開放感に関する研究・3

(自然空による実験, 現場実験, 許容限度)

正 会 員	乾	正	雄*
正 会 員	宮 田	紀	元*
正 会 員	渡 辺	圭	子*

はしがき

前稿(1),(2)では, 視環境の一つの指標として開放感を提案し, 被験者を用いた数次にわたる模型実験を行なって開放感と視環境諸要素との関数関係を明らかにした。本稿では, 補足的にひきつづき行なわれた次の三つの実験について報告する。

(1) 自然空を用いた実験。現実の状況における明るい天空の影響, 窓外遮蔽物の影響を検討する。

(2) 実際の部屋における実験。模型実験の結果が実際の部屋に適合するかどうかを検討する。

(3) 開放感の許容限度に関する実験。許容限度(下限)が存在するかどうか, 存在するとすれば, その値はどのくらいかを知る。

1. 自然空を用いた実験

1.1 実験の目的

前稿(2)の実験で, 天空の明るさにより開放感の実験式の諸指数が系統的に変化する傾向が見られた。自然空は天候により, また時間により変化する。しかも, 天空輝度は方向によっても著しく異なる。それゆえ, 前稿までの模型実験では, 自然空との相違を検討した上で天空輝度の変動することのない人工空を使用してきたのである。しかしながら, 自然空の持つ明るさの範囲はきわめて大きく, 人工空では実現できない部分が大きい。また, これまでの実験では問題の単純化のために窓外の景色を含め天空のみを想定してきたが, 現実には都市部における建築物の密集化などにより, 窓の外に見える隣接建物が開放感におよぼす影響は小さくない。

この実験はこれらの諸点に関する情報を得るために, 幾分の精度の低下を容認して自然空の下で行なわれた。実験の目的は次の2点である。

(1) 明るい天空における開放感の実験式の指数の変化を検討する。

(2) 窓外遮蔽物の開放感におよぼす影響を検討する。

1.2 模 型

自然空を用いた実験は戸外で行なわれるので, その目的に便利な模型室が作製された。図1および図2にその概要を示す。縮尺は1/15で, 木製である。室容積の影響は前稿(2)の結果からみて天空の明るさに関係しないとみてよいので一定(288 m³)とした。すなわち, 間口12m, 奥行8m, 天井高3mの事務室に類する部屋を想定して模型が作製された。窓は, 下端は床面より1m, 上端は天井面まであり, 幅は壁パネルの交換により

図-1 模型 (1/15)

図-2 実験場所におかれた模型

* 建設省建築研究所
(昭和46年9月1日日本稿受理・討論期限昭和47年7月末日)

全開幅 12 m (W 2), 半開幅 6 m (W 1) の 2 種類に変化させた。模型の天井裏には白色 10 W けい光灯 24 本を備えた光源箱をおき、SCR 調光装置により室内照度を 500 lux (L 1), 1000 lux (L 2) の 2 段階に変化させた。室内側天井面の照明器具は、半透明アクリルカバー付の天井埋込み器具とし、間口、奥行方向とも等間隔に配置した。仕上げの色彩は天井面 N 9, 壁面 10Y 9/1, 床面 10 YR 7/2, 幅木 10 GY 7/1 である。また、適当な数の机および椅子が模型と同縮尺に作製、配置され、部屋らしくみせると共に大きさ判断の手がかりを与えた。

1.3 自然空

明るさの変動を避けるため、比較的安定した曇天空時に実験を行なった。天空の明るさは全天空照度で 2000 lux (S 1), 5000 lux (S 2), 10000 lux (S 3) の 3 段階とした。ただし、この変動は避けられないので、上の値から $\pm 20\%$ 以内の変動範囲は許容することとし、これを越える時は実験を中断した。なお、全天空照度の測定は、周囲に高層建物がない 3 階建て建物屋上において東芝、SP-1 型照度計を使用して行ない、その変動は実験中連続的にチェックした。また、アサヒペンタックス・スポットメータにより模型の窓外の輝度の測定も行なった。

1.4 天空輝度と全天空照度の関係

人工空では輝度およびその分布は安定しているので、直接窓から見える天空の輝度を用いて天空の明るさを表わした。しかしながら、自然空ではそれらがきわめて不安定で、天空全体の明るさを代表するものと言いがたいので全天空照度を指標とした。したがって、これら両天空のもとでの実験は、厳密な意味では関連づけることができないが、実験に用いた自然空の輝度分布が CIE 基準曇天空のそれと仮定すれば、両者とも全天空照度を用いて比較することは可能である。

1.5 実験場所

建築研究所中庭および 3 階建て建物において水平方向、鉛直方向に並ぶ計 7 点が実験地点に選ばれた。図 3

図-3 実験場所

はそれらの地点の概要を示す。P1→P4の地点は対向建物までの距離の影響を検討するために選ばれたもので、いずれの地点においても模型室の窓を通して天空は見えず、建物のみ見える。P4→P7の地点では建物までの距離は一定で、窓に占める空の割合が変化する。

1.6 実験手続

P1→P7の地点において室内照度2段階(L1→L2),

窓の大きさ2段階(W1→W2)の組合わせの状態を全天空照度3段階(S1→S3)の自然空下で被験者に観測させた。被験者は8名で、測定は前稿(2)の実験同様マグニチュード推定法により、教示もほぼ同様に行なった。標準に用いたのはP2, S3, L2, W1の状態である。この状態の開放感のマグニチュードを100とし、被験者は各状態とこの標準とを継時比較して評定値をカードに記入し投函する。模型室の状態の変化は場所P, 室内照度L, 窓の大きさWについては完全にランダムな順序で行なった。ただし、全天空照度Sについては、夕刻の空の明るさの変化に伴い毎日、明るい空(S3)から暗い空(S1)という一定の順序で実験を行なった。なお、実験は空の状態の悪い部分については繰返され、結果の整理には前述の天空の明るさの許容変動範囲内のデータが採用された。

1.7 開放感の測定値

開放感の評定は被験者にとって、人工空における実験の場合と大差なく容易に行なわれた。天空の変動も、まったく影響のない範囲で測定が行なわれたと考えてよい。また、評定のちらばりは、変動係数の平均で0.38と、人工空の場合より幾分小さいくらいであった。このちらばりは、諸要素別にも一定している。開放感の評定値としては、幾何平均が代表値として用いられた。

2. 明るい天空と開放感

2.1 全天空照度の開放感に与える影響

全天空照度と開放感の関係を、他の条件が一定であるとして、両対数グラフにプロットしたものの一例が図4である。いずれもばらつきが小さく、直線性を示す。多

図 4 全天空照度の開放感に与える影響

くの直線の平均的な傾きは水平に近い。すなわち、巨視的には全天空照度が直接開放感に影響する度合は少ないと考えられる。しかし、詳細な分析を行なうと、その度合は窓の大きさ、室内照度とはある関係をもつことがわ

かる。すなわち図4で、LW 22 と 21, 12 と 11 の二つの直線の組合わせ（これは窓の大きさの違いによる差を表わす）、あるいは LW 22 と 12, 21 と 11 の組合わせ（これは室内照度の違いによる差を表わす）を検討すると、全天空照度が大きくなるとそれらの差異が大きくなる傾向が見られる。これは前稿（2）の実験におけると同じ傾向であり、天空の明るさが窓の大きさ、室内照度の開放感への寄与の割合に関連していることを意味する。したがって、これらの変数は、天空の明るさ別に整理される必要がある。

2.2 室内照度と開放感

室内照度と開放感の関係を前稿（2）におけると同様に

$$S_p = C_1 \cdot L^\alpha$$

S_p : 開放感

L : 作業面照度

の形の式に回帰した。指数 α の平均値を求めてみると、全天空照度別にほぼ一定の値をとり、有意な差がみられる。測定地点別、窓の大きさ別にはそのような差異は見られない。表1は、 α の値の平均値を全天空照度別に求めたものである。全天空照度 S1, S2 ではかなりちがいが大きい、平均値が全天空照度の増大とともに系統的に大きくなっていくことは明らかである。

表 1. 指数 α の平均値

全天空照度	α の平均値
S1	0.2696 ± 0.1670
S2	0.3387 ± 0.1003
S3	0.5696 ± 0.0722

2.3 窓の大きさと開放感

窓の大きさと開放感の関係を同様に

$$S_p = C_2 \cdot W^r$$

S_p : 開放感

W : 窓の立体角投射率

の形の式に回帰した。指数 r の値の平均値を求めたものを表2に示す。室内照度の場合とは異なり、あらゆる場合にあまり変らぬ値をとる。これは人工空下の実験結果と異なる。

表 2. 指数 r の平均値

全天空照度	r の平均値
S1	1.0252 ± 0.2719
S2	1.0041 ± 0.2170
S3	1.1034 ± 0.2915

2.4 全天空照度による係数と指数の変化

これまでの検討で、開放感の実験式 $S_p = C \cdot L^\alpha \cdot R^\beta \cdot W^r$ の指数 α, β, r , 係数 C は、ある場合に天空の明るさの影響を受けることがわかった。ここで、人工空、自然空の両方の実験結果を総合して、変化の傾向を図化しておく。横軸に全天空照度を取り、これらの指数、係数（縦軸にとる）の変化をみると図5になる。窓の大きさについての r は必ずしも滑らかに連続しないが、あとのものについてはよく連続する。実験が行なわれた場合以外の中間の全天空照度についての指数、係数の値を読み

図 5 全天空照度による係数と指数の変化

とすることができる。

3. 窓の有効率

3.1 遮蔽物としての景色

窓の外景色は、田園などでは近景遠景が重なりあって遠近感を強めたり、樹木の豊かな緑が人の眼に安らぎを与えたりする。しかしながら、市街地など、建築物の密集度の高い場所では、窓外に隣接した建築物のため視覚上障害となることが普通である。開放感についても、いくら大きな窓があっても大きな開放感の値はのぞめないことが多い。そこで、開放感にとって障害となる景色について検討する。窓の前方の障害となる建物までの距離と、それが窓に占める割合との2点に問題をしばり、開放感との関係をみた。

3.2 窓の有効率

開放感を予測する実験式は、窓面から天空のみが見える場合に適用される。現実の窓では、その大きさが一定であっても窓外の隣接建物が天空の一部または全部を遮蔽したりして、その度合により開放感の値が減じる。言い換えれば、それら景色（障害物としての）の影響で窓の実効的な大きさが変わる。

窓の有効な大きさの、窓の実際の大きさに対する比を有効率と呼ぶことにする。いま、ある天空輝度のもとで視環境要素 (L_1, R_1, W_1) を組合わせた状態の部屋の開放感を考える。 L_1, R_1 は一定として、 W_1 なる大きさの窓の外が天空のみであれば実験式より $S_{p1} = C \cdot L_1^\alpha \cdot R_1^\beta \cdot W_1^r$ なる開放感が得られるはずであるが、実際には窓外の障害となる景色のために S_{p1} より小さい値 S_{p0} なる開放感しか得られない。ここで再び実験式より $S_{p0} = C \cdot L_1^\alpha \cdot R_1^\beta \cdot W_0^r$ なる W_0 を求めると、 W_0 は天空が全く遮蔽されない場合に S_{p0} なる開放感を与える仮想上の窓の大きさである。すなわち、これは W_1 という大きさをもつ窓の開放感に関する有効な大きさである。いま両者の比を

$$\rho = W_0 / W_1$$

とすると、 ρ が窓の有効率になる。

3.3 天空の割合と窓の有効率

実験により得られた資料 (S_{p0}, L_1, R_1, W_1 に相当す

図 6 天空の割合と有効率
(対向建物までの距離 35.1 m)

る)より、天空の窓に占める割合(面積%)と有効率 ρ_s の関係を全天空照度別に求めたものを図6に示す。両者の関係はいずれも直線的に変化するとみなしてよく、また、天空照度が異なっても類似している。直線は、天空の割合が100%のとき有効率1.0になるようにひいてある。また、天空の割合が0%のときの有効率は約0.5となる。上の結果は、障害物までの距離がある一定の場合(35.1 m)についてのものである。もっと障害物が接近すれば、直線の勾配は急になるものと考えられる。

3.4 建物までの距離と窓の有効率

次に、天空の割合が0%のときに、建物までの距離と窓の有効率 ρ_d の関係を検討したものを図7に示す。両者の関係はいずれの場合も一直線上によくのり、全天空照度によっても変わらない。直線を延長すると、距離0 m

図 7 対向建物までの距離と有効率
(天空の割合 0%)

で有効率0となり、現実とよく合致する。また、有効率1.0となる距離は約60~70 mであり、これより離れると建物は障害とならない、つまり建物の影響圏外にでることになるのは興味深い。上の ρ_d は天空の割合0%のときについて求めたものである。天空の割合0%のとき、建物の影響圏は最大であり、それは天空の割合の増加と共に小さくなり、天空の割合100%で0になると考えられる。

4. 実際の部屋における開放感

4.1 目的

実際の部屋における開放感は、条件を厳密に操作できる模型実験と異なり不確定要素が多いので、実験式の適用ができるかどうか問題である。実際の部屋では部屋の形、窓の位置、照度分布、窓外の景色などが多様であること、また、スケールが模型と非常にちがうことなどがあるからである。そこで、実際の部屋でも実験を行なって、上記の点を検討する。

4.2 実際の部屋における実験

実験に選ばれた部屋は、複雑な間仕切、家具などのあまりない矩形の空間で、建設年代が比較的新しく、人工照明設備があり、窓は一面のみにあり、なるべく多くの天空がのぞめ、あまり極端な色彩を使用していない、実験時に居住者のいない部屋とした。また、それらは室の大きさ、明るさ、窓の大きさなど、できるだけ広い変化範囲をとるものとした。採用された部屋は東京大学、東京理科大学、建築研究所などの事務室、会議室など43室である。これらは上の諸条件をかなりよく満たすが、細部にはいくらか変化がある。

開放感の測定はマグニチュード推定法によった。被験者は建築学専攻の大学生および大学院生など、男子7名女子1名である。実験の最初に見せる部屋の開放感を標準100として継時比較させた。被験者は模型実験の場合とほぼ同様な教示を口頭で受けた後、部屋の窓面と対向する壁ぎわの中央に立って開放感を評定し、カードに記入して投函した。天空ならびに窓外建物の輝度、全天空照度、作業面平均照度などの測定、部屋と窓の寸法の計測、立体角投射カメラによる窓の撮影も行なった。その間の輝度、照度などの時間的変化はほとんどなかった。

実験は、43室を場所の別に3群にわけて、異なる日に行なった。したがって、標準は各群ごとに違った状態のものを100としたので、各群ごとにそれぞれ、単位の異なる測定を行なったことになる。これらに関連づけて検討するために、単位の変換を行なった。実際の部屋において測定された環境要素を実験式に入れて得られた開放感の計算値と、その部屋における開放感の評定値とを両軸にとってプロットすると、いずれの場合も直線的な関係になり原点を通る。直線の勾配の逆数を補正係数と考え、実測値に掛け合わせると、いずれの実測値も模型実

図-8 実際の部屋における評定値と計算値

験の開放感の単位で表現されることになる。各々の補正係数は 0.61, 0.57, 0.64 である。

43 室についての補正された開放感の実測値と、実験式による計算値との関係を図 8 に示す。完全適合を意味する 45° の線を中心に集中してちらばっている。開放感の値は 20~260 の範囲である。両者の値は必ずしも一致してはいないが、およそ誤差±20%の範囲内に納まっており、特に偏った傾向もない。誤差が、部屋の縮尺等に関係するものでないことは明らかである。現実の部屋における要素の複雑性、窓の外の景色の複雑性（模型実験のように単純ではないので、窓の有効率の補正はしていない）を考えると、きわめてよく適合していると言える。特殊な空間を除いて、実験式は現実の部屋に良くあてはまると結論することができる。

5. 開放感の許容限度

5.1 目的

開放感の心理量は、これまでに述べたところで明らかのように、快・不快などの価値観は含まないものとしてとり扱われて来た。つまり、開放感は純粋に視覚的な空間の大きさの感じのマグニチュードを表わすものと考えられて来た。この点、開放感は音の大きさ (sone) とか明るさ (bril) のような尺度と、根本的に同じ性質をもつ。しかしながら、この尺度を快・不快などの価値観と関連づけるためには、尺度上のどこでどのように快・不快の反応の転換が起こるかを検討する必要がある。尺度上の快の範囲が設計の目標となるからである。そこで、次には開放感の快の範囲を求める実験、言いかえると、開放感の快の範囲の許容限度を求める実験、を 2 通りの方法で行なった。

5.2 実験装置および模型

実験は、人工空下で 1/20 模型を用いて行なった。1/20 模型を用いたのは、実験上操作しやすいという理由による。模型の縮尺が開放感の評定に有意な影響を及ぼさないことは、すでに検討済みである。

5.3 予備実験

本実験にかかるまえに、少数の状態の開放感の許容限度について、少数の被験者により、後述の 5.4 の方法で予備実験を行なった。

その結果、次の点がわかった。

(1) 普通の部屋がとりうる範囲では、開放感はあるすぎて不快であるということはない。すなわち、開放感の許容限度の上限値は存在しない。ただし、二面採光、三面採光などの部屋のように、極端に開放感の大きい部屋については、まだ明らかではない。

(2) 開放感が最適であるという点を決定することは困難である。すなわち、最適値はないと考えてよい。

(3) 開放感の下限値は明らかに存在し、その値は 100 前後である。

5.4 許容限度を求める実験—1

上述の検討の結果にしたがい、開放感の許容限度の下限を求める実験を行なった。前節で見当をつけた変換点を含むと思われる開放感 40~210 の範囲で、10 おきに、同一開放感を作り出す視環境要素の組合わせを計算図表より各々 4 組求め、計 $4 \times 18 = 72$ の状態を完全にランダムな順序で被験者に呈示する。被験者は 8 名で、口頭で教示（付録参照）が行なわれたあと、各状態が開放感の許容限度の下限を越えているかどうかを二件法（○または×）で判断する。手続は恒常法である。

結果を図 9 (a) に示す。各開放感に対する被験者の判断の累積度数がわかる。すなわち、開放感が 50 程度より急激に大きくなり、130 を越すと横ばい状態となる。○と×の両反応の変換する点は、両反応の頻度の等しい開放感 85 近辺である。

図-9 開放感の許容限度の累積度数分布

5.5 開放感の許容限度を求める実験—2

次に、被験者に反応の変換点そのものを直接判断させる実験を行なった。実験の手続は極限法である。すなわち、開放感に関係する三つの視環境要素のうち二つを固定し、他の一つを実験者が連続的に変化させる。被験者は、丁度、許容限度にあると思った時に実験者に合図する。要素の変化は常に、大から小への変化（下降系列）と小から大への変化（上昇系列）の両方向が行なわれた。たとえば、室容積と室内照度を固定しておいて、実験者は窓の大きさを全開から連続的に少しずつ小さくして行く、または逆に、完全に閉じた状態から開いて行くという二合である。被験者は、変化の連続上に変換点がないと思えば指示する必要はない。8名の被験者が1人あたり16観測を行なった。これまでと同様に実験に先だち口頭で教示が行なわれた。

結果は、被験者の合図した点が上昇・下降の両系列で有意な差がないことを確かめた後、許容限度の累積度数分布にえがいた。それを図9(b)に示す。(a)の分布曲線ときわめて類似しているが、収束の仕方が幾分違うのは測定法の相違によるものと考えられる。ここでは、快・不快の変換点は90近辺になる。この値は実験—1の結果と大差ない。

5.6 考 察

二つの実験により、開放感の許容限度の下限の変換点は85~90であることがわかった。また、開放感が150~200以上になると、ほぼ全被験者が満足することもわかった。この結果を言いかえると、設計の目標値としては、ラウンド・ナンバーをとって、少なくとも100、できれば200をとればよいと言えるであろう。

ま と め

前稿(2)の実験の補足にあたる自然空における実験、実際の部屋における実験、許容限度を求める実験などを行なった。主な結果は次の通りである。

(1) 実験式における C , α , β , r と全天空照度の関係が、10000 lux までの範囲で明らかにされた。

(2) 窓外に遮蔽物がある場合は、天空の割合と対向建物までの距離により、窓の有効な大きさが減じる。

(3) 模型実験の結果は、実際の部屋によく適合する。

(4) 開放感には許容限度の下限が存在する。しかし上限は実験の範囲では見出だされていない。

謝 辞

本研究は建設省建築研究所において1967年より4年間にわたって行なわれたものである。その間、著者の一人(宮田)は東京大学大学院に在籍してこの研究に加わったが、自由な研究活動を許されたこと、激励と指導をいただいたことに関して、東京大学の斎藤平蔵教授野村豪助教授に深謝の意を表するものである。

付録：教示（許容限度を求める実験—1）

これから、開放感の許容限度を求める実験を行ないます。説明している間に、あなたの目をじゅうぶん人工空の明るさにならして下さい。

私達は、戸外に張り出したテラスに出ると、開放されて広々とした感じを持ちます。また、閉めきった狭い部屋の中では、窮屈で閉じ込められたような気持ちになります。このように、私達が日常経験する部屋の、目で見た広さの感じが開放感です。

この実験は、これ以上小さくなると耐えられない開放感の限度を求めるものです。多くの部屋を、いろいろな状態で、多数の人々に観察してもらいます。

いろいろな部屋の状態を完全に不規則な順序で呈示しますから、あなたはその部屋を観察口から見て、自分がその部屋の壁ぎわに立っているものと仮想してよく観察して下さい。それで、その状態の開放感がこれ以上小さくなると耐えられない限度より小だと思えば×印を、その限度より大だと思えば○印を、判定表に記入して下さい。

時間の制限はありませんが、複雑に考えないで感じたままを記入して下さい。

U.D.C. 624.014.2.043 : 539.3

INELASTIC H-COLUMNS UNDER TRI-AXIAL MOMENT (Part 1)

—Elasto-Plastic Analysis of Thin-Walled Open Sections 3—

by Dr. **TOSHIRO SUZUKI**, Associate Professor, Tokyo Institute of Technology : **MAMORU KIMURA**, Research Officer, Takenaka Technical Research Laboratory : Members of A.I.J.

As the general space loading on the corner H-columns, bi-axial bending moment gradient and uniform torsion under constant axial load are assumed. Some problems in theoretical analyses, arisen by applying torsion, are investigated and a few analytical examples are given. Problems particularly considered in the analysis are as follows;

- (1) use of sine and cosine for torsional angles
- (2) effect of cross-sectional rotation on curvature
- (3) derivatives of the co-ordinates of the torsional center
- (4) derivatives of the flexural-torsional rigidity
- (5) Shear force due to moment gradient
- (6) Yield criterion considering the interaction of normal and shear strain

U.D.C. 624.074.4

NUMERICAL ANALYSES OF ROOF TYPED HYPERBOLIC PARABOLOIDAL SHELLS

by Dr. **OSAMU MATSUOKA**, Prof. of Nagoya Univ. and **SHIRO KATO**, Graduate Student of Nagoya Univ. and **TAKAO KAWASHIMA**, Nagoya Branch Office of Shimizu Construction Co. Ltd., Members of A.I.J.

The behaviours of the roof typed shallow hyperbolic paraboloidal shells with square site plans are investigated using the finite element method.

How the displacements and stresses of the shells under the uniform load with pinned boundary conditions on all four sides change when the number of division meshes changes is studied, and the accuracy of the present method is discussed from the comparison between the results of this method and the Fourier series expansion method. The comparison shows the good agreements of both displacements and stresses.

The behaviours of the roof typed shell built up four equally shaped unit shells supported on the four corners are investigated mainly to get some knowledge about the effects of the stiffened beams attached as shown in Fig. 14.

The effects of the bending rigidities and eccentricity of beams against shell slabs and the two boundary conditions of the pinned supports and the fixed supports are discussed.

U.D.C. 628.9.06

EVALUATION OF SPACIOUSNESS (3)

(See Trans. of A.I.J. No. 192 Page 55)

by **MASOI NNUI**, **TOSHIMOTO MIYATA** and **KEIKO WATANABE**, Researcher of Building Research Institute, Members of A.I.J.