

技術論文

ため池堤体の耐震対策に貢献する鉄鋼材料を用いた補強技術

Seismic Reinforcement Methods for Small Earth Dams Using Steel-related Materials

昀山 嵩*	中山 裕章	山越 陽介	赤司 有三
Takashi MOMIYAMA	Hiroaki NAKAYAMA	Yousuke YAMAGOSHI	Yuzou AKASHI
吉原 健郎	奥田 洋一	乙志 和孝	及川 森
Kenrou YOSHIHARA	Youichi OKUDA	Kazutaka OTSUSHI	Shin OIKAWA

抄 録

近年、農業用ため池堤体の地震による被害が頻発しており、大規模な地震を考慮した堤体の改修・補強が重要性を増している。日本製鉄(株)では、當農活動を阻害することなく迅速に施工することが可能な鋼矢板や、鉄鋼製造工程の副産物であり遮水性に優れたスラグによるため池堤体の補強技術を開発した。本報告ではこれらの工法の概要、振動台実験やフィールド実験等の主要な研究成果、適用事例等について報告した。

Abstract

Recently, small earth dams for agricultural reservoirs have been frequently damaged by earthquakes, and thus the reinforcement of dam bodies has become paramount. Nippon Steel Corporation has been working on research and development of the seismic reinforcement methods using steel sheet piles or slags. This report presents the outline of methods, major research achievements such as shaking table tests and field experiments, and some application examples.

1. 緒 言

東日本大震災のような巨大地震の来襲や近年の豪雨激甚化の中で、全国の農業用ため池の堤体が決壊・損傷し人的被害や周辺施設の被災を引き起こしている。例えば、東日本大震災での4千箇所近くに及ぶため池の被災¹⁾、平成30年7月豪雨における西日本地域での28箇所のため池の決壊²⁾、令和元年東日本台風における東北から関東地方を中心にした131箇所のため池被災(決壊:14箇所、損傷:117箇所)等が報告されている³⁾。こうした中、国は、東日本大震災の教訓を踏まえたレベル2地震動に対する耐震照査方法等を追記した設計指針の改定⁴⁾、“防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法(令和2(2020)年10月1日施行)”の制定による集中的かつ計画的な防災工事の推進等を行っている⁵⁾。ため池堤体は、江戸時代以前から築造されたものも多く材質が劣化したり軟弱地盤上に構築されたまま放置され耐震性が現行基準に適合していなかったり、増築を重ねることで材質が異なる地層間の境界面が堤体横断方向に形成され豪雨時に浸透破壊が生じやすくなっていたりするなど、補修・補強が必要

な状況にあることが多い。一方で、ため池は農業や生活用水として必要不可欠な水資源をかかえていることから、堤体全体を補修するために長期間に亘り落水することができない制約があったり、山間部に設置される谷池においては、良質な地盤材料を確保することが難しい状況にあったりするなど、地域特性に応じた補修・補強工法が求められている。

このようなため池堤体の補修・補強工法として、日本製鉄(株)において鋼矢板工法ならびにスラグ工法の開発に取り組んでいる。鋼矢板工法は、堤体中央に鋼矢板壁を2列設置し強固なコア部を作ることで、地震や豪雨の被災を受けても堤体高さを保持することができ、堤体の決壊を抑止し貯留水の下流側への逸水を防ぐことができる工法である。鋼矢板工法は高知県や鳥取県で適用実績があり、落水せずに施工できることや、盛土に必要な土量確保、濁水による周辺海域への影響抑制、施工ヤードの確保、といった土工法では困難であった課題を解決できる利点から採用に至っている⁶⁾⁷⁾。スラグ工法は、ため池耐震対策工事で一般的に行われる前刃金工法において良質な刃金土が不足していることへの対処として、鉄鋼製造工程の副産物であるス

* 鉄鋼研究所 鋼構造研究部 鋼構造研究第一室 主任研究員 Ph.D. 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

ラグで代替する工法である。スラグは潜在水硬性により材齢に伴い強度が増加し透水係数が低下する性質があり、堤体のすべり破壊や浸透破壊対策に有効な材料である。

本報告では、鋼矢板工法とスラグ工法に関して、それぞれの特徴や狙いを示すとともに、有効性を検証した各種試験や現場での観測結果、適用事例などを紹介する。

2. 鋼矢板によるため池補強工法の研究開発

2.1 ため池への工法適用に関する課題

鋼矢板工法は海岸堤防を対象として設計法が確立されており、既に実用化されている⁹⁾。しかし、ため池では海岸堤防と異なり常に貯水が堤体に浸透して地下水面を形成しているため、地震時には地下水面以下の飽和域の強度低下により、堤体の法面（のりめん）のすべり破壊や堤体・基礎地盤の液状化が発生する可能性がある。

図1に、鋼矢板工法によるため池堤体の耐震補強効果の模式図を示す。鋼矢板は地盤の変形を抑制する高い曲げ剛性、堤体内の地下水位を低下させる遮水性を併せ持っており、鋼矢板工法はこれらの特性を活かして①堤体の天端から鋼矢板を跨いで法面にかかるすべり破壊の発生を防止する、②液状化に伴う堤体中央（コア部）の沈下量を許容沈下量以下に低減させる、といった性能を満足することが可能と考えられる。

しかし、鋼矢板工法に関してはため池堤体を対象とした既往研究は少なく、これらの補強効果が発揮されるかは不明であった。そこで、日本製鉄では高知大学、(株)エイト日本技術開発とともに、(1) 振動台模型実験による地震時の堤体・基礎地盤の破壊形態に対する鋼矢板の補強効果の検証、(2) 現場観測による鋼矢板が堤体内の地下水位に及ぼす影響の評価に取り組んだ。これらの取り組みを通じて、レベル2地震動を対象とした設計における解析評価に関して貯水をモデル化した手法を提案し、『鋼材によるため池堤体補強工法 設計の手引き（初版）』⁹⁾に成果を取り纏めた。

2.2 鋼矢板工法の研究開発成果

(1) 鋼矢板による堤体の耐震補強効果の検証

堤体のすべり破壊、堤体・基礎地盤の液状化に対する鋼矢板の補強効果の検証を目的として、重力場での振動台模型実験を実施した。図2に実験の様子を示す。

すべり破壊を対象とした Series A¹⁰⁾では、下流側の法面勾配が1:1.5と急勾配ですべり破壊が生じやすい堤体を模擬し、遮水シートを上流側法面に敷設したケースと鋼矢板で堤体を補強したケースを実施して、すべり破壊の発生有無を比較した。加振波形は高知県で想定される南海トラフ地震波形とした。液状化を対象とした Series B¹¹⁾では、基礎地盤に液状化層がある条件を対象として、無対策のケースと鋼矢板で堤体を補強したケースを実施し、液状化に伴う堤体の変形・沈下挙動を比較した。加振波形は最大加速

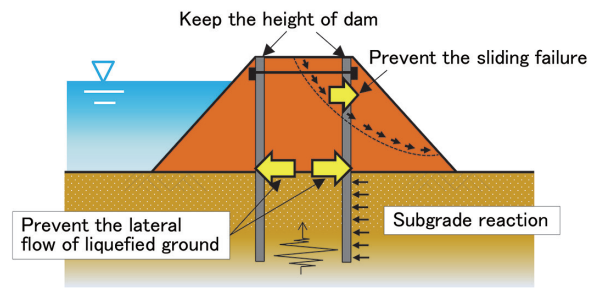


図1 鋼矢板工法によるため池堤体の耐震補強効果
Effectiveness of double sheet pile walls against earthquake

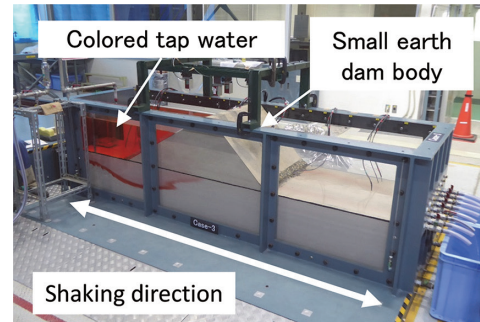


図2 振動台実験の様子
State of the shaking table test

度 6.0m/s²、周波数 5Hz、20 波の正弦波とした。

いずれのケースも幾何学的縮尺 $\lambda=1/35$ として、土槽内部に基礎地盤と堤体模型を作製し、水平方向に加振した。鋼矢板はハット形鋼矢板 25H～50H 相当の剛性を有する鋼板で模擬した。貯水は着色した水道水で模擬し、浸透状態が安定してから加振した。

図3^{10),11)}に加振後の堤体の残留変形状態を示す。Series Aでは、遮水シートを敷設したケースで堤体の天端から法面にかけてすべり破壊が発生したのに対して、鋼矢板工法で補強したケースではすべり破壊が発生しなかった。これは、鋼矢板のせん断剛性により鋼矢板を跨ぐすべり面の形成が抑制されたためと考えられる。Series Bでは、無対策のケースで液状化層の側方流動が生じて堤体が大きく沈下したのに対して、鋼矢板工法で補強したケースでは2列の鋼矢板壁とその間の地盤はほとんど変形せず、鋼矢板の沈下量は模型スケールで1mm未満となった。2列の鋼矢板壁間の地盤の流動を鋼矢板が拘束したことにより、堤体のコア部が安定したと考えられる。このように、鋼矢板工法により堤体を補強することで、厳しい加振条件においてもため池堤体の破壊が抑制されることが明らかになった。

(2) 鋼矢板工法の適用と現場観測による地下水位の評価

鋼矢板工法により補強された堤体内の地下水位を模型実験や数値解析により評価した既往研究¹²⁾は存在するものの、実際に鋼矢板工法が適用されたため池で地下水位が観測された事例はない。しかし、実際の施工現場では堤体の不均一性や底樋等の既設構造物の影響など、模型実験や

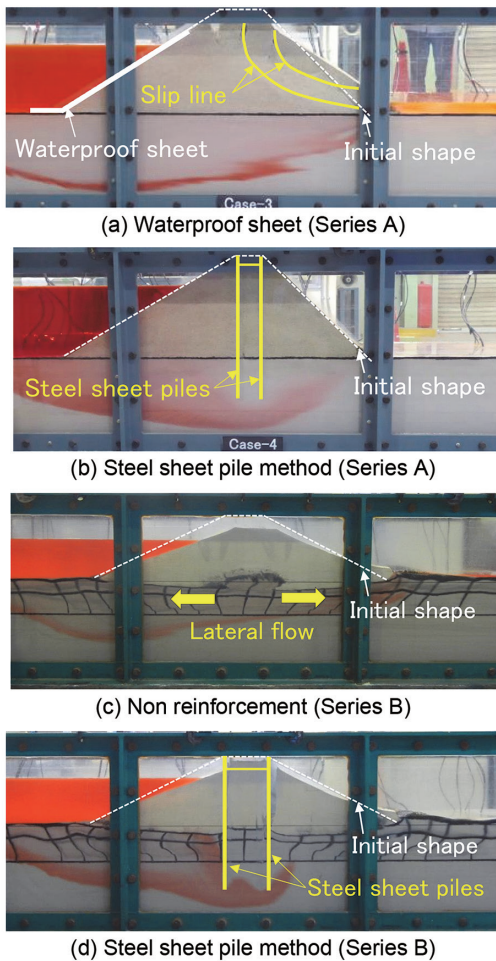


図3 加振実験後の堤体の残留変形状態^{10, 11)}
Deformation after shaking table tests^{10, 11)}

数値解析ではモデル化が困難な要因も存在する。さらに、谷池等で硬質な地盤に鋼矢板を打ち込む際はアースオーガーによる掘削を併用する場合もあり、鋼矢板下端からの漏水も懸念される。そこで、鋼矢板工法が適用されたため池において貯水位と地下水位の現場観測を行った^{13, 14)}。

観測対象としたため池は高知県の山間部に位置するため池で、堤高約15m、貯水量約20000tと比較的規模が大きく、防災重点ため池に指定されている。土工による補強も検討されたが、材料調達性の兼ね合いから鋼矢板工法が全国で初めて適用された。堤体は砂質土系で透水性が高く、下流側法面にはもたれ式擁壁が設置されている。堤体の中央(2列の鋼矢板壁間)と下流側にボーリング孔を設け、鋼矢板にガイド管を接合し、それらの内部に水位計を挿入して地下水位を計測した。図4に観測の様子を示す。

図5¹³⁾に、定常状態における地下水位の観測結果と、浸透流解析によって推定した鋼矢板打設前後の地下水位を示す。現場で観測された地下水位は、勾配は異なるものの、浸透流解析によって推定された鋼矢板打設後の地下水位と比較的近い値となった。また、観測された地下水位は、浸透流解析から推定した鋼矢板打設前の地下水位に比べて低い位置にあることから、鋼矢板の遮水性が発揮されて地



図4 現場観測の様子(下流法面のボーリング調査)
State of on-site observation

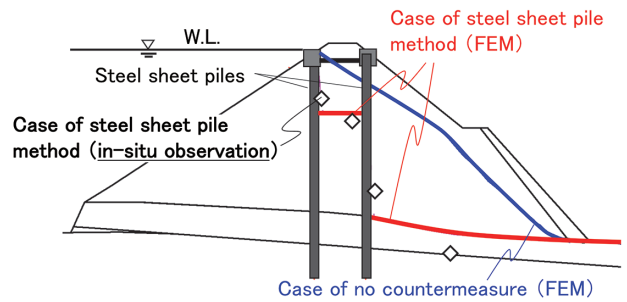


図5 地下水位の観測結果と浸透流解析結果¹³⁾
Groundwater levels assessed by numerical analysis and on-site observation¹³⁾

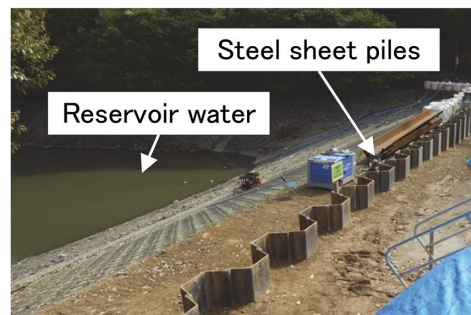


図6 鋼矢板工法の施工状況
Construction site where the steel sheet pile method was adopted

下水位が低下したと考えられる。この結果から、アースオーガーによる掘削の影響は小さく、実施工現場においても鋼矢板が遮水性を発揮し、地下水位低下に寄与したことが明らかとなった。また、貯水や堤体の地下水等を対象に水質調査を行い、貯水が鋼矢板下端を回り込んで漏水するような挙動が発生していないことも確認した。

2.3 鋼矢板工法の適用実績

鋼矢板工法は、前節で示したため池に2018年に全国で初めて適用され¹⁵⁾、それ以降も徐々に普及が進んでいる。これまでの適用実績の中には、図6のように落水せずに鋼矢板が施工された事例もあり、これまでは周辺の営農活動への影響から、落水して工事を行うこと自体が難しかったため池においても鋼矢板工法が適用可能であることが確認されている。

3. 鉄鋼スラグによるため池補強工法の研究開発

3.1 スラグ工法の概要とため池への適用に関する課題

ため池の堤体改修形式の内、最も一般的なのは前刃金工法である⁴⁾。ため池の耐震対策事業を進める上で、遮水性材料として用いられる良質な刃金土が不足していることが社会的課題となっている。一方、鉄鋼生産の副産物である鉄鋼スラグは生産量が豊富であり、これまで道路、港湾分野等で利用されてきたが、SDGsに貢献する有用資源としてさらなる利用拡大を進めている。例えば、高炉水砕や製鋼スラグの潜在水硬性を活かして開発された簡易舗装材“カタマ®SP(スペシャル)”は、防草対策や森林整備道等に活用されている¹⁶⁾。カタマ®SPの開発において、鉄鋼スラグの簡易舗装材としての研究開発段階で強度や固化機構は解明されているが、(1)長期的な潜在水硬性の特性(強度、透水性)、(2)盛土構造物としての特性、(3)刃金土代替として用いた場合のため池堤体の耐震性については解明されていない。日本製鉄は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構とともに(1)~(3)の技術的課題の解明に取り組んだので、その研究成果を次節以降に述べる。

3.2 スラグ工法の研究開発成果

(1) 長期的な潜在水硬性の特性(強度、透水性)

まず、鉄鋼スラグの長期的な強度および透水特性を解明するために、養生条件および養生期間を変化させて一軸圧縮試験ならびに透水試験を実施した。

材料は製鋼スラグおよび高炉水砕スラグを混合して製造(以下、混合スラグ材)した。使用した製鋼スラグはエージング処理されており、最大粒径は31.5mm以下である。鉄鋼スラグの最大乾燥密度は2.431g/cm³、最適含水比は8.0%である。養生条件の違いによる潜在水硬性の影響を解明するために、気中養生、散水養生、水中養生でそれぞれの試験を実施した。散水養生は3日ごとに水道水を供試体に通過させた。なお、供試体の乾燥密度は2.1g/cm³であり、締固め度は86%と緩めの条件で製作した。一軸圧縮試験の結果を図7¹⁷⁾に、透水試験の結果を図8¹⁷⁾に示す。気中養生において、供試体内部の水とスラグの化学反応による強度への影響は材齢56日まで、透水性への影響は材齢28日までであることが明らかとなった。散水養生および水中養生においては、材齢336日においても、供試体外部から水が供給されるため強度は増加し、透水係数が減少することが明らかとなった。

(2) 盛土構造物としての特性

次に混合スラグ材の盛土構造物等への適用性を検討するために、盛立試験を実施した。盛立試験の概要図を図9¹⁸⁾に示す。バックホー(クローラ型山積0.8m³)で最適含水比に調整して材料を撒き出し後、敷き均しを行い、振動ロー

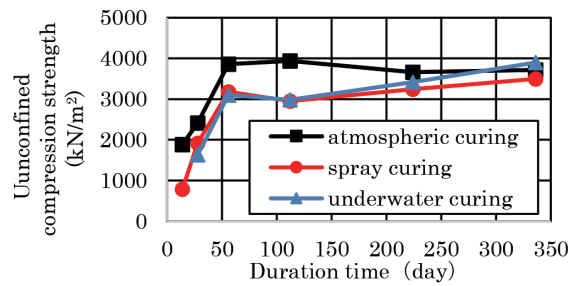


図7 一軸圧縮強度の経時変化¹⁷⁾

Time histories of unconfined compression strength¹⁷⁾

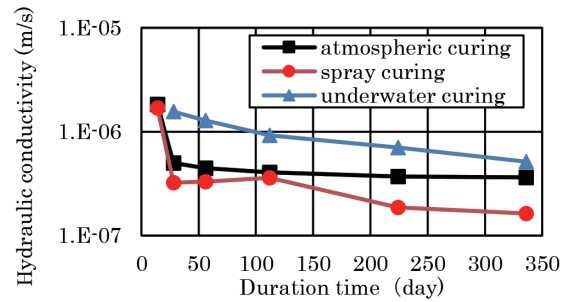


図8 透水係数の経時変化¹⁷⁾

Time histories of hydraulic conductivity¹⁷⁾

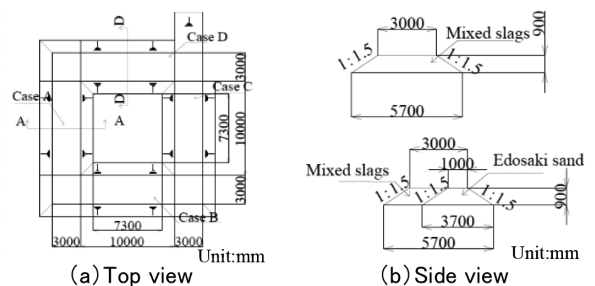


図9 盛立試験概要図¹⁸⁾

Outline drawing of banking test¹⁸⁾

ラ(4t)、ハンドガイドローラ(0.6t)、プレートコンパクターで締固めた。締固め後、蒸発、地中浸透を考慮して最適含水比+2%となるように散水を行った。1層あたりの仕上がり厚さは150mmである。盛立試験完了後、2週間養生させて水張試験を実施した。水張試験は水道水を一定量給水し、排水ポンプを使用して、天端から10cmの高さで水位が一定となるようにした。

各ケースの2、4、6層目における現場密度試験結果を表1¹⁸⁾に示す。すべてのケースで締固め度が90%以上であり、簡易舗装材の施工方法と同様に盛土を築堤した場合も容易に施工可能であることがわかる。図10¹⁸⁾に各ケースの透水係数の経時変化を示す。材齢の増加に伴い、すべてのケースにおいて透水係数が減少する。初期の材齢2週と8週を比較すると、1オーダー程度透水係数が減少する。これは、スラグの潜在水硬性によって生成されたケイ酸カルシウム水和物や炭酸塩がスラグの間隙を充填するためであると考えられる。図11¹⁸⁾に原水と貯水のpHの経時変化を示す。

表 1 現場密度試験結果¹⁸⁾
Field density test results¹⁸⁾

	Rolling times	Banking materials	Degree of compaction (%)			
			2 layers	4 layers	6 layers	Avg.
Case A	4	Mixed slags	94.6	92.8	98.9	95.4
Case B	2	Mixed slags	94.2	94.8	92.3	93.8
Case C	6	Mixed slags	96.2	94.6	92.2	94.3
Case D	4	Mixed slags Edosaki sand	93.7	97.5	99.8	97.0

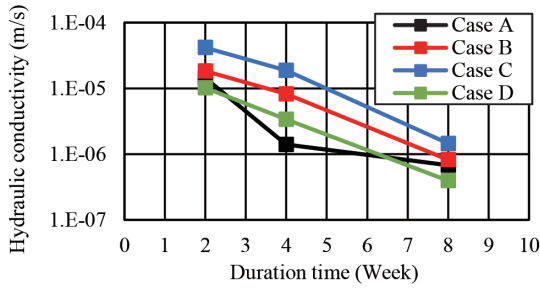


図 10 透水係数の経時変化¹⁸⁾
Time histories of hydraulic conductivity¹⁸⁾

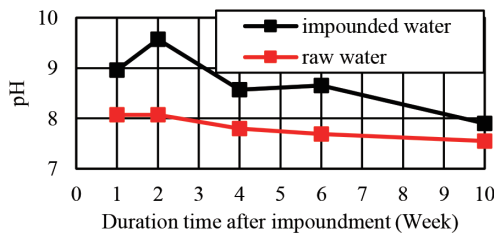


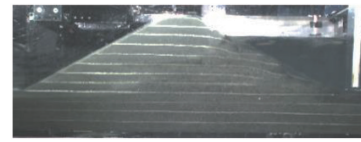
図 11 pHの経時変化¹⁸⁾
Time histories of pH¹⁸⁾

貯水後初期において原水より貯水の pH は 1 以上の差が生じていたが、貯水後の経過時間の増加に伴い貯水と原水間の pH の差が減少する。これはスラッグの潜在水硬性の発現によってアルカリイオンが溶出することに起因するが、時間の経過に伴いスラッグ外部へのアルカリイオンの溶出量が減少していることを示唆している。

これらの試験結果から、混合スラッグ材による盛土の築堤の施工性は高いこと、潜在水硬性が発揮されること、貯水への pH の影響が小さいことが明らかとなった。

(3) 刃金土代替として用いた場合の堤体の耐震性

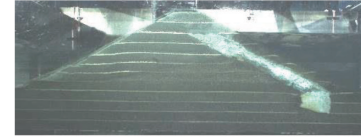
最後に、混合スラッグ材を刃金土の代替品として用いた場合のため池堤体の耐震性を解明するために遠心載荷実験を実施した。本実験は 40G の遠心場で実施した。土槽はアルミ製で幅 1.35m × 高さ 0.45m × 奥行 0.40m である。地盤材料ならびに堤体材料として浅間砂を使用し、刃金土として笠間土ならびに混合スラッグ材を使用した。入力波形は愛知県西尾市の南海トラフ波形の東西成分を用いた。図 12¹⁹⁾ に実験終了後の各モデルの断面状況を示す。無対策の



(a) Non reinforcement

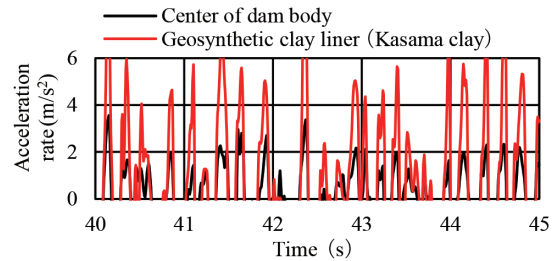


(b) Geosynthetic clay liner (Kasama clay)

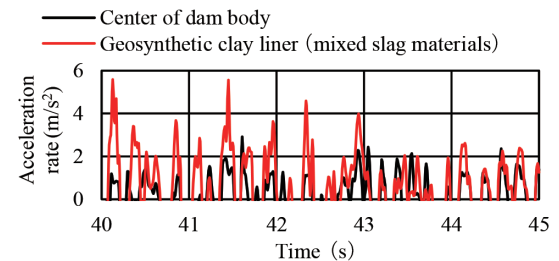


(c) Geosynthetic clay liner (mixed slag materials)

図 12 実験終了後の堤体模型¹⁹⁾
Deformation after shaking table tests¹⁹⁾



(a) Geosynthetic clay liner (Kasama clay)



(b) Geosynthetic clay liner (mixed slag materials)

図 13 加速度応答¹⁹⁾
Time histories of response accelerations¹⁹⁾

ケースでは、上流法面においてすべり破壊が発生し、法面中腹ではらみ出しが発生している。一方、前刃金工法（笠間土）のケースでは、上流法面表層で浅い崩壊が発生しているが、天端の沈下やすべり破壊は発生していない。前刃金工法（混合スラッグ材）においても、前刃金工法（笠間土）と同様の結果が得られた。図 13¹⁹⁾ に前刃金工法（笠間土）および前刃金工法（混合スラッグ材）の堤体中央部と刃金土部の加速度応答を示す。前刃金工法（笠間土）では堤体中央部と刃金土部で加速度応答の位相差が小さい。前刃金工法（混合スラッグ材）の場合においても同様の傾向が得られたことから、地震時において混合スラッグ材はさや土と一体的に振動していることがわかる。

実験結果から、刃金土として混合スラッグ材を用いた場合、無対策と比較して加振時の堤体の変形が抑制され、刃金土

とさや土は一体的に挙動しており、有効な耐震対策工法であることが明らかとなった。

3.3 まとめ

上述の実験室試験の結果から、3.2節の技術的課題を解明し、混合スラグ材を傾斜遮水ゾーン型の刃金土代替材として利用できる可能性が示された。今後の課題として、既存ため池での試験等により、実機での適用性を確認していくことが挙げられる。

4. 結 言

本報告では、ため池の耐震補強対策として、鋼矢板工法ならびにスラグ工法の有効性を示す検証結果や、各工法の特性に応じた適用箇所などを紹介した。鋼矢板工法においては、高知大学との共同研究を通じて耐震設計の手引きを取り纏めており⁹⁾、広く鋼矢板工法が全国に認知され耐震対策として貢献できるよう実現場への適用を進めている。

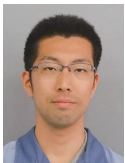
ため池補強に関する国の指針“ため池整備”では、2016年の改定時に、堤体が決壊した際の下流への影響を十分考慮することの必要性が記載され、下流への影響度合いに応じた新たなため池の重要度区分が設定された⁴⁾。堤体下流に人命・財産やライフラインへの影響が極めて大きい主要道路・鉄道・住宅等がある場合は、最も重要なAA種に指定されており、レベル2地震動に遭遇した場合でも、限定された損傷にとどめることが要求されている。下流側への影響という観点からは、地震による堤体決壊だけでなく、豪雨時における堤体の浸透破壊や、降雨浸透に伴う法面のすべり破壊、越流による法面浸食が起点となる堤体の決壊などへの対策が重要である。国としても、現場ニーズに対応した研究開発の推進として、2021～2025年の5か年計画で“ため池の適正な維持管理に向けた機能診断および補修・補強評価技術の開発”を立ち上げ、地震時のみならず豪雨時も含めた安全性能確保を目指した補修・補強工法の評価技術を開発していく方針としている²⁰⁾。今回紹介した日本製鉄が開発を推進している2つの工法は、豪雨対策としても有望である。鋼矢板工法は、鋼矢板壁の設置により堤体内の浸透流を遮断でき、かつ降雨浸透や越流により法面が損傷しても2重の鋼矢板壁に囲まれた堤体中心部が堤体高さを保持でき破堤を回避できる。スラグ工法は、遮水性の高い材料で堤体を補強することで浸透破壊やすべり破壊を抑止できる。国との連携も図りながらこれらの工法の公的認知化を進め、耐震および豪雨対策に適用できるため池の補修・補強工法として、国土強靱化に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 農林水産省：ため池 (https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/)
- 2) 農林水産省：平成30年7月豪雨（西日本豪雨等）による農地・農業用施設等の被災状況等（平成30年8月1日現在）、2018.8
- 3) 農林水産省：令和元年東日本台風（台風第19号）等に係る被害情報、(<https://www.maff.go.jp/j/saigai/typhoon/191011/index.html>)、2021.2
- 4) 農林水産省：土地改良事業設計指針「ため池整備」、2015.5
- 5) 農林水産省：防災重点農業用ため池に係る防災工事等基本指針。令和2年農林水産省告示第1845号、2020
- 6) 井上隆司：二重鋼矢板工法を用いた六丁池改修工事。水土の知、88(10)、846-847(2020.10)
- 7) 木村洋介：二重式鋼矢板工法によるため池耐震対策工法の検討。水土の知、89(11)、880-881(2021.11)
- 8) 国立大学法人高知大学、(株)技研製作所、新日鐵住金(株)：二重鋼矢板・鋼管杭堤防補強工法の耐震・耐津波設計の手引き。初版、2016
- 9) 国立大学法人高知大学、日本製鉄(株)、(株)エイト日本技術開発：鋼材によるため池堤体補強工法 設計の手引き。初版、2021.8
- 10) 初山嵩 ほか：振動台鋼材によるため池堤の耐震補強効果の検証—その2 振動台模型実験による鋼矢板補強効果の検証—、地盤工学会四国支部平成30年度技術研究発表会講演概要集、2018、p.83-84
- 11) 初山嵩、妙中真治、原忠、棚谷南海彦：鋼矢板によるため池堤体の耐震補強工法に関する研究—振動台模型実験による液状化に対する鋼矢板の補強効果の検証—。農業農村工学会論文集、88(1)、I_47-I_58(2020)
- 12) 家坂佑希 ほか：鋼矢板による強化堤体の浸透抵抗性能に関する模型実験と数値解析、第46回地盤工学研究発表会講演集、2011、p.537-538
- 13) 初山嵩 ほか：鋼矢板の遮水性によるため池堤体への貯水の浸透抑制効果、令和3年度地盤工学会四国支部技術研究発表会講演概要集、2021、p.11-12
- 14) 初山嵩 ほか：鋼矢板により補強されたため池堤防の地下水位分布の調査、第56回地盤工学研究発表会予稿集、12-7-5-06、2021
- 15) 日本経済新聞：ため池耐震化、全国初工法 高知、災害対策に期待(2018年10月25日)、2018
- 16) 柏原司 ほか：環境調和型“簡易舗装材‘カタマ® SP(スペシャル)’”の開発。新日鐵住金技報、(399)、26-35(2014)
- 17) 泉明良、赤司有三、山越陽介：製鋼スラグと高炉水砕スラグ混合材料の長期的な強度および透水特性、第54回地盤工学研究発表会予稿集、2019、p.419-420
- 18) 泉明良、赤司有三、山越陽介：製鋼スラグと高炉水砕スラグ混合材料の盛立試験による施工性に関する検討、創立90周年記念第68回農業農村工学会大会講演会講演要旨集、2019、p.422-423
- 19) 泉明良、赤司有三、山越陽介：製鋼スラグと高炉水砕スラ

グ混合材料を用いたため池堤体の耐震性に関する遠心荷
模型実験, 第 69 回農業農村工学会大会講演会講演要旨集,
2020, p.505-506

- 20) 農林水産省:令和3年度 農林水産研究推進事業委託プロジェ
クト研究について, ([https://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/
2021/project_2021.html](https://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/2021/project_2021.html))



初山 嵩 Takashi MOMIYAMA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第一室 主任研究員 Ph.D.
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



吉原健郎 Kenrou YOSHIHARA
大阪支社 建材開発技術室 課長



中山裕章 Hiroaki NAKAYAMA
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 上席主幹 Ph.D.



奥田洋一 Youichi OKUDA
日鉄諮詢(北京)有限公司 (上海分公司)
上席主幹



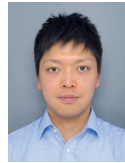
山越陽介 Yousuke YAMAGOSHI
スラグ事業・資源化推進部
スラグ営業室 主幹



乙志和孝 Kazutaka OTSUSHI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 課長 博士(工学)



赤司有三 Yuzou AKASHI
スラグ事業・資源化推進部
スラグ営業室 部長代理 博士(工学)



及川 森 Shin OIKAWA
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 主査