

ゴム引布製起伏堰のゴム袋体補修技術の高度化

百武 壮・新田弘之

1. はじめに

ゴム引布製起伏堰（以下「ゴム堰」という。）は繊維をゴムで保護したゴム引布からなる袋体を空気や水で膨らませ起立倒伏させる可動堰である。ゴム堰の全景を図-1に示す。設置時の施工性やコスト面の優位性から農業などの利水用途として広く普及し、設計要領の整備などによって治水にも用いられるようになってきている。昭和39年に国内最初のゴム堰が施工されて以来、直轄管理河川及び県等の管理する中小河川を含めた全国の河川で、設置数は約3,900施設と数多くの施工実績がある¹⁾。特に国土交通省直轄で管理しているゴム堰は堰高2m以上、径間30mに渡るなど大型の施設もある。設置後30年を超えるゴム堰が増え、補修更新への対応も多くなっており、土木研究所では平成26年からゴム堰の維持管理および長期性能評価に関する研究を実施した。

ゴム堰に用いられるゴム袋体は、損傷や劣化により、補修(図-2)を行うことがあるが、補修後に再補修が必要になることもあり、より確実で耐久性が高い補修方法が求められていた。本報告では、上記研究課題の成果の一部である、材料の組み合わせや施工方法により補修材の接着強度や耐久性の違いを比較検討した結果や、新しいタイプの補修方法の検討について報告する。



図-1 ゴム堰全景



図-2 袋体補修の様子

2. ゴム堰の構造と材料

ゴム堰が日本に導入された当初、ゴム引布の外層材はクロロプレンゴム(CR)であったが、平成以降は、より耐候性、耐紫外線性に優れたエチレンプロピレンジエンゴム(EPDM)が主流となっている。それぞれの特徴を表-1に示す。

表-1 ゴム袋体用ゴムの特徴

	分類	接着性	耐候性	耐熱性	耐紫外線
CR	ジエンゴム	◎	◎	130℃	○
EPDM	非ジエンゴム	○	◎	150℃	◎

内層材には補強繊維（織布又は帆布とも呼ぶ）があり、殆どの場合ナイロンが使用される。これらをもって複合積層構造とし熱と圧力による化学反応（熱加硫^{*}処理）で、一体成型したものをゴム引布と呼ぶ。ゴム堰に使用されたゴム引布の断面を図-3に示す。3種類のゴムの間に見える白い部分が繊維である。ゴム引布の強度は補強繊維で担保しており、ゴムは気密性と繊維を保護する役割を担っている。

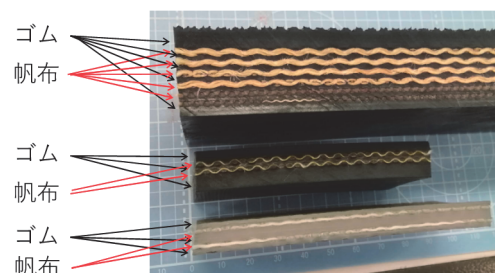


図-3 切り出したゴム引布

3. ゴム袋体の破損・劣化と補修

ゴム袋体は、河川の流れの中にあり越流時は相応の水流、水圧、土砂流入に曝される。一方、非越流時には露出面が太陽熱や紫外線を浴びるなどの外的環境負荷を受ける。また、内圧の変化や起伏・倒伏などによる繰返し応力を長期的に受けることになり、ゴム袋体への負担は大きい。図-4に代表的な損傷・劣化の例を示す。

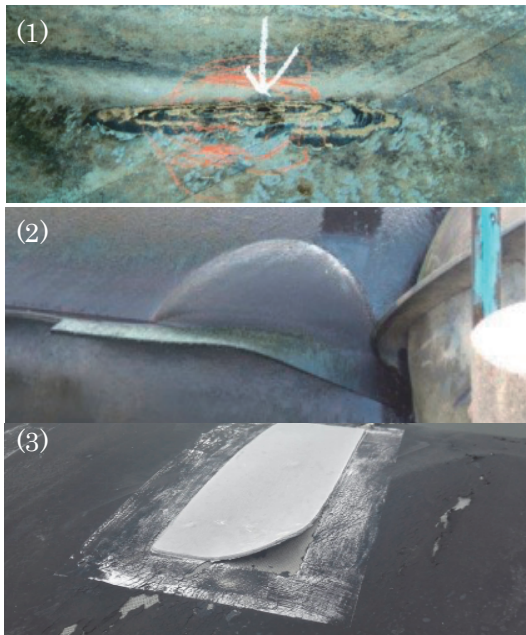


図-4 ゴム堰の損傷・劣化の例(1)摩耗(2)膨れ(3)ひび割れ(補修箇所)の再劣化)

ゴム袋体の劣化には(1)転石、流木などの流下物による傷や摩耗など外部からの物理劣化、(2)倒伏や振動の繰返し応力によるゴムと繊維の接着力低下など内部からの物理劣化、(3)紫外線や熱による表層ゴムの硬化、ひび割れなど化学劣化、(4)張力がかかり続けることによるクリープ損傷が考えられる。

これまでも損傷・劣化時には補修が用いられてきており、(1)に対しての補修は、表面を研磨(バフがけ)した後に当てゴムを接着する。(2)に対しては膨れの進行を抑制するため、応急的に表層ゴムに空気を逃がす穴をあける。また、膨れの原因が表層に近い場合はゴムを剥がして当てゴムで接着する。(3)に対しては本体ゴムが脆くなっているため、当てゴムの接着が不可能である場合が多く、補修不可と判断されてきたが、最近では塗料型の補修材が検討されている。

本報では最も一般的な補修方法である当てゴムの接着補修の評価についての検討結果と、あわせて最近検討が始まった塗料型の補修方法についても報告する。

4. 当てゴム補修したゴム引布の評価

ゴム袋体の一般的な補修方法は以下の現場施工である。起立した状態の袋体ゴム表面をバフがけ*する、あるいは、表層ゴムを剥がして帆布を露出させ、薄い柔軟なCR系ゴムを密着させて前処理とする。次に自然加硫型と呼ばれる常温で架橋*反応するペースト状のCR系ゴム溶液接着剤で当てゴムを貼り、ローラーやハンマーによって密着させる。各ゴム堰(あるいは袋体)メーカーの補修マニュアルが存在し、実技を含む講習を実施しているメーカーもあるが、補修法の評価法や統一的な施工要領はなかった。これは、袋体メーカーごとに使用するゴムの材質、厚みや袋体の構造が異なること、補修法と耐久性に関する技術資料が不足していることが原因であると考えられる。

本報では、ゴム引布のゴム表面に対する当てゴム補修法を模した試験片を用いて、以下の3つの条件での補修性能を評価した。

- (1)補修の初期値：室内環境で施工した試験片の接着強度。
- (2)長期耐久性：同試験片の70℃水中暴露による促進劣化を経たあとの接着強度。
- (3)温度依存性：同試験片を恒温槽の中で一連の温度下での接着強度。

5. 実験

5.1 試験片作製と試験方法

試験片は、図-5左に示すようにゴム引布と補修材(当てゴム)を接着し、短冊状試験片(幅25mm, 接着長さ100mm以上)を作製した。



図-5 接着強度試験

*土木用語解説：バフがけ、加硫と架橋

接着方法は施工会社が作成した補修マニュアル通りに実施するものとし、接着界面はゴム表面とした。接着力の評価は図-5右に示すような180°接着強度試験(JIS K 6256-1)により行った。

5.2 接着強度の初期値

施工方法の効果を確認するため、バフがけの有無、接着後のハンマーおよびローラー処理の有無についても条件とした。はく離試験の結果を図-6に示す。

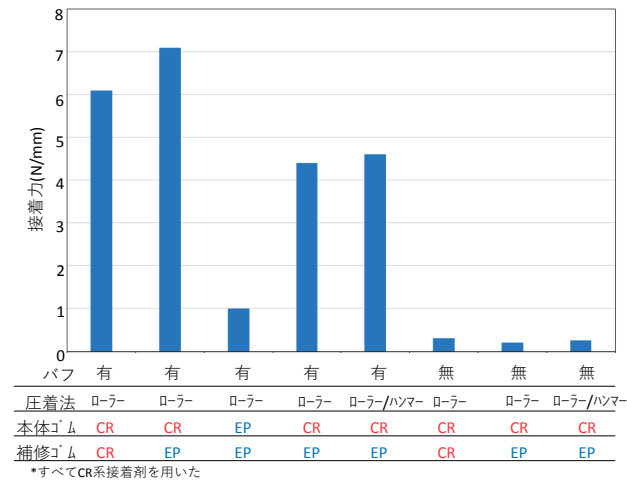


図-6 ゴム表面への当てゴム補修の接着力*

国土交通省の基準(案)²⁾ではゴム引布の初期検査として、熱加硫した帆布とゴムの接着力が5.88N/mm以上であることを規定している。補修の際の接着力は規定されていないが、材料と施工方法の組み合わせによっては、自然加硫型であってもこれと同等の接着力が得られた。ゴム用接着剤はCR系ゴムの溶液であり、EPDM同士の接着力は弱く、当てゴムもしくは本体ゴムのどちらかにCR系が用いられる場合に接着力が高い傾向にあった。

以上から、補修にはバフがけが必須であり、接着面にはCRを用いることが有効であると示された。

5.3 接着力の長期耐久性試験

初期値を踏まえ、国交省が管理するゴム堰の補修実態より、バフがけ、ローラー圧着による補修方法を選定し、これらの方法によって試験片を作製した。試験片の諸元について表-2に示す。試験片を70℃の温水中暴露に供し、促進劣化を経て接着力試験をした結果を図-7に示す。

*土木用語解説：アレニウスの式

表-2 長期耐久性試験用試験片

No.	本体ゴム 主成分	当てゴム 主成分	接着剤*
1	EP	CR	I
2	EP	CR	III
3	EP	EP	II

*全てCR系接着剤

アレニウスの式^{*}から70℃温水暴露1年は平均水温環境15℃とした場合、45年の促進効果があることが算出できる。また、既報では70℃温水促進250日でゴム引布の接着強度が55～63%に低下することが報告されている³⁾。28日では3年半程度の促進効果であるが、接着強度基準初期値5.88N/mmを保つ試験片もあり、現場補修の耐久性の目安となると考えられる。補修法について網羅的に促進試験を実施することで自然加硫型の接着強度の低下を考慮し、接着強度の目標値として整理することが有効である。

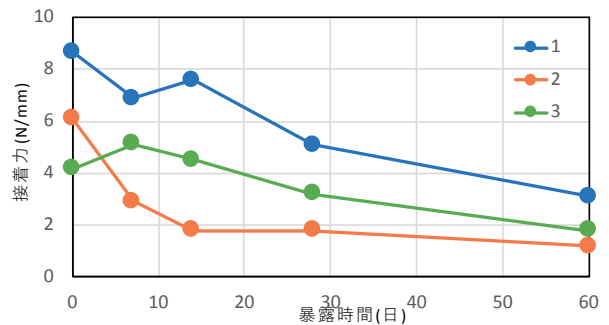


図-7 促進後のはく離試験結果

5.4 接着力の温度依存性

EPDM本体に対してCR当てゴムを接着する組み合わせで試験片を作製し、恒温槽の中で一連の温度条件(20℃、40℃、60℃、80℃)におけるはく離試験を実施した。結果を図-8に示す。

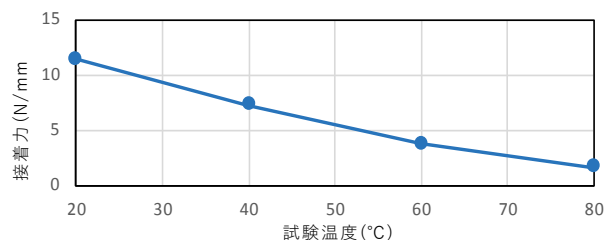


図-8 高温下ではく離試験結果

接着力は温度上昇とともに低下していき、初期の接着力から80℃までに6分の1程度になった。夏のゴム袋体(黒色の場合)の表面温度は70℃程度まで上昇するため越流しないゴム堰の補修では温度上昇による接着力の低下を考慮し、補修現場環境を把握した上で、用いる補修材で十分な接着力が得られるか予備試験を実施する必要がある。

6. 塗料型補修の検討例

摩耗によるゴム表面の劣化や紫外線や熱によるゴムの硬化、ひび割れに対する補修方法として、塗料型の補修方法についても検討を行った(図-9)。



図-9 塗料型補修材の施工例

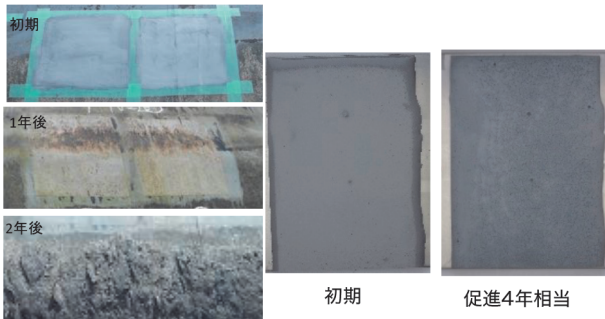


図-10 塗料型補修材の検討状況

(左)試験施工後経過観察、(右)促進劣化試験結果

これらの塗料型の補修材はアクリルウレタンやゴムペーストからなる粘性液体であるため刷毛やローラーで簡便に塗布できゴム表面に馴染みやすい。図-10左に示すように、現場試験として越流するゴム堰に施工後2年間保持されている。また、図-10右に示すように、室内促進劣化試験(JIS K5600 7-7 サイクルA準拠)ではJIS塗装の基準とされる2000時間経過後も剥がれはなく、4年相当以上の耐久性を示しているものと期待された。

今後、本格的な検討を行い、実用化していく予定である。

7. まとめ

今回、ゴム堰の補修技術の高度化の取り組みについて紹介した。本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) 前処理を適切に行いCR系材料を使用することによって接着強度が向上した。
- (2) 促進劣化試験によって接着強度の低下を追跡した。補修方法の選定には、劣化による接着力の低下を考慮する必要があることが示された。
- (3) 接着力の温度依存性は顕著で、高温となる環境では予備試験が必要であることが示された。
- (4) 塗料型の補修法の効果について有効性が示された。

今後、検討したゴム堰の補修法の体系化と耐久性評価についてとりまとめていく予定である。本成果が老朽化が進むゴム堰の維持管理に活用されることが期待される。

謝 辞

本報告で用いた補修試験片作製と促進劣化試験は共同研究を実施している大和機械設備(株)、バンドー化学(株)の協力によるものである。

参考文献

- 1) 河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)、国土交通省総合政策局建設施工企画課河川局治水課、平成20年
- 2) ゴム袋体をゲート又は起伏装置に用いる堰のゴム袋体に関する基準(案)、国土交通省、平成28年
- 3) Maruyama, I. :Japanese expertise on inflatable gates:Technical development, standards and long-term experiences, 34th PIANC World Congress, 2018

百武 壮



土木研究所先端材料資源
研究センター 主任研究
員、博士(工学)
Dr.Tsuyoshi HYAKUTAKE

新田弘之



土木研究所先端材料資源
研究センター 上席研究
員、博士(工学)
Dr. Hiroyuki NITTA