

ゲル化剤（高吸水性樹脂）の活用研究

——吸水性ゲル水のう（その2）——

A Research on Practical use of Water Absorbent Polymer

——Water Absorbent Gel Bag (Part 2) ——

桜井 高 清*
鈴木 唯一郎**
村上 利 章*
態 倉 孝 行***

概 要

前号の研究所報で紹介した吸水性ゲル水のうの諸問題点を改良して、新たに3種類の試作品を製作し、様々な実験を行った。その結果、次のような結論を得ることができた。

- (1) 吸水させる水が若干の塩分を含む程度なら、不完全ながらも膨らませることができるが、海水では適さない。
- (2) ゲル化剤をポリエチレンテレフタレートに混入させた試作品では、上部に150kgの荷重を架けても破袋しない。
- (3) ゲル化剤をポリエチレンテレフタレートに混入させた試作品では、ゲルの流動性がないため、150cmの高さから落下させても破袋しない。
- (4) 水防用のみならず、水損防止用資器材としても使える。
- (5) 吸水した水を離させるには、塩化カルシウムの散布と天日干しを併用すると、より効果がある。

これらのことから、吸水性ゲル水のうは使用場所を考慮すれば実際の水害現場で使用できることがわかり、平成2年度から一般に普及させることとなった。

Some weak points were improved on the Water Absorbent Gel Bag which was reported in the last Report of Fire Science Laboratory, and three types of the gel bag samples were made originally.

Various experiments were carried out on the gel bag samples and the following results were gotten.

- (1) Although incompletely, the gel bag can swell even when the absorbed water contains a little amount of salt. But it is not applicable to the sea water.
- (2) The gel bag made of polyester and polymer sheets won't be broken even if 150kg weight is loaded on it.
- (3) The gel bag made of polyester and polymer sheets won't be broken even if it falls down from 150 cm height, because of the lack of liquidity.
- (4) The gel bag is useful not only for the proof of water but also for the apparatus against water damage.
- (5) To evaporate absorbed water from the gel bags, it is more effective to expose it to the sunshine after sprinkling of calcium chloride solution.

Consequently, the Water Absorbent Gel Bag has been found to be quite useful in the site of flood damage subject to the consideration of the opportunity, and it was concluded to let it be used in common from this fiscal year.

*第1研究室 **予防課 ***日黒消防署

1. はじめに

当研究室では、従来よりゲル化剤を消防活動に応用するため様々な研究を進めてきたところであり、吸水性ゲル水の開発もその一環として行ったものである。水防工法においては土のうは万能といえるが、その一方でコンクリートに覆われた都市では土のうを作るために必要な土砂がなく、またパイル等で固定することができないという欠点を持っている。そのような土のうの弱点を補完するために開発したのが吸水性ゲル水のうである。

第1報では、ポリエステル製不織布に粉体のゲル化剤を入れた吸水性ゲル水のうを試作し、吸水量変化確認実験、高さ形状変化確認実験、簡易止水工法確認実験を行ったが、その結果検討改良課題が発生した。

その後、改良に改良を重ね、いくつかの問題点を克服した新しい吸水性ゲル水のうを開発し、実用化に至ったので、ここに報告する。

2. 改良点

新型の吸水性ゲル水のうは、研究所報第25号で報告したものに比べ、次の点について改良を行っている。

- (1) 袋の滑りをなくすため、表面に突起状のラテックス加工を施した。
- (2) 袋の形を大型化し、同時に長辺部分の側面に10cmの折り返しを設けたことにより、吸水後の形体が直方体に近くなり、積み上げやすくなった。
- (3) 旧型では、袋内でゲル化剤粉末が往々にして1ヵ所に偏っていることがあり、水没させると塊の表面のゲル化剤がいち早く吸水し、ゲルの膜を作ってしまうため、それ以後水が内部に入って行き難くなる傾向が見られた。そのため、袋の外からゲルの塊を採みほぐすようにして手を加えないと、思うように膨らまないことがあった。

今回、ゲル化剤粉末に平均的に吸水させるため、ゲル化剤粉末を連続した小袋に収めたシートと、ゲル化剤をポリエチレンテレフタレートに含浸させ薄く熱圧着させたシートを採用した。

- (4) 旧型では比重調節材が偏ると水中で平均的に沈まなくなり、極端な場合は直立するような状態も見られた。

そのため、比重調節材を連続した小袋に収めたシート状に加工し、一様に沈むようにした。

3. 試験体

本報告の中では、3種類の試験体について各種実験を行っているが、その仕様は次の通りである。

(1) 試験体A

形状・寸法： 短辺35cm、長辺60cmで、長辺部分の側面に10cmの折り返し加工を施し袋状に縫製したものを。

この外観の状況は、写真1に示す。

(写真1参照)

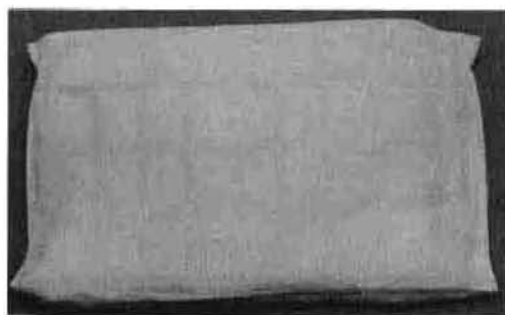


写真1 試験体Aの外観

外袋の材質： ポリエステル製不織布の表面に滑り止めとして、ラテックス加工を施したものを。

内部挿入物： 袋内には、次に掲げるものを加工し、挿入した。

- ① 水溶性パルプ紙を小袋状に加工し、その小袋内にゲル化剤160gを分包したものを。
- ② パルプ紙を小袋状に加工し、その小袋内に比重調節材として1.6gの挂砂を分包したものを。

内部挿入物の状況は、写真2に示す。

(写真2参照)

(2) 試験体B

形状・寸法： 短辺35cm、長辺60cmで、長辺部分の側面に10cmの折り返し加工を施し、袋状に縫製したものを。

この外観は、写真1と酷似している。

外袋の材質： ポリエステル製不織布の表

面に滑り止めとして、ラテックス加工を施したものの。

内部挿入物： ゲル化剤200gと比重調節材（挂砂）2.0kgを混合し、内部へ挿入した。

内部挿入物の状況は、写真3に示す。

（写真3参照）

(3) 試験体C

形状・寸法： 短辺35cm、長辺60cmで、長辺部分の側面に10cmの折り返し加工を施し、袋状に縫製したものを。

この外観は写真1と同様である。

外袋の材質： ポリエステル製不織布の表面に滑り止めとして、ラテックス加工を施したものの。

内部挿入物： 袋内には、次に掲げるものを加工し挿入した。

① 基体として、ゲル化剤220gを混入させたポリエチレンテレフタレートを用い、それに粉体のゲル化剤を20g/m²散布し、両面にパルプ紙を使用して圧着成形したもの。

② パルプ紙を小袋状に加工し、その小袋内に比重調節材として1.6kgの挂砂を分包したものを。

内部挿入物の状況は、写真4に示す。

（写真4参照）

4. 吸水性状及び膨張形状変化把握実験

(1) 本実験の目的

本実験は吸水性ゲル水の次の項目について性状を把握する。

- ① 吸水時間経過に伴う吸水重量変化
- ② 吸水時間経過に伴う膨張形状変化
- ③ 濃度の異なる塩水における前①及び②の状況変化

(2) 測定項目

- ① 吸水重量測定
- ② 膨張形状変化測定

(3) 実験方法

① 吸水重量測定

ア 水道水を入れた水槽に吸水性ゲル水のうを投入し、1分毎に取り出して、その時点の吸水重量を測定した。また、計測は、吸水重量変化がほとんどなくなるまで実施した。

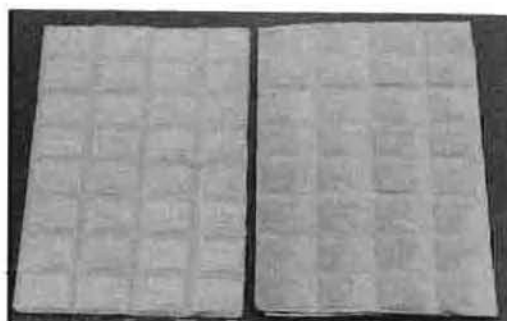


写真2 試験体Aの内部挿入物



写真3 試験体Bの内部挿入物

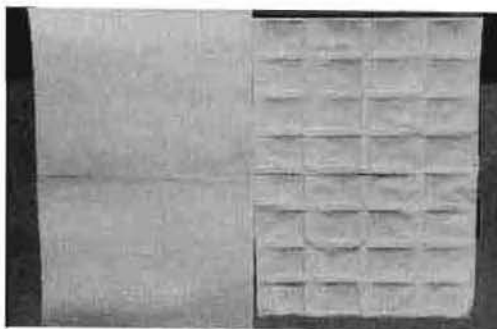


写真4 試験体Cの内部挿入物

イ 水道水に塩化ナトリウムを添加し、その濃度を0.5%、1%、2%に設定した場合の吸水重量変化を前アと同様に実施し、対塩水性能を比較した。

② 膨張形状変化測定

各吸水時間経過毎の吸水重量測定後、吸水性ゲル水のうの平均厚さを測定した。

本測定における計測は、吸水重量測定と同様に実施した。

(4) 吸水重量測定結果及び考察

① 試験体Aの吸水重量測定結果及び考察

試験体Aを用いた水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における吸水重量測定結果は表1及び図1に示すとおりである。

(表1及び図1参照)

表1 試験体Aの吸水重量測定結果

※ 吸水前はいずれも2.3kg

種別 時間	水道水	塩水 濃度0.5%	塩水 濃度1%	塩水 濃度2%
1分	15.9kg (6.91倍)	15.2kg (6.61倍)	15.0kg (6.52倍)	13.4kg (5.83倍)
2分	19.5kg (8.48倍)	17.4kg (7.57倍)	16.4kg (7.13倍)	15.8kg (6.87倍)
3分	22.8kg (9.91倍)	19.8kg (8.61倍)	18.2kg (7.91倍)	16.2kg (7.04倍)
4分	24.6kg (10.69倍)	20.6kg (8.96倍)	19.8kg (8.61倍)	16.8kg (7.30倍)
5分	25.8kg (11.21倍)	22.0kg (9.57倍)	20.6kg (8.96倍)	17.0kg (7.39倍)
6分	26.2kg (11.39倍)	22.2kg (9.66倍)	20.8kg (9.04倍)	17.2kg (7.48倍)
7分	26.6kg (11.56倍)	22.4kg (9.74倍)	21.2kg (9.22倍)	17.4kg (7.57倍)
8分	26.9kg (11.69倍)	22.6kg (9.83倍)	21.6kg (9.39倍)	17.6kg (7.65倍)
9分	27.2kg (11.82倍)	22.8kg (9.91倍)	21.8kg (9.48倍)	17.8kg (7.74倍)
10分	27.4kg (11.91倍)	23.0kg (10.00倍)	22.0kg (9.57倍)	17.8kg (7.74倍)
12分	27.4kg (11.91倍)	23.8kg (10.35倍)	22.2kg (9.65倍)	18.0kg (7.83倍)
14分	27.5kg (11.96倍)	24.6kg (10.69倍)	22.4kg (9.74倍)	18.2kg (7.91倍)
16分	27.5kg (11.96倍)	25.0kg (10.87倍)	22.4kg (9.74倍)	18.4kg (8.00倍)
18分	27.6kg (12.00倍)	25.0kg (10.87倍)	22.4kg (9.74倍)	18.4kg (8.00倍)
20分	27.6kg (12.00倍)	25.0kg (10.87倍)	22.4kg (9.74倍)	18.4kg (8.00倍)

※ () 内は、吸水倍率を示す。

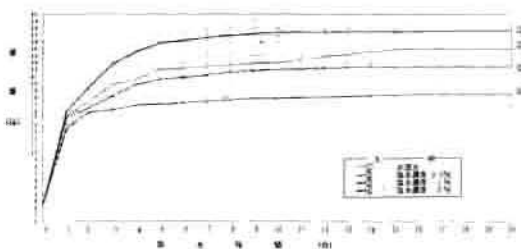


図1 吸水重量変化(試験体A)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における吸水重量変化を比較すると、吸水開始から1分経過時まで

はどれも同様な吸水重量を示しているが、2分経過時から水道水と比較して塩水濃度が濃くなる程、吸水量が減少していく傾向が顕著に現れている。

ここで水道水と塩水のそれぞれの状況を見ると、水道水の場合、吸水開始から5分経過時まで急速に増加しているが、その後は10分経過時まで緩やかな増加傾向を示し、10分経過後はほぼ横這い傾向を示している。一方、塩水も水道水と比較して吸水量は少ないものの、ほぼ同様の傾向を示している。しかし、塩水の場合の吸水量は、濃度が濃くなる程吸水量が少なくなる結果となっている。

水道水と、吸水量の最も少ない塩水濃度2%の結果を比較すると、吸水開始から5分経過時で水道水が25.8kgであるのに対し、塩水濃度2%は17.0kgであり、この時点で8.8kgの差が生じている。この吸水量の差は、吸水量の変化が緩やかになる10分経過時になると、水道水が27.4kgであるのに対し、塩水濃度2%は17.8kgであり、その差が9.6kgに開いている。また塩水濃度2%の最大吸水量は18.4kgであるが、これは水道水における2分経過時の吸水量よりも少ない結果となっている。

一方、吸水倍率に着目すると、5分経過時では水道水が11.21倍であるのに対し、塩水濃度0.5%が9.57倍、1%が8.96倍、2%が7.39倍と、塩水濃度の相違による顕著な結果が得られた。

この水道水の最大吸水倍率を100%として、各塩水濃度における最大倍率を比較すると、塩水濃度0.5%は91%、塩水濃度1%は81%、塩水濃度2%は67%となり、水災現場の水に海水(塩分3.5%以上)等の塩分が多く含まれる地域での使用は、塩分の少ない地域と比較して吸水量が著しく低下することがわかる。

② 試験体Bの吸水重量測定結果及び考察

試験体Bを用いた水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における吸水重量測定結果は表2及び図2に示すとおりである。

(表2及び図2参照)

表2 試験体Bの吸水重量測定結果

※ 吸水前はいずれも2.2kg

時間	水道水	塩水濃度0.5%	塩水濃度1%	塩水濃度2%
1分	17.7kg (7.87倍)	11.4kg (5.07倍)	11.0kg (4.89倍)	10.0kg (4.44倍)
2分	19.0kg (8.44倍)	15.8kg (7.02倍)	13.6kg (6.04倍)	13.2kg (5.87倍)
3分	21.0kg (9.13倍)	16.9kg (7.51倍)	14.6kg (6.49倍)	14.0kg (6.22倍)
4分	23.0kg (10.22倍)	18.0kg (8.00倍)	16.0kg (7.11倍)	14.8kg (6.58倍)
5分	23.5kg (10.44倍)	19.0kg (8.40倍)	17.0kg (7.56倍)	15.0kg (6.67倍)
6分	23.8kg (10.58倍)	19.0kg (8.44倍)	17.2kg (7.64倍)	15.0kg (6.67倍)
7分	25.0kg (11.11倍)	19.2kg (8.53倍)	17.4kg (7.73倍)	15.2kg (6.76倍)
8分	25.5kg (11.33倍)	19.4kg (8.62倍)	17.6kg (7.82倍)	15.2kg (6.76倍)
9分	26.0kg (11.56倍)	19.5kg (8.67倍)	17.8kg (7.91倍)	15.3kg (6.80倍)
10分	26.5kg (11.78倍)	19.6kg (8.71倍)	18.0kg (8.00倍)	15.4kg (6.84倍)
12分	26.7kg (11.87倍)	20.0kg (8.89倍)	18.4kg (8.18倍)	15.6kg (6.93倍)
14分	27.0kg (12.00倍)	20.2kg (8.98倍)	18.8kg (8.36倍)	15.8kg (7.02倍)
16分	28.0kg (12.44倍)	20.4kg (9.07倍)	19.0kg (8.44倍)	16.0kg (7.11倍)
18分	28.5kg (12.67倍)	20.8kg (9.24倍)	19.2kg (8.53倍)	16.3kg (7.24倍)
20分	28.5kg (12.67倍)	21.0kg (9.33倍)	19.4kg (8.62倍)	16.5kg (7.33倍)

※ () 内は、吸水倍率を示す。

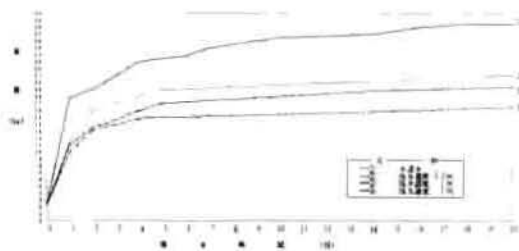


図2 吸水重量変化(試験体B)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における吸水重量変化を比較すると、吸水開始から1分経過時で水道水と塩水との差が生じはじめ、この時点における水道水の吸水量は17.7kg、塩水濃

度0.5%は11.4kg、1%は11.0kg、2%は10.0kgであり、水道水の場合比較して水に塩分の量が多く含まれると吸水量が著しく低下する傾向が認めれる。

ここで水道水と塩水のそれぞれの状況を見ると、水道水の場合、吸水開始から5分経過時まで急速に増加しているが、その後は緩やかな増加傾向を示し、10分以後はほぼ横這い傾向を示している。18分経過時には最大吸水重量となり、28.5kgに達している。また、塩水の場合には水道水と比較して吸水量は少ないものの、ほぼ同様の傾向を示している。

しかし、塩水の場合の吸水量は、試験体Aと同様に塩水濃度が濃くなる程吸水量が減少する傾向が認められる。

本測定結果から各濃度の塩水における最大吸水量と水道水における吸水重量変化を比較してみると、塩水濃度0.5%は21.0kgで水道水の3分経過時、1%では19.4kgで2分経過時、2%では16.5kgで1分経過時の吸水量しか得られない。

一方、吸水倍率に着目すると、5分経過時では水道水が10.44倍であるのに対し、塩水濃度0.5%が8.40倍、1%が7.56倍、2%が6.67倍と、塩水濃度の相違による顕著な結果が見られる。

この水道水の最大吸水倍率を100%として、各塩水濃度における最大倍率を比較すると、塩水濃度0.5%は水道水の74%、塩水濃度1%は68%、塩水濃度2%は58%となり、塩水濃度が濃くなると吸水倍率が著しく低下することがわかる。

この結果を試験体Aの結果と比較してみると、各濃度の塩水ともゲル化剤挿入量の多い試験体Bの方が低い吸水倍率となっている。

その理由としては、試験体Aはゲル化剤を水溶性パルプで包含しているが、試験体Bはゲル化剤を原体のまま挿入しており、ゲル化剤が塩分の持つ電解質の影響を受けやすいこと、また試験体Aの水溶性パルプ紙は塩水の影響を受けないため、この水溶性パルプ紙自身が吸水し、その差がでてい

るものと推定される。

この試験体Bのゲル水のうを水災現場の水に塩分が多く含まれる地域で使用する場合、試験体AよりもBの方が影響を受けやすいため、より使用が難しいと言える。

表3 試験体Cの吸水重量測定結果

※ 吸水前はいずれも2.9kg

種別 時間	水道水	塩水 濃度0.5%	塩水 濃度1%	塩水 濃度2%
1分	14.8kg (5.10倍)	10.0kg (3.45倍)	9.8kg (3.38倍)	9.8kg (3.34倍)
2分	18.5kg (6.38倍)	13.8kg (4.76倍)	12.4kg (4.28倍)	11.8kg (4.07倍)
3分	20.5kg (7.07倍)	14.8kg (5.10倍)	14.8kg (5.10倍)	13.6kg (4.69倍)
4分	22.0kg (7.59倍)	16.4kg (5.66倍)	16.0kg (5.52倍)	14.8kg (5.10倍)
5分	24.2kg (8.34倍)	17.8kg (6.14倍)	16.4kg (5.66倍)	15.4kg (5.31倍)
6分	24.8kg (8.55倍)	18.6kg (6.41倍)	16.8kg (5.79倍)	15.8kg (5.45倍)
7分	25.3kg (8.72倍)	19.2kg (6.62倍)	17.4kg (6.00倍)	16.2kg (5.59倍)
8分	26.0kg (8.97倍)	19.8kg (6.83倍)	17.8kg (6.14倍)	16.4kg (5.66倍)
9分	26.5kg (9.14倍)	20.2kg (6.97倍)	18.2kg (6.28倍)	16.6kg (5.72倍)
10分	26.8kg (9.24倍)	20.6kg (7.10倍)	18.8kg (6.48倍)	16.8kg (5.79倍)
12分	27.2kg (9.38倍)	20.8kg (7.17倍)	19.4kg (6.69倍)	16.8kg (5.78倍)
14分	27.2kg (9.38倍)	21.2kg (7.31倍)	19.8kg (6.83倍)	17.0kg (5.86倍)
16分	27.2kg (9.38倍)	21.4kg (7.38倍)	20.2kg (6.97倍)	17.0kg (5.86倍)
18分	27.2kg (9.38倍)	21.6kg (7.45倍)	20.3kg (7.00倍)	17.0kg (5.86倍)
20分	27.2kg (9.38倍)	21.8kg (7.52倍)	20.4kg (7.03倍)	17.0kg (5.86倍)

※ () 内は、吸水倍率を示す。

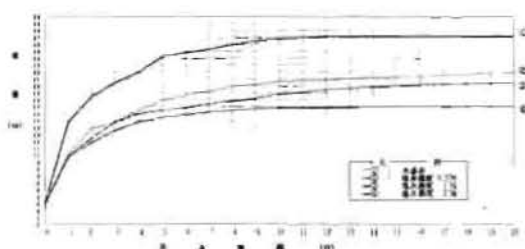


図3 吸水重量変化(試験体C)

③ 試験体Cの吸水重量測定結果及び考察
試験体Cを用いた水道水、塩水濃度

0.5%・1%・2%における吸水重量測定結果は表3及び図3に示すとおりである。

(表3及び図3参照)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における吸水重量変化を比較すると、吸水開始から1分経過時点で水道水と塩水との差が生じ始め、この時点における水道水の吸水量は、14.8kg、塩水濃度0.5%は10.0kg、1%及び2%は9.8kgであり、他の試験体と比較して水道水との差が少ない結果となっている。

その理由として試験体Cは、内部挿入物にポリエチレンテレフタレート繊維とゲル化剤を圧着形成しており、この時点では、ゲル化剤の吸水よりもポリエチレンテレフタレートの吸水が多いため差が少なかったものと推定される。

2分経過時から水道水と塩水との吸水量に差が開き始め、5分経過時では、水道水が24.2kg、塩水濃度0.5%が17.8kg、1%が16.4kg、2%が15.4kgとなり、水道水と比較して塩分が含まれているとゲル化剤の吸水量が減少する傾向が認められる。

ここで水道水と塩水のそれぞれの状況を見ると、水道水の場合、吸水開始から5分経過時まで急速に増加しているが、その後は緩やかな増加傾向を示し、12分経過時には本試験体の最大吸水量27.2kgに達している。

各濃度の塩水による結果を見ると、他の試験体の塩水による結果と同様に塩水濃度が濃くなる程、吸水量が著しく減少する傾向が認められる。この塩水による測定結果からそれぞれの最大吸水量に着目し、水道水の吸水重量変化と比較すると、塩水濃度0.5%では21.8kg、1%では20.4kg、2%では17.0kgであり、これを水道水の吸水重量変化にあてはめると、塩水濃度0.5%は水道水の4分経過時、1%は3分経過時、2%は2分経過時の吸水量にしか達していないことが確認される。

一方、本試験体による最大吸水量の吸水倍率に着目すると、水道水が9.38倍であるのに対し、塩水濃度0.5%が7.52倍、1%が7.03倍、2%が5.86倍と塩水濃度の相違に

よる顕著な結果が得られている。

この水道水の最大吸水倍率を100%として、各塩水濃度における最大倍率を比較すると、塩水濃度0.5%は水道水の80%、塩水濃度1%は75%、塩水濃度2%は62%となり、塩水濃度が濃くなると吸水倍率が著しく低下することがわかる。本吸水性ゲル水のうに使用しているゲル化剤は、水に電解質が多く含まれていると、吸水効果の面で著しく低下するものであり、本測定は、湾岸地域の水災現場での活用についてどの程度まで対応が可能であるかを見極めるために実施したものである。結果から使用の可否について判断すると塩水濃度が1%以下の場合であれば、水道水と比較して吸水効率は低下するものの、使用可能な吸水重量が得られることがわかる。

本試験体の吸水重量測定結果から、水災現場の水に塩分が多量に含まれる地域では、吸水効率の面で他の試験体と同様にゲル化剤の持つ特性を十分に活かすことができないものと推定される。

(5) 膨張形状変化測定結果及び考察

① 試験体Aの膨張形状変化測定結果及び考察

試験体Aを用いた水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化測定結果は、表4及び図4に示すとおりである。

(表4及び図4参照)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化を比較すると、吸水開始から1分経過時で水道水と塩水との差が生じはじめ、この時点における膨張形状変化は、水道水で7.5cm、塩水濃度0.5%で5.5cm、1%で5.4cm、2%で5.2cmであり、塩水濃度が濃くなる程膨張形状変化が小さくなっていることがわかる。本実験における試験体Aの水道水吸水1分経過後の形状を写真5に、各塩水濃度における吸水形状は何れも同様であるため、塩水濃度0.5%の形状を写真6示す。

(写真5～6参照)

この1分経過時点においては、水道水と各塩水濃度との差は約2cmで著しい差はでないが、5分経過時においては、水道

表4 試験体Aの膨張形状変化測定結果

※ 吸水前はいずれも1.5cm

時間 \ 種別	水道水	塩水濃度0.5%	塩水濃度1%	塩水濃度2%
1分	7.5cm (5.00倍)	5.5cm (3.67倍)	5.4cm (3.60倍)	5.2cm (3.47倍)
2分	9.8cm (6.53倍)	7.0cm (4.67倍)	6.8cm (4.53倍)	5.8cm (3.87倍)
3分	11.5cm (7.67倍)	8.1cm (5.40倍)	7.0cm (4.67倍)	6.0cm (4.00倍)
4分	12.9cm (8.60倍)	9.5cm (6.33倍)	8.2cm (5.47倍)	6.4cm (4.27倍)
5分	13.4cm (8.93倍)	10.7cm (7.13倍)	8.5cm (5.67倍)	6.5cm (4.33倍)
6分	13.8cm (9.20倍)	10.8cm (7.20倍)	8.5cm (5.67倍)	6.5cm (4.33倍)
7分	14.2cm (9.47倍)	11.0cm (7.33倍)	8.6cm (5.73倍)	6.6cm (4.40倍)
8分	14.6cm (9.73倍)	11.2cm (7.47倍)	8.7cm (5.80倍)	6.8cm (4.53倍)
9分	15.0cm (10.00倍)	11.4cm (7.60倍)	8.8cm (5.87倍)	7.0cm (4.67倍)
10分	15.4cm (10.27倍)	11.5cm (7.67倍)	9.0cm (6.00倍)	7.0cm (4.67倍)
12分	15.4cm (10.27倍)	11.8cm (7.87倍)	9.4cm (6.27倍)	7.1cm (4.73倍)
14分	15.8cm (10.53倍)	12.2cm (8.13倍)	9.8cm (6.53倍)	7.1cm (4.73倍)
16分	15.8cm (10.53倍)	12.5cm (8.33倍)	10.0cm (6.67倍)	7.2cm (4.80倍)
18分	16.3cm (10.87倍)	12.5cm (8.33倍)	10.0cm (6.67倍)	7.2cm (4.80倍)
20分	16.3cm (10.87倍)	12.5cm (8.33倍)	10.0cm (6.67倍)	7.2cm (4.80倍)

※ ()内は、膨張倍率を示す。

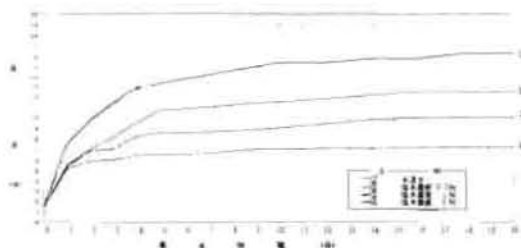


図4 膨張形状変化(試験体A)

水が13.4cm、塩水濃度0.5%が10.7cm、1%が8.5cm、2%が6.5cmとなり、塩水濃度による差が顕著に現れている。

また、水道水と各塩水濃度での最大膨張形状は、水道水で16.3cm、塩水濃度0.5%で

12.5cm, 1%で10.0cm, 2%で7.2cmであり, 水道水と塩水濃度2%においてはその差が9.1cmあることがわかる。この最大膨張形状となった時点の外観形状は, 写真7~10に示す。(写真7~10参照)



写真5 試験体Aの水道水吸水1分経過後



写真6 試験体Aの濃度0.5%塩水吸水1分経過後



写真7 試験体Aの水道水最大吸水形状



写真8 試験体Aの濃度0.5%塩水最大吸水形状



写真9 試験体Aの濃度1%塩水最大吸水形状



写真10 試験体Aの濃度2%塩水最大吸水形状

一方, 本試験体による最大膨張倍率に着目すると, 水道水が10.87倍, 塩水濃度0.5%が8.33倍, 1%が6.67倍, 2%が4.80倍と, 塩水濃度の相違による顕著な結果が見られる。

表5 試験体Bの膨張形状変化測定結果

※ 吸水前はいずれも1.0cm

時間	種別	水道水	塩水濃度0.5%	塩水濃度1%	塩水濃度2%
1分	種別	6.5cm	5.4cm	4.4cm	4.0cm
	膨張倍率	(6.50倍)	(5.40倍)	(4.40倍)	(4.00倍)
2分	種別	8.5cm	6.6cm	5.4cm	4.9cm
	膨張倍率	(8.50倍)	(6.60倍)	(5.40倍)	(4.90倍)
3分	種別	10.0cm	7.9cm	5.9cm	5.4cm
	膨張倍率	(10.00倍)	(7.90倍)	(5.90倍)	(5.40倍)
4分	種別	10.8cm	8.2cm	6.4cm	5.8cm
	膨張倍率	(10.80倍)	(8.20倍)	(6.40倍)	(5.80倍)
5分	種別	11.0cm	8.6cm	7.0cm	5.8cm
	膨張倍率	(11.00倍)	(8.60倍)	(7.00倍)	(5.80倍)
6分	種別	12.4cm	8.9cm	7.4cm	5.8cm
	膨張倍率	(12.40倍)	(8.90倍)	(7.40倍)	(5.80倍)
7分	種別	13.8cm	9.2cm	7.7cm	5.8cm
	膨張倍率	(13.80倍)	(9.20倍)	(7.70倍)	(5.80倍)
8分	種別	14.3cm	9.4cm	7.9cm	5.8cm
	膨張倍率	(14.30倍)	(9.40倍)	(7.90倍)	(5.80倍)
9分	種別	14.8cm	9.4cm	7.6cm	5.8cm
	膨張倍率	(14.80倍)	(9.40倍)	(7.60倍)	(5.80倍)
10分	種別	15.0cm	9.4cm	7.8cm	5.8cm
	膨張倍率	(15.00倍)	(9.40倍)	(7.80倍)	(5.80倍)
12分	種別	15.2cm	9.6cm	7.9cm	6.0cm
	膨張倍率	(15.20倍)	(9.60倍)	(7.90倍)	(6.00倍)
14分	種別	15.5cm	9.8cm	8.0cm	6.2cm
	膨張倍率	(15.50倍)	(9.80倍)	(8.00倍)	(6.20倍)
16分	種別	15.5cm	10.0cm	8.2cm	6.2cm
	膨張倍率	(15.50倍)	(10.00倍)	(8.20倍)	(6.20倍)
18分	種別	16.0cm	10.5cm	8.4cm	6.3cm
	膨張倍率	(16.00倍)	(10.50倍)	(8.40倍)	(6.30倍)
20分	種別	16.0cm	10.8cm	8.5cm	6.4cm
	膨張倍率	(16.00倍)	(10.80倍)	(8.50倍)	(6.40倍)

※ () 内は, 膨張倍率を示す。

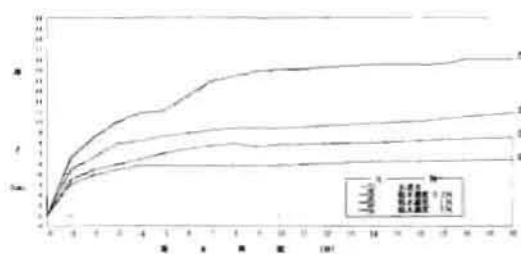


図5 膨張形状変化 (試験体B)

この水道水の最大膨張倍率を100%とすると、塩水濃度0.5%は水道水の77%、塩水濃度1%は61%、塩水濃度2%は44%となり、塩水濃度が濃くなるとゲル化剤の膨張倍率が著しく低下することがわかる。したがって本試験体の塩水各濃度における膨張形状変化測定結果から、水災現場の水に塩分が多量に含まれる地域での使用は、ゲル化剤の特性を十分に活かすことができないものと推定される。

② 試験体Bの膨張形状変化測定結果及び考察

試験体Bを用いた水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化測定結果は、表5及び図5に示すとおりである。

(表5及び図5参照)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化を比較すると、吸水開始から1分経過時で水道水と塩水との差が生じ始め、この時点における膨張形状変化は、水道水で6.5cm、塩水濃度0.5%で5.4cm、1%で4.4cm、2%で4.0cmであり、塩水濃度が濃くなる程膨張形状変化が小さくなっていることがわかる。

この1分経過時点においては、水道水と各塩水濃度との差は約2cmで著しい差はでていないが、5分経過時においては、水道水が11.0cm、塩水濃度0.5%が8.6cm、1%が7.0cm、2%が5.8cmとなり、塩水濃度による差が顕著に現れている。

また、水道水と塩水各濃度での最大膨張形状は、水道水で16.0cm、塩水濃度0.5%で10.8cm、1%で8.5cm、2%で6.4cmであり、水道水と塩水濃度2%においてはその差が9.6cmあることがわかる。

この最大膨張形状となった時点の外観形状は、写真11～14に示す。

(写真11～14参照)

一方、本試験体による最大膨張倍率に着目すると、水道水が16.0倍、塩水濃度0.5%が10.8倍、1%が8.5倍、2%が6.4倍と、塩水濃度の相違による顕著な結果が見られる。

この水道水の最大膨張倍率を100%とすると、塩水濃度0.5%は水道水の68%、塩水濃度1%は53%、塩水濃度2%は40%とな



写真11 試験体Bの水道水最大吸水形状



写真12 試験体Bの濃度0.5%塩水最大吸水形状



写真13 試験体Bの濃度1%塩水最大吸水形状



写真14 試験体Bの濃度2%塩水最大吸水形状

り、塩水濃度が濃くなると膨張倍率が著しく低下することがわかる。したがって、本試験体も試験体Aと同様に水災現場の水に塩分が多量に含まれる地域での使用は、ゲル化剤の特性を十分に活かすことができないものと推定される。

③ 試験体Cの膨張形状変化測定結果及び考察

試験体Cを用いた水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化測定結果は、表6及び図6に示すとおりである。

(表6及び図6参照)

測定結果をもとに、水道水、塩水濃度0.5%・1%・2%における膨張形状変化を比較すると、吸水開始から1分経過時で水道水と塩水との差が生じ始め、この時点における膨張形状変化は、水道水で6.8cm、塩水濃度0.5%で5.5cm、1%で5.5cm、2%で5.4cmであり、塩水濃度が濃くなる程膨張形状変化が小さくなっていることがわかる。

表6 試験体Cの膨張形状変化測定結果

※ 吸水前はいずれも2.6cm

時間	水道水	塩水濃度0.5%	塩水濃度1%	塩水濃度2%
1分	6.8cm (2.62倍)	5.5cm (2.12倍)	5.5cm (2.12倍)	5.4cm (2.08倍)
2分	8.5cm (3.27倍)	6.6cm (2.54倍)	6.5cm (2.50倍)	5.8cm (2.23倍)
3分	9.8cm (3.77倍)	7.6cm (2.92倍)	7.0cm (2.69倍)	6.2cm (2.39倍)
4分	11.5cm (4.42倍)	8.2cm (3.15倍)	7.8cm (3.00倍)	7.0cm (2.69倍)
5分	13.2cm (5.08倍)	8.6cm (3.31倍)	8.2cm (3.15倍)	7.2cm (2.77倍)
6分	13.5cm (5.19倍)	8.8cm (3.39倍)	8.4cm (3.23倍)	7.4cm (2.85倍)
7分	14.0cm (5.38倍)	9.2cm (3.54倍)	8.6cm (3.27倍)	7.4cm (2.85倍)
8分	14.8cm (5.69倍)	9.4cm (3.62倍)	8.6cm (3.31倍)	7.5cm (2.83倍)
9分	15.2cm (5.85倍)	9.6cm (3.69倍)	8.6cm (3.31倍)	7.5cm (2.88倍)
10分	15.8cm (6.08倍)	9.8cm (3.77倍)	8.8cm (3.38倍)	7.6cm (2.92倍)
12分	16.0cm (6.15倍)	10.2cm (3.92倍)	9.4cm (3.62倍)	7.6cm (2.92倍)
14分	16.0cm (6.15倍)	10.6cm (4.08倍)	9.6cm (3.69倍)	7.8cm (3.00倍)
16分	16.0cm (6.15倍)	11.0cm (4.23倍)	9.8cm (3.77倍)	7.8cm (3.00倍)
18分	16.0cm (6.15倍)	11.5cm (4.42倍)	10.0cm (3.85倍)	7.8cm (3.00倍)
20分	16.0cm (6.15倍)	11.5cm (4.42倍)	10.0cm (3.85倍)	7.8cm (3.00倍)

※ () 内は、膨張倍率を示す。

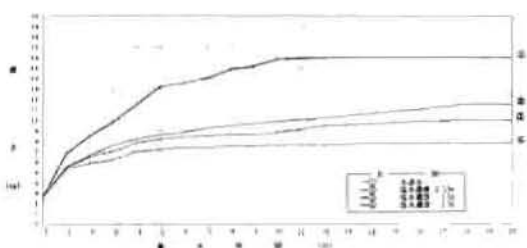


図6 膨張形状変化(試験体C)

この1分経過時点においては、水道水と各塩水濃度との差は約1cmで著しい差はでていないが、5分経過時においては、水道水が13.2cm、塩水濃度0.5%が8.6cm、1%が8.2cm、2%が7.2cmとなり、塩水濃度に

よる差が顕著に現れている。

また、水道水と塩水各濃度での最大膨張形状は、水道水で16.0cm、塩水濃度0.5%で11.5cm、1%で10.0cm、2%で7.8cmであり、水道水と塩水濃度2%においてはその差が8.2cmあることがわかる。この最大膨張形状となった時点の外観形状は、写真15~18に示す。

(写真15~18参照)



写真15 試験体Cの水道水最大吸水形状



写真16 試験体Cの濃度0.5%塩水最大吸水形状



写真17 試験体Cの濃度1%塩水最大吸水形状



写真18 試験体Cの濃度2%塩水最大吸水形状

一方、本試験体による最大膨張倍率に着目すると、水道水が6.15倍、塩水濃度0.5%が4.42倍、1%が3.85倍、2%が3.00倍と、塩水濃度の相違による顕著な結果が見られる。

この水道水の最大膨張倍率を100%とすると、塩水濃度0.5%は水道水の72%、塩水濃度1%は63%、塩水濃度2%は49%となり、塩水濃度が濃くなるほど膨張倍率が著しく低下することがわかる。しかし、本試験

体は、ポリエチレンテレフタレートの繊維を挿入している関係上他の試験体と比較して塩水の影響が少いものの、保水させるために他の試験体と同様にゲル化剤を用いているため、水災現場の水に塩分が多量に含まれる地域では、ゲル化剤の特性を十分に活かすことができないものと推定される。

(6) 本実験のまとめ

これまで3種類の内部形状の異なる試験体を用いて、水道水・塩水濃度0.5%・1%・2%の水を吸水させた場合の吸水性状及び膨張形状変化を把握する実験結果及び考察を述べてきたが、その結果において確認されたことをまとめてみると、次のとおりである。

① 試験体Aについて

ア 水道水の場合、吸水3分から5分経過時で積み上げ可能な吸水重量及び形状を得ることができる。

イ 吸水後の堅さが柔らかく積み上げて使用する場合、3段以上になると安定性が悪くなる。

ウ 塩水における吸水重量及び形状変化は、塩水濃度が1%未満であれば使用可能な重量及び形状を得ることができる。

エ 塩水濃度が2%以上になると、吸水速度及び量が著しく低下し、堅さも柔らかく積み上げて使用することが困難な状況である。

② 試験体Bについて

ア 本試験体は、袋内にゲル化剤及び比重調節材を原体のまま挿入している関係上、手で揉むようにすれば吸水効率がよくなる。

イ 水道水の場合、吸水5分から7分経過時で積み上げ可能な吸水重量及び形状を得ることができる。

ウ 他の試験体と異なり比重調節材を小袋状に加工したパルプ紙に包含していないため吸水後の形状が柔らかく、水の相互の密着性はいいが積み上げて使用する場合、3段以上になると安定性が悪くなる。

エ 塩水における吸水重量及び形状変化は、塩水濃度が0.5%未満であれば使用可能

な重量及び形状を得ることができる。

オ 塩水濃度が1%以上になると、吸水速度及び量が著しく低下し、形状も柔らかく積み上げて使用することが困難な状況である。

③ 試験体Cについて

ア 水道水の場合、吸水3分から5分経過時で積み上げ可能な吸水重量及び形状を得ることができる。

イ 他の試験体と異なりポリエチレンテレフタレートを挿入している関係上、吸水後の堅さがかたく、高く積み上げての使用に適している。

ウ 塩水における吸水重量及び形状変化は、ポリエチレンテレフタレートを挿入している関係上、当該繊維が収水するため、他の試験体と比較して影響がやや少ない。

5. 外袋強度の把握実験

(1) 本実験の目的

本実験は、吸水後のゲル水のう積み重ね時における対荷重量の把握、及び工法実施時の取り扱いを考慮して、落下時の衝撃に伴う外袋の強度を把握することをねらいとして実施した。

(2) 実験方法

吸水後の吸水性ゲル水のうを用いて、落下及び荷重を加えて次に掲げる条件で実施した。

① 対荷重実験

地面に置いた吸水性ゲル水のうの上に、おもりを置き、外袋が破損するまで重量を増加して、その破損状況を確認した。

② 落下衝撃実験

吸水性ゲル水のうを地面からの高さ30cm、50cm、70cm、100cm、150cmの位置から落下させ、外袋の破損状況を確認した。

(3) 測定項目

- ① 目視観測
- ② 重量測定
- ③ 写真記録

(4) 測定結果及び考察

① 対荷重実験測定結果

3種類の試験体の対荷重実験測定結果は、表7に示すとおりである。(表7参照)

表7 対荷重実験測定結果

種別	観 測 内 容	
試験体A	70kg	長辺方向の縫い目の部分からゲルがしみでてきた。
	90kg	全ての縫い目の部分から大量にゲルが噴出して、水のうの大きさが小さくなってきたが外袋の破損は認められなかった。本試験体は、内部のゲルが大量に噴出して形状が小さくなったため、以降の荷重実験を終了した。
試験体B	70kg	長辺方向の縫い目の部分から僅かにゲルがしみでてきた。
	90kg	長辺方向の縫い目の部分からゲルのしみでている量が多くなってきたが、水のうの形状を変化させる程度の流出ではない。
	150kg	全ての縫い目の部分からゲルがしみでてきたが、水のうの形状を変化させる程度の流出ではない。
試験体C	150kg	最大荷重150kgにおいても縫い目からのゲルのしみだし等の変化は認められなかった。

ア 試験体Aについて

本試験体は、70kgの重量で長辺方向の縫い目の部分からゲルが染みだし始め、90kgの荷重を加えると、全ての縫い目の部分から大量にゲルが噴出してゲル水の水のうの形状が小さくなった。しかし、ゲルの流出は、縫い目の部分からのみで外袋表面の破損は認められなかった。この縫い目の部分からのゲルの流出状況は、写真19に示す。(写真19参照)



写真19 試験体Aの90kg荷重時の状況

この縫い目の部分からの大量の流出理

由としては、本試験体の内部形状は、比重調節材がパルプ紙で包含されゲル化剤と分離されているため、水が純粋にゲル化された状態になっている関係上、縫い目から染みだし易かったものと推定される。

この測定結果から、本試験体の積み上げ可能段数を検討すると、吸水実験結果の最大吸水量とした場合、垂直に4段が限界である。

イ 試験体Bについて

本試験体は、70kgの荷重で長辺方向の縫い目の部分からゲルが僅かに染みだしが認められたが、荷重を90から150kgに変化させてもゲル水の水のうの形状を変化させる程のゲルの流出は認められなかった。

本試験体は、試験体Aと同様にゲル化剤を主体としたものであるが、試験体Aと異なり150kgの荷重を加えても流出量が極めて少ない結果となっている。この理由としては、本試験体はゲル化剤と比重調節材をそのままの状態です混合挿入しており、ブレンドされた状態となるため、粒子の粗い比重調節材が縫い目の隙間を埋め、ゲルの流出を防いだものと推定される。

本荷重試験結果から積み上げ可能段数を検討すると、吸水実験結果の最大吸水量とした場合、垂直に6段程度でも十分対応可能であると思われる。

ウ 試験体Cについて

本試験体は内部にポリエチレンテレフタレート繊維を挿入しており、吸水させた場合にこの繊維が膨らみ弾力性のある硬い水のうが形成されるため、本測定における最大荷重を加えてもゲルの染み出し等は認められなかった。

この状況は、写真20に示す。

(写真20参照)

本荷重試験結果から積み上げ可能段数を検討すると、吸水実験結果の最大吸水量とした場合、垂直に6段程度でも十分対応可能であると推定される。また、当該試験体は、150kgの荷重を加えても型崩れしないことから高く積み上げることが

必要な場所に適しているといえる。

② 落下衝撃実験測定結果

3種類の試験体の落下衝撃測定結果は、表8に示すとおりである。(表8参照)



写真20 試験体Cの150kg荷重時の状況

表8 落下衝撃実験測定結果

種別	高さ				
	30cm	50cm	70cm	100cm	150cm
試験体A	○	△	×	×	×
試験体B	○	△	×	×	×
試験体C	○	○	○	○	○
備考	※ 凡例 ○：外袋に変化が認められなかったもの。 △：外袋の一部破損又はゲルのしみだしが認められたもの。 ×：外袋が破損し、ゲルが流出したもの。				

本実験は、正法実施時の各試験体の落下強度を確認するために実施したもので、測定結果を見ると落下強度の面では試験体Cが極めて高い強度があることがわかる。その理由としてはゲルがポリエチレンテレフタレートによって拘束されているので、その繊維の弾力性が落下衝撃を吸収し、これが当該試験体落下時にクッションの役割を果たしていることに起因しているものと推

定される。

また、試験体A及びBは、水のう内部が吸水性ゲルと比較調節材のみであることから、落下衝撃を与えると内部のゲルが外袋に向かって急激に移動することから、外袋の縫い目強度の弱い部分が破壊されたものと推定される。

試験体Aの破袋状況を写真21に示す。

(写真21参照)

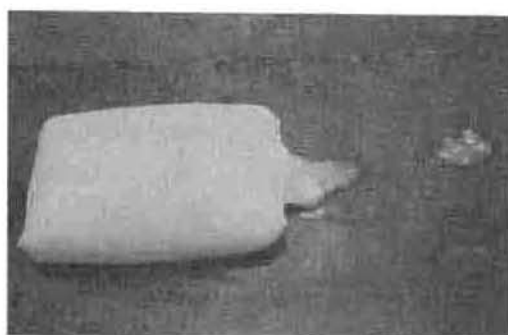


写真21 試験体Aの破袋状況

(5) 本実験のまとめ

これまで3種類の内部形状の異なる試験体を用いて、対荷重実験及び落下衝撃実験を実施し、それぞれの試験体の強度に関する実験結果と考察を述べてきたが、その結果において確認された事項をまとめると、次のようになる。

- ① 試験体Aは積み上げて使用する場合、4段以下とすることが望ましい。
- ② 試験体Bは、対荷重の面では高く積み上げることが可能な強度を有しているが、ゲル水のう完成時の堅さが柔らかく荷重を加えた場合に形状変化が起きやすく、高く積み上げた場合に安定性が悪くなると推定されるため、積み上げは2段以下とすることが望ましい。
- ③ 試験体Cは、ゲル水のう完成時の形状が荷重を加えても変化が少ないことから、高水位の水災現場の使用に適している。
- ④ 試験体A及びBは、落下衝撃に弱いことから取扱いに際して十分な配慮をする必要がある。
- ⑤ 試験体Cは、落下衝撃に強く、人間の肩

程度の高さからの落下衝撃に対する十分な強度を有している。

6. 止水工法効果及び耐久性確認実験

(1) 本実験の目的

本実験は、吸水性ゲル水のうを用いて長スパンの3段積み止水工法を実施し、その工法の施工方法及び時間と止水効果並びに工法形状等の耐久性を確認することをねらいとして実施した。

(2) 実施方法

① 止水工法施工及び効果確認実験

間口6mの開口を有する図7の水槽を用いて、その開口部に2種類の吸水性ゲル水のうを用いた止水工法を次に示す要領で実施した。

(図7参照)

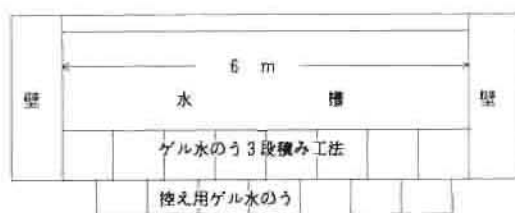


図7 止水工法施工図

ア 吸水性ゲル水のうを1段並べ、水槽内に水深10cmまで水を入れ、その止水状況を確認した。

イ 吸水性ゲル水のうを2段積み、水槽内に水深20cmまで水を入れ、その止水状況を確認した。

ウ 吸水性ゲル水のうを3段積み、水槽内に水深30cmまで水を入れ、その止水状況を確認した。

エ 吸水性ゲル水のうを3段積みに、控えを1段(中央部3列は2段)置き、その止水状況を確認した。

② 止水工法耐久性実験

前①において実施した工法の耐久性を確認するため、水槽の水位を30cmとした状態

で、自然光(紫外線)に暴露し、時間経過における止水工法の形状及び止水効果に係わる状況変化を確認した。

(3) 試験体

試験体はA及びCを用い、その使用割合は、6袋(2列・3段積み)を試験体Cで、その他を試験体Aで行った。

また、本実験において試験体Bを用いない理由としては、吸水後の形状等が試験体Aと同様であることから使用しなかったものである。

(4) 確認事項

① 工法形状等の確認

ア 試験体Aの状況

イ 試験体Cの状況

② 止水効果の確認

ア 試験体Aの状況

イ 試験体Cの状況

③ 工法実施人員3名における施工時間の確認

④ 工法形状等の耐久性の確認

(5) 測定項目

① 目視観測

② 写真記録

③ 映像記録

(6) 測定結果及び考察

① 止水工法施工及び効果確認実験結果

止水工法施工に係わる確認実験結果をまとめると、表9に示すとおりである。

(表9参照)

実施結果によると、工法施工時間が37分で止水効果も控えを設けることにより十分な効果が得られることがわかる。また、本止水工法は、実態に則して行うため、水槽内に50mmホースを用い150ℓ/min放水し、その部分に吸水前のゲル水のうを置き、吸水させながら堰をつくる方法により実施したものである。この方法においては、吸水性ゲル水のう1列のみでは、水量が多く、流速が速い場合は、吸水前に突破される状況が認められたものの、2列置くと十分な止水効果がある。

この吸水状況は、写真22に示す。

(写真22参照)

次に、使用の異なる試験体AとCの状況

表9 止水工法実施結果

確認項目等	結果及び観測内容等
工法実施人員	3人
工法使用袋数	86袋
工法施工時間	17分
ゲル水のう1段・控えなし、水深10cmにおける状況	堰の中央付近のゲル水のうが徐々に押し出されたため、十分な止水効果が得られなかった。
ゲル水のう2段・控えなし、水深20cmにおける状況	水深18cm程度から堰の中央付近のゲル水のうが徐々に外側に押し出され、水深20cmになると堰の中央部がくずれ十分な止水効果が得られなかった。
ゲル水のう3段・控えなし、水深30cmにおける状況	水深25cm程度から堰の中央付近のゲル水のうが徐々に外側に押し出され、水深30cmになると堰の中央部がくずれ十分な止水効果が得られなかった。
ゲル水のう3段・控え1段（中央部3列は2段）における状況	水深30cmとなっても工法形状に変化は認められず、ゲル水のう間からの漏水状況は、試験体Cにより施工した部分から若干しみでてくる程度で、試験体Aにより施工した部分からの漏水は認められず、十分な止水効果が確認された。



写真22 1段目の吸水状況

をみると、試験体Aは吸水性ゲル水のうの吸水後の内部が柔らかいため、工法施工時にゲル水のう間の密着性が良く、止水効果が高いものの積み上げて使用する場合には、この柔らかさが逆にマイナス要素となり積み上げられる可能な段数としては、3段が限度であった。

一方、試験体Cは、吸水後には内部も堅く、形状も直方形になることから積みやすく、高い堰を形成する場合には適している。しかし、試験体Cにより施工する場合は、ゲル水のうの形状が硬いことから、単に並

べるだけでは相互間の密着性が少ないため隙間が生じ易く、施工時には相互を押しつけ密着性を良くする必要がある。

この試験体A及びCの積み上げ状況を写真23に示す。（写真23参照）

また、水槽内水位を30cm（工法完成時）とした時の止水状況を写真24に示す。

（写真24参照）



写真23 試験体C（左側2列6袋）及びAの積み上げ状況



写真24 工法完成時の状況

② 止水工法耐久性性能確認実験結果

止水工法完成時から自然光（紫外線）に暴露し、時間経過に伴う工法形状及び止水状況変化の観測結果は、表10の示すとおりになった。（表10参照）

本観測により、自然光（紫外線）暴露による工法耐久性性能を確認したが、観測中の大抵がくもりと雨の1日が大半を占めており紫外線の影響が暗れの状態に比較して少なかったものの、工法形状及び止水効果が170時間以上続いている。

これまでの都市型水防においては、水の

表10 止水工法耐久性能確認実験観測結果

経過時間	観測結果	気象状況
0	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ40cm, 漏水状況は, 試験体Cによる施工部分から若干しみでているが試験体Aの施工部分からの漏水は, 認められない。	くもり時々雨
3	変化は認められない。	くもり時々雨
24	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ39cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの内部が柔らかくなってきた。	雨
48	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ38cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの内部がゾル状になり, 外袋表面にぬめりがでてきた。	くもり
72	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ36cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの内部がゾル状になり, 外袋表面にぬめりが強くなった。	晴れ
96	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ33cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの内部がゾル状になり, 外袋表面にぬめりが強くなり, 形状も小さくなった。試験体C及び試験体A1段及び2段目のゲル水のう形状変化は認められない。	晴れ
120	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ30cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの形状は, 観察開始時と比較して厚さが1/3程度になり, 外袋表面は紫外線の暴露により分解されたゲルが染み出し, 全体的にぬめりが強くなっている。また, 試験体C及び試験体A1段及び2段目のゲル水のう形状変化は認められない。	くもりのち雨
150	吸水性ゲル水のう3段積みの高さ26cm, 漏水状況は, 変わらず。試験体Aの3段目のゲル水のうの形状は, 観察開始時と比較して厚さが1/4程度になり, 外袋表面は紫外線の暴露により分解されたゲルが染み出し, 全体的にぬめりが強くなっている。また, 試験体C及び試験体A1段及び2段目のゲル水のうの顕著な形状変化は認められない。	くもり
170	150時間経過時の状況と変化なし。 ——観測終了——	くもりのち雨

漏水等による浸水は1～2日程度であることから, 本実験により確認された170時間の工法耐久性能を以てすれば, 吸水性ゲル水のうによる止水工法は, 都市型水災現場において十分な効果を発揮することが可能である。

また, 紫外線の影響を強く受けるのは水に漬かっていない最上段の水のうであり, 1及び2段目の水のうは水に漬かっているためゲル水のうの表面が紫外線の影響を受

けてゲルの架橋構造が分解しても内部のゲルが継続して吸水状態にあるため, 形状変化が少なかったものと推定される。次に, 試験体AとCの形状変化を比較すると試験体Aは, 紫外線の影響を受けやすく, 48時間経過時から内部のゲルはゾル状に変化しはじめ, この時点から急激な変化をはじめている。

一方, 試験体Cは, ポリエチレンテレフタレート繊維にゲル化剤を混入させていることから, ゲルの架橋構造が紫外線により分解されても繊維の膨張したものが残っているため形状変化が少なかったものと推定される。

7. 消火水の誘導排水工法等効果確認実験

(1) 本実験の目的

本実験は, 吸水性ゲル水のうを火災現場において消火水の流出拡大防止及び誘導排水路設定による吸水・排水等の水損防止用資材として活用した場合の止水・誘導排水効果を確認することをねらいとして実施した。

(2) 実験方法

本実験は, 耐火造3/1階建の1・2階の一部で図8に示す部分に吸水性ゲル水のうを配置し, A室に550ℓ/minで2口放水して, 流出水を1階の屋外へ誘導排水した。

(図8参照)

(3) 試験体

本実験に用いた試験体は, 次に掲げるものとした。

- ① 図8の①・③・④・⑨の部分は, 試験体Bを用いた。
- ② 図8の②・⑥・⑧の部分は, 試験体Cを用いた。
- ③ 図8の⑤・⑦の部分は, 試験体Cの比重調節材を除いたもの(以下「試験体D」という。)を用いた。

(4) 確認事項

- ① 各試験体の吸水による堰止め形成状況
- ② 消火水の吸水による誘導排水路の形成状況
- ③ 流出する消火水の止水及び誘導排水状況

(5) 測定項目

- ① 目視観測
- ② 写真記録
- ③ 映像記録

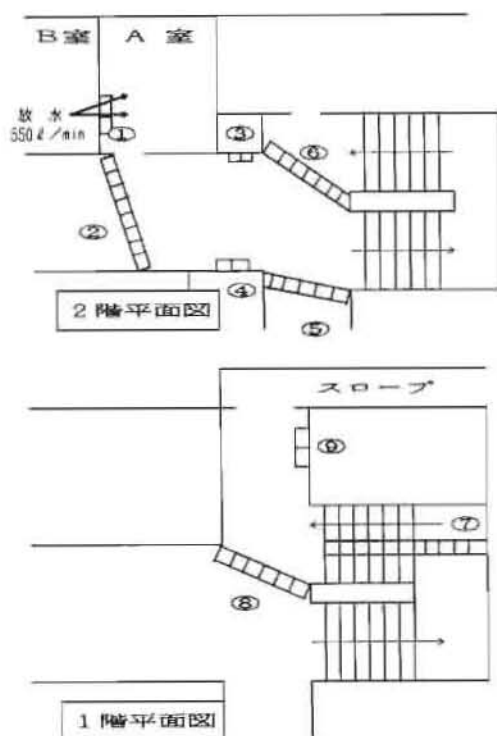


図8 消火水の誘導排水路設定工法実施図

(6) 実験結果及び考察

試験体別の状況は、次に示すとおりである。

① 試験体Bについて

本試験体は、吸水後の形状が柔らかくゲル水の相互の密着性に富んでいることから、図8の①・③・④・⑨の室の出入口の部分に用いたもので、この試験体の吸水状況としては、吸水性ゲル水のうに水が到達すると同時に袋内のゲル化剤が吸水を始め、袋間の接続部が密着し、漏水は認められず十分な止水効果が認められる。

この試験体Bの図8の①の場所における止水状況を示したものが写真25である。

(写真25参照)

② 試験体Cについて

試験体Cは、吸水後に形状が直方体になることから誘導排水路の設定用として、図8の②・⑥・⑧の廊下部分に配置したもの

である。

この試験体の吸水状況としては、当該ゲル水のうに水が到達すると初期の段階でゲル水の相互の接続部から漏水が認められた。

また、ゲル水のうは水の到達から1分経過時から膨張し、ゲル水の相互の隙間がなくなり、漏水が止まった。

この吸水による堰の形成状況は、当該試験体を用いた全ての場所で同様な結果となっている。

本試験体の接続部の漏水状況は、何れの場合も同様であることから図8の⑧の場所の状況を写真26に示す。(写真26参照)

③ 試験体Dについて

建物火災による消火水の処理は、水災現場の水流と異なり水圧及び水位とも低いことから、水に沈めるための比重調節材を挿入しなくても活用可能であるか否かを確認するため、当該誘導排水路の中で比較的水流の強い場所である図8の⑤と⑦の場所に配置して、効果を確認したものである。

この試験体の吸水状況としては、水が到達した初期の段階でゲル水のうが水流に押されて配置位置がずれ、水の相互の接続部に隙間が生じて漏水しているのが認められた。しかし、吸水開始から1分経過時になると吸水した水の重量でゲル水のうが床に密着し、堰を形成した。この時点になると、比重調節材のない当該試験体においても十分な止水効果があることが認められる。

この試験体Dと試験体Cの止水効果を比較したものが写真27である。

(写真27参照)

この写真から試験体Dは、初期の段階での漏水が認められるが、試験体Cは水の相互の接続部から若干漏水している程度であり、初期の段階での比重調節材の有無の差が顕著に現れている。

また、当該試験体を用いた図8の⑦の場所で中央部で仕切った理由としては、階段の手摺り部分が開放されている建物を想定して、開放部分からの流出を防止する効果を確認することを目的として実施したもの



写真25 試験体Bの止水状況



写真27 試験体D(左側)とCの漏水状況



写真26 試験体Cの止水状況



写真28 廊下を階段に向かって流れる消火水

である。

この場所での吸水状況としては、図8の⑤の場所と同様の結果となっている。

- ④ 廊下・階段部分の誘導排水状況について
2階のA室から階段に至る廊下の排水状況を見ると、写真28に示すとおりである。

(写真28参照)

廊下に配置したゲル水のうはA室から流出する水を吸って膨張し、排水路の堰として十分な形状と止水効果が確認され、A室から流出した水は、排水路を階段へ向って流れた。

また、階段の排水状況としてはゲル水のうの堰によって区分され、ゲル水のうを配置した効果が認められる。

この階段部分では、ゲル水のうを階段と平行に置いた場合と、縦に置いた場合の二通りの排水状況を確認したもので、ゲル水



写真29 階段の排水状況

のうを縦に置いた場合の排水状況を写真29に示す。(写真29参照)

- (7) 本実験のまとめ

これまで3種類の試験体を用いて、消火水の誘導排水工法等の効果を確認してきたが、この実験における効果等から確認された事項は、次のとおりである。

- ① 試験体Bは、吸水による堰の形成が速く、かつ、ゲル水の相互の密着性が高いことから水の接続部からの漏水が少ない。
- ② 試験体Cは、試験体Bと比較して堰の形成が若干遅いが、形状が長方形になることから長スパンの排水路の形成に適している。
- ③ 試験体B及びCは、袋内に比重調節材が挿入されているため、水流によるゲル水の移動は認められない。
- ④ 試験体Dは初期の段階で水流によって移動し易いが、吸水後は十分な止水効果がある。
- ⑤ ゲル水の相互の隙間からの漏水を防止するためには、水の長辺方向を長くすれば効果的である。

8. 廃棄処理方法確認実験

(1) 本実験の目的

本実験は、使用後の吸水性ゲル水の廃棄する場合の簡易な処理方法及び自然太陽光（紫外線）照射・塩水散布によるゲルの離水状況を把握することをわらいとして実施した。

(2) 実験方法

吸水後の吸水性ゲル水を用いて、吸水性ゲルの離水処理状況を確認するため、次に掲げる処理方法を比較した。

- ① 吸水後の吸水性ゲル水をそのままの状態、自然太陽光（紫外線）に曝露し、24時間毎に重量測定し、離水状況を確認した。
- ② 吸水後の吸水性ゲル水に粒状の塩化カルシウムを散布し、自然太陽光（紫外線）に曝露し、24時間毎に重量測定して、離水状況を確認した。
- ③ 計測の終了は、①又は②の試験体の水分減少率が20%以下になった時点とした。

(3) 測定項目

- ① 重量変化測定
- ② 写真記録
- ③ 目視観測

(4) 測定結果及び考察

時間経過に伴う各試験体の重量変化測定結果は、表11及び図9に示すとおりである。

(表11及び図9参照)

表11 重量測定結果

経過時間	試験体A		試験体B		試験体C	
	未処理	塩化カルシウム処理	未処理	塩化カルシウム処理	未処理	塩化カルシウム処理
0	22.9kg	22.9kg	21.8kg	22.8kg	22.8kg	23.9kg
24時間	13.9kg (61%)	18.4kg (45%)	13.9kg (17%)	12.9kg (17%)	18.3kg (80%)	14.8kg (62%)
48時間	7.8kg (34%)	5.9kg (26%)	10.9kg (50%)	9.9kg (43%)	18.0kg (79%)	12.7kg (53%)
72時間	6.6kg (29%)	5.1kg (22%)	9.4kg (43%)	8.1kg (37%)	16.4kg (72%)	11.0kg (48%)
96時間	4.4kg (19%)	4.4kg (19%)	7.4kg (34%)	5.9kg (26%)	12.2kg (53%)	8.0kg (34%)
120時間	3.0kg (13%)	3.1kg (14%)	4.4kg (20%)	3.4kg (15%)	12.2kg (53%)	8.6kg (36%)
144時間	計測終了		計測終了		10.0kg (44%)	6.4kg (27%)
168時間	計測終了		計測終了		9.4kg (41%)	5.4kg (23%)

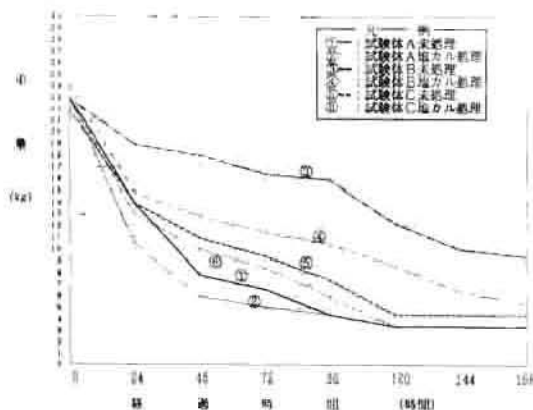


図9 重量変化

① 試験体Aについて

本試験体は、24時間経過時で未処理と塩化カルシウム処理を施したものとの差が生じているが、96時間経過時には何れも同様な減少率となり、120時間経過時には吸水前のゲル水の重量とほぼ同様な値になった。

この測定結果から本試験体の廃棄処理方法について検討すると、塩化カルシウム処

理を施さなくても自然太陽光曝露で十分対応が可能であるといえる。(写真30参照)

② 試験体Bについて

本試験体は、測定終了時まで未処理と塩化カルシウム処理を施したものと差が生じており、塩化カルシウム処理を施した効果が認められる。計測を終了する目安とした20%になった時点は何れも同じ120時間経過時であり、本試験体の廃棄処理時間を考えた場合、試験体Aと同様に塩化カルシウム処理を施さなくても自然太陽光曝露で十分対応が可能であるといえる。

③ 試験体Cについて

本試験体は、他の試験体と異なり、内部にポリエチレンテレフタレート繊維が挿入されており、紫外線の照射や塩化カルシウムによりゲルの架橋構造を破壊して離水させても、繊維がその水を含み水のう外に水を出しにくくしていることから減少が緩慢となっている。

しかし、24時間経過時から計測を終了した168時間経過時まで未処理と塩化カルシウム処理を施した差が、他の試験体に比べ顕著に現れている。

本測定結果から当該試験体の廃棄処理方法について検討すると、他の試験体と異なり、自然太陽光(紫外線)照射のみでは、十分な離水効果が得られず、塩化カルシウム等の電解質を持った物質の散布と併用することにより離水効果が促進される。(写真31参照)

(6) 本実験のまとめ

本実験において、確認された事項をまとめると、次のとおりである。

① 試験体Aは、天候が晴れの状態であれば塩化カルシウム等の処理を施さない状態でも5日間で吸水前の状態に戻る。

② 試験体Bも試験体Aと同様に、天候が晴れの状態であれば塩化カルシウム等の処理を施さない状態でも5日間で吸水前の状態に戻る。

③ 試験体Cは、自然太陽光(紫外線)曝露のみでは離水しにくいですが、塩化カルシウム等の電解質を持った物質の散布と併用すると離水状況が促進される。

④ 自然環境下に曝露して離水させる場合は、

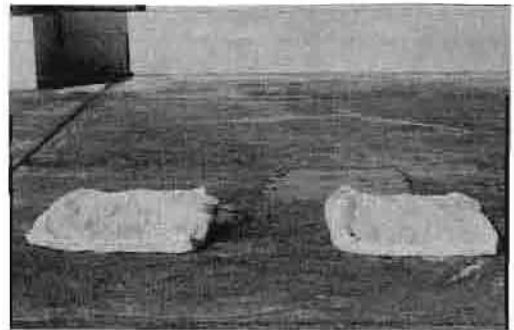


写真30 試験体Aの太陽光曝露状況
(左がCaCl₂処理)

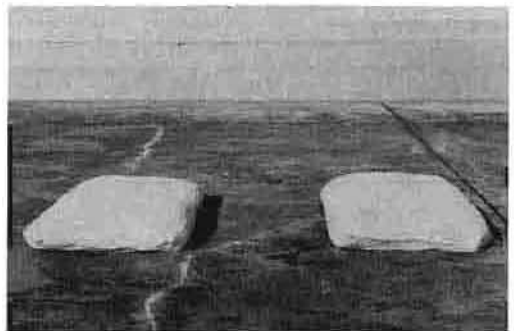


写真31 試験体Cの太陽光曝露状況
(左がCaCl₂処理)

降雨等によりゲル水のうが再吸水することによる遅延を考慮し、ゲルの架橋構造を破壊する効果を持つ塩化カルシウム等の電解質を持った物質の散布処理をすることが望ましい。

9. ま と め

これまで、実用可能な吸水性ゲル水のうを用いた各種実験結果等について述べてきたが、この一連の実験から確認された事項についてまとめると次のとおりである。

(1) 水防資器材としての活用について

① 吸水性ゲル水のうを積み上げるには、固く安定性のよい試験体Cが最適である。

② 各試験体とも、水道水においては吸水開始から概ね5分程度で積み上げ可能な、吸水重量及び膨脹形状を得ることができる。

③ 各試験体とも、吸水する水に塩分が含まれている場合、濃度1%未満であれば吸水時間は水道水と比較して遅くなるが、積み

上げ可能な吸水重量及び膨張形状を得ることができる。

- ④ その後の実験で、試験体Cはパイルを打ち込んで固定できることがわかった。

(写真32参照)



写真32 試験体Cにパイルを打込んだ状況

- ⑤ 試験体Cは、他に比べ落下衝撃に強く、人間の肩の高さ程度の落下衝撃に対する十分な強度を有しているが、通水性を高めるため薄い外袋を使用しているため、取扱いは丁寧に行う必要がある。
- ⑥ 土のうによる工法と比較した場合、工法実施においては少人数で、かつ、短時間で実施でき、止水効果も十分期待できる。
- ⑦ 耐久性能の面では、工法完成時から170時間経過しても水に浸かっていたら形状変化及び止水効果に問題は生じない。
- ⑧ 河川等の流れの速い場所での使用は適さないが、流れからやや離れた場所なら、十分効果が期待できる。
- (2) 消火水の誘導排水工法等への活用について
- ① 吸水前のゲル水のうを配置してから水を流すと、吸水初期の段階では水のう相互の密着性が悪いため、接合部から若干の漏水が見られるが、吸水開始から1分経過後には十分な止水効果があり、予め吸水させてから配置すれば、ほとんど漏水は見られない。
- また、その場合比重調節材は必要としない。
- ② 火災現場における流水は、都市型水災現場と比較して水位・水圧とも低いことから、当該ゲル水のうを用いた場合、消火水の流

出拡大防止に十分対応できる。

- ③ 試験体Bは、吸水による膨張が速く、かつ形が自在であり、また水のう相互の密着性も良いことから、室の入口・エレベーターシャフト等の堅て穴区画の出入口等の場所での使用に適している。
- ④ 試験体Cは、吸水後の形状が直方体になることから、長スパンの誘導排水路の形成に適している。
- (3) 廃棄処理について

- ① 試験体A及びBについては、天候が晴れの状態であれば未処理の状態でも曝露した場合、5日間で吸水前の状態に戻る。
- ② 試験体Cについては、自然太陽光（紫外線）曝露のみでは離水しにくいですが、塩化カルシウム等の電解質を持った物質の散布とを併用すると離水状況が促進される。

なお、その後の実験で、塩化カルシウム水溶液を水のう内部に注入すると、より一層離水効果があることがわかった。

- ③ 自然環境下に曝露して離水させる場合は、降雨等によりゲル水のうが再吸水することによる遅延を考慮し、ゲルの架橋構造を破壊する効果を持つ、塩化カルシウム等の電解質を持った物質の散布処理を併用することが望ましい。

10. おわりに

吸水性ゲル水のうの開発研究については、昭和63年4月から着手し、実用可能な吸水性ゲル水のうを完成させるまでに1年7ヶ月の期間を要したものであるが、この間、様々な形状の外袋や挿入するゲル化剤の量の検討と、当該ゲル水のうを水に沈めることの検討・改善を行い、効果的な3種類のゲル水のうの開発に成功したものである。そうして、この一連の実験を通じて都市型水災現場及び火災時の水損防止用資材として活用できうことが確認されたものである。

今後の開発・研究としては、ゲル化剤を使った新たな消防資器材を開発し、その活用方策について研究を進める予定である。

11. 謝 辞

- (1) 本実験の第6・消火水の誘導排水工法等効果

確認実験の実施にあたり、実験施設の提供及び
全面御支援を頂いた第四消防方面本部並びに荻
窪消防署の御協力を深く感謝の意を表す。

- (2) 本吸水性ゲル水のうの開発研究を行うにあたり、ゲル水のうの試作等について、技術協力及び資材提供をして頂いた繁和産業株式会社並びにユニチャーム株式会社の御協力を深く感謝の意を表す。