

令和元年6月18日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06189

研究課題名（和文）土木構造物に対する効果的な騒音振動対策およびその評価手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on effective noise and vibration countermeasures and evaluation method for civil engineering structures

研究代表者

谷口 望（TANIGUCHI, NOZOMU）

前橋工科大学・工学部・准教授

研究者番号：90318791

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：ポリマーセメントモルタルは、耐久性、耐衝撃性に優れているとともに鋼材との付着力も強く、鋼構造物の被覆材としての活用が試みられている。また、近年は、環境適合性への配慮の観点から、鋼構造物の騒音振動が課題となっている。そこで本研究では、鋼構造物に対するポリマーセメント被覆を、騒音振動対策として考え、従来からの騒音振動対策である制振材と比較し、その効果を検証した。また、その検証にあたっては、騒音振動の伝搬を空気粒子の移動ととらえ、これを測定できる粒子速度計を用い、従来の加速度計や集音マイクとは異なる観点での検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土木鋼構造物では、鋼部材の騒音振動に配慮することが必要不可欠である。従来の対策工である制振材の課題としては、形状や寸法の決まった製品であることから鋼部材への取り付け箇所が制限される点にある。また、維持管理上、制振材を取り付けた鋼材面の塗り替えが困難になり、腐食損傷への懸念も指摘されていることに加え、制振材自身が高価であり、建設費が高むという問題点もある。本研究では従来評価が困難であったこの騒音振動対策について、新しい粒子速度計を用いて評価を行い、合理的な評価手法確立を目指すとともに、新しい材料であるポリマーセメントモルタルを騒音振動対策に活用する手法を提案するものである。

研究成果の概要（英文）：Polymer cement mortar is excellent in durability and impact resistance and has strong adhesion with steel materials, and its application as a coating material for steel structures has been attempted. In recent years, noise and vibration of steel structures have been an issue from the viewpoint of environmental compatibility. Therefore, in this research, polymer cement coating for steel structure is considered as noise and vibration countermeasure, and its effect is verified in comparison with conventional damping material which is noise and vibration countermeasure. In addition, in the verification, the propagation of noise and vibration was regarded as the movement of air particles, and a particle velocimeter capable of measuring this was used to study from a viewpoint different from conventional accelerometers and sound collection microphones.

研究分野：構造工学

キーワード：環境適合性 騒音振動対策 粒子速度 ポリマーセメントモルタル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、環境適合性への配慮が重要になってきている。特に、土木鋼構造物では、鋼部材の騒音振動に配慮することが必要不可欠であり、鋼鉄道橋では、鉸桁の場合、構造物から生じる音（構造物音）が最も生じやすいウェブパネルに対して、制振材が取り付けられる。この制振材は、ゴムやアスファルトなどとメッキ鋼板を層状に取り付けたものであり、鋼材に接着剤や磁石、ボルト等で取り付けるものである。メッキ鋼板が拘束層となり、ゴムやアスファルト層自身の内部損失や、この層と鋼板との接触面における摩擦損失により、振動低減を行うものである。ただ、この制振材の課題としては、形状や寸法の決まった製品であることから鋼部材への取り付け箇所が制限される点にある。また、維持管理上、制振材を取り付けた鋼材面の塗り替えが困難になり、腐食損傷への懸念も指摘されていることに加え、制振材自身が高価であり、建設費が高むという問題点もある。

2. 研究の目的

そこで著者らは、以前より、ポリマーセメントモルタル (PCM) 被覆を活用し、鋼部材の騒音振動対策として活用することを提案し、一部実用化されている状況にある。PCM は、耐久性、耐衝撃性に優れているだけでなく、鋼材との付着力も強いものもある。つまり、この PCM 自身が、鋼部材の騒音振動を抑える効果を持ちつつ、鋼部材の防食材として機能することも期待できる。また、PCM は吹付やコテでの塗り付けが可能であることから、鋼部材の寸法や表面形状に作用されることなく、設置が可能となる点も有利である。

一方、騒音振動の評価に関しては、以下の課題がある。一般的な鋼部材の騒音振動対策では、制振を行う材料を付加することで、鋼材を含む構造体の内部損失を増やし、列車通過に伴って発生する鋼材振動の消費エネルギーを増加させ、その結果として構造物音の発生エネルギーを減少させる方式である。ただし、これらの対策による鋼材振動とその振動放射音の低減効果が乖離する事例も多く、対策による低減効果が正確に把握できていない。

そこで本研究では、試験体による打撃試験の結果をもとに、従来の制振材 2 種と PCM 被覆の制振効果に比較を行う。また、この比較にあたっては、振動部位近傍で直接計測した音の粒子速度をもとに対策効果を評価する手法を提案すると共に、被対策部位の粒子速度と振動の低減効果を比較することで、提案法の妥当性を検証することとした。

3. 研究の方法

(1) 粒子速度計

本研究では 1 軸方向の粒子速度を計測できる粒子速度計を使用した。この計測機器は、防護筒の中にあるセンサ部に、平行に並んで固定された 200 の 2 本の白金製の熱線があり、熱線と直交する方向に沿って伝搬する音波によって生じる熱線間の熱量の移動を、両者間の抵抗値の変化として計測する特殊な機器である。この白金製の熱線の太さは毛髪の 400 分の 1 程度で、音波に起因して生じる空気中の微小な振動（圧力ではなく向きを有する流れ）が計測可能である。粒子速度計は、センサ部周辺の微小範囲内の変化を計測する為、被測定部位との距離を小さくする必要がある。ただし、同機器は風等の空気の流れの影響を受け易い為、屋外計測には不向きな面がある。

(2) 鋼試験体および打撃試験の概要

実験で使用した平板試験体は、鋼プレートガーダーのウェブ 1 パネルを模擬したものとし、ウェブ 4 辺を L 型アングル（補剛材）で補強された鋼製平板（1.055 m × 0.740 m：[被対策部] 0.9 m × 0.6 m、ウェブ厚み 9 × 10 - 3 m）である。4 辺の L 型を除く平らな範囲を被対策部とし、制振材貼付前後における振動加速度 a (m/s²) とその近傍の粒子速度 u (m/s) を板全面に亘って 70 点ずつ計測することとした（図 - 1）。なお、打撃点ごとに異なる振動モードが励起されるように、板の四辺付近から 2 点、板中央付近から 1 点、計 3 点の打撃点を選んだ。

打撃においては、入力値の計測できる一般的なインパクトハンマを用い、振動加速度センサ、粒子速度計、インテンシティ・マイクロホンを用いてそれぞれ計測を行った。振動加速度センサはマグネット・アタッチメントを用いて被対策部の打撃面側に設置し、粒子速度計は振動加速度センサ設置位置の真裏で、被対策部の放射面側の表面から 0.01 ~ 0.02 m 離れた位置に軸方向が放射面と垂直になる向きで固定した。インパクトハンマで被対策部の打撃面側を加振した時の

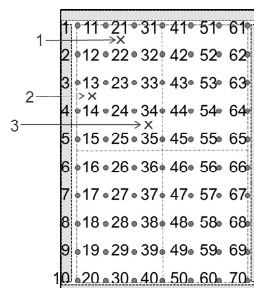


図 - 1 平板上の打撃点(x)と計測点(○)の配置図

打撃力と各計測機器からの出力電圧信号をデータレコーダ（サンプリング周波数は $f_s = 24.0$ kHz, および, $f_s = 25.6$ kHz を使用）に収録した。打撃点および計測点の組合せごとに、雑音(Noise)の成分に比して十分な大きさの打撃振動(Signal)の成分が確保された S/N の良いデータを 5 個得るようにした。

(3)制振対策工の概要

PCM

本試験で使用する PCM 被覆による制振対策工には、鋼橋のリニューアルで実績のあるものを使用した。本 PCM の基礎的な特性は、鋼材・コンクリート双方への付着性能は、一般に材齢 7 日付着引張付着強度で 1.0MPa 程度（一般コンクリートの 5 倍程度）であり、耐塩化物性能、耐衝撃性能にも優れていることが実証されている。本対策工においては、この高い付着性能から、鋼部材の防食だけでなく、コンクリート部材との一体化を促進することも可能であると考えた。なお、PCM のヤング係数は、一般に 2.00×10^4 MPa 程度である。PCM 被覆厚は、比較する従来の磁性式制振材の厚さを参考に 10mm 厚（鋼板片面）とした。この厚さは、施工性及び、耐塩化物性能から算定される通常のコンクリートの設計かぶりと同様な耐久性から決まる厚さ（5mm 程度）を十分満足する値である。本試験で用いた PCM の配合は、セメント：細骨材 = 1:1.75, 水セメント比 26.6%, ポリマーセメント 17.7% とし、既調合の粉体材料（セメント、細骨材、その他混和材料）：セメント混和用ポリマーディスパージョンを 6.25:1 で練混ぜて、ポリマーセメントモルタルを調製した。20 気中養生における圧縮強度は材齢 7 日で 40.1MPa, 材齢 14 日で 42.2MPa であった。本試験体における PCM の設置状況を図 - 2 に示す。

磁性式制振材

PCM の効果と比較するために、従来から使用されている制振材を 2 種用意した。本製品は両者ともに磁性式制振材であり、一般に鋼橋の騒音振動対策用に販売されているものである（図 - 3）。磁性式制振材は、接着剤により取り付ける制振材とは異なり、磁力に鋼材に取り付けられる制振材である。また、この磁性式制振材には 2 種類があり、それぞれ通常型 A, 改良型 B とした。磁性型制振材 2 種類のうち、通常型は「基板 + 制振材」の非拘束タイプ、改良型は「基板 + 制振ゴム + 拘束板（鋼板層）」の拘束タイプで、改良型の方が重く固定磁力が強いことが分かっているが、本製品においては、詳細な基礎材料データは公開されていない。磁性式制振材の製品は、基本サイズが 300mm × 450mm であるため、試験体ウェブパネルに隙間なく 4 枚を取り付けた。この取付面積は、先述の PCM 取り付け面積と同等となっている。



図 - 2 PCM の設置状況

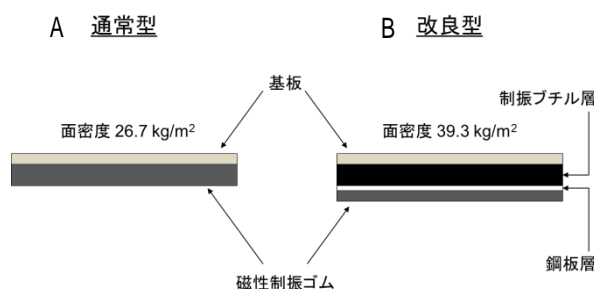


図 - 3 2 種類の磁性式制振材の構造概要

(4)測定結果

PCM の測定結果

打撃面側の面平均基準化曝露量と、放射面側の平均基準化エネルギー量から求めた各点における振動の低減効果（Vibration Reduction）と、粒子速度の低減効果（Noise Reduction）との低減効果（Reduction Effect）間の比較を図 - 4 に、周波数帯域 315 Hz, 2.5 kHz について、打撃点 3 に対する低減効果の試験体上での分布状況を図 - 5 に示す。各図中の正値は対策によって振動又は粒子速度が低下したことを、負値は逆に増加したことを示している。

図 - 4 は、「PV」は加速センサによる結果を示し、「 μ -flow n」は粒子速度計の結果を示しているが、両者の低減効果の評価に大きな乖離は見られない結果となった。本結果は、後述の磁性式制振材の傾向とは異なっている。また、図 - 5 (a) から、低い周波数帯域の板振動に対して部分的に負の効果（対策による増加）が見られることを含め、全体を通じて、振動速度と粒子

速度の低減効果の評価結果に大きな乖離は見られない。図 - 5 (b)の高い周波数帯域の板振動に対して負の効果は見られず一様に正の効果を得られている点を含め、両者の低減効果の評価結果に大きな乖離は見られない結果となった。

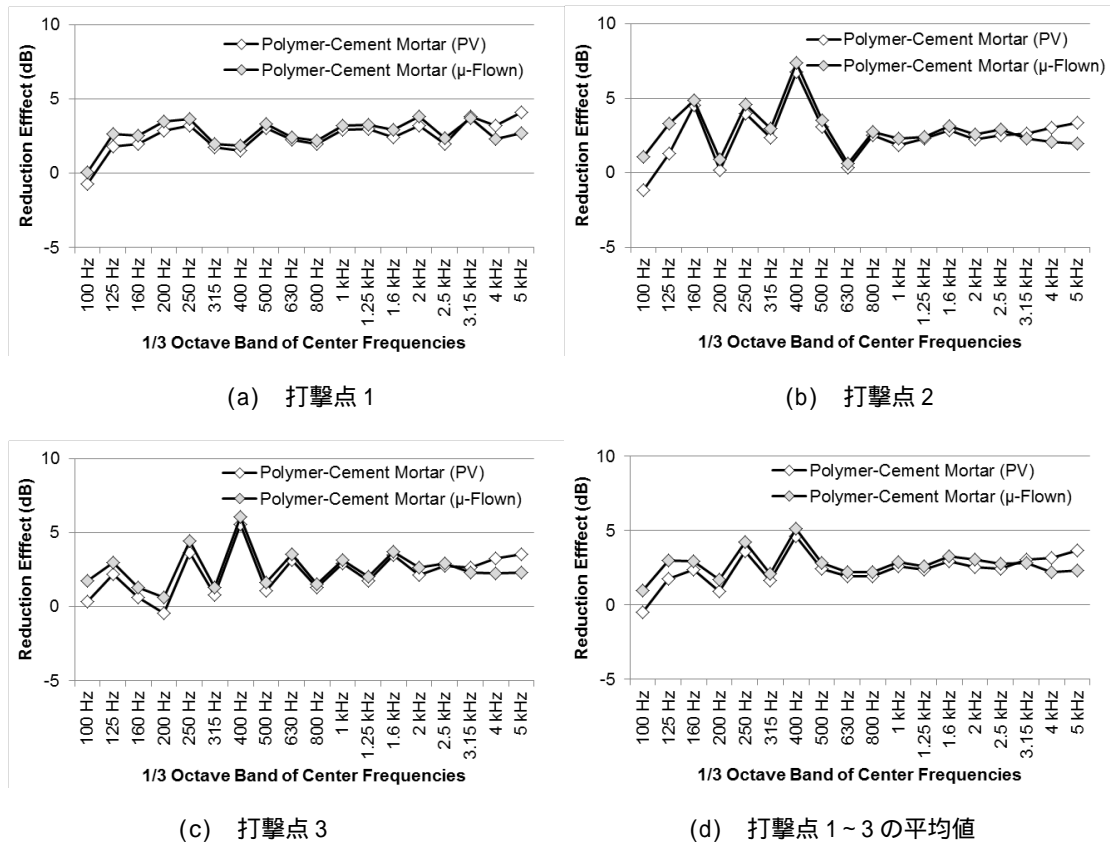


図 - 4 試験における低減効果の比較 (PCM)

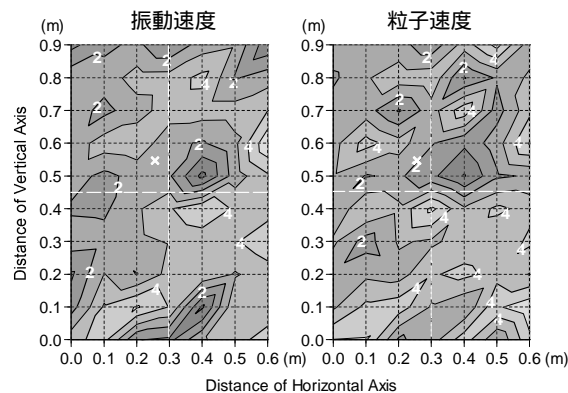
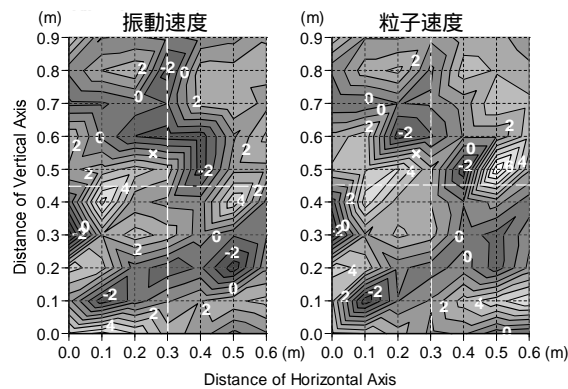


図 - 5 PCM における低減効果の面的分布

磁性式制振材とPCMとの測定結果の比較

PCM 印と2種類の磁性型制振材(通常型A 印と改良型B 印),各々の対策による低減効果の周波数特性の比較結果を図-6に示す。(a)が振動速度による評価,(b)が粒子速度による評価である。(a),(b)のいずれの評価においても,PCMの低減効果は磁性式制振材の通常型Bより低いものの,通常型Aの低減効果と同程度となっている。図-5から,周波数2kHz以上において振動速度が粒子速度より過大な評価になっていることを考慮すると,磁性式制振材・通常型AとPCMは粒子速度(振動放射音)に対して同程度の低減効果を有していると言える。磁性式制振材と比べて重量の軽いPCMが同程度の放射音の低減効果を発揮することから,この効果はPCM材料自体の振動減衰特性が大きく寄与していると推察される。

本結果より,PCMを騒音振動対策に用いることは,従来の制振材と同面積での比較した場合,より軽量であっても同程度の効果を発揮することが予測でき,設置面に対する自由度やコストの観点から,PCMを用いた方が有効な対策となりうる事が分かる。

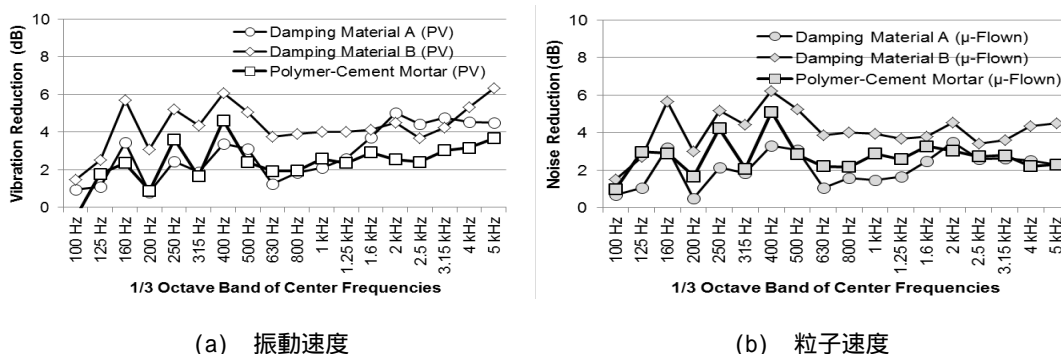


図-6 PCMと制振材の低減効果比較(打撃点1~3平均)

4. 研究成果

本検討では,PCM被覆を騒音振動対策として用いた場合を検討する目的で,要素打撃試験を行った。本検討より得られた結果を以下にまとめる。

- (1)PCM被覆を騒音振動対策として用いた場合,10mm厚の被覆を用いた場合,従来の制振材と同程度の効果となることが分かった。
- (2)PCM被覆は,様々な鋼部材の形状や寸法に適用可能
なため 取り付け面に制約を受ける制振材よりも広い面積で対策を行うことが可能であるため,より高い効果を得られる可能性がある。
- (3)粒子速度計を用いた計測では,従来の制振材においては高い周波数帯で加速度計との差異を生じたが,PCMの測定では,粒子速度計と加速度計の結果に大きな差は生じなかった。これは,制振材とPCMでは,騒音振動を低減させるメカニズムが異なるためと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

谷口望, 廣江正明, 佐竹紳也, ポリマーセメントモルタルを活用した鋼橋の騒音振動対策に関する研究, コンクリート工学年次論文2019(掲載決定), 査読有, 2019.

久保武明, 谷口望, 廣江正明, 鋼鉄道橋に用いる騒音振動対策に関する研究, 第22回土木学会応用力学シンポジウム(掲載決定), 査読無, 2019.

MASAAKI HIROE, NOZOMU TANIGUCHI, Noise reduction due to vibration damping estimated by measurement of particle velocity, The Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference (ASEA-SEC), 査読有, CDR, 2018.

廣江正明, 谷口望, 粒子速度計による鋼鉄道橋の制振対策効果の評価に関する研究, 騒音振動研究会資料, N-2017-26, 査読無, 2017.

廣江正明, 谷口望, 粒子速度計を用いた鋼鉄道橋の制振対策効果の評価に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, No.25, 査読有, 2017, pp.571-577.

Nozomu Taniguchi, Shinya Satake, Weiwei Lin, Masaaki Hiroe, Takeaki Kubo, Renewal method for aged steel bridges with polymer cement mortar, EUROSTEEL 2017, September, 2017, Copenhagen, Denmark, 査読有, 2017.

秋山拓也, 谷口望, 廣江正明, 模擬損傷を有する床版の打音の周波数特性に関する研究, 第71回年次学術講演会 -354, 土木学会, 2016.9., 査読無, CDR, 2016.

秋山拓也, 谷口望, 塚田忠康, 床版打音試験の検査精度向上に関する研究, 第43回土木学会 関東支部技術研究発表会, 査読無, CDR, 2016.

谷口望, 大久保藤和, 佐竹紳也, 杉野雄亮, 林偉偉, 依田照彦, An Examination on Hybrid Structures Renovated from the Old Railway Steel Bridges with Polymer Cement Mortar, International Association for Bridge and Structural Engineering(IABSE) 2016, Bridges

and Structures Sustainability- Seeking Intelligent Solutions, Guangzhou, China , 査読有, CDR, 2016.

谷口望・藤原良憲・林偉偉・依田照彦・松尾仁・久保武明, 有限要素解析による鉄道用合成桁の実剛性評価に関する検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), (応用力学論文集 Vol. 18), 査読有, Vol. 71, No. 2, 2016, pp. 785-793

〔学会発表〕(計 10 件)

谷口望, ポリマーセメントモルタルを活用した鋼橋の騒音振動対策に関する研究, コンクリート工学年次論文 2019 (2019/7/11 発表予定), 札幌.

久保武明 (前橋工科大学), 鋼鉄道橋に用いる騒音振動対策に関する研究, 第 22 回土木学会応用力学シンポジウム (2019/6/28 発表予定), 札幌.

谷口望, Noise reduction due to vibration damping estimated by measurement of particle velocity, The Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference (ASEA-SEC) (国際学会), 2018, ブリスベン.

廣江正明, 粒子速度計による鋼鉄道橋の制振対策効果の評価に関する研究, 騒音振動研究会シンポジウム (招待講演), 2017, 東京.

廣江正明, 粒子速度計を用いた鋼鉄道橋の制振対策効果の評価に関する研究, 鋼構造シンポジウム, 2017, 東京.

谷口望, Renewal method for aged steel bridges with polymer cement mortar, EUROSTEEL (国際学会), 2017, コペンハーゲン.

秋山拓也 (前橋工科大学), 模擬損傷を有する床版の打音の周波数特性に関する研究, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016 年 09 月 07 日 ~ 2016 年 09 月 09 日, 東北大学.

谷口望, 鋼・合成構造物の設計・維持管理の合理化に関する研究について, 第 112 回-鋼橋マネジメント研究会 (招待講演), 2016 年 04 月 27 日, 大阪.

谷口望, An Examination on Hybrid Structures Renovated from the Old Railway Steel Bridges with Polymer Cement Mortar, IABSE Guangzhou 2016 (国際学会), 2016 年 05 月 08 日 ~ 2016 年 05 月 08 日, 中国・広州・東方ホテル.

秋山拓也 (前橋工科大学), 床版打音試験の検査精度向上に関する研究, 第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016 年 03 月 14 日 ~ 2016 年 03 月 15 日, 東京都市大学.

〔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〕

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者: なし

(2) 研究協力者

研究協力者 (申請時連帯研究者) 氏名: 廣江正明

ローマ字氏名: Masaaki Hiroe

研究協力者 (申請時連帯研究者) 氏名: 依田照彦

ローマ字氏名: Teruhiko Yoda

研究協力者氏名: 後藤貴士

ローマ字氏名: Takashi Goto

研究協力者氏名: 半坂正則

ローマ字氏名: Masanori Hansaka

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。