1304 鉄道車両における塑性領域を含む長手方向強度評価

Evaluation of longitudinal strength of a railway vehicle in consideration of plastic deformation

○正 濱島 豊和 (JR 東海)

正 西村 和彦 (JR 東海)

正 曄道 佳明 (上智大)

Toyokazu HAMAJIMA, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi, Japan

Kazuhiko NISHIMURA, Central Japan Railway Company

Yoshiaki TERUMICHI, Sophia Univ

Abstract

Recently, many researches about vehicle dynamics analysis under unusual condition like derailment and impact to an obstacle are increasing. In these conditions, longitudinal force applied to a car frame may exceed design load. In this paper, longitudinal strength of a railway vehicle at intermediate end in consideration of plastic deformation is evaluated. As a result, it is clarified that the existing vehicle structure has much larger longitudinal crippling strength than elastic strength defined in a standard. In addition, an effect of dynamics to longitudinal strength and a crippling area is evaluated.

Key Words: Railway, Buckling, Structural Analysis, Finite Element Method

1. 諸言

近年では鉄道編成車両においても脱線、異物衝撃などの異常時の荷重を取り扱う事例が増えている。このとき構体には設計値を超える荷重が生じる可能性があり、特に車体の長手方向の圧縮側に著大な荷重が発生する確率が高い。著者らはこのような条件における編成車両の大変位挙動を検証するため、連結装置単体に関して大変位かつ著大荷重発生時における圧壊特性を明らかにした⁽¹⁾。しかしながら、構体部分については、動的条件を考慮した圧壊特性が明らかにされた事例はない。

鉄道車両の車体は「堅牢で十分な強度を有し、運転に耐えるものでなければならない」とされ、旅客車の具体的な設計荷重は JIS E7106 に定められる。車体長手方向の設計荷重である連結器部に作用する圧縮荷重は車両の種別により 490kN または 980kN と定められる。動力制御が発展した現在においては前後衝動も少なく十分なものといえる。これらの設計値は弾性限界を定める値であるが、当然ながらこれらを超える荷重が発生しても直ちに座屈等の構造崩壊に至ることはない。鹿島ら⁽²⁾によれば、静的設計荷重と最大長手荷重の比率は、異なる構造体においてもほぼ一定値に収束することが示されている。すなわち、一般的な構造物は静的な設計値を満足すれば、おのずと一定レベルの座屈荷重を具備するといえる。

座屈荷重は主構造の形状が維持される最大荷重であり、必要に応じてこれより小さい荷重で圧壊する衝撃吸収材の設置が可能であるため、強度指標の一つにもできる。

本報では、既存構体の塑性領域を含む長手方向強度である座屈荷重を検証する。その結果、既存構体においても設計値よりも十分に大きな座屈荷重を有することを確認した。さらに、動的条件が座屈強度および座屈部位に与える影響を明らかにする。

2. 長手方向の強度検証試験

2-1 試験条件

実車体を用いた試験構体による打ち当て試験を実施し、動的条件下における長手方向荷重を直接的に検証した(図1)。試験構体には構造が比較的シンプルでひずみ速度依存性が小さい中間車タイプのアルミ製構体を用いた。車体支持方式は実台車を用いたボルスタレス方式である。軌道および試験車

Fig.1. Test facilities and a condition

体の加速方法は文献⁽³⁾と同一の手法を用いた。試験線の末端に剛体壁を設置し、剛体壁前面に設置したロードセルで打ち当て時の荷重を測定した。打ち当て速度は 43km/h、台車を含む試験車体の総重量は 27t であった。

2-2 試験結果

図2に変位-荷重特性を示す。変位は台枠端部がロードセルに接触した時点をも 0mm とした。試験結果において変位 0mm 以前で荷重が発生しているのは、試験車体の妻面に取り付けられた附属部品による影響である。縦軸は発生した荷重を試験構体の設計荷重 F_d で正規化した値を示す。試験構体の妻面がロードセルに接触したのち、長手荷重の最大値は設計荷重の 8 倍に達することがわかる。その後、打ち当て面近傍の台枠端部で局所的な座屈が発生し、設計荷重の 2~3 倍の荷重で圧壊が進展する。圧壊は進展するものの、圧壊部位は車体端部に限定されており、動的条件下では構体のほとんどの領域は影響を受けないことを確認した。動的条件下では最大長手荷重は台枠端部の限られた領域の座屈荷重を示すといえる。

図2には打ち当て試験と同条件の FEM 解析結果も示した。解析には LS-DYNA (Ver.971) を用いた。この解析モデルを用いて、3 章において静的条件についても評価する。解析結果は最大荷重およびその後の圧壊荷重がよく一致しており、解析結果は妥当と言える。なお、変位 200mm 以降の荷重の上昇は、解析モデルが破断を考慮していないためと考えられる。

Fig.2. Force - displacement characteristics of experiment and simulation on impact condition.

Fig.3. Condition of collapsing simulation

3. 動的影響の評価

3-1 解析条件

2 章にて妥当性を確認した FEM 解析モデルを用いて速度の異なる圧壊解析を行い、速度条件が強度および圧壊モード与える影響を検証した。図 3 に解析条件を示す。一方の表面を固定された剛体壁に接触させ、他方の表面にはレール方向に一定速度で移動する剛体壁により強制変位を与えた。移動剛体壁はレール方向の並進自由度のみを有する。速度は準静的、動的の 2 条件とし、それぞれ 0.1m/s、10m/s の強制変位を与えた。試験車体にはあらかじめ強制変位速度と同じ初速度を与えており、固定側の剛体壁に一定速度で打ち当てられる条件とした。

3-2 解析結果

図 4 に圧壊解析による変位-荷重特性を示す。横軸は強制変位量、縦軸は図 3 と同様に固定された側の剛体壁反力を設計荷重で正規化した値を示す。準静的な圧壊条件では慣性の影響は無く、断面力は長手方向に均等に分布する。その結果、構体全体の最弱箇所にて座屈が発生する。座屈箇所は枕ハリ間であった。図 4 によれば、試験で用いた構体の静的設計荷重と最大長手荷重の比率は 4 程度となる。

対して、動的な圧壊条件では打ち当て試験結果と同様に静的設計荷重と最大長手荷重の比率は 8 程度となる。慣性力により打ち当て面に近いほど大きな断面力が発生する結果、この付近で座屈が発生する。構体の圧縮が固定剛体壁側に偏るため、図 4 において最大長手荷重を示す変位が小さいことがわかる。静的条件と比較して座屈荷重が大きくなるのは、車端部の台枠は側ハリと中ハリを有するため端バリ全体で荷重を受ける場合には車両中央部と比較して長手方向の強度が高いこと、著大な荷重が発生する長手方向範囲が小さく

Fig.4. Force - displacement characteristics on constant speed compressing condition.

なりクリッピング座屈への耐性が上昇することが挙げられる。なお、解析モデルにはひずみ速度依存性は考慮しておらず、材料特性は影響していない。

たとえば、救援併結のように低速で大きな荷重が作用する場合は準静的圧壊解析で示した現象が発現し、異物衝撃のように比較的速度が高い条件では、動的圧壊解析で示した現象が発現することとなる。なお、本報で示した結果は単一車両条件であり、編成状態を考慮する場合は別途荷重伝達経路、車両間の自連力伝播などの検討が必要である。

4. 結言

実車体の打ち当て試験および FEM モデルによる圧壊解析により、静的条件および動的条件における鉄道車両構体の塑性領域を含む長手方向強度を評価した。その結果以下の点が明らかになった。

- 打ち当て試験により、本報で用いた試験構体においては動的条件では最大長手荷重は設計荷重の 8 倍に達することを確認した。
- 準静的な圧壊条件でも最大長手荷重は設計荷重の 4 倍に達することを確認した。
- 動的条件では最大長手荷重が大きくなるのは、慣性力により打ち当て面近傍のみに著大な荷重が発生すること、台枠端部には側ハリと中ハリが配置され強度が高いこと、著大な荷重がかかる長手方向長さが短く座屈に対する耐性が高いことが主な理由である。

参考文献

- 1) 濱島豊和, 嘩道佳明: 大変位を考慮した連結装置挙動解析, 第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2012
- 2) 鹿島, 大河内, 斎藤, 加藤: 衝撃吸収型鉄道車両構体の非破壊領域に作用する長手荷重の予測, 日本機械学会関西支部第 79 期定時総会講演会講演論文集, 2004
- 3) 角南浩靖, 森村勉, 石川栄, 足立昌仁, 坂上啓, 南善徳, 渡邊康人, 曾田祥信: 脱線時の車両の逸脱防止に関する実台車走行試験, 日本機械学会論文集 (C 編), 76 巻 770 号, pp.2462-2471, 2010