

ジオメンブレンの力学的物性値の温度依存性

Temperature Dependency of Dynamic Physical Property Values of Geomembranes

長 東 勇[†]
(Isamu NATSUKA)

I. はじめに

貯水池表面遮水工法に使用される土木用遮水材であるジオメンブレン(Geomembrane, 以降, GMと略す。)には, 大別すると合成ゴム系, 合成樹脂系, アスファルト系, ベントナイト系, およびこれらの複合系のもがある¹⁾が, 最近の新材料開発の成果を反映して多様なGMが利用できる状況となっており, 材料選択の幅が広がってきている。ところが, メーカーによって示されるGMの評価物性値は, JISなどに基づく素材ごとに異なる試験方法の下で実施された試験結果によるものであることから, 現場技術者が材料選択を行う上で必要な異種材料間の直接的な性能比較は困難となっている。その上, メーカーから提示される評価物性値は, 室温(20~23℃)での試験値で代表される場合が多いことから, 貯水池表面遮水工法用GMの材料選定データとしては, 必ずしも十分とは言えないものとなっている。何故ならば, 貯水池表面遮水工法用GMは曝露状態で使用される場合が多く, その国内における使用環境気温は-30~+35℃と幅が広いからである。さらに, 北海道では-30℃以下になることも珍しいことではなく, 黒色系GMの夏場の表面温度は, 沖縄地方に限らずとも60℃以上になる²⁾。これに対し, GMの主な材料素材である合成高分子材料は, 通常感温性が高いことから, 使用環境温度の変化により非常に大きな物性変化を起こす可能性がある。したがって, 貯水池表面遮水工法用GMの材料選定に当たっては, GMの物性の変化が設計上想定する許容値内であるかどうかを, データに基づいて検討しておくことが必要である。あるいは, 使用を予定するGMの物性の変化を十分考慮した上で設計を進めることが重要である。こうしたことから, 各種GMの力学的物性値の温度依存性を的確に把握しておくことが, GMを用いた安全で合理的な表面遮水工法を設計する場合の出発点となる。

II. 検討供試体と実験条件

本報においては, 貯水池表面遮水工法用GMとして使用例が多い合成ゴム系のエチレンプロピレンゴム(EPDM), 合成樹脂系のポリ塩化ビニル樹脂(PVC), 今後使用が見込まれる合成樹脂系の高密度ポリエチレン樹脂(HDPE), 合成ゴム・合成樹脂複合系の熱可塑性エラストマー(TPE)の4種, 各々2製品のGMを比較対象供試体とした(表-1)。比較物性値は, 同一の実験条件下で実施した引張試験による結果である引張強さ(T_B), 切断時伸び(E_B), 300%引張時の応力(M_{300})である。その同一実験条件とは, GM厚さは1.5mm, 試験片形状はダンベル3号, サンプリング方向は長手方向, 試験時引張速度は500mm/min, 試験機は高精度多目的材料試験機(インストロン5567)である。また, 検討対象温度範囲は, 低温側は極低温の-40℃, 高温側は+60℃である(口絵写真参照)。

III. 各種GMの力学的物性値の温度依存性

1. EPDM系GMの力学的物性値の温度依存性

(1) 標準温度における物性 通称, 合成ゴムシートと呼ばれているものの多くは, EPDM系GMである。

表-1 比較供試体

| 比較供試体名 | 種別 | メーカー | 特記事項 |
|--------|-------|------|--------------------|
| A | EPDM系 | A社 | EPDM 100% |
| B | EPDM系 | B社 | EPDM 70%・IIR 30% |
| C | HDPE系 | C社 | 比重0.94 |
| D | HDPE系 | D社 | 比重0.95 |
| E | TPE系 | E社 | EPDM 20%・オレフィン 80% |
| F | TPE系 | F社 | EPDM 30%・オレフィン 70% |
| H | PVC系 | H社 | 軟質 |
| I | PVC系 | I社 | 高弾性軟質 |

[†] 農業工学研究所ジオメンブレン, 貯水池, 表面遮水, 引張試験
配合設計, 温度特性

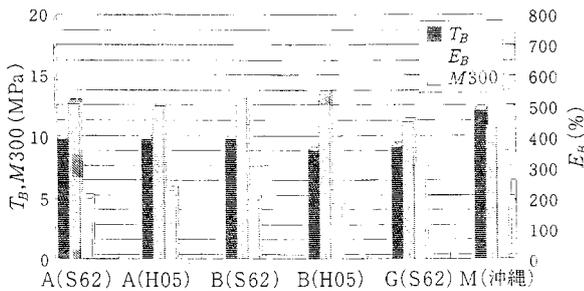


図-1 EPDM系GMの基本物性値の比較(20°C)

図-1は、比較供試体A,Bの昭和62年度製および平成5年度製の標準温度(20°C)での引張試験結果を、参考供試体G(EPDM系、G社製、EPDM70%・ブチルゴム(IIR)30%)およびM(EPDM系、A社製、EPDM100%、沖縄で使用)の結果と合わせて示したものである。各メーカー間、あるいは製作年度間で、物性にかなり差があることがわかる。その大きな要因は、製品の素材原料や配合設計の相違による差であると考えられる。本報では、EPDM系GMの化学成分構成の相違に関するGMの物性比較を行うことを目的とはしていないが、一般に、EPDM系GMの各構成原料(EPDM・IIR、加硫剤、オイル分、充填剤など)の配合がGMの特性に与える影響は、次のようであると言われている⁹⁾。EPDM系GMの主成分であるEPDM・IIRの増量は、ゴムとしての基本特性である強度、伸び、復元性を上げる。加硫剤の増量は、ゴムの架橋度を上げ、材令初期強度、弾性体としての性質を上げる。オイル分の増量は、加工性を高め、品質の安定性を高める。充填剤(カーボンブラック、シリカなど)の増量は、強度、紫外線劣化抑制、接着性を高める。

そこで、引張試験を行った供試体についてみると、「G(S62)」や「M(沖縄)」は、伸びに関する特性を抑えている。すなわち、 E_B は小さく、 $M300$ は大きい。これは、長大斜面施工におけるGMのダレを抑えることを目的に配合設計されたためと考えられる。特に、「M(沖縄)」は、 T_B も高めに設定されている。「B(H05)」は、他に比べ、 E_B が大きく、 $M300$ が小さい。これは、柔軟性、すなわち、基盤とのなじみややすさに配慮した配合設計がなされていることがうかがえる。また、「A(H05)」は、「A(S62)」に比べ、 E_B は小、 $M300$ は大と、やや硬めとなっている。

このように、EPDM系GMについては、使用現場の条件に応じて、ある程度、配合設計段階で物性を変えられるものであることがわかる。したがって、大量にGM

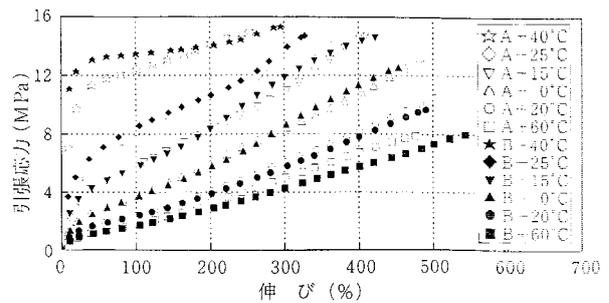


図-2 EPDM系GMの比較供試体A,Bの各実験温度における引張試験結果

を使用する現場においては、メーカーに所要の物性を明示して、適切なGMを導入することが重要である。

(2) 従来型GMの物性値の温度依存性 図-2は、比較供試体A,B(以降、従来型GMと呼ぶ。)の実験温度60, 20, 0, -15, -25, -40°Cにおける引張試験結果の代表例を示したものである。温度が低下するに伴い T_B は大きくなるが、温度低下に比例するように E_B は小さく、 $M300$ は大きくなる。また、標準温度においては引張応力は伸びにほぼ比例して大きくなるが、低温になるにつれその比例関係が崩れ、-40°Cにおいては引張応力が降伏応力に近づくまで伸びが小さく、その後一気に伸びて破断することがわかる。すなわち、EPDM系GMの特長である伸びに関する特性は、低温になるにつれ著しく低下する。ところが、寒冷地においてEPDM系GMを利用する場合、弾性体としての特長に期待してその使用を計画することから、これは極めて重大な物性変化であるといえる。

(3) 寒冷地用EPDM系GMの試作 一般に、遮水材に要求される物性としては、強度のみならず伸びが重要となる。これは、広範囲なライニングにおいてはGM自体の伸縮や不同沈下で変形が生じるため、それに対応できる物性として伸びが必要となるからである。伸びを十分に有する材料では伸びにより応力の分散が図られるが、伸びが少なく引張強度の高い材料では部分的な応力集中を生じ、GM相互の接着強度やコンクリート構造物などとの端末固定部強度もそれだけ大きな強度が要求されることになる。

EPDM系GMは、前述したように、配合設計段階での工夫により使用目的に応じて基本特性をある程度改良できる材料である。現時点で市場に広く提供されている従来型GMは、常温状態の使用を前提として耐久性、耐候性が改良されてきたものであるため、必ずしも寒冷地に適した配合設計はなされていない。寒冷地において

表-2 EPDM系GM改良の経緯(配合設計の検討)

| GM名称 | 改良の方針 | 配合設計の変更 | 実験結果 |
|-------|------------------|--|---|
| 改良型 | 従来型に比べ、弾性を向上させる | ・ゴム分の増量(50%増し) ・加硫剤の増量(従来型の2倍) | ◎ 低温物性変化特性を大きく改善 ● 加熱劣化性が大きい ● 加硫剤のブルームが発生 ● 加工性の低下 |
| 再改良型 | ・熱劣化特性を向上させる | ・加硫剤の調整(従来型の1.5倍) ・カーボン量の減 ・オイル量の増 | ○ 低温物性変化特性を改善 ○ 加熱劣化特性の向上 ○ 加硫剤のブルーム発生解消 ○ 加工性良好 △ 常温時を含め引張強さ増大(硬い) |
| 寒冷地型 | 耐寒性、基盤追惰性を向上させる | ・ポリマー成分の配合変更(プロピレンの増量) ・加硫剤量は再改良型と同様 | ◎ 低温時を含めしなやかさを大きく改善 ○ 低温物性変化特性良好 ● 加熱劣化性が大きい(加硫不足) ● 加工性の低下 |
| 新寒冷地型 | ・熱劣化特性、加工性を向上させる | ・加硫時間の延長(20%増し) ・若干のカーボン量の増、オイル量の減等、配合を一部修正 | ○ 低温時のしなやかさを改善 ○ 低温物性変化特性良好 ○ 熱劣化特性の向上 ○ 加工性の向上 |

使用する場合であっても、現地で経験する温度変化の範囲内で物性変化がより少なく安定したものが望ましい。そこでメーカーに協力を依頼し、従来型GMの基本原料の構成を大きくは変更しないでゴム分、加硫剤、オイル分、充填剤の比率および加硫条件の調整により寒冷地用のGMが開発できないものかと、その配合設計を試みた。表-2は、その改良の検討過程を整理して示したものである。

図-3に、試作した寒冷地用GMの各実験温度における引張試験結果の代表例を、従来型GMに対比して示す。20°Cでの引張特性が従来型GMと変わらないにもかかわらず、低温時のしなやかさが大きく改善され応力-伸び関係も線形性が維持できている。また、 E_B も-40°Cであっても450%を確保できている。試作目的に合致した寒冷地用GMが開発できたといえる。

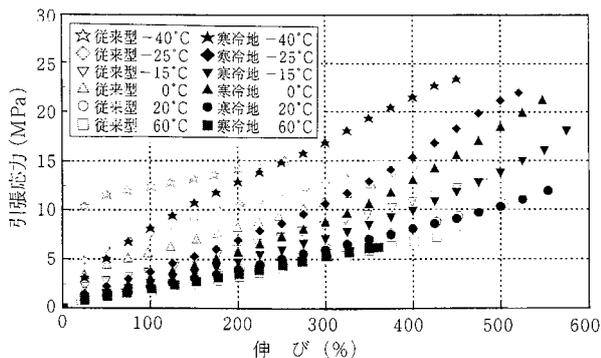


図-3 EPDM系寒冷地用GMの各実験温度における引張試験結果

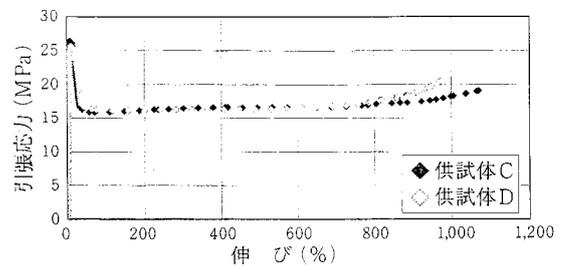


図-4 HDPE系GMの引張試験結果(20°C)

2. HDPE系GMの力学的物性値の温度依存性

(1) 標準温度における物性 ポリエチレンは、エチレンを重合させて得られる熱可塑性樹脂で、比重は1より小さい。重合法が異なると得られるポリエチレンも性質を異にするので、製法による分類もされているが、本質的な物性の相違は、密度(比重)と関連があるとされ、低密度(0.910~0.925)、中密度(0.926~0.940)、高密度(0.941~0.965)のように分類されている。本報における比較供試体C、Dは、共に高密度に属するGM(HDPE系GM)である。図-4は、標準温度におけるC、Dの引張試験結果である。両者は、同程度の T_B 、 $M300$ を示し、 E_B が若干異なる程度である。したがって、両製品間に物性の差はないと判断し、以降における検討には前者供試体Cを取り上げることとする。なお、HDPE系GMは他の素材のGMと比べて強靱といわれているが、今回実施した引張試験からも、HDPE系GMの T_B はEPDM系GMである供試体Bの3倍程度大きいことが確認できる。

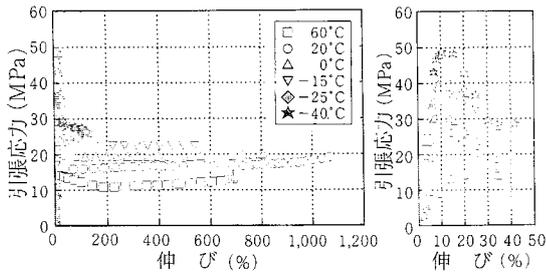


図-5 HDPE系GMの各実験温度における引張試験結果

(2) 低温時における物性 図-5は、各温度における引張試験結果の代表例を重ねて表示したものである。低温になるに従い T_B はより大きくなり、 -40°C の時の T_B は50 MPa程度と、標準温度時の概ね2倍になっている。降伏時伸びも温度低下に伴い若干小さくなる傾向にあるが、 -40°C においても10%程度はある。なお、 E_B は、温度低下に伴い急速に小さくなり、 -40°C では100%以下となっている。実に、標準温度時の1/10以下である。

ここで、HDPE系GMの基本物性値の取り扱いについては、注意が必要である。一般には、HDPE系GMの場合も、EPDM系GMのようなゴム状弾性を有するGMと同様に、基本物性値として E_B が表示される。しかし、この E_B は、貯水池の実際の設計においてはほとんど意味を持たない供試体の破断という極限状態での値である。すなわち、図-5のように、HDPE系GMはいずれの温度でも伸びの初期で降伏を生じ、その後は、ほぼ一定の応力(T_B の60%前後の応力)で、伸びる箇所が次々に移動する形で伸びていく(ネッキング現象という)。この現象を起こした以降のGMの物性は、初期の物性とは全く異なり、外力の増加に対してほぼ無抵抗である。したがって、貯水池の設計においては、降伏点を迎えるまでの引張応力と伸びの関係を用いて検討することが妥当と考えられ、降伏点以降の引張応力や伸びは、EPDM系GMの場合とは異なった取り扱いをすべきものである。こうした不適切な E_B の取り扱いの原因は、GMに関する試験方法の不備によるものである。ジオンセティック試験方法検討委員会がメーカーを主とする国内35試験機関からの回答として得た結果⁴⁾によると、HDPE系GMに関する引張特性試験を実施している16機関の内、5機関が本来はゴム状弾性を有するGMの引張特性を評価する試験方法であるJIS A 6008に準じた引張試験方法のみを採用している。したがって、基本物性の表示もこれに規定された項目のみにとどまっていると考えられる。他の8機関は、JIS A 6008の試験方法では規定されていない引張降伏時の諸物性値も合わせて求

めるJIS K 7113, ASTM 638, DIN 53455のいずれかの試験方法をJIS A 6008と併用しており、引張特性の表示方法が曖昧である可能性が高い。残り3機関のみが、JIS K 7113またはASTM 638に規定された試験方法を採用している。このように、試験機関によって試験方法はまちまちであり、引張降伏時の諸物性値を明確にする試験方法への統一が必要である。

一方、HDPE系GMの熱膨張係数は、EPDM系GMの3倍の $1.2 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ である。一般には樹脂材料は高温になるにつれ熱膨張係数が大きくなる⁵⁾が、高温(60°C 程度)から極低温(-40°C 程度)まで熱膨張係数を $1.2 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 、一定と仮定すると、 10°C の温度差で100 mのものが12 cm伸縮することになる。実際の施工現場では、夏場はGMの表面温度は 60°C 以上になると考えられることから、極低温時との差は 100°C 以上になると想定される。その場合、100 mで1.2 m伸縮することになる。これは、天場部の固定方法や構造物との取付に極めて慎重な対応を要することを意味する。場合によっては、極低温時には氷結面以上のGMが大きく収縮しようとするため、氷結面以下の荷重を局部的に受け持つことも考えられ、極めて大きな応力集中が起こる可能性がある。HDPE系GMを寒冷地における貯水池に使用するには、上述した温度特性に注意するのみならず、HDPEの熱膨張係数の各温度での実測値をもとに、局部的な応力集中発生の可能性について検討しておくことが必要である。

3. TPE系GMの力学的物性値の温度依存性

(1) 標準温度における物性 TPE系GMは、EPDMとポリオレフィン(エチレンの同族体)系樹脂をブレンドしたブロック共重合体からできている。図-6は、前述したEPDM系GMおよびHDPE系GMの引張試験結果の代表例と合わせて、TPE系GM比較供試体E, Fの標準温度における実験結果を示したものである。TPE系の両供試体は、主にそれらの材料素材であるEPDMの量やオレフィン系樹脂の量といった配合設計

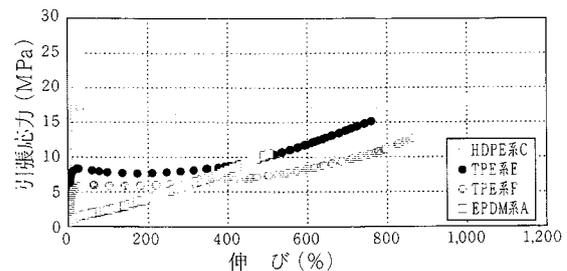


図-6 TPE系GMの引張試験結果(20°C)

の相違から若干の物性の差異はあるが、自動熱融着機による現場接着接合が可能という特長と合わせて、比較的強靱な物性を有する遮水材であるといえる。

ところで、TPE系GMは、メーカーサイドや国際学会の分類^{6), 7)}では、EPDM系GMとされている。しかし、図-6に示したように、標準温度における応力-伸び曲線は、HDPE系GMとEPDM系GMの応力-伸び曲線を合成したような形状であり、明らかに降伏点が存在する。これは、TPE系GMの材料素材であるポリオレフィン系樹脂とEPDMの力学的特性が合成された結果であるといえる。したがって、土木用遮水材料として使用する利用者側にとっては、配合素材からみた分類よりも、力学的特性からみた分類の方が利用上の誤解を防止できることから、TPE系GMは、EPDM系GMとは分類せずに、別途に合成ゴム・合成樹脂複合系の熱可塑性エラストマー(TPE)と分類上位置付けされるのが適切であると思われる。

(2) 低温時における物性 図-7は、供試体Eの各実験温度における引張試験結果から得られた、 T_B , E_B の温度依存性を、EPDM系GMやHDPE系GMと比較して示したものである。ただし、 T_B については、TPE系

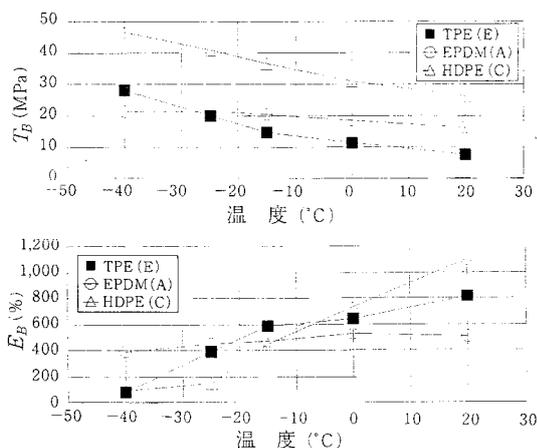


図-7 GMの引張強さおよび切断時伸びの温度依存性

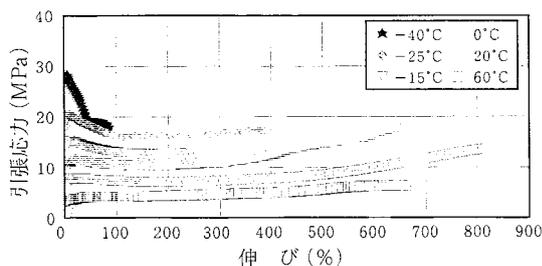


図-8 TPE系GMの各実験温度における引張試験結果

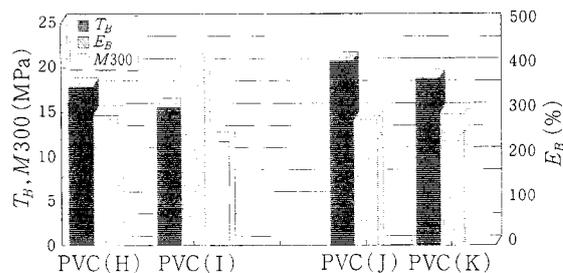


図-9 PVC系GMの基本物性値の比較

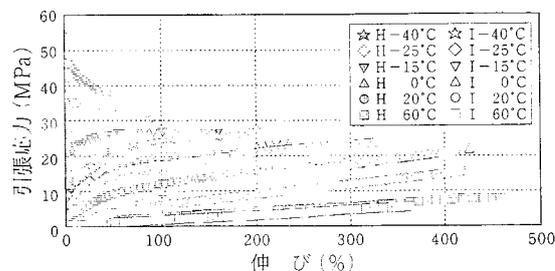


図-10 PVC系GMの各実験温度における引張試験結果

GMは図-8にその実験結果の代表例を示すように、0°C以上の高温領域では降伏時における引張応力よりも切断時における引張応力の方が大きい、ここでは前項で述べたHDPE系GMにおける降伏点以降の引張特性の取扱いと同様に、降伏点における引張応力を T_B として表示した。 T_B は、HDPE系GMと同様の温度依存性を、 E_B は、HDPE系GMとEPDM系GMとの中間的な温度依存性を現す。

4. PVC系GMの力学的物性値の温度依存性

(1) 標準温度における物性 図-9は、軟質PVC系GMである比較供試体H、参考供試体J(A社製)、K(K社製)および高弾性軟質PVC系GMである比較供試体Iの標準温度における基本物性値を示したものである。ただし、この引張試験においても、JIS A 6008で規定されたPVC系の試験速度200 mm/minを採用せず、前述した他のGMと同様に、500 mm/minとしている。図-1に示したように、一般市場製品のEPDM系GMの T_B は9~10 MPaで製品間に大きな差異がないのに比べ、PVC系GMは15~20 MPaとその差異が大きい。 E_B についても300%弱から430%とその差異が大きい。配合される助剤によって、PVC系GMの基本物性値が大きく変えられることが確認できる。

(2) 低温時における物性 図-10は、比較供試体H,Iの各実験温度での引張試験結果の代表例を示したものである。軟質PVC系GMの力学的物性値の温度依存性は非常に大きく、実験温度-15°Cにおいては、伸び30%

程度以降は、引張応力のわずかな増加で容易に伸び、150%程度の伸びで破断に至る。さらに、-25℃以下になると、応力-伸び曲線は、TPE系GMのそれに酷似しており、明瞭な降伏点が存在する。一方、高弾性軟質PVC系GMについては、-25℃程度まではゴム状弾性特性が不十分ながらも残っており、-40℃においても200%程度の伸びは確保されている。PVC系GMの使用に際しては、使用環境条件に十分配慮し、所要の性能を備えた製品選定を行うことが重要である。

IV. 貯水池喫水線付近における各GMの挙動

以上述べた各GMの力学的物性値の温度依存性がGMを貯水池表面遮水材として利用する場合に具体的に検討課題となる事例は、貯水池喫水線付近における挙動である。すなわち、土中に敷設された状況で供用される廃棄物処分場のGMは、気温による温度変化の影響が緩和されるのに対し、貯水池表面遮水材として用いられ、水面上に露出する部分のGMは、直接、気温や日射熱の影響を受ける。したがって、GMの力学的物性値の温度依存性が設計上の課題となるのは、喫水線付近に生ずるGM物性の相違による部分的な引張状態においてである。この引張状態は、二つのケースが考えられ、水面下のGM温度が水温に維持されるのに対し、水面上のGM温度が高温状態になる夏季の状況と低温状態になる冬季の状況である。そこで、夏季のGM温度を水面下20℃、水面上60℃とし、冬季のGM温度を水面下0℃、水面上-15℃として、喫水線付近に生じる各種GMの物性の状態を検討すると、表-3のとおりである。表中で、各記号の前に添えた数字は温度を表し、それぞれはその温度での物性値である。また、 ${}_{20}E_B({}_{60}T_B)$ は20℃において ${}_{60}T_B$ なる応力値の時の伸びを、 ${}_{-15}E_B({}_0T_B)$ は

-15℃において ${}_0T_B$ なる応力値の時の伸びを表示している。ただし、降伏を生じる材料については、降伏時における引張応力、降伏を起こすまでの伸びを用いている。

喫水線上下における引張強さの相違度合い(${}_{60}T_B/{}_{20}T_B$, ${}_0T_B/{}_{-15}T_B$)は、比較対象としたすべてのGMにおいて、冬季より夏季の方が大きい。特に、PVC系GMは、水面上の引張強さが水面下の1/3程度となる。また、HDPE系、TPE系、PVC系のGMは、水面下部分のGMに期待できる伸びである ${}_{20}E_B({}_{60}T_B)$ が数%~数10%と小さいことから、材料自体の強さで変形に対応することとなる。さらに、TPE系については他のGMに比較して ${}_{60}T_B$ が小さい(4.3MPa)ことから、設計においては注意を要する。

一方、冬季においては、 ${}_0T_B/{}_{-15}T_B$ はいずれのGMも0.75以上であることから水面の上下における引張強さの相違度合いは小さい。しかし、TPE系の ${}_{-15}E_B({}_0T_B)$ は、 ${}_0E_B$ の1/10程度の2.9%と非常に小さいため、喫水線より下のGMに局所的な伸びを生じる可能性が高い。さらに、その喫水線より下の伸び能力自体も22.4%と小さいことから、こうした状況の生じる条件下での使用は避けるべきである。このように、合成樹脂系、合成ゴム・合成樹脂複合系のGMは総じて温度依存性が大きいため、貯水池表面遮水材としてこれらのGMを用いる場合は、その現場状況に応じた検討が必要である。

V. おわりに

貯水池表面遮水材として、多様なGMが利用できる状況となっていることから、材料選択の幅が広がってきている。各GMは材料素材の特性から派生する独自の性能を持っており、使用にあたっては、それらの特性を十分踏まえた上で設計することが肝要である。

本報では、貯水池表面遮水材が曝露状態で使用される

表-3 各GMの喫水線付近の物性状況

| GMの種別 種別 | 物性値 | 夏季の状況 | | | | 冬季の状況 | | | |
|-------------|-----|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | ${}_{20}T_B$ MPa | ${}_{20}E_B$ % | ${}_{60}T_B/{}_{20}T_B$ | ${}_{20}T_B({}_{60}T_B)$ % | ${}_0T_B$ MPa | ${}_0E_B$ % | ${}_0T_B/{}_{-15}T_B$ | ${}_{-15}T_B({}_0T_B)$ % |
| HDPE系 C | | 26.4 | 9.3 | 0.60 | 2.7 | 30.5 | 7.8 | 0.83 | 7.7 |
| TPE系 E | | 8.3 | 26.6 | 0.52 | 5.8 | 11.6 | 22.4 | 0.76 | 2.9 |
| PVC系 H | | 17.9 | 295 | 0.44 | 38 | 23.5 | 235 | 0.88 | 16 |
| PVC系 I | | 15.6 | 425 | 0.35 | 85 | 22.0 | 425 | 0.93 | 240 |
| EPDM系 A | | 10.5 | 505 | 0.75 | 390 | 13.2 | 485 | 0.90 | 370 |
| EPDM系 B | | 9.2 | 555 | 0.87 | 500 | 12.6 | 455 | 0.86 | 330 |
| EPDM系 寒冷地 | | 11.9 | 555 | 0.52 | 320 | 18.0 | 575 | 0.85 | 490 |

場合が多いことに鑑み、材料選定上のポイントとなる各種 GM の力学的物性値の温度依存性について検討を行った。その結果、表面遮水工法用 GM の材料選定においては、GM の力学的物性値の温度依存性を事前に十分検討しておくことが重要であることを明らかとした。しかし、遮水材料の選定要件は、GM の力学的物性値の温度依存性のみではない。GM の接着・接合部の安定性と水密性、耐水圧性、耐久性などが重要な要件となる。これらについては、別途報告する予定である。

なお、本報は、京都大学審査学位論文の一部を再構成し直したものである。

- 4) ジオシンセティック試験方法検討委員会：ジオメンブレンに関する試験方法の調査結果，地盤工学会ジオメンブレン利用の現状と試験方法講演論文・資料集，pp. 88～89 (1997)
- 5) 鈴木秀明：プラスチックの問題点，土木材料ハンドブック，山海堂，pp. 459～460 (1968)
- 6) 合成高分子ルーフィング工業会：シート防水マニュアル（加硫ゴム系），加硫ゴム部会，p. 8 (1993)
- 7) 国際ジオシンセティックス学会日本支部・ジオメンブレン技術委員会：ジオメンブレン技術概説—設計と施工—，p. 4 (1995)

[1998. 11. 18. 受稿]

参 考 文 献

- 1) 長束 勇：農水分野における GM 利用の現状と試験方法，地盤工学会ジオメンブレン利用の現状と試験方法講演論文・資料集，pp. 39～41 (1997)
- 2) 山中享二：合成高分子防水材料の耐候性の評価と予測，ウレタン建材，20，p. 30 (1996)
- 3) 前田守一：ゴム技術の基礎，日本ゴム協会，pp. 91～126 (1995)

長 束 勇

略 歴



- 1974年 京都大学農学部卒業，農林省入省
- 1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科修士
- 1986年 構改局設計課農業土木専門官，設計審査部長
- 1989年 農工研土木材料研究室長，土地質研究室長
- 1998年 京都大学博士（農学）
- 現在に至る

新 刊 図 書

[本欄は新刊図書の紹介のみです。希望者は直接出版社へお申込み下さい。]

| | | | |
|----------------------------|-------------------|--------|--------------------------|
| 地震工学概論 | 元田良孝著 萩原良二 | 森北出版 | A5判，192ページ， ¥2,200 |
| 日本農業の動き 128 食料・農業・農村基本法の課題 | 農政ジャーナル リストの会編 | 農林統計協会 | B6判，160ページ， ¥1,200 |
| 農林水産文献解題 No. 28 農業と環境問題 | 嘉田良平監 西尾道徳 | 農林統計協会 | A5判，350ページ， ¥3,000 |
| 利根川 人と技術文化 | 北野進著 是永定美 | 雄山閣出版 | A5判，292ページ， ¥3,500 |
| わが国農法の伝統と展開 | 渡部忠世監修 | 大明堂 | A5判，188ページ， ¥3,000 |
| 研究者のための国際学会プレゼンテーション | 久保田浪之介著 | 共立出版 | A5判，208ページ， ¥2,400 |
| 新版 生物環境調節ハンドブック | 生物環境調節学会編 | 養賢堂 | B5判，585ページ， ¥13,000 |
| 第2次増訂改版 農学大事典 | 野口弥吉他監修 | 養賢堂 | B5判，2,120ページ， ¥37,000 |