

## 連節構造における衝撃吸収構造の開発

(連節部分で衝撃吸収を可能にするための構造)



大村 哲朗\*

次世代の通勤・近郊形車両を目指して開発を行ったAC Trainは、JR東日本の通勤・近郊形車両としては初の連節車両である。連節車両は車両間の緩衝機構がないため、衝突時は編成全体の荷重が先頭部にかかる。このため衝撃吸収には多大なスペースが必要であるが、実際にこのスペースを確保するのは難しい。そこで、先頭部でのエネルギー吸収量をE217系やE231系と同等とするため、連節部の連結器部にエネルギー吸収要素を設置した構造を開発し、定置試験により実際に想定したエネルギー吸収が可能であることを確認した。また、開発した連節部の衝撃吸収構造を採用した、列車としての衝突解析を行い、先頭車のクラッシュブルゾーンをE217系等の近郊型車両と同等の寸法に抑えられることが確認できた。

●キーワード：AC Train、連節構造、衝撃吸収構造、クラッシュブルゾーン

### 1 はじめに

JR東日本で開発を行った次世代の通勤・近郊形車両を目指したAC Train試験車（E993系）では、旅客サービスの向上及びライフサイクルコストの削減を目指してJR東日本の通勤・近郊形車両としては初の連節構造を採用した。この方式は、車体を2台の台車で支えるボギー車両とは異なり、車両の連結部に台車を配置して前後の車両を支える方式である（図1）。



図1：連節構造

E217系やE231系などの最近の近郊形車両では、踏切における衝突事故等の衝撃からお客様と乗務員の安全を確保するための対策として、先頭部に衝撃吸収構造とし

てクラッシュブルゾーン（圧壊して衝撃を吸収する領域）を設けている。また、各車両間に設けている緩衝器は衝突時にも衝撃吸収を行っている。

一方、連節車両では、連結部の緩衝器がないため車両間の衝撃吸収ができない（図2）。そのため、衝突時は編成全体の荷重が先頭部にかかり、衝突のエネルギーを全て先頭部のクラッシュブルゾーンで負担することとなる。このため、従来車よりもクラッシュブルゾーンをより長くする必要がある。しかし、先頭部のクラッシュブルゾーンの増大は、客室スペースの減少となるため定員の確保の面からは好ましくない。そこで本開発では、連節部にも衝撃を吸収する構造を設け、先頭部のクラッシュブルゾーンを従来の車両と同等とするための開発を行った。

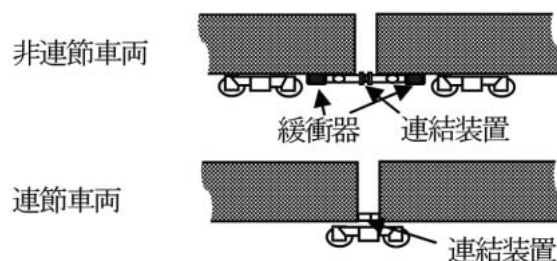


図2：非連節車両と連節車両の連結部構造



図3：AC Train編成図

## 2 衝突時のエネルギー

### 2.1 衝突条件

連節部での衝撃吸収構造を検討するにあたり、衝突条件は、E217系等の近郊形電車と同一とした。1992年9月14日、成田線久住－滑川間の大菅踏切において、113系電車が遮断棒を突破して進入してきたダンプカーと衝突し、電車の運転士が殉職するという大惨事が発生したが（図4）、以降の衝撃吸収構造はこの時の踏切事故と同等の事故に対してお客様と乗務員の安全を図れる構造を設けることを標準としている。今回も同一の条件を適用した。

なお、この条件ではトラックの質量は40tであり、衝突の速度は60km/hとしている。



図4：大菅踏切事故の状況

### 2.2 E217系との圧壊量・吸収エネルギー比較

E217系とAC Trainの先頭部の圧壊量と吸収エネルギーの解析結果を示す。連節部に衝撃吸収構造がないAC Trainでは、先頭部で衝突エネルギーのほとんどを負担することになるため、吸収エネルギー、圧壊量ともE217系よりも大きくなっている。

今回の開発目標としては、圧壊量、吸収エネルギーともに、E217系に近い値とした。また、車両間の圧壊量については、連節車の場合、車両間が400mmのため、圧壊量も400mm以下とすることを目標とした。

表1：圧壊量の比較

構造	先頭部
E217系	1201mm
AC Train(連節部衝撃吸収構造無し)	2469mm

表2：吸収 エネルギーの比較

構造	先頭部
E217系	2.64MJ
AC Train(連節部衝撃吸収構造無し)	3.45MJ

## 3 衝撃吸収構造

### 3.1 構造概要

連節部で衝撃吸収を行う構造とするために、連結器部にエネルギー吸収要素を設置することを検討した。図5にAC Trainの連節部連結器構造を示す。連節車両では、台車の直上で両側の車体を結合しており、緩衝器はない構造となっている。

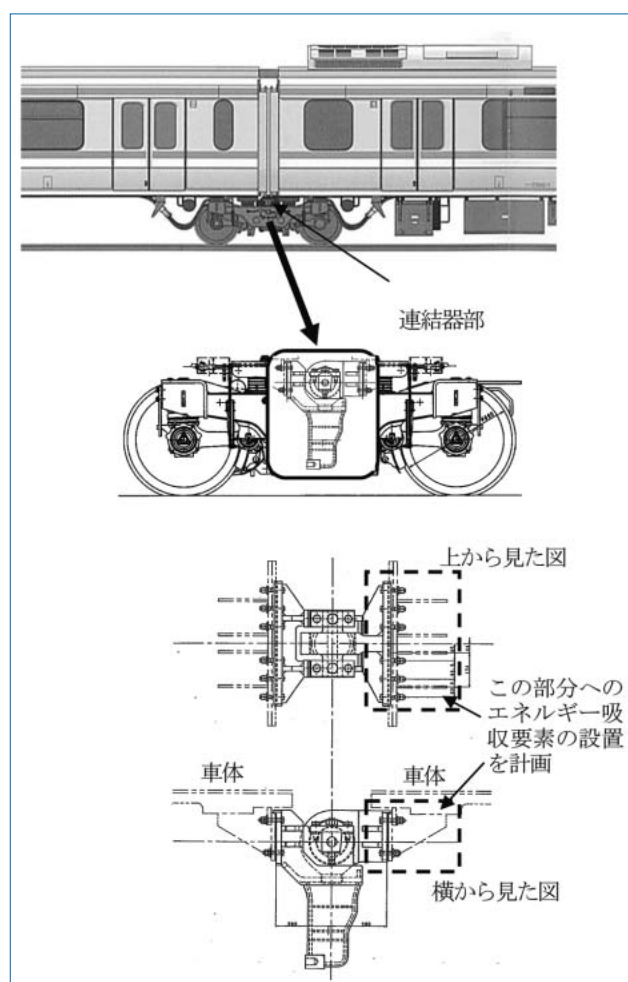


図5：AC Trainの連節部連結器構造（衝撃吸収構造なし）

図5の連結器構造にエネルギー吸収要素を設置する検討を行った。まず、車体と連結器構造との間にエネルギー吸収要素を設置する案を考案し、その案について不具合点の改良を重ねて、最終的な構造を決定した。

具体的には、

- ①台車牽引力による曲げモーメントに対する強度を確保
- ②ボルトの緩み防止対策

- ③メンテナンス面での作業性改善
- ④曲線上で斜めにあたった時の圧壊改善
- ⑤リベット施工性の改善
- ⑥他の部分との干渉の解消

の各改善を行い、構造の改良を行った。

また、エネルギー吸収要素に加減速時の荷重が常時加わると、常時疲労が発生し、衝突時に本来のエネルギー吸収が行われないことが想定されることから、エネルギー吸収要素には衝突時のみ力が加わるようにした。そのため、通常の前後荷重はリベット継手で伝え、衝突時には、最初にリベット継手がせん断破壊した後、エネルギー吸収要素を作用させる構造とした。それらの改良の結果を反映した構造の概要図を図6に、外形図を図7に示す。

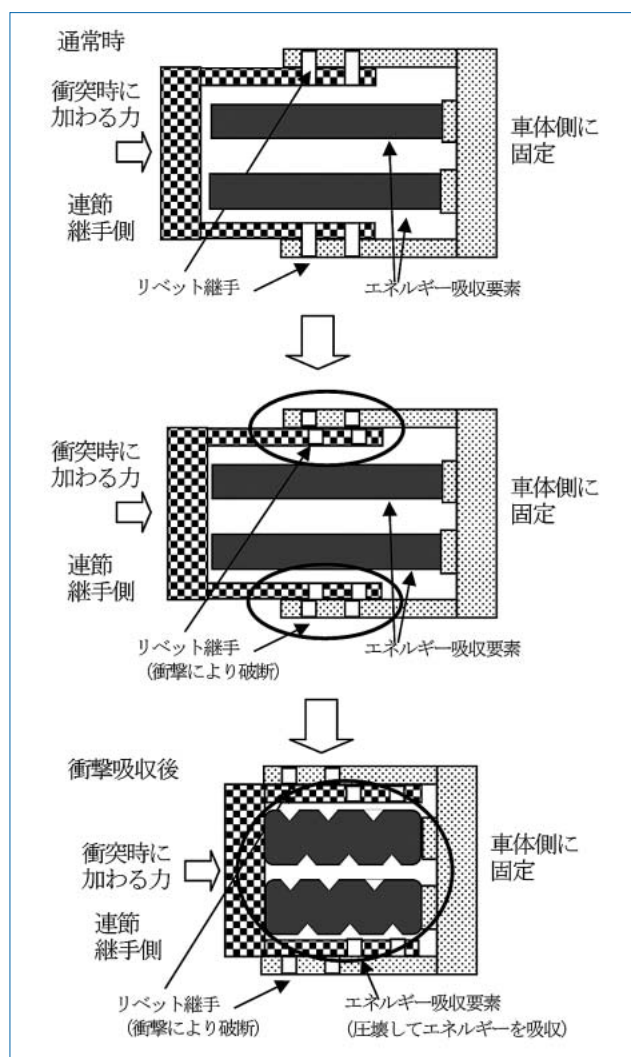


図6：連節部の衝撃吸収構造の概要

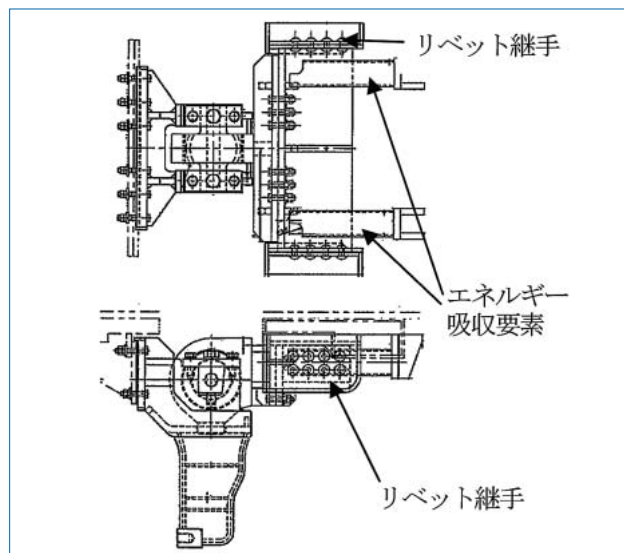


図7：連節部衝撃吸収構造外形図

## 3.2 定置試験

開発した衝撃吸収構造が実際に想定したエネルギー吸収が可能であることを試験により確認した。構造全体での衝撃試験の実施は試験設備の能力から難しいため、エネルギー吸収要素については衝撃試験で、リベットの破断も含めた全体の圧壊試験は静的荷重試験により実施した。

### 3.2.1 エネルギー吸収要素の圧壊試験

エネルギー吸収要素は1辺が約100mmの中空の四角柱形状をしている。それに490kgの重錘を10mの高さより試験体に落下させ試験体の荷重、変形量を測定した。試験設備の能力により1回では十分な荷重が得られないため、1つの試験体に対して3回重錘を落下させて荷重を与えた。

試験結果は表3のようになった。当初想定したエネルギー吸収量は135kJであり、想定通りのエネルギー吸収を行なうことが確認できた。

表3：エネルギー吸収要素圧壊試験結果

重錘落下回数	最大荷重 kN	変位 mm	吸収エネルギー kJ
1回目	1054	95	46
2回目	1197	89	44
3回目	937	93	46
計	3188	277	136

### 3.2.2 連節部構造の圧壊試験

連節部の衝撃吸収構造全体の圧壊試験では、連結体と台枠を結合しているリベットの破断と、リベット破断後のエネルギー吸収要素の変形の一連の動きを確認した。

1回目の試験では、荷重が規定値の2倍以上となってもリベットが破断しなかった。そのため、リベット単体のせん断強度試験を行い、リベット打ち込み時の直径の変化で強度が増加することがわかり、単体のせん断試験の結果から、リベットの本数を当初の16本から8本に変更した。

また、左右のリベットのどちらかが先に破断すると、連結体は片持梁の状態となるため、連結体の支持支柱に曲げモーメントが生じ、残ったリベットが破断する前に連結体を支える支柱が曲がってしまうこととなった。その防止策として曲げモーメントを小さくするため、連結体の幅を当初の800mmから435mmに変更した。

以上の構造変更を図8に示す。

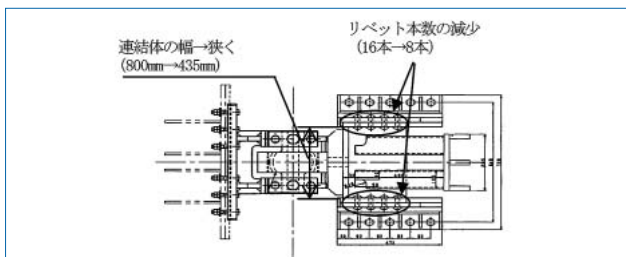


図8：連節部の衝撃吸収構造の改良

以上の改良を反映した試験体を作成し、2回目に行った試験では、図9に示すように、想定した衝撃吸収が行われることを確認できた。



図9：圧縮試験の様子

## 4 編成での衝突解析

開発を行った連節部の衝撃吸収構造を採用した場合の先頭部の衝撃吸収の分担分を検証するために、列車とし

ての衝突解析を行った。解析モデルを図10に示す。列車は連節車として想定している最長の9両とした。これまでの衝突解析で連節部の衝撃吸収構造の作用により後続車両の荷重が軽減されることがわかっており、衝撃吸収構造は先頭から3両目までの限定した位置としている。

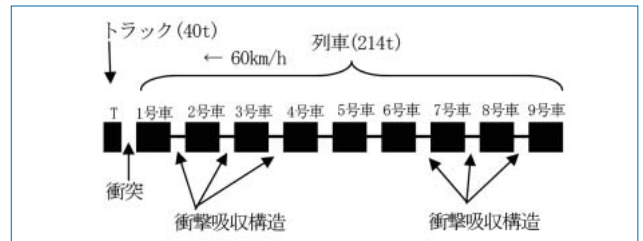


図10：編成での衝撃解析のモデル

このモデルを用いて、変形量と吸収エネルギーの解析を行い、結果は表4のようになった。

表4：衝突解析の変形量と吸収エネルギー

		先頭部		車両間 (1号車-2号車間)	
		変形量 (mm)	吸収エネルギー (MJ)	変形量 (mm)	吸収エネルギー (MJ)
①	連節部衝撃 吸収構造なし	2469	3.45	51	0.055
②	連節部衝撃 吸収構造あり	1185	2.46	392	0.660
参考	E217系	1201	2.64		

解析の結果より、先頭部の変形量は、連節部に衝撃吸収構造がない場合には約2500mm必要であったものが、E217系(1201mm)と同等の1185mmになった。また、車両間の変形量は、AC Trainの車両間距離である400mmを下回り、車両同士が接触しない値とすることができた。

## 5 まとめ

今回の衝撃吸収構造を導入することで、先頭車のクラッシュゾーンは、現在の近郊形車両と同等の寸法に抑えられることが確認できた。これにより、AC Trainを基本とした連節車両においても近郊形で求められる衝撃吸収構造を構成できることを確認した。今回の開発の成果で、次世代の通勤・近郊形電車の実用化に向けた大きな課題をクリアすることができた。