

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 17 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380145

研究課題名（和文） 農業用水路トンネルの機能保全対策に関する研究

研究課題名（英文） Studies on Preventive Maintenance of Irrigation Canal Tunnels

研究代表者

長束 勇 (NATSUKA ISAMU)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：90379694

研究成果の概要（和文）：農業用水路トンネルの機能保全対策に関して、次の研究成果を得た。
 ①農業水利ストック情報データベースに収録されているデータに基づいて、水路トンネルの健全度と変状進行の関係を明らかにした。②試作した分割エアバック載荷装置を用いて、水路トンネルのひび割れ発生メカニズムを解明した。③発泡ウレタンを用いた裏込め注入工法を開発した。④FRP グリッドを用いた内面補強工法を開発した。⑤現地載荷試験により破壊解析の適用性を検討した。

研究成果の概要（英文）：The following study results were obtained for the preventive maintenance of irrigation canal tunnels. ① The relation between a safety level and a strange degree was clarified based on the data collected to the irrigation facilities stock information data base. ② The cracking mechanism in irrigation tunnel wall was clarified with the testing set that applied load by air backing divided into some. ③ The repair construction method of irrigation tunnel using the foaming urethane was developed. ④ The inside reinforcement method of irrigation tunnel using the FRP grid was developed. ⑤ The applicability of the destructive physical analysis was examined by the examination that applied load on the site.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,900,000	3,270,000	14,170,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水利施設・補修補強・機能保全・破壊解析

1. 研究開始当初の背景

国営土地改良事業などにより建造された膨大な基幹的農業水利施設は、国民への安定的な食料供給機能や、国土保全機能に代表される多面的機能を有する社会基盤ストックを形成している。これら農業水利施設は、高

度経済成長期に集中して整備されたため、その多くは集中的に寿命を迎えることが予測されている。しかし、現状の厳しい社会経済状況においては、莫大な費用を要する施設の改築といった従来手法で対応することは困難である。そこで、ストックマネジメント（施

設の機能診断に基づく機能保全対策の実施を通じて、既存施設の有効活用や施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減するための技術体系とその経営管理手法の総称)の考え方に基づいて、その重要度に応じて適切に機能を回復する新たな予防保全対策を定め、将来の施設の更新時期を分散させるとともに、社会基盤ストックとしての農業水利施設の機能を確実に次世代へと継承しなければならない。このような考え方を基本として、さらには、これまでに取得した研究成果を踏まえ、食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会検討部会(部会委員長:青山, 委員:長束, 緒方ら)が平成19年3月に取りまとめた「農業水利施設の機能保全の手引き」では、基幹的農業水利施設のうちの農業用開水路のフルーム(コンクリート水路)について、そのストックマネジメントのあり方を示した(その後、同検討部会では、農業用管水路(パイプライン)について検討を行い、農業用水路トンネルについては、平成23年度に着手した)。

平成15年3月時点で農村振興局が調査した基幹水利施設(農業用排水のための利用に供される施設であって、その受益農地面積が100ha以上のもの)に関する調査結果によると、農業用水路トンネルの総延長は2,025kmとなっている。施設管理者である土地改良区などの依頼を受けてこれまでに調査した農業用水路トンネルでも、側壁におけるクラックの発生、底盤の摩耗など、補修や補強が必要と考えられる変状が多く発生している。当然のことながら、道路施設、鉄道施設などの農業水利施設以外の分野においては、トンネルに対して実用の域にある補修・補強技術が存在する。しかし、農業用水路トンネルに発生している変状は、農業水利施設特有の変状であり、農業水利施設以外の分野の補修・補強工法を採用するのは不合理・不経済と考えられる。

2. 研究の目的

農業用水路トンネルに発生している変状が農業水利施設特有の変状である根源は、通水量を流下できる最小断面が最適設計断面とされたため、道路施設、鉄道施設などのトンネルに比べてトンネル断面が極めて小さいこと、交通規制により変状調査や補修・補強工事が可能な道路施設、鉄道施設のトンネルと異なり、地域の上水道施設と共同利用されることが多いことから通水中または極めて限定された短時間に調査や工事を行う必要があること、土砂を含む流水による摩耗を常に受ける過酷な条件下にあることなどである。なお、トンネル断面が極めて小さいということは、人力施工(矢板工法で施工)さ

れたトンネルがほぼ全てであり、かつ、当時の裏込め充填の施工技術水準では十分なグラウチングが不能でトンネル天端背面に空洞が残され、トンネルの設計理論(外周から均一な垂直荷重が作用することを前提として、覆工内に引張応力が発生しないように設計する理論)通りの施工が不可能であったと考えられる。

そこで、本研究では、次の事項についての検討を進め、それらを総括することで、現存する農業用水路トンネルの安全な有効活用を実現するための補修・補強技術の体系化を図ることとした。

- (1) 変状発生要因: これまでに得た知見や現地踏査データを整理しながら必要に応じ補足調査を行い、農業用水路トンネルに発生している変状を、想定される変状発生の要因(素因・誘因)により分類する。
- (2) 合理的な補修・補強工法の選定: 要因別に変状の程度と水路トンネルに要求される性能、変状の進行予測に基づいて、合理的な補修・補強工法の選定を行う。
- (3) 新工法の開発: 合理的な補修・補強工法が現存しないものについては、新工法を開発し提案する。
- (4) 補修・補強工法の評価: 提案した新工法を含め、採用した補修・補強工法の施工後の安全性能向上効果を評価する。

3. 研究の方法

- (1) 変状発生要因: 行政部局が収集している既設水路トンネルに関する変状情報を入手し、統計的なデータ分析を行った。
- (2) 合理的な補修・補強工法の選定: 全国各地における水路トンネル現地踏査やトンネル天端覆工背面調査などから、トンネルの形式と天端覆工背面の空洞状況に応じた補修・補強工法の選定が必要であると想定された。そこで、標準馬蹄形とほろ形のトンネルを模した供試体を作製し、図1に示す分割エアバック載荷装置(試作)を用いて破壊試験を行った。

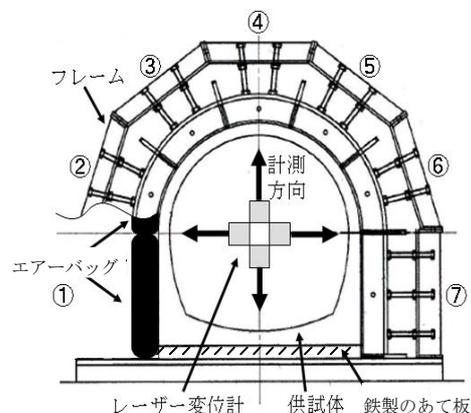


図1 分割エアバック載荷装置

(3) 新工法の開発：空洞充填材として発泡倍率の異なる発泡ウレタンを取り上げ、発泡倍率の相違による補強効果の大きさを荷重装置により検討した。また、ほろ形のトンネルについては、FRP グリッドによる内面補強工法について検討した。

(4) 補修・補強工法の評価：現地実トンネルにおける荷重試験や分割エアバック荷重装置を用いた室内試験と合わせて、破壊解析プログラムによる数値解析実験を行った。

4. 研究成果

次の各項目に分類した場合の主要な成果は、以下のとおりである。

(1) 総論

①水利構造物の補修・補強を考えるにあたり、その前提となるストックマネジメントについて、長束の私見を述べるとともに、長束のまわりで行われているミクロなマネジメントに関する“性能”をキーワードとした研究開発の一端を紹介した。トンネルの補修・補強工法に関しては、分割エアバック荷重装置を制御して種々の背面空洞の異なる状況を再現した一連の模型実験の結果を紹介した。

②農業水利施設の機能に応じた改修・更新事業の展開を図る際における「農業水利施設の耐用年数」と「農業水利施設の機能補修」の考え方について、緒方の私見を交えながら概説した。

(2) データ分析による水路トンネルの健全度評価と変状進行予測

農業水利ストック情報データベースに収録されているデータに基づき、水路トンネルの健全度評価と変状進行予測に関する検討を行った。S-1 から S-5 の 5 段階の健全度指標に基づく分析の結果、S-3、S-2 と健全度が小さくなるほど外部要因を影響因子とする件数が多くなること、特に S-3 についてはその経時的な変状進行傾向を見いだすことができた。

(3) 水路トンネルのひび割れ発生メカニズムの解明

天端覆工背面に存在する空洞に起因して発生するひび割れのメカニズムを解明するため、試作した分割エアバック荷重装置を用いて、縮尺 1/4 程度のトンネル模型の破壊実験を行った。その結果、天端覆工背面に空洞が存在しない場合は、分割エアバック荷重装置の限界荷重圧力である 0.25MPa まで昇圧しても、何らひび割れは発生しなかった。一方、天端覆工背面に空洞が存在する場合は、覆工は変形してスプリングライン付近にひび割れが発生し、覆工の耐荷力を低下させることがわかった（図 2 を参照）。また、ひび割れが存在する供試体を用いて裏込め充填状況を擬似再現した結果、適切に裏込めを行

うことで、ひび割れが生じた状態でも構造的に安定することが示唆された。

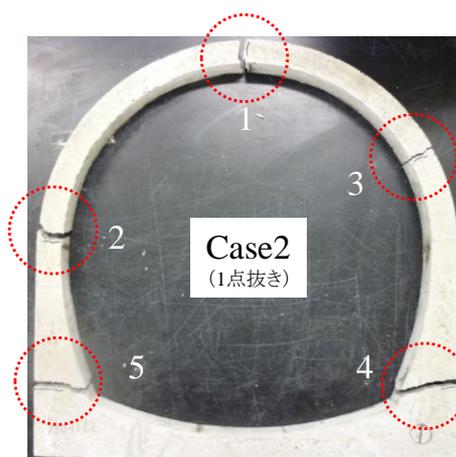


図 2 天端覆工背面に空洞が存在する場合における荷重に伴うひび割れ発生状況

(4) 偏圧荷重、変形覆工断面における変状様態の把握

分割エアバック荷重装置を用いて模型供試体に偏圧を加えることによって、偏圧を受けたトンネルの変状様態を検討した。その結果、荷重の作用位置や荷重範囲によってひび割れ発生位置や変形挙動、変位量が異なり、また覆工は側方荷重に弱く、さらにひび割れ発生により覆工の剛性が大きく失われることが示唆された。一方、設計で意図した巻厚よりも側壁下部が厚く膨れた変形覆工断面のトンネルと通常形状覆工断面のトンネルとの比較荷重試験を行った結果、変位の挙動はほぼ同様であるが変位量は異なること、その裏込め充填工法において裏込めを行う範囲が狭い場合は変形したトンネルでは効果が発揮されにくいこと、が示唆された。

(5) 発泡ウレタンによる裏込め注入工法の開発

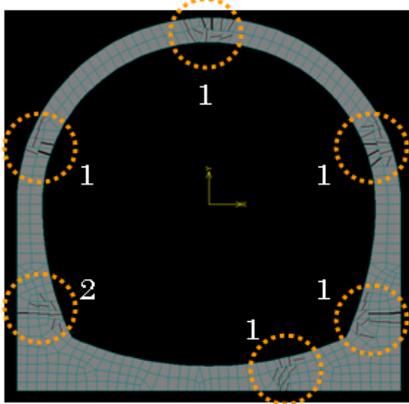
裏込め充填材としての発泡ウレタンの補強効果を室内模型実験によって検討した。その結果、馬蹄形、ほろ形の両断面形ともに補強効果が得られること、発泡倍率が異なる場合、40 倍発泡<30 倍発泡<20 倍発泡と、発泡倍率が小さい方がより大きな補強効果が発揮されること、がわかった。

(6) FRP グリッドによる内面補強工法の開発

覆工天端背面に空洞が存在する状況のほろ型トンネルにおける FRP グリッドによる内面補強効果について検討した。その状況を再現した荷重試験を実施した結果、無補強供試体に比べ、補強供試体は最初にひび割れが発生する荷重や耐荷力を失う荷重が大きくなり、補強効果は十分に得られることが示唆された。また、覆工天端背面の空洞が小さい条件下や補強範囲を広げた場合の補強効果は、より大きくなることが明らかとなった。

(7) 現地載荷試験に基づく破壊解析

ひび割れの原因が空洞による不適切な荷重であるならば、空洞を充填して荷重を作用させて応力状態を改善することが可能である。しかし、充填に用いる材料の性質や充填圧の大きさによっては、効果が得られないだけでなく、覆工の状態を悪化させる危険性もある。適切な充填圧は覆工の状態だけでなく、覆工背面からの荷重の大きさに影響を受けると推察される。そこで、アーチ背面に多数の空洞が確認されている九州局管内地区の水路トンネルを対象として、トンネル上部からの載荷試験を実施した。そして得られた結果と数値解析（先に述べた分割エアバッグ載荷装置を用いた実験結果との対比により挙動の再現性を確認している破壊解析プログラムを使用した。図3に示す解析結果を図2の載荷試験結果と比較されたい。）の結果を比較することによって、覆工基礎の支持条件



と、地盤反力係数の大きさを推定した。

図3 天端覆工背面に空洞が存在する場合における載荷に伴うひび割れ発生状況（解析）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 長束 勇, 村尾弘道, 水路トンネルのひび割れ発生メカニズムとその補強工法—ダムにおけるコンクリート構造物の機能保全対策に関する研究—, 平成23年度農業ダム保全管理技術検討調査業務（農業用ダムに関する技術課題の研究）報告書, 査読無, 2012, pp. 243-253
- ② S. Sato, Y. Masuma, Y. Hasegawa, I. Natsuka, S. Aoyama, K. Yokoi, DEVELOPMENT ON SPECIFIC EVALUATION TECHNIQUE FOR THE PREDICTION OF NEUTRALIZATION OF CONCRETE, Proceedings of the 36th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 査読有, Vol. XXX, 2011, pp. 373-380

〔学会発表〕（計12件）

- ① 松本拓, 鹿野雅博, 董会, 村尾弘道, 長束 勇, ほろ形水路トンネルにおけるひび割れ発生機構とその対策工法, 平成23年度第8回土木学会中国支部島根会研究・事例報告会, 2012年1月16日, 島根県民会館
- ② 村尾弘道, 董会, 鹿野雅博, 松本拓, 長束 勇, 発泡ウレタンによる裏込め注入工法疑似試験, 平成23年度第8回土木学会中国支部島根会研究・事例報告会, 2012年1月16日, 島根県民会館
- ③ 村尾弘道, 董会, 鹿野雅博, 松本拓, 長束 勇, 小俣富士夫, 谷口硯士, 内山純一, ホロ型トンネルにおけるFRPグリッドを用いた内面補強の効果の検討, 平成23年度第66回農業農村工学会中国四国支部講演会, 2011年10月20日, 高知市文化プラザ
- ④ 村尾弘道, 董会, 土屋拓万, 長束 勇, 偏圧が作用した農業用水路トンネルの変状メカニズムの検討, 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス
- ⑤ 青山威康, 大川栄二, 吉岡 敦, 小浪岳治, 菊池信夫, 水路トンネル裏込め充填材としての硬質ウレタンフォームの材料力学挙動, 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス
- ⑥ 緒方英彦, 農業水利施設の機能に応じた改修・更新事業の展開, 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス
- ⑦ 泉 義孝, 安達理沙, 邱 愷豊, 土屋拓万, 村尾弘道, 董会, 長束 勇, 実際の覆工断面を考慮した農業用水路トンネルの変状メカニズムの解明, 平成22年度第7回土木学会中国支部島根会研究・事例報告会, 2011年1月14日, 島根県民会館
- ⑧ 村尾弘道, 董会, 土屋拓万, 泉 義孝, 長束 勇, 平成22年度第65回農業農村工学会中国四国支部講演会, 2010年10月27日, 山口県教育会館
- ⑨ 石井将幸, 長束 勇, 円城寺将貴, 上見謙太, 載荷試験と数値解析による土砂トンネル背面の地盤反力係数の同定, 平成22年度第65回農業農村工学会中国四国支部講演会, 2010年10月27日, 山口県教育会館
- ⑩ 村尾弘道, 土屋拓万, 董会, 長束 勇, 石井将幸, 農業用水路トンネルのひび割れ発生メカニズムの解明とその補強工法, 平成22年度農業農村工学会大会講演会, 2010年9月2日, 神戸大学鶴甲第1キャンパス
- ⑪ 村尾弘道, 景山浩樹, 新田秀明, 長束 勇, 土屋拓万, 農業用水路トンネルのひび割れ発生機構の解明と補強工法の検討, 平成21年度第6回土木学会中国支部島根会研究・事例報告会, 2010年1月8日, 島根県民会館

- ⑫土屋拓万, 長束 勇, 石井将幸, 景山浩樹,
新田秀明, 村尾弘道, 董会, 分割エアバ
ッグ載荷装置を用いた水路トンネルひび
割れ発生メカニズムの検討, 平成 21 年度
第 64 回農業農村工学会中国四国支部講演
会, 2009 年 10 月 28 日, 徳島県郷土文化会
館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長束 勇 (NATUKA ISAMU)
島根大学・生物資源科学部・教授
研究者番号: 90379694

(2) 研究分担者

石井 将幸 (ISHII MASAYUKI)
島根大学・生物資源科学部・准教授
研究者番号: 50293965
緒方 英彦 (OGATA HIDEHIKO)
鳥取大学・農学部・准教授
研究者番号: 90304203
佐藤 周之 (SATO SHUSHI)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 90403873
青山 咸康 (AOYAMA SHIGEYASU)
石川県立大学・生物資源環境学部・教授
研究者番号: 20026561