

漏水検知システム異常検知 原因究明調査報告書

平成 25 年 7 月

漏水検知システム異常検知調査委員会

報告書目次

I	はじめに	.....	P	1
II	調査目的	.....	P	2
III	調査内容	.....	P	2
IV	調査項目	.....	P	3
V	調査結果			
	1. 調査結果			
	(1) 材料力学の視点 (IV調査項目①、②、③)	.....	P	4
	(2) 電気工学の視点 (IV調査項目③)	.....	P	5
	(3) 滞水の影響 (IV調査項目④)	.....	P	6
	(4) 漏水の有無の検証 (IV調査項目⑤)	.....	P	7
	(5) 保護土の土質の影響 (IV調査項目⑥)	.....	P	9
	2. 関係資料	.....	P	10
VI	調査結果のまとめ	.....	P	60
VII	調査結果を踏まえた考察	.....	P	62

I はじめに

平成24年12月19日に山梨県環境整備センターの漏水検知システムで異常が検知された。山梨県環境整備事業団では、この原因を科学的に究明するために学識経験者を中心とする調査委員会を設置することとした。

調査委員会委員として、まず電気工学的観点から鈴木嘉彦山梨大学名誉教授及び材料力学的観点から澤 俊行広島大学大学院特任教授が山梨県環境整備事業団より依頼を受けた。両教授には、平成22年10月2日に発生した同様な漏水検知システムの異常検知に関する原因究明にあたって、調査結果の検証が依頼され、その結果が同センターに設置されている安全管理委員会に報告されたことが依頼の経緯である。

さらに安全管理委員会に長い間従事され、深い知見を有する安全管理委員会委員長の金子栄廣山梨大学教授(環境工学)及び同委員の中村文雄山梨大学名誉教授(水質工学)、杉山憲子東京海上日動リスクコンサルティング(株)主席研究員(土壌環境・地下水環境)にも水質の専門家として浸出水の漏えい調査等を行うため委員依頼があり、また最終処分場全般に詳しい専門家として古田秀雄一般社団法人日本廃棄物コンサルタント協会技術部会委員にも委員の依頼があった。以上6名の委員により本件の漏水検知システム異常検知調査委員会を発足させるに至った。

平成25年2月18日に甲府市の山梨県恩賜林記念館において、第一回調査委員会(別添資料-1、議事録)を開催し、委員の互選により委員長に澤 俊行広島大大学院特任教授を、副委員長に中村文雄山梨大学名誉教授を選出し、議事に入った。議事においては、はじめに本委員会の調査目的の確認を行い、各委員の調査分担を決めた。

その後各委員においては調査検討を続行し、平成25年4月30日及び5月1日の両日に現地調査を行った。現地調査では、異常を検知した電極交点部分を中心にその周辺の電極交点並びに遮水シート等の目視による調査及び上下遮水シート間に存在する滞水等の調査を行った。

平成25年6月20日に甲府市の山梨県立男女共同参画推進センターにおいて第二回調査委員会を開催し、各委員からの調査結果が報告され、懸案の1)異常検知に至った仕組み、2)浸出水の漏水の有無、について調査結果に基づいて議論され、結論に至った(別添資料-2、議事録)。

本報告書は、上述した異常検知の原因究明に関して、各委員の科学的調査結果に基づいて、究明原因を客観的にまとめたものである。

II 調査目的

本委員会の目的は、漏水検知システム異常検知に対して、材料力学、電気工学、環境・水質工学、土壌・地下水環境、最終処分場全般の各観点から 1) 異常検知の原因究明、及び 2) 異常検知において浸出水の漏水が発生したか否か、を検証することである。すなわち何故異常検知が発生したかのメカニズムの解明と周辺環境への影響、施設の安全性を検証することが本委員会の調査目的である。

III 調査内容

1. 現地調査

① 調査日時・出席委員

- 平成25年4月30日 午後1時30分～午後3時
出席者：委員5名（杉山委員が欠席）
立会者：安全管理委員会委員（地元5名、北杜市3名）
- 平成25年5月1日 午前9時30分～午後2時30分
出席者：委員6名（金子委員、杉山委員は11時頃から出席）
立会者：安全管理委員会委員（地元4名、北杜市3名）

② 調査内容

調査1～遮光性不織布、上層遮水シート、不織布、自己修復性シート、下層遮水シートの状態を確認。（目視、上層遮水シートのみ負圧試験）
調査2～法面下部の滞水の採水、水質検査等

③ 調査結果

- 調査1
- 1) 遮光性不織布に関して、目視により観察した結果、異常は認められなかった。
 - 2) 上層遮水シート
予め異常検知が発生したと予想される上層遮水シートの電極交差部付近の観察を行った。目視及び負圧試験により、電極交点部（D09-U47）の上層遮水シートに微小な損傷が確認された。
さらに、微小な損傷が確認された電極交差部の上下左右4カ所の電極交点部を観察した結果、異常は認められなかった。
 - 3) 不織布に関して、目視により観察を行った結果、異常は認められなかった。なお、遮水シート間に滞水は認められなかったが、全体的に遮水シート部分及び不織布には湿気が認められた。
 - 4) 自己修復性シートに関しては目視により観察した結果、異常は認められなかった。しかし上層遮水シートの損傷下部の自己修復シートには荷重による変形と推測される「圧迫痕」が認められた。

- 5) 下層遮水シートに関して、目視により観察した結果、異常は認められなかった。

調査2 ・ 法面下部の滞水に関して、一部を採水し、調査した。

実施日 平成25年5月1日、5月9日、5月16日

2. 実証実験

① 広島大学大学院（材料力学）

- 1) 損傷が認められた遮水シートの損傷付近を切り取り、試験片を作成しデュロメータによる硬度測定実験を行う。
- 2) 同じく上記の遮水シートから引張り試験片を作成し、インストロン型材料試験機による引張特性測定（応力-ひずみ線図の作成）実験を行う。
- 3) 遮水シートの上下に実際の現場と同じ構成とした試験片を作製し、落錘式衝撃試験機による衝撃試験を行い、損傷を受けた遮水シートと同様の損傷状況となるかの実験を行う。

② 環境整備センター及び山梨県工業技術センター（電気工学）

- 1) 漏水検知システム上下電極間のインピーダンス測定。
- 2) 現場を考慮した、上下遮水シート間の閉鎖型、開放型モデルによるパラメータを変化させながらの通電実験。

3. 損傷を受けた遮水シート付近の作業履歴

損傷地点付近の作業履歴、埋立計画、埋立方法、埋立廃棄物などを調査。

IV 調査項目

- ① 損傷のあった遮水シートの強度、劣化
- ② 損傷に至る仕組みの推定
- ③ 異常検知した仕組みの推定（ア. 材料力学の視点 イ. 電気工学の視点）
- ④ 滞水の影響（遮水シート、検知システム）
- ⑤ 漏水の有無の検証
- ⑥ 保護土の土質の影響（遮水シート、検知システム）

V 調査結果

1. 調査結果

(1) 材料力学の視点 (IV調査項目①、②、③)

① 遮水シートの強度・劣化に関する測定

デュロメータによる測定：本遮水シートの5回の測定値の平均値は38.64となり、新品遮水シートを用いた測定値39.55～45.76と比べ差異は認められず、問題はないと言える。図1は当該遮水シートの応力-ひずみ線図(赤色)を示す。新品の遮水シートとの差異は認められず、材料劣化も認められない。

以上遮水シートの材料劣化は認められない。

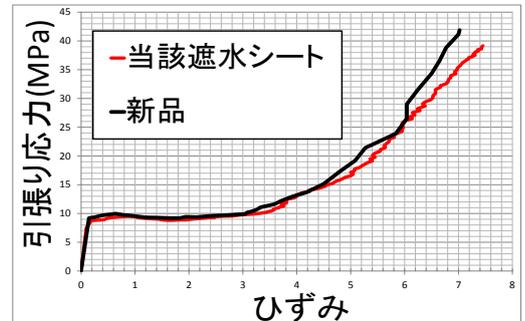


図1 当該遮水シートの応力-ひずみ線図と新品のシートとの比較

② 損傷に至る仕組みの推定

写真1は交点付近の写真を示す。遮水シートの上下の銅線の交点部分にくぼみ(損傷)が発生しており、さらにくぼみ(損傷)近傍に明確な長さ2～3mmの亀裂が認められる。施工段階において何らかの衝撃荷重が交点部分に作用したので、くぼみ(損傷)と同時に亀裂も発生したものと推定される。この状態から、廃棄物が徐々に積み上げられ、遮水シートに重ね合わされた上下の銅線が上記「くぼみ(損傷)」を介して接触し、通電に至った。しかし、廃棄物を取り除くに従い、ある時点で「くぼみ(損傷)」部分の変形が回復し、通電は起こらなくなった。



写真1 実際の遮水シート(異常検知箇所付近)

③ 異常検知した仕組みの推定

写真2は落錘式衝撃試験機を示す。遮水シートの上下に現場と同じ材料を設置し、遮水シートの上下面に銅線を配置し、この試験片上部分に栗石相当の鋼板を置き、落下試験を行った。写真3が高さ13cmから79kgfの錘を落下させた時にできた、「くぼみ(損傷)」と「亀裂」を示す。衝撃荷重により発生したものと断定した。



写真2
落錘式衝撃試験機

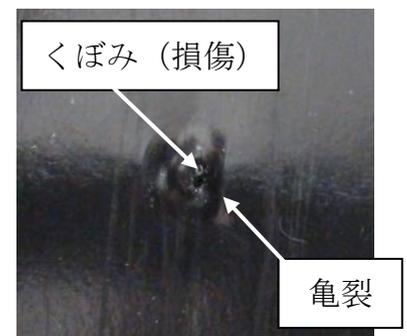


写真3
衝撃試験後の遮水シート

他に錘の重量が 25kgf で高さが 50cm 及び 80cm で落下試験を行ったが、亀裂が明確に発生しなかった。前述の 79kgf で高さ 13cm の落下試験で作成された遮水シートを写真 4 に示すインストロン型材料試験機により圧縮荷重を作用させたところ、約 660kgf で通電した。

なお栗石相当の鋼板を置いたが、鋼板を置かないと写真 3 に示すような「亀裂」と「くぼみ（損傷）」が同時には発生しなかった。

栗石設置時の衝撃荷重が本件の「くぼみ（損傷）」と「亀裂」を発生させる原因であると推定される。



写真 4
インストロン型材料試験機

④ 材料力学的視点でのまとめ

本異常検知に関する仕組みをまとめると、以下のようになる。

ア. 現物の遮水シート of 材料特性試験の結果から劣化は認められなかった。

イ. 遮水シートの上下銅線の交点部分に衝撃荷重が作用した。このため「くぼみ（損傷）」と「亀裂」が発生した。

ウ. さらに廃棄物の重量が作用したために、通電に至った。すなわち異常検知が発生した。

エ. 再度廃棄物を除去し、廃棄物の重量を取り除くと、通電が起こらなくなった。

オ. 以上の結果から、異常検知の基本的現象は遮水シート設置後の集排水管周りの栗石設置時の衝撃荷重と推定される予想外の荷重が作用したためにできた遮水シートの「くぼみ（損傷）」が原因と推定される。

(2) 電気工学の視点 (IV調査項目③)

① 調査方法

- ・現場（埋立地内）の測定電極を利用した調査
- ・工業技術センターでの実証実験による調査

② 現場（埋立地内）での調査

上下電極間のインピーダンス Z は

$$Z = \frac{V - Z_0 I_0 - Z_1 I_1}{I_0}$$

で推定できることを確認した。ただし V は電極間電圧、 Z_0 と Z_1 はそれぞれ下側電極と上側電極自身のインピーダンス、 I_0 と I_1 は下側と上側の電極電流である。

また、異常検知以降の損傷個所のインピーダンスは表 1 に示される変化が観測された。

表 1 測定値から推定される損傷個所のインピーダンス

番号	日時	測定電源の周波数		
		40Hz	80Hz	160Hz
(1)	平成25年2月21日	0.225+0.010i	0.222+0.020i	0.226+0.040i
(2)	平成25年3月22日	0.236+0.009i	0.231+0.018i	0.232+0.036i
(3)	平成25年3月29日 11時15分	0.213+0.009i	0.213+0.018i	0.213+0.038i
(4)	平成25年3月29日 15時30分	1.99+0.004i	17.8-1.86i	18.9-2.29i

- ・表 1 (1) (2) に示したとおり平成 25 年 2 月 21 日、3 月 22 日は電極同士が直接接触している状態が確認された。
- ・表 1 (3) (4) に示したとおり平成 25 年 3 月 29 日には、電極同士が直接接触している状態から、荷重が軽減され電極が離れて抵抗が存在する状態に移行する状況が確認された。
- ・廃棄物除去の途中で通電が解消する状態が確認された。

③ 工業技術センターでの実証実験による調査

通電の状態に影響を与えると考えられるパラメータ（浸出水及び滞水の水量、孔の形状と測定電極との位置関係など）を変え、通電の状態を分類する実証実験を行った。その結果、通電の状態は

- ・電極同士が直接接触している状態（以下、「直接接触型」）
- ・電極間に抵抗が存在する状態（以下、「抵抗型」）
- ・抵抗型から更に電極が離れて非通電の状態、それらの間の過渡的な不安定な状態（以下、「不安定型」）

の 3 種類の結果が得られた。

また、もともと損傷がある状態で荷重が増大することにより、直接接触型が観測される前に抵抗型が発現することがあることを確認した。つまり、直接接触型だけが発現する「直接接触発現パターン」と直接接触型が観測される前に抵抗型が発現する「直接接触前抵抗発現パターン」の 2 種類のパターンに分類されることが分かった。直接接触発現パターンの場合は、上層遮水シートを通して中間不織布へ浸出水が侵入することはないと考えられる。直接接触前抵抗発現パターンの場合の抵抗としては浸出水等の存在が想定される。つまり同パターンの場合は中間不織布へ浸出水が混入する可能性があると考えられる。

④ 電気工学的視点でのまとめ

現場（埋立地内）での調査結果及び工業技術センターでの実証実験の結果から、平成 25 年 2 月 21 日と 3 月 22 日は直接接触型が観測されており、この時点では漏水は起こっていないと考えられる。

(3) 滞水の影響 (IV調査項目④)

滞水によって、生じている遮水シートのたるみによる遮水シートの強度や劣化への影響については、P 4 の (1) ①で記述したとおり遮水シートの強度・劣化に関する測定結果から新品の遮水シートと差異は認められず、材料劣化も認められなかったことから、

特に問題ないと判断できる。また、漏水検知システムの測定電極（φ5mm裸軟銅線）については、目視により観察した結果、腐食や劣化などの異常は認められなかったことから、特に影響はないと判断できる。なお、屋外型の最終処分場において、二重遮水シート間の滞水は工事中の降雨や湿気などによって起こるものである。

(4) 漏水の有無の検証 (IV調査項目⑤)

① 地下水モニタリング人孔の通水状況による分析

(P31～P34の図13～17、P36～P38の図18～20、P30の表9、P39の表10参照)

埋立地の基礎地盤は、締まった凝灰質粘性土～細砂(Kf層)及び礫混じり凝灰質砂(Kc層)からなり、透水性の低い地盤に設置されている。したがって、埋立地内で漏水があった場合、基本的には遮水シート直下の透水性の低い埋立地底面、法面に設置された地下水集排水施設によって集水され、地下水モニタリング人孔に導かれると考えられる。ここにおいて、漏水の有無をその水質によって判断できる。すなわち、地下水モニタリング人孔の水質に変化が見られない場合は、周辺に汚染が拡散するような遮水工からの漏水は生じていないと推測される。

② 滞水、浸出水及び地下水の水質分析結果を用いた検証

平成25年5月1日に浸出水、観測井(1号、2号、3号)ならびに遮水シート破損箇所周辺の荷重軽減に伴い遮水シート間に集中した滞水を採取し、水質分析を実施した。また、滞水については可能な限り排出した後、再度湧出した滞水と浸出水について同年5月9日、5月16日の2回にわたり採取し、特徴的な項目について分析を実施し水質に関する各種の検証を実施した。

ア. 個別の水質分析結果からの検証 (P47～49の表14参照)

1) 健康被害項目

浸出水の水質は、有害物質については、ほう素を除き、排水基準以内であった。滞水(初日以降の結果も含む)・観測井1～3号の水質は、いずれの項目も地下水環境基準以内であった。このように水質分析の結果においては、滞水や地下水に基準を超えるような汚染は確認されなかった。

2) 一般水質

酸化還元電位、溶存酸素濃度から、浸出水ならびに滞水は還元環境にあるが、観測井1～3号については、酸化環境下にあると考えられる。浸出水の特徴として、電気伝導率、塩化物イオンが高いことが挙げられるが、電気伝導率については、浸出水が140～180mS/mと高く、滞水が41～72mS/mであるのに対し、塩化物イオンは浸出水が110～160mg/lと高いのに対して、滞水は3測定とも6mg/lであり、浸出水が滞水へ混入したと考えられる明確な影響は確認されなかった。

なお、観測井1、2号は電気伝導率が7.4、11mS/m、塩化物イオンが2、3mg/lで浸出水混入の影響は確認されず、観測井3号は電気伝導率が51mS/m、塩化物イオ

ンが 85mg/l の値を示したが、後述のようにモニタリングを開始してからの変動範囲内の値であり、浸出水混入の影響は確認されなかった。

イ. 統計的手法による検証

1) 観測地点間の水質の相関 (P 40 の表 1 1 参照)

解析に用いたデータは、前述の3日間に採水・分析された各試水の結果のうち、3日間共通の分析項目であり、かつ水の主要化学成分であるナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、塩化物イオン、炭酸水素イオン、硫酸イオン、硝酸イオンに透視度、電気伝導率、酸化還元電位を加えた 11 項目の分析結果を持つ各試水の水質データである。

検討の結果、滞水水質は観測井1、2、3号の井水水質との相関性を持っておらず (表 1 1-(1)参照)、また、浸出水も各地下水との相関性を全く示さなかった (表 1 1-(2)参照)。換言すれば、統計的には、浸出水及び滞水は観測井1、2、3号の井水水質に影響を与えていないことを示唆している。

2) 漏水検知システムの異常検知以後における地下水水質の変動

(P 40 の図 2 1、P 41 の表 1 2 参照)

環境整備センターの地下水水質監視において有効に検出・測定されてきた 6 水質項目 (pH、電気伝導率、塩化物イオン、亜硝酸イオン・硝酸イオン、ほう素、ダイオキシン) に対して、環境モニタリング開始以来今日までの約4年間のデータにおける水質変動幅を求め、検知システムの異常検知以後の水質変動がその変動範囲内にあったか否かを検討した。すなわち、異常な水質変動の発生の有無を検討した。

その結果、各観測井におけるどの水質項目の変動においても過去の変動範囲を超えた事例は発生していない。すなわち、検知システムの異常検知以後約6ヶ月経過した今日まで、観測井には異常な水質変動は発生していないと言い得、従って、浸出水や滞水などの地下水への浸透・混入などの現象は発生していないと考える。

ウ. 演繹的手法による多角的な検討

1) 混入率に基づく検討 (P 42 の表 1 3 参照)

平成25年5月9日採取 (滞水5-9) または同年5月16日採取 (滞水5-16) の滞水を浸出水の影響がない滞水とみなし、2とおりの混入率Rを算定した。その結果を表 1 3 に示す。全10項目のうちRが負または0の項目が6と最も多かった。また正負双方をとる項目が2、双方正のものが2あった。双方正の項目のうち全有機炭素ではその値がかなり大きい。これだけ高い混入率で浸出水が混入したのであれば他の項目でも同様に正の値のRが得られるはずである。これらのことから、混入率に反映される大きさの浸出水の滞水への混入はなかったと考えられる。

2) 滞水の相対成分濃度の水質比較に基づく検討 (P 43 の図 2 2、2 3 参照)

図 2 2 と図 2 3 は成分別に、採水日の経過とともに相対濃度がどのように推移するかを示したものである。浸出水の混入により滞水水質が影響を受けたのであれば、日を追うごとに成分濃度は浸出水の相対濃度100から離れるように推移するはずで

ある。しかし、このような動きを顕著に読み取ることはできない。このことから、滞水の水質に浸出水が影響したとは考えられない。

エ. イオンバランス等による検討

1) トリリニアダイアグラム (イオンバランス) (P 4 4 の図 2 4 参照)

陽イオンの組成によれば、観測井1～3号はほぼ同一のイオンバランスを示し、一方、地下水と滞水と浸出水はいずれもバランスが異なることが分かる。また、陰イオンの組成によれば、観測井1号、2号と滞水が炭酸水素イオン主体のほぼ同様の水質であるが、観測井3号は人為的な塩化物イオンが付加された水質であることが分かる。同様に浸出水についても塩化物イオンと硫酸イオンが付加された水質であることが分かる。また、滞水については平成25年5月1日のものと同年5月9、16日採水のものとの水質に変化は認められなかった。初回の滞水に浸出水が影響したと考えられる明確な結果は得られていない。

2) ヘキサダイアグラム (イオンバランスと溶存イオン量含む) (P 4 5 図 2 5 参照)

観測井1号、2号は溶存イオン量も少なく、典型的な地下滞留時間の短い浅層地下水の水質を示している。一方、浸出水はカルシウムイオン、塩化物イオン、炭酸水素イオン、硫酸イオンともに多く、地中に長期間滞留することにより、カルシウムイオンと炭酸水素イオンが流出するとともに、ごみ等の影響により塩化物イオン、硫酸イオンが付加しているものと推測される。一方、滞水については、溶存イオン量が少なく、炭酸水素イオンがやや多いことから、基本的には溶存イオンが少ない降水起源であるが、シート等の閉鎖空間に長期間存在することから炭酸水素イオンが付加したと推測される。また、滞水については平成25年5月1日のものと同年5月9、16日採水のものとの水質に変化は認められなかった。浸出水が混入したとすれば、カルシウムイオンや硫酸イオンが多くなることが予想されるが、3回の滞水の水質はほぼ同様であり、そのような傾向は認められなかった。

(5) 保護土の土質の影響 (IV調査項目⑥)

当該最終処分場の保護土については、まず、底面部は層厚が1.0mあり、そのうち底面からの0.5m分は、山砂(購入土、礫分13.9%、砂分82.3%)、残り0.5m分は現地発生土(覆土置場の赤土)を使用しているとのことであり、問題ないと判断できる。

次に、法面部は、現地発生土及び公共残土(公共事業で発生した残土を受け入れたもの)を使用しているとのことで、土質を確認する必要がある。現地発生土が置かれている覆土仮置場の調査結果(H24土質試験結果)によれば、沖積層による粘性土相当の土質(礫分1.4%、砂分14.4%、シルト分33.5%、粘土分50.7%)であり、礫分は前述した山砂より非常に少なく、粒径としては十分に小さいと判断できる。

法面部の保護土についても、底面部のように砂等の購入土が理想と考えるが、今回の現地発生土及び公共残土においても、土質試験結果、保護土の品質管理、施工状況及び現地確認結果から判断すれば、十分品質管理が行われており、遮水工に損傷を与えるような問題はないと判断できる。

2. 関係資料

(1) 材料力学の視点 (IV調査項目①、②、③)

① デュロメータによる測定

ア. 硬さ測定の目的

異常検知発生個所周辺の遮水シートを用いて、デュロメータによる硬さ測定を行い新品遮水シートの結果と比較し、実際に使用されていた遮水シートの表面組織の変化の有無を検討する。

イ. デュロメータについて

写真5はゴムの硬さ測定で使用するデュロメータ(A型)の一例を示す。デュロメータ硬さは、規定した条件下で試験片に既定の押針を押し込んだときの押針の押し込み深さから得られる値である。

(注意：ゴムの硬さを測定する方法はデュロメータ以外にもいくつかあるが、それらの結果とデュロメータによる結果を結びつけることはできない。)

デュロメータの値は、ゴムの弾性率、粘弾性、試験片の厚さ、押針の形状、押し込む力、押し込む速さ、読み取るまでの時間などの影響を受ける。すなわち、測定する人間による誤差がある。

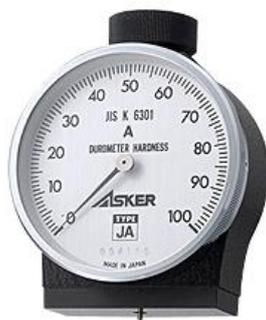


写真5 デュロメータの一例(A型)

ウ. 測定について

デュロメータ硬さは、ゴムの硬さにより使用するデュロメータの型式が異なる。図2は試験材質の差異と使用するデュロメータの型式の違いの概略を示す。

これらの選択は、次のように行う。

- D型デュロメータで硬さが20未満の値を示す場合は、A型を用いる。
- A型デュロメータで硬さが20未満の値を示す場合は、E型を用いる。
- A型デュロメータで硬さが90を超える値を示す場合は、D型を用いる。



図2 試験材料とデュロメータの型式の簡易的な関係

これらの規定から予め行った予備試験の結果より、本測定では D 型のデュロメータを用いる。

エ. 試験片について

D 型では、試験片の厚さを 6mm 以上とする必要があり、6mm 以上に満たない場合は積み重ねて測定してもよいとされている。したがって、本遮水シートの厚さは約 1.5mm のため 5 枚以上積み重ね規定範囲とする(注意：一般的に積み重ねたときの結果と積み重ねていないときの結果(6mm 以上)では測定結果は異なる。)。写真 6 は実際に測定に用いた遮水シート試験片を示す。



写真 6 測定試験片

ア. 測定方法について

硬さ測定試験については JIS K 6253-3 (加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-硬さの求め方-第 3 部：デュロメータ硬さ)に基づき測定する。平坦で硬い面に試験片を置き、デュロメータの加圧板が試験片の表面に平行に維持され、かつ、押針がゴムの表面に対して直角になるようにデュロメータを保持し、衝撃を与えないように、加圧板を試験片に接触させる。規格に指定されるように試験片の端から 12mm 以上離れた位置で測定を行い、測定点数は試験片では 10 点行い 6mm 以上離れた位置で行う。測定時間は 15 秒とし、本測定は雰囲気温度を室温とする。