

天井給気チャンバー方式に関する研究 (その1)

—天井チャンバー内気流の模型実験—

斎藤 隆雄

A Study on a Ceiling Plenum Air Supply System (Part 1)

—A Model Experiment on Air Flow in a Ceiling Chamber—

Takao Saito

Abstract

A ceiling plenum air supply system is an air delivery system which uses the space above the ceiling as a plenum chamber. The air supply duct has an end opening into the chamber and is not connected to ceiling outlets. This paper describes a model experiment on the air flow in the ceiling plenum system assuming application in a supermarket building of a flat slab structure. The distribution of air flow from outlets depends largely on both the pressure loss coefficient of the outlet and the location of the open end of the duct, but very little on the volume flow rate of air. Good air distribution is achieved even for a small loss coefficient when the end of the duct is located near a corner of the chamber.

概 要

天井給気チャンバー方式は、天井裏の空気を予圧室として利用した給気方式である。給気ダクトは天井チャンバー内で解放されており、天井吹出し口には接続されていない。この報告は、無梁板構造で建てられたスーパーマーケットに適用した場合の天井給気方式における気流に関する模型実験について述べたものである。吹出し口からの気流の分布は、吹出し口の圧力損失係数とダクト開放端の位置に大きく依存し、風量にはほとんど依存しない。ダクト末端が天井チャンバーの隅の近くにあるときには、損失係数が小さくても、良好な気流分布が得られる。

1. 序 論

天井給気チャンバー方式とは、給気ダクトを天井裏で開放し、天井裏の空間（いわゆる天井ふところ）を予圧室として、天井に設けた吹出し口から室内に給気する方式を言う。向野、他¹⁾による、ダクトレス空調システムはこの方式のひとつで、これは吹出し風量の均一化を図るために天井吹出し口に小型のファンを使用しているのが特徴である。戸河里、他^{2),3)}は、空気チャンバーからの吹出し気流について模型実験を行ない、その特性を調べている。

天井給気チャンバー方式は、一般に、通常のダクト方式と比較すると、天井裏にダクトがないため、次のような利点と欠点がある。

〔利点〕

①ダクト工事費が減少する。

②通風抵抗が小さくなるので、送風機動力が少なくなる。

③工期が短縮される。

〔欠点〕

①各吹出し口の風量が不均一になりやすい。

②天井裏のもつ熱容量のため、予熱・予冷時間が長くなる。

③結露に対する配慮が必要である。

欠点の②、③に対しては、適切な断熱を行なうことで対処できる。①については未知の事柄が多い。ところで、天井給気チャンバー方式は無梁板構造の建物と適合性がよいものと考えられる。梁のない天井裏では、通風の障害がないため、圧力が均一になり、吹出し風量が均一になりやすい。そこで、スーパーマーケット、ショッピングセンターのような、無梁板構造が適用でき、かつ、高度な空調を必要としない建物を対象として、天井給気チ

チャンバー方式の適用可能性を検討することにした。ここでは、まず、最も重要と思われる、吹出し風量の均一性について、模型実験によって調べることとする。

2. 実験方法

2.1. モデルの設定

模型実験をするにあたって、モデルを次のように設定した。建物の用途はスーパーマーケットを想定し、1台の空調機が受持つ範囲の区画を模擬の対象とする。この区画は、1スパンを9mとして、3スパン×5スパンで構成され、1,215m²の面積をもつものとする。中央部にはエスカレーターのための開口があり、その周囲に、壁および小梁がある。天井ふところの高さは0.7mである。給気ダクトは壁の位置で天井裏に開放する。

2.2. 実験模型

模型は前述のモデルを1/20に縮小し、ベニヤ板を主材料として製作した。模型化にあたっては、気流に大きな影響を与えないと思われる範囲で、モデルの簡略化を行なった。スプリンクラー用配管のうち、小径のものは省略した。また、吹出し口の形状は、吹出し風量が正確に測定できることを重視したため、実物と相似にはなっていない。これについてはあとで述べる。模型の形状、寸法を図-1に示す。模型の内法寸法は縦横が2,250mm×1,350mm、高さが35mmである。給気ダクト末端(これを給気口と呼ぶ)の位置は、図のAからKまで変えられるようになっており、給気口断面寸法は69mm×26mmである。模型には、内部の静圧を測るための孔(直径1mm)を、吹出し口と対向する面(上階のスラブ面)の15箇所に設けた。その平面位置は、吹出し口と同じである。内部には、気流の方向を見るためにステレンパーでつくった小旗を35個取付けた。この旗が見や

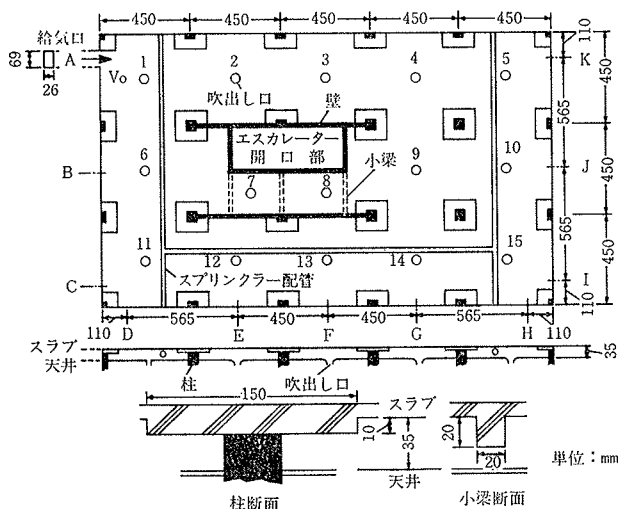


図-1 実験模型

すいように、模型内面は黒色に塗装した。また、吹出し口を取付けた面(天井裏面)には、観察のため、一部にアクリル板がはめこんである。この面は、吹出し口の開口部を除いて完全に平坦である。測定の便宜上、実験は上下関係を実物と逆にして行なった。

2.3. 送風装置

送風装置は、送風機、チャンバー、フレキシブルダクト、給気口からなっている。送風機は可変速電動機で駆動する。給気量の調節は、電動機の回転数を変えることを行なう。給気口から模型内に吹出す気流は、均一な速度をもっていることが望ましい。そこで給気口を図-2のような、絞り比が1/5.62のノズル形状とした。このノズルは給気量の測定部を兼ねていて、絞り前後の圧力差 ΔP_0 から、吹出し風速が求められる。平均風速 V_0 に対する動圧を H_0 とすると、空気密度を ρ として、

$$H_0 = 1/2 \cdot \rho V_0^2$$

となり、

$$H_0 = 1.0584 P_0$$

の関係が較正実験から得られている。これをもとにして、給気量が計算できる。

2.4. 吹出し口

吹出し口は図-3に示すような、断面が円形のノズルを用いた。ノズル内の網の有無、あるいは網の種類、枚数を変えることにより、通風抵抗を変えることができる。

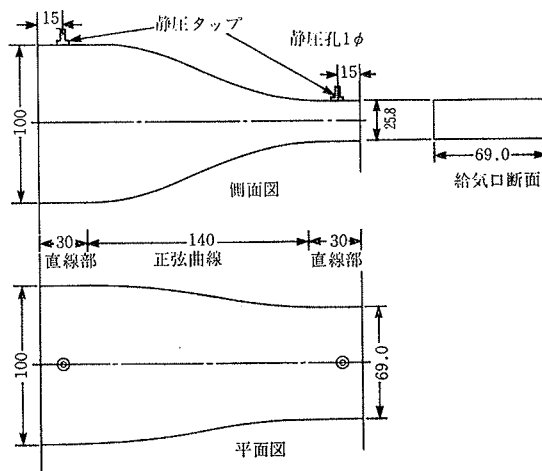


図-2 給気口

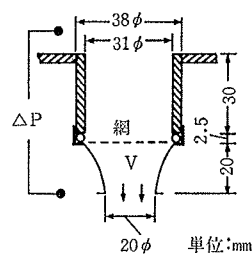


図-3 吹出し口

吹出し風量 Q は、吹出し口の断面積を A ($A=314 \text{ mm}^2$), 吹出し口の平均風速を V , 平均風速に対する動圧を H とすると、次の関係がある。

$$Q = A \cdot V$$

$$H = 1/2 \cdot \rho V^2$$

一般に取出し口における風速は一様ではない。吹出し口中央の気流の動圧 H_c と H の関係を補正係数 C_p を使って表わし、

$$H = C_p \cdot H_c$$

とする。あらかじめ較正実験によって、 C_p を求めておけば、吹出し口中央の気流の動圧を測ることによって、平均風速、および風量が求まる。吹出し口前後の圧力差を ΔP とし、吹出し口の通風抵抗係数 ζ を次の式で定義する。

$$\Delta P = \zeta \cdot H = \zeta \cdot 1/2 \cdot \rho V^2$$

実験に使用した吹出し口は4種類で、抵抗係数 ζ は 1.1, 1.4, 1.8, 2.2 である。

2.5. 測定項目および測定方法

研究の主目的が吹出し風量の均一性を調べることにあるので、測定は吹出し口から出る気流の風速を主対象とした。吹出し口中央に直径 2 mm のステンレスパイプで作った総圧管をおき、この部分の総圧と周囲の静止空気の圧力との差を測定する。ノズル先端の気流中の静圧は一般に周囲の静止空気の圧力に等しいから、上記の差圧は、気流の動圧 H_c を与える。これより、補正係数 C_p を用いて H を求め、さらに平均風速 V を求める。吹出し口風速の他には、模型内の静圧分布と気流の流線を調べた。静圧は、前述の静圧孔によって測定した。流線の観察は、小旗の目視観察と写真撮影によって行なった。

圧力の測定には、ゲッチング型マンノメーターとベッツ型マンノメーターを主として用い、それぞれに並列に電気式圧力計を接続して、その出力をペンレコーダーに記録した。吹出し風速の測定は総圧管を移動させて行ない、静圧の測定はロータリーコックで測定点を順次、切換えて行なった。測定器の系統図を図-4 に示す。

2.6. 実験条件

実験は、給気口の位置、給気口風速、吹出し口の通風抵抗をいろいろに変えて行なった。その一覧表を表-1 に示す。

3. 実験結果

給気口の位置を変えて、目視観察と写真撮影から得た平均的な流線の例を図-5 に示す。流線は、給気口の風速、および吹出し口の通風抵抗にほとんど依存しない。図-6 は同様に、給気口の位置を変えたときの吹出し風速の分布の例を示したものである。i 番目の吹出し口に

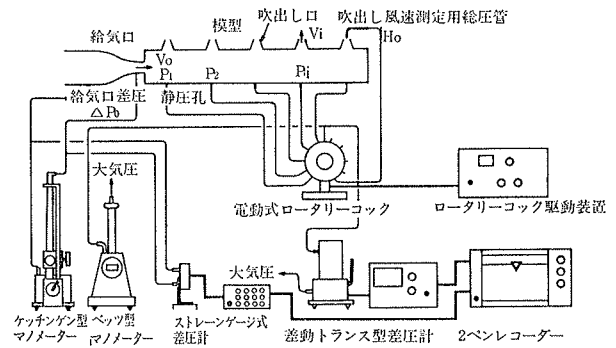


図-4 測定系統図

| 給気口の位置 | ζ | V_0 (m/s) | 給気口の位置 | ζ | V_0 (m/s) | 給気口の位置 | ζ | V_0 (m/s) |
|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|
| A | 1.1 | 40.2 | B | 1.8 | 37.0 | G | 1.1 | 43.4 |
| A | 1.8 | 40.0 | B | 2.2 | 14.0 | G | 1.8 | 41.3 |
| A | 2.2 | 15.6 | B | 2.2 | 20.7 | G | 2.2 | 40.1 |
| A | 2.2 | 22.0 | B | 2.2 | 28.8 | H | 1.1 | 43.7 |
| A | 2.2 | 30.3 | B | 2.2 | 38.6 | H | 1.8 | 41.7 |
| A | 2.2 | 39.4 | C | 1.1 | 40.8 | H | 2.2 | 40.5 |
| B | 1.1 | 11.9 | C | 1.8 | 39.7 | I | 1.1 | 44.0 |
| B | 1.1 | 21.9 | C | 2.2 | 39.3 | I | 1.8 | 41.9 |
| B | 1.1 | 30.6 | D | 1.1 | 41.8 | I | 2.2 | 41.0 |
| B | 1.1 | 38.0 | D | 1.8 | 40.1 | J | 1.1 | 43.8 |
| B | 1.4 | 15.1 | D | 2.2 | 39.0 | J | 1.8 | 41.9 |
| B | 1.4 | 22.1 | E | 1.1 | 41.7 | J | 2.2 | 41.0 |
| B | 1.4 | 29.2 | E | 1.8 | 40.2 | K | 1.1 | 41.1 |
| B | 1.4 | 37.6 | E | 2.2 | 39.5 | K | 1.8 | 39.2 |
| B | 1.8 | 14.1 | F | 1.1 | 42.3 | K | 2.2 | 38.7 |
| B | 1.8 | 22.0 | F | 1.8 | 41.3 | | | |
| B | 1.8 | 30.5 | F | 2.2 | 40.7 | | | |

表-1 実験条件

における V を V_i と呼ぶことにし、 V_i から V_{15} までの平均値を V_m として、結果を風速比 V_i/V_m で示す。数値が負の場合、吹出し口では気流が吸込まれていることを意味する。 V_i/V_m が 0.9~1.1 の吹出し口に○印をつけ、 V_i/V_m が 0.5 以下のものに×印をつける。風速比の分布状態は給気口風速 V_0 によってあまり変わらない。実験の多くは V_0 を約 40 m/s にして行なった。この風速は、レイノルズの相似則によって実物に換算すると、約 2 m/s に相当する。流線および吹出し風速分布に関する実験結果から、次のようなことが明らかになった。(1) 給気口が隅に近い所に位置する場合は、全体に大きな循環流が形成される。このとき、吹出し口の通風抵抗が小さくても、吹出し風速の分布は均一になる。(2) 給気口が短辺の中央にある場合には、二つの循環流が生じる。給気は中央部の小梁によってせきとめられ、この部分の吹出し風速が高くなる。吹出し口の通風抵抗が小さい場合には、周辺部の吹出し口で気流の吸込みが起きる。通風抵抗を増すと、吹出し風速の分布は均一になる。(3) 給気口に対向して壁がある場合は、流れがふたてにわかれ、小さな渦が多くできる複雑な流れとなる。給気口の両側に強い渦ができ、吹出し口に吸込み気流が発生する。風速分布は最も悪い。通風抵抗を最大にすると、吹出し風速は均一になる。吹出し口における気流の吸込みは、吹出し口が渦の中心に一致したときに起きやすい。静圧分布の

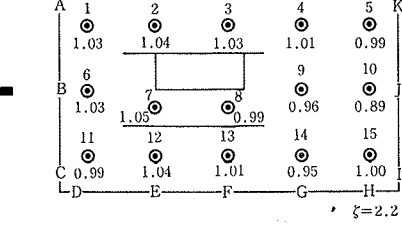
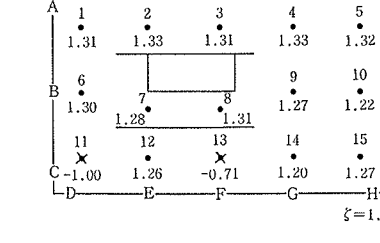
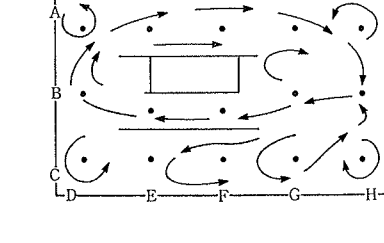
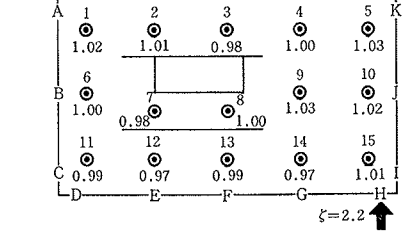
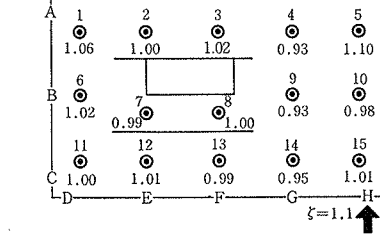
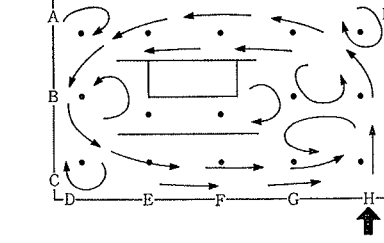
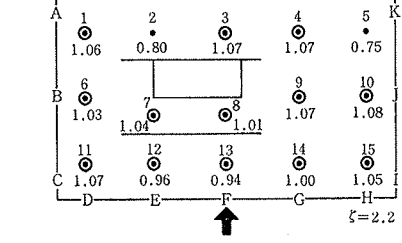
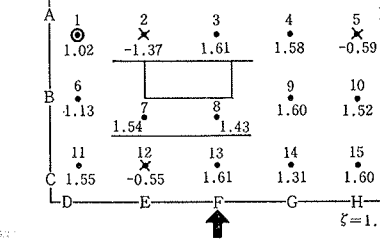
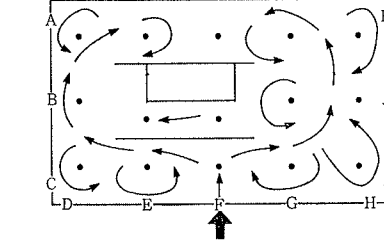
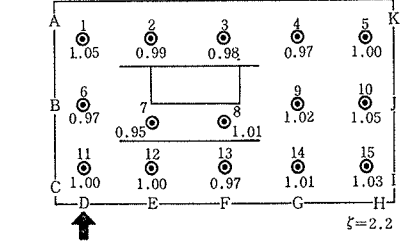
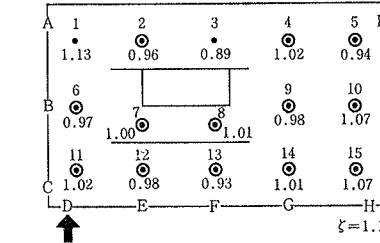
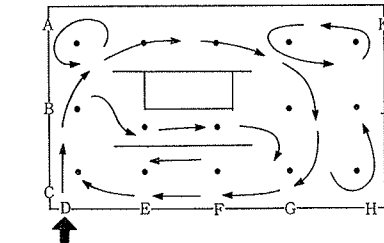
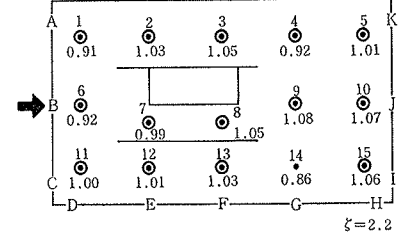
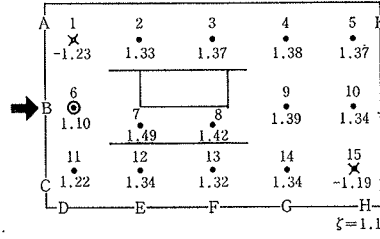
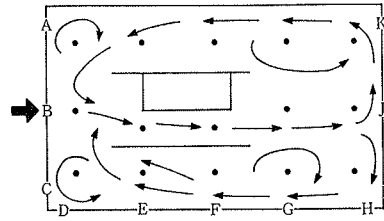
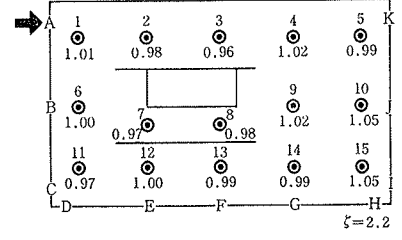
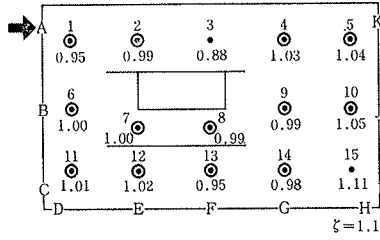
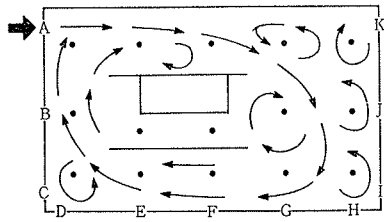


図-5 流線

図-6 吹出し風速分布 (V_i/V_m)
 $V_0=40$ m/s

結果については、紙面の都合で省略するが、その分布状態は、吹出し風速分布とよい対応を示す。風速分布が不均一な場合は静圧分布も不均一であり、均一な風速分布の場合は、均一な静圧分布が得られる。

4. 考察

均一の度合を見るのに、戸河里らは、測定値の標準偏差を用いている。ここでは同じ手法を用い、給気ダクトの位置による吹出し風量の均一性を見るために、給気口風速が約 40 m/s のときの吹出し風速 $V_1 \sim V_{15}$ の標準偏差 σ を求め、それを平均風速 V_m で割った値を求めてみた。給気口の位置をパラメーターとして、通風抵抗係数 ζ と σ/V_m の関係を見ると、図-7 のようになる。便宜上 σ/V_m が 0.1 以下のときを均一な分布とみなすことにすると、図の破線以下の通風抵抗係数をもつ吹出し口を選べば、均一な吹出し分布が得られることになる。

実験で用いた吹出し口は実際の吹出し口とかなり異なった形状をしている。チャンパー内の流れが吹出し口から受ける影響は、内平面上における吹出し口の開口形状、吹出し流量 Q 、チャンパー内と室内の圧力差 ΔP の三つに依存すると考えられる。さらに、チャンパー全体に対して開口面積が小さければ、中の流れは Q と ΔP に依存するといってよいであろう。このことは、図-8 に示すような形の異なった二つの吹出し口があり、一方では $\Delta P = K_1 \cdot Q^2$ が、他方では $\Delta P = K_2 \cdot Q^2$ の関係が成立していた場合、二つの比例定数 K_1 と K_2 が等しければ、二つの吹出し口は同等であることを意味する。したがって、実験で得られた結果は、この関係を使って、他の異なる形状の吹出し口に適用することができる。

5. 結論

無梁板構造で建てられた、スーパーマーケットを対象として、建物の一部に、27 m × 45 m の区間を考え、これに天井給気チャンパー方式を適用することを想定して、1/20 の模型をつくり、天井裏チャンパー内の気流に関する実験を行なった。得られた結果は、次の通りである。

(1) 流線は給気ダクトの位置によって大きく変化する。給気ダクトから吹出す気流の速度、および吹出し口の通風抵抗によって変わらない。

(2) 吹出し風速の分布状態は、給気ダクトの位置、および吹出し口の通風抵抗によって、変化する。

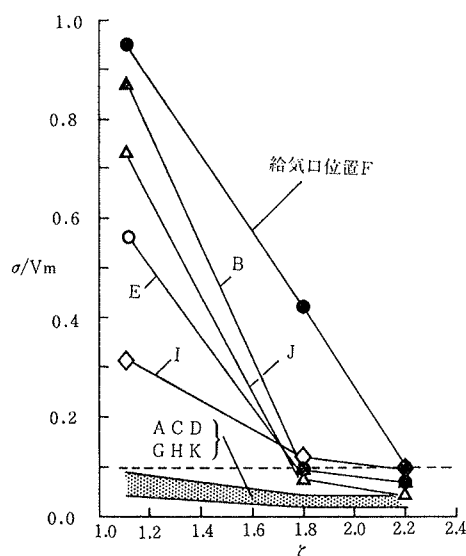


図-7 吹出し風量の均一性
通風抵抗係数の関係

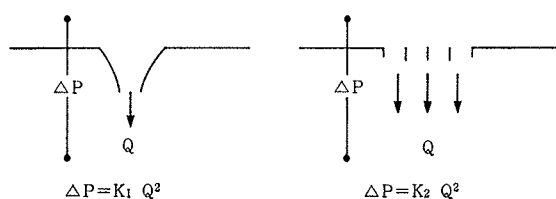


図-8 吹出し口の通風特性

(3) 吹出し風速の分布を均一にするためには、給気ダクトは、天井内の流れが、大きく、ゆるやかに回るような位置に配置するのがよい。ダクト出口直後に対向する壁があるような位置は避けるべきである。また、吹出し口の通風抵抗を大きくすることによって、均一な吹出し風速分布を得ることができる。適当な通風抵抗の大きさは、給気ダクトの位置によって異なる。

参考文献

- 1) 向野, 小池, 牧野: 大成ダクトレス空調方式, 建築設備, (昭和51.12), pp. 53~57
- 2) 戸河里, 小原, 早川, 田中: チャンパー吹出し方式の空気特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和51.10), pp. 211~212
- 3) 戸河里, 早川, 脇田: チャンパー吹出し方式の空気特性に関する実験的研究 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和52.10), pp. 245~246