

技術者・研究者そして教育者としての 人生を振り返って

Looking back on my life as an engineer, researcher and educator

近畿大学
Kindai University

名誉教授
米田 昌弘
YONEDA Masahiro



川田工業株式会社が2022年5月2日に創業100周年を迎えられますこと、心よりお祝い申し上げます。また、記念すべき創立100周年の川田技報を発刊するにあたり、寄稿論説の執筆者としてお声がけいただきましたことに対しまして、心から御礼申し上げます。

私は、1980年から17年間、川田工業株式会社の研究開発部門で勤務した後、1997年からの24年間は近畿大学で、研究者・教育者としての人生を歩んできました。「光陰矢の如し」のことわざ通り、今さらながら、年月の過ぎ去る速さに驚いていますが、私の歩んできた人生の一部を何かの記録として残しておきたいという思いもあり、寄稿論説の執筆をお受けしました。私自身の回顧録になってしまうかも知れませんが、若手の技術者にとりまして、人生の先輩としての著者の経験が少しでもお役に立てれば幸いです。

1. 学生時代

私は大阪府で生まれ育ちましたが、NHKで放送されていた「北の家族」の舞台でもあった金沢に憧れて、金沢の大学に進学しました。あとから考えれば人生を左右する大きな出来事もその時はそれとは気づかないものですが、今振り返って「私の人生を大きく左右したターニングポイントは、金沢の大学に進学したことに始まる」と考えています。もしも、関西の大学に進学していたならば、私の人生は大きく相違していたに違いありません。

大学の3年生だったと思います。恩師である小堀為雄教授から「うちの大学には地震（耐震）の先生はいるんだが、風（耐風）の先生はいないんだ」という話を橋梁工学の授業中に聞いてから、耐風工学に興味を抱くようになりました。本州四国連絡橋プロジェクトがスタートして、風（耐風）に関する研究がクローズアップされていた時期でもあり、4年生になって橋梁工学研究室に配属されてからも、「耐風」に関する興味は尽きませんでした。そこで、アルバイトで貯めたお金で耐風構造（著者：岡内 功・伊藤 学・宮田利雄、丸善）という書籍を購入して、耐風工学の勉強を独学でスタートさせました。耐風に関する論文や資料も読みあさりましたが、そうすると必ず旧タコマナローズ橋の落橋事故に行きあたりました。この時、「だれがタコマを墜としたか（著者：川田忠樹）」という興味深いタイトルの書籍も図書館で見つ

け出し、夢中になって読みふけたのを覚えています。

旧タコマナローズ橋の落橋に関する文献や資料を読んで不思議に思ったことがあります。それは、「対称1次のねじれではなく、何故、逆対称1次のねじれフラッターが発現したのだろうか？」というものでした。吊橋の最低次は一般に逆対称1次と考えられていたのが理由だったのかも知れませんが、この疑問に答えてくれる文献を見つけ出すことはできませんでした。そんな疑問を抱きつつ、興味は吊橋の撓度理論に移り、平井 敦先生の鋼橋Ⅲをはじめとする数多くの書籍や論文を読んで勉強しました。また、独学で風洞実験技法とその相似則も理解しました。

大学院に進学した後も耐風工学と吊橋に関する論文を毎日のように読みあさりましたが、この時に、川田工業から小堀研究室に受託研究員として派遣されていた梅澤宣雄係長（当時）から、耐風工学と吊橋の勉強をしたのだったら、うち（川田工業）に来ないかと誘われたのが川田工業に入社するきっかけとなりました。梅澤係長と出会っていなかったら、川田工業に入社することはなかったと思います。大学の先輩でもあった梅澤係長との出会いも、私の人生を左右する大きなターニングポイントでした。

2. 川田工業時代

1980年4月に川田工業に入社して、技術本部研究室（川田ビル2Fの奥）に配属されました。当時の室長は、法政大学の大地羊三教授で、入社日（隔週の土曜日）には必ず出勤されていました。大地先生が出勤された土曜日は近くの喫茶店で昼食をご一緒するのが慣習だったのですが、大地先生から「理路整然としたマトリックス構造解析の説明」や「産業用ロボットの必要性」をお聞きするたびに、こんなすごい先生がいるんだと驚嘆したことを覚えています。大地羊三先生は今も私が尊敬する先生のお一人です。

入社して1年近くが過ぎたころ、関連会社で斜張橋の風洞実験業務を受注しました。そこで、「学生時代に勉強しました!」「できます!」「やらせて下さい!」と手を上げたら、風洞実験の担当者として大抜擢されました。業務を行うために受託研究員として東京大学に通い、風洞実験施設を借りて1年近く斜張橋の風洞実験業務に明け暮れました。東京大学の伊藤 学教授（当時）にはじめてご挨拶した時に、「橋梁工学の権威で、耐風構造の著者のお一人でもある伊藤先生にお会いできるなんて!」と大感激した記憶があります。

東京大学の橋梁研究室に出入りするようになって、同じく耐風構造の著者であった岡内 功先生（当時：中央大学教授）と宮田利雄先生（当時：横浜国立大学教授）ともお付き合いさせていただくようになりました。また、藤野陽三先生、山口宏樹先生、そして当時は博士課程の学生だった山田 均先生にもこの時に会いました。

ある日、川田忠樹社長（当時）と一緒に中央大学の岡

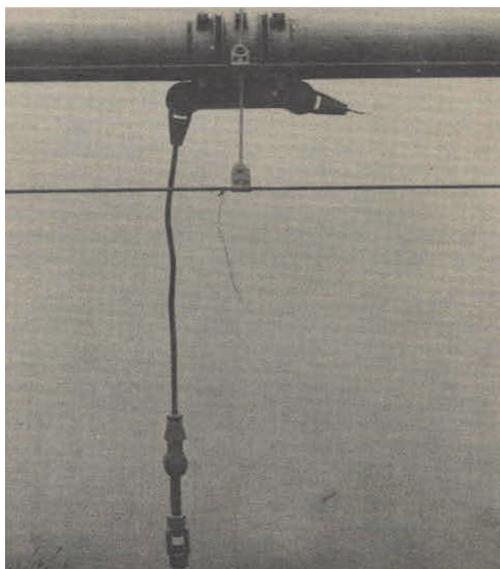


写真-1 切断された旧タコマナローズ橋のセンタースティ

内 功先生のところにお伺いする機会がありました。岡内教授室に着くと、旧タコマナローズ橋の落橋原因について、川田社長と岡内先生の激論が始まりました。議論のポイントになっていたのは、写真-1に示したセンタースティで、「センタースティが切断されたのが引き金になってねじれフラッターが発現したという説」と、「センタースティはねじれフラッターが発現する前に切断されていたという説」についてです。私はじっとお二人の激論を聞いているだけでしたが、この時にも、「何故、対称1次のねじれフラッターが起こらなかったのだろうか?」という疑問がずっと頭をよぎっていました。

「吊橋には重さが必要である」が川田忠樹社長（当時）の持論だったことから、吊橋で自重を大きくすると耐風性が向上するかどうかを検討してほしいという依頼がありました。この依頼を受けた私の答えは「重くすれば耐風性は向上するかも知れませんが、一方で振動数が下がりますので耐風性はかえって低下することもあります。また、経済性にも十分な検討が必要です」というものでした。この答えは正解で間違いではありません。実際、知り合いの大学の先生に聞いてみても同じ答えが返ってきました。ただ、社長からの検討依頼であったため、常識的な回答をしても納得してもらえないと思い、学生時代に独学で勉強した吊橋の撓度理論を適用していろいろな観点から検討してみました。そうすると面白い結果が得られたのです。自重を増してもねじれ振動数がほとんど低下しない場合があったのです。この研究成果は土木学会論文集に掲載されました。私が自分の手ではじめて書いた第一著者の査読付き論文¹⁾でした。31歳の時です。

論文を書く（研究する）場合は、「論文を読みすぎない」、「常識にとらわれすぎない」、「研究テーマは机の上で考えても見つからない」、「身近な問題に疑問を抱く」ことが必要だったのです。目から鱗が落ちた瞬間です。これ以降、疑問に思っていた身近な問題点を解決するという姿勢で次々と論文を執筆できるようになりました。単なる物知りの技術者から、研究者としてのスタートを切ることができたのです。川田忠樹社長からの依頼がなければ、のちに東京大学の伊藤 学教授（当時）の下で工学博士の学位を授与されることもなかったと思います。東京大学の伊藤 学教授（当時）と川田忠樹社長（当時）との出会い、これもまた、私にとって人生の大きなターニングポイントでした。

私が川田工業に在籍していた頃は、斜張橋の全盛期でしたが、レインバイブレーションと呼ばれる新たなケー



写真-2 ケーブル制振用粘性せん断型ダンパー（幸魂大橋）

ブル振動問題も指摘されるようになっており、風による斜張橋ケーブルの制振問題が大きくクローズアップされていた時期でもありました。そこで、ケーブル制振用ダンパーの設計用評価式²⁾を提案するとともに、オイルス工業と共同で粘性せん断型ダンパーを開発し、写真-2に示すように幸魂大橋で初めて適用しました³⁾。幸魂大橋で適用して以降、粘性せん断型ダンパーの問い合わせが急増し、多くの斜張橋で採用されたことは技術者冥利に尽きる思いです。ちなみに、この幸魂大橋では、土木の主塔では初めてとなるTLD (Tuned Mass Damper)⁴⁾も採用し、写真-3に示すように塔内に設置されています。

3. 近畿大学での活動

川田工業では研究室長として東京と大阪を行き来する忙しい日々を過ごしていましたが、「時計の針のような淡々とした日々」を感じるようになっていました。そんな時、「第二の人生を経験するなら今しかない」と



写真-3 幸魂大橋主塔で採用したTLD (Tuned Liquid Damper)

考え、公募があると人づてに聞いた近畿大学に応募しました。ただし、研究業績はそれなりにあったとは言え、学閥も教育歴もなく、年齢も42歳に達していましたので、実際に採用されるとは思いもよりませんでした。近畿大学での採用が決まったことを恐る恐る川田忠樹社長（当時）に報告したところ、「いざ鎌倉という時はいつでも駆けつけるように！」というお言葉とともに、快く送り出していただきました。川田忠樹相談役には今も感謝の気持ちで一杯です。

近畿大学で行った研究で最も思い出深いのは、旧タコマナローズ橋のねじれフラッター解析⁵⁾です。旧タコマナローズ橋でねじれフラッターが発現した時、すでにセンタースティが切断されていたことに間違いはありません。何故なら、センタースティが有効だと仮定して固有振動解析を実施した結果、ねじれ対称1次振動数が0.181Hzで、ねじれ逆対称1次振動数が0.210Hzだったことが判明したからです。そこで、センタースティが切断されていた場合についてフラッター解析を実施した

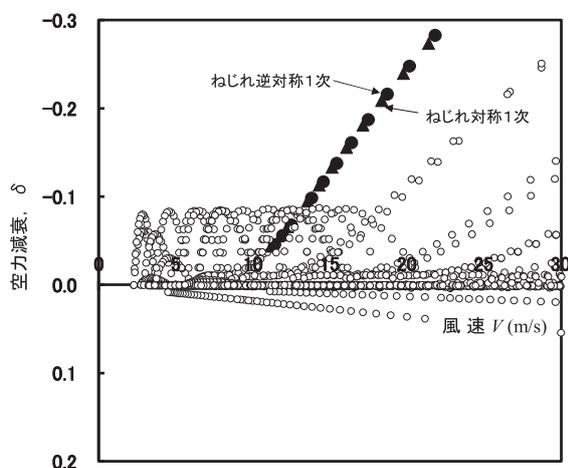


図-1 旧タコマナローズ橋のフラッター解析結果（センタースティが切断されていて、全区間に風速一定の風を作用させた場合）

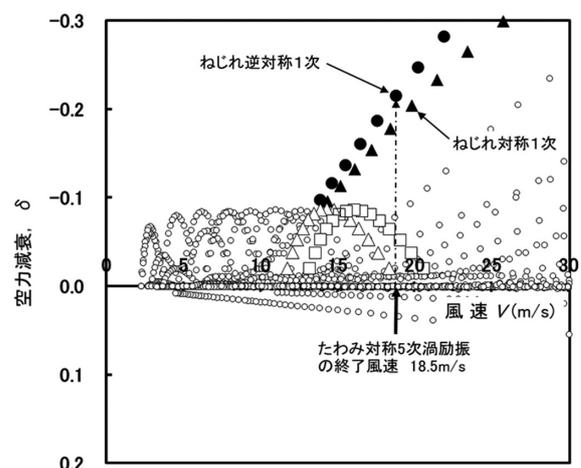


図-2 旧タコマナローズ橋のフラッター解析結果（センタースティが切断されていて、各側径間の岸から1/2区間には風を作用させなかった場合）

ところ、**図-1**に示す結果が得られました。**図-1**において、横軸は風速、縦軸は空力減衰で、構造減衰を無視すれば、空力減衰が負の領域で風による振動が発現していることを表しています。この図から、ねじれ対称1次とねじれ逆対称1次のフラッターはほぼ同じ風速で発現しており、この解析結果からは、「旧タコマナローズ橋では、たまたま逆対称1次のねじれフラッターが発現しただけであり、対称1次のねじれフラッターも発現する可能性があった」ということになってしまいます。ただし、ねじれ対称1次とねじれ逆対称1次の振動数はほぼ同じでも、モード形状は大きく異なります。センタースティが機能していなければ（切断されていれば）、ねじれ逆対称1次の側径間はほとんど振動しませんが、ねじれ対称1次は中央径間と一緒に側径間も連成して振動します。

一方で、当然予想されるように、中央径間と側径間に作用する風速は必ずしも一定ではなく、陸地に近い側径間には19m/sよりかなり低い風速の風が作用していた可能性があります。そこで、「各側径間の岸から1/2区間にだけ風を作用させない」という条件でフラッター解析を実施しました。その結果が**図-2**です。旧タコマナローズ橋では19m/sではなく10m/s以下の風速でねじれフラッターが発現してもおかしくなかったのですが、たわみ渦励振との干渉で発現しませんでした。ただし、たわみ対称5次の渦励振が終息した風速18.5m/sではねじれフラッターの励振力も十分に強くなり、励振力の強い（側径間の風速を低下させても励振力に変化のない）逆対称1次のねじれフラッターが対称1次よりも低い風速で発現したと結論づけることができました。大学生の頃から抱えていた疑問がすべて解決しました。たまたまではなく、旧タコマナローズ橋で、逆対称1次のねじれフラッターが発現したのは必然だったのです。



写真-4 旧タコマナローズ橋で発現したねじれフラッター

読者の皆さんも、改めて旧タコマナローズ橋の落橋映像を見る機会がありましたら、是非とも側径間の動きに着目して下さい。センタースティが切断されて機能していませんので、**写真-4**に示すように側径間はほとんど振動していないことに気づくと思います（旧タコマナローズ橋で、もしもセンタースティが機能していたとすれば、振動モードは側径間が連成した逆対称1次になります）。

「大学は最先端の研究を行い、かつ、将来の研究者を養成する高等研究機関である」と思い込んでいる方々は多いと思います。しかしながら、大学の果たすべき役割は多様化しており、特に日本の私立大学では「社会の第一線で活躍できる実務者を養成する」という役割も大きいのです。私が所属していた土木工学科では公務員志望者も多くいましたが、その当時、公務員試験の合格者はさほど多くありませんでした。そこで、よくよく調べてみると、公務員試験用のテキストがほとんど市販されていないことがわかり、思い切って公務員試験の対策本を執筆することにしました。試験に出題される全科目の執筆には大変な労力と時間を要しましたが、これが受験生の中で、のちに「米田本」と呼ばれる土木職公務員試験シリーズ^{6),7)}として評判になり、現在も順調に版を重ねることができています。

公務員対策用テキストを執筆してからは、研究室のほぼ全員が公務員志望者だけの状態となってしまいました。公務員試験に全員が合格するまではゼミ生のバックアップに追われ、本格的な卒業研究は4年生の10月以降でないとスタートさせることができませんでした。そこで、少ない研究費用と少ない研究時間でも実施できる研究テーマを模索した結果、大学では歩道橋の振動問題に関する研究を継続的に実施していました。ミレニアムブリッジで群衆による横揺れ振動が問題になったのを契機に、神経振動子を組み込んだ引き込み現象の解析⁸⁾も行いましたが、最も印象に残っているのが静止者のTMD（Tuned Mass Damper）効果です。

歩道橋を人力加振した後の減衰自由振動波形から減衰の大きさを算定していた時のことです。学生と一緒に歩道橋の真真中で橋の揺れを体感していたのですが、少し異変に気付きました。以前から、人間も振動体で5Hz付近と12-13Hz付近に共振点があることは知っていたので、もしやと思って静止者数を1名から14名まで変化させて歩道橋の減衰を測定することにしました。横軸に重量比（静止者の合計体重／歩道橋のモード重量）をとった結果が**図-3**です。この図からわかるように、

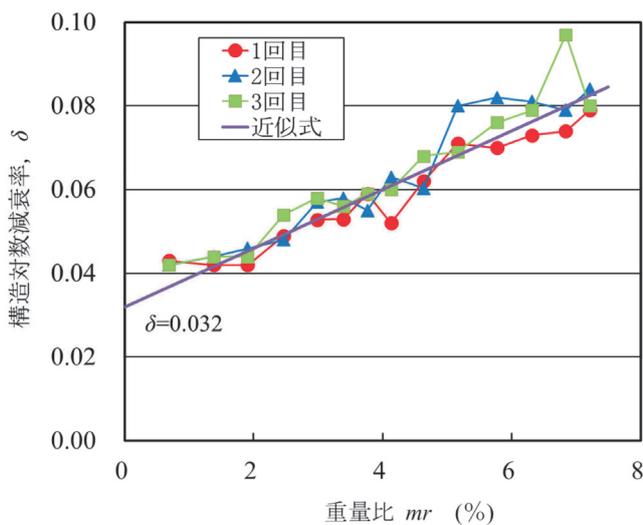


図-3 静止者（重量比）を増加させた場合の構造減衰

実験した歩道橋の構造減衰は0.032（重量比0%での値）であったのにも関わらず、静止者のTMD効果で見かけの減衰が大きくなっており、14人（重量比で7.2%）だと $\delta=0.081$ にまで増加していたことがわかったのです⁹⁾。この静止者によるTMD効果も、わが国では全く知られていなかった現象で、人間を2自由度系にモデル化した複素固有値解析を実施するなど、自分なりにオリジナリティのある研究を実施できたと思っています。

歩道橋の振動問題を研究する過程で、歩行外力を測定する必要もありました。図-4は歩道橋上を歩いた場合の左腰部で測定した加速度波形をスペクトル解析した結果です。この図から、この歩行者は約1.90歩/秒で歩いていたことがわかり、パワースペクトルの大きさから歩行外力の動的成分を算定することもできます。当然で

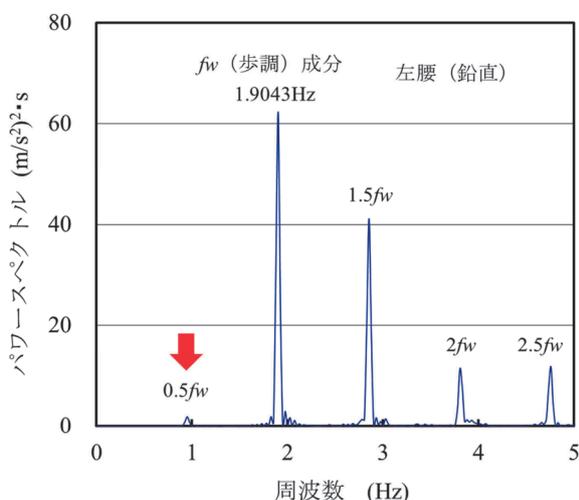


図-4 歩行者（健常者）の左腰部におけるスペクトル解析結果（鉛直方向の加速度波形）

すが、歩調の fw 成分よりも大きい高次成分も測定されているのですが、首を傾げたのは $0.5fw$ 成分（歩調の半分の成分）です。 $0.5fw$ 成分のパワースペクトルは非常に小さく、また、歩調成分の歩行外力を算定する場合には全く関係のない成分だったのですが、最低次は歩調である fw 成分だと思い込んでいた私には、 $0.5fw$ 成分が観測される理由が全く理解できませんでした。当初は歩行にともなう横振動の成分を測定していると考えていたのですが、気になって仕方がありませんでした。

考えあぐねた末に、一つの仮説を立てました。それは、「歩行時に右足と左足の動きに差異があると $0.5fw$ 成分が観測されるのではないか?」というものでした。もし、この仮説が正しいのなら、片麻痺患者の歩行では大きな $0.5fw$ 成分が観測されるはずだと考え、早急に大学の倫理委員会で承認を得て、片麻痺患者の歩行解析を実施しました。左右下肢の非対称性に着目した歩行解析ですので、前後方向の加速度波形に着目してスペクトル解析を実施しました。その結果を図-5に示します。この図からわかる通り、 $0.5fw$ 成分が明確に観測されたのです。そこで、歩調である fw 成分に対する $0.5fw$ 成分のパワースペクトル比を採用すれば、片麻痺患者が歩行する際に観察される左右下肢の非対称性が評価でき、歩行リハビリテーションに活用できるとの確信に至りました。

土木学会には医工連携分野はありませんでしたので、やむなく投稿できる学会を探した結果、機械学会の医工学分野（walking and gait）にたどり着き、論文を掲載することができました¹⁰⁾。その後も継続的な研究を行い、最終的に4つの歩行評価指標を提案しましたが、これらは、片麻痺患者だけではなく、大腿骨骨折患者や人工股

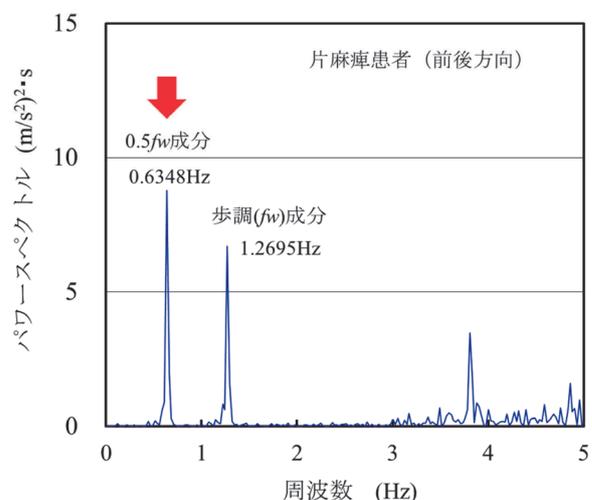


図-5 片麻痺患者が歩行した場合のスペクトル解析結果（前後方向の腰部加速度波形）

関節全置換術後患者さらにはパーキンソン病患者にも適用できることがわかりました¹¹⁾。

もちろん、機械学会論文集に投稿するだけでなく、医学会でも発表する必要があると考えて、日本リハビリテーション医学会への入会手続きを行いました。病院の医師の先生方からは「入会手続きはきわめて簡単」とお聞きしていたのですが、現実は大違いでした。医師以外は、履歴書だけではなく、学位記のコピー・博士論文・リハビリテーションに関する主著論文・リハビリテーションに関する学会での2回以上の講演者発表などに加え、代議員2名の推薦書も必要だったのです。そこで、近畿大学の医学部の先生に推薦を依頼するとともに、歩行者による歩道橋の振動問題に関する研究を歩行リハビリテーションと同等の研究と見なしてもらうこともでき、何とかすべての条件をクリアし、土木系教員としてはじめて日本リハビリテーション医学会の正会員になることができました。これ以降、退職までの5年間は、土木学会ではなく、日本リハビリテーション医学会の学術集會に参加して、学会発表を行っていました。スペクトル解析なんて聞いたこともない多くの医療従事者の前で、土木の解析技術をベースにした「歩行リハビリテーションの評価手法」に関する研究を発表してきましたが、病院の医師や他大学の医学部からも共同研究のお誘いを受けて、私なりに充実した日々を過ごすことができました。常識にとらわれすぎないで、身近な問題に疑問を抱くことで、工学者の立場から、それまで日本リハビリテーション医学会では全く知られていなかった歩行評価指標を提案できたと私なりに満足しています。

4. 結びとして

私が川田工業で学んだ一番の教訓は、「言われたことをするのは当たり前。言われたことすらできない人が多中、言われたこと以上に進んで行動することが何よりも大切である」というものです。

若いうちは、現実と真つすぐ向き合い、正々堂々と公正・公平に競争して精一杯生きる。そして、年齢を重ねるにつれ、「人は人に生かされ、人を生かしている」と実感できるような人生を、是非とも送ってほしいと願っています。

頑張り過ぎないで頑張る。本寄稿を読んでいただいた若手技術者のますますのご活躍を、心からお祈りしております。

参考文献

- 1) Yoneda, M. and Ito, M.: Effects of Dead Weight on Aerodynamic Stability of Long-Span Suspension Bridges, Proc. of JSCE, No.368/ I-5, pp.135-145, April, 1986.
- 2) 米田昌弘, 前田研一ほか: ケーブル制振用ダンパーの粘性減衰係数設定に関する一考察, 土木学会論文集, 第410号 / I-12, pp.455-458, 1989年10月.
- 3) 米田昌弘, 前田研一ほか: ケーブル制振用粘性せん断型ダンパの開発, 日本機械学会論文集 (C編), 第58巻55号, pp.3227-3232, 1992年11月.
- 4) 米田昌弘, チャイセリ ピヤワットほか: 斜張橋主塔を対象とした TLD の減衰付加効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1019-1028, 1991年3月.
- 5) 米田昌弘, 檜尾洋希: 旧タコマナローズ橋のねじれフラッター特性に関する解析的考察, 土木学会論文集, 第752号 / I-66, pp.89-104, 2004年1月.
- 6) 米田昌弘: 土木職公務員試験 専門問題と解答 必修科目編, 大学教育出版, 2008年4月.
- 7) 米田昌弘: 土木職公務員試験 専門問題と解答 選択科目編, 大学教育出版, 2008年4月.
- 8) 米田昌弘: 人道吊橋を対象とした水平加振歩行実験と神経振動子を組み込んだ動的応答解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.3, pp.569-582, 2012年9月.
- 9) 米田昌弘: 歩道橋の構造減衰特性に及ぼす静止者の TMD 効果, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.3, pp.435-443, 2014年10月.
- 10) 米田昌弘: リハビリテーション医療への適用を考えた片麻痺歩行の定量的評価手法に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.839, PP.1-17, 2016年7月.
- 11) 米田昌弘, 福田寛二ほか: 体幹加速度を用いた歩行の質評価と跛行患者の歩容解析, 日本機械学会論文集, Vol.86, No.886, PP.1-13, 2020年6月.