

ゴム引布製起伏堰に使用するゴム引布のクリープ特性

新田弘之・中村 崇・上野仁士

1. はじめに

ゴム引布を利用したゴム引布製起伏堰（以下「ゴム堰」という。）は、図-1に示すようなチューブ状のゴム袋体に空気や水を出し入れして起伏させる可動堰である。施工性や維持管理の容易さ、コスト面の優位性から農業用水の取水用などで広く普及している。地方整備局でも取水や分流、潮留などを目的として導入例があり、大型の堰もいくつか設置されている。最近では設置後20年以上経った施設が増え、老朽化が進んできており、損傷などへの対応が必要になってきている。老朽化が進んで補修による機能回復が経済的でない、あるいは機能回復が望めない場合は、ゴム袋体の更新を図ることになる。しかし、ゴム堰が使用されはじめてから50年程度とゴム引布の長期劣化についての知見が少ないこと、ゴム引布の劣化の進行が現場環境により異なることなどのため、ゴム引布の寿命が十分に予測できないのが現状である。

本報では、ゴム堰の概説や破損の調査結果を示すとともに、ゴム引布の寿命予測に必要なクリープ性能について検討した結果について報告する。



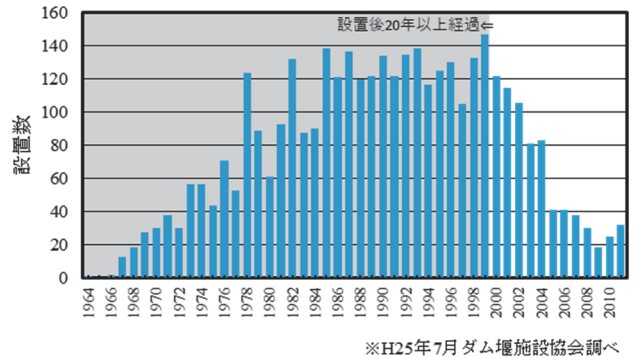
図-1 ゴム引布製起伏堰の外観

2. ゴム引布製起伏堰の概要と破損状況

2.1 設置件数

ゴム堰は平成25年7月時点で、国内で約3,700箇所以上設置されており、図-2に示すように設置

から 20～30 年経過したものが増加し、施設の老朽化が顕著となってきている。



※H25年7月ダム堰施設協会調べ

図-2 ゴム堰設置年の推移

2.2 ゴム堰の構造

ゴム堰は、ゴム袋体を河床のコンクリート基礎上にゴム袋体を、堰柱壁に紡錘状の両端面を固定し水流を受け止める構造をしている。

ここで、堰に向かって横断方向を径間方向、円筒面に沿う方向を周方向と呼ぶ。流れによる堰の振動防止を目的として、下流側上方中間部にフィンを装備する場合もある。以上の概略を図-3に示す。

ゴム堰は、使用目的、設置箇所、河道の形状等により運転方法が異なり、常時、越流がある場合、無い場合、下流水位が高い場合、低い場合など様々な状態で運転されている。

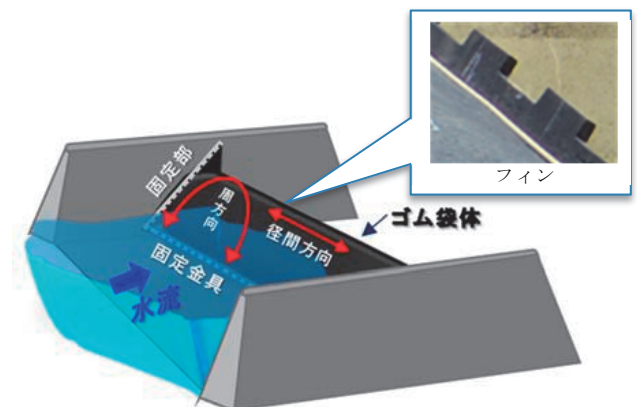


図-3 ゴム堰の模式図

2.3 ゴム袋体の材料・構造

ゴム袋体はゴム引布から作られる。ゴム引布は、補強繊維の入ったシート状のゴム材料のことで、

Creep Characteristics of Rubber-coated Fabric for Inflatable Rubber Gates

テント、ボート、雨衣から医療分野、産業分野等、様々な分野で利用されている。ゴム堰では、ゴム引布用のゴムとして、初期はCR（クロロプレンゴム）が使われていたが、平成以降は耐候性に優れた EPDM（エチレン・プロピレン・ジエンゴム）が主流となっている。一方、補強繊維にはナイロン製の織布が使用される。

大型堰用のゴム袋体は、ゴム引布を複数枚接合して製作されるため、図-4に示すように、径間方向または周方向に接合部が発生する場合がある。接合部の方向・方法は製造メーカーにより異なる。

ゴム引布の接合方法としては、加硫前（ゴム分子同士を結合させる前の状態）のゴム引布を貼り合わせた後に加圧加硫する方法と、一度加硫したゴム引布を後から貼り合わせて再度加硫する方法がある。接合部が図-5のようになる場合、繊維は3層あるが接合部があるため、強度は2層分と考え、2+1plyなどと表現する。

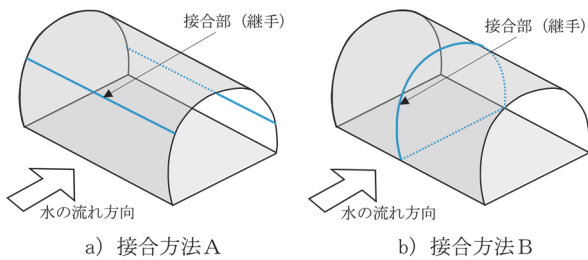


図-4 ギュム袋体の接合方法の違い

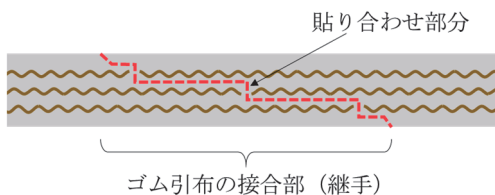


図-5 ギュム引布の接合部の例

2.4 ギュム袋体の損傷事例

過去におけるゴム袋体を主体とする特徴的な損傷事例について、アンケート調査や現地調査を行い、損傷分類、発生時期、損傷状況、発生原因を表-1のとおり整理、分類した。

設置後初期に損傷が発生することもあるが、発生以降対策が取られ、現在はほとんど見られない。一方、供用開始から20年以上経過した堰では、ゴムやゴム引布、接合部の劣化などが進み、損傷が発生するケースがいくつか見られる。多くの場合は、補修により機能回復するが、機能回復が難しいものも一部では発生している。

表-1 ギュム袋体の様々な損傷事例

損傷	発生時期	損傷状況	原因
破裂	設置後1カ月	接合部に沿って径間方向に破裂	ゴム引布接合部の耐久力不足とみられる
空気漏れ	設置後4年	袋体に貫通穴が発生	倒伏時に、ゴム引布が取付金具の突出部と転石に挟まり貫通穴が発生
凸状膨れ	設置後18年	フィン構造部上流部に空気による凸状膨れが発生	フィン部での繰り返し応力により、内部での接着剥がれが起り、内圧により凸状膨れが発生したとみられる
丘状膨れ	設置後20年	フィン構造部の下流部において、ゴムと補強繊維の間に水が溜まり膨れ	フィン構造部上部にできた穴から水が浸入したことによるとみられる
損耗	設置後15年	ゴム表面の損耗、欠損、一部に貫通穴	山岳地帯上流部に設置された堰で発生しており、鋭利で大型の転石によるものとみられる
接触摩耗	設置後19年	袋体下流部に年輪状の摩耗が発生	倒伏時に袋体の一部がコンクリート部に接触して摩耗
接合部内面はく離	設置後17年	常時越流のない堰において、堤頂部付近で径間方向の接合部が内面からはく離	接合部の強度不足、あるいは堤頂部が太陽光にさらされ、接合部の強度低下が早めた可能性もある
接合部浅層き裂	設置後23年	ゴム接合部に沿って補強繊維まで達するき裂が発生	接合部の劣化によるものとみられる
接合部表層き裂	設置後17年	ゴム接合部に沿って補強繊維までは達しないき裂が発生	接合部の劣化によるものとみられる
ひび割れ	設置後26年	袋体折れじわ部・表層ゴムにひび割れ発生	応力の集中とゴムの経年劣化
床版取付金具空気漏れ	設置後3カ月	堰底部の水中から空気漏れが発生	取付金具の締め付け不足、ゴムのクリープ変形の認識不足

3. ギュム引布の材料特性

大型のゴム袋体では、ゴム引布の接合部の不具合事例もあるため、今回接合部に着目してゴム引布の静的強度特性とクリープ特性について調査した。

3.1 ギュム引布の静的強度特性

1) 静的強度試験

ゴム引布の静的強度特性について検討するため、単軸引張試験を行った。今回、設計強度500 N/mm、繊維層数3+1ply、ゴム種別:EPDM、厚さ約14mmのゴム引布を用い、ダンベル形状のJIS-A型試験片にて引張試験を行った。表-2に試験条件を示すが、試験片には、繊維の切れ目を有する接合部と、強度材繊維が連続する中間部の2種とした。また、中間部でも繊維が連続している「継なし」と、製造上の都合で発生する繊維の切れ目を有する「継あり」も用意した。

さらに、実際のゴム堰は、ゴム引布が水環境下

に置かれ、表面ゴムの摩耗などにより繊維層に水が浸入する可能性がある。このため、乾燥状態 (Dry) と繊維に水を含ませた湿潤状態 (Wet) の試験片を用意し、それぞれの特性を比較した。

2) 静的強度試験結果

表-2に引張強度と伸び等についての結果一覧、図-6に引張強度の比較図を示す。いずれの試験結果も中間部と接合部に大きな差は見られなかった。また、表-2から、破断時の伸びは、Dry に比べWetでは約5~18%低下したことが分かる。図-6から、Dryに比べWetでは約10%破断強度が下がることが分かる。Wet時のゴム引布の強度の低下は、文献1)が示す水分を含んだ場合の繊維の引張強度の低下とほぼ同じ割合であった。このため、繊維の湿潤による強度低下をそのまま反映した結果と考えられた。

表-2 試験条件と引張強度、伸び等の結果

部位	試験荷重方向	状態	含水率 (質量分率%)	設計強度 N/mm	引張強度 N/mm	引張強度/基準強度	伸び%	強度比 (水中/乾燥)	伸び比 (水中/乾燥)
接合部1		Dry	-	500	527.9	1.06	38.8	-	-
		Wet	2.86		476.8	0.95	33.5	0.9	0.86
接合部2	Dry	-	538.2		1.08	25.5	-	-	
	Wet	2.88	487.3		0.97	23.1	0.91	0.91	
接合部3	袋体	Dry	-		551	1.1	27.4	-	-
		Wet	3.01		565.1	1.13	22.3	1.03	0.82
接合部4	周方向	Dry	-		610.6	1.22	26.8	-	-
		Wet	2.76		531.7	1.06	24.2	0.87	0.9
中間部	継あり	Dry	-		614.6	1.23	27.5	-	-
		Wet	2.19		547.8	1.1	23.4	0.89	0.85
中間部	継あり2	Dry	-		556	1.11	22.9	-	-
		Wet	2.89		513	1.03	21.9	0.92	0.95
中間部	継なし	Dry	-		579.7	1.16	27.3	-	-
		Wet	2.31		513.8	1.03	25.7	0.89	0.94

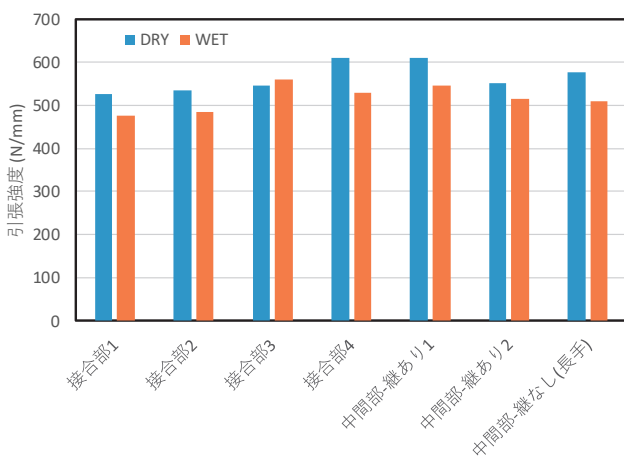


図-6 引張強度の結果比較

3.2 ゴム引布のクリープ特性

1) クリープ破断試験

ゴム引布の基礎的材料特性の時間依存性を確認するためクリープ試験を行った。試験片は前述の単軸引張試験で用いたのと同様のA社製ゴム引布

サンプルに加え、B社製ゴム引布を用いた。B社製ゴム引布の緒元は、設計基準強度500N/mm、ナイロン繊維層3ply、ゴム種別：EPDMである。試験片は、ダンベル状で長さは約500mmとした。試験において、試験荷重は設計基準強度の40~70%とし、試験環境は室温約20℃にて乾燥状態 (Dry) と水中 (Wet)、および水中+高温 (40℃) の3条件で実験した。

2) クリープの破断モード

図-7にクリープ試験で見られた破壊モードを示す。左は繊維が破断する「繊維破断型」の破壊モードで、単軸引張試験の破壊モードと同じである。右は繊維間のゴム界面がせん断力で破壊し繊維層間がはく離する「せん断はく離型」である。A社製試験片において、「せん断はく離型」は、単軸引張試験では見られなかったが、接合部のクリープ破断試験ではこのモードが出現した。このことから、ゴム引布接合部において、準静的な荷重条件下での損傷形態と、時間依存型の荷重条件下での形態は異なる場合があると考えられた。



図-7 クリープ破断のモード (左:繊維破断型、右:せん断はく離型)

3) クリープ破断試験結果

図-8にクリープ破断実験より得られたクリープ破断線図を示す。凡例で、特に表記の無いものはA社製サンプルの結果である。試験片は大別して①中間部と②接合部があり、①中間部で、繊維が連続しているものを「中間部」、製造上の都合の切れ目があるものを「中間部 (繊維継ぎ目)」と表記している。ただし、「中間部」と「中間部 (繊維継ぎ目)」は同等の引張強度を持っていたため、ここでは両者を同じ①中間部として考えることとした。

図-8より、まずDryとWetを比較すると、A社の中間部において、両者のクリープ破断時間に大きな差がない結果が得られた。一方、接合部においては、Dry（赤丸）の延長上にWet（赤×）の結果は乗らずクリープ破断時間が短い傾向を示し、湿潤状態でクリープ強度が低下する可能性を示した。接合部のWetのデータはまだ少ないので、今後データを増やして結論を得たい。

接合部については、B社のサンプルでも試験を実施した。図中の紫丸で示したとおり、B社のサンプルはA社の接合部/Dryの結果と比べると縦軸方向でおおよそ1割ほど上となる結果が得られた。クリープ時間の増加に対する曲線の傾きはA社とB社でほぼ同じ傾向が見られた。この結果、メーカーによる差は多少あるものと考えられた。

A社の接合部でDryと40℃/Wetの結果群を比較すると、40℃/WetはDryの大きく下側に位置し、高温では同一荷重でクリープ破断時間が短くなることが予想された。ゴム堰の運転方法によっては太陽光等によりゴム引布の温度は40℃以上の高温になる可能性がある。ゴム袋体の実働応力（実稼働中に受ける応力）が引張強度の数パーセントである場合でも、接合部/40℃/Wetのような状況で、ゴム引布内部に応力集中が生じている場合などは、早期に部材が破損することも考えられる。この結果と高温条件下での破壊メカニズムについては今後慎重に検討を行うことが必要と考えられた。

現場計測の結果から実際のゴム堰の想定される実働応力は引張強度の10%以下と考えられ、いずれのクリープ破断線の延長も 2.6×10^5 時間（約30年）で0.1を超えていることから、いずれの場合も余寿命は30年以上と推定される。しかし、実働応力がゴム引布の内部応力や応力集中等で局部的に高くなる場合も考えられるので、様々な条件下での検討が重要であると考えられた。

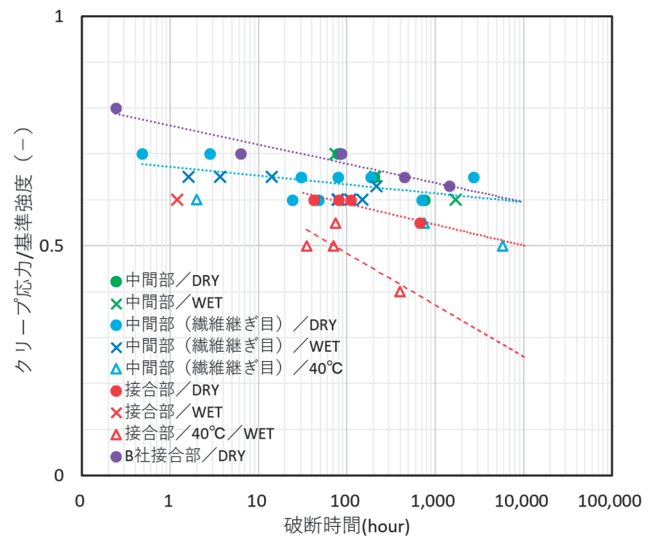


図-8 クリープ破断線図

4. まとめ

本報では、ゴム堰の設置状況や損傷事例をまとめるとともに、クリープ性能について検討した結果を報告した。まとめると以下のようなものである。

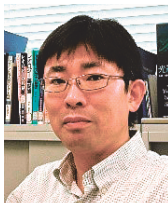
- ・ ゴム堰は、老朽化したものが増えてきている
- ・ 老朽化した堰では不具合が見られることがあり、ゴム引布の接合部での不具合も発生している。
- ・ 単軸引張試験では、中間部・接合部の差はあまりなく、繊維の湿潤により一様に強度低下がみられた。
- ・ クリープ試験では、乾燥、湿潤にあまり差は見られなかった。一方、接合部ではクリープ破断時間が短くなる傾向が見られ、特に温度が高くなると顕著であった。

今後は、不足しているデータを増やすとともに、環境要因などの検討を行い、ゴム引布の寿命予測が可能になるようにしていきたい。

参考文献

- 1) 繊維便覧第3版、繊維学会、p.921、2004

新田弘之



土木研究所先端材料資源研究センター
材料資源研究グループ 上席研究員、
博士(工学)
Dr.Hiroyuki NITTA

中村 崇



研究当時 土木研究所先端材料資源
研究センター材料資源研究グループ
専門研究員
Takashi NAKAMURA

上野仁士



土木研究所技術推進本部先端技術
チーム 主任研究員
Hitoshi UENO