

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文概要書

論文題目

鉄道高架橋の構造物音の発生メカニズムと
低減対策に関する研究

Research on Structure Borne Sound Mechanism of
Railway Viaducts and Reduction Countermeasure

申請者

渡辺	勉
Tsutomu	WATANABE

2015年4月

鉄筋コンクリート（以下 RC という）高架橋は、盛土の代替として提案された構造形で大規模に使用されて以降、施工やレールレベルの管理が容易であることから、山陽新幹線、東北新幹線において多用されている構造形式である。

RC ラーメン高架橋は、中間スラブ、張出スラブ、高欄、縦梁、横梁、柱、基礎が剛結して構成されており、不静定構造、合理的な断面、支承不要等の特徴があり、工費を抑えることができる。山陽新幹線の岡山以西開業以降はラーメン高架橋の両端に調整桁を有するゲルバー式が一般的である。一方、桁式高架橋は、プレストレストコンクリート（以下 PC という）又は RC の桁と RC の橋脚基礎から構成されており、工期が短い箇所、高橋脚の箇所、軟弱地盤等で用いられている。桁式高架橋にも種類があるが、既設構造物ではスパン 20m 程度の T 形断面の RC 桁が多く、これは主桁、中間スラブ、張出スラブ、高欄、横梁等で構成されている。

こうしたコンクリート構造物から発生する構造物音は、その他の音源に比べて寄与度も小さく、従来から問題になることはほとんどなかった。しかしながらその他の音源で対策が進んできたこと、列車速度の向上により構造物の部材の動的応答が増大していること等から、コンクリート構造物においても構造物音の発生が懸念されることとなった。とりわけ今後、300km/h 超の新幹線を実現していく場合には、現象解明と対策実現が重要なファクターの一つとなることが予想される。

構造物音は、構造物の部材レベルの振動（以下、部材振動）に起因するものであり、その伝搬系には車両、軌道、構造物の様々なパラメータが介在する大規模かつ複雑な現象である。また、振動の周波数帯は数 Hz から 200Hz 程度までわたるマルチスケールで多自由度問題である。振動の伝搬系は、車輪/レール間の変動作用力によって発生した振動が各部材に伝わり、その部材の表面振動が構造物音として空間に伝播していくものである。構造物音のメカニズムの解明には、RC 高架橋の部材レベルでの高次の振動を明確化することが重要となるが、この分野の研究は、これまでは限定的な研究成果に留まっていたが、主たる課題は次の 3 点が挙げられる。

まず 1 点目は、理論的な計算手法の構築である。現在の構造物音の予測手法は、構造物の測定データから伝達関数等を介して加振力を逆算し、これを用いて行う手法や、部分的な解析モデルを用いたものが主であり、車両、軌道、構造物の任意の諸元を精緻にモデル化できる手法は存在しなかった。また実測応答に基づく手法は、パラメータが異なるような新形式の車両、軌道、構造物へは対応しづらいという課題がある。

車両の走行から音の伝搬までを、積み重ねて演繹法的に解こうとした場合、有限要素法による構造解析と境界要素法による音響解析のカップリングが現状では現実的な選択となる。前者と後者は、有限要素節点の速度データを媒介として接続されることとなる。本研究の主題は、特に前者の有限要素法による振動の計算であるが、構造物音の解明のための車両走行による構造物の振動は、数 Hz から 200Hz 程度までの現象を取り扱う必要があり、メッシュの大きさ、数値計算上の積分間隔の問題から、大規模問題とならざるを得ない。

次に 2 点目として、RC 高架橋の部材振動特性の解明である。構造物音の音源となるのは、部材振動モードであるが、これまであまり課題とされていなかった分野であること、計測技術が稚拙であったこと等に起因して、RC 高架橋の部材振動モードの分析は行われていなかった。このため、構造物音の現象解明には実構造物に対する振動モード形状の同定が必要不可欠である。

同様に列車走行に対する実構造物の連成応答挙動も未解明であり、効率的な多チャンネル計測システムを用いた応答評価が不可欠である。

3 点目としては、RC 高架橋の構造物音発生メカニズムの解明である。RC 高架橋の構造物音の発生メカニズムに影響する各種パラメータとしては、車両、軌道、構造物がある。車両については、車両質量、車両長、軸距等である。軌道については、軌道変位、レール凹凸、軌道構造、レール締結間隔、軌道支持条件等である。構造物については、構造形式、各種材料特性、非構造部材、減衰等である。これらのパラメータが部材の周波数応答特性に及ぼす影響は未解明である。実測においても要因分析や対策効果の推定は可能であるが、特定の速度断面で切り取った結果の解釈に過ぎず、部分的な解釈に留まっていた。

以上のように RC 構造物における構造物音は、高速化等により新たな課題として認識され始めたが、解析能力、解析手法、測定手法等に起因して、体系的な検討、現象解明は不十分であった。そこで本研究は以下のような目的を定めた。まず、車両/軌道/構造物のパラメータを精緻に考慮可能な解析手法の構築、次に、標準 RC 高架橋の大規模連成モデルの構築、手法の妥当性の実証、さらに、各種パラメータが周波数ごとの部材応答特性に及ぼす影響の解明の 3 点である。

本論文は 7 章で構成されている。以下にその概要と特徴を新規性の観点から整理した。

「第 1 章 序論」は、本研究の導入部であり、本研究の背景、目的、構成と特徴を簡潔に整理したもので、以降の各章の位置づけと、個々の研究との相関を示した。

「第2章 列車走行に伴う鉄道沿線騒音の概要」は、列車走行に伴って発生する鉄道沿線騒音及び本研究に係る既往の知見を整理したもので、本研究の主題である構造物音のみならず、車輪/レール間音、車両機器音、車両空力音、集電系音について、音源別の特徴、沿線騒音の対策の種類、変遷、予測手法の観点から取りまとめた。その結果、構造物音の現象解明及び低減対策の検討の必要性、防振軌道による低減対策の実現の検討の必要性、数値解析を用いた構造物音の予測手法の構築の必要性を提示した。

「第3章 構造物音低減軌道の高速度鉄道への適用性」は、構造物音の効果的な対策と考えられている防振軌道について、数値解析を用いて高速度鉄道への適用性を論じたものである。安全かつ平滑に鉄道車両が走行することは、以降の章における重要な前提条件となるため、マス・スプリングシステムからなる防振軌道の成立性を、最初に明らかにしておくこととした。

我が国の高速度鉄道では、軌道支持ばねの極めて小さい防振軌道の導入は進んでいないが、本研究では数値解析により、共振増幅の有無、境界区間の設置方法、走行安全性、乗り心地等の観点から従来軌道も含む各種軌道と比較して総合的に論じた点に特徴がある。高速度走行に対する解析評価では長い軌道延長と、高次モードまで考慮した数値解析が必要となるが、スーパーコンピュータを用いた数値実験により定量的に明らかにした。

「第4章 鋼鉄道橋の構造物音の低減対策効果」は、構造物音の効果的な対策と考えられている防振軌道について、より騒音が問題になり易い鋼橋を対象として、その効果を実証的に論じたものである。防振軌道の防振効果は、以降の章における重要な前提条件となるため、その実用性を最初に明らかにしておくこととした。

前述のように、測定条件を揃えて実車両を走行させることは実務的には困難であるため、本研究では、マス・スプリングシステムの要件を揃えた実物大の構造物・軌道模型を製作して本質的な要因を抽出した試験を実施することとした。本模型は、支持剛性のプロパティを調整できること、低速ではあるが実車両走行が可能等の特徴を有している。更にその試験結果を外挿するため営業線における走行試験を行い、防振効果を明らかにした。さらに、鉄筋コンクリート床板を弾性支持した重量級マス・スプリングシステムによる低周波振動への効果も実証した。

「第5章 鉄道RCラーメン高架橋の構造物音発生メカニズムの解明とその低減対策」は、本論文の中核をなす部分である。鉄道の高速化に伴い顕在化したRCラーメン高架橋の構造物音の問題は、前述のように同構造形式が路線延長の相当部分を占めることから喫緊の課題といえる。

本研究では、マルチスケール問題を効率的に解くため、列車走行、車輪/レールの接触、軌道の応答、構造物への加振力算出を担う車両/軌道系モデルと、加振力から構造物の応答を算出する軌道/構造物系モデルとから構成される、弱連成系の振動伝搬モデルからなる解析手法を新たに構築した。高架橋のモード寄与率の観点からも、スケールの異なる両者を分離することが可能となり、それぞれにモーダルリダクションを適用することにより、計算効率を10倍とすることを可能とした。本手法の妥当性は、実際の営業線での計測データをもとに実証した。

また、本章では、解析結果を列車速度、周波数、加速度パワースペクトルによる3Dマッピングで可視化することにより、構造物音発生メカニズムを定量的に明らかにした。これまでの数値解析では、数ケースの速度段が限界であり個々の応答のピーク解釈等に明快性を欠いたが、3Dマッピングの解像度を上げることにより、メカニズムの実像を浮き彫りにし適切な解釈を行うことを可能とした。この中でスーパーコンピュータにおける多重並行処理の実現の貢献も大きい。従来、node単位だった数値計算を、nodeを構成する24個のcoreに自動的に割り振ることにより、計算効率は24倍となった。これらの数値解析結果は、マルチアレイ配置された加速度計によるモード分析、各速度段における検証を経て信頼性を確認している点も特徴として挙げられる。本章では、これらの数値解析法に基づき、第3章、第4章で整理した前提条件も加味して、with/without分析により支配要因や各種対策効果について考察した。

「第6章 鉄道RC桁式高架橋の構造物音の発生メカニズムの解明とその低減対策」は、RCラーメン高架橋について比較的構成割合の大きい構造形式であるRC桁式高架橋について検討した。基本的な研究手法は第5章と同様であるが、構造形式が異なる点において、実務的に有益な知見が得られている。また、設計上の構造緒元は同一であるが、軌道パッドのばね定数が異なる2橋を解析対象としている点が特徴である。さらに、防振軌道に特化したパラメータ解析を合わせて実施し、防振軌道による構造物音の低減対策の実現可能性を示した。

「第7章 結論」では、各章で得られた結論をまとめて述べるとともに、今後の展望と課題をし本研究の結論とした。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 渡辺 勉 印

(2015年4月 現在)

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者 (申請者含む)
①論文	
○1) 査読	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正,松岡弘大:軌道状態に着目した鉄道RC桁式高架橋の部材振動低減対策, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, pp.775-780, 2014.7
○2) 査読	白井貴之,仁平達也,渡辺勉:超高強度繊維補強コンクリートによるRCスラブの補強工法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, pp.107-114, 2014.7
○3) 査読	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:車両/軌道/構造物の各種パラメータが鉄道RCラーメン高架橋の部材振動特性に及ぼす影響に関する数値解析的検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 69, No. 2, I 821-I 832, 2013.8
○4) 査読	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:鉄道RCラーメン高架橋の部材振動に影響を及ぼす各種パラメータに関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.943-948, 2013.7
○5) 査読	松岡弘大,貝戸清之,渡辺勉,曾我部正道:走行列車荷重を利用したRC鉄道高架橋の部材振動の同定と動的挙動の把握, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.67, No.3 545-564, 2011
○6) 査読	渡辺勉,曾我部正道,後藤恵一,浅沼潔:構造物音評価のためのRCラーメン高架橋の振動性状評価法, 土木学会 鉄道力学論文集, No.14, pp136-143, 2010.7
○7) 査読	貝戸清之,松岡弘大,渡辺勉,曾我部正道,藤野陽三:走行列車荷重下における鉄道橋桁の動的応答の特性とその利用, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.3, pp.382-401, 2010.7
○8) 査読	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Kiyoshi Asanuma, Hajime Wakui: Development of Silent Steel Railway Bridge Equipped with Floating Ladder Track and Floating Reinforced Concrete Deck, 10th International Workshop on Railway Noise, Sec.4, pp203-210, 2010.6
○9) 査読	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Kiyoshi Asanuma, Hajime Wakui: Estimation of Structure-Borne Noise Reduction Effect of Steel Railway Bridge Equipped with Floating Ladder Track and Floating Reinforced-Concrete Deck, 日本機械学会 Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.3, No.1, pp83-91, 2010
○10) 査読	松岡弘大,貝戸清之,渡辺勉,曾我部正道:走行列車荷重を利用した開床式高架橋の振動特性の同定と高速化に関する一考察, 土木学会 応用力学論文集, Vol.13, pp.997-1008, 2010.8
○11) 査読	渡辺勉,曾我部正道,原田和洋:鉄道RCラーメン高架橋の動的応答性状に関する研究, 土木学会 鉄道力学論文集, No.12, pp77-84, 2009.7
○12) 査読	渡辺勉,曾我部正道,原田和洋:鉄道RCラーメン高架橋の衝撃係数に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp25-30, 2009
○13) 査読	松岡弘大,貝戸清之,杉崎光一,渡辺勉:列車走行時の加速度応答を用いた開床式橋梁の振動特性の同定, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2 pp.949-954, 2009
○14) 査読	松岡弘大,貝戸清之,杉崎光一,渡辺勉,曾我部正道:走行列車荷重を利用した振動モニタリングによる開床式高架橋の振動特性の把握, 土木学会 応用力学論文集, Vol.12, 2009.8
○15) 査読	松本光矢,曾我部正道,谷村幸裕,渡辺勉:開床式鉄道高架橋の動的特性と高速鉄道への適用性に関する検討, 鉄道力学論文集, pp.70-76, 2009.7
○16) 査読	渡辺勉,曾我部正道,浅沼潔,涌井一:ダブルフローティング型鋼鉄道橋を用いた構造物騒音低減効果の推定, 鉄道力学論文集, No.12, pp.19-24, 2008.7
○17) 査読	渡辺勉,曾我部正道 A Study of Running Safety and Ride Comfort of Floating Tracks for High-Speed Train 日本機械学会 J. of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.1, No.1, pp.22-30, 2008
○18) 査読	渡辺勉,曾我部正道,山崎貴之,浅沼潔,涌井一:各種フローティング軌道の高速度鉄道への適用性に関する研究, 構造工学論文集 Vol.53A, pp77-86, 2007.3
②総説	
○1) 査読	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:RC 鉄道高架橋の構造物音の発生原因の分析, 日本鉄道施設協会誌, Vol.52, No.8, pp.607-610, 2014.8
○2) 査読	渡辺勉,杉本一朗:鉄道総研の「防振性能を向上させた鋼鉄道橋」RRR, Vol.71, No.6, pp.33, 2014.6

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者（申請者含む）
○3)	渡辺勉,曾我部正道,浅沼潔:特集「鉄道施設における環境への取り組み」(沿線環境保全騒音振動対策 橋りょう・高架橋),日本鉄道施設協会 日本鉄道施設協会誌, Vol.46, No.7, 2008.7
③講演	
○1)	横山秀史,伊積康彦,渡辺勉:3次元振動解析による鉄道振動の予測シミュレーション,騒音制御工学会平成26(2014)年秋季研究発表会, 2014.9
○2)	渡辺勉,後藤恵一,松岡弘大,曾我部正道:軌道構造の違いがRC構造物の部材振動に及ぼす影響,鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 J-RAIL2014, 2014.12
○3)	伊積康彦,横山秀史,渡辺勉:高速鉄道の3次元振動解析に関する研究 その2 新幹線の3次元振動解析,日本建築学会大会, 2014.9.12
○4)	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:軌道状態の違いが鉄道RC桁式高架橋の部材振動に及ぼす影響,土木学会第70回年次学術講演会, I-504, 2014.9
○5)	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Munemasa Tokunaga: Analytical Study on Structure Member Vibration Characteristics of Reinforced Concrete Rigid Frame Viaduct, EUROODYN 2014 9th International Conference on Structural Dynamics, pp1289-1296, 2014.6
○6)	Masamichi Sogabe, Tsutomu Watanabe, Keiichi Goto, Munemasa Tokunaga: Performance Verification for Railway Extradosed Bridges by Dynamic Interaction Analysis, EUROODYN 2014, 2014.6
○7)	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Munemasa Tokunaga: The Influence on Structure Member Vibration of Railway RC Rigid Frame Viaduct by the Different Various Parameter, JSST2013 International Conference on Simulation Technology, 2013.9
○8)	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:車両と軌道の各種パラメータがRCラーメン高架橋の部材振動に与える影響,土木学会第68回年次学術講演会, V-141, 2013.9
○9)	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正:鉄道構造物の部材振動に影響を及ぼす各種パラメータに関する解析的検討,機械学会 J-RAIL2012, Vol.79, No.12, pp613-616, 2012.12
○10)	渡辺勉,曾我部正道,後藤恵一,浅沼潔:鉄道RCラーメン高架橋の構造物音評価に関する数値解析による検討,土木学会第65回年次学術講演会, VII-137, pp273-274, 2010.9
○11)	渡辺勉,曾我部正道,原田和洋:3径間鉄道RCラーメン高架橋の衝撃係数に関する研究,土木学会第64回年次学術講演会, V-145, pp287-288, 2009.9
○12)	渡辺勉,浅沼潔,曾我部正道,杉本一郎:軌道と床版をフローティング構造にしたサイレント鋼鉄道橋の開発,第228回 鉄道総研 月例発表会 大阪, 2009.1
○13)	渡辺勉,曾我部正道,浅沼潔:軌道と床版にフローティング構造を有する鋼鉄道橋の騒音低減効果,土木学会第63回年次学術講演会, VII-126, pp251-252, 2008.9
○14)	渡辺勉,曾我部正道,奥田広之,浅沼潔,半坂征則:フローティング・ラダー軌道を用いた鋼鉄道橋の防振性能向上に関する研究,電気学会 J-RAIL2007, S3-1-4, pp507-510, 2007.12
○15)	渡辺勉,曾我部正道,山崎貴之:各種フローティング軌道の高速走行時における列車走行性に関する検討,機械学会 J-RAIL2006, pp421-424, 2006.12
○16)	渡辺勉,曾我部正道,奥田広之,浅沼潔:フローティング・ラダー軌道の高速鉄道への適用性に関する検討,土木学会第61回年次学術講演会 I-484, pp965-966, 2006.9
④研究紀要	
○1)	渡辺勉,曾我部正道,徳永宗正,川口二俊:RCラーメン高架橋の部材振動特性に関する解析的検討,鉄道総研報告, Vol.27, No.10, 2013.10, pp.47-52
○2)	渡辺勉,曾我部正道:RCラーメン高架橋の衝撃係数に関する解析的検討,鉄道総研報告, Vol.24, No.4, 2010.4, pp11-16
○3)	渡辺勉,杉本一郎:鋼鉄道橋の低騒音化, RRR, 2009.8, pp14-17
○4)	渡辺勉,原田和洋:構造物の部材振動特性評価技術, RRR, 2009.6, pp22-25
○5)	渡辺勉,曾我部正道,浅沼潔:軌道と床版をフローティング構造にした低騒音鋼鉄道橋の開発,鉄道総研報告, Vol.23, No.2, 2009.2, pp39-44
⑤その他	
1) 研究紀要	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Munemasa Tokunaga: Analytical Study of Structural Member Vibration Characteristics of Reinforced Concrete Rigid Frame Viaduct, QR, Vol. 55, No. 3, pp.176-183, 2014.8

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者（申請者含む）
2) 論文	渡辺勉,曾我部正道,横山秀史,米澤豊司:高速鉄道トンネル上の地盤振動に関する解析的検討, 土木学会 鉄道工学論文集, Vol.18, pp.107-114, 2014.7
3) 講演	渡辺勉,曾我部正道,浅沼潔,井上寛美:JIS規格PCまくらぎの入線可能輪重に関する検討, 電気学会 J-RAIL2013, S7-6-5, 2013.12
4) 総説	渡辺勉,曾我部正道:ラダーマクラギ, 日本鉄道電気技術協会, 鉄道と電気技術, Vol.24, No.1, 2013.1
5) 講演	渡辺勉,鈴木裕隆,渡部太一郎:高密度RC柱の途中継手構造に関する実験的検討, 土木学会 第66回年次学術講演会, pp931-932, V-466, 2011.9
6) 講演	Tsutomu Watanabe, Masamichi Sogabe, Hidehumi Yokoyama, Toyoji Yonezawa, Sanshiro Kiyota: Ground Vibration on High-Speed Railway Tunnel, 10th International Workshop on Railway Noise, Sec.6, pp297-304, 2010.6
7) 講演	渡辺勉,曾我部正道,横山秀史,芦谷公稔:高速鉄道トンネル上の地盤振動解析, 機械学会 J-RAIL2009, Vol.65, No.12, pp371-374, 2009.12
8) 研究紀要	渡辺勉,横山秀史,武居泰:鉄道トンネル上の地盤振動解析, RRR, pp22-25, 2008.10
9) 研究紀要	渡辺勉,曾我部正道,奥田広之,浅沼潔,庄司正弘,島袋ホルヘ:バラスト・ラダー軌道の地盤振動特性に関する研究, 構造計画研究所 解析雑誌, Vol.20, pp.40-45, 2008.6
10) 論文	渡辺勉,曾我部正道,長谷川淳史,金森真:免震技術の鉄道橋りょうへの適用性とその効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp1111-1116, 2008
11) 研究紀要	渡辺勉,曾我部正道,奥田広之,庄司正弘,島袋ホルヘ:高速列車走行時のバラスト・ラダー軌道の地盤振動特性解析, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp23-28, 2007.12
12) 講演	渡辺勉,曾我部正道,横山秀史,山崎貴之,庄司正弘,島袋ホルヘ:鉄道トンネルにおける振動対策軌道に関する研究, 土木学会 第62回年次学術講演会, V-168, pp335-336, 2007.9
13) 論文	渡辺勉,曾我部正道,奥田広之,浅沼潔,庄司正弘,島袋ホルヘ:バラスト・ラダー軌道の地盤振動特性に関する研究, 土木学会 鉄道力学論文集 No.11, pp1-6, 2007.7
14) 研究紀要	渡辺勉,曾我部正道,涌井一,奥田広之:高速列車走行時のバラスト・ラダー軌道の地盤振動特性解析, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, 2007.12
15) 論文	曾我部正道,渡辺勉,井上寛美,浅沼潔:JIS規格PCまくらぎの入線可能輪重の算定, コンクリート工学年次大会 2014, Vol.36, pp.343-348, 2014.7
16) 論文	曾我部正道,徳永宗正,後藤恵一,渡辺勉,松岡弘大:各種対策工が地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線に及ぼす影響, 鉄道工学シンポジウム, Vol.18, 2013
17) 論文	徳永宗正,曾我部正道,渡辺勉,山東徹生,玉井真一:鉄道構造物上防音壁の地震時応答の基本特性, 鉄道力学論文集, Vol.17, pp.49-56, 2013
18) 論文	曾我部正道,渡辺勉,徳永宗正:ラーメン高架橋の疲労振幅及び等価繰返し回数に関する解析的検討, コンクリート工学年次大会 2013, Vol.35, pp.691-696, 2013.7
19) 論文	徳永宗正,渡辺勉,曾我部正道:鉄道RC高架橋相互の線路直角方向の衝突現象の評価, コンクリート工学年次大会 2013, Vol.35, pp.955-960, 2013.7
20) 論文	曾我部正道,後藤恵一,徳永宗正,渡辺勉:地震動の違いが地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線に及ぼす影響, 鉄道力学論文集, pp.133-140, 2012.7
21) 論文	浅沼潔,関根悦夫,片岡宏夫,曾我部正道,渡辺勉,後藤恵一:バラスト軌道の地震時変形挙動に関する解析的検討, 鉄道力学論文集, Vol.14, pp.21-28, 2010
22) 論文	曾我部正道,後藤恵一,川西智浩,室野剛隆,渡辺勉,谷村幸裕:地盤応答解析に基づく地震時車両走行性評価, 鉄道力学論文集, Vol.14, pp.106-113, 2010.7
23) 研究紀要	Kiyoshi Asanuma, Masamichi Sogabe, Tsutomu Watanabe, Keiichi Goto: DEVELOPMENT OF BALLASTED LADDER TRACK EQUIPPED WITH A VEHICLE GUIDE DEVICE, QR, Vol.50 No.4, 2009
24) 論文	曾我部正道,浅沼潔,渡辺勉:逸脱防止機能を有するバラスト・ラダー軌道の開発, 鉄道力学論文集, No.12, 2008
	その他 39件