)金木洋平、彦根茂、山下哲郎、岩田衛：斜行配置座屈拘束ブレースによる耐震補強、日本建築学会構造系論文集、第73巻、第634号、pp2215-2222、2008.12

第四章

統合ファサードと環境（室内光環境）

- 4.1 はじめに
- 4.2 目的
- 4.3 斜行ルーバーの導入
- 4.4 実物大実験
- 4.5 光環境解析
- 4.6 他のルーバータイプへの展開
- 4.7 1/2 モデルによる実験
- 4.8 まとめ

第四章 統合ファサードと環境（室内光環境）

4.1 はじめに

本章では統合ファサードを設置した建物の室内光環境について検証を行う。統合ファサードは外付ルーバーの設置により自然光を反射するものである。これは日射遮蔽の効果がある反面、室内が暗くなるという懸念が生じる。しかしルーバーの配置によっては、自然光の反射を外部側への反射だけでなく室内側に取り込むことも可能ではないか。そのような外付ルーバーの配置が可能であれば、室内光環境の向上につながる。また、外付ルーバーの設置により眺望が犠牲になることもありうる。視界の確保ができないようであれば統合ファサードの設置は本末転倒である。本章では、このような統合ファサードの光環境に関する性能を実験による実測や解析によって検討する。

4.2 目的

統合ファサードは耐震要素である座屈拘束ブレースを環境装置兼用の構成材と位置づけ、更新時に耐震性及び環境性能を統合させ建物性能の向上を図るものである¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。室内光環境の検討は、まず斜行ルーバータイプを用いて行う。斜行ルーバータイプの実物大モックアップを製作し室内照度測定及び自然光解析を行う。室内光環境の検証により斜行ルーバータイプの性能を確認し設計への適用を図る。

4.3 斜行ルーバーの導入

世界有数の地震国である日本では既存建物の耐震改修が喫緊の課題であり、外周部にブレースを配置する補強が一般的に行われている。ブレースは構造要素として効率がよいことは言うまでもない。しかし建物外観に構造要素が単純に付加されるだけでは、既存ストックの性能向上及び魅力の再生には十分とはいえない。一方で環境に配慮したファサードには、写真4-1のようにルーバーを環境装置として利用する例が多く、高い環境性能を発揮し魅力ある景観を構成している⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。これらのルーバーは日射を遮蔽し室内への侵入熱量を低減する。図4-1に示すように外付ルーバーシステムは建物外部で日射の侵入を防ぐため、ダブルスキンのように内外の緩衝空間（キャビティ）で日射熱を排熱するシステムよりも遮熱性に優れる¹²⁾¹³⁾。

設計プロセスでは、ルーバーが適切な遮熱効果を発揮するように、方位や太陽高度から判断し、水平、縦型などのルーバー形状や設置間隔が調整される。一般には太陽高度が高い南面には水平ルーバーが、東面、西面には縦型ルーバーが設置される¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。本研究で提案する斜行ルーバーは、あまり例をみないもので

あるが、図4-2に示すように太陽高度が中庸の高さである南東、南西面に遮熱効果を発揮し長時間に渡り遮熱効果を期待できると考える。

一方でルーバーの設置により眺望が限定されることや室内照度が確保できないなどの問題から、ルーバーの実物件への適用を懸念されることが多い。ルーバータイプは遮熱性に優れるシステムでありながら導入されないことが多いのは、このような理由による。しかし写真4-2に示すように室内光環境については、ライトシェルフなど光を室内に取り込むシステムが提案されており、室内光環境を改善する環境装置もある。これらは主に欄間部に個別に設置される環境装置であり窓全面に設置されるものではない。統合ファサードのように日射遮熱効果を狙って窓面を含む外皮全体にルーバーが設置される場合とは異なる^{17) 18)}。提案する斜行ルーバータイプは窓面を含む外皮全面に外付ルーバーが設置されるものである。この斜行ルーバータイプについて実物大実験及び光環境解析を行い室内からの眺望や室内光環境を検証する。

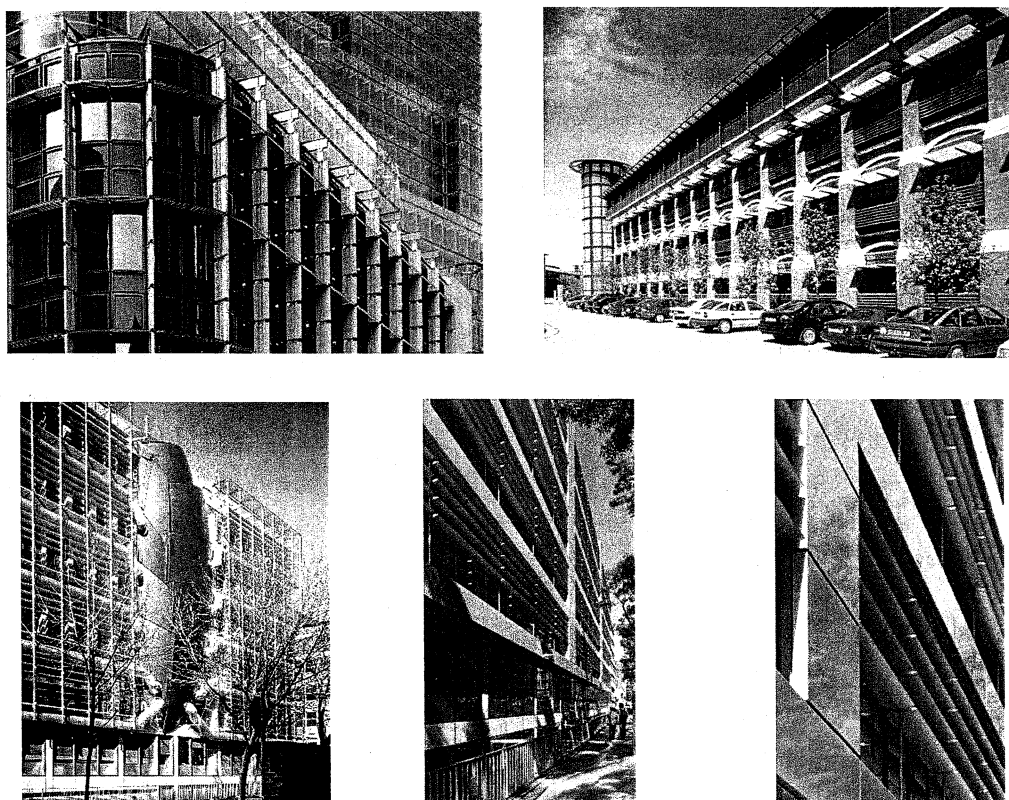


写真4-1 環境に配慮したファサード

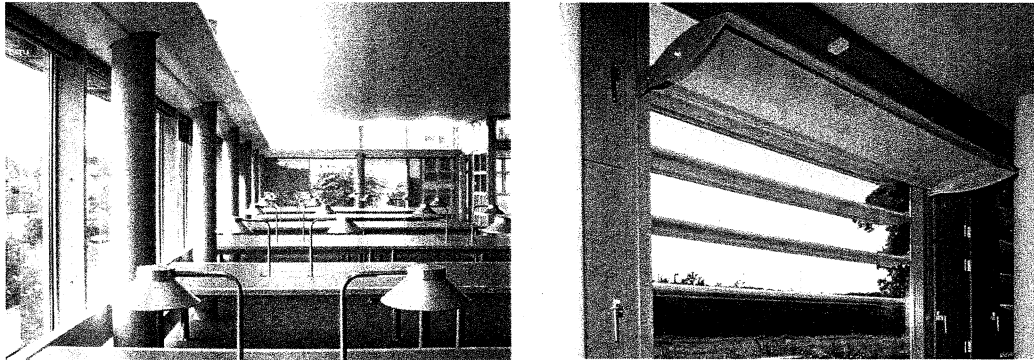


写真4-2 環境装置の導入例（ライトシェルフ）

	外付ルーバータイプ	ダブルスキントタイプ
概念図		
構成	外付ルーバー+シングルスキンの構成	アウターガラス+キャビティ+インナーガラスの構成
遮熱	外部側に設置されたルーバーにより室内への日射熱侵入を防ぐ	キャビティ内に外気を導入。ブラインドが吸熱し温度差換気により日射熱を除去

図4-1 環境配慮ファサードの遮熱メカニズム

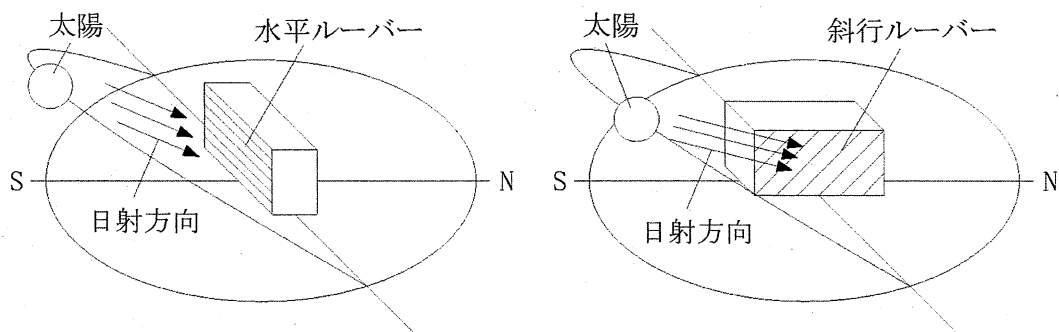
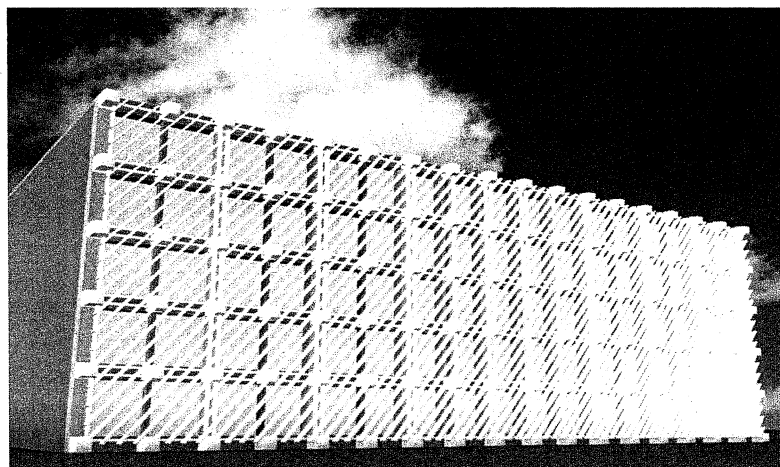


図4-2 ファサード方位と日射制御に有効なルーバータイプ

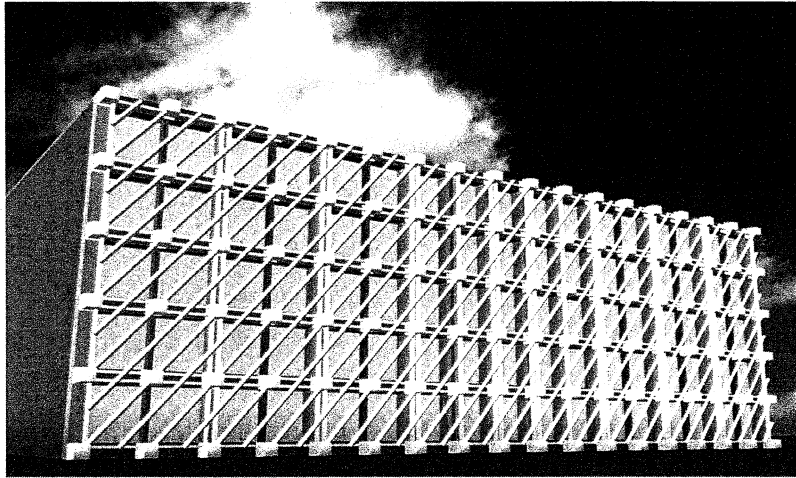
4.4 実物大実験

4.4.1 実験概要

既存建物の改修を想定し神奈川県12号館(北緯35.29度、東経139.37度)に適用する斜行ルーバーを検討する。図4-3に示すように斜行ルーバーはRタイプ、Cタイプの2タイプとする。ルーバー形状の決定にあたっては、ルーバーに座屈拘束ブレース(BRB(断面寸法100mm×100mm))を内挿することが考慮されている。Rタイプは断面が長方形でルーバーの妻面が外部側を向いている。Cタイプは断面が正方形で、ルーバーの角部を外部側に向けている。表4-1にRタイプ、Cタイプの建物1層分、柱1スパン分を取り出した実物大モックアップの外観とルーバー断面を示す。座屈拘束ブレースは全てのルーバーに内挿するわけではなく構造上必要なルーバーにのみ内挿する。この2種類の実物大モックアップを用いて照度測定を行う。



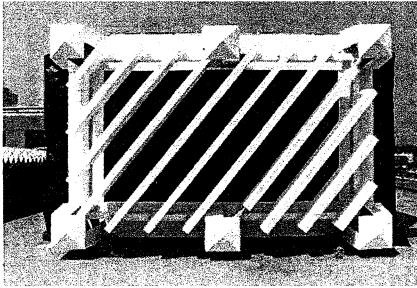
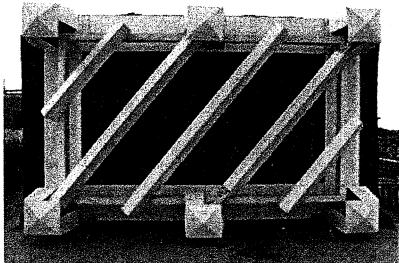
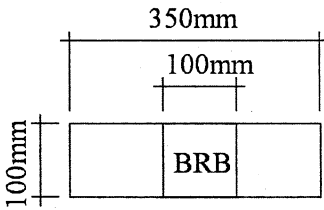
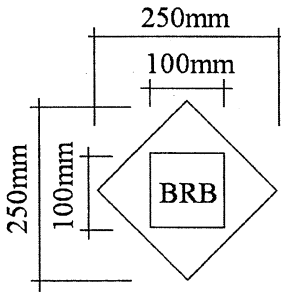
Rタイプ外観



Cタイプ外観

図 4-3 斜行ルーバーを設置したファサード

表 4-1 斜行ルーバー概要

	Rタイプ	Cタイプ
外観		
ルーバー断面	 <p>BRB: 座屈拘束ブレース</p>	 <p>BRB: 座屈拘束ブレース</p>

4.4.2 実物大モックアップ

図4-4に実物大モックアップの構成を示す。また図4-5に実物大モックアップの詳細寸法を示す。既存建物を想定した躯体枠に1次ファスナー、2次ファスナー、パネル枠を用いて斜行ルーバー及びブレースを接合する。斜行ルーバーはパネル枠に、ブレースは1次ファスナーによって取り付け、接合部にはカバープレートを取り付ける。モックアップは白色塗料を塗布し、躯体枠内側はつや消しの黒仕上げとする。昼光率による評価を行うため、実物大モックアップは、天空に対する障害物が少ない神奈川大学12号館屋上に北向きで設置する。設置環境及びモックアップの内観を写真4-3に示す。実物大モックアップは、建物内部のペリメータゾーンを想定し、幅4,400mm×奥行5,400mm×高さ3,450mmとする。

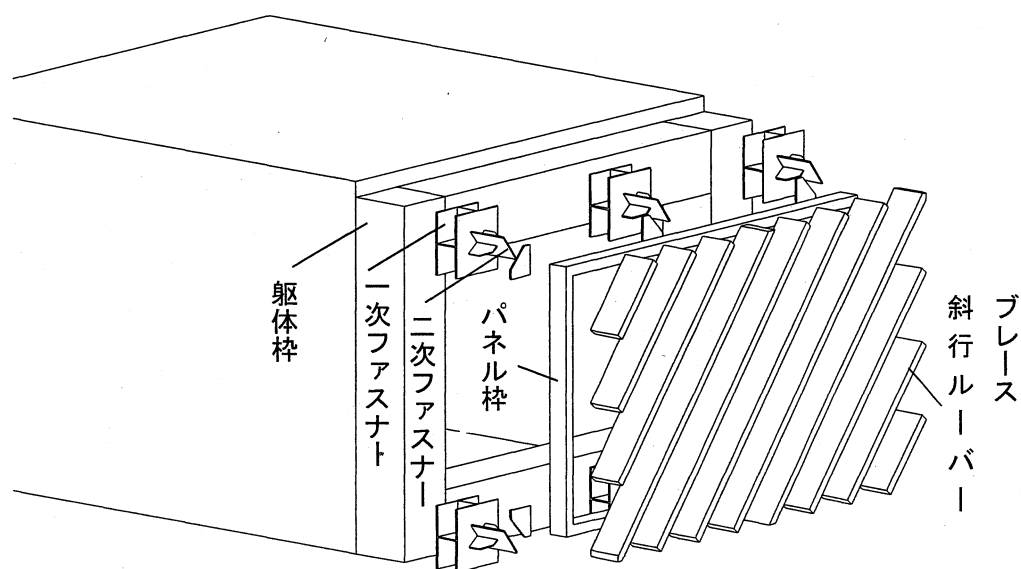
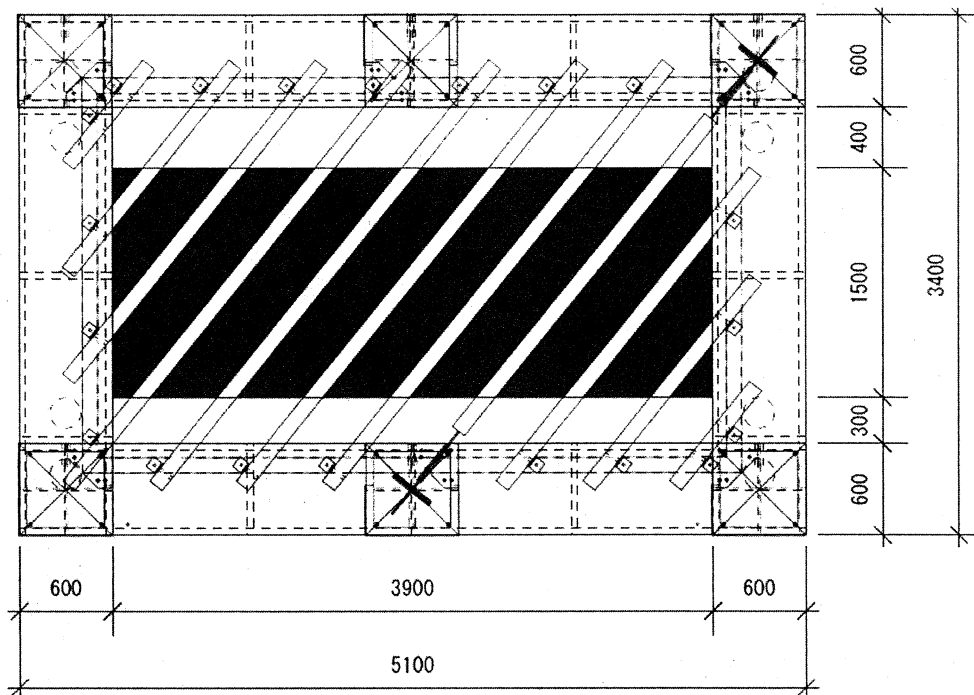
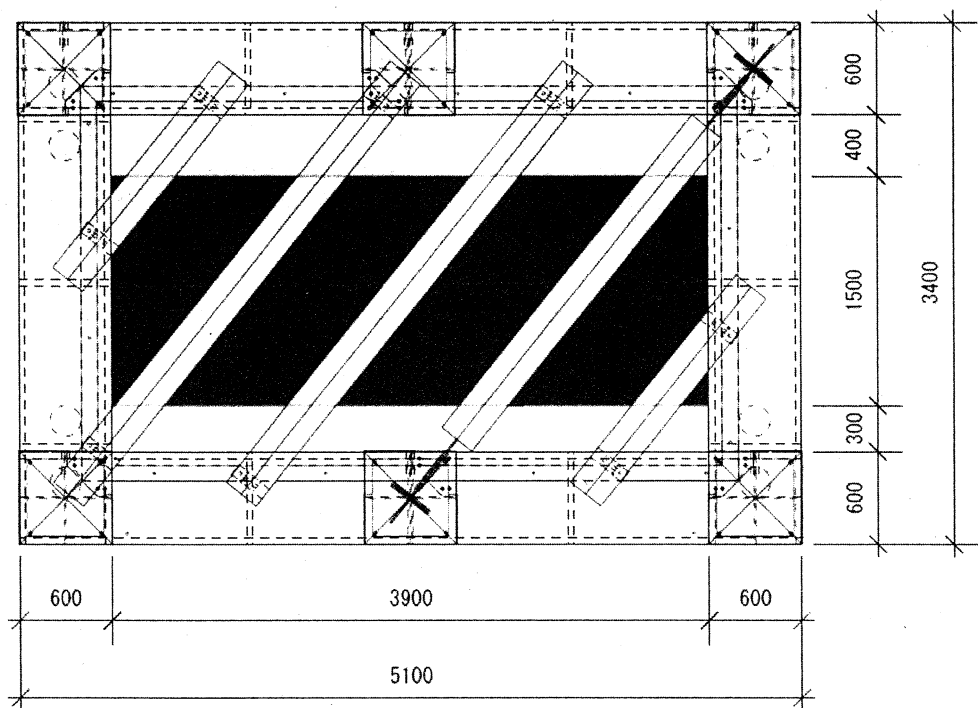


図4-4 実物大モックアップの構成

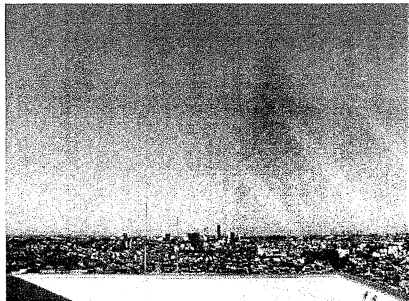


Rタイプの形状及び寸法 [単位：mm]

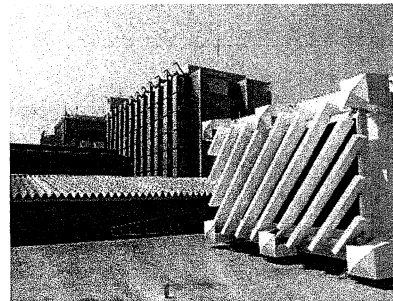


Cタイプの形状及び寸法 [単位：mm]

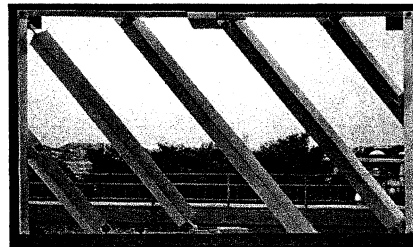
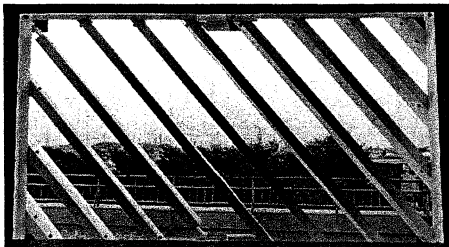
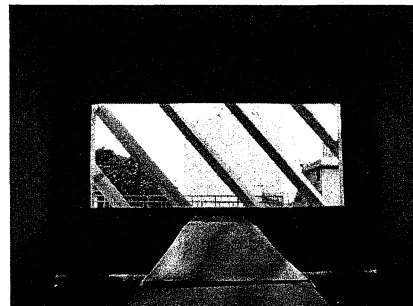
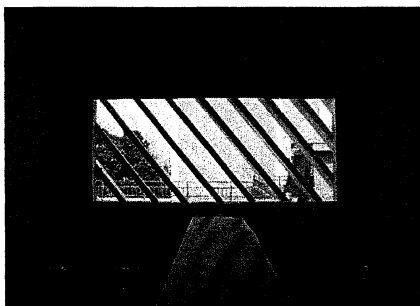
図 4-5 モックアップ立面図



屋上周辺環境（北面）



モックアップ周辺環境



a) R タイプ（内観）

b) C タイプ（内観）

写真 4-3 周辺環境及びモックアップ

4.4.3 実験条件

表 4-2 に実験条件を示す。実験では室内照度及び全天空照度を計測する^{19)20) 21)}。全天空照度は神奈川県 23 号館屋上で測定する。23 号館は神奈川県内で最も高い建物であり屋上には障害物が少ない。全天空照度は室内照度測定時と同時刻に測定する。写真 4-4 に全天空照度及び室内照度の測定環境を示す。写真 4-4 の台座中央に照度計を置き直射日光を遮蔽して計測する。直射日光の遮蔽には直径 100mm の鉄製円盤に径約 10mm の鉄製棒を取り付けて黒テープで覆ったものを遮蔽用具とし、受光部と円盤を 1m 以上離して受光部

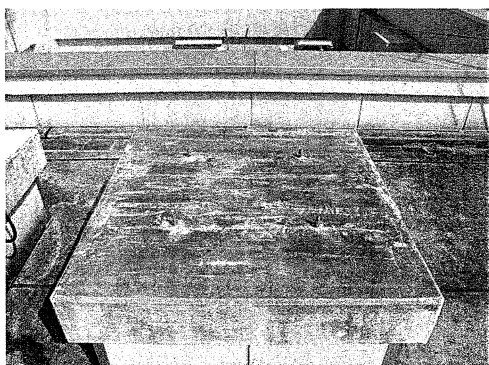
に影を落とすように支持する。なお影ができない曇天候では遮蔽用具は使用しない。

表 4-2 実験条件

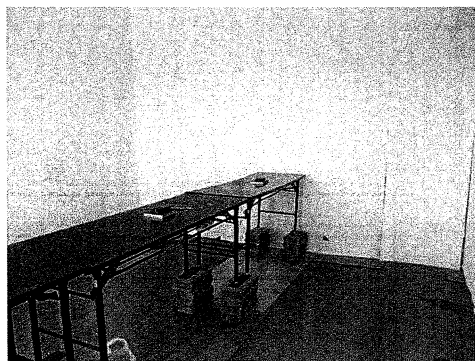
項目	照度計測条件 (外部環境)
天候	晴れ、または曇り
計測日時	ルーバーなし： 2008 3/18、19 Rタイプ： 2008 3/29、4/1 Cタイプ： 2008 3/22、27
計測場所	北緯 35.29 ° 東経 139.37° 全天空照度： 神奈川大学23号館屋上 室内照度： 神奈川大学12号館屋上
周囲環境	全天空照度： 神奈川大学23号館屋上 (写真4) 室内照度： 神奈川大学12号館屋上 (写真4)
計測機器	全天空照度、室内照度 デジタル照度計： TOPCON IM-2D レンズ： IM-2D用倍率フィルタ (10M)
計測間隔	全天空照度：室内照度： 9時から15時まで1時間毎に計測

項目	実大モックアップ条件 (計測室)
形状/寸法	幅4,400mm x 奥行5,500mm x 高さ3,450mm
開口方位	北面
開口寸法	幅3,900mm x 高さ1,500mm 腰壁900mm, 垂壁1,000mm
天井仕上	白色紙貼： N9.3
壁仕上	白色紙貼： N9.3
床仕上	コンクリート： N5.5
開口仕上	開口： ガラスや建具などの嵌め込みなし

項目	実大モックアップ条件 (ルーバー)
形状/寸法	Rタイプ： (図5上図)
	Cタイプ： (図5下図)
取り付け間隔	Rタイプ： @562.5mm (スパン/8)
	Cタイプ： @1125mm (スパン/4)
採光面の遮蔽率	Rタイプ： 22.68%
	Cタイプ： 28.76%
ルーバー仕上	白色塗装： N9.3
ルーバー取付枠	木製： 断面矩形 100mmx200mm
取付枠仕上	白色塗装： N9.3



全天空照度測定



室内照度測定

写真 4-4 測定位置の周辺環境

4.4.4 測定計画

昼光率は照度計によって照度を測定するものと魚眼レンズを用いた写真撮影によって立体角投射率を測定するものの2種類とする。室内照度測定点を図4-6に示す。測定点における室内照度は、2日間9時から15時まで1時間ごとに測定する。また窓面開口部に対する測定点からの立体角投射率についても、それぞれの場合で1回ずつ測定する。測定値より毎時の昼光率を求めるとともに、2日間の平均値を算出する。魚眼レンズによる写真撮影ではデジタルカメラ Nikon COOLPIX4500 に Nikon Fisheye converter FC-E8 を装着し、照度測定を行った地点で撮影する。魚眼レンズのふちが測定高さ 1,025mm となるように調整して撮影し、撮影画像は SPCONV²²⁾ を用いて立体角投射率を求める。

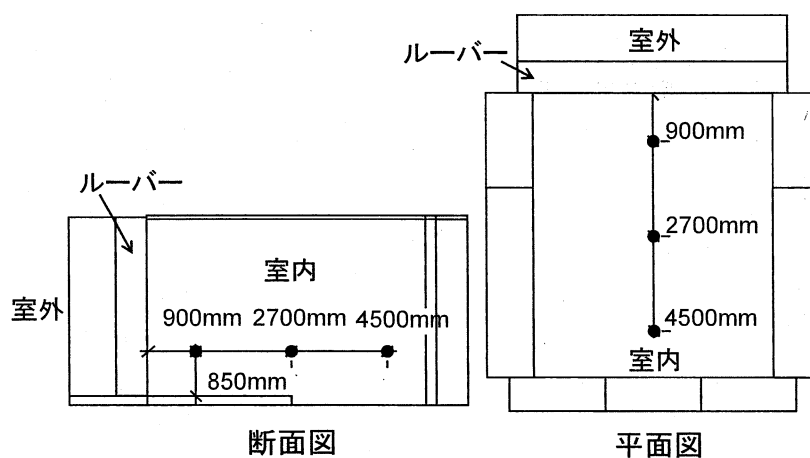


図 4-6 室内照度測定点

4.4.5 実験結果

表4-3および表4-4に照度の測定結果および測定結果から算出した昼光率を示す。また測定点ごとに昼光率をプロットしたものを図4-7に示す。表4-5は実験結果のまとめである。

昼光率は天空光に対して室内で得られる明るさを示す指標である。一般には既存建物にルーバーを新設する場合、ルーバーの遮光により室内が暗くなる印象がある。しかし測定結果をみると必ずしもルーバーの設置によって室内の明るさが低減するとは言えない。ルーバーが設置されても室内が明るくペリメータ空間の光環境を改善する場合もある。窓際から4,500mm離れた位置では、ルーバーを設置した場合でもルーバーなしとほぼ同様の明るさを示している。またルーバーが設置される場合は、窓際から900mmと4,500mmの昼光率の差がルーバーなしと比べて小さく、ペリメータ空間の照度差が抑えられている。照度差が抑えられることによって人間に与える不快感は軽減される^{23)~25)}。

魚眼レンズを用いた測定による直接昼光率は窓面開口部から直接得られる天空光の割合を示す。これは周辺環境による光の反射や拡散によって測定点の明るさが変化しても影響を受けない指標である。図4-7に示す直接昼光率と計測照度による昼光率の差が間接昼光率である。実験から得られる間接昼光率は内壁やルーバーの反射光による影響を示すものである。間接昼光率は窓際から2,700mm及び4,500mmにおいては、ルーバーなしに比べてルーバーを設置したほうが大きい。これはルーバーによって直接光の成分は低減するが、ルーバーの設置により間接光によって室奥まで明るくなるためといえる。Rタイプ、Cタイプともに、この傾向がみられる。写真4-3に示すRタイプ、Cタイプの内観からも、ルーバーが天空光を受けて光を反射し拡散させている状況が分かる。また、Cタイプはルーバーの設置間隔が広く視線が外へ抜けるため、ルーバーの設置による閉塞感も軽減されている²⁶⁾。

表 4-3 測定結果 (照度 lx, 昼光率%)
1 日目測定結果

ルーバー無
1 日目

	900mm	2700mm	4500mm	全天空
9:00	2560	1472	957	16470
10:00	3090	1570	1069	25200
11:00	3250	1633	1141	32500
12:00	3240	1635	1155	34400
13:00	3300	1704	1203	32900
14:00	3300	1666	1095	30800
15:00	3170	1500	997	25400
平均	3130	1597	1088	28239

昼光率		
15.5	8.9	5.8
12.3	6.2	4.2
10.0	5.0	3.5
9.4	4.8	3.4
10.0	5.2	3.7
10.7	5.4	3.6
12.5	5.9	3.9
11.1	5.7	3.9

ルーバー無
2 日目

9:00	4460	1491	816	27400
10:00	4500	1811	1057	37100
11:00	2190	811	484	9020
12:00	839	295	164	5280
13:00	1620	602	338	10770
14:00	551	208	121	4140
15:00	992	339	181	5390
平均	2165	794	452	14157

16.3	5.4	3.0
12.1	4.9	2.8
24.3	9.0	5.4
15.9	5.6	3.1
15.0	5.6	3.1
13.3	5.0	2.9
18.4	6.3	3.4
15.3	5.6	3.2

Rタイプ
1 日目

9:00	2275	1133	776	20200
10:00	2460	1268	871	24600
11:00	2570	1356	980	25300
12:00	3340	1557	1077	40800
13:00	3130	1498	1010	39100
14:00	2590	1225	888	35700
15:00	3150	1477	939	26800
平均	2788	1359	934	30357

11.3	5.6	3.8
10.0	5.2	3.5
10.2	5.4	3.9
8.2	3.8	2.6
8.0	3.8	2.6
7.3	3.4	2.5
11.8	5.5	3.5
9.2	4.5	3.1

表 4-3 測定結果 (照度 lx, 昼光率%)
2 日目測定結果

R タイプ 2 日目		900mm	2700mm	4500mm	全天空	昼光率		
	9:00	1603	884	653	11210	14.3	7.9	5.8
	10:00	1658	928	682	12770	13.0	7.3	5.3
	11:00	1632	928	704	11970	13.6	7.8	5.9
	12:00	1639	914	706	12900	12.7	7.1	5.5
	13:00	1730	1042	695	12300	14.1	8.5	5.7
	14:00	2440	939	756	20200	12.1	4.6	3.7
	15:00	2150	1059	777	18900	11.4	5.6	4.1
	平均	1836	956	710	14321	12.8	6.7	5.0
C タイプ 1 日目	9:00	1986	1093	772	15400	12.9	7.1	5.0
	10:00	1975	1118	785	17700	11.2	6.3	4.4
	11:00	1984	1149	833	18600	10.7	6.2	4.5
	12:00	2030	1147	832	19700	10.3	5.8	4.2
	13:00	2180	1227	879	20700	10.5	5.9	4.2
	14:00	2210	1211	860	19200	11.5	6.3	4.5
	15:00	2340	1216	831	17530	13.3	6.9	4.7
	平均	2101	1166	827	18404	11.4	6.3	4.5
	C タイプ 2 日目	9:00	3610	1354	837	35800	10.1	3.8
10:00		4450	1688	1015	48400	9.2	3.5	2.1
11:00		3950	1426	886	46800	8.4	3.0	1.9
12:00		1981	1146	847	16520	12.0	6.9	5.1
13:00		2220	1231	902	17140	13.0	7.2	5.3
14:00		3490	1561	998	26000	13.4	6.0	3.8
15:00		2890	1255	780	13280	21.8	9.5	5.9
平均		3227	1380	895	29134	11.1	4.7	3.1

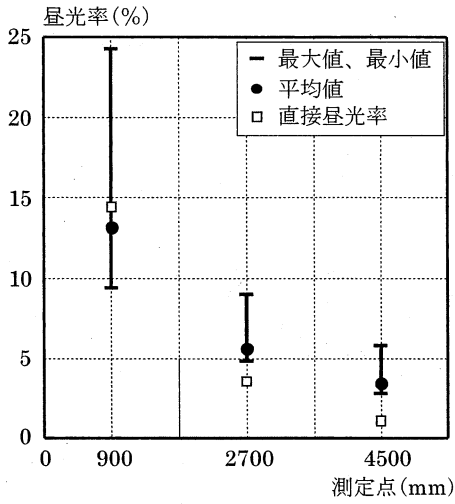
表 4-4 昼光率の平均値及び最大, 最小値 (%)

900mm	2700mm	4500mm	900mm	2700mm	4500mm	900mm	2700mm	4500mm
2日間平均(昼光率)			2日間平均(昼光率)			2日間平均(昼光率)		
13.2	5.6	3.5	11.0	5.6	4.0	11.2	5.5	3.8
2日間最大値			2日間最大値			2日間最大値		
24.3	9.0	5.8	14.3	8.5	5.9	21.8	9.5	5.9
2日間最小値			2日間最小値			2日間最小値		
9.4	4.8	2.8	7.3	3.4	2.5	8.4	3.0	1.9

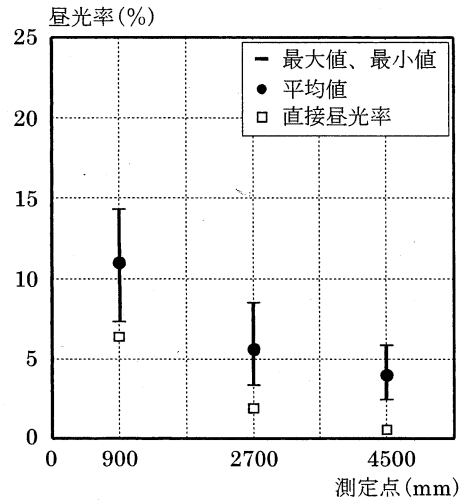
ルーバーなし

Rタイプ

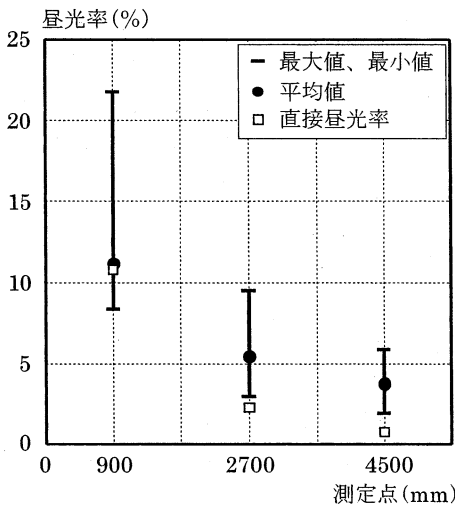
Cタイプ



ルーバーなし



Rタイプ



Cタイプ

図 4-7 測定結果 (昼光率%)

表4-5 実験結果まとめ

測定位置	昼光率（平均値）の特徴	昼光率（平均値）と直接昼光率の差
900mm	ルーバーなしが最も高くRタイプが最も低い。	ルーバーなし、Cタイプでは、昼光率（平均値）が直接昼光率と同じであるが、ルーバーが多いRタイプでは上回る。
2,700mm	どの場合も大きな差はない。	どの場合も昼光率（平均値）が直接昼光率を上回る。
4,500mm	ルーバーなしの場合よりもルーバーありの場合が高い。	どの場合も昼光率（平均値）が直接昼光率を上回り、ルーバーありの場合は差が大きい。

4.5 光環境解析

4.5.1 解析条件

実験値と解析値の整合性を検討するため光環境解析を行う。光環境解析には解析ソフト **Radiance** を使用する。**Radiance** はカルフォルニア州ローレンス・バークリー研究所で開発された照度可視化システムである。表4-6に解析条件を示す。また図4-8に解析モデルを示す。**Radiance** では、実測点からランダムに光線を飛ばし、光源に到達した光線をもとにモンテカルロ法にて解析を行う。より多くの光線数を設定すれば、より正確な結果が得られる。本研究では、室形状が矩形であるため解析時間も少ないと考え、光線数は設定最高値の4096本とする。また、光線が光源に到達するまでの室内における反射についても反射回数を設定最高値の8回とし解析を実施する。

表4-6 解析条件

天空設定	CIE標準曇天空 全天空照度 15,000lx
周囲環境	周囲に障害物なし
光線数	4096本（最大値）
反射回数	8回（最大値）
室内形状／寸法	幅4,700mm x 奥行5,500mm x 高さ3,475mm
開口方位／寸法	北面／幅3,900mm x 高さ2,200mm
天井／壁及びルーバー／取付枠仕上	オフホワイトペイント R 0.691 G 0.696 B 0.615 （反射率68.8%）
床仕上	コンクリート R 0.244 G 0.194 B 0.145 （反射率20.3%）
開口仕上	ガラスや建具などの嵌め込みなし

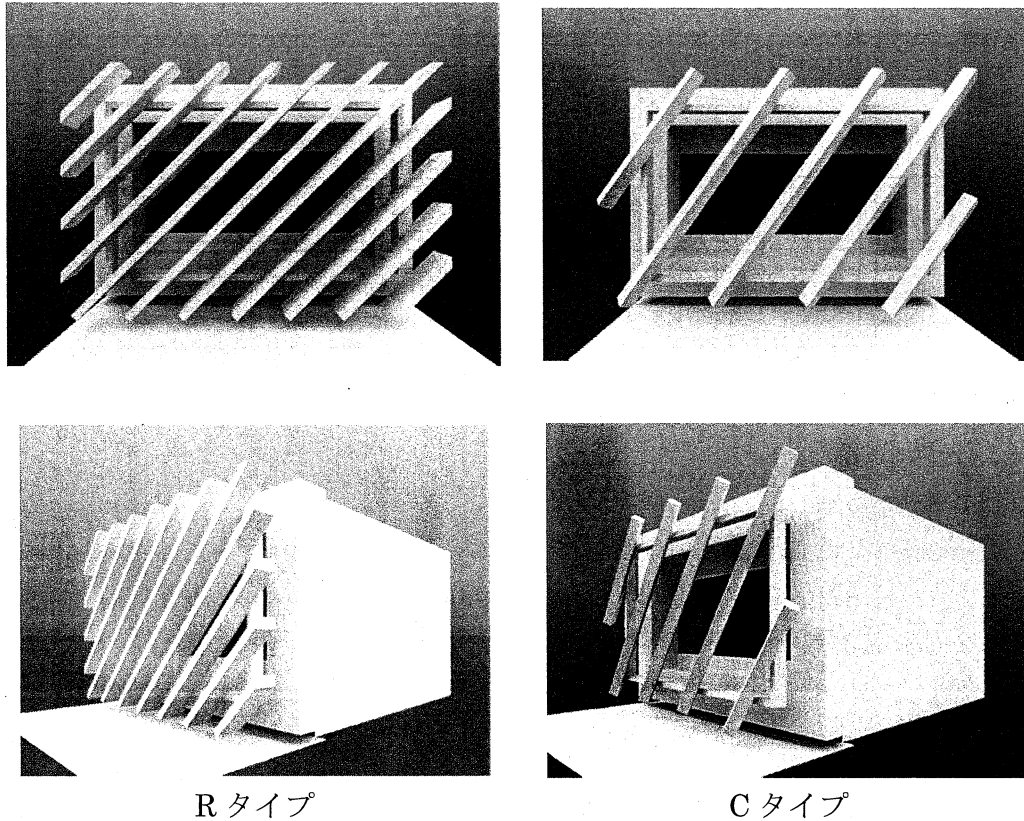
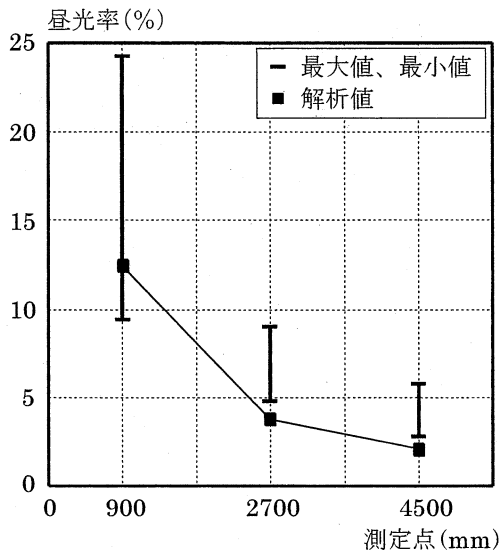


図 4-8 室内照度解析モデル

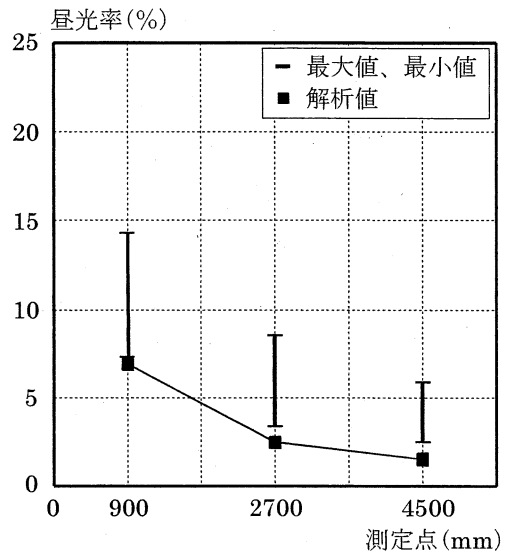
4.5.2 測定値との比較

図 4-9 に測定値と解析値の昼光率の比較を示す。解析値は測定値より低い値を示すものの、よい相関を示すことが分かる。斜行ルーバーの実例は類をみないものであるが、設計段階において事前に解析検討を行うことにより信頼性のある評価が可能といえる。

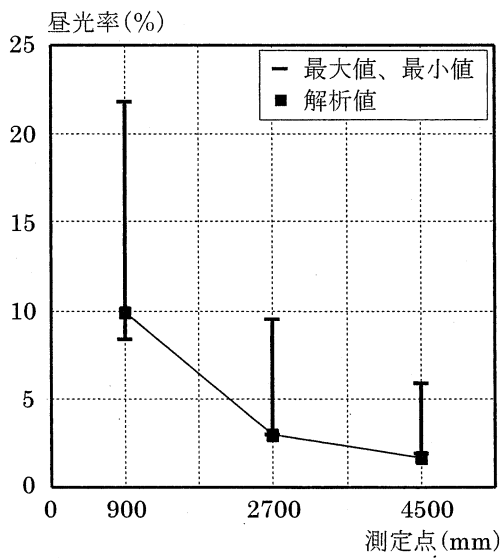
また斜行ルーバーを配置した統合ファサードの室内照度分布を図 4-10 に示す。斜行ルーバーを配置する場合は、斜行ルーバーが無い場合よりも室内照度分布に若干偏りがみられるが、C タイプでは照度分布にほとんど偏りがみられず、ルーバーの形状や取り付けピッチを調整することにより照度の偏りは十分に改善される。



ルーバーなし



Rタイプ



Cタイプ

図 4-9 測定値と解析値の比較 (昼光率%)

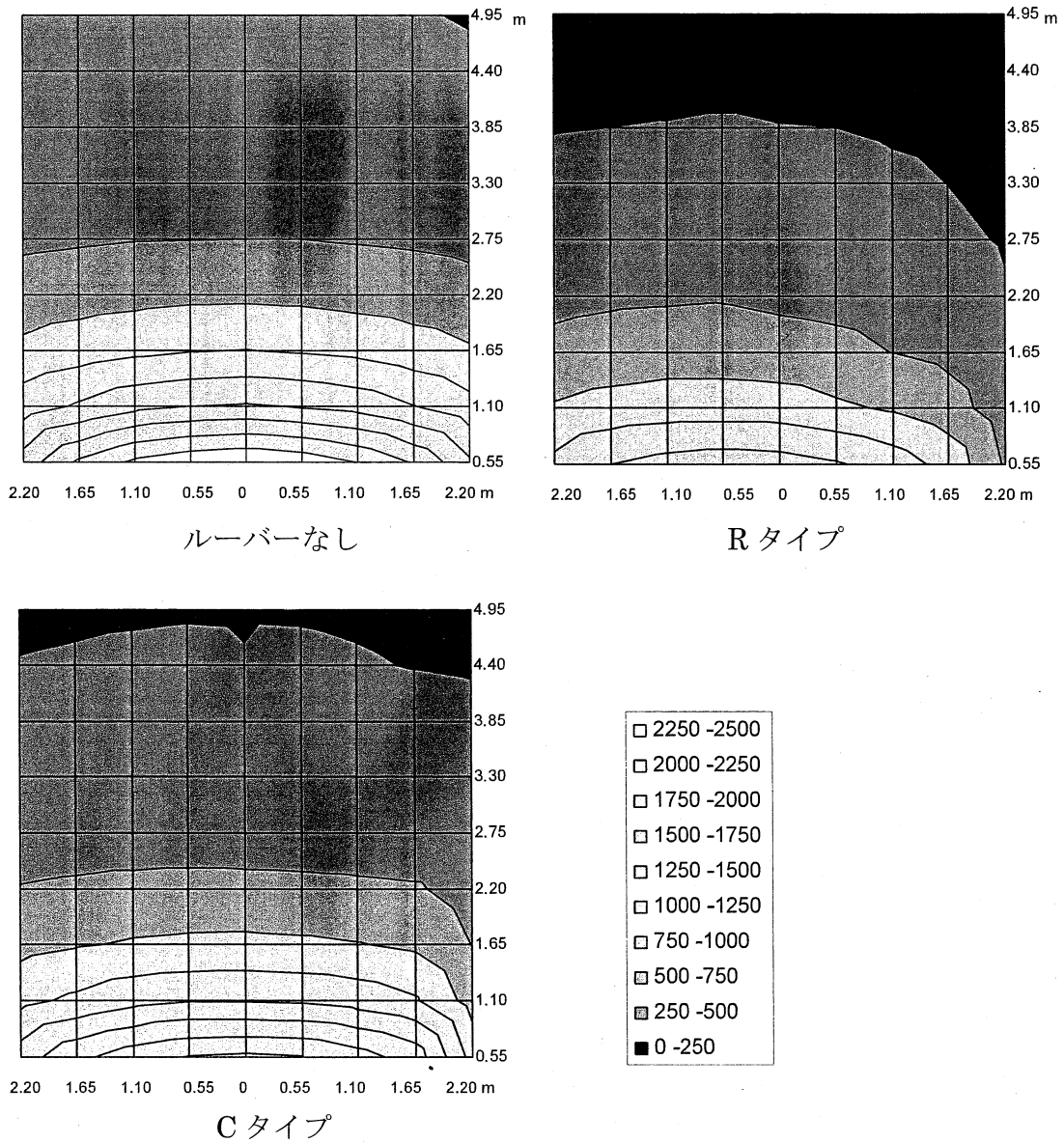


図 4-10 室内照度分布 (解析値 1x)
 縦軸: 窓面からの距離、横軸: 窓面中心軸からの距離

4.6 他のルーバータイプへの展開

斜行ルーバータイプを用いた実大実験の結果を他のルーバータイプに展開する。各ルーバータイプの実験模型を製作するにあたり、はじめに斜行ルーバータイプの 1/2 サイズのモックアップを作成する。この 1/2 サイズのモックアップを

用いて室内光環境の測定を行い前述の実物大模型の実験結果と比較する。この比較において1/2モデルによる実測値の妥当性が証明できれば、他のルーバータ
イプについても1/2サイズのモックアップを製作し評価することができる。ここ
で実物大模型の実測は、内壁をベニヤ張りとし壁紙を張り替えて再度測定を行
う。図4-11に実験模型（実物大モデルと1/2スケールモデル）のモックア
ップを示す。

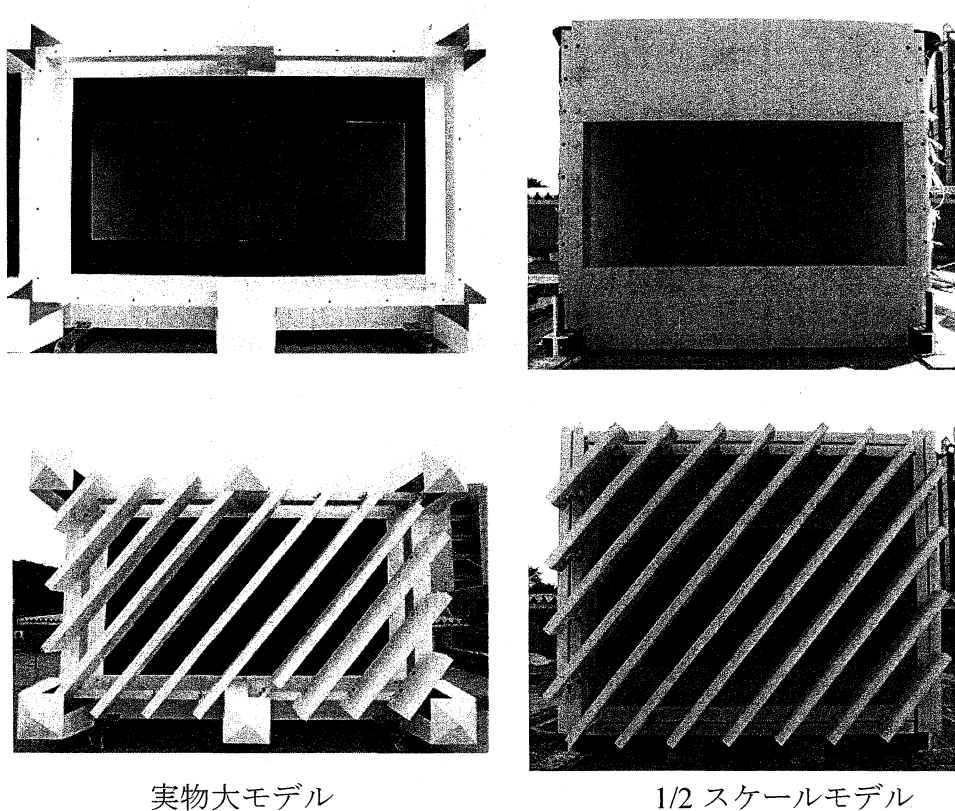


図4-11 モックアップ

図4-12に実験結果より算出した昼光率を示す。実験結果を比較すると外部環境の影響を最も受けやすい窓面近傍(450mm)で平均昼光率に若干の違いが見られた。しかしその他については高い相関を示している。室内中央の計測点(1,350mm)、室奥(2,250mm)の計測点においては、最大、最小、平均昼光率の全ての値において、実物大モデルと1/2スケールモデルは、ほぼ同様の傾向となる。このことから北面に向けたモックアップを用いた照度測定においては、1/2モデルの実験結果を実物大モデルの結果として評価することは妥当といえる。

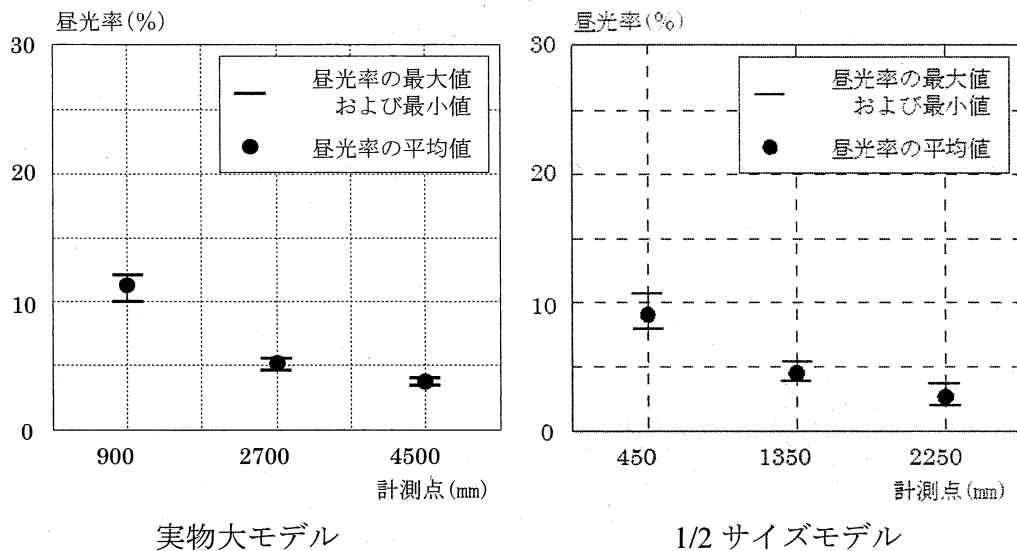


図 4-12 実験結果 (昼光率%)

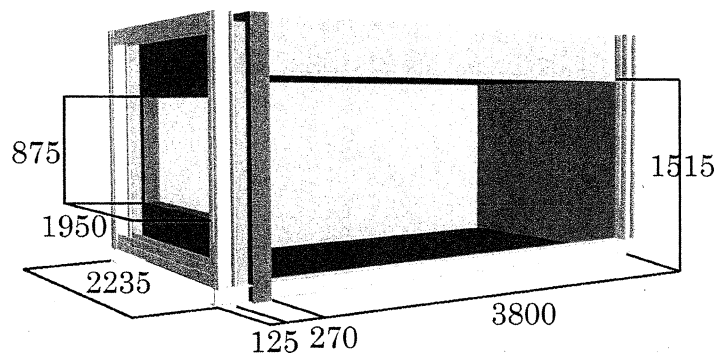
4.7 1/2 モデルによる実験

4.7.1 実験モデルの設定

照度測定実験に用いる 1/2 スケールモデルのモックアップ概要を図 4-13 に示す。モックアップは想定建物 1 スパンの 1/2 サイズのモデルである。写真 4-5 に測定に用いるルーバータイプ 3 種類を示す。モックアップの仕上げは、室内壁面、ルーバー支持枠およびルーバーを同一の白色塗料とし躯体枠内側は灰色塗料を塗布する。

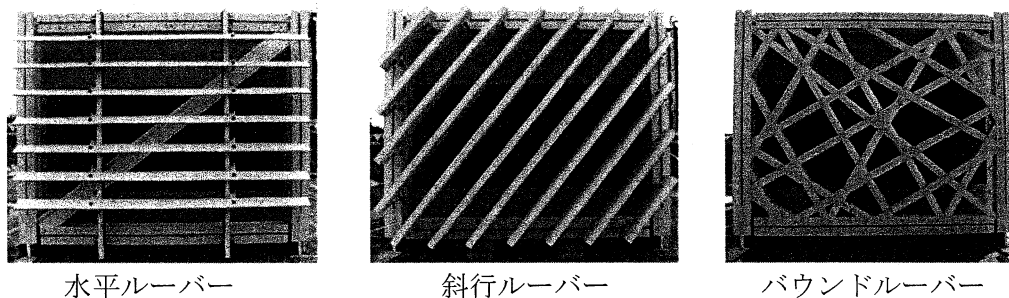
照度の測定は、ルーバーの形状、間隔、反射率等の他に、天空の輝度分布の影響を考慮する必要がある。しかし、天空の輝度分布は、日時、天候により変化する。数日間に渡る計測を行う場合に同一の実験条件を揃えることは困難である。そこで直射光による輝度分布の変化が大きい南面を避け北面に開口を設ける。このことで輝度分布の変化が測定に与える影響を極力抑えることができる。

モックアップの設置場所は、実物大実験と同様に天空に対する障害物の少ない神奈川大学 1 2 号館の屋上とする。測定は各タイプ 2 日間とし 9 時から 15 時にかけて 1 時間毎に行う。開口から 450mm、1,350mm、2,250mm 離れた位置で床上 425mm の高さの照度を測定する。全天空照度は神奈川大学 1 2 号館の屋上で計測する。



桁行 : 1950mm(室内寸法)
 奥行 : 3800mm(室内寸法)
 高さ : 1515mm(室内寸法)
 開口部 : 1950mm×875mm

図 4-13 1/2 実験モックアップ概要



水平ルーバー

斜行ルーバー

バウンドルーバー

写真 4-5 1/2 実験モックアップ概要

4.7.2 照度測定結果

全天空照度が 15,000lx~30,000lx の間に得られた実験データを昼光率に変換する。図 4-14 に昼光率を示す。また、同時に行ったルーバーなしの実験データをグラフ上に直線で示す。

ここで、JIS では、事務所、学校の照度基準を 1500lx~30lx に設定している。この照度基準の範囲を昼光率に換算すると、全天空照度が 15000~30000lx においては、昼光率は 10%~0.1%となる。ルーバーなしの昼光率の平均値は、窓面から 450mm の位置において基準値を大きく越え 20%となっている。現実にはブラインド等を用いた対策が必要である。一方、ルーバーを用いた場合には、各タイプとも 450mm 位置において昼光率を 10%程度に抑えられており、良好な昼光制御がなされている。また、2,250mm 位置の昼光率を比較すると、斜行ルー

バータイプの昼光率の最大値がルーバーなしの平均値を上回っている。これは実物大実験時にもみられた傾向である。ルーバーを設置した場合、必ずしも室内の昼光率が低下するとは限らず、場合によってはルーバーなしと同等以上の昼光率が得られる。

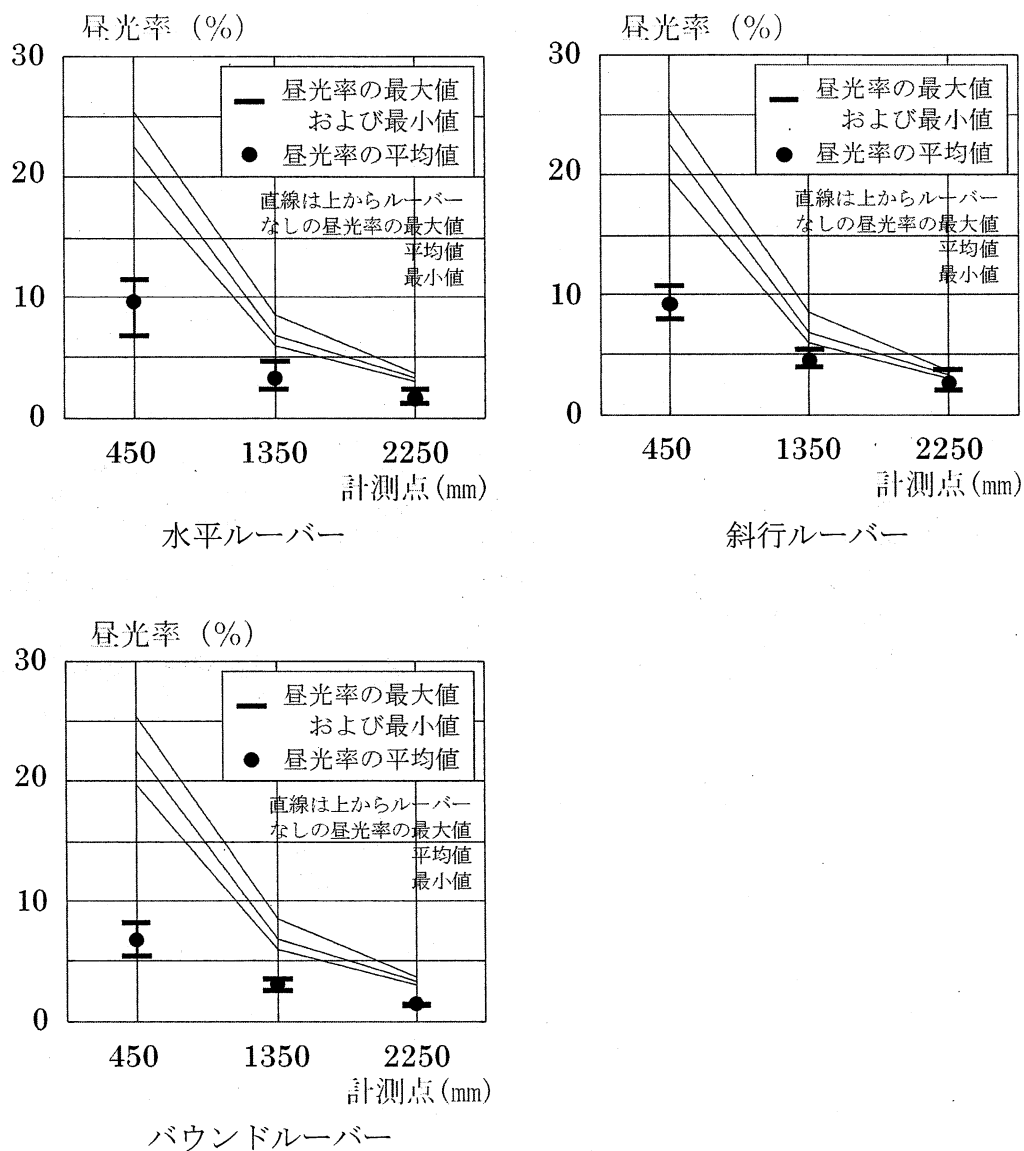


図 4-14 照度測定結果

4.7.3 実験値と解析値の比較

製作したモックアップのルーバー形状や材質を踏まえて光環境解析を行い、実験値との比較を行う。光環境解析には解析ソフト Radiance を使用する。Radiance では、実測点からランダムに光線を飛ばし、光源に到達した光線をもとにモンテカルロ法にて解析を行う。より多くの光線数を設定すれば、より正確な結果が得られる。そのため実物大模型での解析条件と同様に、光線数は設定最高値の 4096 本とする。また、光線が光源に到達するまでの室内における反射についても設定最高値の 8 回とする。図 4-15 に解析モデルを示す。

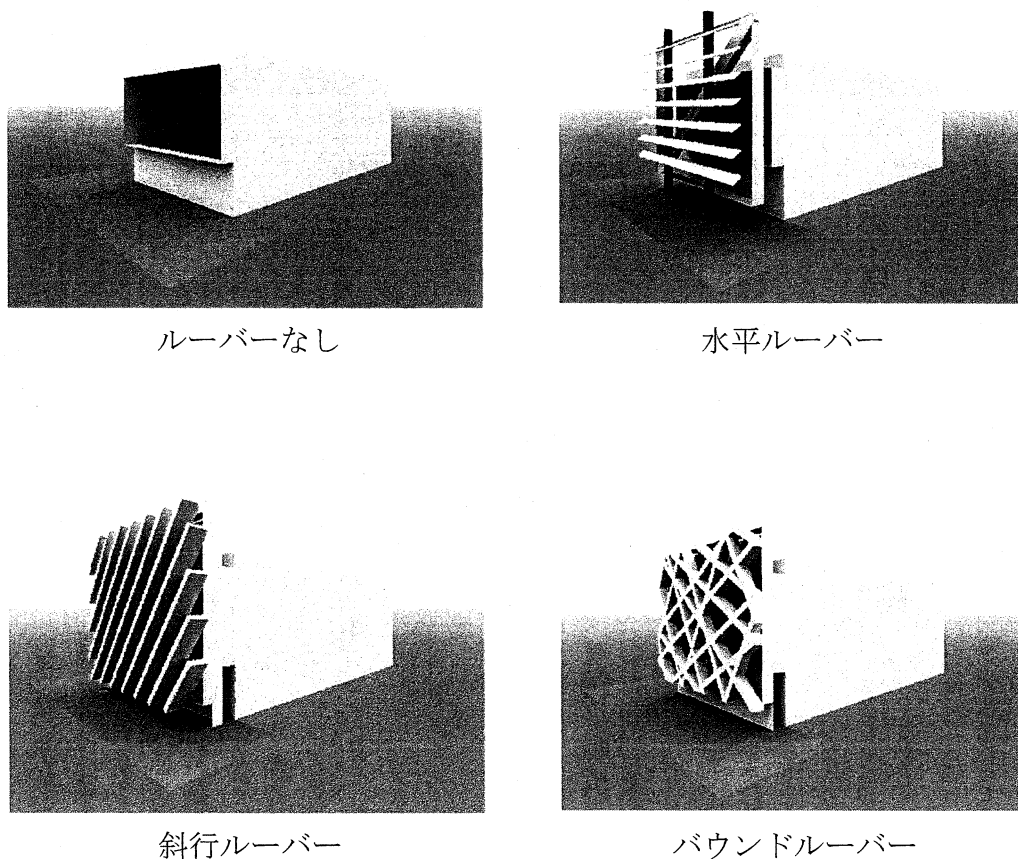


図 4-15 解析モデル

実験値と解析値の比較を図4-16に示す。また、室内の昼光率分布を図4-17に示す。実験値と解析値を比較すると、ルーバーなしと斜行ルーバーに若干の違いが見られるが、両者は概ね一致した結果を示す。なかでも水平ルーバーとバウンドルーバーは、実験値と解析値の差が10%以内である。解析において実験値をよく再現できている。このことから直射光の影響を受けない条件では、室内照度を解析値で評価することで信頼性の高い結果を得ることができる。

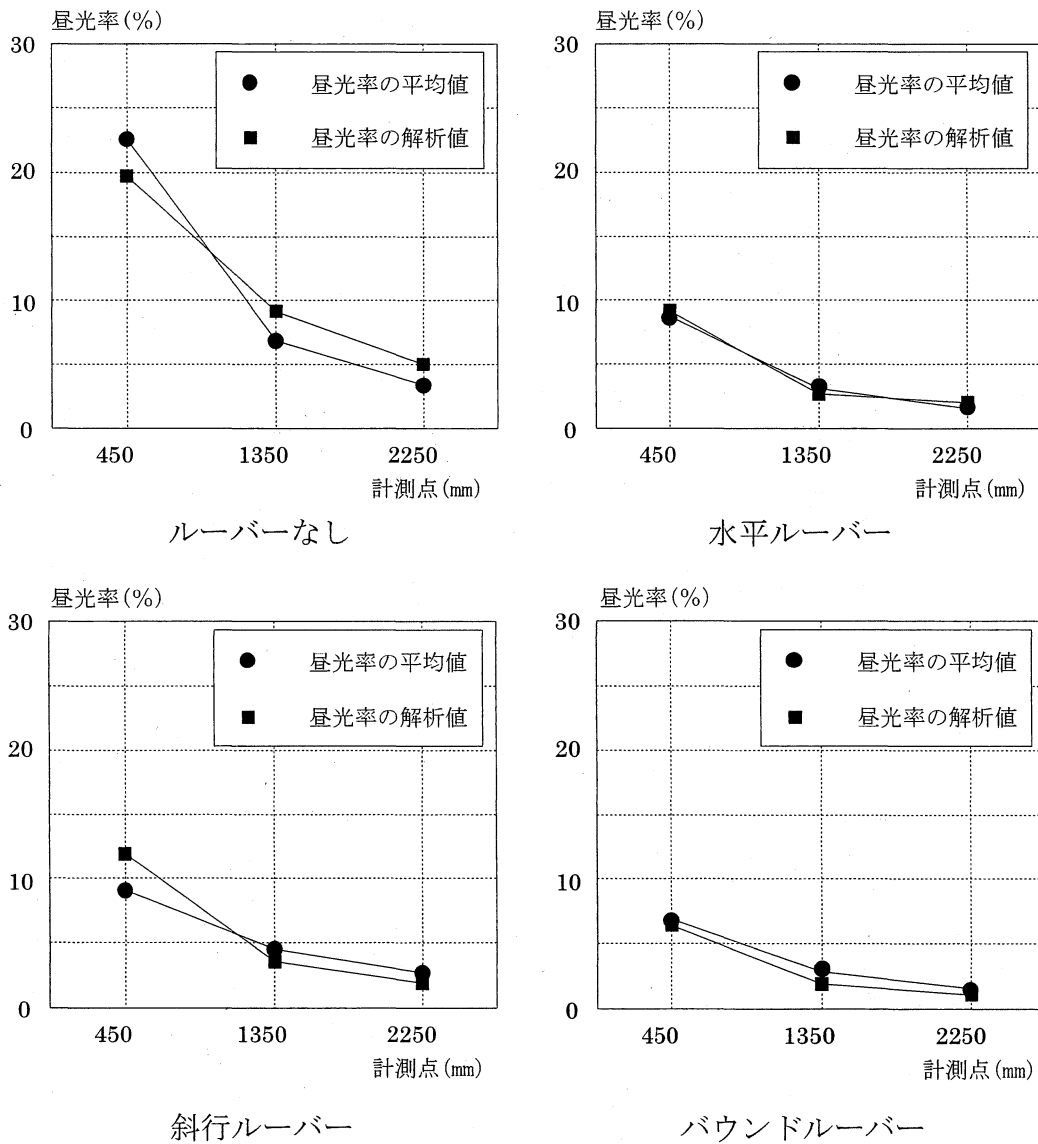


図4-16 実験値と解析値の比較

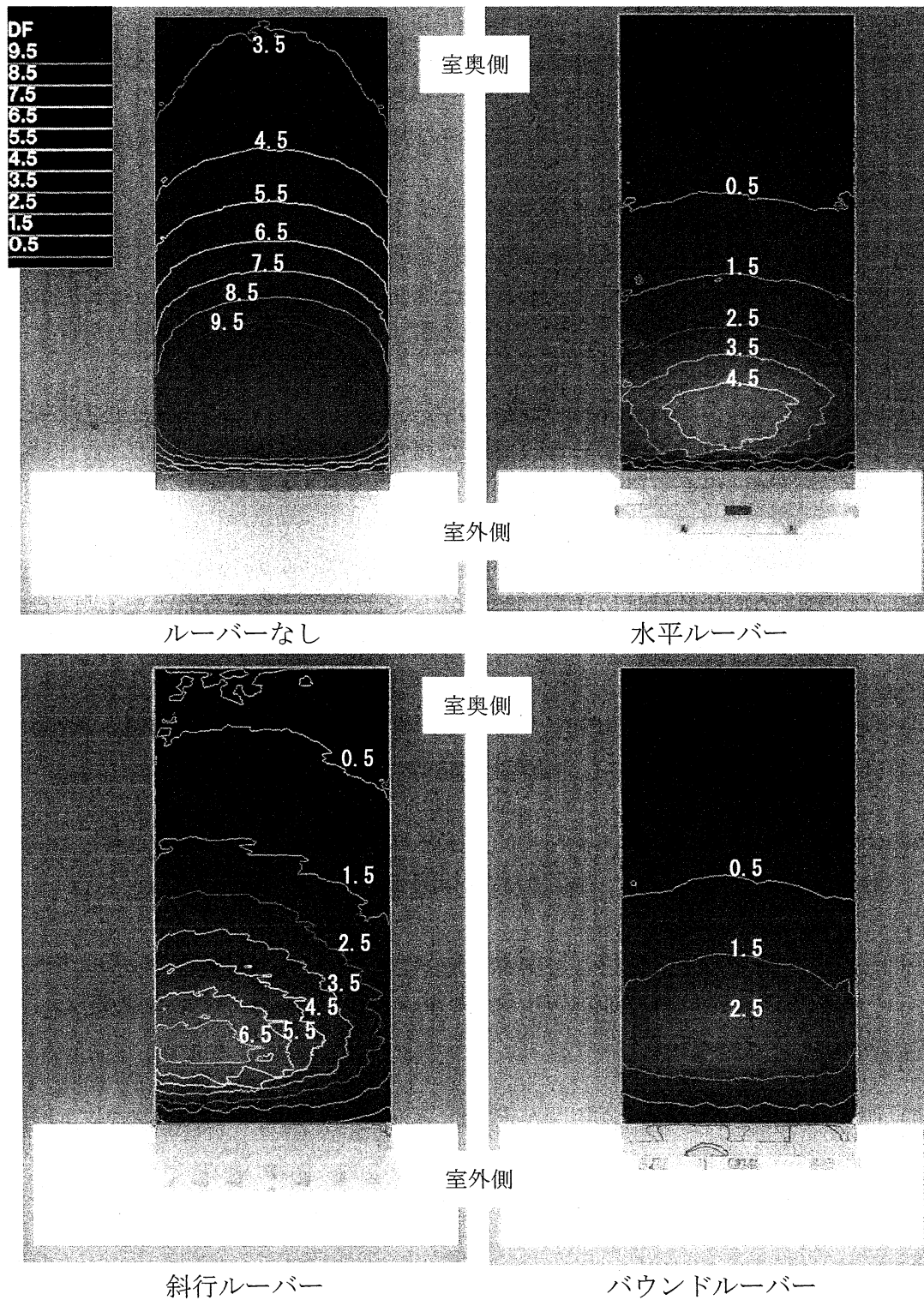


図 4-17 室内の昼光率分布

4.8 まとめ

斜行ルーバーを設置した統合ファサードの室内光環境を把握するため、実物大モックアップによる照度測定及び光環境解析を行った。また 1/2 スケールのモックアップにおいて各ルーバータイプの照度実測及び光環境解析を行い、以下の知見を得た。

- 1) ルーバーの設置によって窓際と室内奥の室内照度差は低減され不快感を軽減する。ルーバーの設置によりペリメータ空間の光環境を改善させる効果が得られる。
- 2) ルーバーにより光を反射し拡散させて室内奥まで自然光を採り込むことができる。そのためルーバーを設置した場合であっても、室内奥においてもルーバーが無い場合と同様の明るさが得られる。
- 3) 斜行ルーバーの設置によって室内照度分布に偏りがみられる場合があるが、ルーバーの形状及びピッチを調整することにより、照度分布の偏りは改善される。
- 4) 斜行ルーバータイプを用いて 1/2 スケールモックアップの実験値と実物大スケールの実験値を比較し、両者が整合することを確認した。
- 5) 水平タイプ、斜行タイプ、バウンドタイプの 1/2 スケールモックアップの実験値と解析値を比較し、両者が良い相関を示すことを確認した。
- 6) ルーバーが無い場合には、窓面近傍の昼光率が JIS 基準値を超える。ルーバーを設置することで窓面近傍の昼光率が低減する。ルーバーを設置することで JIS 基準値を満たす。
- 7) 照度測定値と解析値には相関があり、解析を行うことで信頼性のある設計を行うことができる。

第四章の参考文献

- 1)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，No.592，pp.97-104，2005.6
- 2)竹内徹、小谷野一尚、安田幸一、湯浅和博、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－統合ファサードの提案および性能評価－，日本建築学会環境系論文集，No.601，pp.81-88，2006.3
- 3)竹内徹、安田幸一、湯浅和博、岡山俊介、宮崎健太郎、岩田衛：統合ファサードによる既存不適格建物の耐震改修，日本建築学会技術報告集，No.24，pp.161-166，2006.12
- 4)竹内徹、岩田衛、安田幸一：構造設計からの取り組み，コンクリート工学 500号記念特集号＊環境とコンクリート vol45，No.5，2007.5
- 5)金木洋平、竹内徹、宮崎健太郎、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－統合ファサードの構造性能－，日本建築学会技術報告集，No.27，pp.137-142，2008.6
- 6)金木洋平、彦根茂、山下哲郎、岩田衛：斜行配置座屈拘束ブレースによる耐震補強，日本建築学会構造系論文集，No.634，pp.2215-2222，2008.12
- 7)Alison G. Kwok, AIA、Walter T. Grondzik, PE：The GREENSTUDIO HANDBOOK, Architectural Press, 2007
- 8)Thomas Herzog、Roland Krippner、Werner Lang：Façade Construction Manual, Birkhauser-Publishers for Architecture, 2004
- 9)日本建築学会編：地球環境建築のすすめ，彰国社，2002.8
- 10)建築画報特別号：Façade Engineering, Vol39, 2003.12
- 11)日本建築学会：ガラスの建築学，学芸出版社，2004
- 12)Michael J. Crosble：CURTAIN WALLS、Birkhauser-Publishers for Architecture, 2005
- 13)Oesterle、Lieb、Lutz、Heusler：Double-Skin Facades, Prestel, 2001
- 14)日本建築学会・採光設計，技報堂，1963
- 15)日本建築学会設計計画パンフレット 16 採光設計，彰国社，1963
- 16)浦野良美，中村洋：建築環境工学，森北出版株式会社，1996.6
- 17)日本建築学会設計計画パンフレット 23 照明設計，彰国社，1975
- 18)日本建築学会設計計画パンフレット 30 昼光照明の計画，彰国社，1985
- 19)日本建築学会設計計画パンフレット 24 日照の測定と検討，彰国社，1977
- 20)昼光照明の計算法，日本建築学会，1993

21) 小木曾定彰、小池利幸：昼光率の実測に影響を与える各種の要因について、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.69-67, 1978. 9

22) 永田明寛、BUILDING SIMULATION RESOURCES Library, Application and Database.SP CONV.2005-01-05.

<http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s12/Resource/ap/SPCONV/SPCONV.htm>. (参照 2007-12-12).

23) 照明学会・技術基準 オフィス照明基準 JIEC-001, 1992

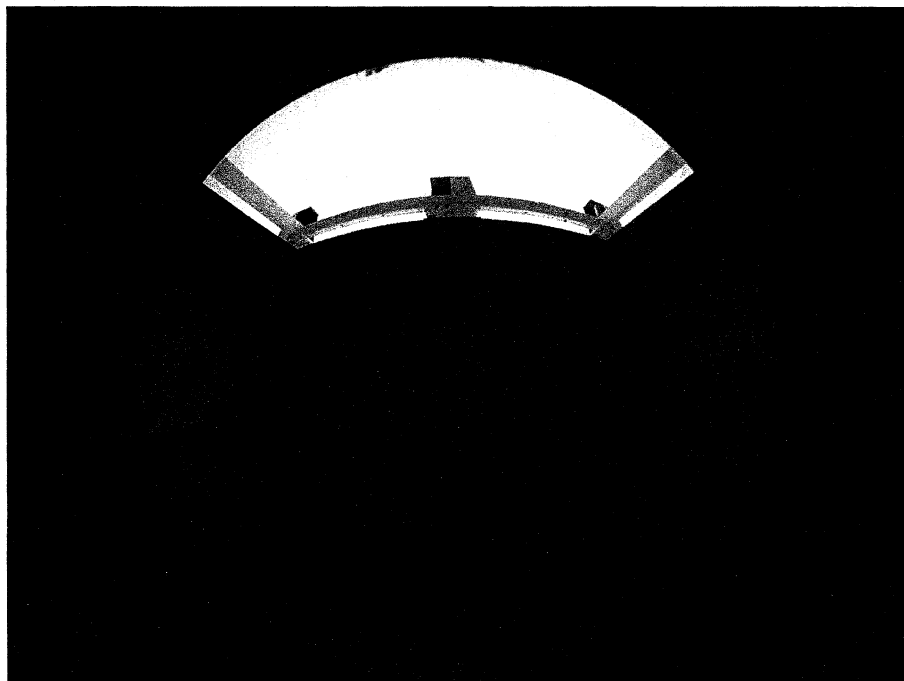
24) 照明学会・技術基準 住宅照明基準 JIEC-005, 1994

25) 日本工業規格 照度基準 JIS Z 9110-1979

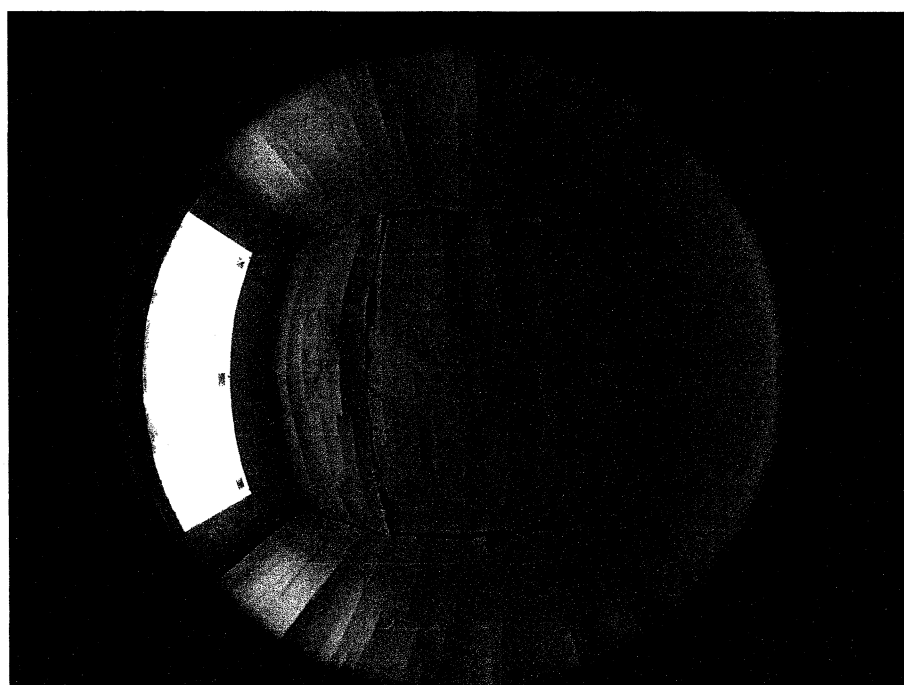
26) 照明学会・ライティングハンドブック、オーム社, 1987. 11

添付

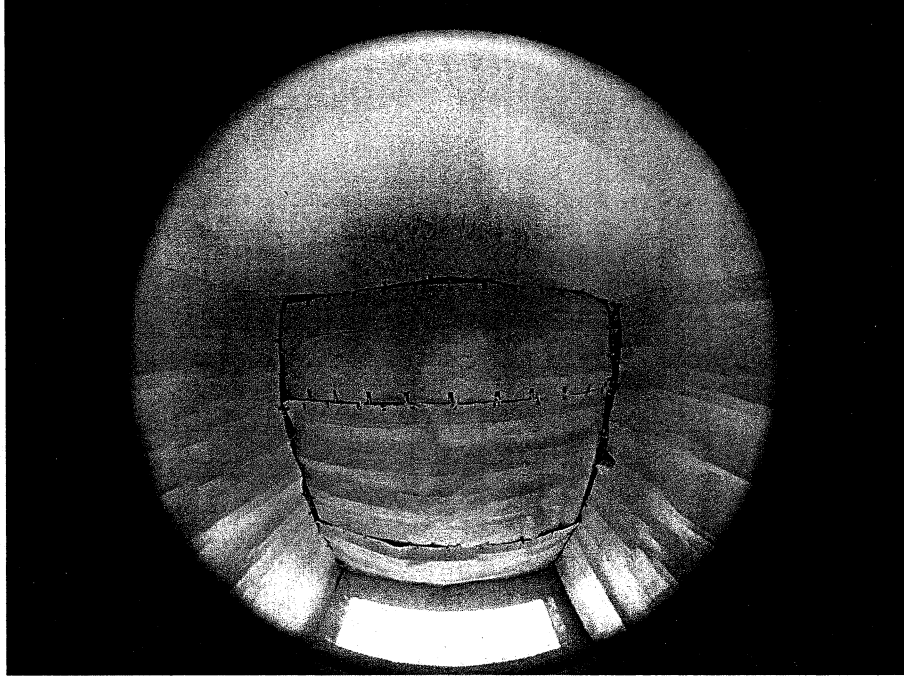
実物大実験 画像分析に用いる魚眼レンズによる直接昼光率測定結果



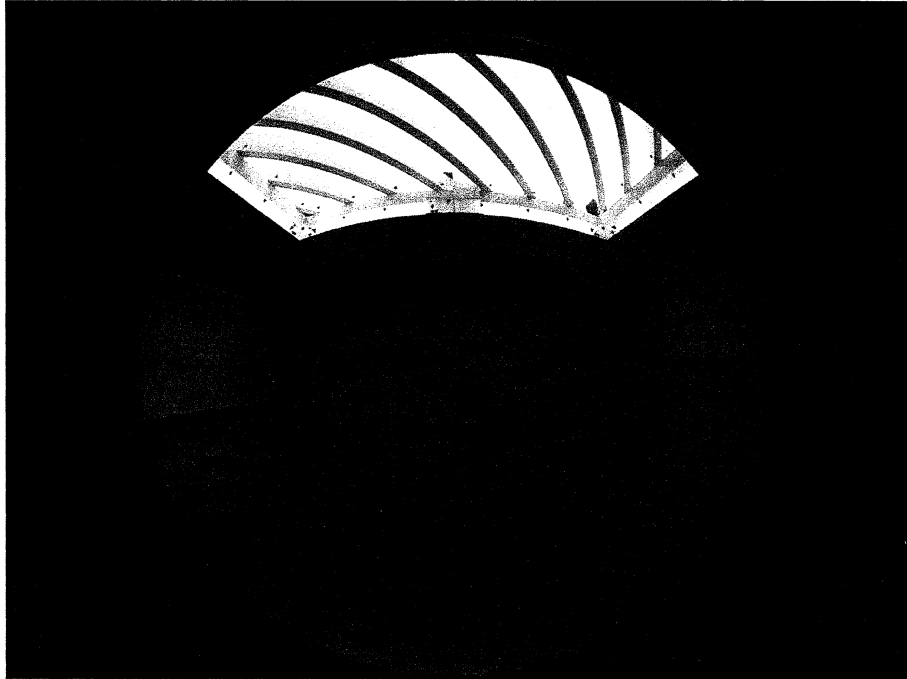
ルーバーなし 窓面より 900mm 位置測定結果



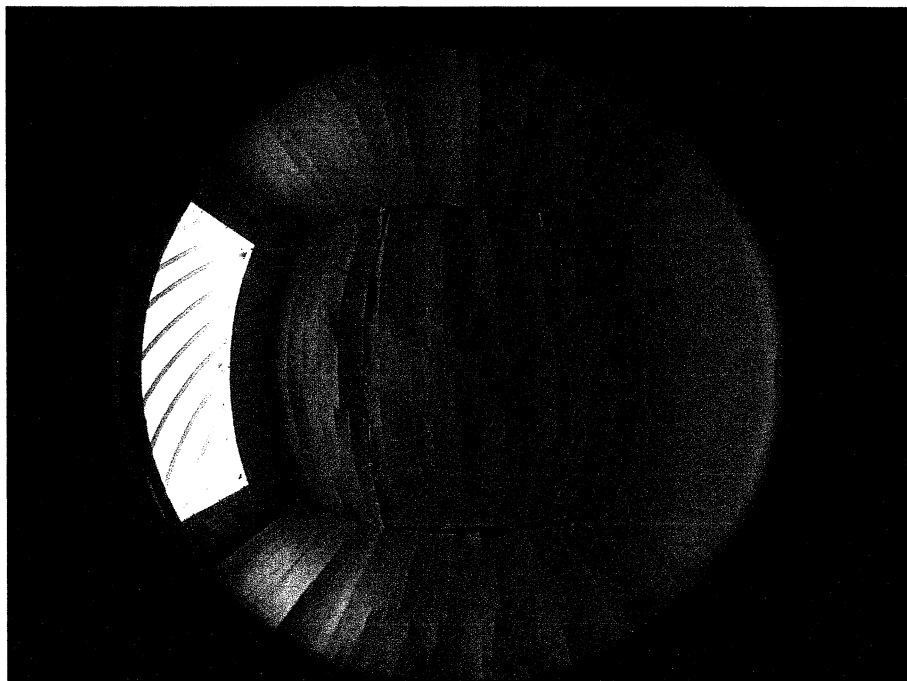
ルーバーなし 窓面より 2700mm 位置測定結果



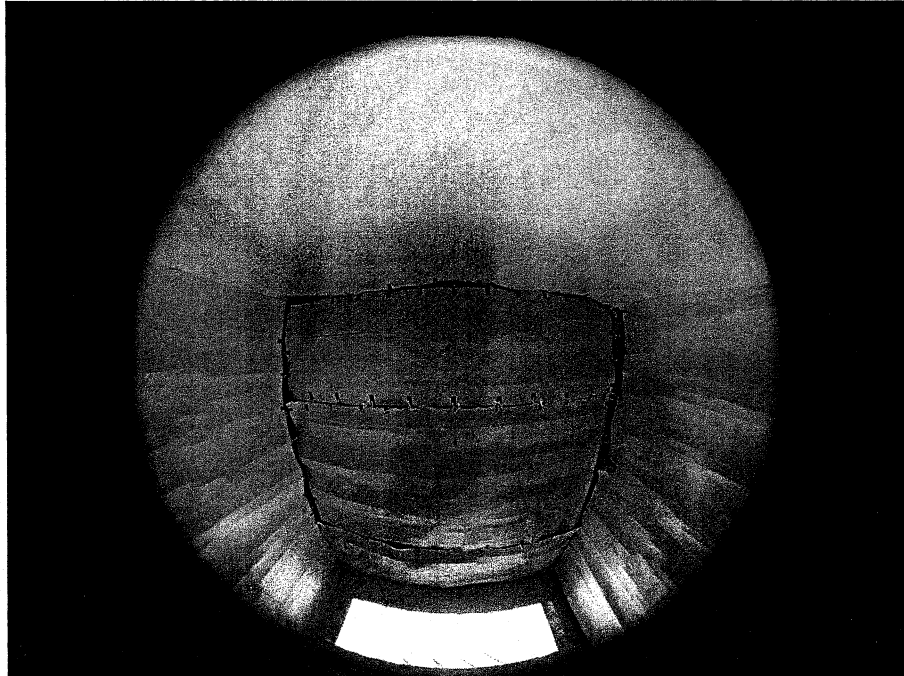
ルーバーなし 窓面より 4500mm 位置測定結果



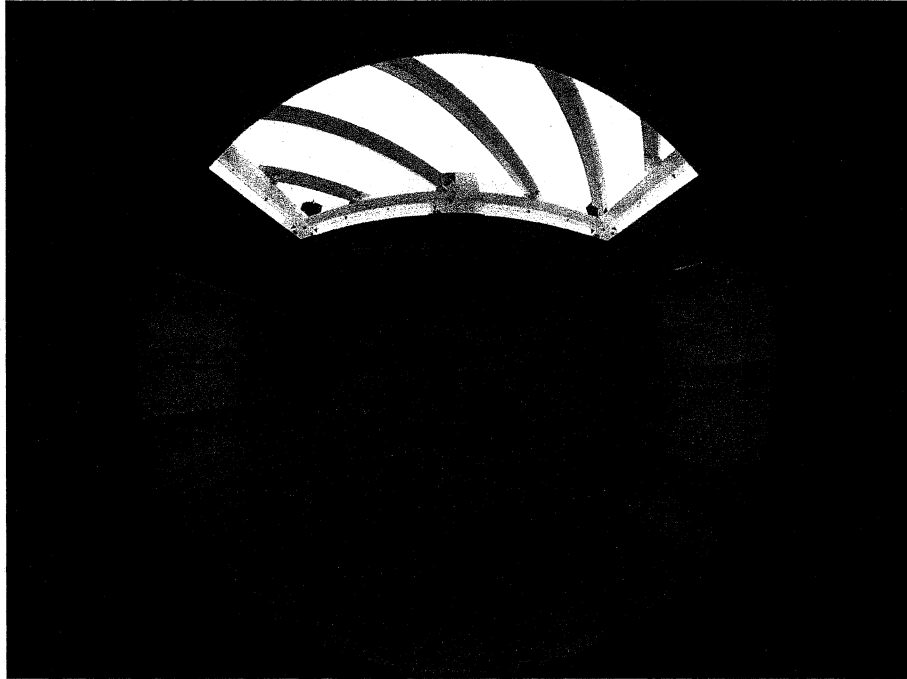
Rタイプ 窓面より 900mm 位置測定結果



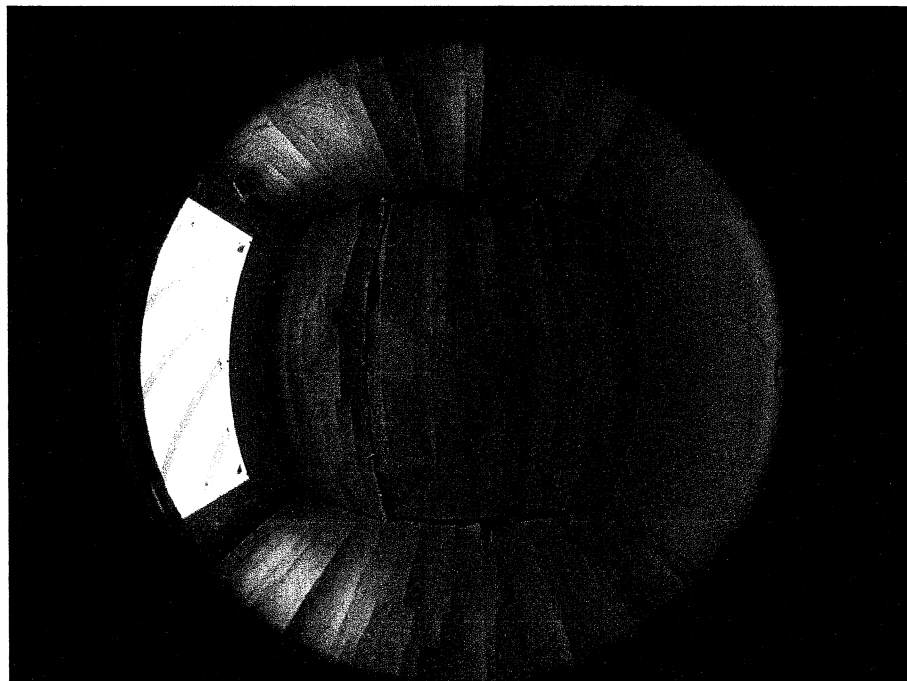
Rタイプ 窓面より 2700mm 位置測定結果



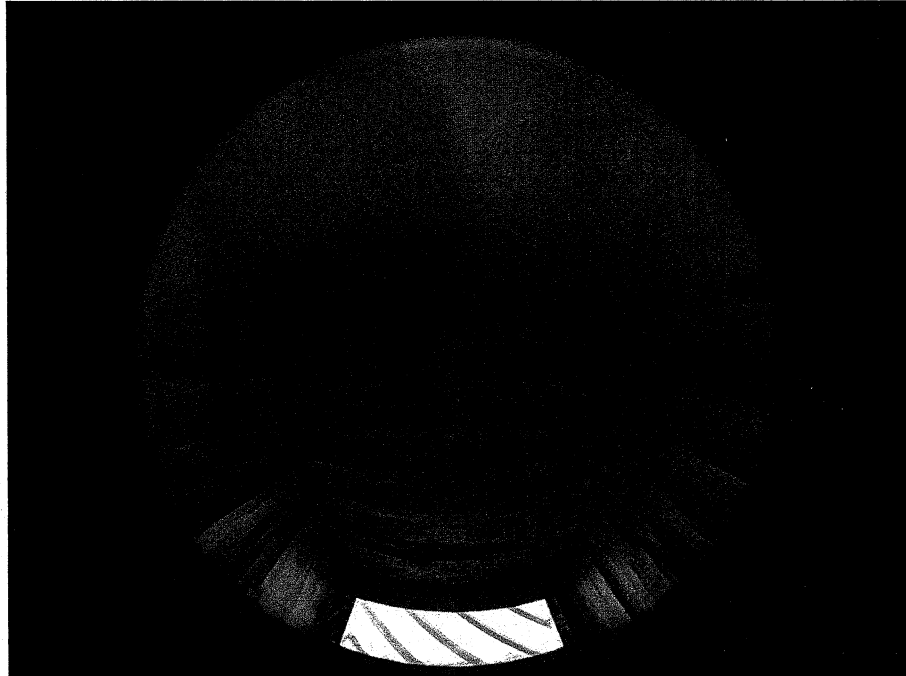
Rタイプ 窓面より4500mm位置測定結果



Cタイプ 窓面より 900mm 位置測定結果



Cタイプ 窓面より 2700mm 位置測定結果



Cタイプ 窓面より 4500mm 位置測定結果

第五章

統合ファサードと環境（空調負荷と消費エネルギー）

- 5.1 はじめに
- 5.2 目的
- 5.3 既往の検討
- 5.4 日射シミュレーションの概要
- 5.5 外部遮蔽係数
- 5.6 ルーバーの概要
- 5.7 日射量計算結果
- 5.8 空調負荷計算概要
- 5.9 計算条件
- 5.10 計算結果
- 5.11 考察
- 5.12 まとめ

第五章 統合ファサードと環境（空調負荷と消費エネルギー）

5.1 はじめに

本章では統合ファサードを設置した建物の室内温熱環境について検証を行う。統合ファサードは外付ルーバーの設置により日射を遮蔽することを意図している。統合ファサードのような外付ルーバーシステムは、室内に日射が侵入する前に外部空間にて日射を遮蔽する。これはダブルスキンやエアフローシステムのようにルーバーが一旦吸収した日射熱を排熱するシステムよりも日射遮蔽効果に優れる仕組みといえる。しかし、そのようなシステムは、夏期のような日射遮蔽に有効な場合には適用できるが、冬期のように日射を取り込みたい場合には好ましくない。また、統合ファサードは既存建物にも適用するため、設置面が必ずしも南向きとはならず東面や西面に設置されることもありうる。そのため北面を除くすべての方位において省エネルギー効果（空調負荷及び消費エネルギー）を確認する必要がある。本章では、オフィス用解析モデルを作成し、ルーバーの形状や配置が室内温熱環境へどのような影響を及ぼすのかを確認する。年間空調負荷および年間消費電力量の観点から、ルーバータイプごとに室内温熱環境の検討を行う。

5.2 目的

統合ファサードは耐震要素である座屈拘束ブレースを環境装置兼用の構成材と位置づけ、構造及び環境性能を統合させるものである¹⁾²⁾。室内温熱環境を検討するには、時々刻々と変化する室内への日射侵入量を算定する必要がある。しかし一般に用いられる日射遮蔽係数は、壁面と垂直に入射する日射成分に対する遮蔽係数である。そのため通常の日射遮蔽検討では、遮蔽係数は一定値を適用することになる。本論ではこの問題を解消するために、天空光の設定と外部遮蔽係数を提案する。天空光の設定と外部遮蔽係数により垂直入射に限らないルーバーによる日射遮蔽割合を時刻毎に求めることができる。改修が必要とされるオフィスの解析モデルを作成し、求められた日射遮蔽割合を用いて、方位別、ルーバー別の年間空調負荷及び年間消費電力量を算出し比較検討を行う。

5.3 既往の検討

図5-1に統合ファサードの構成を示す。環境面では図5-2のように、外付ルーバーを設置することで夏期は日射を遮蔽し冬期は室内に日射を導く。エネルギーや空調負荷の低減、室内照度の均一化による均斉度の向上、照明負荷の低減および高輝度域の遮断によるグレアの低減、室内温熱環境の向上など様々な効果が予測される。

統合ファサードにおける環境側面での既往の研究³⁾⁴⁾⁵⁾では、CFD 解析により座屈拘束ブレース、ルーバー、ガラスを組み合わせたファサードについての熱的検討が行われている。また、室内光環境については第四章のように、実物大モックアップを用いた照度測定実験及び Radiance を用いたシミュレーションによる評価が行われている。しかし、夏期の日射遮蔽効果の研究はなされているものの冬期の日射効果を扱った事例は少ない。ルーバーの形状や建物の方位の影響を比較検証している研究も少ない。

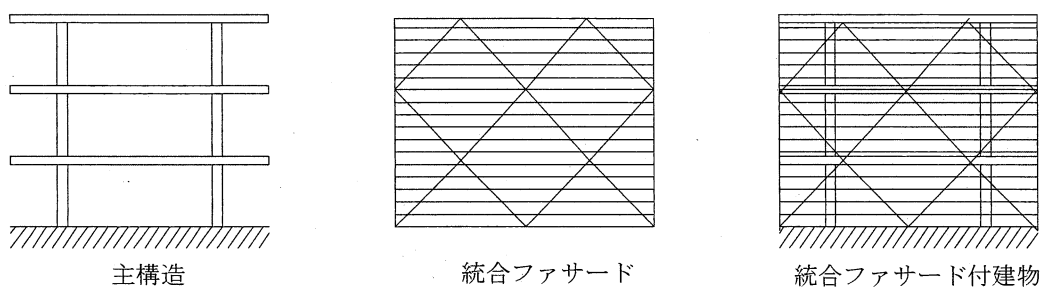


図 5-1 統合ファサードの構成

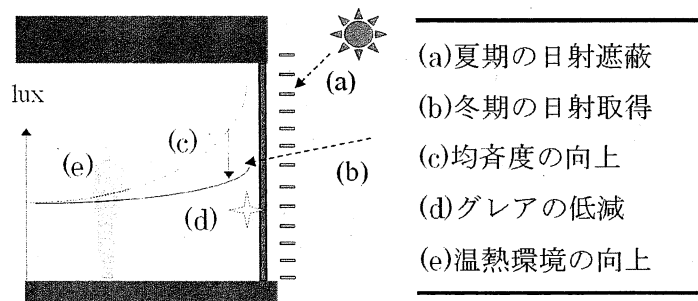


図 5-2 統合ファサードの環境面

5.4 日射シミュレーションの概要

改修時にルーバーおよび座屈拘束ブレースを設置する方位は、建物のファサードの方位により異なる。そのため様々な方位に対する検討が必要である。年間空調負荷の低減を図るために、ルーバーの形状と建物方位の影響を明らかにし、年間を通した評価を行う必要がある。建物の方位やルーバーの形状による時刻変動に伴う遮蔽効果を定量的に示し、夏期期間(6月から9月)と冬期期間(12月から3月)の日射削減量の評価を行う。

5.4.1 Radiance の概要

光環境解析プログラムである Radiance を用いて日射量の年間シミュレーションを行う。図 5-3 にシミュレーションフローを示す。Radiance における相互反射計算ではモンテカルロ法を用いるため、光線数を増やすことでより正確な解析結果が得られる。そのため、光線数は最高設定値の 4,096 本に設定し光線の反射回数も最高設定値の 8 回とする。なお、ルーバーの反射率は第四章の室内光環境の検討にて実施したシミュレーションの数値と同様の 68.8% に設定する。ルーバーの鏡面性は 36.0% とする。

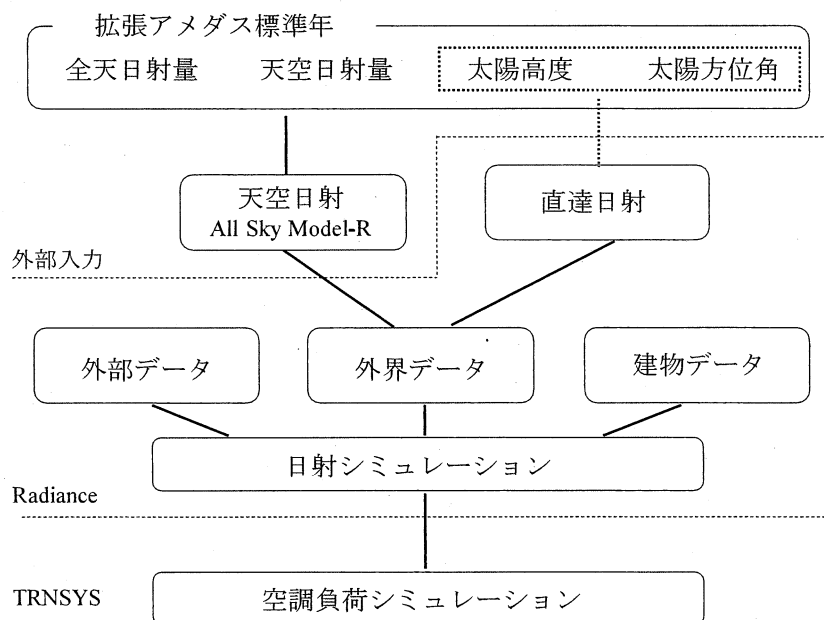
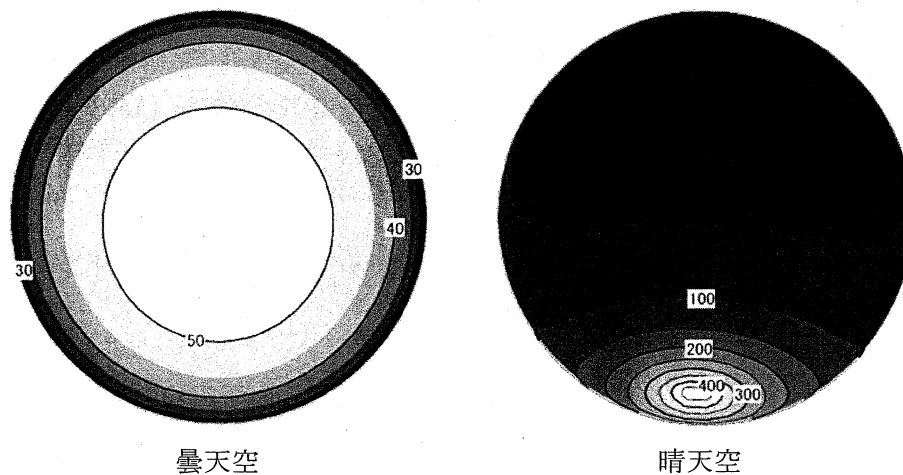


図 5-3 シミュレーションフロー

5.4.2 All Sky Model-R の適用

Radiance には CIE 標準晴天空、CIE 標準曇天空、中間天空、一様天空が組み込まれている。井川ら⁶⁾は変移する天空状態の天空放射輝度分布を連続的に表す日射の天空モデルとして All Sky Model-R を提案している。外界条件の再現性を高めるため、ここでは All Sky Model-R を用いて天空放射輝度分布を求め、その結果を Radiance に反映させる⁷⁾。All Sky Model-R で用いる気象条件は拡張アメダス気象データの標準年(1981~2000)⁸⁾を用いる。図 5-4 に曇天空

(1/3,12:00) と晴天空(1/11,12:00)の計算結果を示す。



曇天空 晴天空
図 5-4 All Sky Model-R 単位:W/sr·m²

5.5 外部遮蔽係数

外付ルーバーの日射遮蔽効果を空調負荷計算に汎用的に用いるため外部遮蔽係数を提案する。図 5-5 に外部遮蔽係数の測定方法を示す。日射量の算出は、外壁外表面の縦横 20 mm 間隔に配置した測定点に入射する日射量を算出する。外付ルーバーなしの外壁外表面に入射する日射量を L_0 、各ルーバーを設置した状態の外壁外表面に入射する日射量を L_R とすれば、外部遮蔽係数は式(1)で定義される。なお外部遮蔽係数の算出においては、日射授受によるルーバーの温度上昇およびそれに伴う室内への再放射の影響は考慮しない。

$$\text{外部遮蔽係数} = L_R / L_0 \text{ 式 (1)}$$

なお、各ルーバーは、耐震補強用の座屈拘束ブレースと同じ構面に設置されるものとし、窓面と各ルーバーの距離は図 5-5 に示すように 200mm とする。

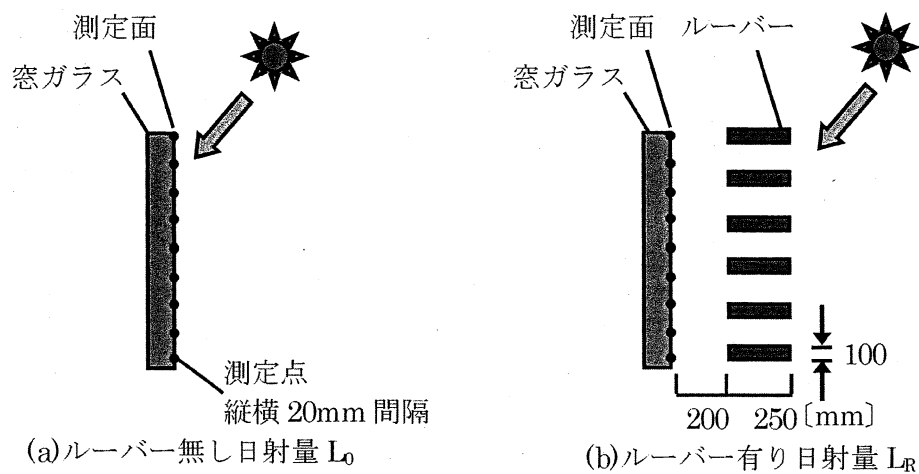


図 5-5 外部遮蔽係数の測定方法

5.6 ルーバーの概要

図 5-6 に外付ルーバーの形状を示す。座屈拘束ブレースの断面寸法をもとに外付ルーバーの形状は決定される。外付ルーバーの断面寸法は、高さ 100mm、奥行き 250 mm とする。外付ルーバーの 1 ユニットは、幅方向は柱スパンの 4,500mm とし、高さ方向は階高の 3,800mm とする。水平、縦、斜行(右上り)、斜行(右下り)、バウンドの 5 種類の外付ルーバーを四周枠に取り付ける。図 5-7 に外付ルーバーの開口率を示す。統合ファサードには一体型と分離型の違いがあるが、開口率については概ね 75%に揃える。斜行ルーバーとバウンドルーバーは、ルーバーと座屈拘束ブレースが同一面上にある一体型であり周囲に四周枠がある。一方で水平ルーバーや縦ルーバーは分離型であり四周枠は必要としない。しかし本論においては、同一条件にて比較検討を行うため、分離型も一体型と同様に四周枠を作成しブレースのない状態で一体型と同様の開口率となるよう解析モデルを作成する。なお、バウンドルーバーについては、ランダムに配置したルーバーが全方位に対して有効な日射遮蔽を行うことを意図するもので、第三章の検証結果を考慮し室内温熱環境の検討においても図 5-6 に示す分割線で 3 分割するモデルを採用する⁹⁾。

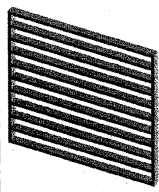

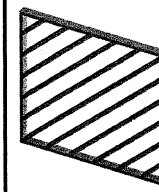
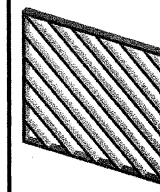
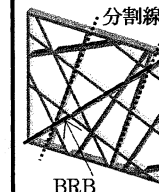
	水平	縦	斜行(右上り)	斜行(右下り)	バウンド
形状図					
開口率	76.3%	75.6%	75.9%	75.9%	75.2%
間隔	280mm	275mm	306mm	306mm	-
厚さ	100mm				
反射率	68.8%				
鏡面性	36.0%				

図 5-6 ルーバー形状

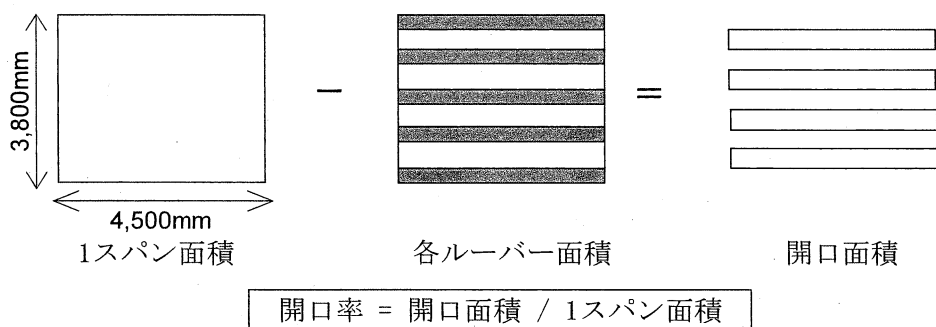
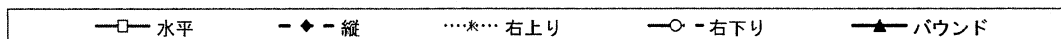
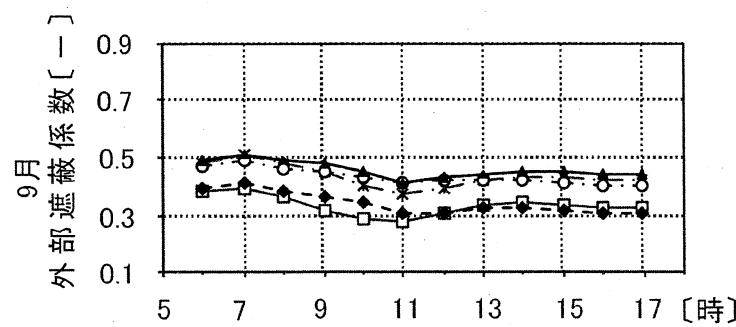
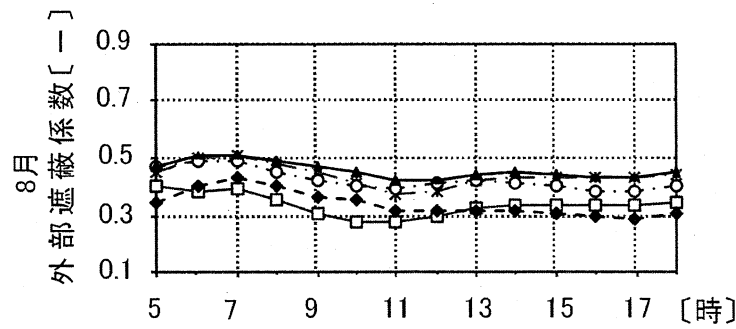
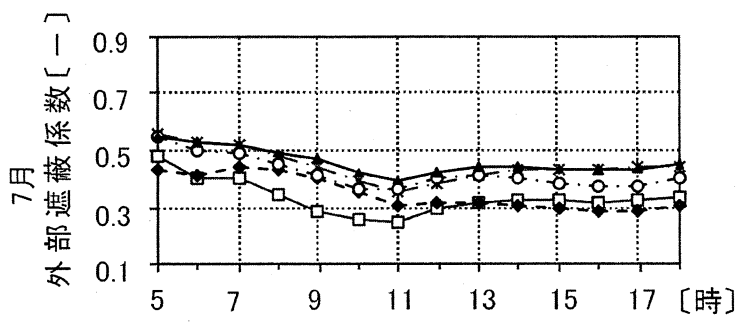
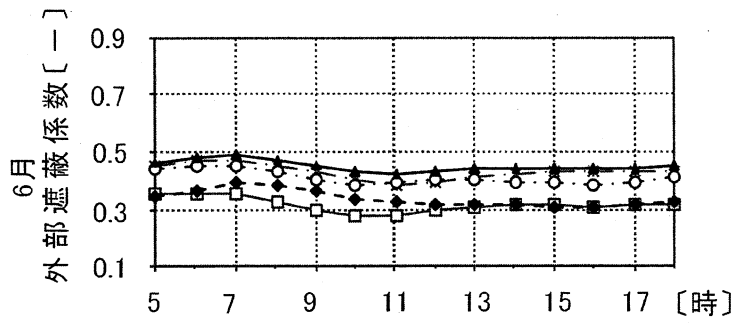


図 5-7 開口率

5.7 日射量計算結果

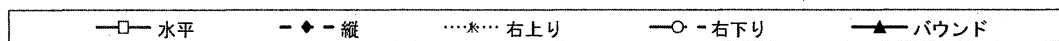
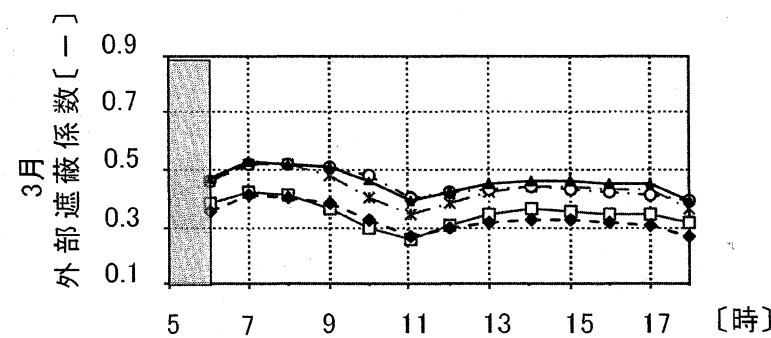
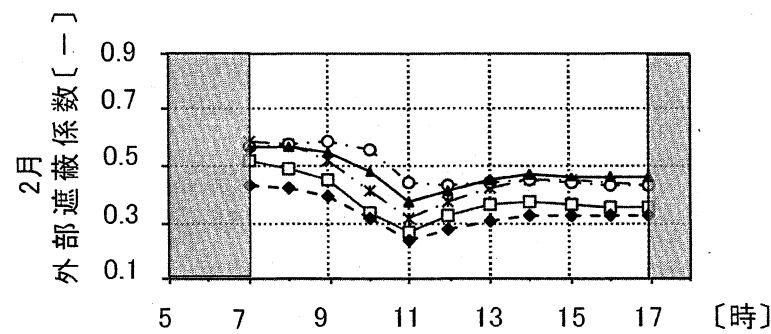
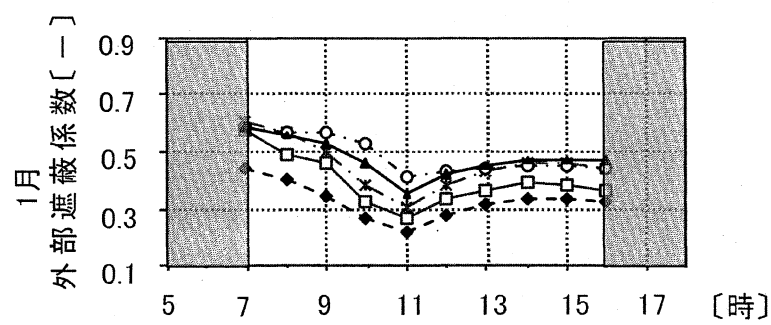
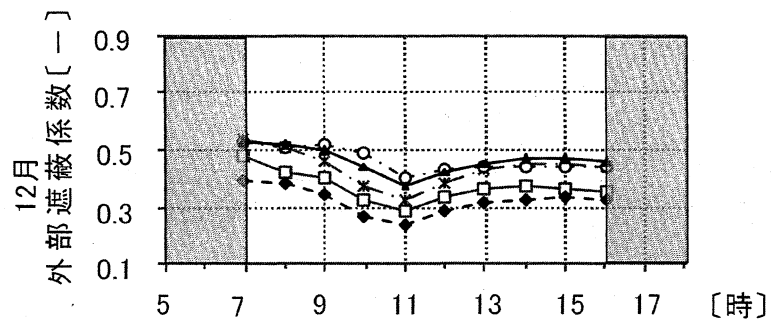
5.7.1 外部遮蔽係数の時刻変動

外部遮蔽係数は 0 のとき完全遮蔽となり、1 のときはルーバーを設置していない状態である。また、日の出前及び日没後は日射がないため外部遮蔽係数は 1 となる。図 5-8 から図 5-10 に、時刻変動に伴う夏期（6 月から 9 月）および冬期（12 月から 3 月）の 5~18 時の毎正時における外部遮蔽係数計算結果を方位別に示す。実際には Radiance と All Sky Model-R を用いた年間計算によって年間の外部遮蔽係数を算出しているが、ここでは外部遮蔽係数の相違が期待される夏期および冬期について示す。計算結果は月別の時刻平均値である。東向きの 12 時以降及び西向きの 12 時以前は直達日射が無く天空日射のみとなるため、外部遮蔽係数にあまり変動が見られない。直達日射の無い時間帯では、ルーバーの形状によらず、開口率で外部遮蔽効果が定まると考えられる。次に各ルーバーの傾向を述べる。



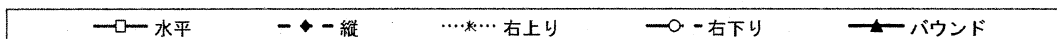
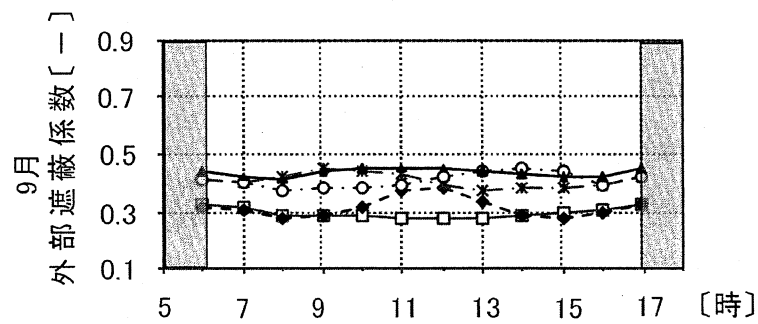
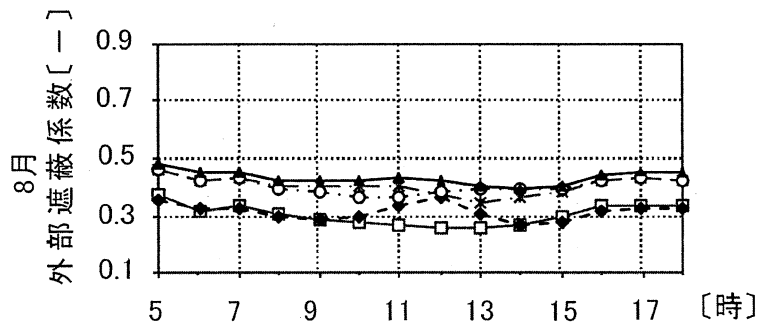
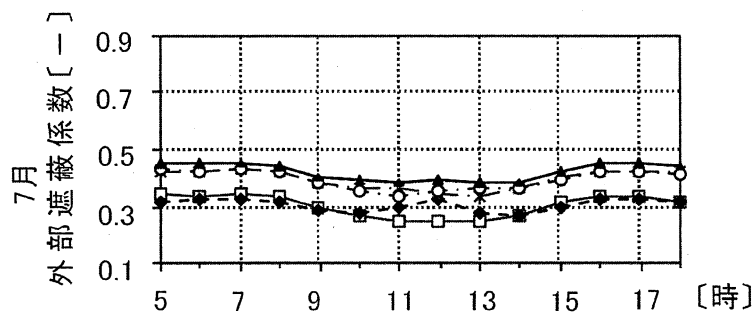
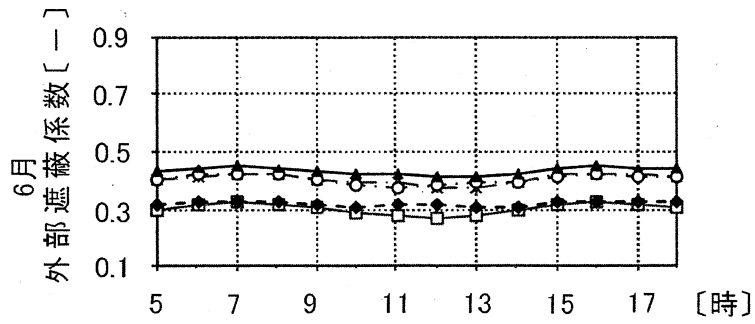
※ 日の出前・日没後

図 5-8-1 外部遮蔽係数 (東向き・夏期)



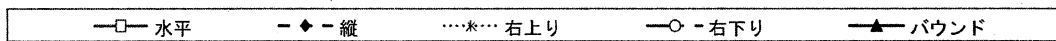
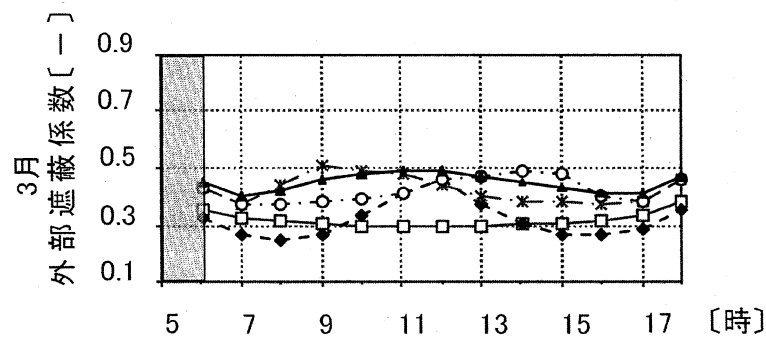
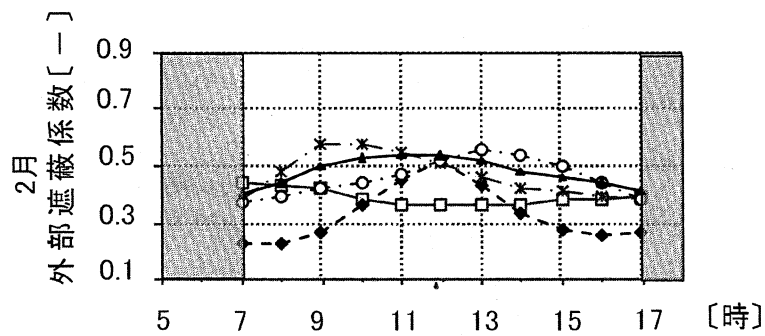
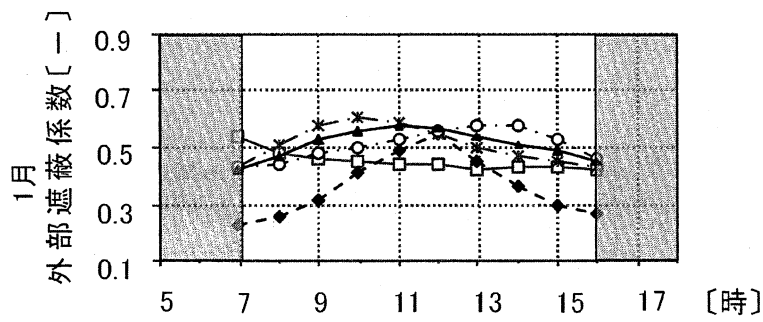
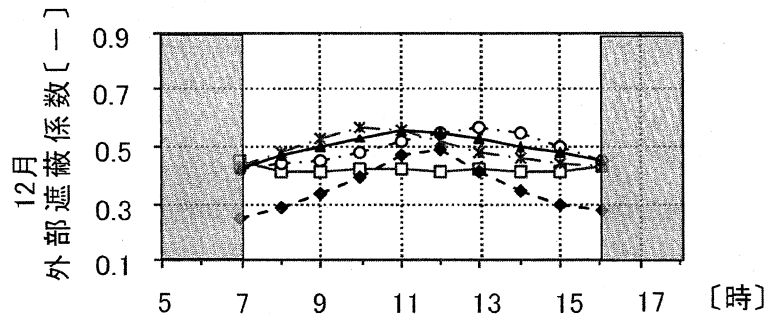
※ ■ 日の出前・日没後

図 5-8-2 部遮蔽係数 (東向き・冬期)



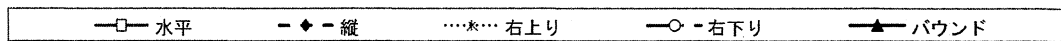
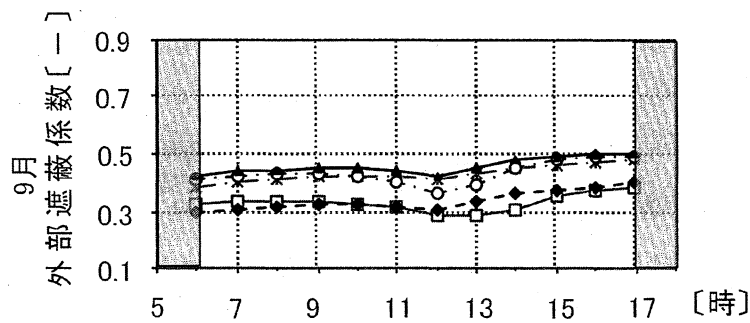
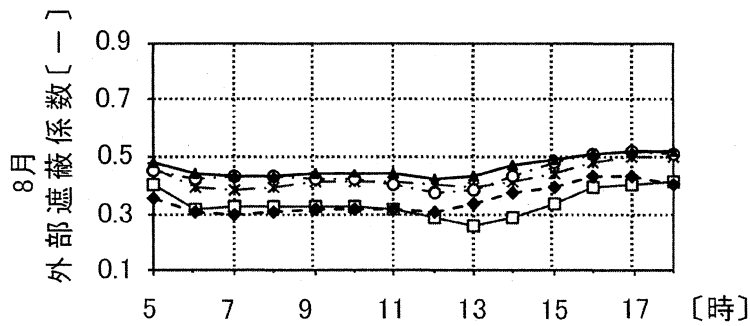
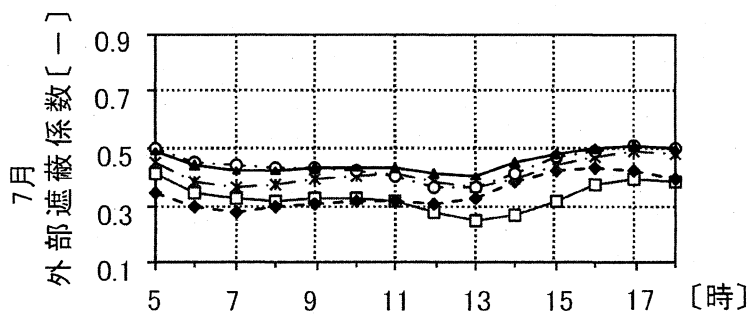
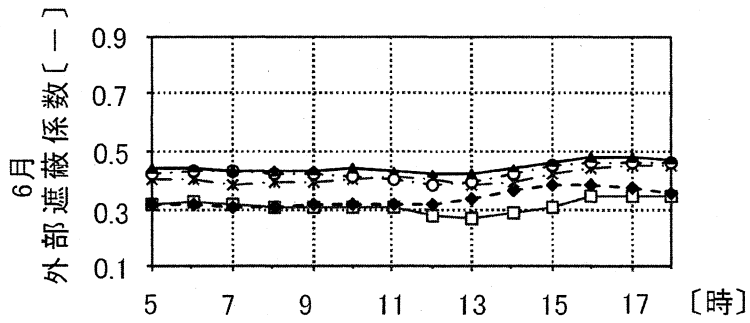
※ 日の出前・日没後

図 5-9-1 外部遮蔽係数 (南向き・夏期)



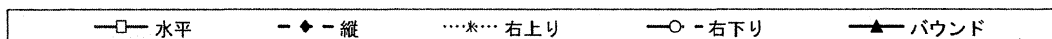
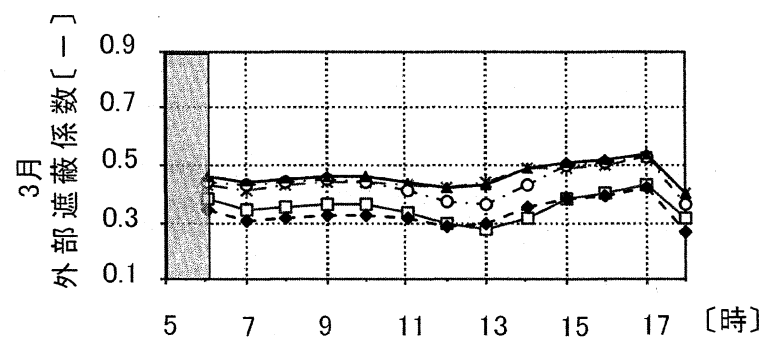
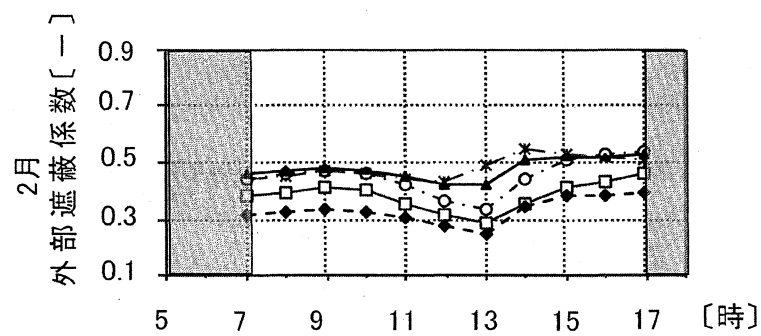
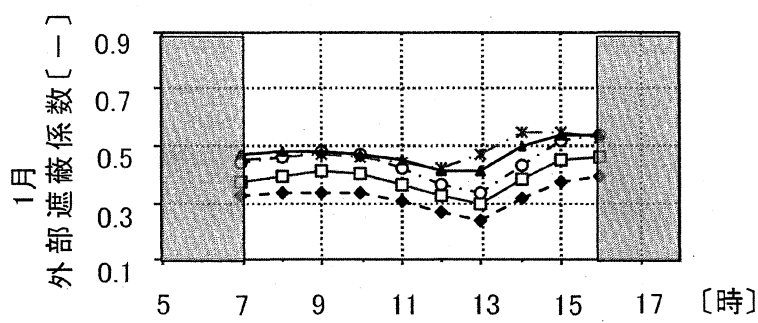
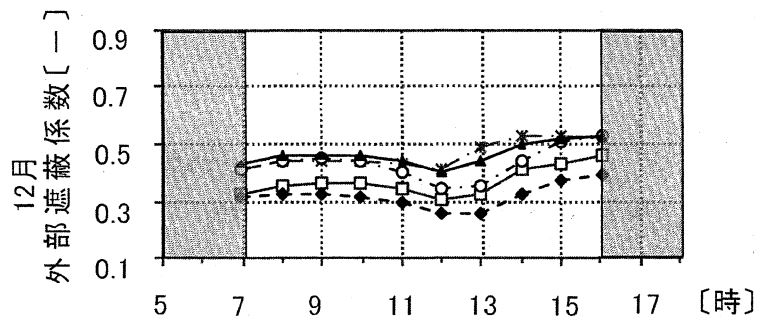
※ 日の出前・日没後

図 5-9-2 外部遮蔽係数 (南向き・冬期)



※ 日の出前・日没後

図 5-10-1 外部遮蔽係数 (西向き・夏期)



※ ■ 日の出前・日没後

図 5-10-2 外部遮蔽係数 (西向き・冬期)