

S7-3-5. 鉄道車両の側面衝突時の挙動評価のための実験・解析手法

[機]○宇治田 寧 (鉄道総研) 沖野 友洋 [機]舟津 浩二

[機]野元 浩 (東日本旅客鉄道) 鈴木 勝彦

Experimental and Numerical Method to evaluate Crashworthiness on Intermediate End Structure of Railway Vehicles against Side Impact Collision

Yasushi Ujita, Member (Railway Technical Research Institute)
Tomohiro Okino, (Railway Technical Research Institute)
Kohji Funatsu, Member (Railway Technical Research Institute)
Hiroshi Nomoto, Member (East Japan Railway Company)
Katsuhiko Suzuki, (East Japan Railway Company)

If such the train crash accident happens that the intermediate end structure of a derailed carriage hit another train running on the next track going the opposite direction, the end structure and side structure of the derailed carriage and the other train hit by the derailed carriage might be severely damaged. So, it is important to evaluate the crashworthiness of the intermediate end structures of EMUs. Light stainless steel (SUS) car-body structures were tested in this research. Real size partial car-bodies, which were assembled by an end post, a side sill, an end beam, stiffeners and panels, were used as a specimen for crash tests in order to evaluate their structural integrity against impact load. In the crash test, the specimen was shot towards a rigid barrier which had a convex shape representing the car-body structure of an oncoming train on the next track. Several test cases with various impacted areas of the end structure were tested according to possible situations of an accident. FE analysis were also used to validate empirical results of the crash tests. Numerical results by the FE analysis show good agreement with the empirical results in terms of the force-displacement characteristics as well as their deformed shape.

キーワード：衝突安全性、軽量ステンレス構体、衝撃試験、数値解析

Keywords: Crashworthiness, Light stainless steel car-body, Impact test, Numerical analysis

1. はじめに

車両の側面衝突事故の典型的なケースとして、何らかの原因で脱線した車両の側面が隣接線路を走行中の対向列車側面に衝突することが考えられる。この場合、互いの列車の車両が接触後、車体側面同士が擦れ合い、特に双方の編成の中間に連結された車両の車端部の隅部同士が衝撃することにより、構体結合部分を中心に車体が損壊し、乗客への被害が大きくなることが懸念される。

このことから、対向する2列車の編成中間車車端部分に着目し、車体隅部同士が側面衝突する際に大きな変形が生じる恐れのある台枠・側構え・妻構えの結合部を中心とする部分車体構造の衝撃挙動を評価・検討することとした。

衝突時の条件として、双方の車体における上下方向の高さの差（上下オフセット量）を変化させ、それによる変形挙動の差を評価した。

検討対象として、1980年代以降に設計・製造された、標準的な軽量ステンレス鋼製車体構造を選択し、その編成中間車車端部分を検討部位とした。特に台枠、側構え、妻構えの接合部の構造を中心とする、約300mm立方の領域の構体部分を想定し、その衝撃時の挙動を検討した。

2. 衝撃試験

<2.1>試験体

軽量ステンレス鋼製車両の中間車両車端部を模擬した試験体を製作した。試験体の外形は長手方向300mm×幅290mm×高さ465mm、重量は16kgである。(図1)

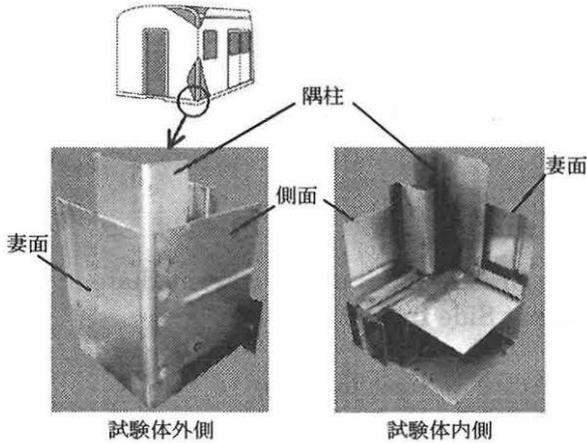


図 1 試験体外観

<2.2>試験装置

試験装置の外観を図 2 に示す。質量 120kg の衝突台車の前面に試験体を取り付け、ゴムばねで引張力を与えて突放し、剛体壁に設置した、衝突相手車体台枠を模倣した 100mm 角の剛体ブロックに対して衝突させた。

衝撃時の荷重は剛体壁と剛体ブロックの間に設置した 25t 圧電型ロードセル (応答周波数 40kHz) 4 台により計測した。衝撃速度及び試験体の変形量は衝突台車側面に設置した、1mm 間隔のバーコードを光ファイバセンサにより検知し、その出力パルス信号から算出した。

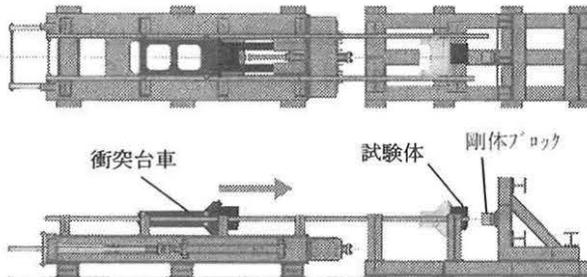


図 2 衝撃試験装置

<2.3>試験条件

試験体は、図 3 に示すように剛体ブロックに対して上下方向にオフセットさせた条件で打ち当てた。オフセット量は 150mm、165mm、115mm の 3 ケースとした。左右方向の接触量は 90mm、射出速度は約 6.9m/s とした。

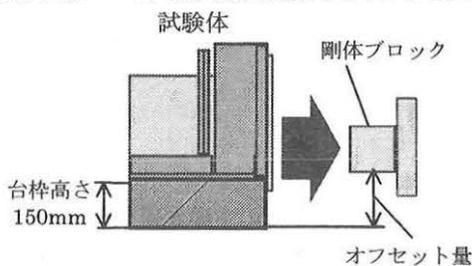


図 3 試験体と剛体ブロックのオフセット量

<2.4>試験結果

各試験条件における衝撃後の試験体の外観を図 4 に示す。また、その時の圧縮荷重、吸収エネルギーと変形量の関係を図 5 に示す。

台枠の乗り上がりを想定したオフセット 150mm と 165mm の条件では台枠はほとんど変形せず、妻外板及び隅柱がせん断により破断し、側外板が変形した。一方、台枠と衝突したオフセット 115mm の条件では外側は大きな変形は見られないが、内側の隅柱受けが側はり補強に食い込み、台枠上辺が変形した。

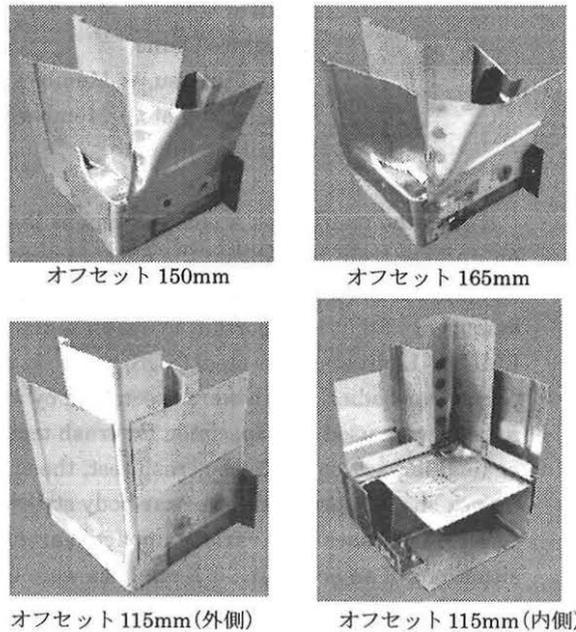


図 4 衝撃試験後の試験体

最大圧縮荷重はオフセット 115mm の条件が一番大きく、280kN 程度であり、吸収エネルギーは 20mm の変形量で約 4.2kJ であった。一方、オフセット 150mm と 165mm の条件での最大圧縮荷重は 120kN 程度であり、オフセット 115mm の条件と比較して約 40%に低下した。

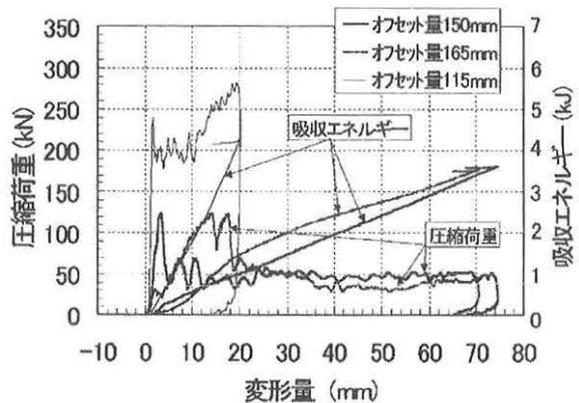


図 5 圧縮荷重、吸収エネルギーと変形量の関係

ピーク後の圧縮荷重は 30~50kN 程度でほぼ一定となった。吸収エネルギーは 20mm の変形量で約 1~1.5kJ であった。

3. 数値解析

上述の衝撃試験結果の検証および実車事故時の挙動との対応を確認するために有限要素法を用いた数値解析を実施した。

<3.1>解析モデル

図 1 に示した試験体を元に、要素ピッチ 5mm を基本とし、主に二次元シェル要素を用いた有限要素分割を行ない、図 6 に示すような数値モデルを作成した。スポット溶接部は、破断強度を考慮したモデル化を行なった。

解析には汎用の陽解法有限要素解析コード PAMCRASH を用いた。

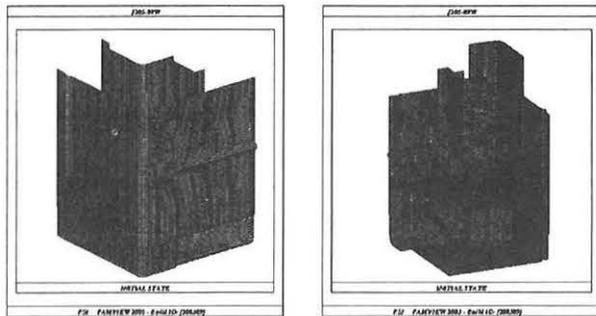


図 6 解析モデル

表 1 数値モデル概要

要素数	約 29000
節点数	約 30000
数値モデル質量	15.5 kg
試験体質量 (参考値)	16 kg

<3.2>解析条件・解析ケース

解析は、衝撃試験と同等の条件のケース、および車両同士が衝突した場合と同等となるよう、車体相当の付加質量と剛体運動の自由度を考慮した 2 つの試験体モデルが衝突するような、実車相当条件のケースを実施した。衝撃試験相当ケースの解析条件を図 7 に、実車相当ケースの解析条件を図 8 に示す。

上下オフセット量は、衝撃試験条件と同等となるよう、115mm、150mm、165mm のケースを実施した。

初期衝突速度は、衝撃試験と同等の条件になるよう、いずれのケースにおいても 6.6m/s (約 24km/h) を定義

した。

解析ケースを表 2 に示す。

表 2 解析ケース

ケース	上下オフセット量	解析条件
1	150mm	衝撃試験相当条件
2	165mm	衝撃試験相当条件
3	115mm	衝撃試験相当条件
4	150mm	実車相当条件
5	165mm	実車相当条件
6	115mm	実車相当条件

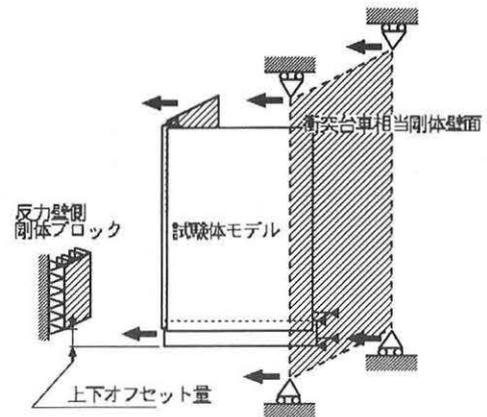


図 7 解析条件 (衝撃試験相当条件)

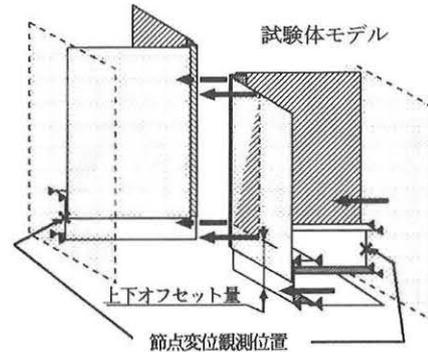


図 8 解析条件 (実車相当条件)

<3.3>解析結果

衝撃試験相当条件のケース 1~3 について、変形形状を図 9 に、圧縮荷重-変形量関係を図 10 に示す。

上下オフセット量が 150mm (ケース 1) および 165mm (ケース 2) の場合、剛体ブロックが、試験体の台枠部分の高さ位置に衝突せず、台枠部分の上側に乗り上がり、妻外板および隅柱が破断する現象が解析された。

実車相当条件の解析結果例として、ケース 4 における変形形状を図 11 に示す。

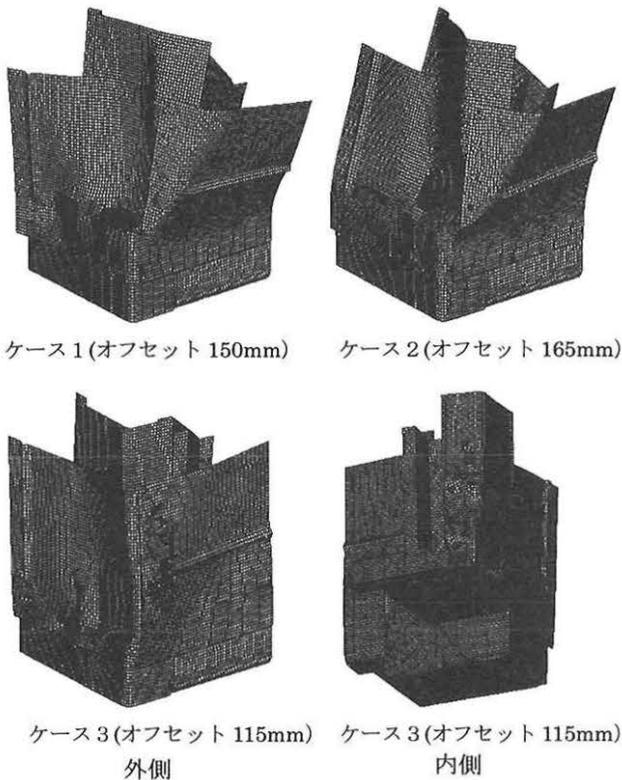


図 9 FEM 解析結果の変形状況

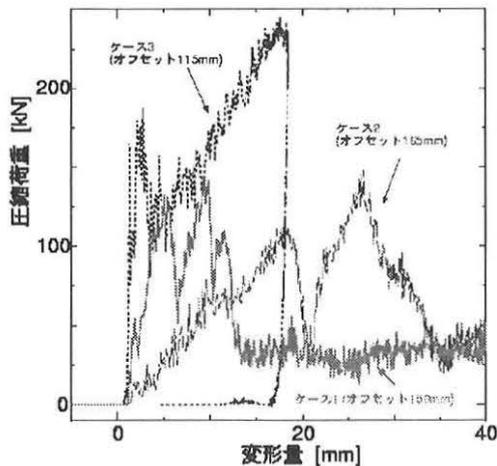


図 10 解析結果 (荷重-変形量関係、衝撃試験相当条件、ケース 1~3)

4. 考察

<4.1>実験結果と数値解析結果の比較

衝撃試験結果と、FEM 解析結果 (ケース 1~3) を比較すると、外板、長土台、隅柱等の変形形状や溶接部の破断挙動に関して、各上下オフセット条件いずれについても、良い一致が見られた。また荷重-変形量関係について、応答の傾向に定性的な一致がみられ、数値解析結果により、衝撃試験結果をほぼ検証できていると考えられる。



図 11 FEM 解析結果の変形状況 (ケース 4)

<4.2>実車両における衝撃挙動の評価

衝撃試験相当条件における解析結果 (ケース 1~3) と実車相当条件における解析結果 (ケース 4~6) を比較すると、ケース 4~6 の各条件において、いずれも衝撃試験の試験体に相当する下側 (乗り上がられる側) の車体の変形状況は、衝撃試験条件での解析結果 (ケース 1~3) や衝撃試験結果と、変形モードに対応関係が見られた。

一方、ケース 4~6 の条件では、衝突エネルギーが衝撃試験における条件と比較して大きいため、妻構えおよび側構えの破損程度が拡大した。またケース 4~6 の解析結果より、変形の進行に伴う車体の乗り上がり量の増加や、車体同士が食い込む方向への剛体運動の発生、さらに上下オフセット量 115mm のケース 6 では、台枠部分についても大きな変形が発生することが明らかになり、これらは実車両において衝撃時に発生する可能性のある状況と考えられる。

このことから、部分車体構造を用いた衝撃試験と数値解析との連携による車両の側面衝突時の衝撃破壊挙動の評価は有効であると考えられる。

5. まとめ

対向する 2 列車が側面同上で衝突する際、編成中間に連結された車両の車端部における衝撃挙動評価のために部材衝撃試験を実施した。

また有限要素解析を用いて実験結果の検証を行なった結果、解析結果と衝撃試験結果には良い一致が見られた。

さらに数値解析を用いて部材衝撃試験結果と実車両の衝突挙動の対応を評価した。

今回検討した部分車体構造に関しては、外板や隅柱の破断による乗り上がりの進行を防ぐために、妻構え・側構えの強化が、車体構造上のひとつのポイントであることがわかった。