

Coupler Motion Analysis in Large Displacement

○ Toyokazu HAMAJIMA, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi, Japan
Yoshiaki TERUMICHI, Sophia Univ.

Recently, many researches concern vehicle dynamics analysis under derailment conditions and trainset are increasing. Although the behavior of the coupler in large displacement is noticeable, this characteristic is not necessarily clarified. In this paper, in order to clarify the behavior of the coupler in large displacement, the model by the finite element method (FEM) is built and analysis is conducted. Farther, compression test using real coupler to validate FEM model is conducted.

キーワード：連結装置、自連力、有限要素法、マルチボディダイナミクス、編成
Keywords: coupler, coupler force, finite element method, multi body dynamics, trainset

1. 目的

近年、地震時の走行安定性に関する多くの研究が進められており、脱線後の車両挙動などオフレール条件に対してもマルチボディダイナミクス (MBD) を適用した車両運動解析事例が増えている¹⁾。また、連結を考慮して編成列車を扱う事例も増えている^{2) 3)}。

ところで、編成列車では脱線軸数によっては、救援併結と同様に大きな自連力が発生する可能性があるうえ、車両間の上下・左右変位が大きくなる。しかしながら、大変位を含めた連結装置そのものの挙動については報告事例が少なく、必ずしもその特性は明らかにされていない。また、編成列車の車両運動解析における連結部のモデル化は、一般的に車体間にばね要素を加えることにより表現されているが、このような大変位を考慮したモデル化はなされていないように思われる。

本報では連結装置の大変位時の挙動を明らかにするために、有限要素法 (FEM) によるモデルを構築し、挙動解析を行うとともに連結装置の圧縮試験を実施しその妥当性を確認した結果を示す。

2. 解析モデルの構築

2.1 解析モデルおよび条件

一般的な連結装置の構成を図 1 に示す。解析ではレール方向に対称なハーフモデルとし、要素数は約 15,000 である。解析には LS-DYNA (Ver.971) を用いた。緩衝器は要素数の観点から仕様で定められた緩衝特性を示す一体のゴムとした。連結器体は他の要素と比較し耐力が高いことが示されているため⁴⁾、ソリッド要素を用いた中実なメッシュ分割とした。杵継手の接続ピンは剛体ジョイントを設定した。

以上のモデルに対し、連結器体先端部の X 方向変位のみ固定し、伴板守部分に強制変位を与えて圧縮させる解析を実施した。

2.2 解析結果

強制変位による連結装置への荷重増大に伴い、最初に杵上側のツナギ材が座屈する (図 2)。解析対象とした連

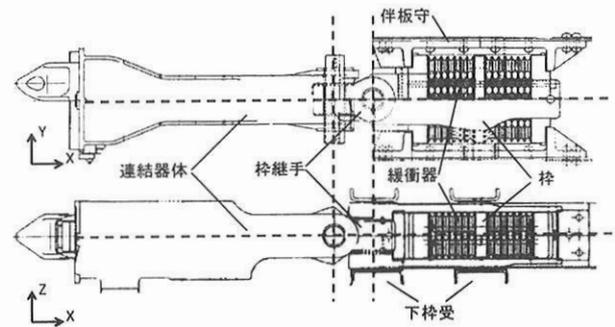


Fig.1 Geometry of coupler

結装置は上下のツナギ材の板厚が異なるため、緩衝器の初期位置によらず杵の変形モードは一位に定まる。続いて、杵の座屈により杵継手から緩衝器に直接荷重が伝達し、再び荷重が増加する。その後、緩衝器が下杵受を変形させながら隙間から滑り出るように脱落する。この時点で変位量は連結面間隔の 1/2 を超え、現象は終了する。この時の強制変位量と固定端の反力の特性を図 3 に示す。なお、変位量 20mm 近傍の荷重は圧縮直後の局所的な接触の影響であり、全体の特性には影響しない。

3. 解析モデルの妥当性確認

解析結果の妥当性を確認するため、実機を用いて圧縮試験を実施した。試験条件は解析条件と同じく、連結器体先端部の X 方向変位を固定し伴板守に強制変位を与えた。

試験による変位荷重特性は図 3 に記載したとおりであり、解析結果は杵のツナギ板座屈等の荷重変動をよく再現していることがわかる。また、変形状況も試験結果と解析結果はよく一致しており解析結果は妥当であるといえる。連結器体および杵継手の接続ピンには顕著な塑性変形は認められず中実のメッシュ分割および剛体ジョイントによるモデル化が妥当であったといえる。なお、試験では緩衝器が脱落する直前で終了させたため、図 3 に

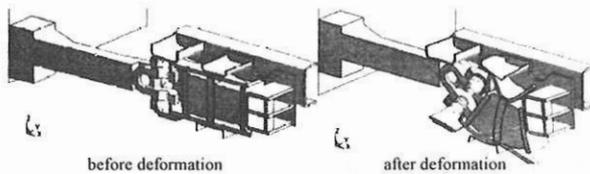


Fig.2 Deformation of coupler

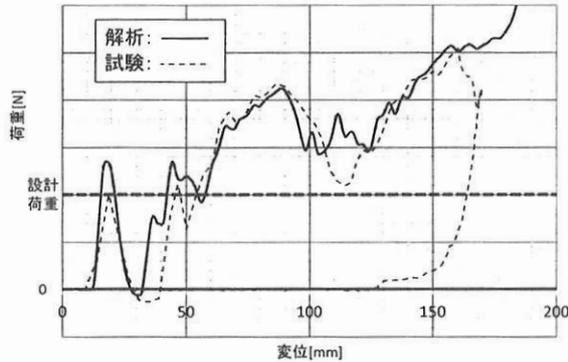


Fig.3 Force-displacement characteristics of simulation and experiment

においては緩衝器のスプリングバックが発生している。

4. 連結状態による解析

4.1 解析モデルおよび条件

編成状態における連結装置の挙動を検証するため、妥当性を確認した連結装置モデルを結合して解析を実施した。一方の連結装置の伴板守を固定し、他方に5m/sのX方向強制変位を与えた。2つの連結装置に間に0、5、10、50、100mmの上下オフセットを与えて解析を実施した。

4.2 解析結果

各オフセット条件における変形状況および自連力をそれぞれ図4、図5に示す。いずれのオフセット条件においても杵のツナギ板座屈までは下杵受、上杵受への荷重は小さいため緩衝器は伴板守内に残留し、一部に塑性変形は生じるものの所望の緩衝機能は作用し編成挙動に大きな影響は与えない。

杵の座屈後は、ほぼ一定の反力を発生しながら350mm程度に達した時点で緩衝器が脱落する。下杵受への荷重については、50mmまでのオフセット条件では高位側の緩衝器が脱落しようとする作用が大きくなるため、高位側連結装置の下杵受への荷重が増加する。他方、100mmのオフセット条件では下位側の杵継手が押し下げられる作用が大きくなるため、下位側連結装置の下杵受への荷重が増加する。いずれも下杵受への荷重は数百kNに達するため、実際には下杵受の破断を考慮する必要がある。

5. MBDのためのモデル化

本報で解析した連結装置では、大変位時の挙動は車両間のオフセットにかかわらず杵の強度に支配され、自連力が構体設計荷重の2倍程度までは安定した挙動を示したが、杵の強度以下の自連力を扱う場合はピン結合されたばね要素としてモデル化が可能である。

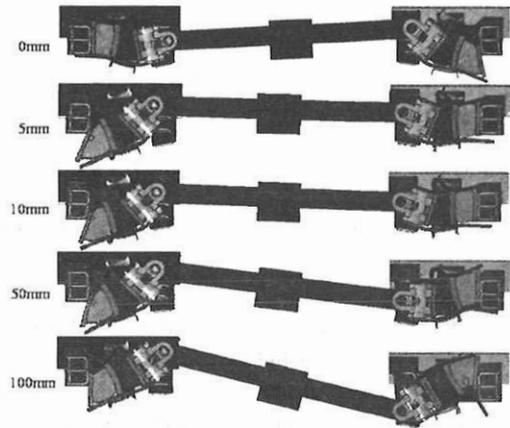


Fig.4 Deformation of coupler with vertical offset

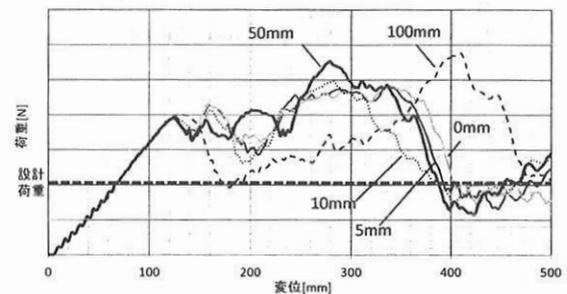


Fig.5 Force-displacement characteristics of connected coupler

杵の強度以上の自連力を扱う場合は、連結装置をばね要素とする場合、ばね定数とその破断閾値を自連力および車両間のオフセットによる関数とすることでより詳細なモデル化が可能になる。ただし、いずれも連結装置の構造に依存するため、詳細な特性はFEMにより個別に把握する必要がある。

6. まとめ

連結装置のFEMモデルにて大変位時の特性を解析し、実機試験にて解析結果の妥当性を確認した。妥当性を確認した解析モデルを用いて、連結状態の連結装置について以下について示した。

- 構体設計荷重の2倍程度までは、一部に塑性変形は生じるものの、連結装置の挙動は安定する。
- MBDにおいて連結装置をばね要素として扱う場合には、ばね定数、破断閾値を車両間オフセット、自連力の関数とすることが有効である。

参考文献

- 1) 角南浩靖, 嘩道佳明, 森村勉, 足立昌仁: 脱線走行時の車両の逸脱防止機能に関する理論解析, 日本機械学会論文集(C編), 77巻781号, pp.3237-3252, 2011
- 2) 宮本岳史, 石田弘明, 曾我部正道, 川西智浩, 室野剛隆: 編成車両の地震時走行安全性解析, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp.42-46, 2007
- 3) 葛田理仁, 宮本岳史, 梅木健司: 脱線後の編成車両の挙動に着目したシミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.26, No.8, pp.17-22, 2012