

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20560230

研究課題名（和文）地震時の脱線後の鉄道車両と線路構造間の連成振動・衝撃解析の数値計算法の開発

研究課題名（英文）Development of the numerical method to solve dynamic interaction between a train and the railway structure after derailment during an earthquake

研究代表者

田辺 誠 (Makoto Tanabe)

神奈川工科大学・工学部・教授

研究者番号：20179815

研究成果の概要（和文）：地震時の脱線後の鉄道走行車両と線路構造間の連成振動・衝撃現象を表わす効果的な力学モデルと数値計算法を明らかにし、地震時の編成車両の脱線後までの一貫した線路構造上の高速走行のシミュレーションが可能となった。また、地震時の脱線後の車両と線路構造間の激しい連成振動・衝撃現象を数値的に解明し、脱線しても軌道内を逸脱しないで走行する逸脱防止機能を有する新しい軌道構造の検討に役立てることができた。

研究成果の概要（英文）：A mechanical model and the numerical method to solve the dynamic interaction between a train and the railway structure after derailment during an earthquake has been obtained and the simulation program has been developed. The contact-impact behavior between the train and the railway structure including post-derailment during an earthquake was analyzed and applied to a new type of the track with guard attached to prevent the train deviating from the track after derailment during an earthquake to establish an earthquake-safe railway.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	600,000	180,000	780,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：鉄道車両、線路構造、連成振動、地震応答、脱線後

1. 研究開始当初の背景

常時の高速走行車両と線路構造間の連成振動解析のための力学モデルとその数値計算法の研究は、国外ではフランス、ドイツ、イタリア等の研究者により、また国内では主として筆者のグループで行われてきた。地震時の高速走行車両と線路構造間の連成振

動・衝撃現象の研究は、今まで内外でほとんどなされていないのが現状で、筆者らにより初めて地震時での走行編成車両の脱線に至るまでの線路構造との連成振動現象の解析の力学モデルと数値計算法が提案され、シミュレーションによりその現象解明がなされた。平成 17-19 年度の科学研究費補助金研

究課題「地震時の高速走行鉄道車両と軌道構造との連成振動・衝撃現象の数値解析法の開発と解明」を通し、地震時での走行車両の脱線に至るまでのレールとの接触衝撃現象を解明することができた。

2. 研究の目的

本研究は、その成果をさらに発展させ、脱線後の走行車両と線路構造間の連成振動・衝撃現象を表わす効果的な力学モデルと数値計算法を明らかにして、地震時の編成車両の脱線後までの一貫した線路構造上の高速走行のシミュレーションを可能にし、脱線後のその複雑で激しい連成振動・衝撃現象を数値的に解明し、脱線しても軌道内を逸脱しないで走行する逸脱防止機能を有する鉄道構造の設計に学術的に役立てることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 線路構造は、橋梁と軌道構造で構成されるが、車両は Multibody Dynamics (MD) により、橋梁は有限要素法 (FEM) によりその非線形運動方程式を誘導する。地震時の脱線後の車両と、逸脱防止機能 (ガード) を持つ長大な軌道構造との連成振動・衝撃現象を効果的に表すため、軌道構造は断面内剛性は高いことから断面内は MD で、また、線路方向 (曲げ, 振れ) は柔なことから FEM で表わす効果的な力学モデルを明らかにする。

(2) 地震時に車輪が脱輪 (脱線) した後の、軌道面へ落下衝突、軌道面を跳ねながら接触走行、逸脱防止ガードに接触衝突、逸脱防止ガードとレール間を逸脱しないで接触・飛び跳ね走行、逸脱防止ガードの乗り越え (逸脱!) 等の、走行車輪と軌道間の接触・衝突、跳びはねの現象を表現するシンプルで効果的な力学モデルを明らかにする。

(3) 脱線後の車両と線路構造間の連成振動・衝撃現象では、一般に、地震による構造全体の低周波振動に、車輪と軌道構造間の接触・衝撃による 1kHz 以上の高周波振動が加わるマルチスケール問題となる。そこでこの車両と線路構造の非線形運動方程式を数値的に解くための時間増分が微小になり、従来の数値積分法では誤差 (桁落ち) で発散することから、筆者が提案のモーダル法と厳密積分法を応用し、安定したその数値積分法を確立する。

(4) 本研究で明らかにした力学モデルと数値計算法に基づき、地震時の編成車両の線路構造上の脱線後を含む高速走行のシミュレーションプログラムの開発を行う。

(5) 本法を逸脱防止ガードを持つ線路構造に適用して、地震時の高速走行車両とその線路構造間の脱線後の連成振動・衝撃現象を数値的に解明し、その構造設計に利用できるようにする。

4. 研究成果

(1) 地震時の脱線後の鉄道車両と線路構造間の接触衝撃現象では、軌道構造の断面内は微小変形で剛体移動するものと考えられる。そこで実際の問題を効果的に扱うため、軌道断面はマルチボディダイナミクス (MD) により、また長手方向は FEM (梁, シェル要素) でモデル化し、脱線後の車輪と、逸脱防止ガードを有する長大な軌道構造間の接触衝撃現象を少ない自由度で表現する効果的な力学モデルを開発した。

(2) 地震時の脱線後では、車輪の軌道面への落下衝突や、落下後軌道面を跳ねながらの接触走行や、逸脱防止ガードへの衝突や、逸脱防止ガードに衝突し跳ね返った後のレールへの衝突等の、脱線後の車輪と軌道構造間の接触衝撃現象が生じる。この接触衝撃現象を効果的に表すため、MD と FEM を併用したシンプルで効果的な力学モデルと非線形運動方程式の定式化が得られた。

(3) 地震による線路構造全体の低周波振動と、脱線後の車輪と軌道構造間の衝撃による 1kHz 以上の高周波振動が加わったマルチスケールの振動衝撃現象を表す非線形運動方程式を数値的に安定して解くためモーダル法と厳密積分を組み合わせた新たな数値積分法の定式化を行い、またテストプログラムの作成を行い脱線後の車輪と軌道構造間の衝撃による 1kHz 以上高周波振動が安定して解けることを確認した。

(4) MD と FEM を併用した力学モデルと数値計算法に基づき、地震時の編成車両の線路構造上の脱線後を含む高速走行のシミュレーションプログラムの開発を行った。また、様々な例題を通して地震時の脱線後を含む新幹線車両と線路構造間の連成振動・衝撃解析が行われることを確認した。

(5) 本法を逸脱防止ガードを設置した新幹線の実際の標準高架橋に適用して、新幹線車両の地震時の脱線を含む高速走行のシミュレーションを行い、地震時での車両と線路構造間の脱線後までの連成振動・衝撃現象の解析を行うことができた。

(6) 本研究の成果は、さまざまな国際誌や国際会議で発表を行い、その新規性、技術水準、実用性は高く評価された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

(1) M. Tanabe, H. Wakui et al., Simulation of a Shinkansen Train on the Railway Structure during an Earthquake, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, Vol.28, No.1, pp.223-236, 2011(査読有り).

(2) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, A Combined Multibody and Finite Element Approach for Dynamic Interaction Analysis of High-speed Train and Railway Structure including Post-derailment Behavior during an Earthquake, Material Science and Engineering 10, 012144 (10 pages), 2010(査読有り).

(3) 田辺 誠, 涌井 一, 松本信之, 曾我部正道, MBDとFEMを併用した地震時の新幹線編成車両の線路構造上の高速走行シミュレーション、ミュレーション 第29巻第2号、28-33、2010(査読有り).

(4) M. Tanabe, N. Matsumoto, H. Wakui, M. Sogabe and H. Okuda, A simple and efficient numerical method for dynamic interaction of a high-speed train and railway structure during an earthquake, Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, Vol.3, 0410002, pp. 1-8, 2008(査読有り).

[学会発表] (計 12 件)

(1) 田辺誠、涌井一、曾我部正道、松本信之、地震時の新幹線と線路構造間の連成応答解析、日本計算工学会講演会論文集(CD), Vol. 17, 4pages, 京都、2012. 5. 31(査読無し).

(2) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, An efficient computational method for dynamic Interaction of high speed train and railway structure including derailment during an earthquake, Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Manufacturing, No. s0121, pp.1-6, Jiaosi, Taiwan, 2012. 3. 7 (査読無し).

(3) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, An efficient numerical model for dynamic interaction of

high speed train and railway structure including post-derailment during an earthquake, Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, pp. 1217-1223, Leuven, 2011. 7. 5 (査読有り).

(4) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, Interaction of high speed train and railway structure including post-derailment, Proceedings of the 13th International Conference on Civil, Structural and Environmental Computing, Paper 24 (15pages), Civil-Comp Press, Crete, Greece, 2011. 9. 7(査読有り).

(5) 田辺誠、涌井一、曾我部正道、松本信之、地震時の新幹線と線路構造の連成応答解析のための効果的な数値計算法、日本計算工学会講演会論文集(CD), Vol. 16, 4pages, 東京、2011. 5(査読無し).

(6) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, A Combined Multibody and Finite Element Approach for Dynamic Interaction Analysis of High-speed Train and Railway Structure including Post-derailment Behavior during an Earthquake, Proceedings of the 9th World Congress on Computational Mechanics and 4th Asian Pacific, CD ROM (10pages), Sydney, 2010. 7(査読無し).

(7) M. Tanabe, H. Wakui, M. Sogabe, N. Matsumoto and Y. Tanabe, A combined multibody and finite element approach for railway dynamics during earthquake, Proceedings of 5th Asian Conference on Multibody Dynamics 2010, Kyoto, 2010. 8. 26 (査読無し).

(8) 田辺誠、涌井一、曾我部正道、松本信之、地震時の脱線後を含む新幹線と線路構造の連成応答解析、日本計算工学会講演会論文集, Vol. 15No. 2, pp. 601-604, 福岡、2010. 5. 26 (査読無し).

(9) M. Tanabe, H. Wakui, N. Matsumoto, M. Sogabe, Interaction of High Speed Train and Railway Structure during an Earthquake, Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Paper 40 (17pages), Civil-Comp Press, Madeira, Portugal, 2009. 9. 1 (査読有り).

(10) M. Tanabe, N. Matsumoto, H. Wakui, M.

Sogabe and H. Okuda, Dynamic Interaction Analysis of High Speed Train and Railway Structure including Post-derailment Behaviour during an Earthquake, Proceedings of ECCOMAS Thematic Conference COMPDYN 2009 - 2nd International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rhodes, Greece, 2009. 6. 23 (査読有り).

(11) 田辺誠、涌井一、松本信之、曾我部正道、地震時の新幹線車両と線路構造間の連成動解析について、日本機械学会第 22 回計算力学講演会論文集, CMD2009, pp.188-189, 東京, 2009. 5. 13 (査読無し).

(12) M. Tanabe, N. Matsumoto, H. Wakui and M. Sogabe, Dynamic interaction analysis of a Shinkansen train and railway structure after derailment during an earthquake, Proceedings of 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, Venice, Italy, 2008. 7. 1 (査読無し).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://www.tnb.sd.kanagawa-it.ac.jp/home/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田辺 誠 (Makoto Tanabe)

神奈川工科大学・工学部・教授

研究者番号 : 20179815