

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06302

研究課題名（和文）農業用水路の長寿命化とライフサイクルコスト低減を実現する目地充填工法の開発

研究課題名（英文）Development of a joint filling method for extending the service life of irrigation canals and reducing lifecycle costs

研究代表者

森 丈久（Mori, Takehisa）

石川県立大学・生物資源環境学部・教授

研究者番号：10502841

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：農業用水路で使用されている従来の弾性シーリング材が抱える課題を解決できる新たな高耐久性弾性シーリング材を開発した。開発したシーリング材は、0℃の低温下でも常温下と変わらない速さで硬化し、従来品よりも水圧による変形が小さい、水路との付着力を維持できる期間が従来品の5倍以上である、35年暴露相当の紫外線照射でも変状が発生しない優れた性能を有していることを確認した。また、農業用水路での使用に適した弾性シーリング材の開発に必要な性能評価試験方法として、低温硬化性や若材齢時の止水性の確認試験、水中耐久性試験、温水浸漬劣化促進試験に引張冷却と伸縮疲労を組み合わせた複合劣化促進試験を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業用水路の目地材に用いられる弾性シーリング材は、施工後すぐに膨れや剥がれなどの不具合が発生することが多く、目地の不具合が原因で発生する漏水により、農作業や作物の生育に悪影響を与えている。本研究では、従来品が抱えていた低温下での硬化が遅く、数年程度の使用で剥がれるといった弱点を克服できる高耐久性の弾性シーリング材を開発するとともに、農業用水路での使用に適した弾性シーリング材の開発に必要な新たな性能評価試験方法を提案することができた。本研究の成果により農業用水路の長寿命化が図られ、国内農業生産の維持に貢献できるものである。

研究成果の概要（英文）：We developed a new highly durable elastic sealant that can solve the problems of conventional elastic sealants used in irrigation canals. The developed sealant has the following excellent properties: 1) It hardens at a low temperature of 0℃ at the same speed as at room temperature and is less deformed by water pressure than conventional types. 2) Adhesion can be maintained for 5 times longer than the conventional type. 3) Does not deteriorate even under UV irradiation equivalent to outdoor exposure for 35 years. As performance evaluation test methods necessary for the development of elastic sealants suitable for use in irrigation canals, we proposed tests to confirmation test of low-temperature curing properties of sealants and water stoppage at early age of sealants, durability test in water, and composite accelerated deterioration test by combining tensile cooling and stretching fatigue with hot water immersion accelerated deterioration test.

研究分野：農業農村工学

キーワード：農業用水路 シーリング材 低温硬化性 引張強度 耐候性 耐水性 剥離抵抗性 目地伸縮

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農業用コンクリート水路に一定間隔で設けられた目地には、漏水を防止するためゴム製品等の目地材が取り付けられている。プレキャストコンクリート水路の目地材施工や、設置済み目地材の欠損などの補修工法として目地充填工法がある。この工法は、目地材に弾性シーリング材を用いるため施工が簡易で低コストであるという利点があるが、長期間にわたる水没、太陽光による紫外線と熱、前面および背面から作用する水圧、目地部の伸縮繰り返し作用、流水や流水中の土砂による摩耗、による影響を受けるという過酷な環境下での使用を想定しておらず、目地材にひび割れや剥離が発生するなどの耐久性上の課題がある。これらの原因としては、従来の弾性シーリング材は低温下での硬化速度が遅く、一般的な地盤埋込式の農業用水路のように背面からの浸透水がある場合には、弾性シーリング材が所要の強度を発現する前に水圧を受けてしまい、膨れや剥離が発生していることが考えられる。しかし、農業用水路の補修工法に関するマニュアルで規定されている弾性シーリング材の性能評価試験方法のほとんどは、建築用弾性シーリング材の性能評価試験方法をそのまま適用したものであり、農業用水路特有の施工環境や供用環境を踏まえたものとはなっていない。このため、マニュアルどおりに性能評価試験を行い、マニュアルに規定された規格値をクリアしたとしても、実際の施工現場では早期に不具合が発生した事例が多く存在する。このため、早急に農業用水路での使用に適した弾性シーリング材を開発し、農業用水路での施工環境や供用環境を適切に反映させた新たな性能評価試験方法を提案することができれば、「低コストで高耐久」という理想的な目地補修工法として農業用水路の長寿命化に大きく貢献できる。

2. 研究の目的

農業用水路で使用されている従来品の弾性シーリング材が抱える低温硬化性や水中での長期耐久性等の課題を解決できる新たな高耐久性弾性シーリング材を開発する。また、農業用水路でのシーリング材の施工環境や使用環境に適した弾性シーリング材の開発に必要な性能評価試験方法を考案する。

3. 研究の方法

(1) 目地充填工法に用いる高耐久性弾性シーリング材の開発

農業用水路用目地充填工法に用いる弾性シーリング材として、耐水性や耐候性に優れるシリコン系シーリング材に目を付け、既存のシリコン系シーリング材の弱点であるコンクリートとの付着性能を改善した3成分形シリコン系シーリング材を試作する。試作したシーリング材に対し、農業用水路における弾性シーリング材の施工環境や施工後の使用環境を考慮した新たな性能評価試験方法で評価試験を行い、要求性能を満たしていることを確認する。

(2) 農業用水路用シーリング材の新たな性能評価試験方法の考案

従来の弾性シーリング材は、低温下での硬化速度が遅いことによる初期欠陥の発生や、長期間の水中環境や紫外線による劣化の発生が見られた。そこで、弾性シーリング材の施工時の環境条件(低温、水路背面からの湧水等)や施工後の農業用水路での使用環境(長期間の水没、紫外線、背面水圧、伸縮繰り返し、流水の作用等)を考慮した試験方法を検討する。具体的には、低温下での硬化速度や強度発現状況の確認試験、若材齢時に背面水圧を作用させる耐水圧試験、最長1年間の水中浸漬による水中耐久性試験、温水浸漬による劣化促進試験、温水浸漬直後の供試体に引張冷却と伸縮疲労を負荷する複合劣化促進試験、耐候性試験を実施する。これらの試験結果から、実際の農業用水路で発生が確認された変状を再現できた試験条件を取りまとめ、新たな性能評価試験方法とする。

4. 研究成果

(1) 目地充填工法に用いる高耐久性弾性シーリング材の開発

目地充填工法に用いる目地材として、3成分形シリコン系シーリング材を試作し、各種条件で従来品のシーリング材との性能比較試験を行った。

試作した3成分形シリコン系シーリング材(SR-3)、従来品の1成分形ポリウレタン系シーリング材(PU-1)、1成分形シリコン系シーリング材(SR-1)、2成分形ポリウレタン系シーリング材(PU-2)、2成分形シリコン系シーリング材(SR-2)を対象に硬化確認試験を行った結果、従来品のシーリング材では、低温条件下で硬化速度が低下し、23と0で1~2週間程度、強度発現に時間差があるが、開発したSR-3は低温下でも強度発現に差がないことが分かった。この結果、目地充填工法の標準的な施工断面(幅15~30mm、深さ10~20mm)に対し、SR-3は1日で完全硬化するが、PU-1は完全硬化するまで2週間~1ヶ月以上、SR-1は1ヶ月~2ヶ月程度の期間を要すると考えられた。また、この試験に用いたシーリング材の硬化速度を比較するとSR-3>PU-2>SR-2>PU-1>SR-1の順で硬化が速く、開発したSR-3が23および0の温度条件で最も硬化速度が速い結果となった。

PU-1、SR-1、PU-2、SR-2、SR-3を対象にした材齢1日、3日および7日での耐水圧試験の結果、いずれのシーリング材においても各材齢で0.02MPa程度の水圧が作用しても膨れが生じる

のみであり、破断や漏水といった変状は発生しないことが分かった。しかし、0.02 MPa よりも高い水圧になると、材齢 1 日では、PU-1、SR-1、SR-2 は局所的な風船状の膨れが発生しやすくなり、PU-2 は風船状の膨れがなくても破断しやすくなることが分かった。また、材齢 3 日では、0.1 MPa の水圧作用で PU-1 と SR-1 は風船状の膨れが生じて破断しやすくなることが分かった。一方、3 日間加圧を継続すると、各シーリング材の膨れは増加する傾向にあり、特に低モジュラスで伸び率が高い材料は、膨れの増加率が大きいことが分かった。開発した SR-3 は材齢 1 日でも風船状の膨れや破断といった変状はなく、各材齢で他のシーリング材よりも膨れが小さいことから、水圧による変形に対して抵抗性が高いことが分かった。

PU-1、SR-1、PU-2、SR-2、SR-3 に従来品の 1 成分形変成シリコン系 (MS-1)、2 成分形変成シリコン系 (MS-2) を加えたシーリング材を対象にした耐水性試験の結果、MS-1 と MS-2 の変成シリコン系シーリング材は、長期間の水中浸漬で吸水率が大きくなり、他の材料よりも耐水性に劣ることが分かった。特に MS-1 は吸水率が 20% 以上、体積膨張率が 30% 以上と吸水率がかなり大きいことが確認された。なお、SR-3 の吸水率は 3% 以下であった。

PU-1、SR-1、MS-1、PU-2、MS-2、SR-2、SR-3 を対象に、最大 1 年間の水中浸漬後に引張試験 (ダンベル供試体) および引張接着性試験 (ISO 形モルタル被着供試体) を行った。引張試験の結果、SR-3 は 50%モジュラスが増加したが、その他のシーリング材はすべて低下した。

引張接着性試験後の供試体の破壊形態については、MS-1、PU-1、PU-2 は水中浸漬時間の経過にともなって界面破壊となり、364 日浸漬後の MS-1 と PU-2 の破断面には全体的に水が確認される状態となっていたことから、水の浸入により付着性の低下が大きくなったと考えられる。MS-2 と SR-1 も同様に、水中浸漬日数が長くなるにつれて薄層破壊あるいは薄層破壊と界面破壊が混在する状態に変化した。SR-3 は、他の材料と比較して水中浸漬後も長期間にわたって凝集破壊 100%が維持されていた。

PU-1、SR-1、SR-3 を対象に、H 形モルタル被着体で作製した供試体を用いて温水浸漬による劣化促進試験を行った。試験の結果、PU-1 と SR-1 は、浸漬期間が長くなると性能保持率が低下しており、水温が高くなるほど低下の度合いも大きくなった。他方、SR-3 は、浸漬期間の経過による性能保持率の低下傾向はほとんど認められず、高温下でも PU-1 や SR-1 のような性能保持率の大幅な低下は見られなかった。このことから、SR-3 は長期間水中に曝されても劣化の進行が少なく、耐水性に優れていることが分かった。

温水浸漬直後の供試体に引張冷却と伸縮疲労を付加する複合劣化促進試験を実施し、水中浸漬によるシーリング材の劣化と剥離の関係性を確認した。その結果、PU-1 は、60、2 ヶ月の浸漬条件で伸縮疲労試験中に剥離が発生した。また、SR-1 は 60、1 ヶ月の浸漬条件で引張冷却中に剥離が発生した。他方、SR-3 は、60、3 ヶ月の浸漬条件でも伸縮疲労試験後の剥離は発生しなかった。また、PU-1 と SR-1 の供試体は、いずれもモルタルとの接着界面付近でシーリング材が剥離していた。剥離が発生した PU-1 と SR-1 は、いずれも 60 引張強度保持率 (PU-1 は浸漬 2 ヶ月、SR-1 は浸漬 1 ヶ月) が 20%程度まで低下していた。これらのことから、温水浸漬劣化促進試験により引張強度保持率が 20%程度まで大幅に低下すると、シーリング材の接着界面付近において剥離を生じることが分かった。

これらの結果から、水路目地におけるシーリング材の剥離現象は、水中浸漬によりコンクリート中の水分とアルカリ成分がシーリング材との接着界面に浸透したため、接着界面付近のシーリング材の引張特性が著しく低下 (劣化) し、そこに目地部の伸縮が作用することにより発生すると推察された。また、SR-3 は 60、15 ヶ月の温水浸漬条件 (PU-1 や SR-1 と比較して、5 倍以上の浸漬期間) でも引張強度保持率の低下がほとんど見られないことから、引張強度保持率 20%で剥離が発生すると仮定すると、PU-1 や SR-1 の 5 倍以上の耐水・耐久性を有していると推察された。

さらに、SR-3 に対してメタルハライド試験機による耐候性試験を実施した結果、SR-3 は屋外暴露 35 年相当の紫外線照射時間でもひび割れを生じないことが確認できた。

以上の結果から、目標とする高耐久性弾性シーリング材が開発できたといえる。

(2) 農業用水路用シーリング材の新たな性能評価試験方法の提案

目地充填工法に用いる高耐久性弾性シーリング材の開発に当たり、農業用水路でのシーリング材の施工環境や使用環境を考慮した性能評価試験方法を試行し、現地水路で確認されたシーリング材の変状を再現できた試験方法を基に、農業用水路用シーリング材の性能評価試験方法として以下の内容を提案した。

低温下での引張接着性試験：低温下での強度発現状況を確認するための試験として、0 で 28 日間養生後に JIS A 1439 の引張接着性試験を実施する。

内部硬化性試験：低温下でのシーリング材の硬化性を確認するための試験として、23 および 0 の温度条件で 14 日および 28 日養生後の内部硬化深さを確認する。

止水性試験：若材齢時に水路で背面水圧を受ける場合を想定し、材齢 1 日、3 日、7 日で水圧 0.1 MPa を 3 分間保持 (短期高圧条件)、水圧 0.02MPa を 7 日間保持 (長期低圧条件) の耐水圧試験を実施し、水圧による膨れや破断を確認する。

水中耐久性試験：従来試験の水中浸漬 28 日を超える日数 (最長 1 年) の水中浸漬後に引張接着性試験を実施し、強度低下率や破壊形態を確認するとともに、吸水率や供試体の寸法変化の確認を行う。

温水浸漬劣化促進試験：常温での水中浸漬よりも短期間で劣化を促進させるため、40℃、60℃、80℃の温水に浸漬させた後に引張接着性試験を実施し、付着性能の変化を確認する。

複合劣化促進試験：60℃温水浸漬直後の供試体に引張冷却（変形率+30%、-10℃で1日と+5℃で水中5日を1サイクルとし、2サイクル実施）と伸縮疲労（変形率±30%、23℃、5回/分で2000回）を組み合わせを行った後に引張接着性試験を実施し、シーリング材の剥離抵抗性を確認する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松田 展也, 森 丈久	4. 巻 313
2. 論文標題 農業用水路用シーリング材の長期水中耐久性評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 11_49 - 11_58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.89.11_85	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森 丈久	4. 巻 101
2. 論文標題 水路目地充填工法に用いられるシーリング材の耐久性評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JAGREE	6. 最初と最後の頁 56 - 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田 展也, 森 丈久	4. 巻 311
2. 論文標題 若材齢時に背面水圧が作用する農業用水路用シーリング材の止水性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 49 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.89.11_85	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西谷啓太郎, 上條達幸, 松田展也, 森 丈久
2. 発表標題 水路目地シーリング材の耐水寿命評価法の検討
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部第78回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田展也, 森丈久
2. 発表標題 農業用水路用シーリング材の水中耐久性評価
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部第77回研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関