

令和 4 年 5 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22603

研究課題名(和文)開水路の伸縮挙動を再現した水中疲労試験による目地補修材の接着耐久性の解明

研究課題名(英文) Adhesive durability of joint repair materials by underwater fatigue test that reproduces the expansion and contraction behavior of open channels

研究代表者

森 充広 (MORI, Mitsuhiro)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・グループ長

研究者番号：70414456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート開水路の目地補修に利用されるシーリング材を対象として、開水路の伸縮挙動を模擬した水中環境下での疲労試験装置を試作し、シリコン、変成シリコン、ポリウレタンを主成分とした3種類のシーリング材の接着耐久性を評価した。目地幅12mmに成型したシーリング材を、(1) 気中環境、(2) 水中浸漬後の気中環境、(3) 水中環境において $\pm 3\text{mm}$ ($\pm 25\%$)、0.2Hzで伸縮させ、1回目の伸縮時の圧縮、引張力を初期値としたときの保持率を繰り返し回数(対数プロット)ごとに計測した結果、開発した水中疲労試験(3)では、(1)と(2)と比較すると、より少ない繰り返し回数で保持率が低下することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農林水産省が監修している「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案)」には、シーリング材の品質規格として、水中浸漬後の気中環境での繰り返し試験が規定されている。本研究で試行した水中疲労試験は、水中浸漬後の気中環境下での試験よりも早期にはく離を発生させることができることから、水中における接着耐久性の新たな照査手法としての活用や、新材料開発時の接着耐久性確認方法として利用できると考えている。

研究成果の概要(英文)：The new fatigue test simulating the expansion and contraction behavior of an open channel was conducted for sealants used for joint repair of a concrete open channel. The adhesive durability of three types sealants was evaluated in this fatigue test. The sealant molded to a joint width of 12 mm was expanded and contracted at $\pm 3\text{ mm}$ ($\pm 25\%$) and 0.1 Hz in (1) aerial environment, (2) aerial environment after immersion in water, and (3) underwater environment. The initial values were the compression and tensile force during the first expansion and contraction. The retention rate was defined as the value obtained by dividing the compression and tensile force measured for each number of repetitions (logarithmic plot) by the initial value. As a result, in the developed underwater fatigue test (3), it was shown that the retention rate decreased with a smaller number of repetitions compared to (1) and (2).

研究分野：施設機能工学

キーワード：コンクリート開水路 目地 シーリング材 接着耐久性 疲労試験

1. 研究開始当初の背景

土地改良区や農家が自ら補修した開水路の不具合に関するアンケート調査では、第一位：目地損傷 62%、第二位：ひび割れ 15%となっており、目地の劣化が農業者にとって極めて重大な課題と認識されている。劣化した目地の直営補修では、従来からセメント充填による補修が行われてきた。セメントによる補修は安価ではあるが、目地の伸縮挙動に追従できず、すぐにひび割れてしまうという欠点があった。近年、多面的機能支払交付金により、農家が直営で小規模水路の補修を行う取り組みが進められている。この取り組みでは、開水路の目地補修材として、硬化しても伸縮性に富むシーリング材が推奨されている。シーリング材は、もともと住宅の外壁などに利用されてきた止水材であり、主に建築分野において、紫外線劣化に対する耐久性向上に関する研究など、材料開発とともに耐久性に関する研究が行われてきた。

開水路は、住宅の外壁などのように、時折雨水が作用するような湿潤の環境ではなく、かんがい期間中、常時水面下にある。また、目地間隔が9~15mと、住宅の外壁と比較すると長スパンであるため、躯体が熱膨張係数に応じて伸縮挙動し、その挙動が目地に集中する。シーリング材は、非常に弾性に富む材料であり、その伸び能力からすれば、開水路の伸縮挙動には十分追従できる材料である。また、水中に存在する場合、紫外線による材料自体の劣化は考えられない。このため、水中では、むしろ耐久性は向上すると考えられていた。しかし、開水路への施工後早期に、特に水中部において目地補修材がはく離する事例が多数見られる(図1)。このことから、水中においてコンクリートとシーリング材との接着面に繰り返しの伸縮挙動(疲労)が作用していることがはく離の主たる原因ではないかと考えた。

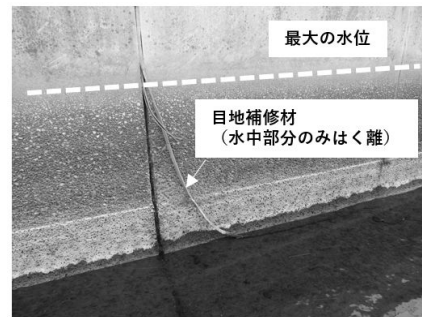


図1 目地補修材はく離の例

2. 研究の目的

本研究の目的は、開水路の環境を模擬した「水中疲労試験」を確立し、水中環境下での伸縮挙動がシーリング材の接着耐久性に与える影響を解明することである。シーリング材とコンクリートとの接着耐久性を確認するため、「JIS A 1439 建築用シーリング材の試験方法」による評価が行われている。この試験は、農林水産省の「開水路補修補強マニュアル」の目地補修材の品質規格のベースとなっているが、水中での伸縮挙動による疲労劣化については考慮されていない。「水中」と「疲労」という2つの劣化外力を同時に作用させて評価する試験は、実環境を忠実に再現する画期的な試験であり、新規性を有する。このような試験により開水路目地補修材の接着耐久性を評価できる手法が開発できれば、農家が直営で行う開水路目地補修に適切なシーリング材を評価できる。さらに、水中での伸縮疲労による材料自体の特異な変質など新たな知見が得られる可能性があり、今後の材料開発にも展開できる。

3. 研究の方法

(1)水中疲労試験装置の試作

試作した試験装置の概要を図2に示す。油圧制御式の疲労試験機の治具取り付け部全体を直径280mm、高さ320mmの円筒形アクリル水槽で囲い、その中に一定温度の水を循環させる仕組みとした。循環水量は約15L/minである。

(2)試験方法

被着体に厚さ 3mm のアルミ板や厚さ 10mm のモルタル板を用いた供試体（シーリング材の寸法幅 12×厚さ 12×長さ 50mm，図 3）を作製し， $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ の恒温で養生後，本装置による疲労試験を実施した。試験では，シーリング材の厚さ 12mm の 25% に相当する $\pm 3\text{mm}$ の変位を速度 0.2Hz で与えた。試験は，気中，水中，水中浸漬 28 日後以降に気中試験，の 3 パターンで実施した。供試体数は，水中疲労試験 3 供試体，それ以外は 4 供試体である。繰り返し回数は最大 45,000 回とした。

(3)供試体

供試体には，市販の 1 液型シーリング材 3 種類を用いた。以下，材料 A，B，C とする。このうち，材料 A，B については，上述の試験，， を実施し，材料 C については，， のみ実施した。試験は，供試体作製後 28 日以上養生した後に実施した。ただし，1 供試体の疲労試験に時間を要するため，養生期間は供試体ごとに異なっている。

(4)採取したデータ

所定の回数毎に伸縮挙動中の変位および作用荷重を記録した。

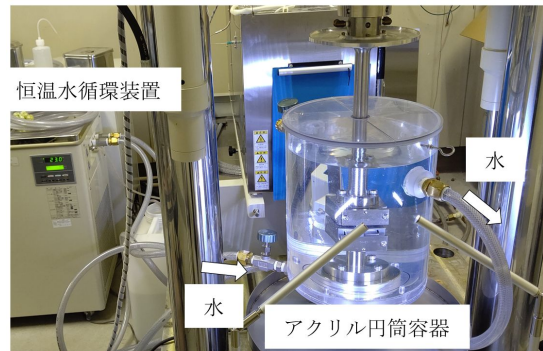


図 2 試験装置の概要

4. 研究成果

(1) 作用させた変位における応答荷重

伸縮試験は，変位制御で行った。気中試験における荷重変位関係を図 4 に示す。この結果は，材料 A を対象として実施した気中試験の結果の一例である。図中の矢印及び番号は，1 回の伸縮サイクルの変位過程を示している。荷重は圧縮を負として表示している。1 回目の伸縮時は，引張時に 104N，圧縮時に 452N が発生しているが，30,000 回の時点では引張時に 71N，圧縮時に 295N と低下している。このように，伸縮回数に応じてシーリング材が軟化したことから，本研究では 1 回目の引張力，圧縮力を初期値とし，伸縮を繰り返す毎にこの引張力，圧縮力がどの程度保持されるかという保持率をひとつの指標とすることとした。引張力保持率の低下は，伸縮挙動にシーリング材が対応できず，接着力が失われることを意味すると仮定した。

(2) 気中，水中，水中浸漬後の試験の結果の比較

材料 A

材料 A について，横軸を伸縮繰り返し回数

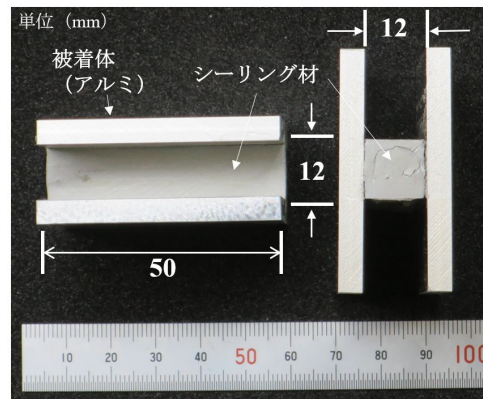


図 3 供試体の寸法

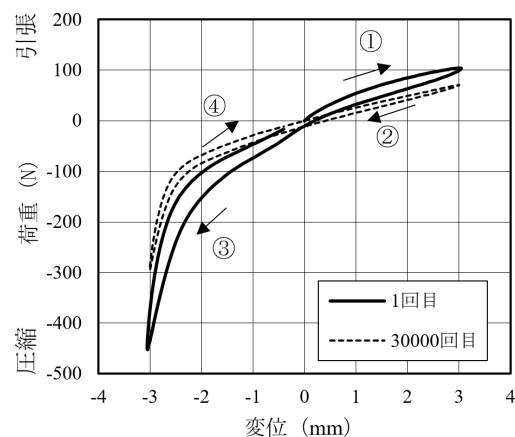


図 4 荷重 - 変位の例

(対数)とし、縦軸を1回目の伸縮において発生する圧縮力と引張力を初期値としたときの引張力及び圧縮力の保持率としたときの変化を図5、図6に示す。被着体はすべてアルミである。気中試験や水中浸漬後の気中試験と比較すると、今回試行した水中疲労試験は、引張力、圧縮力保持率ともに低下した。また、気中試験では疲労試験中はく離は見られなかった。水中浸漬後の1つの供試体では、早期にはく離が発生した。これらに対し、水中疲労試験では、完全にはく離したものはなかったが、保持率の低下に伴い、目視でもアルミとの接着界面にはく離現象が確認され、1,000回を超えたあたりで急激に保持率が低下した。

材料B

材料Bに関する実験結果を図7、図8に示す。材料Bについても、水中疲労試験で保持率が低下しやすい傾向が確認された。

一方、圧縮力保持率のグラフで、繰り返し回数1,000回を超えたあたりから、保持率が上下する傾向が見られるが、この要因としては、圧縮力を保持するために治具に細工をしている「くさび」が徐々に緩んでくることの原因と考えている。図9に今回使用した試験装置の治具を示す。左が正面からの写真、右がその横断図である。被着体であるアルミ板やモルタル板の厚みにばらつきがあるため、シーリング材を固定する治具の上のつかみ治具の上側、下のつかみ治具の下側には、一定勾配の傾斜があり、その勾配に沿ってスペーサーをくさびのようにスライド挿入し、ボルトで固定することによって、付着体が動かないようにしている。例えば、供試体が圧縮されたときには、

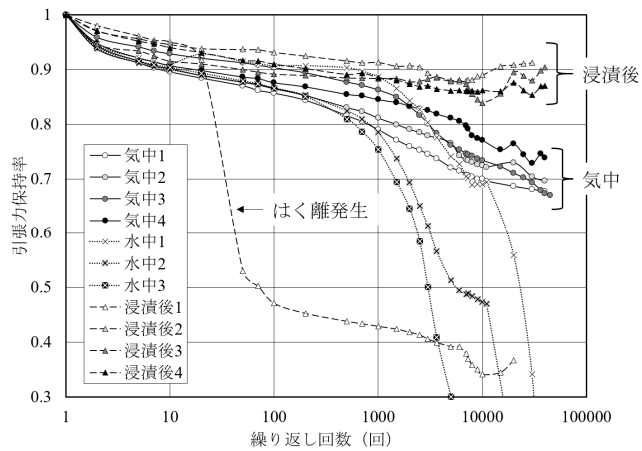


図5 引張力保持率 (材料A)

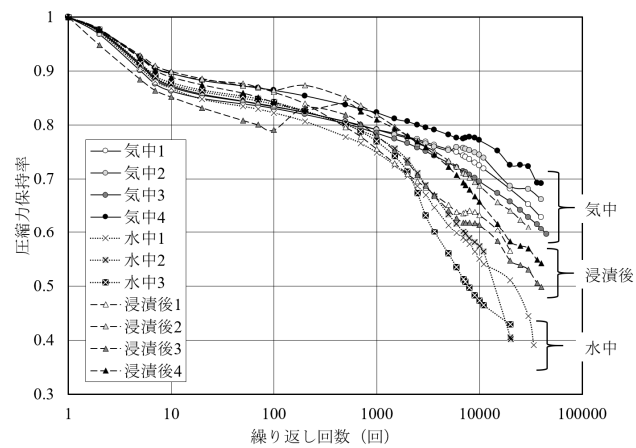


図6 圧縮力保持率 (材料A)

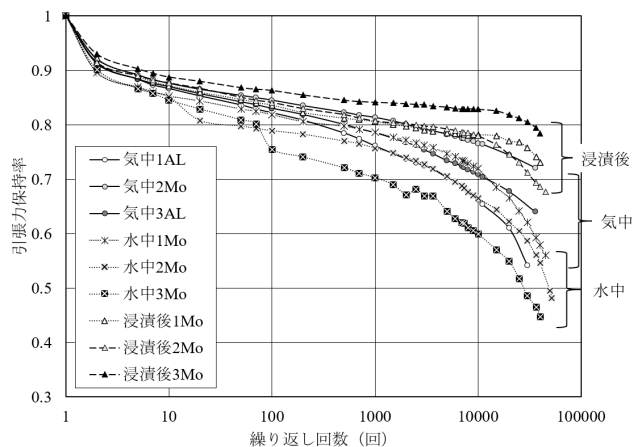


図7 引張力保持率 (材料B)

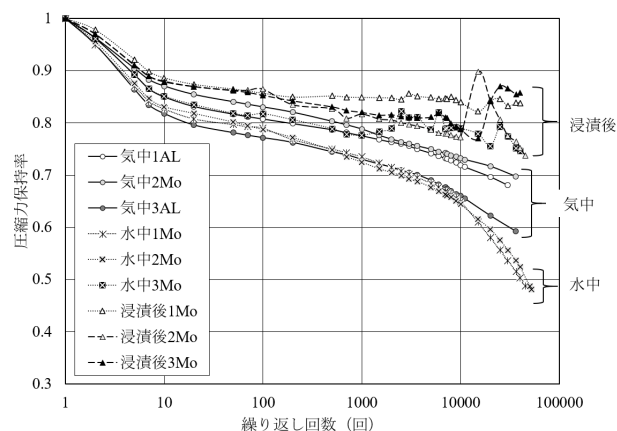


図8 圧縮力保持率 (材料B)

黒矢印に示すようにくさびが外側に押し出されるように挙動する。試験中、ボルトの固定力が十分でない場合もあり、このときには、ボルトが自然に回転し、スペーサーが外れた。今後は、このボルト部分を回転しにくくするために、スプリングワッシャーを入れるなどの工夫を検討している。

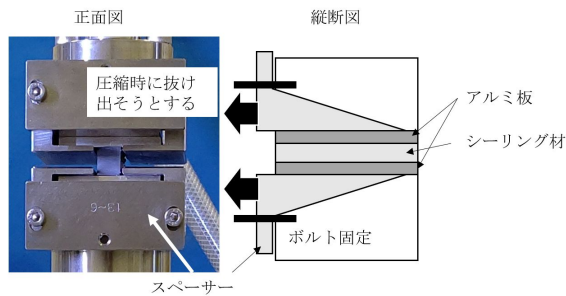


図9 治具固定方法

材料C

材料Bに関する実験結果を図10, 図11に示す。図10では、被着体をアルミ板とした水中試験で、繰り返し回数100回を超えた時点から上昇し、その後下降するという形状が見られたが、被着体をモルタルとして場合には、材料A, Bと同様であった。途中で保持率が回復した原因は不明である。図11の圧縮力保持率に関しては、気中よりも水中での疲労試験の方が繰り返し回数10,000回以上では保持率が低下している傾向が見られた。

(3) 今後の課題

今後の課題としては、試験時の治具のゆるみの解消と、試験後の供試体の評価である。治具のゆるみについては、先述した。今回の試験では、疲労試験機の試験ストロークが

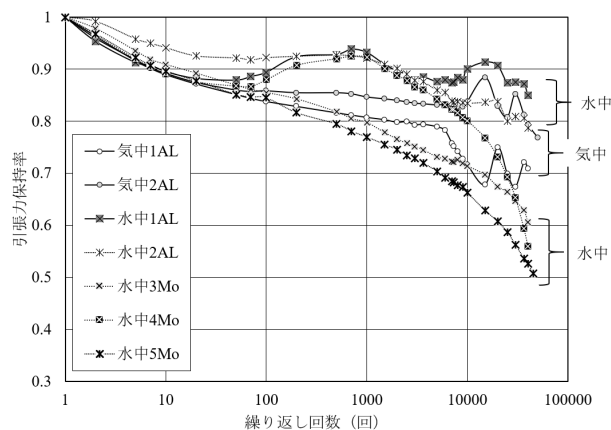


図10 引張力保持率 (材料C)

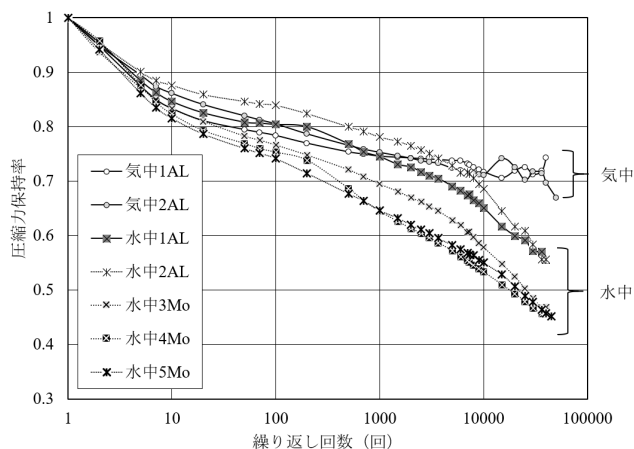


図11 圧縮力保持率 (材料C)

100mmであったため、伸び能力の高い今回の3材料では、接着力を測定できなかった。本研究費により、試験後の接着力を別の試験機で測定するための治具を製作できたため、各種疲労試験後に接着力を計測できるようになった。今後は、保持率に加え、繰り返し回数終了後に接着力試験を行うことで、疲労環境と接着力との関連を整理したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森充広
2. 発表標題 水中疲労試験による目地補修材の接着耐久性照査
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2022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
---------	---------