

IV-28 交通事故再現に関する研究

北海道大学大学院 学生員 白川部 秀基 澤石 正道
北海道大学工学部 正 員 藤原 隆 中辻 隆
北海道大学工学部 正 員 加来 照俊

1. はじめに

交通事故を防止するためには、事故の実態を十分に把握しその原因を究明する必要があるが、そのためには衝突中、衝突後の車両の挙動についての実証的な事故再現法を確立しなければならない。

いわゆる自動車事故と呼ばれる現象は二つの現象から成り立っている。最初の一つは衝突そのもので、車両どうし、車両と人間または車両と構造物などの衝突である。もう一つの現象は、衝突が終わって車両が離れ、各々別々の軌跡を描いて停止（最終）位置に至るという現象である。そして、車は衝突によって運動エネルギーの大部分を車体の破壊、変形に消費する。また、車両対車両の衝突においては、衝突速度や衝突角度が車体の破壊、変形及び衝突後の車の挙動に大きく影響し、乗員の傷害にも大きく影響する。

本研究では、事故再現の一部である衝突時の車両の変形状況を明確にすることを目的とする。そこで、構造解析で用いられる有限要素法と離散化極限解析法を導入し、簡略化した車両モデルで衝突解析を行った結果について報告する。

2. 衝突解析

2-1 解析手法

今日、構造解析において計算機の発展と共に有限要素法（Finite Element Method, FEM）は飛躍的に発展を遂げ、解析できない問題はなくなったといわれている。しかしこれはあくまで理論上の話しであって、非線形問題においては解の信頼性の問題と計算時間や計算費用の点で大きな壁にぶつかっている。そこで本研究では、離散化極限解析法（New Discrete Limit Analysis, NDLA）を用いて衝突解析を行うことにする。この手法では、要素に剛体とばねで構成するモデル（Rigid Bodies - Spring Model, RBSM）を適用している。このモデルは要素境界辺上の垂直応力とすべり破壊に抵抗するせん断力を扱うので、破壊解析には適していると考えられる。以下、簡単に面内変形平面要素の場合の剛体-ばねモデルによる離散化極限解析法の概要を述べる。

（1）離散化極限解析法の内容

剛体-ばねモデルによる離散化極限解析法は有限要素法と同様、解析する対象を有限個の簡単な形状をした要素（あるいは部材）に分割する領域型解法である。連続体の場合、この要素を多角形の板（2次元）や多面体（3次元）としているのが一般的であるが、要素形状は任意である。また、要素自身を剛体と仮定し、各要素境界面上に体積変化およびせん断変化に抵抗する2種類のばねを設け、要素内の仕事の代わりに要素境界面上に集中化させた表面力の仕事を用いてエネルギーを評価する。

こういった仮定に基づいて、表面力や剛体変位の関係式を求め、有限要素法の計算手法を活用することにより、未知の剛体変位に関する方程式を解けば、表面力や剛体変位が得られる。またこの剛体-ばねモデルは個体が載荷の極限において示す不安定性（破壊）を的確に表現し得るモデルである。

(2) 離散化極限解析法の理論

①剛体変位

図2-1の要素1、2において、p点のx方向、y方向の移動量は重心の剛体変位（ u 、 v 、 θ ）により以下のように計算できる。

$$U = Q \cdot u \quad \dots (2.1)$$

U ：平行変位ベクトル u ：剛体変位ベクトル

(2.1)式における平行変位ベクトルは全体座標系（ x 、 y ）に関するx方向、y方向変位であるため、要素境界面に沿った局所座標系（ n 、 s ）に変換すると、以下のように書きなおせる。

$$U = R \cdot U \quad \dots (2.2)$$

U ：局所座標系における変位 R ：座標変換行列

②相対変位

図2-2において局所座標系における任意点pの変位が求まれば、2要素間の相対変位（ δn 、 δs ）は式(2.3)によって求められる。

$$\delta = M \cdot U \quad \dots (2.3)$$

δ ：相対変位ベクトル

式(2.3)に式(2.1)、式(2.2)を代入すれば、要素重心の剛体変位により2要素間の相対変位が以下のように求められる。

$$\delta = M \cdot R \cdot U = M \cdot R \cdot Q \cdot u = B \cdot u \quad \dots (2.4)$$

(ここで、 $B = M \cdot R \cdot Q$)

また、相対変位と垂直応力、せん断応力の表面力には以下の関係があると仮定する。

$$\sigma = D \cdot \delta \quad \dots (2.5)$$

σ ：表面力ベクトル D ：ばね係数行列

③剛性行列の作成

要素重心に作用する外力 F に対し、2要素間の分布ばね系に蓄えられるエネルギー V は以下のように求められる。

$$V = 1/2 \int_s (\delta^t \cdot D \cdot \delta) ds = 1/2 u^t \cdot \int_s (B^t \cdot D \cdot B) ds \cdot u \quad \dots (2.6)$$

Castiglianoの定理より、

$$F = \partial V / \partial u = K \cdot u \quad \dots (2.7)$$

$$K = \int_s (B^t \cdot D \cdot B) ds$$

K ：ばね剛性行列

したがって大筋では K^{-1} を左からかけることによって、 u を求めることができる。これは有限要素法と同じである。つまり、計算処理方法はほとんど有限要素法と同じなのである。しかし、本法の要素とはいわゆる有限要素法の要素と異なり、要素境界面上に分布しているばねを要素と考える。

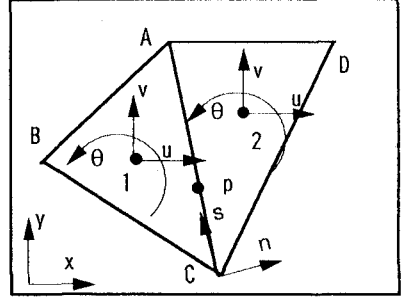


図2-1 要素の剛体変位と2要素間の相対変位（変形前）

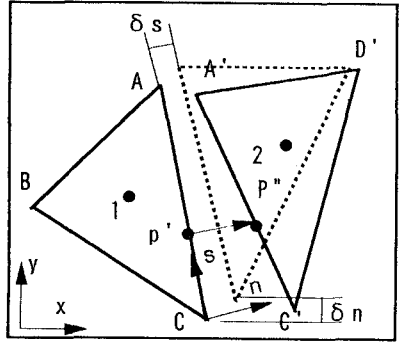


図2-2 2要素間の相対変位（変形後）

2-2 車両モデル

今回は、客観的に見て衝突の方向や衝突の程度等破損の様子を簡単に把握することができることや、データとしての取扱いが簡単であること等から二次元平面の真上から見たモデルを用いた。図2-2に解析に使用したモデルの要素分割図を示す。要素は三角形面内変形平面要素を使用し、解析モデルの節点数は132節点、要素数は202要素である。

もちろん、車両は三次元の立体的な構造物であるが、それを二次元のモデルとして扱うのでかなりの仮定条件が必要である。このモデルのサイズは一般的な日本車のセダントップである。また、フロント

部にはエンジン等があるが、フレーム（ボディー）は外側のみであり、またリア部はトランクルームが一般的であるので、剛性を他の部分より弱くしている。（網掛けの部分）

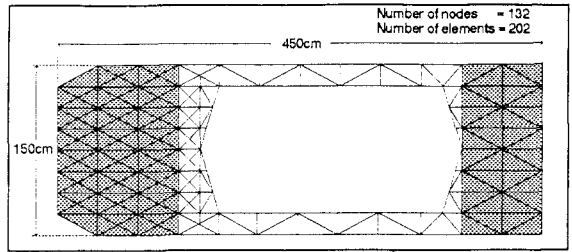


図2-3 車両モデル

3. 解析結果

本来、衝突は被衝突車両に対して360度（二次元）全ての方向に起こり得るが、進入角度、回転、重心移動等のパラメーターが複雑に絡み合ってくるため、今回は最も単純な（衝突車両と被衝突車両の重心が一直線上にある）衝突である正面衝突（Frontal collision）、側面衝突（Side collision）、追突（Rear-end collision）の3タイプの一次元衝突について解析した。図3-1に荷重載荷位置と支点の位置を示す。L1～L3は

それぞれ正面衝突、側面衝突、追突の荷重載荷位置であり、各々10 tonの静荷重を載荷した。また、支点の拘束条件は路面とタイヤの摩擦力によって複雑に変化するであろうが、その位置をタイヤの接触部に固定した。各衝突において従来の有限要素法と離散化極限解析法の両手法による解析結果を図3-2から図3-4に示す。（a）は有限要素法、（b）は離散化極限解析法による結果である。有限要素法の解析には大型計算機センターの汎用プログラムISASIIを用いた。なお、変形状態を理解しやすいよう変位のスケールを大きくしている。

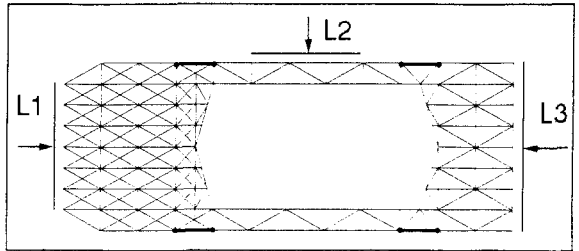
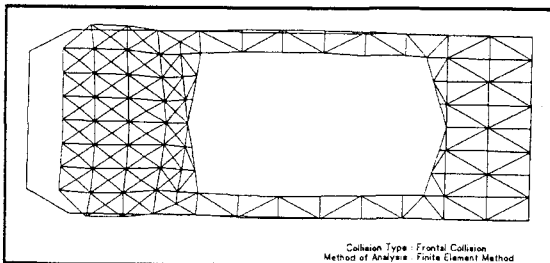
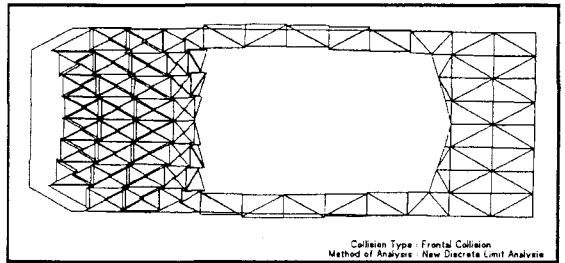


図3-1 荷重載荷と支点拘束の位置

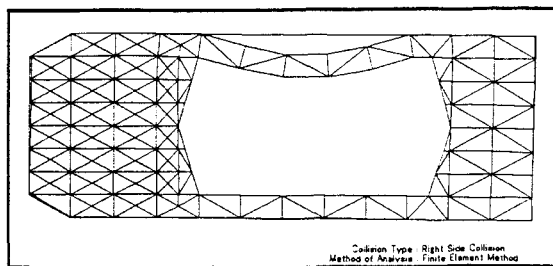


(a)

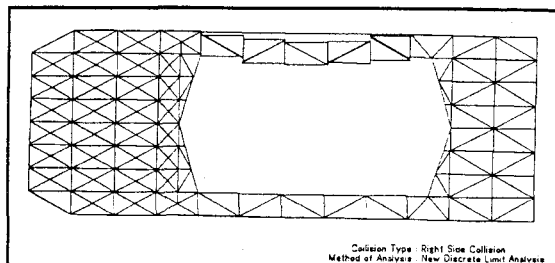


(b)

図3-2 正面衝突

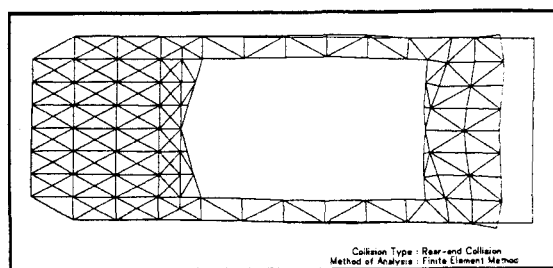


(a)

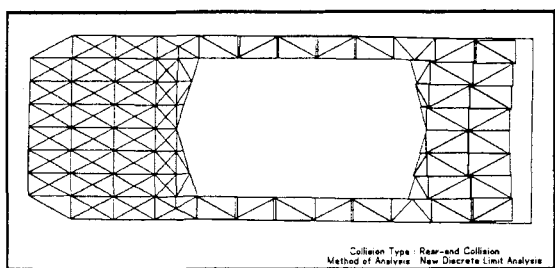


(b)

図3-3 側面衝突



(a)



(b)

図3-4 追突

離散化極限解析法は、自由度を各要素の重心に設定している。また各要素は剛体と仮定されていて要素自身は変形することはないので、変形後は要素と要素は断続的である。一方、有限要素法では各頂点に自由度を設け、一つの頂点は複数の要素に共有されるので、変形後の外見も滑らかで連続的である。そのため、要素分割を細かく複雑にしなければ荷重載荷位置が不明確になる恐れがあるが、離散化極限解析法では簡単な要素分割で変形状況を表すことができる。また、離散化極限解析法は入力データの作成や出力結果が扱い易く、解析計算をワークステーション上で数分の内に処理することができる。

4. まとめ

以上まとめると、

- ① 簡略化した車両モデルを用いて衝突時の変形状況を視覚的に表現することができた。
- ② 変形や破壊の本質であるすべりの概念を取り入れた離散化極限解析法は衝突解析法として有効である。

今回は計算と図の表示を別々のプログラムで行ったが、今後統一したシステムで処理することができるなら、さらに表示速度の高速化が期待できる。また、回転、横転等衝突形態の次元拡張、車両モデルの改良、衝撃力を伴う動的な荷重の載荷、大変形を含む幾何学的非線形の解析を行いより現実に即した衝突現象を表現したい。

【参考文献】

- ・自動車交通事故とその調査／交通工学研究会編
- ・離散化極限解析プログラミング／川井忠彦、竹内則雄 共著