58. ヤオトン(窑洞)の光環境改善に関する研究

— その1. 天空光下での光環境予測手法における一考察 —

加藤 未佳 太田 裕司
(日本大学大学院)関口 克明
(日本大学)

1. はじめに

近年では省エネルギーなどの観点から、ブライアンソレイユ・ライトシェルフなど、直射光を有効に利用して熱負荷を抑え、室内照度を上昇させる計画手法が提案されている。更に今後、自然エネルギーを最大限とり入れるサステナブルな設計手法が増加するであろうことが予想される。このような昼光利用は、室形状の多様化などに伴い、従来の計算による評価ではその効果を正確に予測することは困難である。そこで今回は、中国黄土高原窑洞住居の光環境改善に関する研究を通し、特殊な形状を持つ場合の光環境予測手法を検討した。本報では、天空光下における光環境予測手法について報告する。

2. 窑洞とは

窑洞は、日較差・年較差の大きい苛酷な外的条件においても地中住居であることから、断熱性、蓄熱性に富み夏涼しく冬暖かい、省エネルギー的な居住形態として受け継がれてきた(写真-1)。地域の気候特性に適応した地中住居に見られる厚い壁は、直射日光の侵入を防ぎ、自然光の導入をも制限しており、今日の常識的明視条件に比較すると非常に暗くなっていることから、省エネルギー的な居住形態を維持した上での光環境改善が必要である。98・99年における環境調査¹⁾からも一面開口に起因する室内の暗さは明らかであり、特に室奥部の昼光率は1%未満と非常に低い値をとっている(図-2)。また、窑洞は空気質にも問題があり、換気性能の悪さが指摘されている。そこで、双方の問題解決案のひとつとして、建物後方の光ダクト設置が提案された(図-1)。今回は、天空光下で光を効果的に取りこむための、光ダクト部分の高さと奥行きを、模型実験と計算によって予測した。

3. 模型実験による評価

天空光下での最適寸法を検討するため、模型実験を行った(写真-2)。模型は縮尺1/20で、床は反射率の低い黒、天井は反射率の高い白、側壁には家具配置を考慮し平均化した反射率48%を採用した。白い布を張った直径約5mのドーム内に150Wの電球(HID)を4個、200Wの両口ハロゲン電球4個を設置し、光を球状の白い布に照射し、十分拡散させ天空光を再現した。当ドーム内で実験を行い、室中央の前面開口部から室奥部(ダクト設置方向)に向かって0.8・2.2・3.6・5.0・6.4・7.8m地点で、ダクト奥行きを0.5~5.0mの範囲で0.5mずつ変化させ、床上1.1mの高さで測定した(図-3)。図-4を見ると、1.0~2.0の間で比較的高い値をとり、1.5mの時に最大値をとっている。ダクトの奥行きは、短過ぎても、長過

写真1 窑洞外観

図1 窑洞(平面図・断面図)

図2 窑洞の[室内照度/室外照度][実測値]

写真2 天空光による実験風景

図3 各種光ダクトの[室内照度/室外照度][模型実験]

図4 室奥部(L=7.8m)の[室内照度/室外照度]

[模型実験]

A Study on improvement of luminous conditions in Yao-dong

part.1 Examination of the predicted method for luminous condition in overcast sky

KATO Mika

OHTA Yuji

SEKIGUCHI Katsuki

ぎてもその効果が低下する傾向が見られた。

4. 計算による評価

受光点に与える影響を壁面別に確かめる為に計算によって影響量を算出した。従来、光環境予測には立体角投射率が用いられているが、これは、受光点が開口面に対して平行か垂直である条件を想定している。しかし、今回の場合は立体角投射率を求めたい受光面が開口部と面していない為、従来の式では計算することが出来ない。そこで、一次反射量の影響が一番大きいという予測から、光ダクト壁面および天井からの反射光がどのような割合で受光点に入射するのかを計算した。反射率は床が0%、天井は85%、側壁は48%とした。手順は次の通りである。

(図-5)

- ① 開口面から各壁面及び天井への入射量を求める。
- ② ①で求めた一次反射量がどのような割合で受光点に入射するのを知るため、受光点(室中央列・前面開口部から7.8m地点)を微小で水平な面光源(0.1m×0.1m)とし各壁面及び天井への入射量を求める。
- ③ ②で求めた全体量を1とし、分布割合を出す。

$$\text{分布割合} = \frac{1}{(\sum U_{2c} + \sum U_{2b} + \sum U_{2s}) \times 0.01} \times U_2$$

U_2 : ②で求めた各点の立体角投射率

U_{2c} : ②で求めた天井の立体角投射率

U_{2b} : ②で求めた後壁の立体角投射率

U_{2s} : ②で求めた側壁の立体角投射率

- ④ 分布割合を各点の立体角投射率と乗する。
- ⑤ ④で求めた値の合計値が、一次反射による受光点の昼光率となる。
- ⑥ 更に、間接昼光率を求め、一次反射の影響と合成した。このとき、間接昼光率の内、一次反射はすでに計算しているため、全体量から一次反射量を引く。

$$D_r = 50 \times \left(\frac{S_w}{S} \right) \times \left(\frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \right) \times \rho_m$$

D_r : 間接昼光率

S_w : 採光(窓)面積[m²]

S : 全表面積[m²]

ρ_m : 面積荷重平均反射率

- ⑦ ⑥で求めた間接昼光率を、⑤で得た一次反射の影響と合成すると受光点の昼光率となる。

以上の計算法で、ダクト奥行き0.5m・1.0m・1.5m・2.0m・4.0mの場合について計算した。更に、模型実験結果と比較する為に、計算値に前面開口からの直接昼光率と間接昼光率をプラスした。

図-6をみると、天井・側壁の値はダクト奥行きにあまり左右されず、後壁の値から大きく影響を受けている様子がわかる。これより、後壁に高い反射率を与えることが効果的であると予想できる。また、ダクトの奥行きが狭いほど間接昼光率の影響が大きい様子も見られる。計算値、模型実験値は共にほぼ同じ値をとっている(図-7)。天空光下におけるダクト奥行きの最適値は、共に1.5m程度であることが予想される。

図5 計算方法概念図(光ダクト後壁の場合)

図6 室奥部(L=7.8m)の合成値の和 [計算値]

図7 模型実験と立体角投射率の比較

5. まとめ

今回、当該密洞における天空光下での最適ダクト奥行きが予想され、効果があることが示された。また、計算により、後壁からの一次反射量の影響が大きい事が明らかになった。光環境評価に直射光を加味し、入射エネルギーが増加すると、一次反射が与える影響は更に大きくなる。直射光の影響を含めた値が天空光下の最適値とどのように異なってくるかを検証する必要性が示唆された。

【参考文献】

- 1) 川西・吉田・関口・吉野・島宗・浅見・加藤『中国黄土地域におけるヤオトン(密洞)の環境調査と持続的発展可能な近代化に関する試み その2. 密洞住戸内外の光・紫外線環境測定結果』日本建築学会大会 1999.9
- 2) 『建築環境工学用教材 環境編』日本建築学会