

ベントナイト系遮水マットの接合部における遮水性能

—ベントナイト系遮水マットの貯水池への適用に関する研究(Ⅱ)—

長束 勇* 豊田裕道* 小浪岳治** 堀田法明**

*農業工学研究所(〒305 つくば市観音台 2-1-2)

**農村基盤建設協業組合(〒105 東京都港区新橋 4-24-8)

要 旨

筆者らは既に、ベントナイト系遮水マットを貯水池の表面遮水材として利用する場合、遮水マット相互接合部やコンクリート構造物との接合部における遮水性を確保することが重要であることを指摘した。しかし、その接合部における遮水性能に関する試験法及び定量的な評価法は、検討課題となっていた。そこで、接合部の遮水性能を定量的に明らかにできるよう、試験方法を検討した上で試験装置を試作し、施工現場での種々の敷設状況を想定した遮水性能試験を実施した。本論では、新たに導入した試験法によって得られた接合部の遮水性能試験結果を示すとともに、その簡便な評価法を提案した。提案した評価法に基づいて施工現場における漏水量を試算すると接合部からの漏水量が全漏水量の約30%を占めることから、設計においては接合部からの漏水量を考慮する必要があるとの結果を得た。

キーワード：ベントナイト、ジオテキスタイル、遮水材、透水係数、膨潤、圧縮、圧密

1. はじめに

近年、安全性及び貯水効率の面から許容値以下の漏水は許される貯水池等の遮水材として、あるいは遮水層を二重構造とする貯水池等の下層遮水材として、ベントナイト系遮水マット(Geosynthetic Clay Liner, 以降 GCL という)を利用しようとする試みが見られる。GCLは、遮水材が無機系の粘土であることから基本的には材料劣化はないこと、ベントナイトの持つ膨潤性・膠着性により損傷に対する自己治癒性が期待できること、接合は原則的には重ね合わせで特殊技能を必要としないことなど、施工性・耐久性・維持管理の面で利点を持つ材料である。筆者らは、このGCLの表面遮水材としての設計施工法が確立されれば広範に利用し得るものと考え、その遮水性能に関する基礎的実験を実施してきた。こうした成果の一部である大型圧力容器を用いた実際の施工規模のモデル試験結果については、既に報告したとおりである(長束ら, 1993)。しかし、このモデル試験結果は、試験条件や試験方法自体が試行錯誤の連続であったことから、定量的な評価が必ずしも十分であったとは言い難い。特に、GCL相互接合部やGCLとコンクリート構造物との接合部における遮水性能が、GCLによる遮水工法を評価する上で重要なポイントとなることは明らかにできたが、その試験結果の定量的な評価法は検討課題となっていた。そこで、GCLを貯水池等の遮水材に利用することを前提に、その遮水性能を定量的に明らかにできるよう試験方法を

検討した上で試験装置を試作し、施工現場での種々の敷設状況を想定した遮水性能試験を実施した。本論は、得られた試験結果をもとに、GCL接合部の遮水性能の評価法を検討したものである。なお、試験結果は、GCL接合部の最適施工法に関する技術開発を目的として、農業工学研究所と農村基盤建設協業組合が交流共同研究として実施している研究成果の一部である。

2. 試験装置及び供試体 GCL

2.1 試験装置

今回試作した試験装置は、Fig.1(a)に示す構成となっている。試験装置の主となる大型透水試験機は、(a)供試体容器を着脱式として、試験の効率化を図ること、(b)従来測定が困難とされていたGCL相互、GCLとコンクリート接合部の遮水性能を計測できること、(c)供試体からの漏水の様子が目視できること、を方針として試作した。(a)については、試験を開始するまでに必要なGCLの膨潤養生等に時間を要することを考慮した結果である。(b)については、Fig.1(b)に示すように、供試体容器の底に直径5mmの細孔を多数規則的に配置し、これらの細孔群を必要に応じてリングにより区画分割ができる構造とする工夫をした。(c)については、供試体容器をセットする試験機本体の円筒部分を二重円筒方式とし、最大350kPa(透明アクリル製の内円筒の耐水圧限界)までの試験においては漏水の状況を外から観察できるようにした。なお、ス

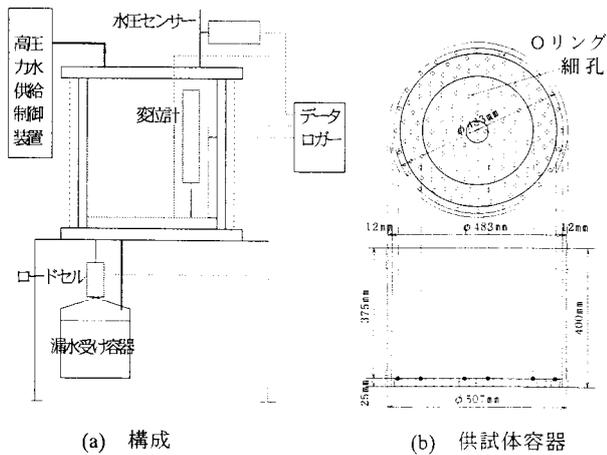


Fig. 1 試験装置
Testing apparatus

ステンレス製の外径筒を併せて装着した場合は、最大 1MPa までの試験が可能である。一方、併せて試作した高圧力水供給制御装置は、100kPa から 3MPa まで任意の水圧の水を、長期定圧負荷条件または繰り返し水圧負荷条件で大型透水試験機等に連続供給できるよう、電磁弁を組み込んで 2 連の増圧装置を自動的に交互運転させるようにしたものである。

2.2 試験に用いた GCL

今回の試験に用いた GCL は、厚さ 5mm のベントナイト層の上下をジオテキスタイルでサンドイッチ状に挟んだものである。ベントナイト層は、材料の不均一性を極力押さえること、敷設直後から遮水性能を発揮させること等の観点から、製造段階で既に予備膨潤されている。また、上下のジオテキスタイルは、ベントナイト層の保護、可搬性の確保のために使用されている。なお、本 GCL は、敷設場所に応じてジオテキスタイルの構成が変えられている。通常の地盤に敷設するタイプを標準用タイプ (P タイプ) と呼んでおり、その素材は、上面がポリプロピレン織布、下面がポリプロピレン不織布である。構造物との接合の際に使用される構造物タイプ (S タイプ) は、上面は P タイプと同じであるが、下面はポリエステル不織布製の薄いネットとなっている。

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

施工現場での GCL の敷設状況を想定して、Table 1 に示す試験ケースを設定し、供試体を以下の手順で作製した。

3.1.1 標準敷設状態

- ① GCL を供試体容器の内径の大きさに切り出す。
- ② 供試体容器壁に沿った漏水を計測値から排除するため、容器底部を Oリングにより区画割りする。
- ③ 供試体容器底部の細孔へのベントナイトの貫入防止のため、Oリング内に円形の不織布を、Oリングと容器壁の間にリング状の不織布をおく。
- ④ 供試体容器壁に端部を密着させる上で障害となる GCL 下面の不織布を剥がしてから容器底部におく。
- ⑤ GCL 端部を容器壁に押しつけ十分に密着させる。
- ⑥ GCL 端部円周上に別途用意したベントナイト粒状体を散布し、その上に帯状の GCL を被覆して端部処理する。
- ⑦ 砂を GCL の上に撒き出し転圧し、厚さを 20cm とする。
- ⑧ GCL 厚さの変化を計測するための変位計を設置する。
- ⑨ 上から注水して GCL を膨潤養生する。

3.1.2 GCL 相互接合敷設状態

次の手順の他は、標準敷設状態と同様である。

- ① 下側の層となる GCL を供試体容器の内径の大きさに切り出した後、Fig.2(a)に示すように、センターに直径 45mm の穴を開ける。
- ② Fig.2(a)のように Oリングで区画割りした供試体容器底に下層の GCL をおく。
- ③ 上側の層となる GCL を直径 345mm の円形に切り出し、中心が一致するように下層の GCL に重ねる。

3.1.3 コンクリート構造物との水平接合状態

- ① 供試体容器底に、Oリングを Fig.2(b)のようにおき、区画割りする。
 - ② ドーナツ型コンクリート片 (外径 465mm×内径 45mm×厚さ 100mm) を供試体容器底部に設置する。
 - ③ 供試体容器とコンクリート片の隙間を砂で満たした後、ベントナイト粒状体、帯状の GCL で端部処理する。
 - ④ S タイプ GCL を直径 345mm に切り出し、ドーナツ型コンクリート片の上におく。
- 以降の手順は、標準敷設状態と同様である。

3.1.4 コンクリート構造物との垂直接合状態

- ① 供試体容器底に、Oリングをおき、区画割りする。
- ② 円筒型コンクリート片 (外径 465mm×内径 340mm×高さ

Table 1 試験ケース

Testing case

施工現場での想定敷設状況	膨潤養生時間	試験水圧	供試体 No.
標準敷設状態	1, 7, 15 日間	300, 600, 900kPa に順次昇圧	1-1, 1-2, 1-3
GCL 相互接合敷設状態	1, 7, 15 日間	50, 150, 300kPa に順次昇圧	P-S 接合 2-1, 2-2, P-P 接合 2-3, 2-4, 2-5
コンクリート構造物との水平接合状態	15 日間	300kPa 定圧負荷	3-1, 3-2, 3-3
コンクリート構造物との垂直接合状態	15 日間	300kPa 定圧負荷	4-1, 4-2, 4-3

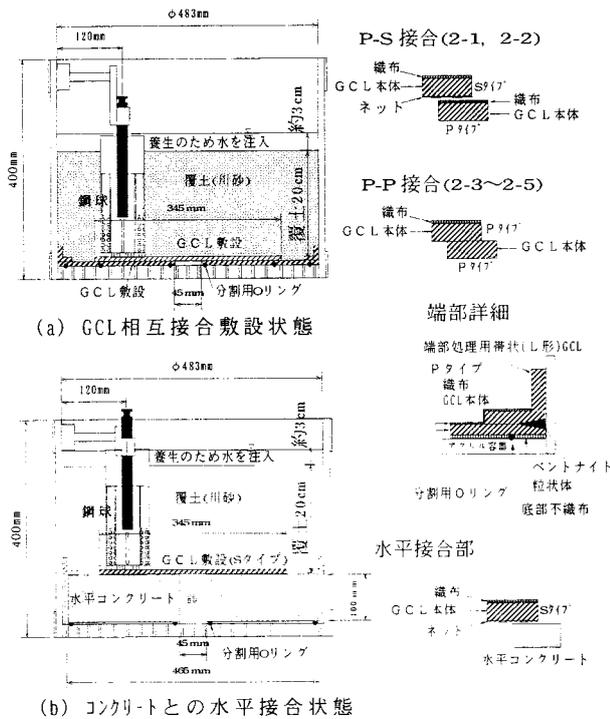


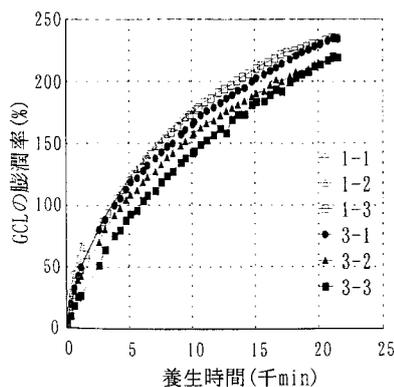
Fig. 2 供試体断面図
Section view of specimen

300mm)を供試体容器底部に設置する (Fig.6(d)参照)。

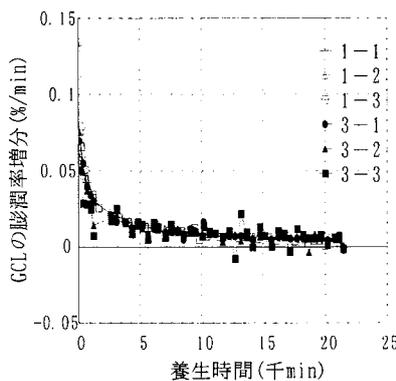
- ③供試体容器とコンクリート片の隙間を砂で満たした後、ベントナイト粒状体、ベントナイトペーストで端部処理する。
 - ④SタイプのGCL (200mm×1,070mm)を円筒型コンクリート片の内空壁面に沿って張り付ける。
 - ⑤円筒型コンクリート片の内空底面に直径340mmのGCLをおき、帯状のGCLで端部処理をする。
- 以降の手順は、標準敷設状態と同様である。

3.2 膨潤養生

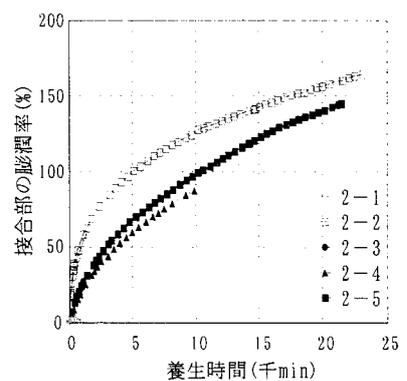
供試体容器内に作製した供試体は、覆土上面からの水深が約3cmとなるよう注水管理しつつ膨潤養生を行った。



(a) 単一層敷設状態膨潤率



(b) 単一層敷設状態膨潤率増分



(c) GCL相互接合部膨潤率

Fig. 3 膨潤率の時間変化

Temporal change of swelling rate

標準敷設状態供試体及びGCL相互接合敷設状態供試体の養生時間は、膨潤養生の程度がGCLの遮水性能に及ぼす影響を調べるため、1, 7, 15日間の3通りとした。コンクリート構造物との水平・垂直接合状態の供試体は、15日間とした。また、垂直接合状態の供試体以外は、供試体作製時に取り付け変位計により、養生期間中のGCLの厚さの変化を測定した。

3.3 透水試験

所定の養生期間を終了した供試体は、大型透水試験機にセットして透水試験を開始した。本来、透水試験は、透水係数 $k=1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ を目安として、それより低い透水性を示すものは変水位透水試験を、高い透水性を示すものは定水位透水試験を選択される。しかし、今回の場合、高い水頭を供試体に負荷することから、試作した高圧水力供給制御装置により一定の水頭を与え、漏水量を計測して透水係数等を求める方法を採用した。従って、分類上は、定水位透水試験である。

標準敷設状態及びGCL相互接合敷設状態の水圧負荷の方法は、1段階の負荷継続時間を昇圧に要した時間も含めて24時間とし、設定水圧に従って順次段階的に昇圧した。昇圧所要時間は、おおむね1時間である。設定水圧は、標準敷設状態の場合については水圧と透水係数の関係を調べるために300, 600, 900kPaとし、GCL相互接合敷設状態の場合は施工現場での実水深を考慮して、50, 150, 300kPaとした。コンクリート構造物との水平・垂直接合状態の場合は、300kPaの定圧負荷とし、負荷継続時間は7日間以上とした。

4. 試験結果

4.1 膨潤養生中のGCL厚さの変化

4.1.1 GCL単一層敷設状態の膨潤率

Fig.3(a)は、GCLが単一層として敷設された状態における

所定の養生終了時までの膨潤率の経時変化を示したものである。標準敷設状態、コンクリートとの水平接合敷設状態に拘わらず、15 日養生後の膨潤率(膨潤量/初期厚さ)は、220~235%程度となっている。コンクリートとの水平接合状態の膨潤速度が標準敷設状態の場合と比べやや遅いものの、経時変化の形状は、比較的良好一致している。このことから、GCL とコンクリートの接合面には、膨潤率に影響を与えるような水ミチの形成はなされていないと考えられる。一方、膨潤率は 15 日の養生期間を通じて増加しており、収束するまでに時間を要するものと考えられる。しかし、単位時間当たりの膨潤率の増分は、Fig.3(b) に示すように、養生開始後約 2,000 分までが顕著であり、その後、計測感度の不安定によるバラツキがみられるものの徐々にゼロに近づいている。

4.1.2 GCL 相互接合部の膨潤率

Fig.3(c)は、GCL 相互接合部の膨潤率の経時変化を示したものである。養生時間が長いほど膨潤率は大きくなる傾向にあり、同一養生時間における膨潤率は明らかに P-S 接合の方が P-P 接合より大きい。GCL の接合の方法・構造が膨潤の速さに影響を与えているものと考えられる。また、膨潤率を単一層敷設状態の場合と比較すると、いずれの養生時間においても小さい。従って、接合部からの水の供給は少なく、接合部全体が膨潤するのに要する時間は GCL 層の厚さの影響を受けると考えられる。

4.2 透水試験中の GCL 厚さの変化

Fig.4 は、各試験ケースの透水試験中の GCL の厚さの変化を示したものである。標準敷設状態、GCL 相互接合敷設状態の養生 1 日間及び 7 日間の試験ケース (1-1, 1-2 及び 2-3, 2-4) は、昇圧時には膨潤させた GCL が圧縮または圧密され厚さが減少しているが、水圧を維持すると厚さが増している。この現象は、養生時間が十分でなかったため、試験開始時点では GCL 層の上部のみしか膨潤していなかったことに起因するものと考えられる。すなわち、水圧を負荷されることによって、膨潤していた GCL

層の上層部分は圧縮または圧密されるが、同時に未だ膨潤していなかった下層部分に水が供給され膨潤が促進された結果であると考えられる。一方、15 日間養生した試験ケース (1-3 及び 2-5) では、水圧と膨潤圧がバランスするように圧縮または圧密と膨潤が同時進行した結果、図に示したような厚さの変化が生じたものと考えられる。また、コンクリートとの水平接合状態の試験ケースは、15 日間養生したにも拘わらず、昇圧時に厚さが減少した後、300kPa に水圧を維持すると大きく厚さが増している。このことは、標準敷設状態や相互接合敷設状態と比較して、養生時に膨潤に必要な水が供給されにくい状態であったことがその要因と考えられ、コンクリートとの接合面における遮水性の高さがうかがえる。

4.3 GCL の遮水性能

4.3.1 透水試験結果の評価法

今回実施した様々な敷設形態の透水試験結果から、GCL の遮水性能をどのように評価すべきか、その方法を検討しておく必要がある。例えば、Fig.5 は、GCL 層断面を鉛直方向のみに水が流れるものと仮定して、各敷設形態の代表的供試体について、Darcy 則により透水係数を試算した結果である。標準敷設状態供試体の透水係数を基準とすると、GCL 相互接合敷設状態 P-S 接合、P-P 接合の透水係数は、7 倍、4 倍となっている。これは、GCL 層断面を鉛直方向のみに水が流れるものと仮定して Darcy 則により透水係数を試算することに無理があることを意味して

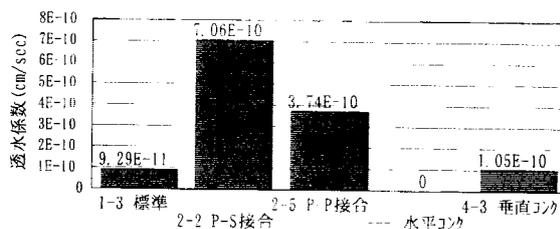


Fig.5 透水係数試算値

Calculated value of Hydraulic conductivity

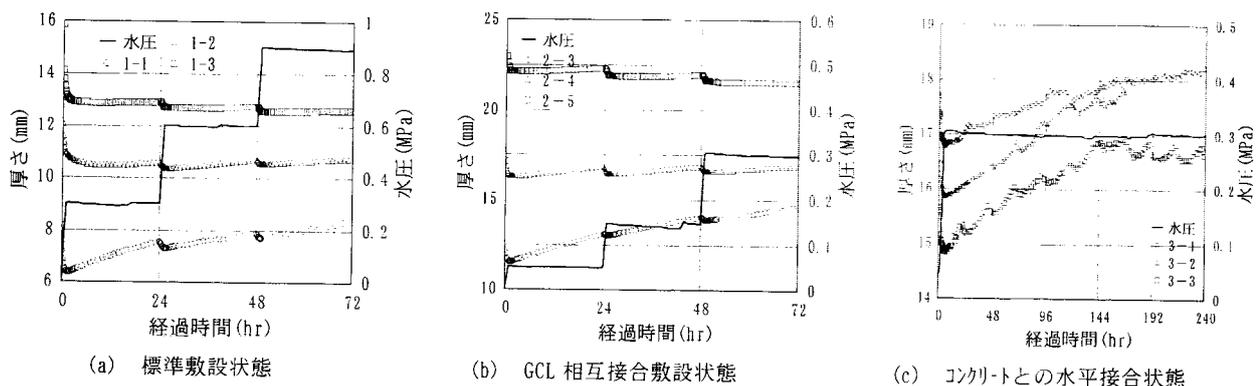


Fig.4 透水試験中の GCL 厚さの変化

The change of GCL thickness during permeability testing

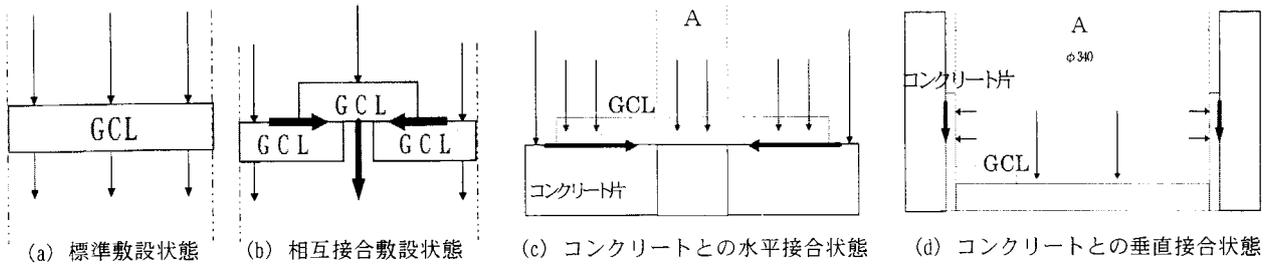


Fig. 6 水の流れ
The slow-moving waters

いると考えられる。

そこで、それぞれの敷設状態における水の流れを検討してみると、Fig.6 に示すように、GCL 層断面を鉛直方向に流れる水の流れの他に、GCL が相互に接する面や GCL とコンクリートが接する面において、接面の間隙をシート状に流れる水ミチ流が考えられる。こうした流れを想定すれば、例えば、GCL 相互接合敷設状態における P-S 接合と P-P 接合の漏水量の差は、次のように考えられる。P-S 接合の場合は、二層の GCL の接面には、S タイプ GCL 下面の不織布ネットと P タイプ GCL 上面の織布が介在しているが、P-P 接合の場合は、上層の不織布と下層の織布が剥がしてあるため GCL 本体が直接接している。従って、GCL 本体が直接接している接面においては間隙をシート状に流れる水ミチ流が比較的生成され難いが、ジオテキスタイルが介在すると水ミチ流が形成され易くなるといった、その接面構造の相違に起因する結果であると想定される。また、コンクリートとの接合において、水平接合の場合は漏水が計測されていないことについては、Fig.6(c) に示したドーナツ型コンクリート片の内空部直上に位置する A の部分の面積は、GCL の全体敷設面積に対する比が 1.7% と著しく小さいこと、GCL とコンクリートとの水平接合幅が十分で水ミチ流が形成され難かったことから漏水量が計測できる精度以下であったことによるものであると考えられる。垂直接合の漏水については、今回の試験においては底面 GCL (Fig.6(d)) の A の部分、直径 340mm からの漏水とコンクリートとの接面からの漏水を分離して計測しなかったことによる結果であり、標準敷設状態の透水係数に近いことから推定して、漏水のかなりの量は底面 GCL からであると考えられる。

4.3.2 透水係数と接面流係数

そこで、今回実施した透水試験結果を用いて GCL の遮水性能を評価するにあたっては、漏水に関する水の流れを、次の二つの形態に区分して考えることとする。一つは、GCL 層を鉛直方向に流れる形態であり、この形態の流れについては、ダルシー則が適用できるものと考え、(1) 式の透水係数 k (cm/sec) により評価することとする。ここで、 Q : 透水量 (cm³)、 d : GCL 供試体の厚さ (cm)、 A : 供試体面積 (cm²)、 p : 水圧 (水柱 cm)、 T : 透水時間 (sec)

である。

$$k = Qd / ApT \tag{1}$$

二つは、重ね合わされた GCL の接する面、あるいは GCL とコンクリートの接する面を流れる形態であり、二つの異なる層の間隙をシート状に流れる水ミチ流である。この形態の流れについては、ダルシー則のアナロジーである次式の κ で評価することとし、パラメータ κ を接面流係数と呼ぶこととする。すなわち、単位流量 q (cm³/sec) は、接面流係数 κ ((cm³/sec)/cm=cm²/sec)、接面小口長さ L_x (cm)、動水勾配 i ($= p/B_x$, p : 水頭差 (cm)、 B_x : 接面幅 (cm)) に比例するものとする。

$$q = L_x \kappa i \tag{2}$$

従って、今回の試験の場合の接面流係数 κ は、次式により求めることとする。

$$\kappa = QB_x / L_x pT \tag{3}$$

4.3.3 GCL 単一層の遮水性能

今回の透水試験では、GCL が砂層 20cm で拘束された状態において、種々の水圧を負荷して GCL からの漏水量を計測した。その結果、養生時間の短いものほど漏水量が少ない傾向を示し、養生時間を 24 時間とした供試体 1-1 の水圧 300kPa と 600kPa の段階では、GCL からの漏水は認められなかった。

標準敷設状態の各供試体における GCL 層の透水係数は、Table 2 のとおりであり、養生時間と水圧に拘わらず、 1×10^{-10} cm/sec 以下であった。なお、透水係数は、透水時

Table 2 GCL 層の透水係数
Hydraulic conductivity at GCL layer

供試体 No.	水圧 kPa	厚さ cm	漏水量 cm ³	動水勾配 i	透水係数 cm/sec
1-1	293	0.71	0.0	4,130	0.00E+00
	597	0.77	0.0	7,750	0.00E+00
	898	0.81	12.5	11,090	9.47E-12
1-2	298	1.05	25.0	2,840	7.39E-11
	602	1.05	12.5	5,730	1.83E-11
	899	1.07	25.0	8,400	2.50E-11
1-3	292	1.29	25.0	2,260	9.29E-11
	602	1.27	12.5	4,740	2.22E-11
	891	1.26	37.5	7,070	4.46E-11

間を、水圧を変化させた初期時間2時間を除く22時間として、厚さと水圧については水圧を変化させてから13時間後(透水時間の中間点)の値を用いて算出している。また、敷設面積は、GCL 端部処理部分を除外して1,503cm²としている。

前述したように、ここでの透水試験において計測された漏水量は、GCL の上面から下面へ通過した水のみでなく、圧縮または圧密により排水された水も含まれているものと考えられる。また、漏水量の最小計測量は、試験装置の構成から12.5cm³であり、これより小さい変化量は計測できていない。このため、圧密による影響が無視できるまで試験時間を延長する、容器に流入する流量を併せて計測する、あるいは漏水量の計測精度を向上させる等の対策を含め、早急に試験方法の改善を行う予定である。

4.3.4 GCL 相互接合部の遮水性能

GCL 相互接合部の遮水性能を調べる試験においても、P-P 接合の場合の養生時間を1日間とした供試体2-3においては、水圧が300kPaの段階に至っても漏水は認められなかった。一方、漏水が計測された供試体においては、前述したように接合部を経た漏水のみでなく、下層 GCL にφ45mmの穴を開けた直上の上層 GCL からの漏水や上下層を鉛直方向に通過する漏水も計測していることになる。しかし、ここでの遮水性能の評価にあたっては、試験で計測された漏水量はすべて接合部を経たものとして安全

側の評価をすることとする。Table 3 は、(3)式により算出した GCL 相互接合部の接面流係数である。ただし、接面小口長さは108cm、接面幅は15cmである。

P-S 接合の場合の遮水性能は不安定で、特に養生時間が1日であった供試体2-1では、150kPaに昇圧した9時間後に計測不能となる突発的な大量漏水を生じている。その大量漏水の前後で GCL 接合層の厚さは1.03mm減少している。しかし、その後6時間で大量漏水前の厚さに回復するとともに、遮水性も回復している。一方、P-P 接合の場合は、膨潤養生時間、水圧に拘わらず、接面流係数は 1×10^{-7} cm²/sec 以下である。

4.3.5 コンクリートとの接合部の遮水性能

コンクリートとの水平接合状態供試体においては、負荷水圧300kPaで最長15日間試験を継続したが、3供試体いずれも漏水は発生しなかった。試験後の供試体観察においても GCL とコンクリートの接合面には水の流れた形跡は全く見られなかった。従って、本試験条件下でのコンクリートとの水平接合における接面流係数は、ゼロである。

コンクリートとの鉛直接合状態供試体については、試験期間7日間のうち、300kPaまでの昇圧段階を含む試験開始から1日間を除く6日間に、3供試体それぞれに192cm³、64cm³、115cm³の漏水量が計測された。前述したように、この漏水量は底面 GCL からの漏水量を含めて計測したものであることから、接合部からの漏水量を求めるためには、底面 GCL からの漏水量を差し引く必要がある。そこで、標準敷設状態における透水試験結果を利用してコンクリートとの鉛直接合部の接面流係数を求めると、Table 4 のとおりである。ただし、標準敷設状態における透水係数は、最大 1×10^{-10} cm/sec、最小 1×10^{-11} cm/sec とし、底面 GCL の敷設面積は907cm²、厚さは1.29cmとして試算している。また、接合部の小口長さは107cm、接合幅は20cmである。コンクリートとの鉛直接合部の接面流係数は、GCL 相互接合部の接面流係数と同等、若しくはやや小さいと考えられる。

4.3.6 施工現場における漏水量の試算

実際の施工現場での GCL の遮水性能は、様々な施工環境、特に敷設下地地盤、覆土土質などに影響されると考えられる。ここでは今回の試験結果に基づいて、貯水池供用中の、① 標準敷設状態の GCL の膨潤率は約150% (厚さ t=12mm) ② GCL の透水係数 k は 1×10^{-10} cm/sec、③ GCL

Table 3 GCL 相互接合部の接面流係数
Contact surface flow coefficient at the joint

供試体 No.	水圧 kPa	漏水量 cm ³	動水勾配 i	接面流係数 cm ² /sec
2-1 (P-S接合)	52	12.5	34.7	4.21 E -08
	168	大量漏水	112	—
	301	350	201	2.04 E -07
2-2 (P-S接合)	50	37.5	33.3	1.32 E -07
	146	100	97.3	1.20 E -07
	295	75	197	4.46 E -08
2-3 (P-P接合)	51	0.0	34.0	0.00E+00
	141	0.0	94.0	0.00E+00
	300	0.0	200	0.00E+00
2-4 (P-P接合)	49	0.0	32.7	0.00E+00
	145	12.5	96.7	1.51E-08
	283	37.5	189	2.32E-08
2-5 (P-P接合)	49	0.0	32.7	0.00E+00
	150	62.5	100	7.31E-08
	288	62.5	192	3.81E-08

Table 4 コンクリートとの鉛直接合部の接面流係数
Contact surface flow coefficient at the state of vertical contact to concrete

供試体 No.	全漏水量 cm ³	底面 GCL k= 1×10^{-10} cm/sec の時		底面 GCL k= 1×10^{-11} cm/sec の時	
		接合部漏水量 cm ³	接面流係数	接合部漏水量 cm ³	接面流係数
4-1	192	82.1	9.87E-09	181.1	2.18E-08
4-2	64	—	—	53.1	6.38E-09
4-3	115	5.3	6.37E-10	104.3	1.25E-08

Table 5 現場施工 GCL 1 m²当りの漏水量
Leaking water volume per m² in the practical case using GCL

水深 h(m)	標準敷設部			GCL相互接合部			現場施工 1m ² 当たり漏水量 q(cm ³ /m ² /day)
	動水勾配 i ₁	一製品当たり漏水量 Q ₁ (cm ³ /sec)	1m ² 当たり漏水量 q ₁ (10 ⁻³ cm ³ /sec)	動水勾配 i ₂	一製品当たり漏水量 Q ₂ (cm ³ /sec)	1m ² 当たり漏水量 q ₂ (10 ⁻³ cm ³ /sec)	
5	417	0.023	0.42	33	0.010	0.18	52
10	833	0.046	0.83	67	0.021	0.38	105
15	1,250	0.069	1.25	100	0.032	0.58	158
20	1,670	0.092	1.67	133	0.042	0.76	210
30	2,500	0.138	2.50	200	0.063	1.14	314

相互接合部の接面流係数 κ は $1 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ 、として、貯水圧による大きな不同沈下や地下水・湧水の影響のない下地地盤上に覆土厚 20cm にて施工された場合の 1m² 当りの漏水量を貯水水深 h 毎に試算してみると、Table 5 のとおりである。接合部からの漏水量が全漏水量の約 30% を占める結果となっている。ただし、試算は、(4)式を用い、市販されている予備膨潤型 GCL の製品寸法に基づいて行った。

$$q = k(h/d)A + \kappa(h/B_r)L_r \quad (4)$$

また、製品寸法は $2 \times 30\text{m}$ であり、接合幅 B_r 15cm を除いた標準敷設状態の面積 A は $55.2\text{m}^2 (=185 \times 2,985\text{cm})$ 、接合小口延長 L_r は $31.7\text{m} (=185+2,985\text{cm})$ としている。

従って、施工現場における漏水量を試算する場合においては、GCL 相互接合部からの漏水量を考慮する必要があるといえる。一方、貯水容量に対する全漏水量は水深に拘わらず 0.001%/day 程度であることから、通常の貯水池の許容漏水量と言われている 0.05%/day は十分満足する試算結果となっている。

5. おわりに

GCL を貯水池等の表面遮水材として利用する場合には、GCL 相互接合部やコンクリート構造物との接合部が不可避的に発生する。従来、この接合部における遮水性能が GCL を用いた遮水工法を評価する上で重要であるが、接合部からの漏水量の計測は困難であるとされていた。そこで、本研究では、GCL 接合部における遮水性能を定量的に計測できるよう試験装置を試作し、実際にこの試験装置を用いて遮水性能試験を実施した。結果をまとめると、以下のとおりである。

a) 試作した試験装置は、漏水量の計測精度を上げるために試験方法を含めさらに改良する必要があるが、接合部からの漏水量を計測することが可能である。

b) GCL 相互接合部は、従来、製品をそのまま重ねるだけで十分な遮水性能が得られるとの報告もあるが、その層間にジオテキスタイルが介在するか否かといった接合構造が遮水性能に大きな影響を与える。

c) 重ね合わされた GCL の接する面、あるいは GCL と

コンクリートの接する面には、その間隙をシート状に流れる水ミチ流が存在する。そこで、本論では接合部の遮水性能を評価するため、透水係数のアナロジーである接面流係数という新たな概念を導入した。

d) 導入した簡便な評価法に基づいて施工現場における漏水量を試算したところ、接合部からの漏水量が全漏水量の約 30% を占めることから、設計においては接合部からの漏水量を無視すべきではない。

生活のゆとりや心の豊かさを重んじる国民の価値観はますます高まっている。貯水池の新築、改修にあたっては景観や親水に配慮した遮水工法の開発が要望されている。こうした中で、GCL を利用した遮水工法は覆土等による拘束が必要なことから、この覆土等を活用した自然景観にマッチした貯水池を築造できる可能性を秘めている。そのためには、水圧負荷条件、覆土条件、下地地盤条件等の現場施工を踏まえた GCL の遮水性能に関する基本的特性の解明が必要である。特に、本研究は下地地盤に不同沈下が生じない場合における GCL 接合部の基本性能を調べた結果・評価法を論じたものであり、GCL の各種接合部への不同沈下の影響については、大型圧力容器を用いた試験を行い確認する予定である。さらに、貯水池築造後の草木根の貫入による損傷や乾燥・凍結によるひび割れに対する自己修復性の限界、あるいは堤体斜面上の GCL のすべりに対する安定性等の力学特性についても確認する予定である。今後も今回試作した試験装置を活用しながらさらに実験を続け、自然馴致に優れた GCL を用いた表面遮水工法の設計施工法の確立に努力したいと考えている。

謝辞：本論をまとめるに当たり、京都大学大学院農学研究科長谷川高士教授、農業工学研究所中島賢二郎造構部長、小前隆美企画科長から貴重な助言を戴いた。また、試作試験装置の製作については㈱共和技研の佐藤昭光氏、試験については㈱テイコクの諸氏の協力を得た。記して感謝する次第である。

引用文献

長束 勇・毛利栄征・浅野 勇・大和真一・三浦信隆・福元信一(1993): 大型圧力容器によるベントナイト系遮水マットの遮

水性能に関する基礎的実験—ベントナイト系遮水マットの貯水池への適用に関する研究(I)—, 農土論集 167, pp.73-80
[1997. 6. 30. 受稿, 1997. 9. 29. 閲読了]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業土木学会論文集編集委員会あて)は, 1998年8月24日まで受け付けます.]

Permeability at contact face of Geosynthetic Clay Liner

-A study of applicability of GCL to reservoirs(Ⅱ)-

Isamu NATSUKA*, Hiromichi TOYODA*, Takeharu KONAMI**, Noriaki HORITA**

*National Research Institute of Agricultural Engineering, MAFF (2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305, JAPAN)

**Rural Foundation Construction Union (4-24-8 Sinbasi, Minato-ku, Tokyo 105, JAPAN)

Abstract

Authors have already indicated that it is important to ensure impermeability at the joint and the contact part with concrete, when GCL is applied to the surface lining system of reservoirs. However, the test method and the quantitative estimation method of the impermeability at the contact face of GCL still remains to be studied. Permeability test method has been improved and a new test apparatus was developed for GCL. Permeability tests were conducted under several actual conditions to estimate permeability at the contact face of GCL. This paper shows the results of permeability tests by a new method and proposes a simple estimation method for permeability at the contact face of GCL. After calculation of the leakage through lining system in situ with proposed estimation method, it is found that leakage along the contact face of GCL amounts to nearly 30 percent of all leakage.

Key words : Bentonite, Geotextile, Liner, Hydraulic conductivity, Swelling, Compression, Consolidation