

ジオメンブレンを活用した補修工法の 用水路伸縮挙動への追従性評価

石神暁郎¹・渡嘉敷勝²・長束勇³・高橋晃⁴・森充広⁵・増川晋⁶・中矢哲郎⁷

農業用水路では、近年、漏水防止などを目的とした種々の補修工法の開発・適用が進められている。しかし、温度変化による水路躯体の伸縮挙動に補修材料が追従できず、ひび割れなどの再損傷を生じる事例が多くみられる。筆者らは、遮水性能に優れるジオメンブレンを活用した補修工法を開発した。本報では、ジオメンブレンの促進耐候性、耐水圧性、耐薬品性、加熱劣化、耐熱性および耐寒性などの各種曝露条件における劣化を想定した促進劣化試験を行った後に引張試験および伸縮繰返し試験を実施し、外観変化および物性値の保持性を確認することにより伸縮挙動への追従性を評価した。その結果、開発した補修工法で用いるジオメンブレンは、各種曝露条件における劣化を受け難く、伸縮挙動への追従性に優れることが確認された。

キーワード：ジオメンブレン、農業用水路、補修、促進劣化試験、追従性評価

1. はじめに

農業用水路では、水路躯体自体の強度は健全に保持されているものの、通水表面において摩耗・侵食が進行し、局部的な穿孔に至り漏水を生じている事例や、ブロック積水路の継目部や水路目地などから漏水を生じている事例などが多くみられる。農業用水路における漏水は、水路の水利用機能を著しく低下させるだけでなく、漏出した水が周囲の耕地や住環境に悪影響を与えるなど、水路管理者らにとって解決すべき重要課題となっている¹⁾²⁾。

こうした機能低下を生じた農業用水路に対し、近年、漏水防止や劣化抑制などを目的とした種々の補修材料・工法の開発・適用が進められている。例えば、通水表面の補修では、劣化した表面の脆弱部を除去し、断面修復材を打設する方法や、表面被覆材により被覆する方法などが適用されている。また、ブロック積水路や水路目地の補修では、劣化した目地材などを取り除き、継目部や目地部にセメント系モルタル材や弾性シーリング材を充填するといった比較的簡易な方法や、新材料を用いて継目部や目地部全体を被覆する方法などが適用されている。しかし、これらの補修方法においても、温度変化による水路躯体の伸縮挙動³⁾や、これに伴うひび割れの開閉現象（ゼロスパン現象）⁴⁾に補修材料が追従できずに、補修材料のひび割れなど、早期に再損傷を生じる事例が多

くみられている（図-1参照）。

筆者らは、主に漏水などの対策として、遮水性能に優れるジオメンブレンを活用した補修工法を開発した¹⁾²⁾⁵⁾。これまでに、耐摩耗性、劣化を受けていない初期条件における水路目地への追従性、耐水圧性、通水表面における平滑性保持性、化学的変質に対する抵抗性・耐候性（外観変化）を評価し、その適用性を確認している²⁾³⁾⁶⁾。

本報では、促進耐候性試験、耐水圧性試験、耐薬品性試験、加熱劣化試験、耐熱性および耐寒性試験など、農業用水路において予想される各種曝露条件における劣化を想定した促進劣化試験を行い、試験後のジオメンブレンを用いた引張試験および伸縮繰返し試験を実施し、外観変化および物性値の保持性を確認することにより伸縮挙動への追従性を評価したので、その結果を報告する。



図-1 既往の補修材料の早期ひび割れ

¹正会員，農村工学研究所，共同研究員（ショーボンド建設株式会社）（〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6）

²農村工学研究所 施設資源部 水利施設機能研究室，主任研究員（〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6）

³正会員，島根大学 生物資源科学部 地域開発科学科，教授（〒690-8504 島根県松江市西川津町1060）

⁴ショーボンド建設株式会社，補修工学研究所，主任研究員（〒305-0003 茨城県つくば市桜1-17）

⁵地盤工学会会員，農村工学研究所 施設資源部 水利施設機能研究室，主任研究員（〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6）

⁶地盤工学会国際会員，農村工学研究所 施設資源部 水利施設機能研究室，室長（〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6）

⁷農村工学研究所 施設資源部 水利施設機能研究室，研究員（〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6）

2. 工法概要および予想される曝露条件

(1) 補修工法の概要

開発した補修工法の概要を図-2に示す。本工法は、①既設水路の表面を洗浄した後、②特殊打込みアンカーにて固定用金具を水路表面にスポット的に設置し、③ジオメンブレン（特殊ウレタン-塩化ビニル樹脂系シート材料）を、設置した固定用金具に電磁溶着する¹⁾²⁾⁵⁾。これにより、ブロック積水路のように全面接着型補修工法の適用が困難な場合においても漏水防止対策が可能となり、既設水路背面からの湧水を水路内に流入する機能や、水路全体に加わる比較的大きな変形に追従する機能を付与することができる。

ジオメンブレンの基本物性値を表-1に示す。シート材料の種類はポリエステル長繊維メッシュによる補強複合タイプであり、厚さは1.55mm、最大幅は1,700mmである¹⁾²⁾。ジオメンブレン同士の継目部では、加熱溶着により一体化を図る。溶着方法は、原則として、水路平行方向では工場製作時の自走式溶着（以下、工場溶着と呼ぶ）とし、水路直角方向では現場施工時の手動式溶着（以下、現場溶着と呼ぶ）としている。

(2) 予想される曝露条件と促進劣化試験方法

本工法で用いるジオメンブレンの種類および構造から、予想される曝露条件および劣化外力の種類には、①太陽光に晒されることによるジオメンブレンの紫外線劣化、②水路内の水圧によりジオメンブレンが摩耗した水路の凹凸面に押し付けられることによる局部引張応力⁷⁾、③水路内の流水に晒されることによるジオメンブレンの化学的変質、④太陽光などによるジオメンブレンの加熱劣化、などが挙げられ、また、⑤外気温の変化によっても伸縮挙動への追従性は影響を受けるものと予想される。

そこで、上記①～④を模擬する促進劣化試験方法として、促進耐候性試験、耐水圧性試験、耐薬品性試験、加熱劣化試験を、⑤を模擬する試験として耐熱性および耐寒性試験を選定し、外観変化とともに、各試験後のジオメンブレンを用いた伸縮挙動への追従性評価を行うこととした。また、加熱溶着による影響を確認するため、現場溶着部の評価を併せて行った。

促進耐候性試験はキセノンランプ法とし、試験時間は3,000時間とした。耐水圧性試験では、摩耗した水路の凹凸面を再現するため、試験圧力容器内に敷き詰める基盤材料には20mm単粒度碎石を用い（図-3参照）、加圧条件は0.3MPaで3ヶ月間とした（図-4参照）。耐薬品性試験は、JIS K 7114「プラスチックの耐薬品性試験方法」に準拠し、硫酸10%水溶液、塩酸10%水溶液および水酸化ナトリウム10%水溶液の各試験液に7日間浸漬した。加熱劣化試験では、加熱温度は80℃、加熱時間は7日間とした。また、耐熱性試験は温度60℃にて、耐寒性試験は温度-20℃にて追従性評価試験を行った。試験種類および試験条件を表-2に示す。

ジオメンブレン

特殊ウレタン-塩化ビニル樹脂系

補強複合シート:

固定用金具に

電磁溶着

特殊打込み

アンカー

固定用金具:

特殊打込みアンカーにて固定

水路躯体

漏水

(継目)

農業用水路

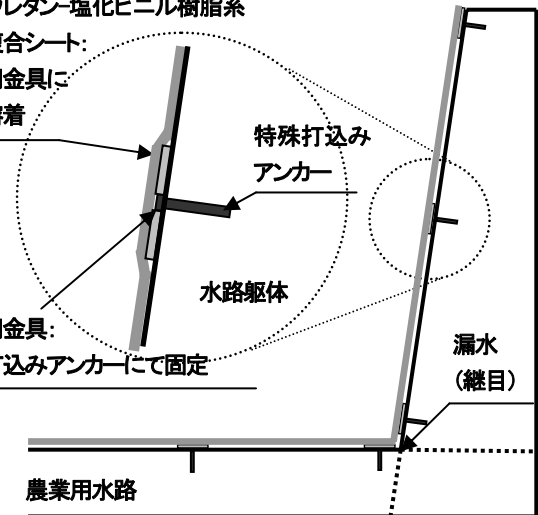


図-2 補修工法の概要²⁾

表-1 ジオメンブレンの基本物性値¹⁾

項目	試験値	備考
種類	特殊ウレタン-塩化ビニル樹脂系シート補強複合タイプ (ポリエステル長繊維メッシュ)	
厚さ	1.55 mm	JIS L 1096準拠
最大幅	1,700 mm	
単位面積質量	2056 g/m ²	
引張強さ	1,860 N/3cm (縦)	
伸び率	20% (縦)	JIS L 1096準拠 (C法)
引裂強さ	502 N (縦)	
線膨張係数	6.7 × 10 ⁻⁵ /°C (0~50°C)	TMA法 (熱機械分析法)
粗度係数	0.009	不等流水面形による

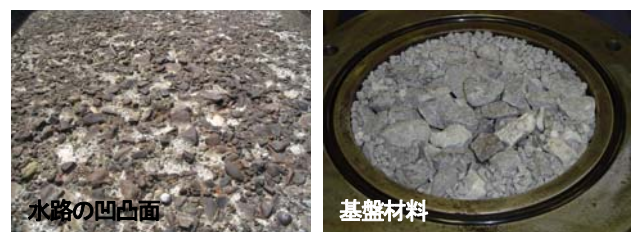


図-3 水路の凹凸面を再現した基盤材料²⁾⁶⁾

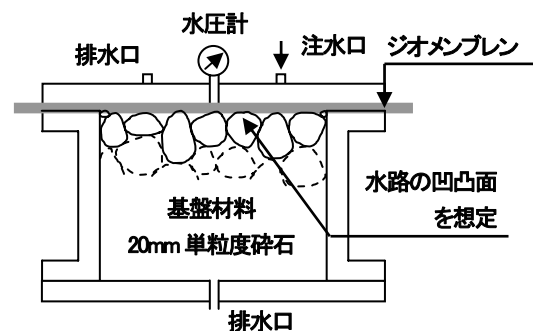


図-4 耐水圧性試験の概要²⁾⁶⁾

表-2 促進劣化試験の試験種類および試験条件

No.	試験種類	試験条件
1	通常部 (非溶着部)	—
2	促進耐候性試験後 (キセノンランプ法)	3,000時間
3	耐水圧性試験後	0.3MPa・3ヶ月間
4	促進耐候性+耐水圧性試験後	(No.2)+(No.3)
5	耐薬品性試験後 (H ₂ SO ₄ 10%aq)	20°C・7日間
6	同上 (HCl 10%aq)	20°C・7日間
7	同上 (NaOH 10%aq)	20°C・7日間
8	加熱劣化試験	80°C・7日間
9	耐熱性試験 (追従性評価試験時温度: 60°C)	
10	耐寒性試験 (追従性評価試験時温度: -20°C)	
11	現場溶着部	(加熱溶着)
12	現場溶着部+耐水圧性試験後	(No.11)+(No.3)

(備考) 追従性評価試験時温度: 20°C (No.9,10 除く)

3. 伸縮挙動への追従性評価試験方法

農業用水路は、ブロック積水路も含め、その多くはコンクリート製である。そのため、水路躯体は外気温の変化により伸縮を繰り返し、伸縮量はコンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ に依存する。農業用水路では、一定の間隔で目地部を設け、この伸縮を目地部で吸収している³⁾。温度変化量を 50°C と仮定した場合、水路躯体10mあたりの伸縮量は5mmとなり、目地部を被覆する工法では、この伸縮量に追従することが要求される。例えば、本工法における固定用金具の最小設置間隔を200mmとし、この部分が目地部を被覆するものと仮定した場合、200mmに対して5mm、すなわち2.5%の伸縮量に対する追従性が要求されることとなる²⁾。

そこで、伸縮挙動への追従性評価では、静的引張試験、および動的引張試験として伸縮繰返し試験を実施することとし、静的引張試験では引張強さおよび伸び率の保持性にて、動的引張試験では強度保持率にて確認することとした。引張試験方法は、JIS L 1096「一般織物試験方法」に準拠し、つかみ間距離は200mm、載荷速度は200mm/minとした。また、伸縮繰返し試験の伸縮量は、水路躯体10mあたりの伸縮量5mmの3倍の15mm (つかみ間距離に対して7.5%) とし、繰返し回数は50回とした。

4. 追従性評価結果および考察

(1) 引張試験

a) 紫外線劣化および局部引張応力の影響

促進耐候性試験における紫外線劣化および耐水圧性試験における局部引張応力の影響を確認するため、No.1, No.2, No.3およびNo.4の引張試験における繊維破断時までの応力とひずみとの関係を図-5に示す。

促進耐候性試験後 (No.2)、耐水圧性試験後 (No.3)、

促進耐候性および耐水圧性試験後 (No.4) の各試験体において、外観上、劣化や損傷、局所的な伸びなどはみられず、特に異常は確認されなかった。

また、図-5から、引張強さ、すなわち繊維破断時の荷重の低下も、ほとんど確認されなかった。一方、繊維破断時の伸び率、すなわち破断時の変位には低下の傾向が確認されたが、いずれも基準値の20%以上 (40mm以上) を確保しており、特に問題のない範囲であると考えられる。

促進耐候性試験後の引張強さおよび伸び率が低下し難い要因としては、本工法で用いるジオメンブレンには可塑剤を含まない^{1),2),5)}ことが考えられる。一般に、塩化ビニル樹脂系シート材料には、その柔軟性を確保するため可塑剤を含むものが多く、この可塑剤がシート材料の耐候性に悪影響を与える場合がある。したがって、可塑剤を含まないジオメンブレンを用いた本工法では、紫外線劣化の影響をほとんど受けないものと考えられる。

耐水圧性試験後の引張強さおよび伸び率が低下し難い要因としては、本工法で用いるジオメンブレンはポリエステル長繊維メッシュを含有する補強複合タイプであるため、高水圧下においてもその剛性が発揮され、局部引張破壊に至らなかったためと考えられる。

b) 化学的変質の影響

耐薬品性試験における化学的変質の影響を確認するため、No.1, No.5, No.6およびNo.7の引張試験における繊維破断時までの応力とひずみとの関係を図-6に示す。

耐薬品性試験後 (H₂SO₄ 10%aq : No.5, HCl 10%aq : No.6, NaOH 10%aq : No.7) の各試験体において、外観上、ひび割れ、亀裂、膨潤、溶解などはみられず、特に異常は確認されなかった。

また、図-6から、引張強さおよび伸び率の低下もみられなかった。本工法で用いるジオメンブレンの化学的変質に対する抵抗性は優れることが確認され、引張強さおよび伸び率からも、このことが裏付けられる結果となった。

c) 加熱劣化および外気温の変化の影響

加熱劣化および外気温の変化の影響を確認するため、No.1, No.8, No.9およびNo.10の引張試験における繊維破断時までの応力とひずみとの関係を図-7に示す。

加熱劣化試験後 (No.8) の試験体において、外観上、劣化や損傷、溶融などはみられず、特に異常は確認されなかった。一方、耐熱性試験 (No.9) では、外観上、軟化の傾向がみられ、耐寒性試験 (No.10) では、硬化の傾向がみられた。

また、図-7から、加熱劣化試験後の試験体では、引張強さおよび伸び率の低下はみられなかったが、耐熱性および耐寒性試験では、同物性値への影響が確認された。

本工法で用いるジオメンブレンはその主成分を塩化ビニル樹脂、すなわち熱可塑性樹脂としているため、耐熱性および耐寒性試験における性状および物性値の変化は、その温度依存性による影響⁸⁾と考えられる。加熱劣化試験後の試験体において性状および物性値の変化が確

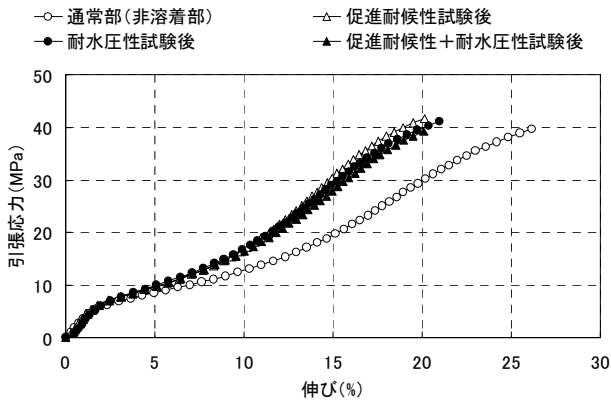


図-5 引張強さ試験結果 (No.1, 2, 3, 4)
(紫外線劣化および局部引張応力の影響)

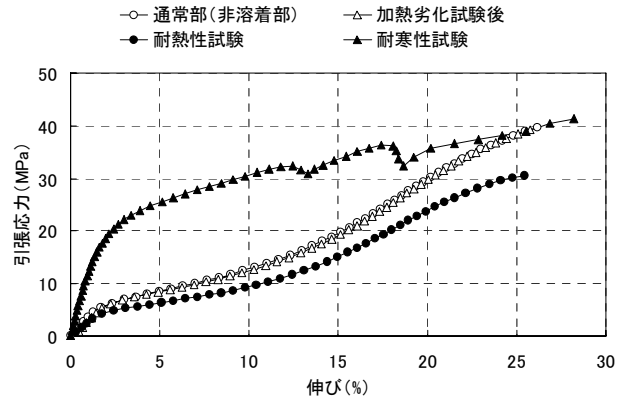


図-7 引張強さ試験結果 (No.1, 8, 9, 10)
(加熱劣化および外気温の変化の影響)

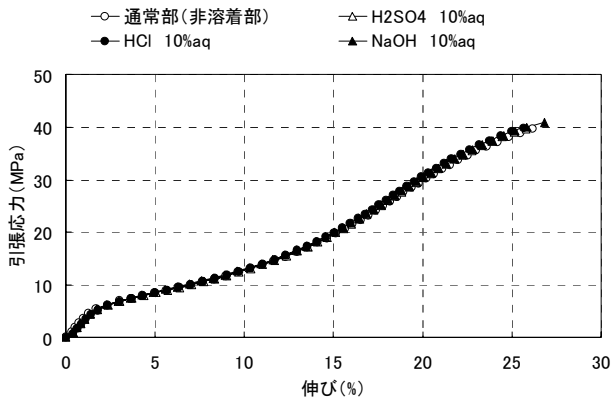


図-6 引張強さ試験結果 (No.1, 5, 6, 7)
(化学的変質の影響)

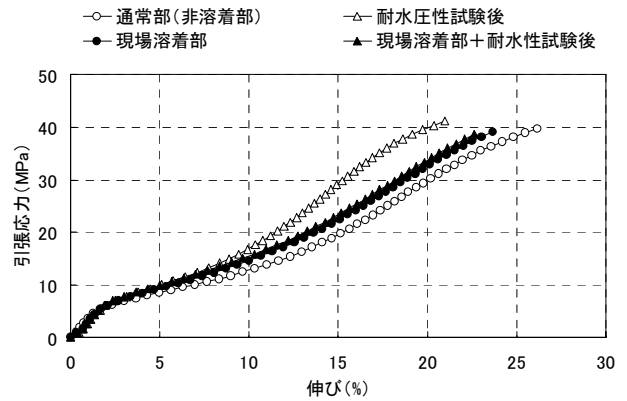


図-8 引張強さ試験結果 (No.1, 3, 11, 12)
(加熱溶着および局部引張応力の影響)

認められなかったことから、この変化は当該温度条件に限った一時的なものと考えられる。水路躯体の伸縮挙動は、原則として温度変化に基づくものであるため、外気温が一定に保たれた状態での引張応力の作用は想定外の条件であるが、寒冷地における凍上や地盤沈下など外気温が低温域、あるいは高温域に保たれた状態で引張応力が作用する場合は、その性状および物性値の変化に留意しなければならない。

なお、耐寒性試験時において、载荷中に引張応力の部分的な低下がみられたが、繊維破断は確認されなかった。試験体が硬化したことにより、つかみ部での滑りが生じたためと考えられた。

d) 加熱溶着および溶着部の局部引張応力の影響

加熱溶着および溶着部の耐水圧性試験における局部引張応力の影響を確認するため、No.1, No.3, No.11およびNo.12の引張試験における繊維破断時までの応力とひずみとの関係を図-8に示す。

現場溶着部 (No.11)、現場溶着部の耐水圧性試験後 (No.12) の各試験体において、外観上、特に異常は確認されず、また、図-8から、引張強さおよび伸び率の低下も、ほとんど確認されなかった。

引張による破壊形状は、ジオメンブレン間の剥離ではなく、非溶着部における繊維破断であった。溶着部断面の顕微鏡による観察結果 (図-9参照) では、溶着による接合部におけるシート材料の変質や気泡の混入

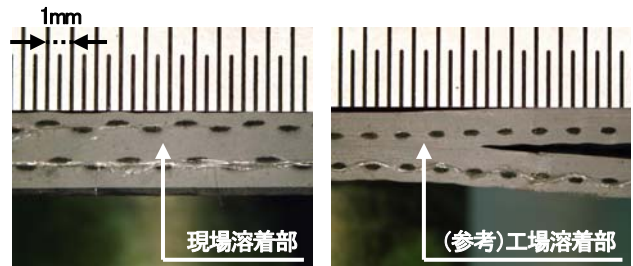


図-9 溶着部断面の顕微鏡観察結果

表-3 伸縮繰返し試験における強度保持率

No.	载荷1回目の最大荷重 (N)	载荷50回目の最大荷重 (N)	強度保持率 (%)
1	487	418	86
2	575	495	86
3	608	529	87
4	583	493	85
5	482	417	87
6	488	418	86
7	489	420	86
8	463	401	87
9	364	316	87
10	1326	1174	89
11	551	467	85
12	580	492	85

(備考) 試験時温度: 20°C (No.9,10除く)

60°C (No.9) -20°C (No.10)

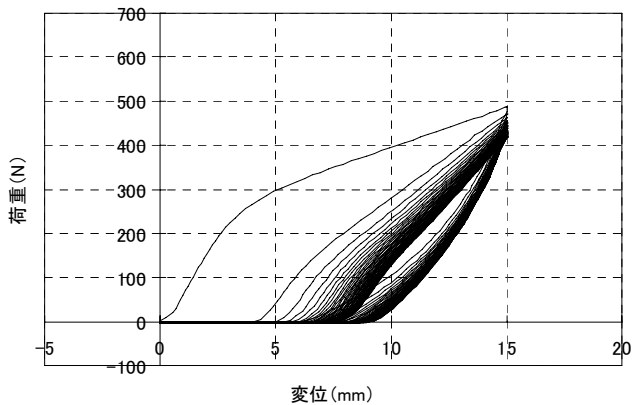


図-10 伸縮繰返し試験結果
(No.1: 通常部 (非溶着部))

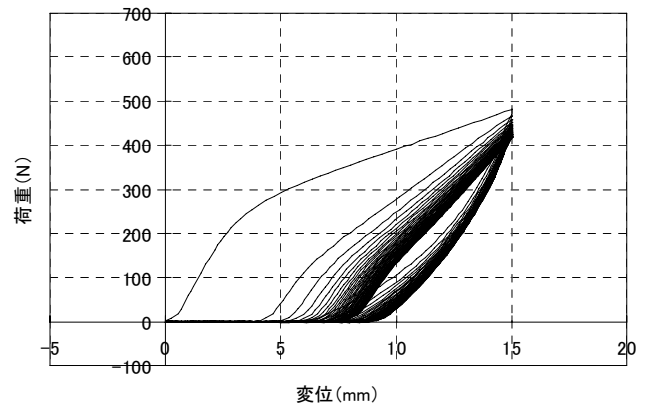


図-13 伸縮繰返し試験結果
(No.5: 耐薬品性試験後 (H₂SO₄ 10%aq))

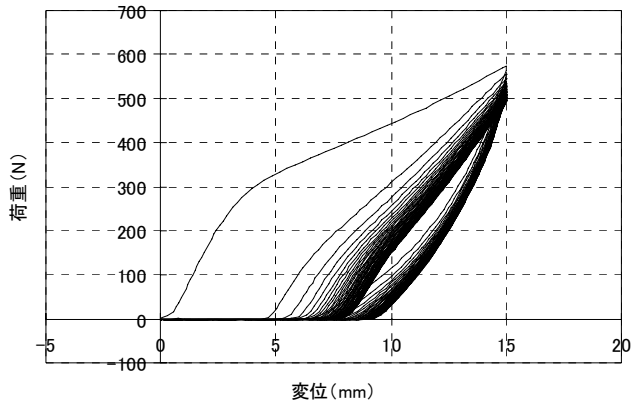


図-11 伸縮繰返し試験結果
(No.2: 促進耐侯性試験後)

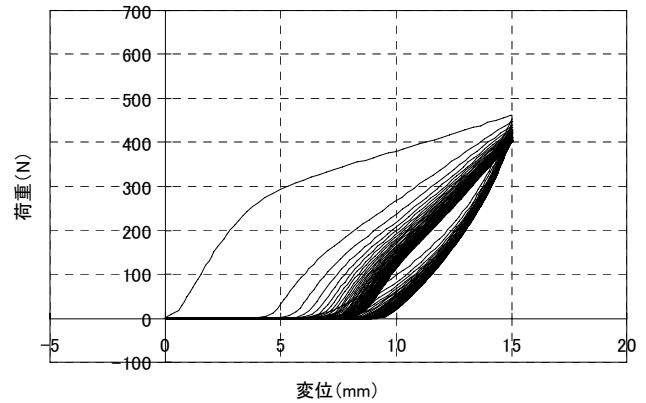


図-14 伸縮繰返し試験結果
(No.8: 加熱劣化試験後)

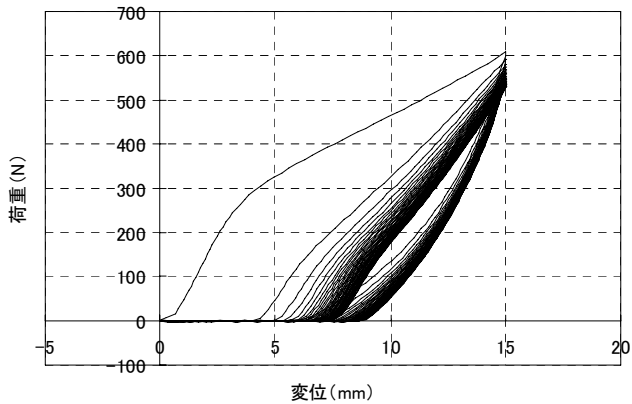


図-12 伸縮繰返し試験結果
(No.3: 耐水圧性試験後)

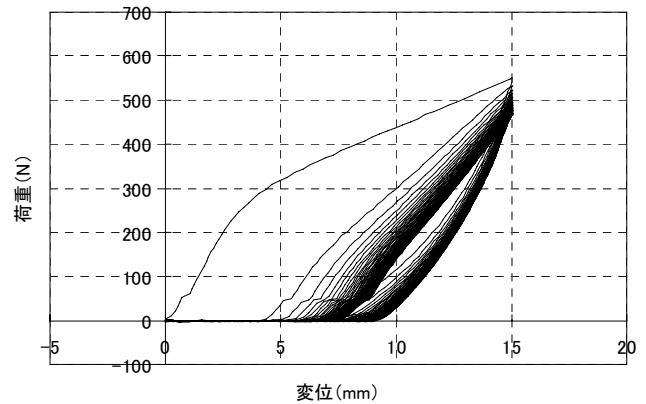


図-15 伸縮繰返し試験結果
(No.11: 現場溶着部)

などはみられず、シート材料同士の一体化が確認されており、引張応力の作用に際しても、通常部 (非溶着部) と同様の挙動を示すものと考えられる。

(2) 伸縮繰返し試験

載荷1回目の最大荷重に対する載荷50回目の最大荷重の割合を示す強度保持率の測定および算出結果を表-3に、No.1, No.2, No.3, No.5, No.8およびNo.11の試験における荷重と変位との関係を図-10~15に示す。

いずれの試験体においても80%以上の保持率を示しており、伸縮挙動への追従性に問題はないものと考えられる。なお、No.2, No.3, No.4, No.10, No.11およびNo.12

の試験体において各最大荷重の増加傾向がみられ、No.9の試験体において低下傾向がみられたが、ジオメンブレンの伸び率の変化に起因するものと考えられる。

(3) 試験施工箇所の追跡調査

試験施工箇所の1年後の状況を図-16に示す。水路目地部を被覆した箇所を含め、破断や局所的な伸びなどの変状はみられず、施工完了時の状態を維持し続けている。目地部を含む水路躯体の伸縮挙動の現場実測結果からは、日周期および年周期による挙動が確認されており³⁾、実現場における追跡調査とその検証が重要であると考えられる。今後も耐久性調査を継続実施していく予定である。



水路目地
被覆箇所↓



図-16 試験施工箇所1年後の状況（四国地方）

5. まとめ

本評価結果から、開発した農業用水路の補修工法で用いるジオメンブレンの伸縮挙動への追従性について、以下の結論を得た。

- 1) 促進耐候性試験後および耐水圧性試験後の試験体を用いた引張試験および伸縮繰返し試験結果から、紫外線劣化および局部引張応力の影響を受け難いことが確認された。
- 2) 耐薬品性試験後の試験体を用いた同試験結果から、化学的変質に対する抵抗性に優れることが確認された。
- 3) 耐熱性および耐寒性試験結果では、ジオメンブレンの温度依存性による引張強さおよび伸び率への影響が確認されたが、加熱劣化試験後の試験体において異常が確認されなかったことから、この影響は当該温度条件に限った一時的なものと考えられ、水路躯体の伸縮挙動に対しては問題ないものと考えられる。
- 4) 現場溶着部の試験体を用いた引張試験および伸縮繰返し試験結果から、ジオメンブレン同士は溶着によって一体化がなされ、加熱溶着の影響もほとんどなく、引張応力および伸縮挙動の作用に際しても、通常部と同様の挙動を示すものと考えられる。

今後は、電磁溶着部の評価を行い、現場溶着部と併せてその品質管理方法を確立し、本工法の完成度を高めていく予定である。

謝辞：本工法の開発および評価にあたり、材料の提供など、昨年に引き続き多大な御協力を頂きました平岡織染株式会社、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小俣富士夫, 竹村浩志, 山本晴彦, 梅沢俊雄, 高橋松善, 森充広, 長束勇：ジオメンブレンを活用した農業用水路の漏水補修, ジオシンセティックス論文集, 第19巻, pp.77-80, 2004.
- 2) 渡嘉敷勝, 石神暁郎, 高橋晃, 森充広, 増川晋, 長束勇：ジオメンブレンを用いた農業用水路の漏水補修工法の性能評価, ジオシンセティックス論文集, 第20巻, pp.171-176, 2005.
- 3) 渡嘉敷勝, 森充広, 増川晋, 石神暁郎, 高橋晃, 中川拓之：ゴム弾性を活用した水路補修目地の追従性, 農業土木学会大会講演要旨集, pp.604-605, 2005.
- 4) 上野和広, 長束勇, 野中資博, 石井将幸：農業用水路の補修に必要な機能を追求した表面被覆工法の開発, 農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨集, pp.100-102, 2005.
- 5) 渡嘉敷勝, 森充広, 増川晋, 石神暁郎, 高橋晃：シート材料を活用した農業用水路の表面被覆工法の開発, 農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨集, pp.70-72, 2005.
- 6) 渡嘉敷勝, 石神暁郎, 高橋晃, 森充広, 増川晋：シート材料を活用した農業用水路の表面被覆工法の耐水圧性, 農業土木学会大会講演要旨集, pp.578-579, 2006.
- 7) 長束勇：貯水池表面遮水工法に関する研究—主としてジオメンブレンの利用に関して—, 農業工学研究所報告, 第38号, pp.1-131, 1999.
- 8) 長束勇：ジオメンブレンの力学的物性値の温度依存性, 農業土木学会誌, Vol.67, No.4, pp.421-427, 1999.

FOLLOWING PERFORMANCE EVALUATION OF REPAIR METHOD USING GEOMEMBRANE FOR IRRIGATION CANAL

Akio ISHIGAMI, Masaru TOKASHIKI, Isamu NATSUKA, Akira TAKAHASHI, Mitsuhiro MORI, Susumu MASUKAWA and Tetsuo NAKAYA

Authors developed the repair method using geomembrane that have excellent waterproof performance. We examined the geomembrane by the accelerating tests that assumed deterioration in various exposure conditions of a accelerated weathering test, hydraulic resistance tests, chemical corrosion resistance tests, a heating deterioration examination, heat-proof and cold-proof examinations, etc., we executed the tensile test and the expansion and contraction repetition test of the geomembrane. As a result, we confirmed the following performance of the developed repair method is excellent.