

## 博士学位論文

(論文内容の要旨及び審査結果の要旨)

Yoshio Nakamura

氏名 中村吉男  
学位の種類 博士 (工学)  
学位記番号 博 乙 第24号  
学位授与 平成23年3月23日  
学位授与条件 学位規定第3条第4項該当  
論文題目 アスファルト表面遮水壁型ダムの耐震性向上に関する研究  
Improvement on Earthquake Resistance of Asphalt Facing Embankment Dam  
論文審査委員 (主査) 教授 成田国朝  
(審査委員) 教授 奥村哲夫<sup>1</sup> 教授 大根義男<sup>1</sup> 教授 長瀧重義<sup>1</sup> 教授 四俣正俊<sup>1</sup>

### 論文内容の要旨

築堤材料の制約により堤体部だけでは遮水性が十分確保できない場合や、気象条件により施工日数が限られるフィルダムの建設において、貯水池表面にアスファルト混合物を舗設して遮水性を確保する表面遮水壁型ダムが採用されることが少なくない。この場合、遮水壁に求められる機能は、①水密性、②斜面安定性(強度、変形抵抗)、③たわみ性(堤体変形への追従性)、④耐久性、⑤施工性等が挙げられるが、耐震設計上、最も重要と考えられる事項は、地震時における堤体の変形に対して、遮水壁の追従性を確保することである。

アスファルト混合物は、アスファルトの有する粘性的な性質により、セメント系混合物等と比較してたわみ性や応力緩和性に富み、変形の追従性に優れるという特長を持つ。しかし、変形速度や温度により力学特性が変化する、温度依存性や速度依存性を有する材料であるため、温度が低く载荷速度が上昇すると変形性能が低下するので、冬期あるいは寒冷地における地震の発生は、遮水壁が最も損傷を受け易い条件を与える。

一方、地震による遮水壁の損傷原因には、二つのカテゴリーが考えられる。その一つは、地震中の繰り返し変形によるものであり、他方は、堤体自体の滑動による永久変形に起因するものである。

1996年3月6日、山梨県の河口湖付近を震源とするM=5.8の地震が発生し、震源から約15km離れたアスファルト表面遮水壁型のアースフィルダムが被災した。地震による

堤体部の損傷はダムの健全度を損なうものではなかったが、堤体を覆う斜面及び池敷の遮水壁には数多くの亀裂が発生し、全面的な補修を余儀なくされた。本論文は、この中規模地震により生じた遮水壁の亀裂の発生要因を究明し、機能損失を起こしたアスファルト表面遮水壁の合理的な補修方法を論じたものである。主な研究目的は、補修材料として更に大きな地震動にも耐え得る柔軟性に富むアスファルトの開発、遮水壁材料の品質改善効果を調べるための試験方法の策定、ひずみの累積による損傷度を指標としたアスファルト表面遮水壁の耐震評価の提案であり、これらを設計・施工上の検討事項として議論し、考察を加えたものである。

本論文は全6章で構成される。各章の内容は次のとおりである。

第1章「序論」では、ダムの果たしてきた役割を概観し、ダムの将来展望として、耐震補強工事やリハビリテーションの観点から、既設ダムの健全度を評価し長寿命化を図ることの重要性を述べるとともに、解決すべき具体的な検討課題を既往の研究成果を参照しながら整理し、本研究の目的を明らかにした。

第2章「表面遮水壁の損傷原因と対策の実例」では、本研究を進める前段階として、表面遮水壁の損傷原因と被害対策に関する実例を整理し、事例調査を通して、本論文の課題である地震時における遮水壁材料の品質改善とアスファルト表面遮水壁の耐震評価の重要性を提示した。そして、アスファルト混合物の特長である温度とひずみ速度の依存性、すなわち温度が低くひずみ速度が上

<sup>1</sup> 愛知工業大学工学部 都市環境学科 (豊田市)

昇すると変形性能が低下することから、冬期あるいは寒冷地における地震の発生は遮水壁が最も損傷を受け易い条件を与え、遮水壁材料の改善及びその耐震評価において、低温域での力学特性の把握が重要な論点であることを指摘した。

第3章「アスファルト表面遮水壁材料の品質改善」では、まずアスファルトの粘弾性的性質や感温性に着目して、低温域での変形性能を改善した特殊改質アスファルトを開発し、その基本性状を明示した上で、BBR試験によりアスファルト単体の低温クリープ性能の改善効果を吟味した。次に、この特殊改質アスファルトを用いた混合物と、一般に使用される水密アスファルト混合物の曲げや引張・圧縮による変形性能を、温度及び载荷速度の依存性の観点から比較検討した。また、低温域でのひび割れ抵抗性や高温時の耐流動性、繰り返し载荷に伴う疲労損傷・破壊の進展等に関わる諸因子の分析と総括的な考察を行い、アスファルト遮水壁の構築や補強工事への適用性を論じた。

第4章「アスファルト表面遮水壁の耐震評価」では、実地震により被災・損傷したダム地震応答解析を行い、堤体内の加速度応答に基づいて円弧すべり破壊に対する安定性を吟味し、震度法による耐震設計の合理性について議論した。そして、表面遮水壁の損傷原因が堤体斜面（遮水壁）に沿う地震時の繰り返し変形であることを指摘し、遮水壁内に発生する動的ひずみに着目して、その最大値と静的な力学試験から得られる破断ひずみを単純比較する方法と、動的ひずみによる損傷度の累積値を指標とする破壊判定法を提示した。いずれの評価方法も速度依存性を考慮しているが、前者はひずみ速度を平均化する過程において安全側の処置が講じられるため、両評価は比較的一致した結果を得ることが判明した。また、この中で、設計上配慮すべき安全率について、限界状態設計法で使用される安全係数の概念が適用できることを指摘した。最後に、特殊改質アスファルト混合物を用いた遮水壁の耐震性に言及し、品質改善の有効性を確認した。

第5章「アスファルト表面遮水壁の設計・施工に対する提言」では、遮水壁を補修する場合の舗設断面の考え方や、塑性変形を伴う地震動に対する堤体及び遮水壁の耐震補強について二三議論し、品質改善型アスファルト混合物の製造及び施工法に関する問題点や施工時の留意事項について提言を加えた。

第6章「結論」では、前章までに議論した事項を項目毎に要約し、今後の問題点について言及した。

## 審査結果の要旨

我が国にアスファルト表面遮水壁工法が導入されてから約40年経過し、遮水壁の老朽化に対する補修が注視されるようになった。加えて、本論文で話題とした地震による損傷事例は国内外で殆ど報告がなく、遮水壁の耐震性向上が新たな課題として提起されている。この意味で、柔軟性に富むアスファルトの開発や舗装材料としての品質改善の取組みは、耐震補強の観点から今後広く議論の進展が期待される。また、本論文で提示した遮水壁の耐震評価の方法や改質混合物の施工法に関する幾つかの提言は、ダム等の水利構造物のみならず、産業廃棄物処理場など遮水性が強く求められる構造物の設計・施工の合理化・高度化にも大きく寄与するものと考えられる。

「公共事業はムダ」など土木関連の事業全般に逆風が吹き荒れる中で、特にダム事業は、環境破壊や水余り等の指摘を受けて新規の計画は殆どなく、今後は嵩上げ等の改築や補修工事が主体になるものと思われる。このような情勢の中で最も懸念されることは、「技術の伝承」であり、教育・研究に携わる者として、我々はこれまで蓄積された高度な専門知識や設計・施工技術を、あらゆる機会を通じて、風化させることなく、後世に伝えなければならない。この意味で、本論文では、現場技術者として設計業務に長年携わってきた中村吉男氏が、問題点の掘り起し、実験・解析の実施、結果の解釈と考察、実務への適用といった一連の研究作業の中で、常に技術者の立場・視点を踏まえて議論を行っており、貴重な伝承がなされたと考えている。

以上、本論文は、学術的にも、工学的にも高い価値を有し、地盤工学・ダム工学の各分野における技術、特に現場に直結する設計・施工技術の発展に寄与すること多大であり、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

(受理 平成23年3月28日)

## 博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Minoru Ueda

氏名 上田 実  
学位の種類 博士 (工学)  
学位記番号 博 甲 第36号  
学位授与 平成23年2月24日  
学位授与条件 学位規定第3条第3項該当  
論文題目 Advanced Flow-Based Analysis Utilizing Spectroscopy for Biological and Environmental Samples  
(生体及び環境試料分析のための高機能フロー分光法の開発)  
論文審査委員 (主査) 教授 酒井忠雄<sup>1</sup>  
(審査委員) 名誉教授 柘植 新<sup>2</sup> 教授 井上眞一<sup>1</sup> 准教授 手嶋紀雄<sup>1</sup>

### 論文内容の要旨

#### Advanced Flow-Based Analysis Utilizing Spectroscopy for Biological and Environmental Samples

(生体及び環境試料分析のための高機能フロー分光法の開発)

本研究は、生体及び環境試料のための高性能なフロー分光法を提案したものである。流れ分析法として、フローインジェクション分析 (FIA) 法とシーケンシャルインジェクション分析 (SIA) 法がよく知られ、実試料分析に導入されている。これらの手法はシステムが簡便で迅速な分析法であるが、高感度化、試薬低減化、完全自動化、オンライン前処理技術などを補う技術改革が望まれている。近年では、FIA及びSIAの機能をさらに高めるための新しい流れ分析の概念が多く提案されている。また、流れ分析の手法は固相抽出のような煩雑な前処理の自動化にも適している。本研究では、従来からの流れ分析法をさらに発展させた高機能・高性能なフロー分析システムを開発した。またチップ型分析システムによる分析システムの小型化を試みた。これらの研究成果を以下に述べる。

第1章は、全体の緒言である。FIA, SIA法の歴史的背景、ガス拡散スクラバー、FIA, SIA法の欠点とそれを補うための新しい流れ分析の概念、FIA, SIAによる前処理の自動化、グリーンケミストリーを指向した分析システムの小型化について述べた。

第2章では、新しく見出した硫酸ヒドロキシルアミンと鉄錯体を用いるホルムアルデヒド (HCHO)のFIA法について述べた。HCHOは硫酸ヒドロキシルアミンと脱水縮合することがすでに知られているが、ここに鉄(III)を加えると縮合反応後に残存するヒドロキシルアミンが鉄(III)を鉄(II)に定量的に還元し、還元された鉄(II)は適当な配位子が存在すると錯体を形成する。この錯体の吸光度からヒドロキシルアミンの減少量が測定できる。ヒドロキシルアミンの減少量はHCHOの濃度に比例するため、間接的にHCHOの定量が可能である。ここでは、この反応を利用したHCHOのFIA法を開発した。配位子にフェロジンをを用いることで高感度なホルムアルデヒドの分析が可能となった。本法は産業排水中のHCHOの分析に応用され、排水管理に有用である。

第3章では、ガス拡散スクラバーを用いる蛍光FIA法による呼気HCHOの分析と重力滴下蒸発法を用いる標準HCHOガス発生法について述べた。呼気HCHOはがんに対するバイオマーカーとして期待されるが、呼気HCHOを定量する高感度な分析法はほとんど報告されていない。ここでは、呼気HCHOをオンライン捕集するためのガス拡散スクラバーを備えた自動FIAシステムを開発した。また、システム校正のための標準ガスの新規な発生法も開発した。本法により微量の呼気HCHOの検出が可能となり、喫煙直後の呼気HCHOの濃度上昇と時間変動による減少が確認された。

第4章では、ストップト-イン-デュアルループフロー (SIDL-FA) 法によるバナジウムの高感度分析について述べた。通常、FIA法では、安定したベースラインを得るた

1 愛知工業大学 工学部 応用化学科 (豊田市)

2 名古屋大学 (名古屋市)