

京都工繊大[院] 学 ○西村 修一
阪大産研 正 西嶋 茂宏

京都工繊大 正 中平 敦

1. はじめに

材料の開発は高機能化を目指して行われており、近年その開発はめざましいものがある。その中でも、人間との感覚的な親和性を持つ機能、すなわち「人の感覚に訴える」機能の研究が最近注目され、またその重要性が認識され始めている。

「感覚に訴える」機能を持った材料の開発は、従来の材料設計と異なり、人間の感覚量を定量化した感覚尺度と、その感覚を引き起こす物理尺度の変換関数や数値を求め、その物理量を有する材料を設計・製作することである。このような材料の実現には設計方法の確立とともに材料物性を任意に制御する必要があるが、任意の物性の制御には複合材料の使用が不可欠であると考えられる。

本研究では、設計方法の確立を目指し、「感覚に訴える」機能を持った機能性材料の開発の一例として「しなやかさ」の感覚を取り上げ、棒状材料における「しなやかさ」を制御する材料パラメータを明らかにし、設計指針を与えることを目標とした。

2. 実験

研究の手順として、(i)「しなやかさ」を示す物理量を見出し、その後に(ii)その物理量を制御する材料特性を明らかにする。物理量を見出すためにはモデル化が必要であるが、「しなやかさ」を直接表す物理量を見出すことは困難なため、まず「しなやかさ」に関連があり、かつ材料定数を見出しやすい表現(Table 1)との関連を調べ、物理モデルを探索することを試みた。この操作をするためには、感覚量の定量化が必要であるが、これに意味微分法(以下SD法)を使用した。SD法とは評定尺度を与え、それらと対応する要因を検討する方法である。被験者は7人用意した。

被験者に試料を手にとってもらい、評定尺度(7段階評価)に評点を記入させる方法をとった。たとえばTable 1の「しなやかなー剛直な」の対語において、「非常にしなやかな」、「かなりしなやかな」、「ややしなやかな」、「どちらでもない」、「やや剛直な」、「かなり剛直な」、「非常に剛直な」の評価を行わせた。感覚量の定量化のため「ど

Table 1 Expression for estimating flexibility

しなやかな	ー	剛直な
長い	ー	短い
太い	ー	細い
曲がりやすい	ー	曲がりにくい
弱い	ー	強い
ねばい	ー	もろい
堅牢な	ー	脆弱な
軟らかい	ー	硬い
弾力性に乏しい	ー	弾力性に富む
重い	ー	軽い

ちらでもない」を0点に、Table 1の左側を負の値、右側を正の値を与えた。つまり「しなやかなー剛直な」では、上記の順に-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3を与えることにした。

使用した材料は棒状のCFRP, GFRPを基本とし、参照材としてステンレス、銅を用意した。断面二次モーメントを変化させる目的で、各種直径5, 10, 18, 22mm, さらに各種長さ250, 750, 1000mmのものを使用した。試料は全てで21種類である。

3. 結果

まず、得られたデータの信頼性を確かめるため、被験者の判断の収束性(揺らぎ)について検討した。ここでは7名中半数以上の判断が(平均値±1)の範囲に入っていれば、感覚評価量の収束性が良好であると考えたことにした。

得られた結果が、条件を満足しているかどうか検討するために実験値が正規分布に従うと仮定し、条件を満足する標準偏差(不変分散の平方根)sを求めると1.483となった。実験値のsがこの1.483以下であれば「一致」、それ以外のものを「不一致」とした。その結果、全ての判定の約74%が「一致」にあり、これらの感覚のデータを使用しても良いことが明らかとなった。また実際に過半数の判断が(平均値±1)以内に入っているかどうか検討したが、標準偏差による結果と比較すると異なるものがあつた。これは被験者が小人数であるため、正規分布からはずれたものと考えられる。そこで結果が正規分布からはずれたものと、

「不一致」のものは除外して検討した。測定値を増やすと正規分布に従い、収束性も向上すると考えられる。

4. 考察

Table 2 に各感覚量の「しなやかな-剛直な」との相関係数を示す。「しなやかな」との相関係数が 0.75 以上の強い相関を示す感覚量は「細い」「曲がりやすい」「弱い」「ねばい」「弾力に富む」である。これらから、「しなやかさ」は「小荷重で変形する特性」であるとモデル化した。

そこで、はり理論から小荷重で変形する条件を、両端支持ばりで考える。両端に等しいモーメント M がかかるものとした。この場合、中央部の変形量 v は次式で表される。

$$v = \frac{l^2}{8EI} M \quad (1)$$

ここで、 l : はりの長さ E : ヤング率

I : 断面二次モーメント

M : 両端にかかるモーメント

である。

(1) 式より、変形量は $E \times I$ に反比例し、 l に比例すると考えられる。つまり、「しなやかな」材料とは、ヤング率、断面二次モーメントが小さく、長さが長いものであると推測できる。しかし、「しなやかな-剛直な」と「長い-短い」との相関は 0.234 であり、ほとんど相関がなかった。これは、実験では両端を持つように指示を出さなかったため、長さの効果が明確に表れなかったものと考えられる。このため本研究では、「しなやかさ」に対する長さの効果を無視することにした。

次に、この材料特性と人との感覚の対応を検討した。Fig. 1 に $(1/E \cdot I)$ と「しなやかな-剛直な」の感覚の相関を示した。2 点を除くと相関係数は -0.77 であり、高い相関が存在することが

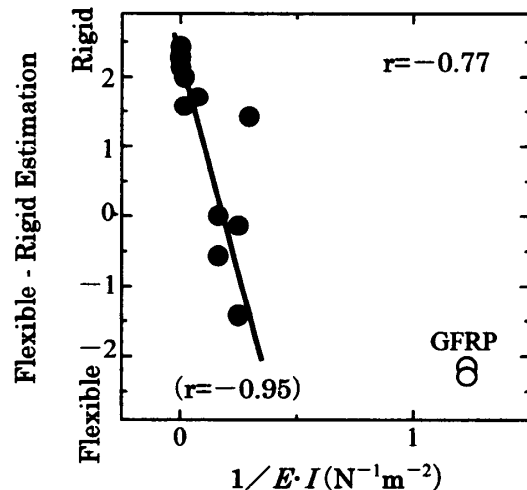


Fig.1 Relationship between Flexible - Rigid Estimation and a inverse of a product Young's modulus and moment of inertia of area.

確認できる。省いた 2 つの材料は直径 5mm 長さがそれぞれ 250, 750mm の GFRP であり、図からもわかるように、他の材料と物性が大きくかけ離れており、この材料に対する感覚量が飽和したためと考えられる。またこの 2 点は長さが異なるにもかかわらず「しなやかさ」の評価はほぼ同じ値である。このことは上記で考察したように長さの効果が現れていないことを意味している。さらに (CFRP, 直径 5mm, 長さ 250mm) の点を除くと相関係数は -0.95 とさらに大きい相関が存在する。

相関係数 -0.77 の回帰直線を有意水準 1% で検定した結果、有意であることが明らかとなった。そこで、「しなやかな-剛直な」の遷移値を求めることにした。95% の信頼区間で求めると $(1/E \cdot I)$ は $0.185 \pm 0.067 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ となった。 $(1/E \cdot I)$ がこの値より大きいとしなやかに感じ、小さいと剛直に感じることになる。

5. 結論

本研究では「人の感覚に訴える材料」の設計・開発の一例として「しなやかさ」を取り上げ、棒状材料を用いて SD 法により検討した。その結果、「しなやかさ」という一見わかりにくい表現でも設計が可能であることが明らかになった。

本研究では一度曲げて元に戻る材料について考えたが、鉛のような可塑性材料についても今後検討する必要がある。

統計処理に十分有意となるように被験者の数を増やすと、収束性の良いデータが得られるものと考えられる。また棒の持ち方に指示を出すとき長さも「しなやかさ」に影響を及ぼすと考えられる。

Table 2 Correlation coefficient with "Flexible - Rigid".

表	現	相関係数			
長	い - 短	い	0.234		
太	い - 細	い	-0.763		
曲がりやすい	曲がりにくい		0.947		
弱	い - 強	い	0.928		
ねば	い - もろ	い	0.876		
堅	牢	な - 脆	弱	な	-0.532
軟	ら	か	い - 硬	い	0.711
弾力性に乏しい	弾力性に富む		-0.929		
重	い - 軽	い	-0.450		