



CAE 特集

二輪車の衝突解析

Motorcycle Collision Analysis

出口 基明 Motoaki Deguchi 神戸 庄二 Shouji Kanbe

●研究開発センター コア技術研究室 ダイナミクスグループ

Although it is not as conspicuous as with cars, research and development for improving motorcycle safety has continued steadily and the fruits of these efforts are gradually being acquired. In this report we present one of these efforts: R&D about improving safety in motorcycle-car collisions.

It is indispensable to conduct verification experiments for new safety chassis design and/or new protective equipment that reduce rider injury in collisions. However, there are too many factors to consider regarding collision phenomenon, such as collision speed, direction and the shape of the other vehicle, etc. Consequently, it is impossible to cover all of the factors by means of experiments only. Therefore, it has been found that numerical simulation of collision is an effective way to complement these experiments. We adopt a type of multi-body dynamics software, "MADYMO" to develop simulation models. In addition, we are also developing simulation models that use the Finite Element Method (FEM).

The FEM models consist of enormous data compared to the MADYMO models, and require a very long time to calculate. Therefore, these are not practical for our R&D activities that require a large number of calculations. However, since the FEM models have detailed data, very precise results can be expected. We are aiming to develop a simple but highly precise simulation method that incorporates the results of the FEM models into the MADYMO models.

1 はじめに

二輪車の安全性向上の研究開発は、四輪車に比べて目立たないが、着実に行われておりその成果も徐々に得られつつある。本稿ではその中の一分野である衝突時の安全性向上の研究開発に係わる部分を紹介する。二輪車の衝突時のライダーの障害を軽減する車体や保護具の開発には、実車による実験評価が欠かせない。しかし衝突現象には、衝突時の速度や方向を始めとして相手側の形状など考慮すべき事柄があまりにも多い。このため、全てを実験でカバーすることはほとんど不可能であり、衝突を計算機上で再現する数値シミュレーション手法が実験を補完する有効な手段となる。当社ではこのシミュレーションモデルの開発に「MADYMO」という運動機構ソフトの一種を採用している。また、同時に有限要素法（FEM）によるシミュレーションモデルの開発にも取り組んでいる。この FEM によるモデルは MADYMO に比べてデータの的に巨大であり、計算も非常に長い時間が必要である。従って、本研究開発のように数多くの計算例が必要なケースでは実用的ではないが、反面、詳細なモデルではあるがゆえに高い計算精度を期待できる。我々はこの FEM による高い計算精度の結果を部分的に MADYMO

モデルに取り入れることで、簡便ながら高い精度のシミュレーション手法の開発を目指している。

2 運動機構ソフト「MADYMO（マディモ）」について

運動機構解析ソフト「MADYMO」では、対象物を有限要素法（FEM）解析のように細かなメッシュに分割せず、いくつかの剛体（変形しないひとかたまりの物体）とその剛体間を結合し、いろいろな動きをする関節で表現する。例として、図1にMADYMOで使用する衝突試験用のダミーモデルを示す。このダミーモデルは、32個の剛体と同数の関節からできており、ダミーの動きを再現できるようにつくられている。

運動機構解析ソフトの最大の長所は、その計算時間の短さにある。モデル化の方法で全く違うので単純な比較はできないが、FEM解析で何日

という単位で考えていた計算が、時間や分の単位で考えることができるようになる程の違いがある。従って、MADYMOでは考えられる様々な衝突形態について多くのシミュレーション計算を比較的簡単におこなうことができる。一方、その最大の短所は、精度が悪くなりやすいことである。精度が悪くなる原因は主に2つある。1つは、それぞれの構成要素を剛体として扱うために、実際には変形する構成要素をMADYMOでは、直接表現できないことである。2つめは、モデル化（どこにどのような関節をつけるのか）が適切でない場合である。1つ目の問題は、変形する1つの構成要素を複数の剛体と関節で表現し、物理的に等価なモデルとすることで解決できる。2つめは、モデルと実際の現象との違いを注意深く観察することで解決できる問題である。

いずれにせよ、MADYMOに必要とされるのは大局的な精度であり、局所的な精度にこだわることはMADYMOの一番の長所である計算時間の短さを失ってしまうことになる。従って、局所的に高い精度が求められる部分ではFEM解析をおこない、その結果をMADYMOに取り入れていくのが両者の長所を生かした方法であるといえる。



図1 MADYMO ダミーモデル

3 MADYMO による衝突解析

MADYMOを使った二輪車衝突シミュレーションの実施例を図2、3に示す。このシミュレーションでは、実際の衝突試験の画像を解析して二輪車の動きを求め、シミュレーション上でその動きを再現して、ライダーダミーの動き、加速度などを比較している。この試験では、静止している四輪車の側面に、二輪車が時速48kmで直角に衝突している。図2は、エアバッグのない場合、図3はエアバッグをつけた場合で衝突直後から20msecごと、100msecまでを試験画像と比較している。図4、5にこの

時のダミーの胸部加速度を示す。グラフの中で、X 方向は前後方向、Z 方向は上下方向を示し、赤、青が試験データ、橙、水色がシミュレーション結果を示している。また、その他の形態として、時速 24km で走行している四輪車の側面に、二輪車が時速 48km で前方 45° の角度より衝突する場合のシミュレーション画像を動画で添付する。



図 2 二輪車衝突シミュレーションの
実施例
－エアバッグなしの場合－

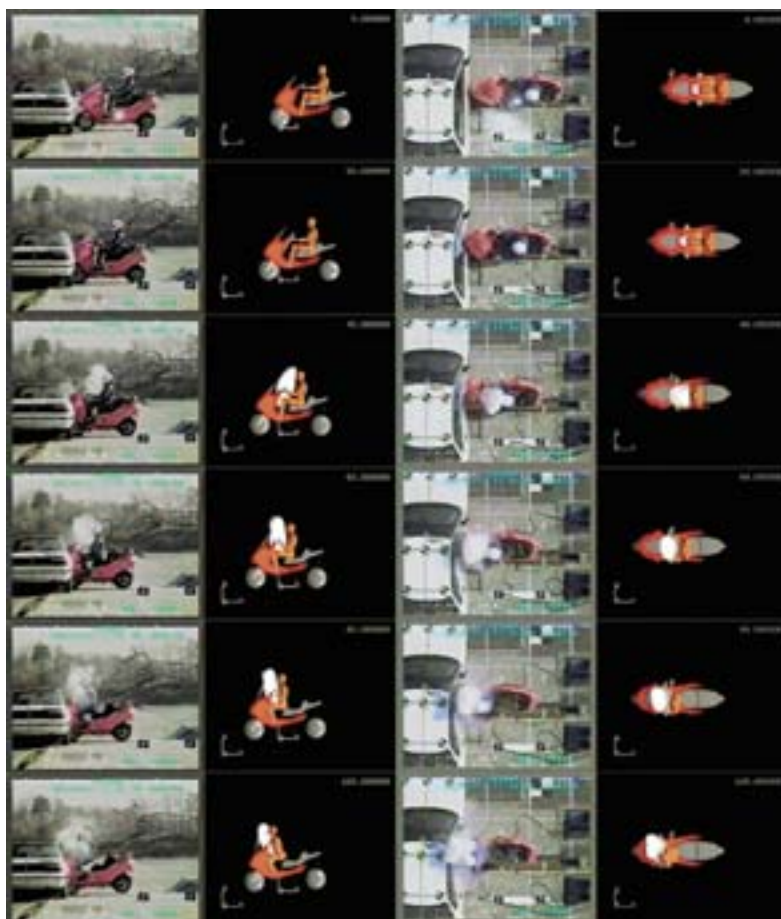


図 3 二輪車衝突シミュレーションの
実施例
－エアバッグありの場合－

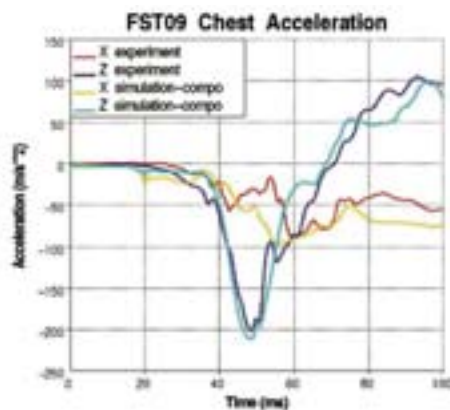


図 4 ダミー胸部加速度の比較
－エアバッグなしの場合－

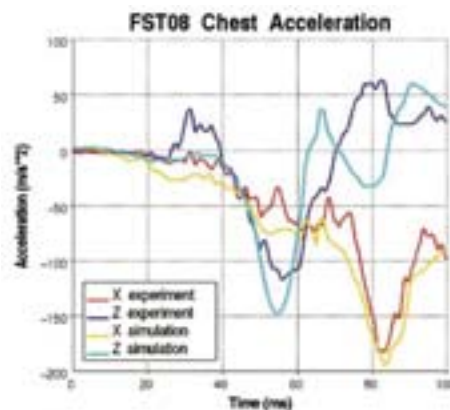


図 5 ダミー胸部加速度の比較
－エアバッグありの場合－

4 有限要素法 (FEM) による衝突解析

二輪車の衝突は四輪車と比べて、乗員がシートベルトなどで拘束されていないのでその動きが大きく、場合によっては乗員が路面に投げ出されることもある。従って考慮すべき現象の時間も四輪車に比べて1桁長くなっている。また、最初に衝突する箇所は四輪車のように硬い車体ではなく柔らかいタイヤであり、また、そのタイヤもバネで支えられているために、衝突による減速の状況が四輪車とは大いに異なっている。この考慮すべき時間が長いということはシミュレーション計算における誤差の蓄積が大きくなる可能性が高いということであり、計算初期の精度向上が特に重要となる。すなわち、タイヤの衝突時の挙動を正確に予測することが二輪車の衝突シミュレーション解析の特徴であり、またキーポイントであると言える。

図6にタイヤの解析モデルを示す。このモデルは、トレッド部やサイドウォール部などのそれぞれ異なるゴム特性、補強材のナイロンコードの特性および空気圧を考慮しており、形状の著しい変化や材料の特性変化それに摩擦を含む接触など一般には解析が難しい現象を取り扱えるものとなっている。図7はタイヤに徐々に荷重を掛けてその変位を示したものである。荷重はタイヤが大きく潰れていわゆる底付きし、金属部分のリムが破壊される寸前まで大きくしている。計算値は実験値と良く一致している。また、図8は同じモデルに衝撃的な力を加えた場合のタイヤ反力を示しており、計算値はピーク値および時間変化ともに実験値とやはり良く一致している。

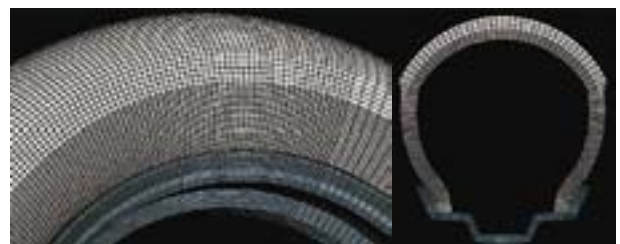
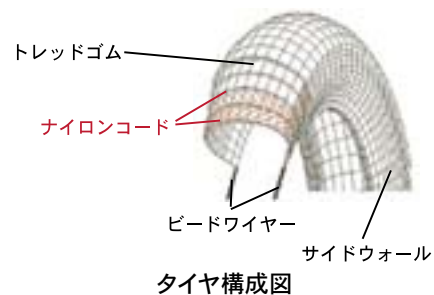


図6 タイヤモデル

準静的なタイヤ反力

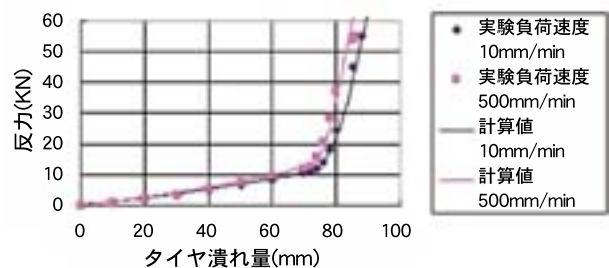


図7 静荷重

動的なタイヤ反力

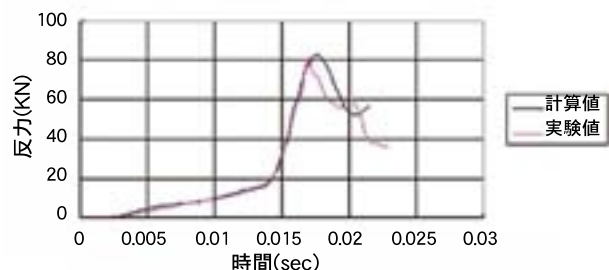


図8 動荷重

図9は車体のFEMモデルを示している。このモデルは車体の前半部の構造部分を詳細な有限要素で表している。衝突現象にあまり影響を及ぼさない車体後半部と非強度部材（アクセサリ類など）は簡略化されており、後輪もバネとダンパーに置き換えられている。また、各部の重量と重心位置は実物を正確に再現している。衝突時に変形する前半各部の形状や接合状態は微小な要素で正確に表現するとともに、高速で変形し潰れる場合の材料特性の変化も考慮して、衝突現象を正確に再現できるよう工夫している。全車体モデルはこの車体モデルと前輪のタイヤモデルを組み合わせることにより完成する。

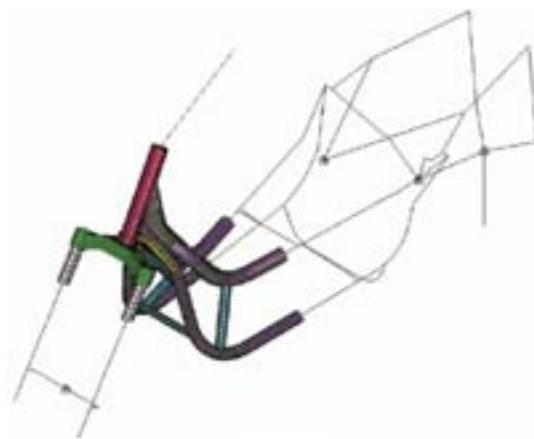


図9 車体モデル

5 おわりに

現在開発中の二輪車の衝突シミュレーション手法とそのモデルを簡単に紹介した。我々は運動機構解析ソフトと有限要素法解析ソフトのそれぞれの長所を活かした手法の開発に取り組んでいるわけであるが、最近の傾向として、MADYMOではエアバッグなど剛体でうまく表現しきれないものはFEM要素で表すことが可能になっており、一方、FEMではあまり重要でない部分の細かい要素は剛体とし、計算時間を短くするなどの改良を行っている。つまり、両者がその特長を生かしつつ他者の長所を取り入れようとしており、将来的には最初から一つの解析モデルで短い時間でありながら精度の高いシミュレーション計算が可能になると思われる。

衝突時の安全性向上を目指した研究開発は、実験が高コストなため、シミュレーション計算が特に有効な手段となり得る分野と考えられる。また、二輪車の衝突解析は現象として非常に複雑であり、技術者として非常に興味深いとともに、その成果が人命を救うことに直接的につながるため、社会的使命感を持ちやすいという僥倖にも恵まれている。今後も意欲的に挑戦して行きたい。

● 著者



出口 基明



神戸 庄二