

シミュレーション解析による頸部傷害予測のための 静的評価の代替動的評価法の検討^{*1}

Study of Alternative Dynamic Evaluation for Static Evaluation of
Neck Injury Prediction through Simulation Analysis

明神 正雄^{*2}
Masao MYOJIN

浅田 浩之^{*3}
Hiroyuki ASADA

山崎 邦夫^{*2}
Kunio YAMAZAKI

小野 古志郎^{*4}
Koshiro ONO

澤田 正英^{*3}
Masahide SAWADA

Abstract

This study examined an alternative dynamic evaluation method for static evaluation of neck injury prediction using the BioRID II dummy with higher biofidelity through simulation analysis. The simulations were conducted with the latest BioRID II (facet model ver. 2.2) model and a mass-produced car seat model using MADYMO6.4 analysis code. The simulations were compared with the sled tests using the BioRID II dummy and a seat identical to the simulation model to certify the dummy and seat models. The analysis indicated that the dynamic backset (proposed by Japan and EEVC as a parameter for dynamic evaluation of GTR phase 1) increased with the static backset. It also revealed correlations between the dynamic backset and the overall rating of IIWPG. Therefore, the dynamic backset was found to be an appropriate parameter for the alternative dynamic evaluation test.

1. はじめに

UN ECE/WP29会議において、ヘッドレストの世界統一基準（GTR）が2008年3月に成立し、後突時のむち打ち保護性能としてシートの静的バックセットを評価することとなった。ここで、市場に普及してきているリアクティブヘッドレスト等を静的バックセットで適切に評価することが困難であるため、代替する動的評価法（後突スレッド試験）が検討されたが、時間の制約のために、Hybrid-IIIを使った動的評価法、あるいは各国で独自にBioRID IIを使った動的評価法を策定することとなった。日本においては交通事故の死亡者数は減少傾向にあるが、追突事故の増加が顕著であり、効果的な対策を推進するた

めにより適切な評価法を確立することが急務である。そこで、(社)日本自動車工業会（JAMA）と当研究所（JARI）では、生体忠実度に優れるBioRID IIを使った動的評価法について研究し、日本政府の支援を行っている。このうち、本報では動的評価法における評価パラメータとして日本およびEEVC（European Enhanced Vehicle-Safety Committee）が提案している動的バックセットに関して、妥当性を検証するためのシミュレーション解析を実施したのでその概要を述べる。

2. 解析方法

日本、EEVCが提案している後突スレッド試験を模擬したシミュレーションモデルをJARIで作成し、静的バックセット、ヘッドレストー頭頂部間高さ、シートヒンジ剛性、シートバック接触特性が動的バックセット（2.3.1参照）におよぼす影響、

*1 原稿受理 2009年1月27日

*2 (財)日本自動車研究所 安全研究部

*3 (社)日本自動車工業会 後突頸部傷害WG

*4 (財)日本自動車研究所 企画・管理部 博士(工学)

および静的バックセットと動的バックセット、EuroNCAP¹⁾で評価項目として使用されている傷害指標との相関性について解析し、動的バックセットの妥当性を検証した。

2.1 後突スレッドシミュレーションモデル

ソルバーにはMADYMO6.4を使用し、ダミーモデルとシートモデルから成る後突スレッドシミュレーションモデルを作成し、パラメータスタディを実施した。

2.1.1 ダミーモデル

ダミーモデルにはTASS (TNO Automotive Safety Solutions)が開発した、BioRID II²⁾ Facet Ver2.2を用いた。ダミーモデルに関しては、あらかじめリジッドシートを用いた $\Delta V=8\text{km/h}$ ならびに 16km/h の後突スレッド試験³⁾との比較を行い、ダミーの外観挙動および衝撃応答(加速度、荷重、モーメント)に関して検証を実施した。検証の結果、ダミーの外観挙動に関して実験と差が見られた第7頸椎(C7)と第1胸椎(T1)の間のジョイント剛性を初期のモデルから50%低下させた(Fig. 1)。

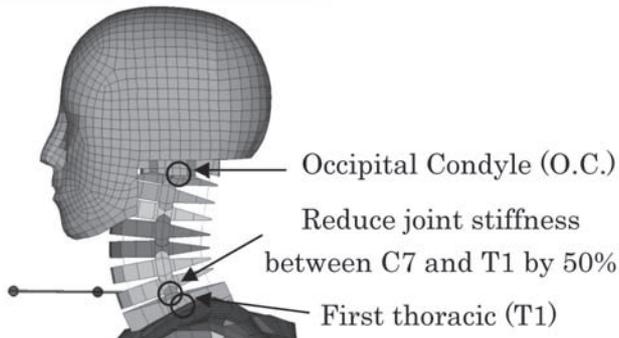


Fig. 1 Spine of BioRID II facet dummy model

2.1.2 シートモデル

シートモデルはヘッドレスト、シートバック、シートクッションおよびフットレストから構成される簡易なモデルとした。シートバックおよびヘッドレストの圧縮特性、ならびに、シートヒンジおよびヘッドレストのジョイント特性は、静的試験結果等からあらかじめ設定し、ダミーモデルを用いた $\Delta V=16\text{km/h}$ の後突実験シミュレーションと後突スレッド試験との比較から、各特性値の調整を行った。

2.2 パラメータスタディ

静的バックセットと、動的バックセットおよび、EuroNCAPで評価項目として使用されている傷害指標との関係を把握するため、静的バックセットを20mm間隔で変化させた(5, 25, 45, 65, 85mm)シミュレーション解析を実施した。ヘッドレスト-頭頂部間高さは-50mmとし、スレッドパルスにはIIWPG⁴⁾で提案されている $\Delta V=16\text{km/h}$ の加速度波形を用いた。

また、ヘッドレストの位置やシートの特性が動的バックセットに及ぼす影響を分析するために、静的バックセット、ヘッドレスト-頭頂部間高さ、シートヒンジ剛性、シートバック接触特性を、基準値から各々80, 90, 110, 120%にした場合の、動的バックセットの計測を行った。静的バックセットは45mm、ヘッドレスト-頭頂部間高さは50mmを基準とし、リクライニング部剛性、シートバック接触特性はシートモデルを基準とした。

静的バックセットとヘッドレスト-頭頂部間高さについてはFig. 2に示す。

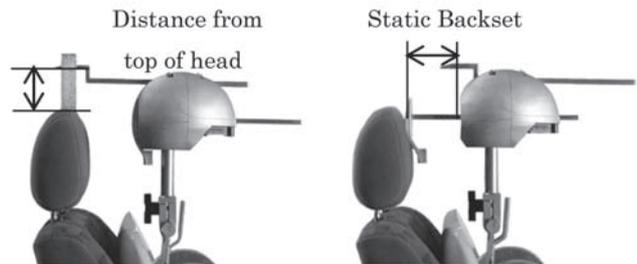


Fig. 2 Static backset measuring position

2.3 評価方法

2.3.1 動的バックセット評価

動的バックセット評価の概念図をFig. 3に示す。動的バックセットとは、BioRID IIダミーのOC (Occipital Condyle: 後頭顆)とT1の前後方向の相対移動量の最大値であるが、シートバック後傾の影響を補正するためにその後傾角による座標変換を行う。具体的な計算手順は以下のとおりである。
 a) 式(1)よりシートバックの角度を計算する。
 b) 式(2)より初期角度との差を求め、角度変化とする。
 c) 式(3), (4)で変位を、シートバックの角度変化に応じて座標系を回転させ座標変換する。
 d) 式(5)よりOCからT1の差を求める。
 e) 式(6)より初期のOC-T1との差を求め、相対移動量とする。

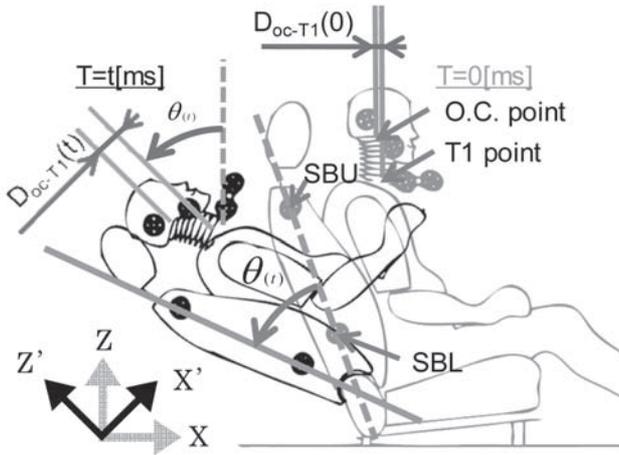


Fig. 3 How to measure dynamic backset

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{SBUz(t) - SBLz(t)}{SBUx(t) - SBLx(t)} \quad (1)$$

$$\Delta\theta(t) = \theta(t) - \theta(0) \quad (2)$$

$$T1x'(t) = T1x(t) \cos \Delta\theta(t) + T1z(t) \sin \Delta\theta(t) \quad (3)$$

$$OCx'(t) = OCx(t) \cos \Delta\theta(t) + OCz(t) \sin \Delta\theta(t) \quad (4)$$

$$D_{(OC-T1)}(t) = OCx'(t) - T1x'(t) \quad (5)$$

$$\Delta D_{(OC-T1)}(t) = D_{(OC-T1)}(t) - D_{(OC-T1)}(0) \quad (6)$$

ここで

SBU: シートバック上部のターゲットマーク位置

SBL: シートバック下部のターゲットマーク位置

OC: ダミーの後頭顆の位置

T1: ダミーの第一胸椎の位置

なお、本計算はダミー右側面から撮影した際の計算式のため、左側面からの撮影ではOC-T1値に-1を乗じる。

2.3.2 傷害パラメータ評価

頸部傷害を評価するためにEuroNCAPで評価項目として使用されているNICおよびNkm, 第一胸椎加速度 (T1G: T1 X acceleration), 上部頸部せん断力 (UNFX: Upper neck shear force), 上部頸部軸力 (UNFZ: Upper Neck axial force), ダミー頭部とヘッドレストが接触する時間 (T-HRC: Head restraint contact time), 頭部反発速度 (Rebound V: Head rebound velocity) について、静的バックセットとの相関を求め動的バックセットと比較した。

2.3.3 IIWPG評価³⁾

IIWPG評価は静的と動的とを組み合わせた方法であるが、静的にはダミー頭部とヘッドレストの静的バックセットならびにヘッドレスト-頭頂部間高さで評価を行い、動的には、後突スレッド試験からT1G, T-HRC, UNFX, UNFZを使用して評価される。レーティングではGood, Acceptable, Marginal, Poorと4段階でシートの評価が決定される。

3. 結果

3.1 静的バックセットと動的バックセットの関係

Fig. 4は、静的バックセットと動的バックセットとの関係を示したものである。静的バックセットの増加に伴い、ほぼ線形に動的バックセットも増加している。また、静的バックセットとの相関を見るとTable 1に示すように他の評価指標よりも決定係数 (R²) は高くなることがわかった。

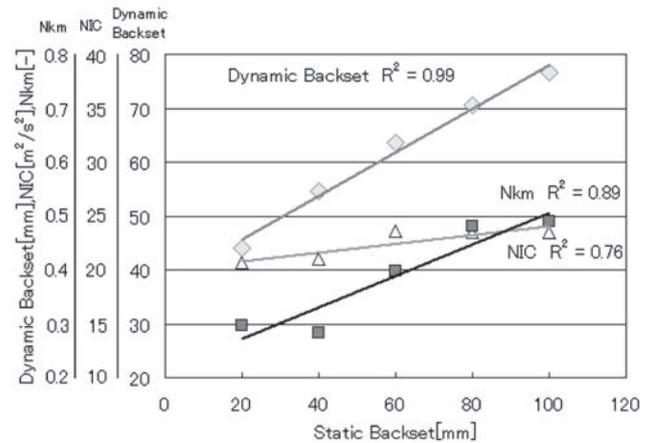


Fig. 4 Relation between static backset and dynamic backset etc.

Table 1 Multiple correlation coefficient between injury parameter and static backset

Injury Parameter	Dynamic Backset	NIC	Nkm	UNFX
R ²	0.99	0.76	0.89	0.89
Injury Parameter	UNFZ	T-HRC	ReboundV	T1G
R ²	0.72	0.96	0.93	0.75

3.2 IIWPG評価と動的バックセットの関係

Fig. 5は、IIWPG評価と動的バックセットの関係を示したものである。動的バックセットが増加するとIIWPG評価が低下する傾向となる。IIWPG評価と動的バックセットは、ほぼ線形の相関関係がみられた。

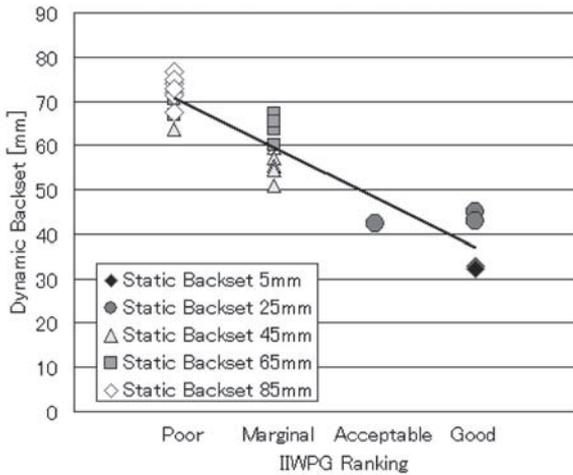


Fig. 5 Relation between IIWPG rating and dynamic backset

3.3 動的バックセットに対する感度解析

Fig. 6に動的バックセットに対する静的バックセット、ヘッドレスト-頭頂部間高さ、リクライニング部剛性および、シートバック接触特性との関係を示す。基準値から±20%まで変化させた場合、シートヒンジ剛性と静的バックセットを変化させた場合に、動的バックセットの変化が大きかった。シートバック接触特性に関しては、大きな変化は見られなかった。

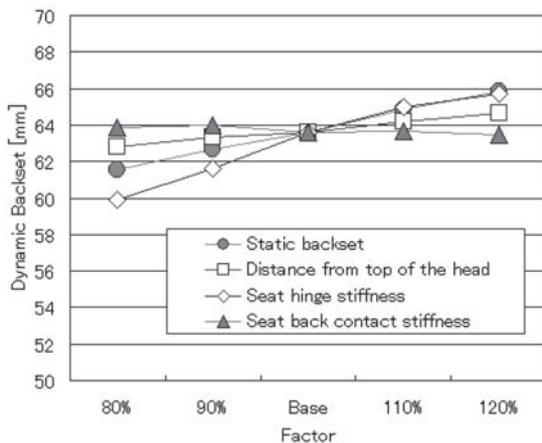


Fig. 6 Relation sensitivity analysis to dynamic backset

4. まとめ

BioRID IIダミーモデルを使用した後突スレッド

シミュレーション解析を実施し動的バックセットの妥当性等について分析し、以下の結果を得た。

静的バックセットの増加に伴い、動的バックセットも線形に増加し、傷害指標よりも静的バックセットとの間に高い相関性を示した。また、動的バックセットの増加に伴いIIWPG評価の低下する傾向が見られた。

以上の結果から、動的バックセットは、動的システムを持つヘッドレスト（リアクティブヘッドレスト等）に対して、有効な指標であると考えられる。

また、動的バックセットは静的バックセット値に対して、敏感であることから、試験の再現性を確保するためには、ダミー搭載時の静的バックセット値の再現性を確保することが重要であることがわかった。

5. おわりに

ヘッドレストGTR（フェーズ1）においてリアクティブヘッドレスト等の評価する際の代替動的評価法の指標として提案されている動的バックセットの妥当性、ならびに動的評価法の再現性を確保するための留意点についてシミュレーションを用い検証できた。

なお、本内容をTÜV SÜD Akademie GmbH主催のWhiplash - Neck Pain in Car Crashes, 2nd International Conference (November18-19, 2008)で報告した。本研究が試験法検討の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) Euro NCAP : THE DYNAMIC ASSESSMENT OF CAR SEATS FOR NECK INJURY PROTECTION TESTING PROTOCOL Version 2.8 Draft (2008)
- 2) MADYMO V6.4 Model Manual : BioRID II Rear impact Q Dummy (2007)
- 3) Ishii, M. et al. : JSAE Review, Repeatability and Reproducibility of Dummies Used for Rear-end Impact Evaluation (2007)
- 4) RCAR standards : RCAR-IIWPG Seat/Head Restraint Evaluation Protocol (2008)