タイトル（Title）

交通事故における個体差が外傷リスクに与える影響と設計指標への変換

— 事故データと CAE を用いた定量化 —

Impact of Individual Differences on Injury Risk in Traffic Accidents and Its Translation into Design Indicators

— Quantification Using Accident Data and CAE —

著者（Authors）

吉井 勝司

Email: Katsushi.y.1995@gmail.com

所属（Affiliation）

フリーランス

要旨（Abstract）

本研究では、交通事故における外傷リスクが乗員の個体差、特に身体的耐性の違いによって大きく変化する点に着目し、その影響を定量的に評価するとともに、安全設計への適用可能性について検討した。

事故データの分析により、身体的耐性が低下した群においては、同一の衝突条件下であっても外傷の重症化率が顕著に増加することが確認された。特に胸部、脊椎、腰部においては、最大で数倍の差が認められ、従来の平均的な乗員を前提とした安全設計では十分に対応できていない可能性が示唆された。

さらに、これらのリスク差を工学的に扱うため、代表的な衝突条件を設定した CAE 解析を実施し、身体的耐性の差を外力レベル（kN）として定量化した。その結果、軽衝突から中程度の衝突において、0.4〜1.2kN 程度の負荷差が生じることが確認され、この差分が外傷リスクの増加と対応する可能性が示された。

以上の結果から、乗員の個体差に起因する外傷リスクは設計上考慮すべき要因であり、その影響は定量的な設計指標として表現可能であることが示された。本研究は、従来の平均的な乗員モデルに基づく安全設計に対し、個体差を考慮した新たな設計アプローチの必要性を提案するものである。

キーワード（Keywords）

交通事故、 外傷リスク、 個体差、 身体耐性、 CAE、 衝突安全、設計指標

Abstract

This study focuses on the impact of individual differences among occupants—particularly variations in physical tolerance—on injury risk in traffic accidents. The objective is to quantitatively evaluate these effects and examine their applicability to safety design.

Analysis of accident data revealed that occupants with lower physical tolerance exhibit a significantly higher rate of severe injuries, even under identical crash conditions. Notably, substantial differences—up to several times—were observed in injury severity for the thorax, spine, and lower torso regions. These findings suggest that conventional safety design, which assumes an average occupant, may not sufficiently address such variability.

To address this issue from an engineering perspective, CAE simulations were conducted under representative crash conditions. The differences in physical tolerance were quantified in terms of external force levels (kN). The results indicate that, from low-speed to moderate-impact collisions, a load difference of approximately 0.4 to 1.2 kN can arise, corresponding to an increased injury risk.

These findings demonstrate that injury risk associated with individual differences can be quantitatively represented as a design indicator. This study proposes the necessity of a new safety design approach that accounts for occupant variability, extending beyond conventional models based on an average occupant.

Keywords

Traffic accidents, Injury risk, Individual differences, Physical tolerance, CAE, Crash safety, Design indicators

---

■ 1. はじめに

交通事故における乗員保護技術は、これまで主として車両構造の最適化や拘束装置の性能向上を通じて発展してきた。これらの安全設計は、衝突試験用ダミーに代表される「平均的な乗員」を想定し、その外傷リスクを低減することを目的として構築されている。

一方で、実際の交通事故においては、同一の衝突条件下であっても、乗員ごとに外傷の程度が大きく異なることが知られている。このような差異は、年齢、既往歴、身体特性などに起因する「個体差」による影響が考えられるが、従来の安全設計においては十分に考慮されてこなかった。

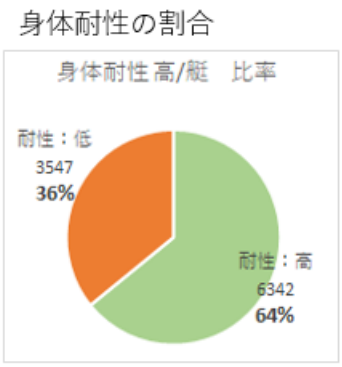
近年の高齢化の進展に伴い、身体的耐性が低下した乗員の割合は増加しており、軽微な衝突

においても重篤な結果に至るケースが無視できないものとなっている。すなわち、従来の平均的な乗員を前提とした安全設計のみでは、全ての乗員に対して十分な保護を提供できない可能性がある。
しかしながら、個体差による外傷リスクの増加は主に統計的な傾向として議論されることが多く、これを具体的な設計条件としてどのように取り扱うかについては、十分な検討がなされていない。特に、個体差による影響を工学的に扱うための定量的指標への変換は、実用的な安全設計において重要な課題である。
そこで本研究では、交通事故データを用いて個体差が外傷リスクに与える影響を整理するとともに、その差異を CAE 解析により外力レベルとして定量化し、安全設計に適用可能な指標へと変換することを目的とする。これにより、個体差を考慮した新たな安全設計アプローチの可能性を示すことを目指す。

■ 2. 事故データ分析

2.1 使用データおよび対象

本研究では、交通事故における外傷リスクの個体差を評価するため、CISS（Crash Injury Study System）データベース（2017 年～2022 年）を用いた。対象は、必要な外傷指標および個体情報が取得可能な 9,889 名とした。
本研究では、CISS データに含まれる医学的情報をもとに、身体耐性の違いを簡便に表現するため、既往歴の有無に基づく二値分類を採用した。具体的には、既往歴数が 1 以上の乗員を「身体耐性：低」、既往歴を有さない乗員を「身体耐性：高」と定義した。本分類は、個体差の代表的要因として既往歴に着目した。簡易的な指標であり、年齢など他の要因を含まない点に留意する必要がある。
本研究における身体耐性分類の構成比を図 1 に示す。身体耐性が高い群が約 64%、低い群が約 36%であり、両群の比較が可能なデータ構成となっている。
本分類は簡易的な指標であるが、既往歴は身体機能の低下や回復力の差を反映する代表的な因子であり、外傷リスクに対する感受性の違いを捉える上で有効な近似指標と考えた。



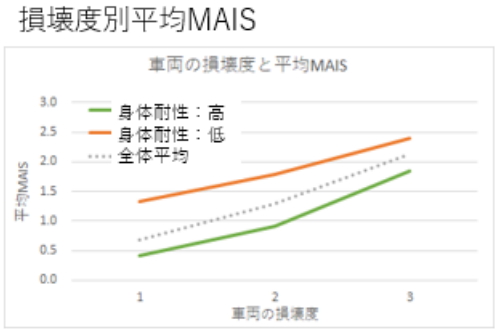
▶図 1 ：データ構成
身体耐性分類における対象者の構成比

2.2 身体耐性と外傷リスクの関係

まず、車両損壊度ごとの外傷指標（MAIS）を比較した結果、身体耐性が低い群では、全ての損壊度において平均 MAIS が高い傾向が確認された。また、重症外傷（MAIS≧3）の発生割合についても同様に、身体耐性が低い群において顕著に高い値を示した。

特に損壊度が小さい領域においては、その差が顕著であり、重症化率は最大で約 6 倍以上の差が確認された。これは、軽微な衝突においても、身体耐性の差が外傷結果に大きく影響する可能性を示している。

車両損壊度ごとの外傷指標（MAIS）について、身体耐性の違いによる比較を行った。



▶図 2 ：全体傾向
車両損壊度と平均 MAIS の関係（身体耐性別）

図 2 より、身体耐性が低い群では、全ての損壊度において平均 MAIS が高い傾向が確認される。この結果は、同一の衝突規模においても、乗員の身体特性により外傷結果が異なることを示している。

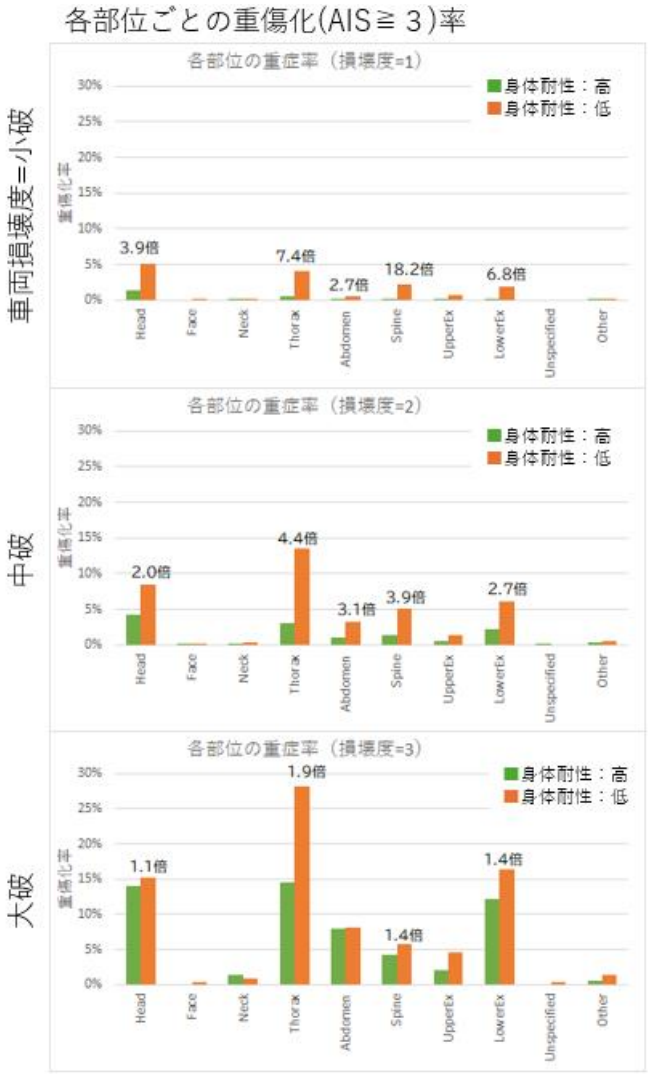
2.3 部位別外傷リスクの比較

次に、各部位ごとの重症化率（AIS≧3）について、身体耐性の高低で比較を行った。その結果、身体耐性が低い群では、特に胸部、脊椎、腰部において重症化率が顕著に増加することが確認された。

具体的には、中程度の損壊度条件において、胸部では約 4.4 倍、脊椎では約 3.9 倍、腰部では約 2.7 倍の差が認められた。また、小損壊条件においては、胸部や脊椎においてさらに大きな差が確認されており、身体耐性の影響が強く現れる領域であることが示唆された。

これらの結果は、同一の衝突条件であっても、乗員の身体的特性により外傷発生部位および重症度が大きく変化することを示している。

図 3 に、身体耐性の違いによる各部位の重症化率（AIS≧3）を、車両損壊度別に示す。



▶図 3 ：部位差

身体耐性の違いによる各部位の重症化率（AIS≧3）の比較（車両損壊度別）。

各倍率は、身体耐性低群と高群の重症化率の比を示す。

図 3 より、身体耐性が低い群では、特に胸部、脊椎、腰部において重症化率が顕著に増加していることが確認される。中程度の損壊度条件においては、胸部で約 4.4 倍、脊椎で約 3.9 倍、腰部で約 2.7 倍の差が認められる。

2.4 衝突条件の等価性の検討

身体耐性の違いを工学的に扱うため、外傷発生条件を衝突速度（ΔV）により比較した。MAIS≧2 に至る平均 ΔV を比較した結果、身体耐性が高い群では約 33km/h、身体耐性が低い群では約 28km/h となり、約 5km/h の差が確認された。

この結果は、身体耐性が低い群では、より低い衝突速度において同等の外傷が発生することを示しており、衝突条件に対する応答特性の違いが存在することを示唆している。

本研究では、外傷レベル（MAIS≧2）を基準とし、同一の外傷発生確率に対応する平均 ΔV を比較した。このため、異なる身体耐性群における ΔV 差は、「同等の外傷リスクを生じる衝突条件の差」と解釈した。

2.5 本章のまとめ

以上の分析より、交通事故における外傷リスクは、車両の損壊度や衝突条件だけでなく、乗員の身体耐性に大きく依存することが明らかとなった。特に、軽微な衝突領域においては、その影響が顕著であり、従来の平均的な乗員を前提とした評価では十分に捉えられていないリスクが存在する可能性が示された。

また、身体耐性の違いは、同一の外傷レベルに至る衝突条件（ΔV）の差として表現可能であることが示され、これを基に工学的な定量化が可能であると考えられる。

これらの結果は、外傷リスクの差異が単なる統計的傾向ではなく、工学的に定量化可能な現象であることを示唆している。

■ 3. CAE による身体耐性差の定量化

3.1 解析の目的と考え方

第 2 章の分析により、身体耐性の違いにより、同一の外傷レベルに至る衝突条件（ΔV）が異なることが示された。具体的には、MAIS≧2 に至る平均 ΔV は、身体耐性が高い群で約 33km/h、身体耐性が低い群で約 28km/h であり、約 5km/h の差が確認された。

本研究では、この差を工学的に扱うため、両者が「同等の外傷レベルに対応する衝突条件」

であると仮定し、衝突応答の差分を身体耐性の違いとして定量化することを試みる。
なお、身体耐性の異なる人体モデルを直接的に構築することは困難であるため、本研究では衝突速度の差を用いた等価比較により、身体耐性の違いを表現する手法を採用した。
本研究における CAE 解析では、身体耐性の違いを人体モデルの変更ではなく「入力条件（ΔV)」の差として表現した。
すなわち、

・ΔV = 33 km/h → 身体耐性：高
・ΔV = 28 km/h → 身体耐性：低

は、同一外傷レベルに対応する等価条件として扱った。
本手法は、身体耐性の差を直接再現するものではなく、統計的に得られた外傷条件差を工学的に扱うための等価表現である点に留意する必要がある。

3.2 解析条件

解析には、前面衝突を模擬したリジッドバリア（FRB）衝突条件を用いた。第 2 章で得られた ΔV に基づき、以下の 2 条件を設定した。

- 条件①：ΔV = 33 km/h（身体耐性：高に対応）
- 条件②：ΔV = 28 km/h（身体耐性：低に対応）

これらの条件に対して、同一の人体モデルを用いて CAE 解析を実施し、胸部に作用する負荷および変形量を評価した。
人体モデルは、THOR（50%ile 相当）モデルを用いた。拘束条件は以下とした。

・3 点式シートベルト装着
・エアバッグなし

評価指標は以下とした。

・胸部加速度（G）
・胸部変位（mm）

これらは、胸部外傷評価における代表的指標である。
なお、本条件は一般的な前面衝突の代表条件を簡略化したものであり、相対比較を目的とした設定である。

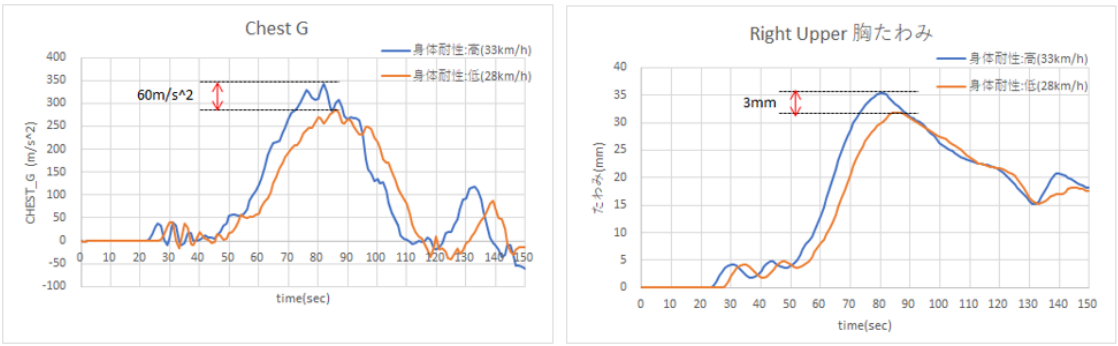
3.3 解析結果

解析の結果、胸部応答について以下の差が確認された。

- ΔV = 33 km/h：胸部加速度 約 35G、胸部変位 約 35mm
- ΔV = 28 km/h：胸部加速度 約 29G、胸部変位 約 32mm

両条件は、第 2 章において同等の外傷レベル（MAIS≧2）に対応する衝突条件とされていることから、これらの差分は身体耐性の違いに起因する応答差と解釈できる。

図 4 に、ΔV 差に基づく胸部応答の比較結果を示す。



▶図 4 ：CAE
FRB 衝突における胸部応答の比較

身体耐性の違いを ΔV 差（33 km/h および 28 km/h）として表現し、同等の外傷レベルに対応する条件間の応答差を示す。胸部加速度および変位において、それぞれ約 60 m/s²および約 3 mm の差が確認された。

3.4 外力レベルへの換算

胸部に作用する外力を評価するため、胸部の代表質量を 18kg と仮定し、加速度から外力への換算を行った。その結果、以下のような外力レベルが得られた。

- 身体耐性：高（ΔV = 33 km/h） → 約 7kN
- 身体耐性：低（ΔV = 28 km/h） → 約 6kN

したがって、中程度の衝突においては、身体耐性の違いにより約 1〜1.2kN の外力差が存在すると推定される。
外力は以下により算出した。

F = m × a

ここで、胸部の代表質量は 18kg と仮定した。この値は、人体の部分質量モデルに基づく代表値である。

3.5 軽衝突領域への展開

実事故においては、軽衝突の割合が高いことから、同様の考え方を軽衝突領域にも適用した。
ΔV = 15km/h の条件において解析を行った結果、胸部加速度は約 20G であった。
ここで、中程度衝突における耐性差（約 10〜20%）を適用すると、軽衝突においては約 0.4〜0.8kN 程度の外力差が生じると推定される。

3.6 本章のまとめ

本章では、事故データから得られた ΔV 差に基づき、CAE 解析を用いて身体耐性の違いを外力レベルとして定量化した。その結果、身体耐性の違いは、中程度の衝突において約 1〜1.2kN、軽衝突において約 0.4〜0.8kN の外力差として表現可能であることが示された。
この結果は、個体差による外傷リスクの違いを、設計上扱うことのできる定量的指標として表現できる可能性を示している。

■ 4. 設計指標への展開

4.1 個体差を考慮した設計の必要性

第 2 章および第 3 章の結果より、交通事故における外傷リスクは、衝突条件だけでなく乗員の身体耐性に大きく依存することが明らかとなった。特に、身体耐性が低い群では、より低い衝突条件において同等の外傷が発生し、その差は外力レベルとして定量化可能であることが示された。
従来の安全設計は、平均的な乗員を前提として構築されており、個体差による影響は設計条件として明示的に扱われてこなかった。しかし、本研究の結果は、この個体差が無視できないレベルで存在し、設計上考慮すべき要因であることを示している。

4.2 設計指標としての外力差の解釈

第 3 章で得られた結果より、身体耐性の違いは以下のような外力差として整理できる。

- 中程度の衝突： 約 1〜1.2kN
- 軽衝突： 約 0.4〜0.8kN

これらの値は、同一の外傷レベルに至る条件差として導出されたものであり、個体差による外傷リスクの増加を補償するために必要な「追加的な負荷低減量」として解釈することができる。

4.3 軽衝突領域における設計上の示唆

実事故においては、軽衝突の占める割合が高いことが知られている。第 2 章においても、身体耐性の差は軽微な衝突領域において特に顕著に現れることが確認された。
このことから、軽衝突領域においては、従来の設計では十分に考慮されていなかった個体差によるリスク増加に対し、積極的に対応する必要があると考えられる。
具体的には、軽衝突条件において約 0.5kN 程度の追加的な負荷低減能力を有する設計が、

身体耐性の低い乗員に対する外傷リスク低減に寄与する可能性がある。

4.4 設計への適用の考え方

本研究で示した設計指標は、特定のデバイスに限定されるものではなく、乗員保護システム全体に対して適用可能な概念である。

例えば、

- シートベルトによる拘束力の最適化
- エアバッグの展開特性の調整
- 着座姿勢の保持や補助機構の導入

など、様々なアプローチにより、追加的な負荷低減を実現することが考えられる。

また、装着型の補助具や身体機能を補完するデバイスにより、耐性そのものを向上させるという方向性も考えられる。

4.5 本章のまとめ

本章では、個体差による外傷リスクの増加を設計指標として解釈し、その適用可能性について検討した。その結果、身体耐性の違いは外力レベルとして定量的に表現可能であり、設計上は追加的な負荷低減量として扱うことができることが示された。

特に軽衝突領域においては、その影響が顕著であり、従来の平均的な乗員を前提とした設計に対して、個体差を考慮した新たな設計アプローチの導入が必要であると考えられる。

■ 5. 考察および結論

5.1 個体差を考慮しない安全設計の限界

本研究では、交通事故データおよびCAE解析を通じて、乗員の身体耐性の違いが外傷リスクに与える影響を検討した。その結果、同一の衝突条件であっても、身体耐性の違いにより外傷の発生確率および重症度が大きく変化することが確認された。

従来の安全設計は、平均的な乗員を前提とした評価体系に基づいて構築されてきたが、本研究の結果は、この前提だけではすべての乗員に対して十分な保護を提供できない可能性を示している。特に身体耐性が低下した乗員においては、軽微な衝突であっても重篤な外傷に至るリスクが無視できないことが明らかとなった。

5.2 軽衝突領域における新たな課題

本研究においては、身体耐性の差が軽衝突領域において顕著に現れることが確認された。この領域は事故全体に占める割合が高く、従来は比較的安全と見なされてきた領域である。しかしながら、本研究の結果は、軽衝突においても乗員の個体差により外傷リスクが大きく変化する可能性を示しており、この領域における安全設計の再検討の必要性を示唆している。

5.3 本研究の意義と設計への示唆

本研究の特徴は、個体差による外傷リスクの違いを、統計的な傾向として示すだけでなく、CAE 解析を用いて外力レベル（kN）として定量化し、設計指標へと変換した点にある。
この結果は、個体差による影響を設計上取り扱うことが可能であることを示しており、今後の安全設計においては、平均的な乗員に加え、身体耐性のばらつきを考慮した設計が重要となる可能性を示している。
また、本研究で示した外力差は、特定のデバイスに依存しない汎用的な指標であり、拘束装置、エアバッグ、姿勢保持機構など、様々な乗員保護技術に適用可能であると考えられる。

5.4 本研究の限界と今後の課題

本研究では、身体耐性の違いを衝突速度の差として表現し、CAE 解析により定量化を行ったが、これは耐性の違いを直接的に再現したものではなく、等価的な表現に基づくものである。
また、身体耐性の分類についても、既往歴や年齢を含む複合的な指標を用いており、個別の疾患や生理的要因との直接的な関係については十分に検討されていない。
今後は、より詳細な人体モデルの構築や、個体差を直接的に反映した解析手法の検討が必要であるとともに、実事故データとのさらなる比較検証が求められる。

5.5 結論

本研究では、交通事故における個体差が外傷リスクに与える影響を分析し、その差異を CAE 解析により定量化し、設計指標へと変換した。
その結果、身体耐性の違いは、中程度の衝突において約 1〜1.2kN、軽衝突において約 0.4〜0.8kN の外力差として表現可能であることが示された。
これらの結果は、個体差による外傷リスクの違いを設計上取り扱うことが可能であることを示しており、今後の安全設計においては、平均的な乗員に加え、個体差を考慮した新たな設計アプローチが求められることを示唆するものである。

■ 参考文献（References）

[1] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Crash Investigation Sampling System. NHTSA. [オンライン]. 2025 [参照 2025 年 2 月 15 日]. Available from: https://www.nhtsa.gov/crash-data-systems/crash-investigation-sampling-system

[2] 吉井勝司. 自動車事故における負傷・死亡リスクの新指標: 既往歴と外傷以外の影響. Jxiv, 2025. https://jxiv.jst.go.jp/index.php/jxiv/preprint/view/1119

[3] 吉井勝司. 交通事故の“隠れたリスク構造”：外傷見取り図から考える次世代安全対策. Jxiv, 2025. https://jxiv.jst.go.jp/index.php/jxiv/preprint/view/1407