

体圧分布シミュレーションによる 二輪車シートのフィット感予測

Prediction of Fit Feeling of Motorcycle Seats Using Body Pressure Distribution Simulation

中 村 敏 徳*

Toshinori NAKAMURA

小谷野 光 江*

Mitsue KOYANO

須 永 孝*

Takashi SUNAGA

要 旨

日本、米国、欧州の体圧分布データを計測し、でん部の特徴を表す指標を使って、各国の分布を比較した。これを基に日本人の平均的な体圧分布に近似した計測用基準モデルを製作した。この計測用基準モデルで計測した二輪車の各カテゴリシートの体圧分布とフィット感評価の関係を解析し、フィット感予測式を得た。また、有限要素法を用いたシミュレーションを構築し、この結果をフィット感予測式に投入することで、図面段階で二輪車シートのフィット感を予測する手法を確立することができた。

ABSTRACT

A measurement standard model of buttocks shape was made. This model represented average body pressure distribution of Japanese. The distribution data of Japanese, American and European were measured, and compared by using Buttocks Characteristic Index. The pressure body distributions for every category of motorcycle seats were measured by using the measurement standard model of hip shape. Relation between the measured distribution data and the fit feeling evaluation was analyzed. Based on the analysis, a prediction equation of fit feeling was devised. A simulation model of body pressure distribution was created using Finite Element Method. The simulation model was substituted for the measured distribution data in the prediction equation. A prediction method of fit feeling has been established. The established method has allowed early prediction of the fit feeling for motorcycle seats at the designing stage.

1. まえがき

二輪車のシート性能は、大きく分類して、静的な座り心地、動的な乗り心地、長時間の疲労度合いといった性能があげられるが、これらの性能の評価は、被験者の体格、でん部の特徴などにより大きく異なる場合がある。そこで、筆者らは、ヒトのでん部の特徴の違いを表す指標を設定し、被験者を分類した。また、静的なフィット感を予測するために、被験者の着座時の体圧分布データとでん部の特徴を表す指標を用いた予測式を得た⁽¹⁾。しかし、ヒトのでん部は、時を経て変化することがあるため、定期的にその位置づけを確認する必要がある。

また、図面段階でフィット感を予測する手法としては、シートの設計パラメータ(硬度、形状、材質等)とフィット感の評価の相関を見出す必要があるが、これらを解析するため、設計パラメータとフィット感の中間特性値である体圧分布に着目した。ヒトの体圧分布は、設計パラメータが変化した結果を表しており、フィット感と密接な関係があると考えられる。

そこで、基準モデルを作成するために、各国のでん部データを収集し、シミュレーション上ででん部の基準モデル及び二輪車のシートを有限要素モデルで構築し、体圧分布を求めることにより、図面段階でフィット感を予測することを試みた。

*朝霞研究所

2. でん部の体圧分布計測

でん部の基準モデルを作成するために、基準となる座面(500mm×500mm×50mmのウレタン)に着座した時の体圧分布を計測した。体圧分布の計測結果の一例を Fig. 1 に示す。被験者は、Table 1 に示す国別に 25才ー 50才までの男女を対象に計測をおこなった。

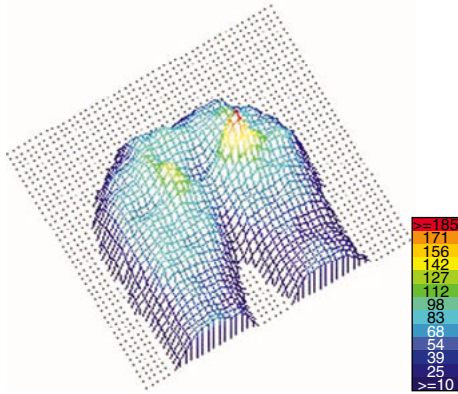


Fig. 1 Sample of measured body pressure distribution

Table 1 Sample number by country

	Number of sample		Average age	
	Males	Females	Males	Females
Japan	100	100	38.8	31.5
France	80	60	41.4	38.1
Italy	110	100	33.2	28
Germany	80	60	38.3	39.1
U.S.A	150	115	41.4	38.1

3. 基準モデルの設定

3.1. モデルの分類

でん部体圧分布データから、でん部の大きさを表すパラメータとして接触面積、でん部にかかる荷重、でん部の形状、肉付きを表すパラメータとして、面圧変化量と尖度を取り出し、各国の男女別被験者のでん部の特徴をとらえるために、主成分分析を実施した。結果を Table 2 - 4 に示す。この結果、累積寄与度が高く、でん部の大きさを表すと考えられる接触面積に着目し、各国のでん部接触面積の平均値の差を検定した。結果を Table 5 に示す。5%以上有意差があるモデルとして、日本モデル、ドイツモデル、イタリア・フランスモデル、米国モデルとして、四つのモデルに分類した。特徴的な体圧分布を Fig. 2 に示す。

Table 2 Results of principal component analysis (Eigen vector)

Variable name	Principal component 1	Principal component 2
Contact area	0.662	0.158
Total load	0.665	0.124
Variations of surface pressure	-0.1	0.938
Kurtosis	-0.331	0.282

Table 3 Results of principal component analysis (Eigen value)

	Eigen value	Contribution rate
Primary principal component	2.033	0.508
Second principal component	1.006	0.252

Table 4 Results of principal component analysis (Factor loading)

Variable name	Principal component 1	Principal component 2
Contact area	0.944	0.158
Total load	0.948	0.125
Variations of surface pressure	-0.142	0.941
Kurtosis	-0.473	0.283

Table 5 Verification results of difference of mean value

	Males	Females			
		US	Germany	France	Italy
Japan		**	**	**	**
U.S			**	**	**
Germany				—	—
France					—

	Females	Males			
		US	Germany	France	Italy
Japan		**	**	—	—
U.S			**	**	**
Germany				—	*
France					—

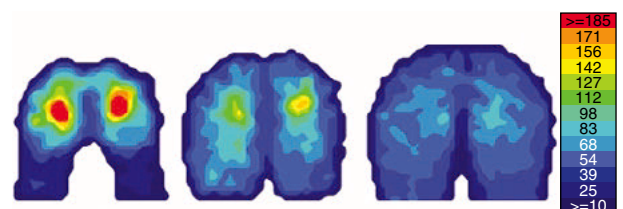


Fig. 2 Characteristics body pressure distribution

3.2. 国別のでん部の特徴

国別の傾向の違いを確認するために、4モデルのすべてのデータを用いて主成分分析をおこなった。各国のモデルごとに層別した分布を Fig. 3 - 7 に示す。3.1. 項で得た主成分分析の結果から、Table 4に示す因子負荷量の第1主成分は大きさに代表される総合的な特徴、第2主成分はでん部の形状、肉付きを表していることが考えられる。日本人のでん部の特徴として、大きさのばらつきは少なく、でん部の形状、肉付きのばらつきが大きいことがわかった。

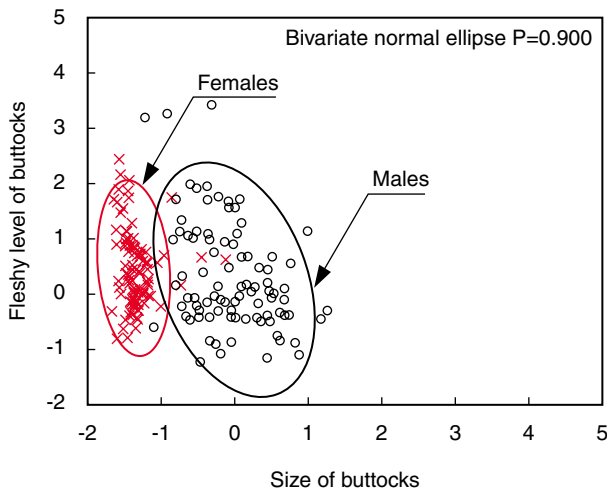


Fig. 3 Body pressure distribution of Japanese

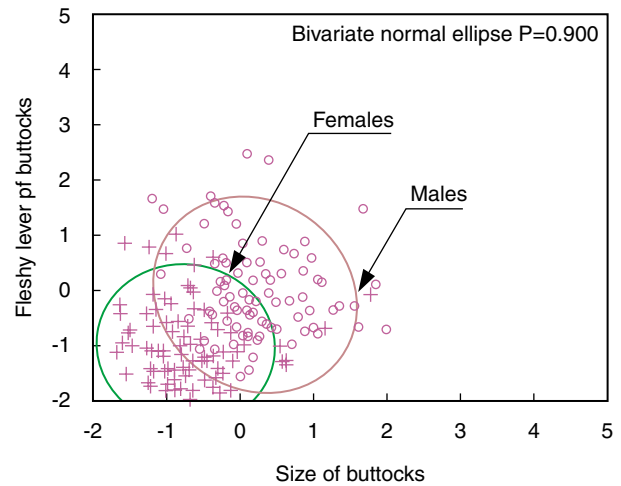


Fig. 5 Body pressure distribution of Italian

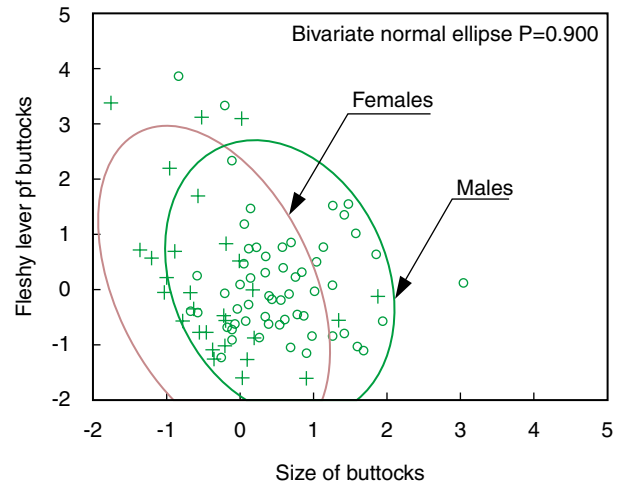


Fig. 6 Body pressure distribution of German

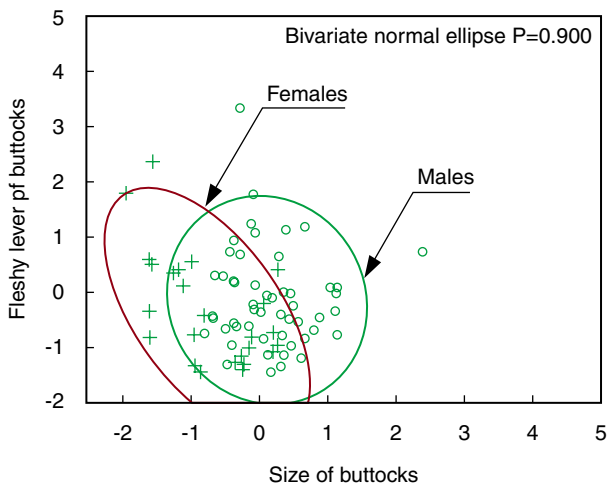


Fig. 4 Body pressure distribution of French

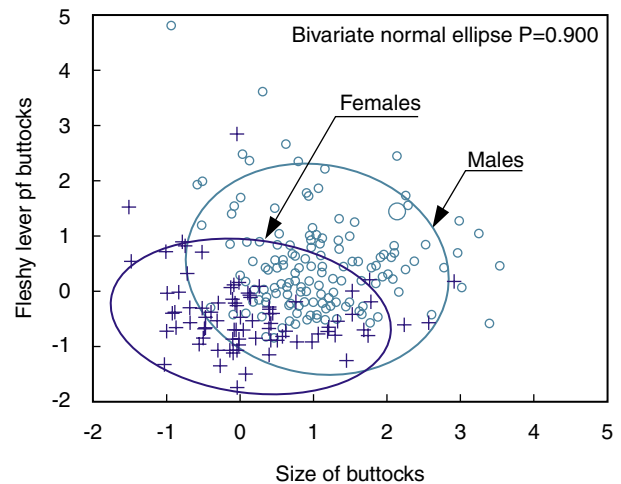


Fig. 7 Body pressure distribution of American

3.3. 計測用基準モデルの作成

3.2項より国別のでん部の分布及び平均的な体圧分布が異なることから、各国毎の基準モデルが必要と考えられる。また、フィット感評価も各国の評価が同じとは言えないため、各国ごとのフィット感予測式が必要である。今回は、日本人のフィット感予測式を作るために、平均的な日本人男性の基準用計測モデルを作った。3.2項で求めた第1主成分と第2主成分の平均値付近の被験者5名を選び、Fig. 8に示す各部サイズを平均値と比較し、Fig. 9に示す最も平均値に近い体圧分布を計測用基準モデルの目標値とした。Fig. 10に示すこのモデルは、骨盤、肉部で構成されており、肉部の硬さは、硬度計を用いて、ランダムに選んだ日本人男性10人のでん部の硬さを計測して決定した。基準座面に着座したときの被験者と計測用基準モデル

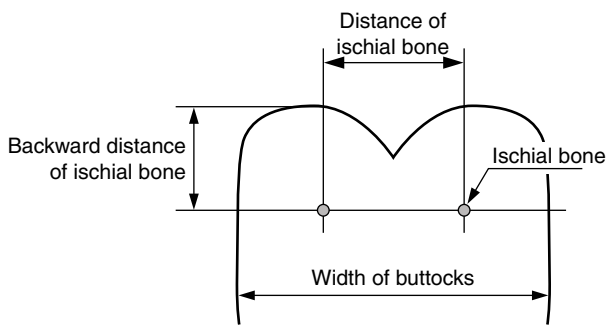


Fig. 8 Sizes of buttocks

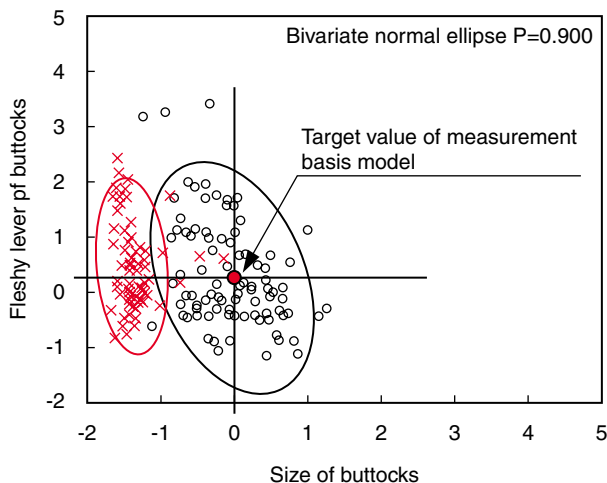


Fig. 9 Targeted value of measurement standard model

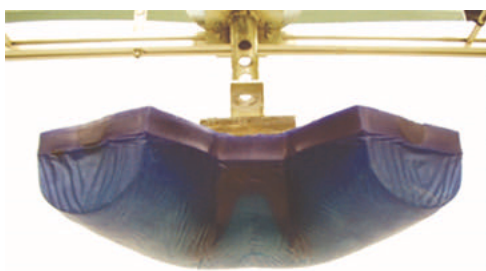


Fig. 10 Measurement standard model

の体圧分布を Fig. 11 に示す。体圧分布が示す接触面積、座骨ピーク値、座骨幅、座骨後方長さは、ほぼ同じ数値を示している。

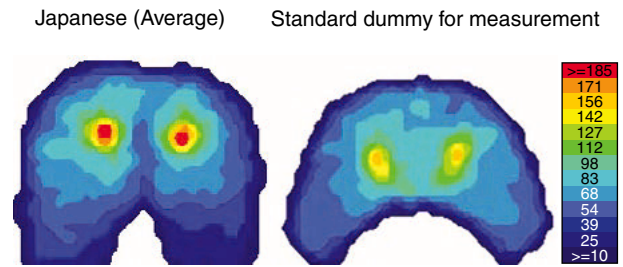


Fig. 11 Body pressure distribution at seated on reference seat

4. フィット感の予測式

4.1. フィット感の評価

3.3. 項で求めた平均値付近の被験者各5人にて、カテゴリの異なる8サンプルのシートを評価する。静的な乗車姿勢をとったときのフィット感について、Fig. 12に示すスケールで官能評価をおこなった。結果をTable 6に示す。官能評価は0.5点を最小とした評価としており、Table 7に示す分散分析の結果から、サンプルの評点の違いに対して、被験者の評点のばらつきが十分小さいことがわかった。

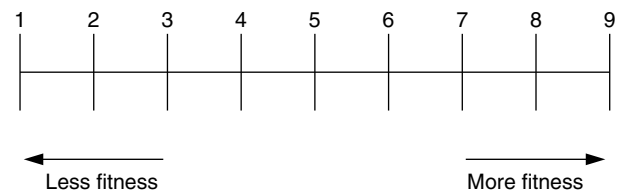


Fig. 12 Rating scale (Nine points method)

Table 6 Sensory evaluation results

Types of motorcycle	Score (Average)	Standard deviation
Touring	6.5	0.6
ATV	3	0.4
Large scooter	5.5	0.4
American	5	0.6
European "A"	3.75	0.6
European "B"	3.5	0.6
Small scooter	3	0.3
Off road	1.5	0.2

Table 7 Results of variance analysis

Factors	Sum of squares	Degree of freedom	Unbiased variance	Variance ratio	Verification
Test subject	3.78	4	0.94	2.29	
Sample	130.19	7	18.60	45.19	**
Error	11.53	28	0.41	—	
Summation	145.49	39	—	—	

**1% significance

4.2. フィット感の予測式

計測用基準モデルで8サンプルのシートの体圧分布を計測した。特徴の違う三つの体圧分布を Fig. 13 に示す。4.1. 項の官能評価結果と計測用基準モデルで計測した体圧分布データの関係を重回帰分析により求めた結果、フィット感予測式(1)が得られた。この式の予測値と実測値の関係は、Fig. 14 のようになっており、計測した数値を代入することにより、フィット感を予測することが可能となった。

$$\text{フィット感} = \alpha_0 + \alpha_1 \times \text{接触面積} - \alpha_2 \times \text{座骨ピーク平均値} \quad (1)$$

α_0 : 定数項

α_1 : 接触面積の係数

α_2 : 座骨 PEAK 平均値の係数

($R^2 = 0.93$ 残差の標準偏差 0.4)

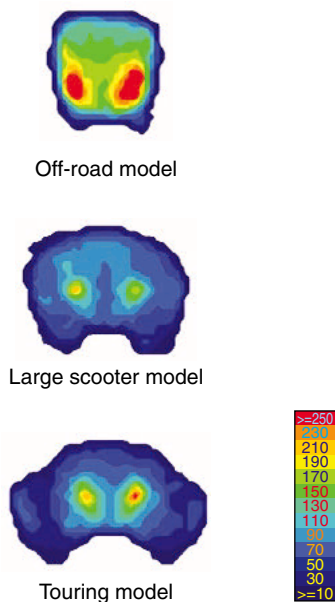


Fig. 13 Measured body pressure with measurement standard model

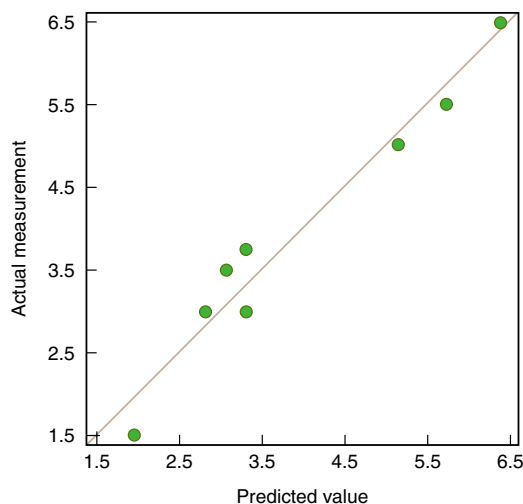


Fig. 14 Correlation between prediction score and sensory evaluation score

5. 体圧分布シミュレーション手法の構築

シミュレーションは図面段階でシートのフィット感の評価を可能とし、これにより初期図面の精度向上を図ることを目的とする。図面段階でフィット感予測式を用い評価をおこなうためには、計測用基準モデルの圧力分布、接触面積を実機テスト同等レベルに再現する必要がある。これを実現する手法として有限要素法を用いた静的陰解法を選んだ。

5.1. 解析ソフト

計測用基準モデルの体圧分布シミュレーションを開発の中で効率よく活用するために以下のような機能を満足する汎用の非線形解析ソフトを選択した。

- ・計測用基準モデルとシートの接触面変化、でん部の大変形、材料特性の非線形性を精度よく解析可能なこと
- ・解析経験の浅いエンジニアがルーチンワークとして解析をおこなうことを想定し、容易に解析データの作成と必要な解析結果処理が可能なプリポストプロセッサを有すること

5.2. 使用メッシュとメッシュャ

本解析においては接触と大変形を安定して計算でき、実測と同等の結果が得られることが重要である。これらを考慮し、使用メッシュは6面体要素。メッシュャはメッシュサイズを任意に指定でき精度の高いメッシュ作成が可能なメッシュャを選択した。

5.3. 解析モデル

本解析は計測用基準モデルと同等の体圧分布を再現できるでん部有限要素モデルと解析対象物であるシート有限要素モデルから構成し、計算時間を短縮するために、これらをハーフモデルとした(Fig. 15)。

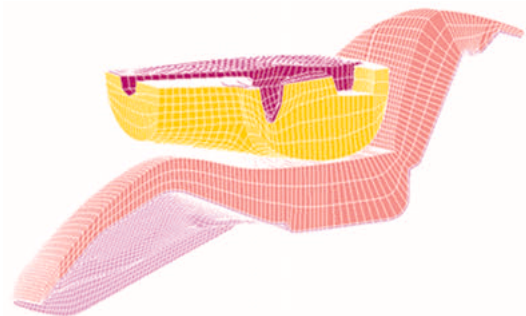


Fig. 15 Structure of analysis model

5.3.1. でん部有限要素モデル

骨盤及びでん部の形状は、基準モデルの形状をリバースエンジニアリング手法により 3D データ化し、有限要素モデルを作成した(Fig. 16)。このモデルは筋肉、脂肪部及び骨盤、大腿骨部にて構成し、骨盤は詳細形状を再現したサーフェスにて作成、骨盤の変形は本解析において大きな影響はないと考えリジッドとした。筋肉、脂肪部については均質な特性とし、非常に軟らかいエラストマ材に Mooney(2 項形式)の材料構成則⁽²⁾を適用した。Mooney のエネルギー関数は基準モデルを構成している材料の引っ張り試験をシミュレートし推定した(Fig. 17)。

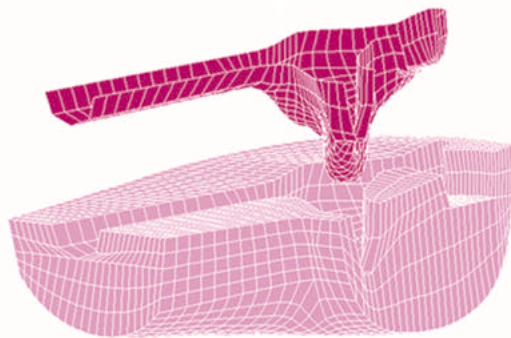


Fig. 16 FE model of buttocks

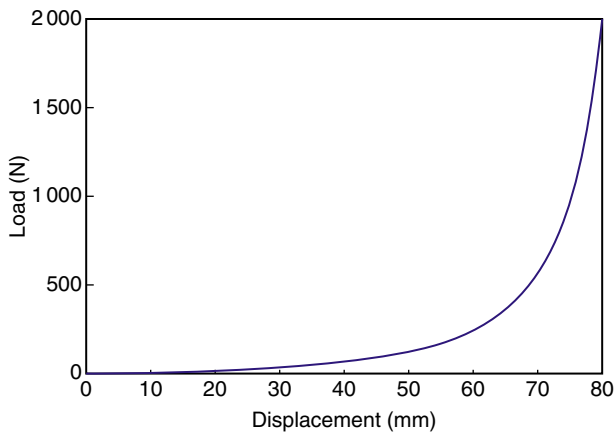


Fig. 17 Load-displacement characteristic of Mooney

5.3.2. シート有限要素モデル

外観データは設計用に作成された 3D モデルを使用しウレタン部と樹脂製の底板より構成する(Fig. 18)。ウレタン部はフォーム材によりモデル化し必要な材料定数は単軸圧縮試験より Fig. 19 に示す「応力-ひずみ線図」を測定し求めた。シート底板については弾塑性材を使い材料の引っ張り試験より測定した Fig. 20 に示す「応力-ひずみ線図」を材料特性として与えた。

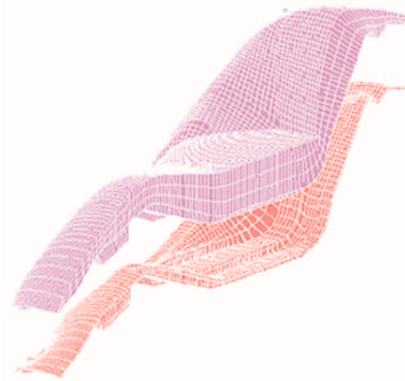


Fig. 18 FE model of seat

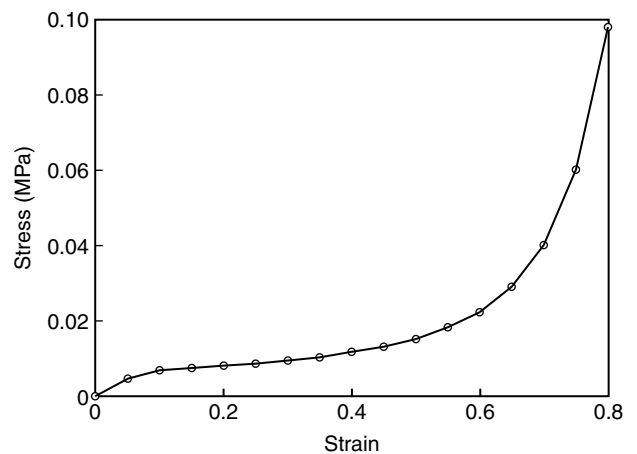


Fig. 19 Stress-strain curve of urethan

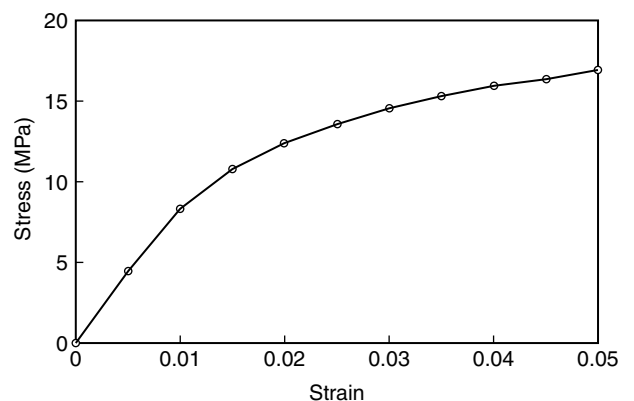


Fig. 20 Stress-strain curve of plastic

5.4. 解析結果と検証

5.4.1. 基準座面体圧分布シミュレーション

基準座面(500mm×500mm×ウレタン厚 50mm)着座をシミュレーションした結果、計測用基準モデルの接触面形状、圧力分布をよく再現できていることが確認できた (Fig. 21).

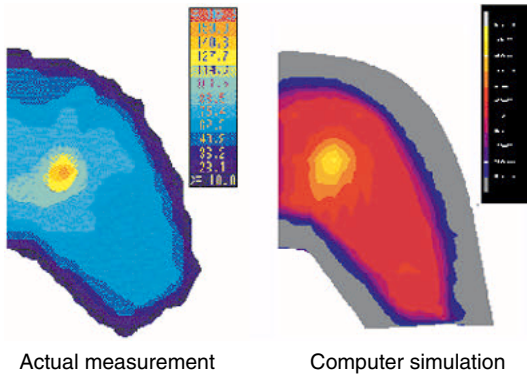


Fig. 21 Surface pressure distribution

5.4.2. シート体圧分布シミュレーションとフィット感予測

モータサイクルのシートにて、ウレタン厚、ウレタン硬度、座面巾を変更した仕様のシミュレーションをおこなった結果、Fig. 22 - 24 に示す通り、接触面積、ピーク面圧、フィット感はそれぞれ計測用基準モデルによる実測結果と高い相関が得られていることが確認できた。

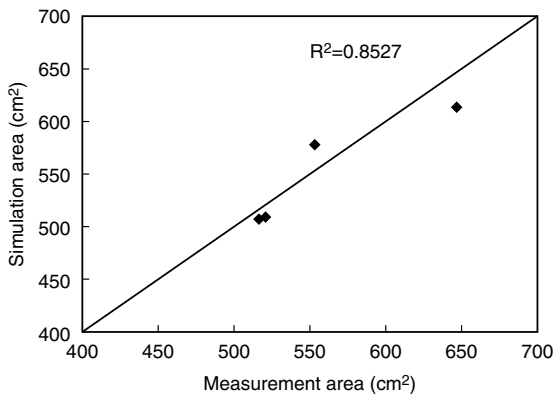


Fig. 22 Comparison of contact area between measurement and simulation

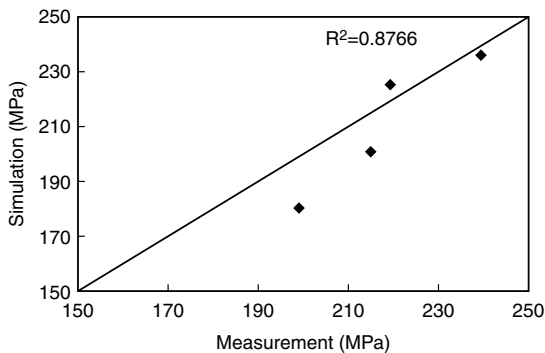


Fig. 23 Comparison of surface pressure of ischial bone peak between measurement and simulation

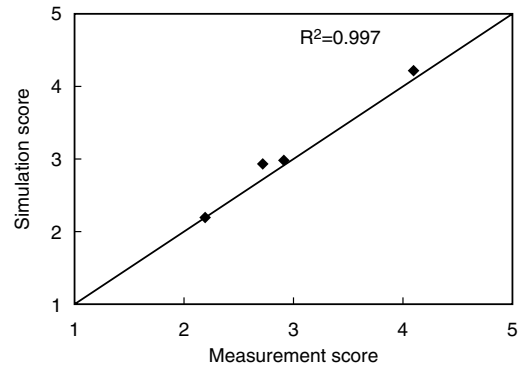


Fig. 24 Comparison of fitness feeling between measurement and simulation

6. まとめ

- (1) 基準座面に着座したときの体圧分布データから、各部サイズの平均値を使った日本モデル、ドイツモデル、イタリア・フランスモデル、米国モデルに分類し、特徴を明確にすることができた。
- (2) 体圧分布データを精度よく計測するために日本人の平均的でん部を近似した計測用基準モデルを作成した。このモデルによる測定データと平均的な日本人男性の評価結果を使い、フィット感の予測式を得た。
- (3) フィット感予測式を図面段階で活用するツールとして、有限要素法を用いたシミュレーションを構築し、図面段階でのフィット感予測を可能とした。

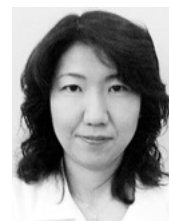
参考文献

- (1) 小谷野光江, 君島猛, 中山研吾: 二輪車用シートのフィット感の定量化, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.113-118
- (2) 前川佳徳: 椅子の座り心地を評価するバーチャル・ヒューマンの構築, 第19回, MARC ユーザーズ・ミーティング事例集, p.189-193(1998)

■ 著 者 ■



中村 敏 徳



小谷野光江



須 永 孝