

コンクリート構造物のテクスチャーと視覚の空間周波数特性

MODULATION TRANSFER FUNCTION FOR VISUAL TEXTURES OF CONCRETE STRUCTURES

塩見弘幸*, 石原隆**, 山田善一*

Hiroyuki SHIOMI, Takashi ISHIHARA and Yoshikazu YAMADA

* 工博 中部大学教授 工学部土木工学科 (〒487 春日井市松本町1200)

** 工修 名古屋高速道路公社 (〒453 名古屋市中村区黄金通 7-25)

The concrete walls or concrete structures with smooth surface, that are casted in plywood or metal panel, give the impression of hardness and coldness to people. There are a variety of method for surface finishing to change the bad impression to the good impression such as expressed by the softness or warmness. The surface with multiple-thread is one of them. However, there is no data for a suitable thread size corresponding to the observation distance. The aim of this study is to clarify the above relationship by the experimental method on visual perception. 6 models of polystyrene panels with multiple-thread that are spread a thin coat of cement mortal are used for the tests. From the test results, the efficient observation distance corresponding to the various thread size which are estimated by the Modulation Transfer Function (MTF) are shown in graphically.

Key Words: texture, concrete structure, observation distance, Modulation Transfer Function

1. まえがき

1.1 研究目的

コンクリート構造物のテクスチャーについて、岡島らは視覚心理学的評価から、平滑な仕上げほど、「硬い」、「冷たい」、「人工的」といった印象が強くなり、一般の人々のコンクリートの壁や柱に対して抱いているイメージに近づく、それに対して表面に装飾的あるいは粗面仕上げが施されたものは、「柔らかい」、「暖かい」、「自然」といった印象が持たれることを実証し、テクスチャー改良の重要性を述べている¹⁾。このことはすでに一般的な経験として認識されており、既往の様々な表面仕上げ方法²⁾がテクスチャーの改良方法として認識されている。本論文で扱うスリットは、打放し仕上げの内の立体仕上げに属するもので、型枠に棒状のリップを施すのみで施工が容易であることから多用されている。

従来、スリットの寸法については設計者の感覚で定性的に決められている。しかし、室内の壁のような近距離景の対象としてのスリット寸法は、設計者の感覚によって決められてもその効果は十分に発揮されると考えられるが、土木的なスケールをもつ大型構造物の場合には、想定される視距離は長くなり、スリットの効果が発揮できない場合がある。例えば非常に小さな寸法のスリットが、近距離景としては繊細な感じを与え効果的なのだが、中距離景あるいは遠距離景となると、打放しののっぺりした表面に見え、スリットの存在が感じられないことは

よく経験することである。

テクスチャーとは、物体の表面に現れる組成、組織などを意味するが、仕上げの効果としての肌理、質感、表情、味わいなど、どちらかといえば情緒的な特徴を表す言葉として用いられている。スリットの効果を情緒面から取り扱う場合、まず、大前提としてスリットが視覚的に確認できなければならない。しかし、スリット寸法に対する識別可能距離に関する定量的なデータは筆者等の調査した限り見あたらない。そこで本論文ではスリットによる視覚的效果を情緒面から考える前に、単にスリット寸法とその陰影による明暗パターンを認識する距離との関係として捉えることを目的とする。

1.2 テクスチャーと視距離に関する既往の研究

スリットに限定することなく一般的にテクスチャーと視距離に関する既往の研究を概観する。この問題が設計上の重要な要点であることを最初に指摘したのは芦原であろう。芦原は壁面や舗装に関する視距離と見え方について幾つかの実例について写真を用い説明しているが、定性的な記述で終わっている³⁾。茶谷はこの関係を表面の粗さという観点から検討を行い、距離による見えの大きさが恒常性の法則と視角の法則の折衷であることに着目し、テクスチャーの有効な範囲を求めている⁴⁾。岡島らは表面仕上げの滑らかなものは、視距離が変わっても見えの変化が少なく印象の変化も少ない。しかし、表面に凹凸があるものは見えの変化の段階数が多く、視距離

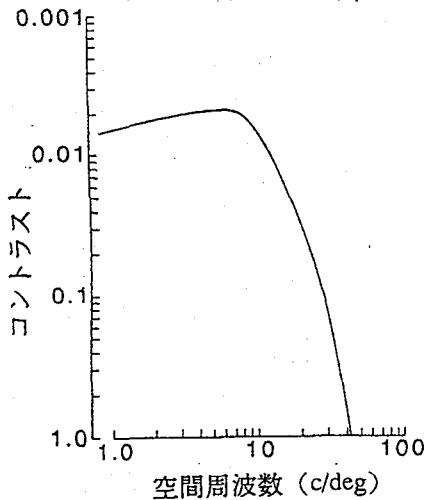
により様々な印象を与えることを明らかにした⁵⁾。小牧らはスリットとリブに関する実験的研究を行った。この研究では視距離を2mに固定し、スリット(リブ)の寸法と太陽光線による陰影率を組み合わせ、被験者実験から視覚的な快適度を求めている⁶⁾。

ランドスケープ的な研究として、樋口は樹木に関して距離による「見えの変化」を基準として、近距離景・中距離景・遠距離景の距離の指標化を試みている⁷⁾。屋代は定評のある眺めにおけるテクスチャーに実例を求め、これらに視覚の空間周波数特性の概念を適用し、テクスチャーの見やすい領域を提案した⁸⁾。

以上の研究の半数はテクスチャーと視距離との関係が情緒面から扱われている。3)、7) および8)は識別距離について論じられているが、スリットの寸法と視距離との関係に限定した研究では定性的な著述は見られるものの、定量的に扱われたものは見あたらない。

1.3 視覚の空間周波数特性 (MTF) 9)

前述したように、本論文ではスリットによる視覚的な効果をスリット寸法とそれに対する識別可能距離との関係で示すものであるが、その方法として視覚の空間周波数の概念を導入する。周波数は音や光などではその単位時間当たりの振動数を示すものであるが、空間周波数の場合は、輝度の明暗変化を1サイクルとし、視角1度あたりのサイクル数を示したものである。本論文では視覚の空間周波数を以後MTFと略称する。



図一1 ひとの空間周波数特性

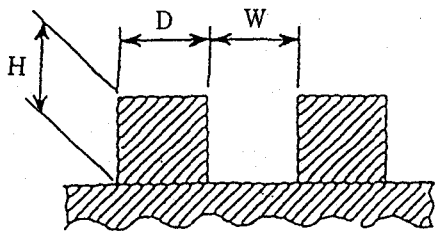
図一1は人のMTFを求めた一例である¹⁰⁾。この図より、MTFが大きいということは、明暗パターンを見る距離を一定とすれば、視角1度あたりの明暗パターンのサイクル数が多いということである。すなわち、MTFとは明暗パターンとコントラスト変化に対する人間の視覚の特性を示したものであることから、テクスチャーに対する知覚を物体表面の明暗の変化に対する視覚と考えれば、テクスチャーの効果を論じるのに有用であると考えられている¹¹⁾。

2. 実験概要(12),13)

2.1 実験方法

一般に、物理的な外部刺激とそれに対する人間の心理的反応との関係を定量的に求めるための方法は、心理学的尺度法と精神物理学的方法に大別される。当実験では後者に属する極限法の手法を用いる。これはある定められた条件下で刺激が感じられるか、感じられないかの境界値(閾値)を定める方法で、刺激の強さの度合いを測定するよりも判断基準の個人差が少ないといわれている¹⁴⁾。当実験では、スリットを施した供試体を用い、スリットによる陰影を知覚することができない十分離れた距離から、被験者が供試体に徐々に近づき、スリットによる陰影の明暗パターンを「線」として、さらに「立体」として知覚したときの位置をそれぞれの閾値とした。この位置の供試体からの距離を識別距離と呼ぶことにする。

2.2 供試体と実験条件



図一2 供試体断面模式図

スリットとそれに対する識別距離を実験的に求める際の影響因子として、1. 供試体(材料、スリット形状)、2. 照射光(照射強さ、照射角度)、3. 被験者(視力、視線入射角、感性)などが挙げられよう。供試体は、コンクリートの表面に酷似し、運搬が容易であることの必要性から、発砲スチロール板(60 X 90 cm)をベースとし、これにリブを接着しスリットを模し、さらにモルタルを塗布し用いた。図一2に供試体の模式図を示す。

スリットの置かれた環境は屋外を想定しているが、直接太陽光線が照射されると、その照射角度が重要な影響因子となる。そこで今回は直射日光を避け、散乱光線下の条件で実験を行うことにしこれを照射光の条件とした。すなわち、主として薄曇りの日を選ぶか、あるいは晴天下でも供試体は日陰になるように配慮した。散乱光線下でスリットを認識する場合、雨天を除けば一般的にこの条件が最も対象を識別し難く、他の条件に対する最小値になると考えられる。供試体表面に対する被験者の視線の角度を視線入射角という。当実験の場合は90度とした。すなわち、被験者は供試体を真正面から注視することになる。なお、被験者は男女の大学生で、各供試体について約30名の協力を得た。以上の実験条件の適否を検討

表一1 本実験用スリット寸法 D=W=H (mm)

供試体	No.1	No.2	No.4.5	No.7.5	No.10	No.15
D	10	20	45	75	100	150

するために、本実験に先だってまず予備実験を行った。予備実験用供試体は後記の検討項目毎に任意のスリット寸法のものを作製し使用した。表-1は本実験用の供試体名とスリット寸法を示したものである。

3. 実験条件の検討

3.1 供試体表面の反射率

モルタル塗布は手作業のため塗り斑が生じる。そこで、各供試体の凸の部分の同一条件下における反射率（明度）を測定した。測定には色彩色差計を使用した。図-3はその結果である。多少のばらつきがあるものの、次節3.2に示す検討結果と併せ考え、実験に対する影響は少ないと判断した。図中に示されたB-1～B-3の供試体は、No.4.5のスリット寸法の内、Hの値をそれぞれ20、30、40mmと変化させたものである。

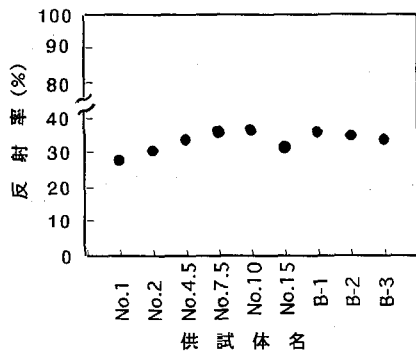


図-3 供試体表面の反射率

3.2 照射光と供試体表面のコントラスト

実験条件下における供試体表面のコントラストを調べた。コントラスト m は次式から算出される値である。

$$m = \Delta B / B = (B_{\max} - B_{\min}) / (B_{\max} + B_{\min}) \quad \text{---- (1)}$$

ここに、 $B_{\max}$ および $B_{\min}$ はそれぞれ輝度計で測定した凸および凹の部分の輝度(cd/m^2)である。なお、輝度の

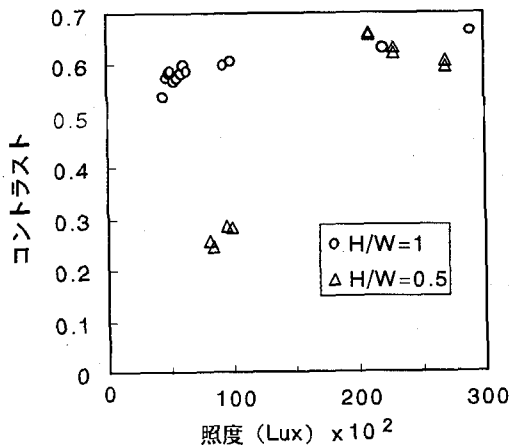


図-4 照度とコントラスト

測定は供試体から2m離れた位置から行った。次に実験条件下の散乱光線の照度を供試体表面で測定すると、概ね5,000～10,000Luxであった。供試体のコントラストと照度との関係を図-4に示す。ちなみに図中20,000Luxを越える範囲は太陽光線が直接照射した場合である。 $H/W = 1.0$ はNo.10の供試体であり、 $H/W = 0.5$ はこの供試体のHの値を50mmにしたものである。 $H/W = 1.0$ の場合、実験中の照射光の変化がコントラストに及ぼす影響は小さいことが判る。 $H/W = 0.5$ についても散乱光線下ではコントラストは低いが、照射光の変化によってコントラストが大きく変化することはない。このことから、供試体に対する実験中の照射光のばらつきがスリットの認識実験に大きく影響を与えることは、ほとんどないといえる。

なお、輝度計などで近距離から直接供試体の明るさを測定することによって得られるコントラストと、当実験のように視距離に応じて変化するコントラストを区別するために、後者を見かけのコントラストと呼ぶ。

3.3 被験者の視力

識別距離は被験者の視力によっても影響を受けるため、被験者の視力と識別距離との関係を調べた。図-5は予備実験用供試体に関してスリットを「線」として識別した場合の結果である。この場合の両者の関係は、ばらつきはあるものの明らかな相関関係が見られる。このこと

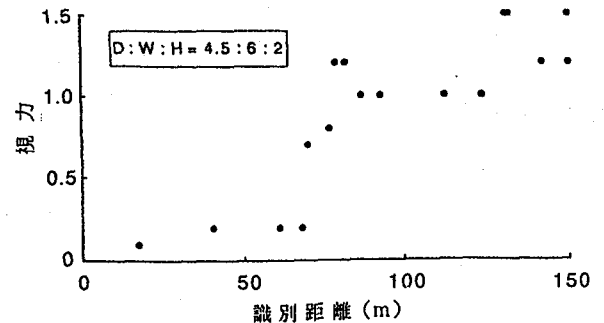


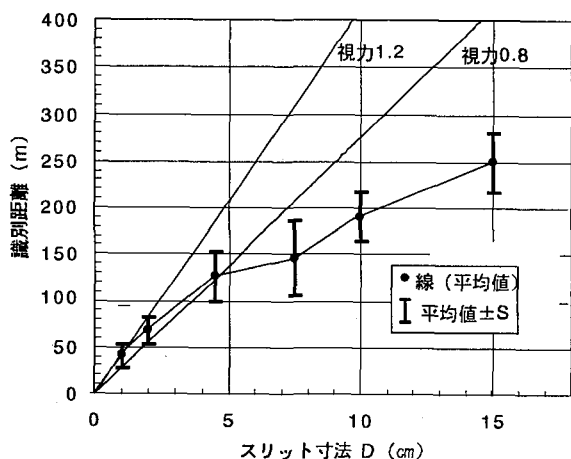
図-5 被験者の視力と識別距離（線）

から視力によるばらつきを少なくするため、被験者の視力の条件を0.8～1.2とした。これは、眼鏡やコンタクトレンズを装着している人の矯正視力が1.0付近に多いことを考慮したものである。

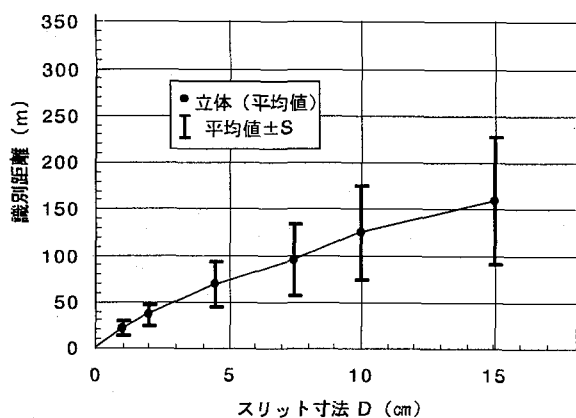
4. 実験結果と考察

4.1 スリット寸法と識別距離

図-6と図-7は本実験用供試体のスリット寸法($W = D = H$)に対する識別距離である。「線」として識別した場合のばらつき具合は、小さな寸法と大きな寸法とでは明確な差がみられるが、 $D = 4.5 \text{ cm}$ 以上の寸法ではほぼ等しい。それに対して「立体」として識別した場合は、寸法が大きくなるにしたがって、ばらつきも大きくなっている。



図一6 スリット寸法と識別距離 (線)



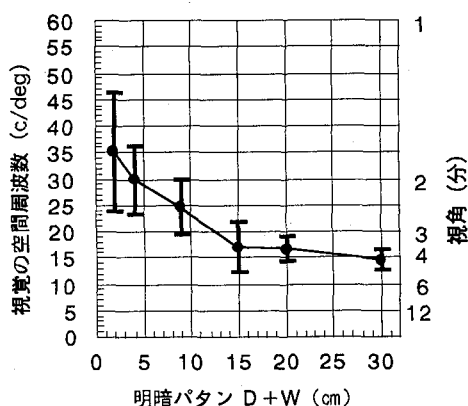
図一7 スリット寸法と識別距離 (立体)

4.2 被験者の視力と識別距離

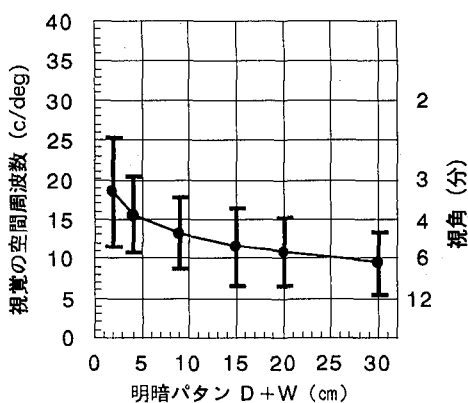
図一6には視力の定義を拡大解釈し、視力 0.8 ~ 1.2 の被験者について、スリットの幅Wとそれに対応する識別可能距離の関係を併せて示した。すなわち、ここに示した視力の定義に基づいたスリットの幅と識別可能距離との関係は、Wを視力測定に用いられるランドルトリングの切れ目幅と見なしたものである。この結果では、Wが大きくなると視力の定義を拡大解釈した識別可能距離に対して実験結果の識別距離は短い。この理由は、ランドルトリングが白の切れ目(地)に対して黒の環(図)という明確なコントラストであるのに対して、被験者が知覚した「線」は表面形態からできる陰影によるものであること、また、供試体との視距離が長くなると、その間の大気の透過による光の散乱・吸収により見かけのコントラストが低下し、識別困難になるためだと思われる。このことから、この実験結果は妥当であると考えることができる。したがって、視力の概念のみによって識別距離を論じるのは不十分であることが分かる。

4.3 視覚の生理的能力と識別距離

実験結果をスリットの明暗パターン(D+W=1サイクルの寸法)とMTFで整理すると図一8(線として識別)と図一9(立体として識別)となる。明暗パターンが大きくなると当然識別距離は長くなるが、MTFとして表す



図一8 明暗パターンと視覚の空間周波数(線)



図一9 明暗パターンと視覚の空間周波数(立体)

とその低下率は鈍り、一定値に収束する傾向を示している。また、ばらつき具合は「立体」として識別した場合の方が大きい。これは「線」として識別される場合は、ほとんど被験者の視覚の生理的能力によって決まるのに対して、立体として識別される場合は、これに被験者の経験、知覚に基づくイメージ(=感性=立体として知覚できる能力)が加わり、その能力のばらつきが付加されると考えられる。今回の実験では予め被験者に供試体に徐々に近づき、スリットによる陰影を「線」および「立体」として識別したら合図をするよう打ち合わせた。このことは、被験者に「線」や「立体」の印象を予め想起させたことになる。この印象が識別距離に対して与える影響について以下に考察する¹⁵⁾。

(1) 陰影を「線」として識別した場合

まず比較的スリット寸法が小さい供試体 No. 2について考察する。図一1においてコントラスト 1.0 のMTFは特に遮断空間周波数といわれている。視力Vと遮断空間周波数 f_c との関係は次式で表されている¹⁰⁾。

$$V = 2 f_c \quad \text{----} \quad (2)$$

式(2)から、視力 0.8, 1.0, 1.2 の人の遮断空間周波数

はそれぞれ 24, 30, 36 (c/deg) となる。これを当供試体についての識別距離に換算すると表-2に示す値(計算値)となる。同表には29名の被験者から、視力 0.8 (8名), 1.0 (13名), 1.2 (8名) についてそれぞれの実験値の平均値が示されている。

表-2 供試体 No.2 に関する識別距離 (m)

視力		0.8	1.0	1.2	全体
識別種類					
線	実験値	5.8	6.8	7.5	6.8
	計算値	5.3	6.9	8.2	
立体	実験値	3.2	3.5	3.8	3.5
	計算値				1.1

この結果では実験値の平均値と遮断空間周波数から求まる識別距離とはほぼ等しい。ただし、計算値のコントラストの条件が 1.0 であるのに対して、当実験では供試体の 2m 前方から測定したコントラストが 0.5 であり条件は異なる。しかし、図-1 から判るようにコントラスト 1.0 と 0.5 の MTF の値の差は小さいので、実験値と計算値とはほぼ一致しているといえる。したがって、この結果の識別距離の場合は生理的能力で決まり、被験者の抱くイメージが及ぼす影響はほとんどなかったと考えられる。

次にスリット寸法が大きい供試体 No.10 について考察する。No.10 は No.2 に対して w の値は 5 倍である。例えば遮断空間周波数から求まる視力 1.0 の人の識別距離(計算値)は 345m となる。これに対して実験値の平均値は 196m である。これを MTF に換算すると約 22 c/deg となり、MTF 曲線からこの場合のコントラストを推定するとほぼ 0.02 となる。このことから、この場合は供試体との視距離が長くなることによって、見かけのコントラストが低下し、遮断空間周波数から求まる識別距離よりも短くなると考えられる。

もし、見かけのコントラストが供試体との視距離に応じて測定可能ならば、図-1 から見かけのコントラストに応じた識別距離を求めることが可能となる。この観点から測定方法について様々な工夫を試みたが正確に測定することが難しく、この場合の真の生理的能力を求めることは不可能であった。したがってイメージと生理的能力とを分離して考えることは難しい。しかし、上述した事柄よりこの場合はイメージよりも生理的能力で決まると推測できよう。

(2) 陰影を「立体」として識別した場合

人が物体に対して奥行き感を得るためには様々な手がかりがあるが¹⁶⁾、当研究の場合には以下の手がかりが考えられる、1) 眼球運動性による手がかりとして、a) 輻輳角と b) 両眼視差。2) 絵画的手がかりとして、陰影などが挙

げられよう。輻輳角が利くのは約 20 m 以内と言われている¹⁷⁾。次に両眼視差のみによる奥行きの識別実験から、両眼視差 $d\theta$ は 12~55 秒という結果が得られているが、好条件下では 2 秒という実験結果もみられる¹⁸⁾。

$d\theta$ は図-10 に示す両眼視差の幾何学的表示を用いて次式のように表されている。

$$d\theta = 206,265 a \delta L / L^2 \text{ (秒)} \quad \text{---- (3)}$$

ここに、 a = 両眼の距離、 δL = 真の奥行き、 L = 物体までの距離である。

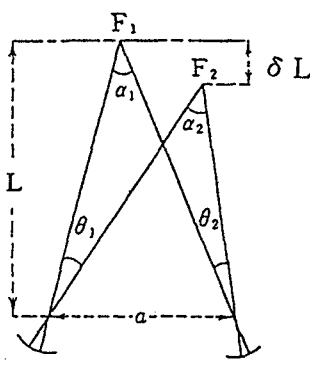


図-10 両眼視差の幾何学的表示

式 (3) に $d\theta = 2$ 秒、 $a = 6$ cm、 $\delta L = 2$ cm (供試体 No.2) を代入すると、 $L = 11$ m を得る。表-2 の実験値から視力 1.0 の場合は 35m であり、両眼視差から求まる値よりも遠い距離から立体として識別されたことになる。

絵画的手がかりとしての陰影による場合の定量的なデータはみあたらない。したがってこれをイメージの範疇と考えると、陰影パターンを「線」として識別した供試体前方の 68m から 35m までの 33m の間に、被験者の抱いている凹凸のイメージと供試体との陰影の比較が行われ、35m 地点でそれが合致したと考えられる。この場合は生理的能力 11m に対して 24m の余裕があり、これが予めイメージを与えた効果になろう。

供試体 No.10 の場合は、 $L = 25$ m を得る。実験値は 133 m である。スリット寸法が大きくなれば両眼視差から求まる奥行き感に対する識別距離はスリット寸法の比率の平方根を乗じた程度長くなるが、イメージを与えた距離効果(実験値)はその比率よりもさらに長くなる。

4.4 識別距離と MTF

図-11 は実験結果を識別距離と MTF の関係で表したものである。この図を用いることによって視距離に応じたスリット寸法を決定することが可能となる。まず、スリットを施した対象に対して、設計者の意図する識別距離を決定する。次いで図中の矢印に沿ってこれに対応した MTF の値を求めるわけであるが、「線」または「立体」の選択は設計者の意図による。MTF の値は視覚 1 度当たりのスリット本数である。これと識別距離との関係からスリットの寸法が求まることになる。

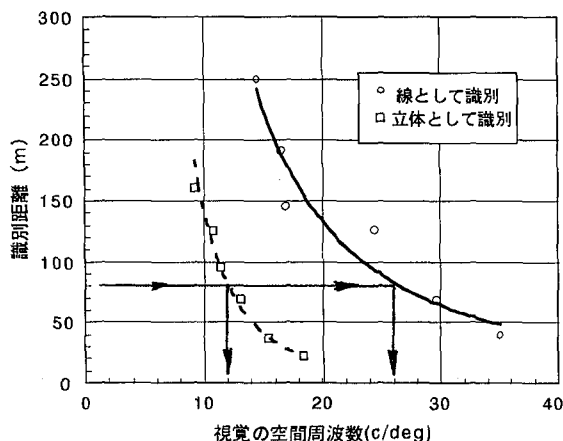


図-1 1 識別距離と視覚の空間周波数

今回は $D=W=H$ の場合のみを取り扱った。これらの値が独立に変化する場合については今後の実験研究が必要であるが、今回の成果から貴重な示唆が得られた。まず、スリットに対する見かけのコントラストから識別距離が得られること。また、図-1に示したMTF曲線を用いて、今回の実験によって得られたMTFから見かけのコントラストを読みとり、識別距離との関係を両対数グラフ上に表すとほぼ直線となること。これらのことから、 $D=W=H$ の場合の見かけのコントラストを基準とし、各値が独立に変化した場合の見かけのコントラストの変化率を求めればよく、このための実験は、今回のように系統的に行う必要がない。すなわち、 $D=W$ で H を変数とする場合、あるいは $H=一定$ で D/W を変数とする場合の両方とも、それぞれ最低2点の実験値を得ることによって目的が達成できると考えられる。

5. まとめ

- (1) コンクリート構造物のテクスチャー操作の一つとしてスリットをとりあげ、スリット寸法とその効果の定量化を試みた。スリットが視覚的に確認できることが大前提であることから、この論文ではスリットの効果を、単にスリット寸法とこれを識別できる識別距離の関係とし定義した。したがって、ここでは識別可能範囲におけるスリットの情緒的な効果についてまでは触れていない。
- (2) スリット寸法とその識別距離を定量化するために、MTFの概念を導入し、被験者実験から図-11に示す結果を得た。この結果を利用することにより、一般的に視距離に応じたスリット寸法を設計することが可能となる。ただし、今回は $D=W=H$ の場合に限定した。なお、今回の研究成果から、 D 、

W 、および H が独立に変化する場合にも、実験的には多くのデータを必要とすることなく識別距離との関係が得られることが判明した。

- (3) スリットによる陰影を「線」として識別した場合は、人に本来備わっている視覚の生理的能力にほとんど依存するが、「立体」として識別した場合は、視覚の生理的能力の他に「立体」に対して人のもっている印象が影響することが明らかとなった。しかし、将来陰影による奥行感が人の生理的能力として定量化されれば、これも生理的能力として表すことができよう。
- (4) 供試体に対する視距離に応じた見かけのコントラストが計測可能ならば、被験者実験を行うことなく、図-1より高精度の識別距離とMTFの関係が得られることになる。

参考文献

- 1) 岡島達雄ほか：コンクリート素地仕上げの視覚の心理学的評価，コンクリート工学論文集，第5巻，第2号，pp. 95-102，1994.7.
- 2) コンクリート施工ハンドブック編集委員会：コンクリート施工ハンドブック，建設産業調査会，1978.4.
- 3) 芦原義信：外部空間の設計，彰国社，1975.
- 4) 茶谷正洋：テクスチャの視覚に関する研究—第1報 見えのあらさとその表示法—，日本建築学会論文報告集，第277号，pp. 71-78，昭和54年3月.
- 5) 岡島達雄ほか：コンクリート素地仕上げの距離による「見えの変化」，コンクリート工学論文集，第6巻，第1号，pp.73-79，1995.1.
- 6) 小牧浩子，窪田陽一：コンクリート構造物の表面形態の景観評価，構造工学論文集，Vol.42A，pp. 513-518，1996.3
- 7) 樋口忠彦：景観の構造，技報堂出版，1981.
- 8) 屋代雅充：景観におけるテクスチャに関する研究，造園雑誌44巻2号，pp.102-108，1980.
- 9) 日本リモートセンシング研究会：画像の処理と解析，共立出版，1981.
- 10) 乾敏郎：視覚の情報処理の基礎，サイエンス社，1990
- 11) 篠原修：土木景観計画（土木学会編，新体系土木工学5・9）技報堂出版，1982
- 12) 石原隆，塩見弘幸，山田善一：コンクリート表面のスリットと空間周波数特性，土木学会第51回年次学術講演会概要集（I-A），pp.162-163，1996.9.
- 13) 石原隆，塩見弘幸，山田善一：コンクリート構造物のスリットと視覚の空間周波数特性，土木学会第52回年次学術講演会概要集（I-A），pp.690-691，1997.9.
- 14) 日科技連官能検査委員会：新版官能検査ハンドブック，日科技連出版社，1995.
- 15) 塩見弘幸：視覚情報と印象—視覚に関する生理的能力と印象—，「印象の工学」ワークショップ講演概要集，pp.133-136，1997.8.
- 16) 大山正，今井省吾，和気典二：新編感覚・知覚心理学ハンドブック，1994.
- 17) 松田隆夫：視知覚，倍風館，1995.
- 18) 大山正編：講座心理学4 知覚，東京大学出版会，1970.

(1997年9月26日受付)