

## 1: はじめに

### 1.1 研究背景

沿岸部に建設される廃棄物海面処分場では、周辺海域への汚染を防ぐため、遮水機能が常時・異常時を問わず安定的に確保されている必要がある。しかし、外力作用時の遮水工の力学的挙動には不明な点が多く、その解明は喫緊の課題である。

海面処分場の遮水工には塩化ビニル(PVC)製遮水シートや衝撃緩衝用保護材が敷設され、護岸内部の管理型廃棄物の海域への流出を防止しているが、以下に示すさまざまな外力の作用により変形・損傷を受ける危険がある。

- ①遮水シートの自重
- ②海面処分場内外の水位差および波浪による圧力が遮水シートに及ぼす力
- ③基礎地盤や埋め立てられた廃棄物の沈下が遮水シートに及ぼす力
- ④捨石マウンド等の不陸に追従して遮水シートが変形する際に発生する力
- ⑤保護材・廃棄物投入時の衝撃が遮水シートに及ぼす力
- ⑥温度変化によって発生する遮水シート中の熱応力
- ⑦下地に含まれる角礫等の突起による集中力
- ⑧太陽光紫外線による劣化

二重遮水シート工法では、下地と遮水シートの間に下部保護マットが敷設されるのみであり、遮水シートの損傷を防止するためには下地（基礎地盤の表面）処理が重要となる。このため下地処理を十分に行えない場合、④捨石マウンド等の不陸に追従して遮水シートが変形する際に発生する力、あるいは、⑦下地に含まれる角礫等の突起による集中力が主要外力として遮水シートに作用し遮水シートを損傷させる危険性がある。

遮水シートの破れ難さを評価する試験方法には、碎石やピラミッド状の突起物を敷き並べた上に置かれた遮水シートに圧力をかけ、シートが破損する限界圧力を測定する耐圧試験と、遮水シートに貫入棒を貫入させ、その時の抵抗を測定する突き刺し抵抗試験がある。耐圧試験に関する既往の研究は、森ら(1996)、三木・林(1991)によってなされており、突き刺し抵抗試験については、森ら(1995)、押方・花嶋(1996)、宮地ら(1998, 2002)、今泉ら(2001)が研究結果を報告している。これらの研究成果により、いくつかの種類の遮水シートの破断強度が実験的に求められ、また、地盤条件の影響や保護マットとの重ね合わせの効果に関する考察がなされている。

### 1.2 本研究の位置づけ

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究である「ゴミゼロ型・資源循環型技術に関する研究」（平成13～17年度）では、管理型廃棄物護岸の耐震設計法の確立を目指し、「極大地震動を考慮した管理型廃棄物護岸の性能設計に関する研究」（平成14～17年度；以下「特別研究」と記述する）を行っている。極大地震動が管理型廃棄物護岸に作用した場合、護岸に大変形が発生し、管理型廃棄物・保有水を遮断している遮水シートや保護マット等を用いた遮水工が破損・損傷する可能性がある。遮水工損傷による管理型廃棄物および侵出水の海域流出を防ぐためには、地震動による遮水工の損傷有無（遮水機能の健全性）について十分な検討をすることが必要であるが、現状において遮水機能の健全性を検討する手法は存在しない。そこで、特別研究では管理型廃棄物護岸が極大地震動により被災変形した際に、護岸変形が遮水機能に及ぼす影響について検討し、その結果を踏まえて遮水機能の地震時健全性の評価・検討手法を開発する。

特別研究を遂行するにあたり、本研究ではまずその足がかりとして、遮水工に敷設されている遮水シートが定常的に受ける外力によってどのような変形作用を被るのか検討を行う。すなわち、遮水シートに作用する外力の中で、下地に含まれる角礫等の突き破り力に焦点をあて、角礫等の突起が遮水シートの変形破断挙動に及ぼす影響を検討する。

角礫等の突き破り力が遮水シートに及ぼす影響について、既往の研究では前節に示したとおり貫入棒を用いた突き刺し抵抗試験と耐圧試験がある。遮水シートの突起物への抵抗性に関する既往の研究は破断強度の測定を中心とした実験的考察が主流であった。しかしながら、変形中における遮水シートのひずみ分布についてはこれまで有効な測定手段が存在せず、詳細な議論がなされていない。そのため、突起物の貫入による遮水シートの破断挙動については依然として不明な点が多く、総合的な研究が少ないのが現状である。さらにまた、耐圧試験に用いられる実験装置は多くが60 cm程度の円筒形セルであり、用いる碎石も粒径20～50 mm程度のサイズであるが、実際の廃棄物海面処分場における遮水シート敷設面にはより大きな不陸が存在するため、実験から得られる遮水シートの変形挙動が実際の敷設面の裏込不陸に追従する場合に適応できるかどうかについては疑問が残る。

### 1.3 目的

このような観点のもと、本研究では、以下に示す諸事項を目的とした実験を行う。

- ①突起物を用いた遮水シートの耐圧試験および突き刺

- し抵抗試験におけるひずみ分布の計測方法の確立
- ②突起物貫入における遮水シートの破断挙動の解明
- ③不陸をともなう裏込地盤の突起形状と不陸に追従する遮水シートの変形挙動との関連性の把握
- ④実際の現場に近い裏込地盤上に敷設した遮水シートの変形挙動の解明

上記①および②の目的を達成するため、本研究では、突起物による遮水シートの突き刺し抵抗試験、および裏込石1個を用いた遮水シートの耐圧試験を行う。また、上記③および④の目的を達成するため、複数個の裏込石を用いた遮水シートの耐圧試験、および大型土槽を用いた遮水シートの耐圧試験を行う。

なお、本論文は特別研究の初年度に行われた成果の一部を資料としてまとめたものである。

#### 1.4 本資料の構成

本資料の構成を以下に示す。

2章では、本研究において実施する実験全体の概要および使用する遮水シート、不織布、コーン、裏込石等の実験材料について、詳細を述べる。

3章では、突起物による遮水シートの突き刺し抵抗試験について実験の概要および結果を示し、突起物の先端形状が遮水シートの変形破断挙動に与える影響について考察する。突起物にはステンレス製コーンと裏込石を用いる。

4章では、裏込石1個を用いた遮水シートの耐圧試験について実験の概要および結果を示し、単体の突起物に追従した場合の遮水シートの変形破断挙動について検討する。

5章では、複数個の裏込石を用いた遮水シートの耐圧試験について実験の概要および結果を示し、複数個の裏込石からなる突起物集合体が発する遮水シートの変形特性に与える影響について述べる。

6章では、大型土槽を用いた遮水シートの耐圧試験について実験の概要および結果を示し、実際の施工現場に近い状態においてシート敷設面の不陸形状が発する遮水シートの変形特性に与える影響を評価する。

7章は本研究から得られる結論であり、8章で今後の研究方策や問題点の抽出、成果の活用法についてまとめる。

## 2. 実験全体の概要

### 2.1 実験概要

各実験の概要は以下の通りである。

- ①突起物による遮水シートの突き刺し抵抗試験：

端部を固定した遮水シートにコーンおよび裏込石1個を静的に貫入させることにより、コーンおよび裏込石の突起状態が発する遮水シートの変形に与える影響について把握を行う実験。

- ②裏込石1個を用いた遮水シートの耐圧試験：

裏込石上に設置した遮水シートに水压を載荷することにより、裏込石の突起状態が発する遮水シートの変形に与える影響について把握を行う実験。

- ③複数個の裏込石を用いた遮水シートの耐圧試験：

容器内に敷き並べられた裏込石上に設置した遮水シートに水压を載荷することにより、裏込石の不陸形状が発する遮水シートの変形に与える影響について把握を行う実験。

- ④大型土槽を用いた遮水シートの耐圧試験：

実際の廃棄物海面処分場に近い状態で発生する遮水シートの変形特性を解明するため、裏込法面上に遮水シートを敷設し、その上部の埋立土に静的な力を加えることにより裏込の不陸状態が発する遮水シートの変形に与える影響について把握を行う実験。

### 2.2 実験材料

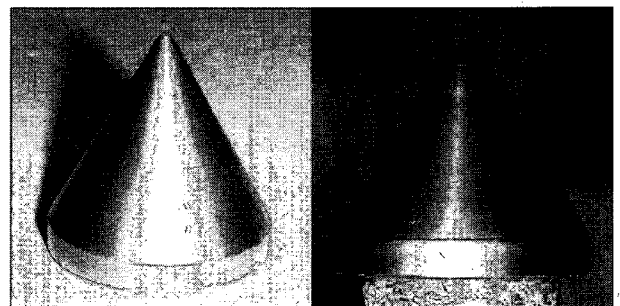
- (1) コーン

本研究で用いるコーンは以下の2種類である。

コーン①：底面直径 60 mm、高さ 50.0 mm、先端曲率半径 (R) 2 mm.

コーン②：底面直径 80 mm、高さ 59.3 mm、先端曲率半径 (R) 10 mm.

実験に使用するコーンを写真-2.1に示す。



(a) コーン①

(b) コーン②

写真-2.1 コーン

- (2) 裏込石

本研究で使用する裏込石は福島県いわき市小名浜港で実際に使用されているものであり、粒径が100 mm前後のものを中心に選定した。裏込石の諸元を表-2.1に示す。なお、3章および4章の実験で使用する裏込石の簡易形状計測および選定方法を付録Aに示す。選定の結果、実

表-2.1 裏込石諸元

産地	福島県いわき市西小川産
種類	花崗岩
重量	30~200 g/個
見掛け比重	2.6
圧縮強度	110 N/mm <sup>2</sup>

験には先端の尖った角形裏込石および先端が丸い形状を有する丸形裏込石をそれぞれ2個、計4個の裏込石を使用する。便宜上、本論文中ではこれらの裏込石を‘角形①’‘角形②’‘丸形①’‘丸形②’と記す。これらの裏込石の写真を付録Cに示す。

(3) 遮水シート

遮水シートは、廃棄物海面処分場遮水材として施工事例のある塩化ビニルシート(PVC)とした。なお遮水シートの厚さは1.5 mmと3 mmの2種類とした。

(4) 保護材

保護材には、廃棄物海面処分場の既存の事例において比較的多く用いられている短繊維不織布を使用する。なお不織布の厚さは5 mmとした。

3. 突起物による遮水シートの突き刺し抵抗試験

3.1 実験装置および実験材料

実験装置は、遮水シートを固定するための治具およびその治具を支えるための架台、突起物を固定させるための治具で構成されており、それらの治具は万能試験機に固定されている(写真-3.1)。実験の概念図を図-D.1(付録D)に示す。

遮水シートは一辺200 mmの正方形になるように切断し、ひずみ測定のための線を引く。すなわち、円を扇形に16等分割するように直線を8本引き、さらに円を輪切りに5分割するように円を4本引く。そして計測線の交点には接着剤をつけて小さな突起を設ける。遮水シートのひずみ計測方法は、実験前後において計測線の線分の長さを計測し、ひずみに換算することにより行う。遮水シートの写真を写真-3.2に示す。ひずみ線の詳細な寸法は図-D.2(付録D)に示す。なお、突起物には前章で記したコーンおよび裏込石を使用する。

3.2 実験方法

実験は以下の手順で行った。

- ① 遮水シートをボルトにより固定治具に設置する。

- ② 突起物をエポキシ系樹脂接着剤により固定治具に設置する。
- ③ 固定治具および変位計を万能試験機に設置する。
- ④ 万能試験機により、突起物を遮水シートの中央に貫入する。貫入速度は50 mm/minとする。
- ⑤ 遮水シートの損傷状態の確認を行う。
- ⑥ 実験ケースに応じて、自由樹脂および石膏で遮水シートの型取りを行うことにより遮水シートのひずみ計測を行う。
- ⑦ 片付けを行って終了。

なお、裏込石の固定治具への取り付け面形成のための切断方法を付録Bに、裏込石の形状計測方法を付録Cに示す。また、実験フローを図-3.1に示す。

手順⑥の型取りおよびひずみの計測は、以下のような手順で行われた。

- ① 約60℃の湯につけて柔らかくした自由樹脂を遮水シートの表面に張り付けて自然冷却させる(図-3.2(a))。
- ② 自然冷却後、固まった自由樹脂を遮水シートから取り外す。この時、自由樹脂の型の内側には遮水シート表面の赤い計測線および計測線の交点につけられた接着剤の突起による窪みが写し取られている。器状になった自由樹脂の型に石膏を流し込む(図-3.2(b))。
- ③ 固まった石膏を自由樹脂から取り外す。この時、石膏の表面には赤い計測線および計測線の交点の突起が写され、その線分の長さを測ることによりひずみを計算する(図-3.2(c))。

3.3 実験条件および実験ケース

実験パラメータは、突起物の形状、および貫入量の2つである。突起物の形状を変える(すなわちコーンの場合は先端曲率の異なる物を使用する、裏込石の場合は先端形状の異なる物を使用する)ことにより、突起物の尖り具合が遮水シートの破壊モード、ひずみ分布、コーンの貫入量、貫入荷重に与える影響について検討を行う。また、突起物の貫入量を制御することにより、遮水シートが破断するときの貫入量を調査するとともに、貫入量を破断時より2割ほど小さくした場合の遮水シートのひずみを測定する。なお、裏込石を用いた実験において突き破りに対する保護材の緩衝効果を検証するため、遮水シートの裏込石と接する側に短繊維不織布を挿入する。

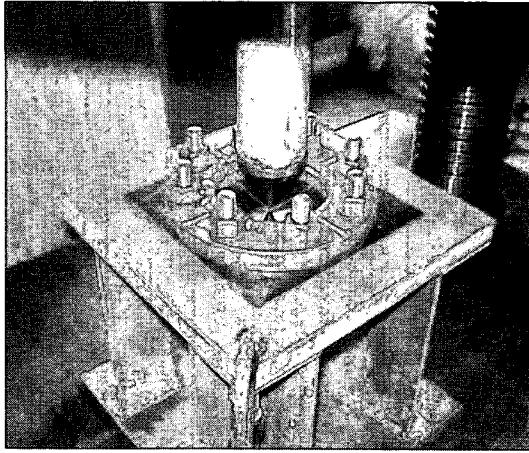


写真-3.1 実験装置

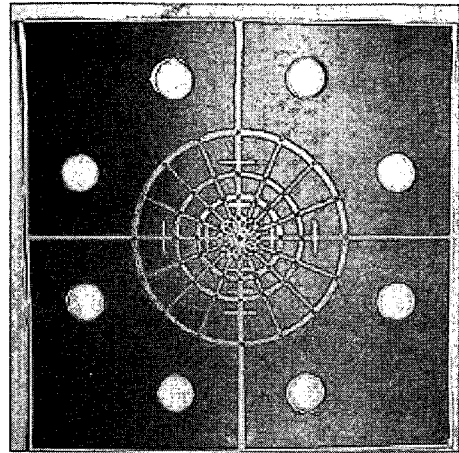


写真-3.2 遮水シート

表-3.1 コーンを用いた実験ケース

実験ケース	試験回数	コーンの形状	コーン貫入量	型取りの有無	備考
ケース 1-1	1	コーン①	遮水シートが損傷するまで	無	破壊モードの把握, 最大荷重・貫入量把握
ケース 1-2	1	コーン①	損傷前まで	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握
ケース 1-3	1	コーン②	遮水シートが損傷するまで	無	破壊モードの把握, 最大荷重・貫入量把握
ケース 1-4	1	コーン②	損傷前まで	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握

表-3.2 裏込石を用いた実験ケース

実験ケース	試験回数	裏込石の形状	裏込石貫入量	不織布の有無	型取りの有無	備考
ケース 2-1	2	角形①	遮水シートが損傷するまで	有	無	破壊モードの把握、最大荷重・貫入量把握、不織布の効果確認
ケース 2-2	1	角形①	遮水シートが損傷するまで	無	無	破壊モードの把握、大荷重・貫入量把握
ケース 2-3	2	角形①	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握
ケース 2-4	1	角形②	遮水シートが損傷するまで	有	無	破壊モードの把握、最大荷重・貫入量把握、不織布の効果確認
ケース 2-5	1	角形②	遮水シートが損傷するまで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・貫入量把握
ケース 2-6	1	角形②	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握
ケース 2-7	1	丸形①	遮水シートが損傷するまで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・貫入量把握
ケース 2-8	1	丸形①	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握
ケース 2-9	1	丸形②	遮水シートが損傷するまで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・貫入量把握
ケース 2-10	1	丸形②	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・貫入量・ひずみ分布の把握

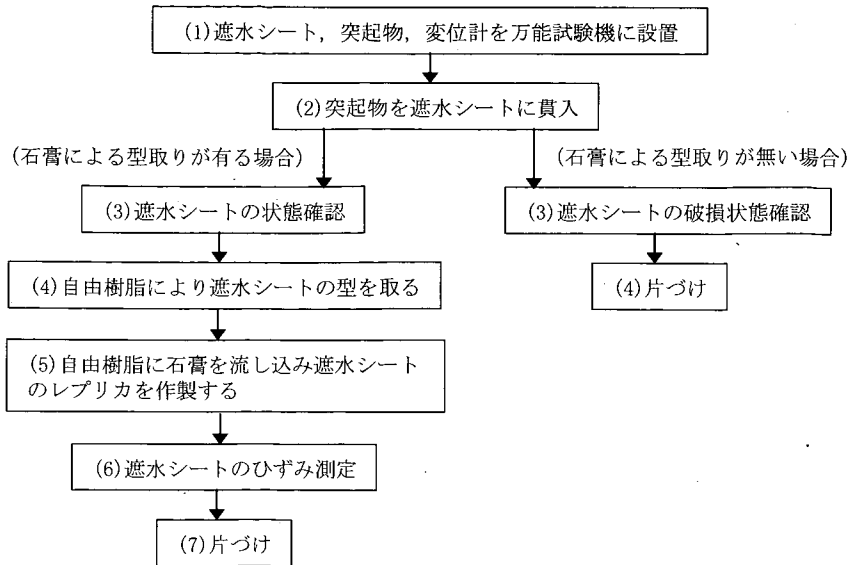


図-3.1 実験フロー

コーンを用いた実験ケースを表-3.1に、裏込石を用いた実験ケースを表-3.2に示す。実験回数はケース 2-1, ケース 2-3 は2回であり、その他のケースはすべて1回である。なお、使用した遮水シートの厚さは、コーンの場合が 1.5 mm, 裏込石の場合が 3 mm である。

### 3.4 実験結果

#### (1) コーンを用いた場合

コーン貫入後の遮水シートの破損例を写真-3.3に示す(その他の結果は写真-D.1~写真-D.3(付録D)に示す)。観察の結果、コーン貫入によりシートの中心付近にき裂が発生した。き裂の二次元形状は計測線の交わる中心付近で円弧および直線からなる‘Ω型’である。実験の観察結果から、遮水シートの破断は最初、突起先端部が接触するシート中心部の周囲に円弧状に発生し、その後端部から外側へき裂が直線的に進展したようである。円弧の径とコーンの先端曲率径がほぼ等しいことから、クラックはコーンの曲率部と側面の境界近傍に発生したと考えられる。

次に遮水シートにかかる荷重と貫入量の関係を図-3.3に示す。点線は遮水シートが破断するまで貫入を行った場合(ケース 1-1, 1-3)で、×印は遮水シートの破断点を示している。Rが2 mmと10 mmの場合を比較すると、破断荷重は3倍以上異なっている。また、実線は遮水シートが破断する約80%の貫入量で試験を終了した場合(ケース 1-2, 1-4)で、●印の点でひずみの計測を行った。ひずみの計測は放射方向(全8方向)の計測線に沿って行われた。そのうちの一例を図-3.4に示す(その他

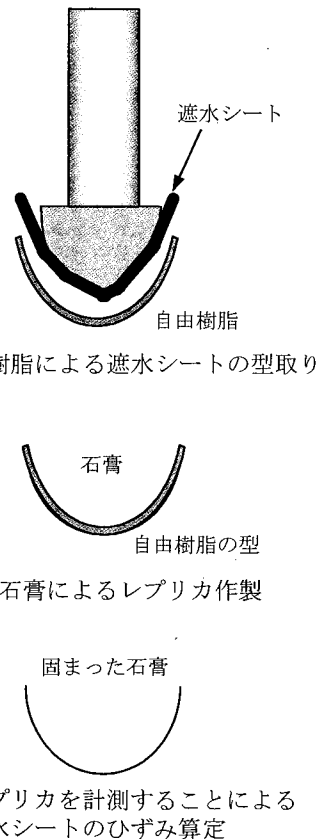
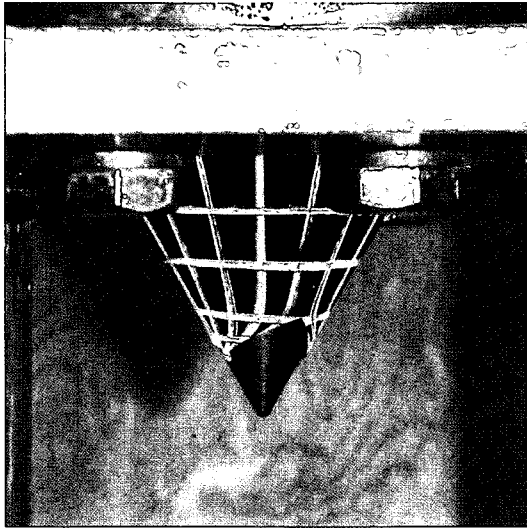


図-3.2 遮水シートのひずみ計測のための型取り

の結果は図-D.4~図-D.9(付録D)に示す)。図はコーン②(R=10 mm)を用いた場合の結果である。ひずみは円周方向、放射方向ともにコーン先端に向かって増大する傾向を示すが、最大値は中心から5~10 mm離れた点で

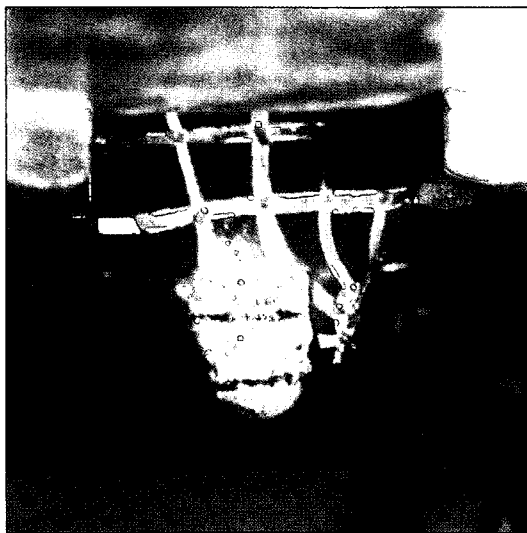


(a) 貫入後の破損状況

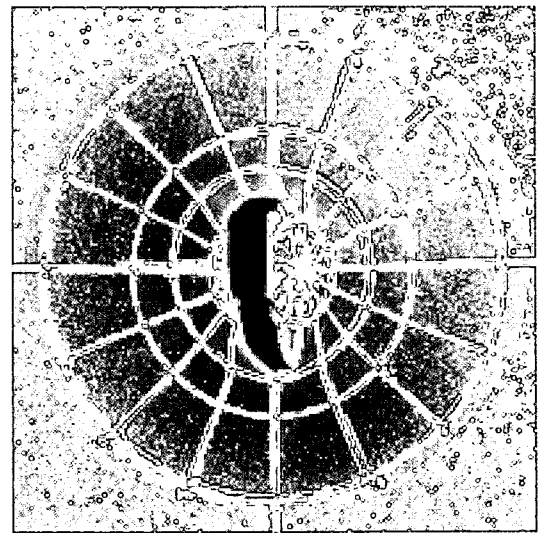


(b) 破損付近の拡大図

写真-3.3 コーン貫入後の写真 (ケース1-1)



(a) 貫入後の破損状況



(b) 破損付近の拡大図

写真-3.4 裏込石貫入後の写真 (ケース2-5)

あった。また、それらの値は円周方向に比べて放射方向の方が全般的に大きく、このような傾向は他のすべての方向の計測結果でも同様であった。以上のひずみ計測結果と遮水シートの破断状況(写真-3.3)とを比較すると、遮水シートの円弧状の破断箇所は放射方向のひずみが最大となる部分とほぼ一致していることがわかり、局所的な大変形が破断につながったと考えられる。

(2) 裏込石を用いた場合

裏込石貫入後の遮水シートの破断例を写真-3.4に示す(その他の結果は写真-D.5~写真-D.15(付録D)に示す)。破断により発生したき裂は裏込石の突起先端が接触する

付近に円弧状に近い形で発生しており、コーン貫入による破断形状と類似している。

裏込石貫入により遮水シートにかかる荷重と裏込石貫入量の間を関-3.5に示す。角形と丸形裏込石の荷重曲線には明瞭な差異があり、遮水シートの破断荷重は角形の場合は4 kN、丸形の場合は10 kNであった。すなわち破断荷重が突起の先端形状に大きく依存することがわかる。

次に、角形①の裏込石を用いた場合の遮水シートのひずみ計測結果例を関-3.6に示す(その他の結果は関-D.10~関-D.24(付録D)に示す)。放射方向および円

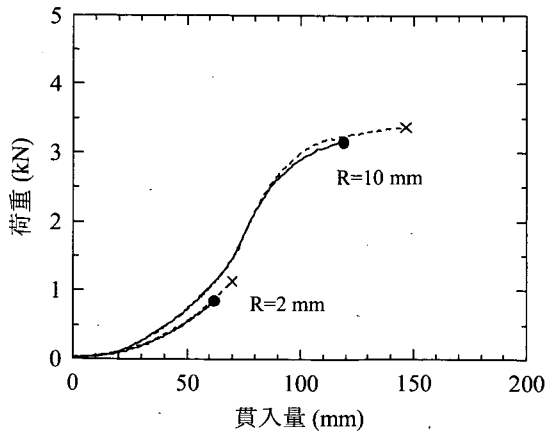


図-3.3 荷重と貫入量の関係

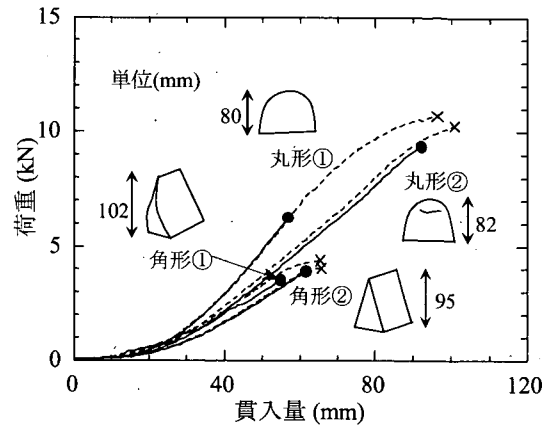


図-3.5 荷重と貫入量の関係

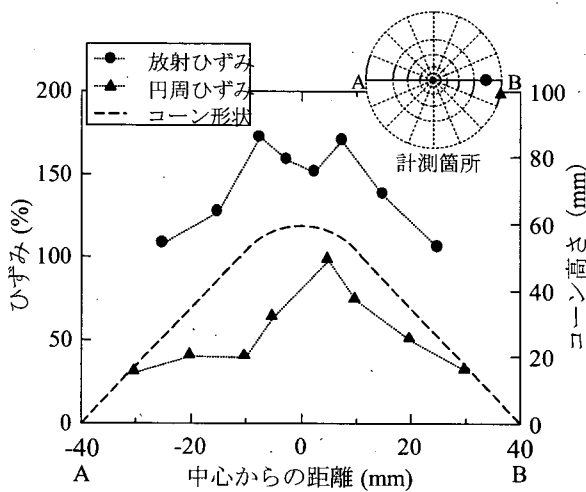


図-3.4 遮水シートのひずみ分布図

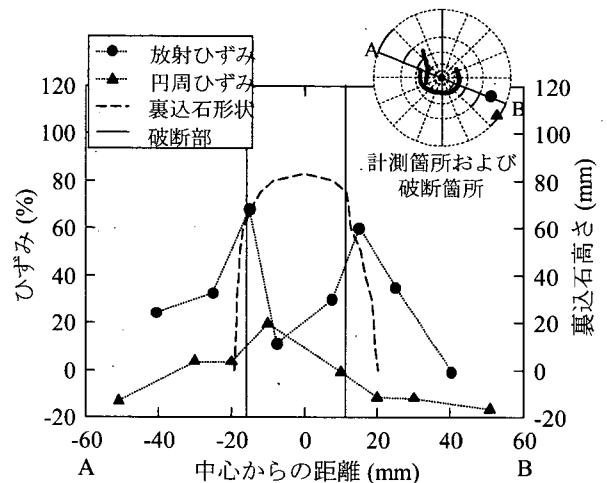


図-3.6 遮水シートのひずみ分布図 (角形①)

周方向のひずみは中心から少し離れた点で最大となっていることがわかる。遮水シートの破断箇所と放射方向の最大ひずみ箇所は一致しており、同様の結果が丸形裏込石の場合についても得られた。以上の結果はコーンを用いた試験と同様のものである。

突き破りに対する不織布の緩衝効果を検証した結果について図-3.7に示す。不織布を遮水シートと裏込石の間に挿入することにより、破断時の貫入量および荷重が増大し、特に破断荷重は2倍近く増大することがわかる。ここで、遮水シートの突き刺し抵抗に関する不織布の保護効果について、宮地ら (1998) は、遮水シート単体の場合と遮水シートと貫入棒の間に不織布を挟んだ構造における貫入抵抗値を測定しており、結果として使用したどの種類の遮水シートでも不織布の保護効果が大きいことを示している。本研究結果は宮地ら (1998) の測定結果と一致するものであり、不織布の保護効果が突き破り力に対して十分に発揮された結果といえる。

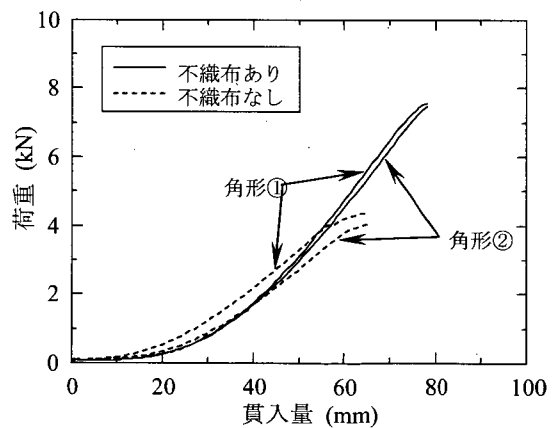


図-3.7 不織布の緩衝効果

### 3.5 遮水シートの破断モード評価

本試験で用いた PVC 遮水シートは、常温付近では応力-ひずみ曲線において明確な降伏点を示さない粘弾性材料である。そのため突起物による貫入を受けた場合、シートは弾性変形から塑性変形へと連続的に変化する。ここで、仮にシートの破断が限界応力を超えた瞬間に起こ

る、すなわち破断要因が‘応力支配’であるとした場合、破断は突起物の貫入によって発生する二軸方向の引張り応力が最大となる突起先端において発生し、さらにクラックは直線状に進展すると考えられる。しかしながら、本試験結果では遮水シートの破断は突起先端ではなく、しかもクラック形状は円弧状であった。さらに最大ひずみが発生した箇所と破断部が一致したことを考慮すると、遮水シートの破断は限界ひずみを越えた瞬間に起こったと考えられ、破断要因は‘ひずみ支配’であるということが出来る。ただし、遮水シートは粘弾性物質であるため、破断には周辺温度やひずみ速度の影響が大きく寄与すると考えられる。したがってより詳細な議論をするためには、破断プロセスに対する温度およびひずみ速度の依存性を考慮する必要があるが、それは今後の検討課題である。また、コーン貫入試験と裏込石貫入試験において、それぞれ異なる厚さの遮水シートを使用したため、両者の荷重やひずみの値を直接比較することができなかった。今後数値解析を行う際には、シート厚さがこれらの値に与える影響について考慮する必要がある。

#### 4. 裏込石1個を用いた遮水シートの耐圧試験

##### 4.1 実験装置および実験材料

実験装置は、図-4.1のような内径190.7 mmの円筒状の鉄製セルである。セルは上部と下部に分離させることができる。上部セルは水圧による荷重が可能であり、下部セルは裏込石を設置する台座となっている。裏込石に作用する荷重は下部セルに設置されるロードセルにより測定し、水圧の荷重は上部セルにつながる水圧ポンプにより行う。また上部セルには石膏・水注入口および水圧荷重用注水口を設けており、さらに水圧計を設置して荷重水圧の測定を行う。実験装置の写真を写真-E.1（付録E）に示す。

遮水シートは一辺305 mmの正方形になるように切断し、写真-4.1のように遮水シートにひずみ測定のための線を引く。線は円を扇形に16等分割するように描き、更に円を輪切りに7分割するように描き、それらの交点を計測点とする。遮水シートのひずみ計測方法は、実験前後において計測点間の長さを計測しひずみに換算することにより行う。ひずみ計測線の詳細な寸法は図-E.1（付録E）に示す。

不織布は厚さ5 mmの短繊維不織布を用い、遮水シートと同様に一辺305 mmの正方形になるように切断した。

実験に用いる裏込石は、前章の突起物による遮水シートの突き刺し抵抗試験で使用した花崗岩を用いる。

##### 4.2 実験方法

実験は以下の手順で行った。

- ① 裏込石をエポキシ系樹脂接着剤により固定治具に設置する。
- ② 下部セルに架台を設置し、その上にロードセル、裏込石の順で設置する。
- ③ 嵩上げ用治具を下部セルに設置する。
- ④ 遮水シートを嵩上げ治具および裏込石の上に設置する。このとき裏込石の頂点が遮水シートの中央で接触するように設置する。また実験ケースに応じて遮水シートと裏込石の間に不織布を設置する。
- ⑤ 上部セルを遮水シートの上に設置し、水漏れのないように上部セルと下部セルのフランジ同士をボルトで締め付ける。
- ⑥ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、注水口から石膏、水の順で注入する。
- ⑥' 遮水シートを損傷させるケースでは、石膏は注入せず水のみ注入する。
- ⑦ 注水後、容器内に空気が残らないようにエア抜きを十分に行う。
- ⑧ 水圧ポンプにより手動で水圧荷重を行う。なお荷重速

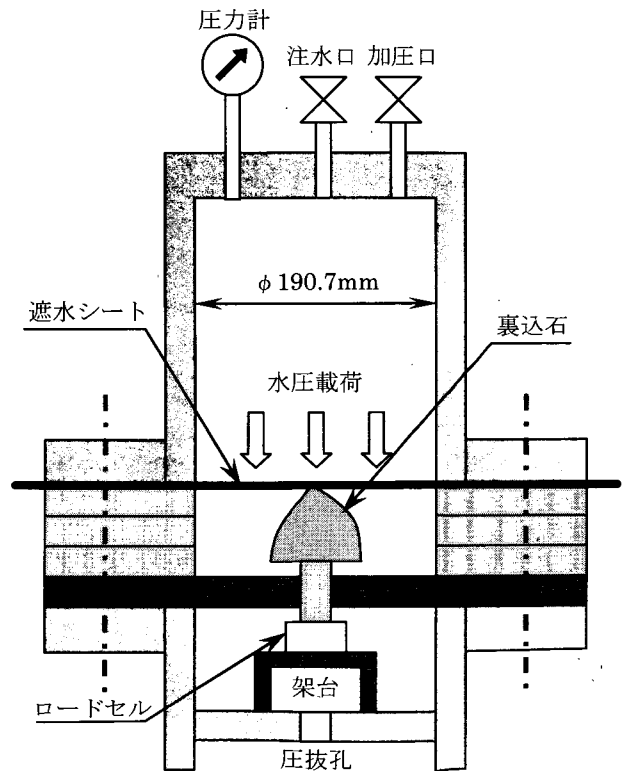


図-4.1 実験概要図



度は 50 kPa/min とした。

- ⑨ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、所定の水圧まで載荷し、その後石膏が固まるまで待つ。
- ⑨' 遮水シートを損傷させるケースでは、遮水シートが損傷するまで載荷を行う。
- ⑩ 片付けを行って終了。
- ⑪ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、実験後、固まった石膏の表面に写った計測線の長さを測定することにより遮水シートのひずみを算定する。実験フローを図-4.2 に示す。

### 4.3 実験条件および実験ケース

実験パラメータは、次に示す 4 項目である。

- ・裏込石の形状
- ・遮水シートの厚さ
- ・最大載荷水圧
- ・不織布の有無

異なる形状の裏込石を用いることにより、裏込石の尖り具合が遮水シートの破壊モード、ひずみ分布、載荷水圧、裏込石に作用する荷重に及ぼす影響を把握する。遮水シートの厚さについても同様に、厚さを変更することで遮水シートの破壊モード、最大載荷水圧、裏込石に作用する荷重がどのように変化するか検討する。最大載荷水圧については、遮水シートが破断するときの載荷水圧を把握するとともに、最大載荷水圧を破断時より 1 割ほど小さくした場合の遮水シートのひずみを測定することを目的とする。不織布の有無については、不織布が有る場合と無い場合における遮水シートの破壊モード、最大載荷水圧、裏込石に作用する荷重の違いを検討することを目的とする。

実験ケースを表-4.1 に示す。

### 4.4 実験結果

#### (1) 遮水シートの破断状況

水圧載荷後の遮水シートの損傷の様子の一例を写真-4.2 に示す。その他の写真は写真-E.2 (付録 E) に示す。損傷はすべて、引き裂きによるとみられるき裂である。ほとんどのき裂は長さ 1 cm 未満のものであるが、中には十数センチにおよぶ長いき裂も見られる。どちらのき裂もシートの中心（すなわち裏込石の突起先端が接触する箇所）から 1 cm 以上離れた箇所が発生しており、前章で示した突起物の突き刺し抵抗試験でのシートの破断状況と類似する結果となった。

#### (2) 実験時の荷重および水圧測定結果

裏込石に作用する荷重、および水圧の計測結果を表-4.2

に示す。※印のついた水圧は、水圧計の故障により計測が行えなかったため、最大載荷時の水圧ポンプのダイヤルゲージの読み値を示している。

#### (3) 遮水シートの厚さが破断に及ぼす影響

厚さが 1.5 mm と 3 mm の遮水シートを用いた時の荷重と水圧の関係を図-4.3 に示す。角形裏込石①の場合、3 mm シート（ケース 3-2）の破断荷重は 1.5 mm シート（ケース 3-4）の場合の 1.2 倍であった。また、角形裏込石②の場合、3 mm シート（ケース 3-7）の破断荷重は 1.5 mm シート（ケース 3-9）の場合の 1.5 倍であった。最大水圧についても同様に、1.5 mm より 3 mm シートの方がより大きな値を示した。ただしケース 3-7 の水圧値はダイヤルゲージの読み値であるため、ケース 3-9 と値の比較はできない。以上の結果から、各値の絶対値は裏込石の違いに多少依存するが、遮水シートの突き破り抵抗にはシートの厚さが関与し、厚さが大きいほどシートの突き破り抵抗性は増加することがわかる。

#### (4) 不織布の有無が遮水シートの破断に及ぼす影響

ケース 3-1 と 3-2、およびケース 3-6 と 3-7 を比較した結果を図-4.4 に示す。また、実験後の不織布の様子を写真-E.3 (付録 E) に示す。角形裏込石①の場合、不織

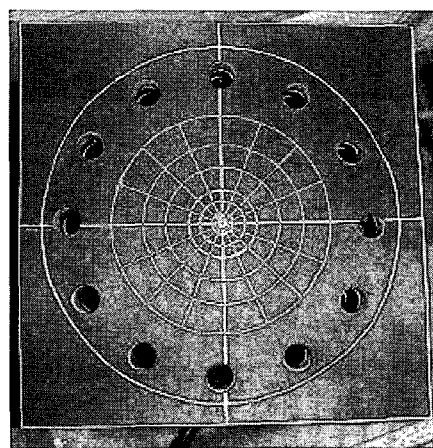


写真-4.1 遮水シート

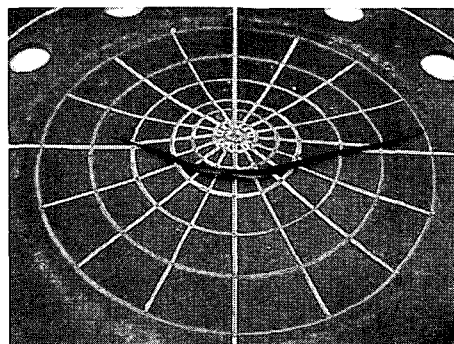


写真-4.2 実験後の遮水シート (ケース3-5)

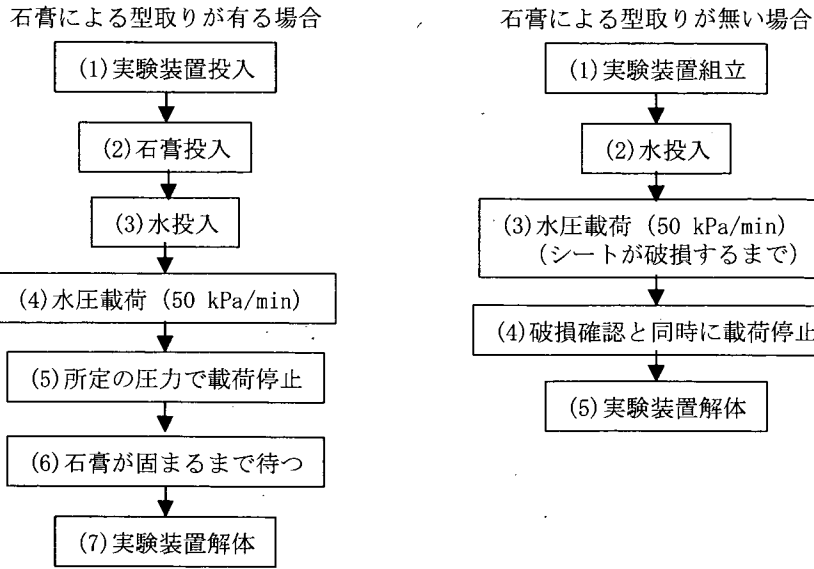


図-4.2 実験フロー

表-4.1 実験ケース

実験ケース	裏込石の形状	シートの厚さ	最大载荷水圧	不織布の有無	型取りの有無	備考
ケース 3-1	角形①	3mm	損傷まで	有	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握、不織布の効果確認
ケース 3-2	角形①	3mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握
ケース 3-3	角形①	3mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-4	角形①	1.5mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握
ケース 3-5	角形①	1.5mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-6	角形②	3mm	損傷まで	有	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握、不織布の効果確認
ケース 3-7	角形②	3mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握
ケース 3-8	角形②	3mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-9	角形②	1.5mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大荷重・载荷圧力把握
ケース 3-10	角形②	1.5mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-11	丸形①	3mm	ケース3-3と同じ	無	有	荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-12	丸形①	1.5mm	ケース3-5と同じ	無	有	荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-13	丸形②	3mm	ケース3-3と同じ	無	有	荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 3-14	丸形②	1.5mm	ケース3-5と同じ	無	有	荷重・载荷圧力・ひずみ分布の把握

表-4.2 水圧計測結果

ケース	最大荷重 (kN)	水圧 (MPa) (最大載荷時)
3-1	6.6	0.8*
3-2	3.7	0.46
3-3	3.2	0.41
3-4	3.1	0.36
3-5	2.7	0.30
3-6	6.7	0.9*
3-7	4.8	0.6*
3-8	3.9	0.51
3-9	3.7	0.38
3-10	2.8	0.30
3-11	3.1	0.40
3-12	3.4	0.30
3-13	3.4	0.40
3-14	3.0	0.29

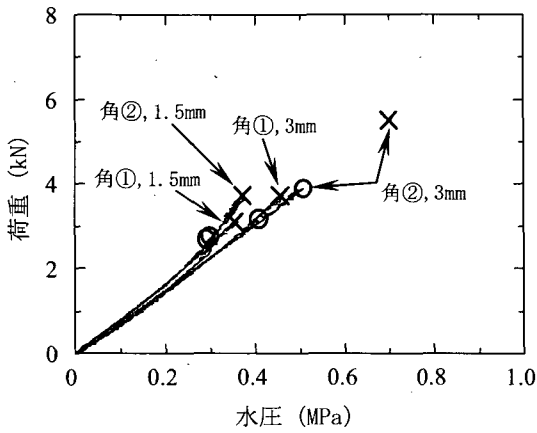


図-4.3 角形裏込石における水圧-荷重関係

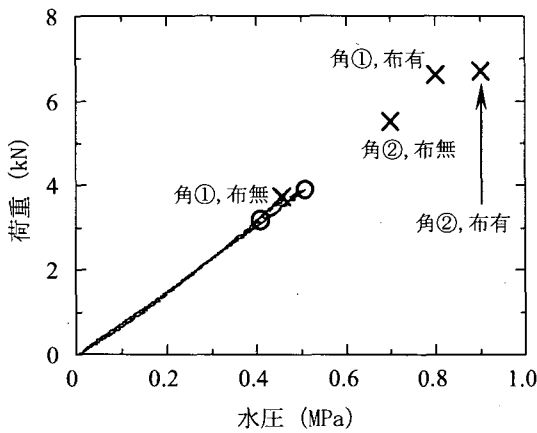


図-4.4 角形裏込石における水圧-荷重関係

布有り (ケース 3-1) の破断荷重は不織布が無い場合 (ケース 3-2) の 1.8 倍であり, 角形裏込石②の場合, 不織布有り (ケース 3-6) の破断荷重は不織布が無い場合 (ケース 3-7) の 1.2 倍であった。一方水圧に関しては, 角形裏込石①を用いたケース 3-1 の値は水圧ポンプのダイ

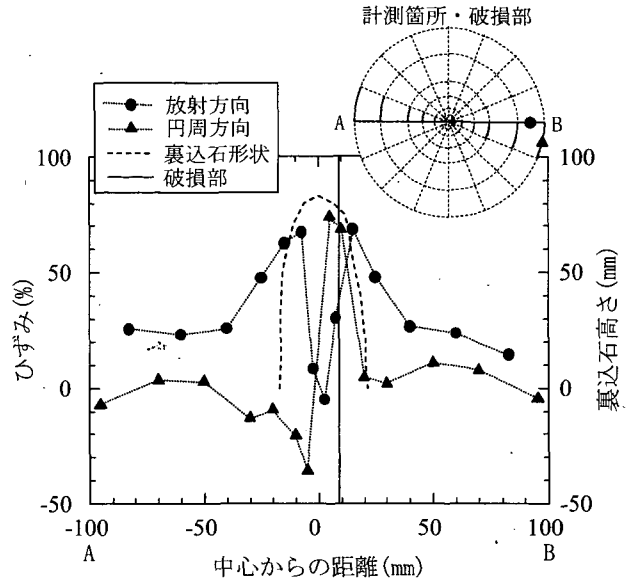


図-4.5 ひずみ分布 (ケース3-3)

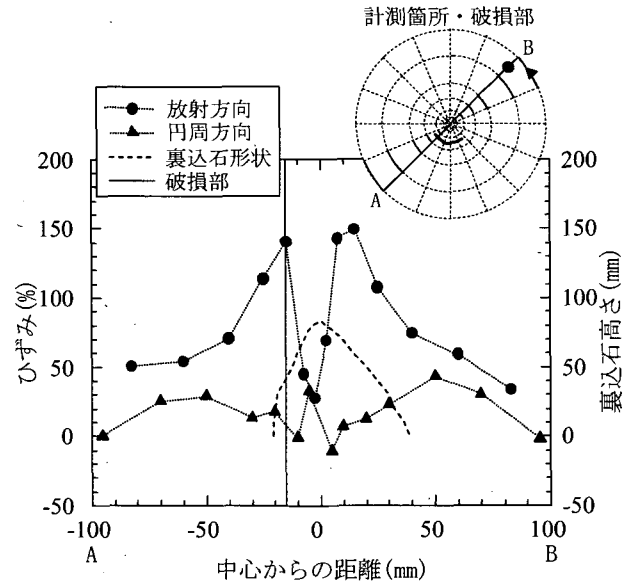


図-4.6 ひずみ分布 (ケース3-5)

ヤルゲージの読み値であるため, ケース 3-2 との値の比較はできない。一方, 角形裏込石②を用いたケース 3-6 と 3-7 はどちらもダイヤルゲージの読み値をプロットしているため値の比較ができる。その結果, 不織布がある場合の最大水圧は不織布が無い場合の 1.3 倍となった。このことから, 不織布を遮水シートと裏込石の間に挿入することで遮水シートの突き破り抵抗が相対的に増加することがわかる。

(5) 遮水シートのひずみ分布

角形裏込石①を用いた場合の 3 mm (ケース 3-3) および 1.5 mm 厚 (ケース 3-5) の遮水シートに発生するひずみ分布の測定例をそれぞれ図-4.5, 図-4.6 に示す。型取

りした石膏は写真-E.4 (付録 E) のようである。他の裏込石を用いた場合のひずみ分布については図-E.3~図-E.20 (付録 E) に示す。ケース 3-3 のひずみ測定時の水圧は 0.41 MPa であり、この値は破断時水圧 (ケース 3-2) である 0.46 MPa の 90% に相当する。一方ケース 3-5 のひずみ測定時の水圧は 0.30 MPa であり、この値は破断時水圧 (ケース 3-4) である 0.36 MPa の 80% に相当する。放射方向および円周方向の最大ひずみは、突起先端が接触するシート中心から 10 mm 以上離れた点において発生しており、さらにシートの破断箇所と最大ひずみの発生箇所は一致している。これらの傾向は前章の突き刺し抵抗試験でのひずみ分布測定結果と一致する。

以上の結果より、1 個の裏込石による耐圧試験で生じる遮水シートの破断プロセスは、突起先端の周囲で発生する局所的な大変形によってシートが塑性変形を起し、変形が限界ひずみに至った瞬間に破断が生じたと考えるのが妥当である。

## 5. 複数個の裏込石を用いた遮水シートの耐圧試験

### 5.1 実験装置および実験材料

実験装置は、図-5.1 のような内径 283.7 mm の円筒状の鉄製セルである。セルは上部と下部に分離させることが可能である。上部セルについては水圧による荷重が可能となっており、下部セルについては裏込石を敷き並べるための容器となっている。水圧の荷重は水圧ポンプにより行った。また上部セルには石膏・水注入口および水圧荷重用注水口を設けており、さらに水圧計を設置して荷重水圧の測定を行う。実験風景を写真-F.1 (付録 F) に、実験装置の詳細な寸法を図-F.1 (付録 F) に示す。

遮水シートは厚さ 1.5 mm および 3 mm の PVC シートをを使用した。遮水シートは一辺 500 mm の正方形になるように切断し、図-F.2 (付録 F) のように遮水シートにひずみ測定のための線を引き、計測線は 1 cm および 2 cm ピッチでメッシュ状に描いた。遮水シートのひずみ計測方法は、実験前後において計測点間の長さを計測しひずみに換算することにより行った。

不織布は厚さ 5 mm の短繊維不織布を用い、遮水シートと同様に一辺 500 mm の正方形になるように切断した。

実験に用いる裏込石は、福島県いわき市西小川産の花崗岩のうち粒径が 100 mm 前後のものを選定した。

### 5.2 実験方法

実験は以下の手順で行った。

- ① 裏込石を容器下部セル内に投入する。
  - ② 裏込石敷設後、図-F.3 (付録 F) のような 2 cm ピッチメッシュの交点の位置における裏込の高さを変位計で計測し、裏込の不陸形状を把握する。
  - ③ 裏込石の上に遮水シートを設置する。このとき裏込石の頂点が遮水シートの中央で接触するように設置する。また実験ケースに応じて遮水シートの下面に不織布を設置する。
  - ④ 上部セルを遮水シートの上に設置し、水漏れのないように上部セルと下部セルのフランジ同士をボルトで締め付ける。
  - ⑤ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、注水口から石膏、水の順で注入する。
  - ⑤' 遮水シートを損傷させるケースでは、石膏は注入せず水のみ注入する。
  - ⑥ 注水後、容器内に空気が残らないようにエア抜きを十分に行う。
  - ⑦ 水圧ポンプにより水圧荷重を行う。なお荷重速度は 50 kPa/min とした。
  - ⑧ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、所定の水圧まで荷重し、その後石膏が固まるまで待つ。
  - ⑧' 遮水シートを損傷させるケースでは、遮水シートが損傷するまで荷重を行う。
  - ⑨ 片付けを行って実験終了。
  - ⑩ 遮水シートのひずみを計測するケースでは、実験後、固まった石膏の表面に写った計測線の長さを測定することにより遮水シートのひずみを算定する。
- 実験フローを図-5.2 に示す。

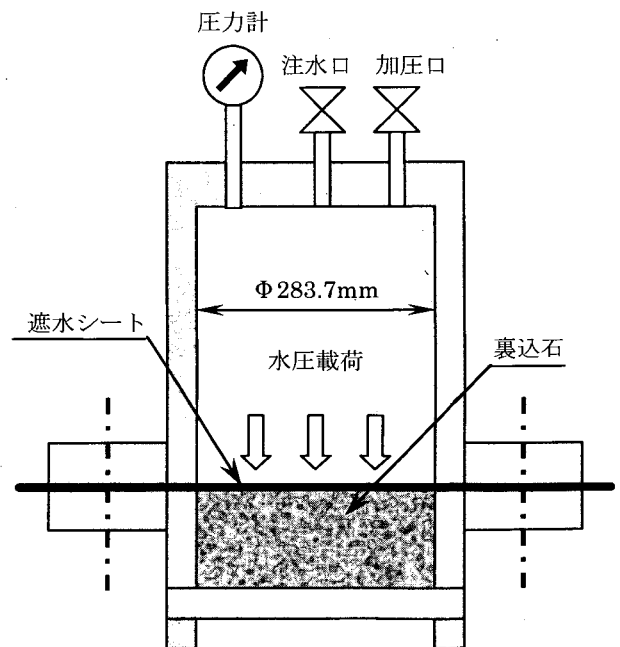


図-5.1 実験装置概要図

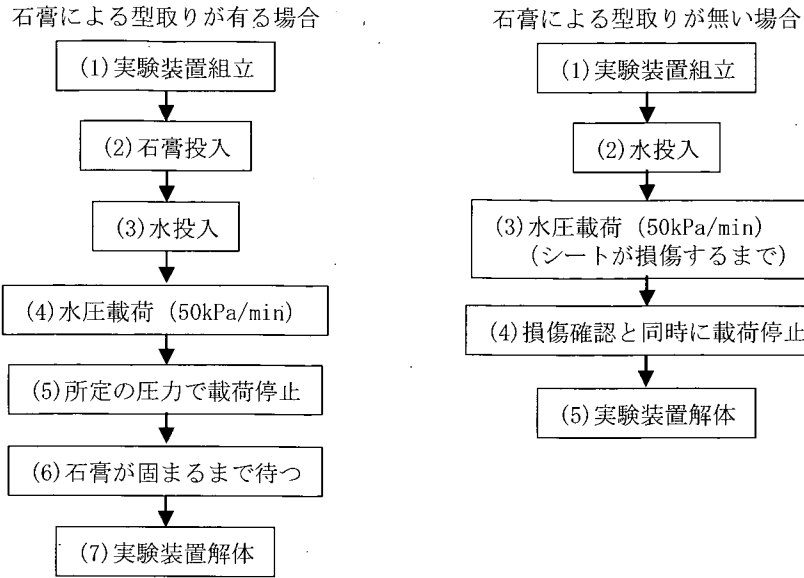


図-5.2 実験フロー

表-5.1 実験ケース

実験ケース	裏込石形状・配列	遮水シートの厚さ	最大载荷水圧	不織布の有無	型取りの有無	備考
ケース 4-1	角形・配列①	3mm	損傷まで	有	無	破壊モードの把握、最大载荷圧力把握、不織布の効果確認
ケース 4-2	角形・配列①	3mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大载荷圧力把握
ケース 4-3	角形・配列①	3mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 4-4	角形・配列①	1.5mm	損傷まで	無	無	破壊モードの把握、最大载荷圧力把握
ケース 4-5	角形・配列①	1.5mm	損傷前まで	無	有	破壊時付近の载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 4-6	角形・配列②	1.5mm	1.0MPa	無	有	破壊時付近の载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 4-7	角形・配列③	1.5mm	1.0MPa	無	有	破壊時付近の载荷圧力・ひずみ分布の把握
ケース 4-8	丸形・配列①	1.5mm	1.0MPa	無	有	载荷圧力・ひずみ分布の把握

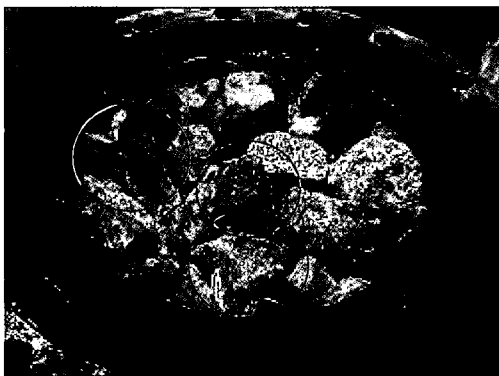
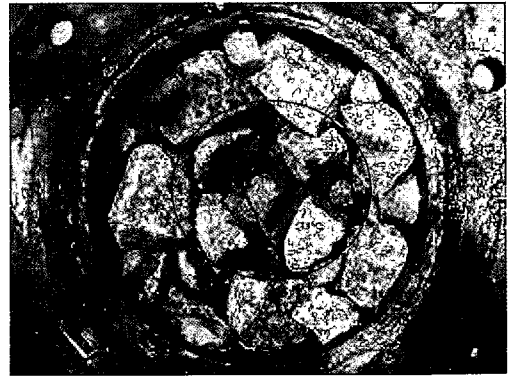
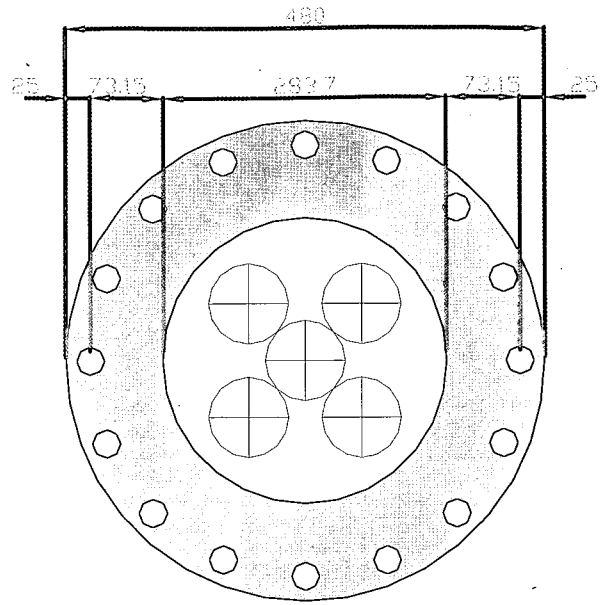
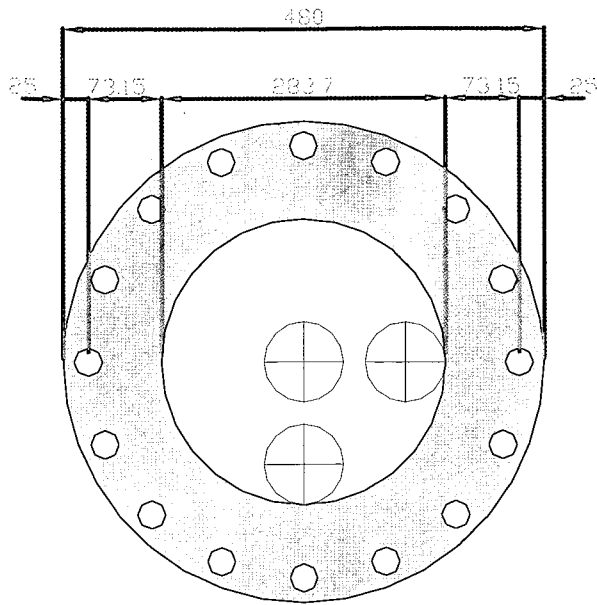


図-5.3 角形裏込石・配列①

図-5.4 角形裏込石・配列②

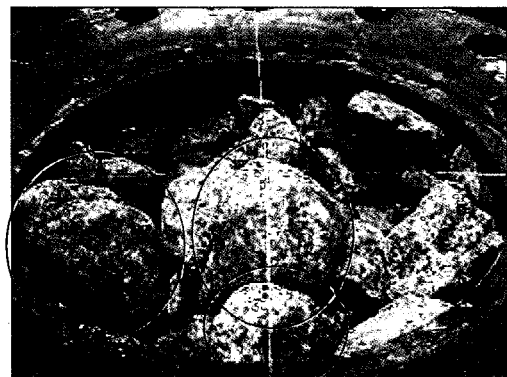
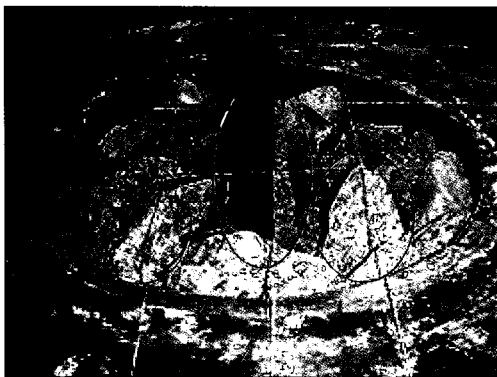
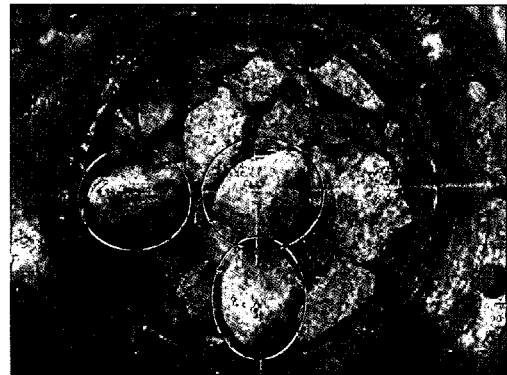
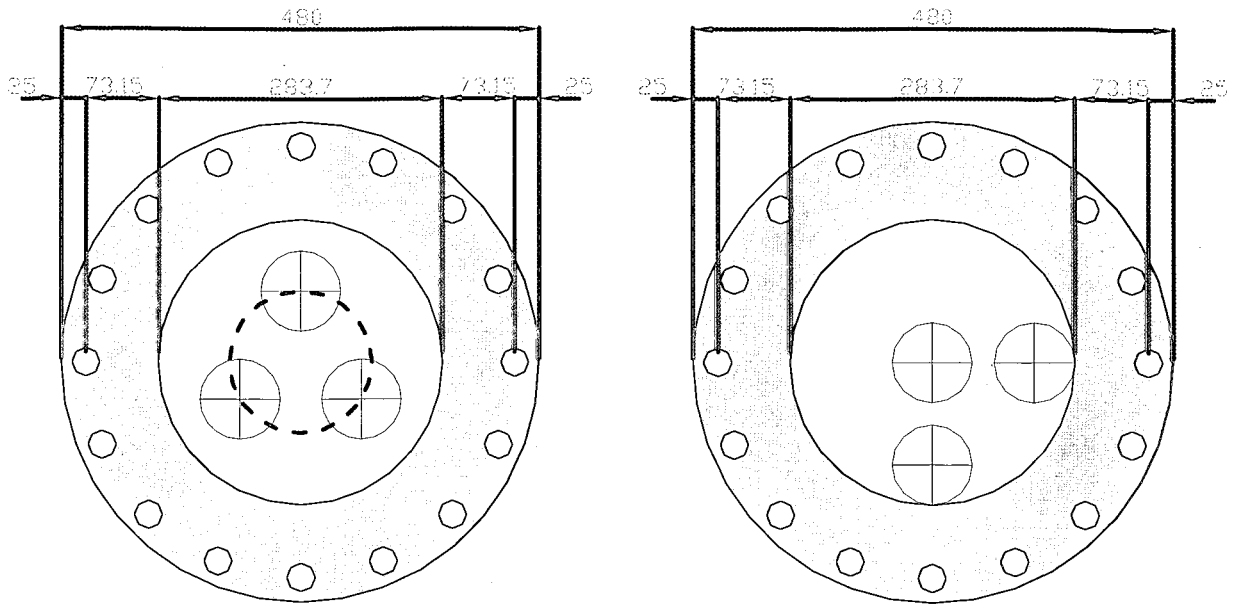


図-5.5 角形裏込石・配列③

図-5.6 丸形裏込石・配列①

### 5.3 実験条件および実験ケース

実験パラメータは、次に示す4項目である。

- ・裏込石の形状・配列
- ・遮水シートの厚さ
- ・最大載荷水圧
- ・不織布の有無

裏込石の形状・配列については、敷設された裏込石の平均的な高さより高い位置に、先端が尖っている角形の石あるいは先端が球形の丸形の石数個を様々な位置に配置して、裏込石の尖り具合および配列が異なる場合における遮水シートの破壊モード、ひずみ分布、載荷水圧の違いを調査することを目的としている。裏込石の配置パターンを図-5.3～図-5.6に示す。遮水シートの厚さについては、遮水シートの厚さが異なる場合の遮水シートの破壊モード、最大載荷水圧の違いを調査することを目的としている。最大載荷水圧については、遮水シートが破断するときの載荷水圧を調査するとともに、最大載荷水圧を破断時より1割ほど小さくした場合の遮水シートのひずみを測定することを目的としている。不織布の有無については、不織布が有る場合と無い場合における遮水シートの破壊モード、最大載荷水圧の違いを検討することを目的としている。

実験ケースを表-5.1に示す。

### 5.4 実験結果

#### (1) 実験後の遮水シートの状態

水圧載荷後の遮水シートの一例を写真-5.1に示す。その他の写真は写真-F.2(付録F)に示す。目視での観察の結果、1.5mm厚、3mm厚シートともに最大載荷水圧である1.0MPaでも破断は生じなかった。これは、裏込石の凹凸形状にシートが完全に追随してしまい、破断ひず

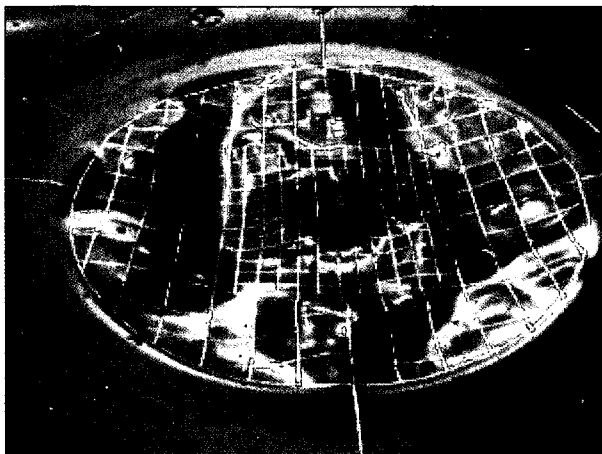


写真-5.1 実験後の遮水シート (ケース4-2)

みに達しないまま変形が終了したためと考えられる。不織布についても同様に、1.0MPaの載荷水圧でも破損は生じなかった。実験後の不織布の様子は写真-F.3(付録

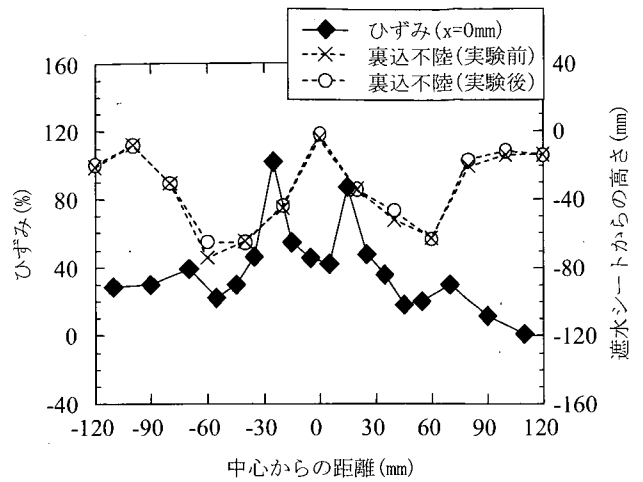


図-5.7 3mm厚シートのひずみ分布 (角形裏込石・配列①：ケース4-3)

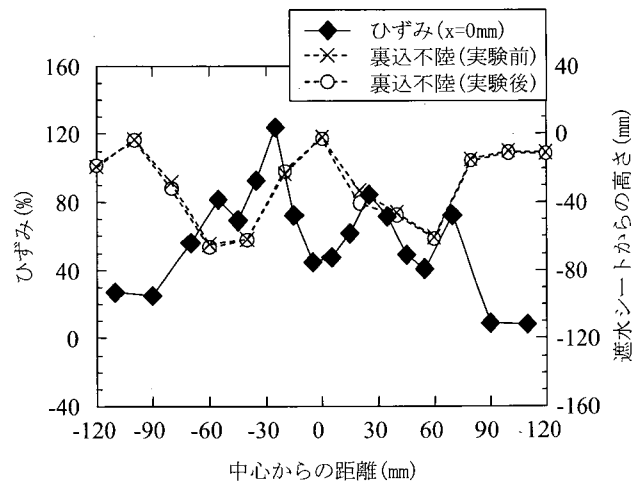


図-5.8 1.5mm厚シートのひずみ分布 (角形裏込石・配列①：ケース4-5)

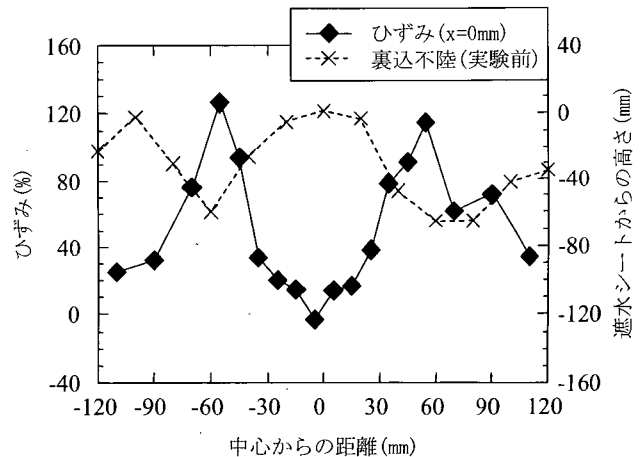


図-5.9 3mm厚シートのひずみ分布 (丸形裏込石・配列①：ケース4-8)



F) に示す。

(2) 遮水シートのひずみ分布

角形裏込石・配列①について、3 mm 厚シート（ケース 4-3）および 1.5 mm 厚シート（ケース 4-5）のひずみ分布をそれぞれ図-5.7、図-5.8 に示す。また、丸形裏込石・配列①（ケース 4-8）におけるシートのひずみ分布を図-5.9 に示す。型取りした石膏の写真を写真-F.4（付録 F）に示す。ケース 4-3 および 4-5 における最大載荷水圧は 0.9 MPa、ケース 4-8 における最大載荷水圧は 1.0 MPa である。他の裏込石を用いた場合のひずみ分布については図-F.4～図-F.13（付録 F）に示す。実験前後の裏込地盤高さはほとんど変化していないことから、水圧載荷による裏込石の移動はなかったと考えられる。ただし、ケース 4-8 については石膏によるシート変形の型取りを行った際に石がシートに密着してしまい、やむを得ず石を除去して石膏を取り出したため、実験後の裏込地盤高さの計測は行うことができなかった。

角形裏込石を用いた場合のひずみは、地盤中央に設置した裏込石の突起先端（すなわちシートの中心）から 25 mm の箇所において最大となり、その値は 3 mm 厚に比べて 1.5 mm 厚のシートの方がより大きい。全体的な傾向としても、1.5 mm 厚シートには 3 mm 厚シートに比べてより大きなひずみが発生しているようである。また、丸形裏込石を用いた場合のひずみは、地盤中央に設置した裏込石の突起先端から 55 mm の箇所において最大となった。この箇所は、丸形裏込石・配列①（図-5.6）における 2 つの石のほぼ中間点であり、裏込不陸の谷部にあたる。すなわち、丸形裏込石を用いた場合のシート変形は裏込不陸の谷部で顕著であるといえる。

以上の結果より、複数個の裏込石による耐圧試験で生じる遮水シートの変形プロセスは、前章で述べた単体の裏込石による場合のシート変形と基本的に一致するものであり、仮に破断が起きたとした場合、その箇所は局所的に高ひずみが発生する突起先端の周囲で発生する可能性が高い。また、裏込石の形状によってシートに発生する高ひずみ領域が異なることから、突起物の貫入による遮水シートの破断プロセスを把握するためには突起の先端形状のキャラクター化が重要である。

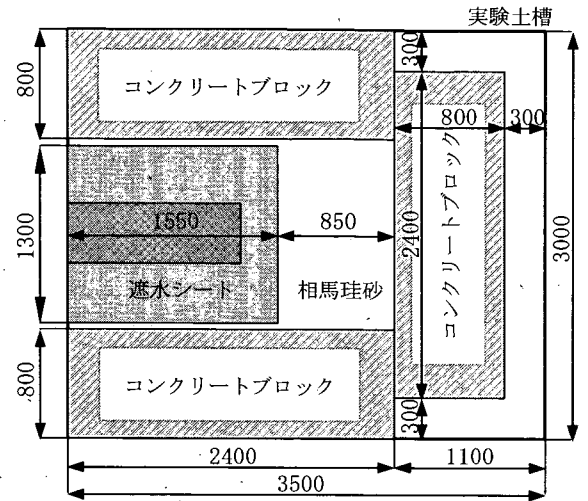
6. 大型土槽を用いた遮水シートの耐圧試験

6.1 実験装置および実験材料

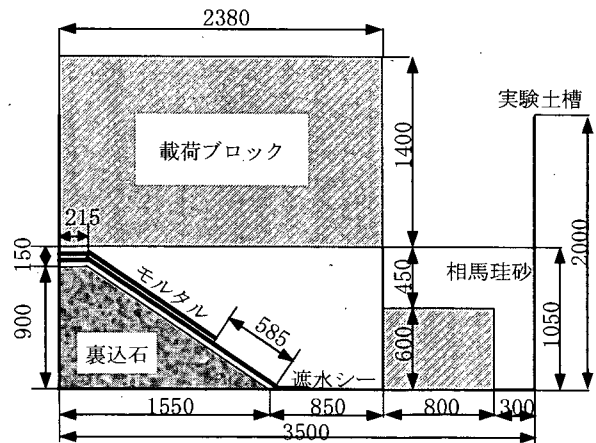
実験装置は長さ 3.5 m、幅 3.0 m、高さ 2.0 m の箱形の剛土槽である。土槽内部に長さ 2.4 m、幅 1.4 m、高さ 1.05 m の仕切りを型枠により設置し、その中に裏込法面

を作製する。また埋立層厚 5 m 分の有効上載圧を載荷するため、9.7 kN のコンクリートブロックを模型上部に設置する。

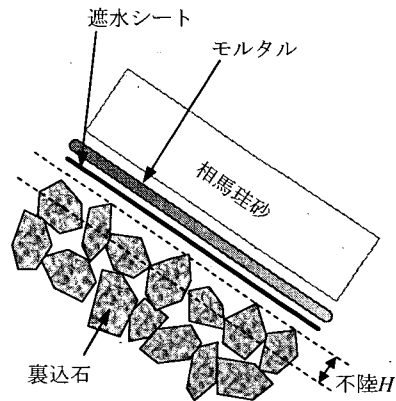
遮水シートは長さ 1,927 mm、幅 1,300 mm に切断し、



(a) 平面図



(b) 断面図



(c) 拡大断面  
図-6.1 実験概略図

長手方向の端から 215 mm までは裏込法肩部に敷設し、残りの部分は裏込法面部に敷設する。また、遮水シートの長さ 1,280 mm、幅 440 mm の領域に 2 cm ピッチでメッシュ状にひずみ計測線を引く(図-G.1; 付録 G)。遮水シートのひずみ計測方法は、実験前後において計測点間の長さを計測しひずみに換算することにより行った。

実験に用いる裏込石は、福島県いわき市西小川産の花崗岩のうち粒径が 100 mm 前後のものを選定した。

## 6.2 実験方法

実験は以下の手順で行った。

- ① 実験対象領域を確保するために、土槽内にコンクリートブロック (800 mm×2300 mm×600 mm) を図-6.1(a) のように 3 個設置する。
- ② コンクリートブロックの内側に型枠を設置する。

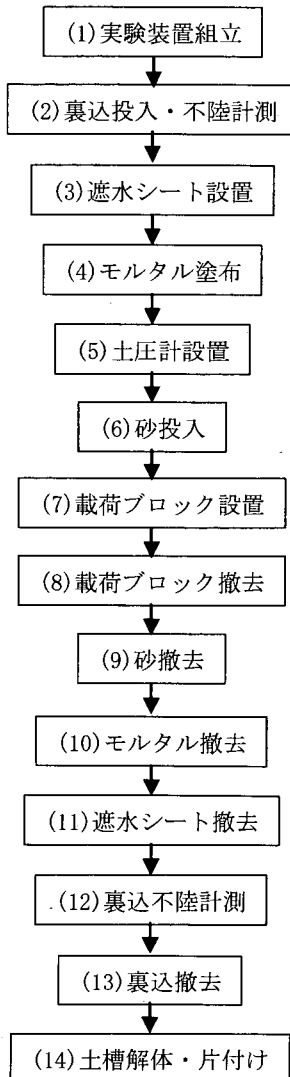


図-6.2 実験フロー

- ③ 図-6.1(b) のように型枠内側に裏込石を投入し裏込を作製する。裏込の法面勾配は 1:1.5 とする。また図-6.1(c) に示すように不陸高さは ±5 cm とした。
  - ④ 遮水シートのひずみ計測を行う裏込表面中央部分、すなわち図-G.1 (付録 G) に示す測定点において、不陸を把握するためガイドを法面と平行に設置し、計測点ごとにガイドと裏込石の距離を変位計を用いて計測する。
  - ⑤ 地盤高さ測定後、裏込表面全体に遮水シートを設置する。なお遮水シート端部は栈木を用いて土槽に固定する。
  - ⑥ 遮水シート設置後、遮水シートひずみ計測直下まで埋立層として相馬砂を投入する。
  - ⑦ 遮水シートのひずみ分布を把握するための型取りを行うにあたり、ひずみ計測線を覆うようにモルタルを約 5 cm の厚さで塗布する。
  - ⑧ 再度相馬砂を投入し層厚 1 m の埋立層を作製する。
  - ⑨ 埋立層上部に荷重ブロックを設置することにより、水深 5 m の水压に相当する荷重を行う。なお、遮水シートに作用する圧力及び荷重ブロック直下の圧力を計測するために図-G.2 (付録 G) のように埋立層内部に土圧計を設置しておく。
  - ⑩ 荷重後、モルタルが固化するまで 24 時間静置する。
  - ⑪ モルタル固化後、実験装置の解体を行い、遮水シートの状態観察およびひずみ分布の計測を行う。
- 実験状況の写真を写真-G.1 (付録 G) に、実験フローを図-6.2 に示す。

## 6.3 実験条件および実験ケース

実際の管理型廃棄物埋立護岸遮水工における裏込表面の均し精度は明確には規定されていないが、本実験での不陸差は ±5 cm とした。また、用いる遮水シートの厚さは 1.5 mm である。最大荷重荷重は、遮水シートが水深 5 m 付近に設置される場合を想定して 50 kPa とした。荷重時間は 24 時間である。以上の条件で実験は 1 ケースのみ行った。

## 6.4 実験結果

### (1) 実験後の遮水シートの状態

実験後の遮水シートの写真を写真-6.1 に示す。目視での観察の結果、遮水シートには裏込不陸形状に追随することによる変形が確認されたが、損傷箇所は見られなかった。

### (2) 実験前後の裏込地盤高さ測定結果

実験前および実験後の裏込不陸形状の平面図を図-6.3



写真-6.1 実験後の遮水シート

(3) 遮水シートのひずみ分布

実験後の固化したモルタルの写真を写真-6.2 に示す。裏込法面の不陸に追従した遮水シートの変形を型取りできていることがわかる。モルタルには遮水シート上の計測線が写っており、この計測線の長さを測ることでひずみを計算する。その結果得られた遮水シートのひずみ分布の平面図を図-6.7、図-6.8 に示す。前者はX方向のひ

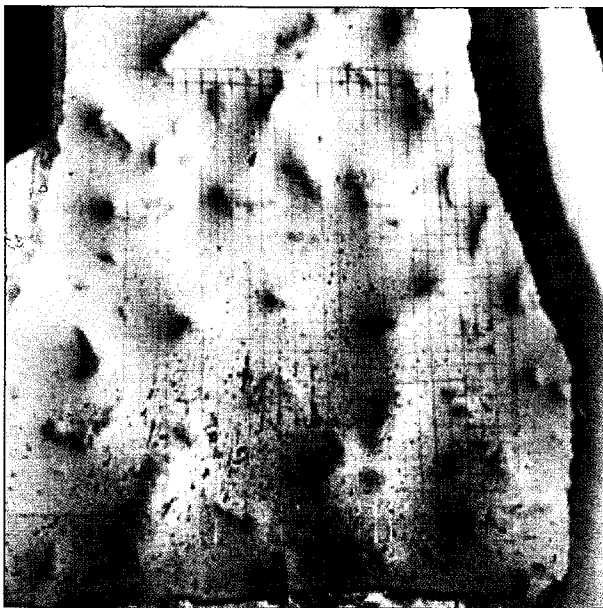


写真-6.2 実験後の固化したモルタル

(次頁に表示) に示す。数カ所で平面分布に若干の変化が認められるが、全体的な傾向としては載荷前後で不陸形状に大きな変化はない。図-6.3 (次頁) の左下部を原点とし、横方向をX、縦方向をYとしたときの各方向における実験前後の不陸差の算術平均値を計測線 (2 cm ピッチ) ごとにプロットしたものを図-6.4、図-6.5 に、また不陸差のヒストグラムを図-6.6 に示す。法尻側で若干の不陸差が大きく出ているようである。計測した不陸差のうち、約9割が±5 mmの範囲であり、さらにそのうちの約半数が±1 mmの範囲であった。

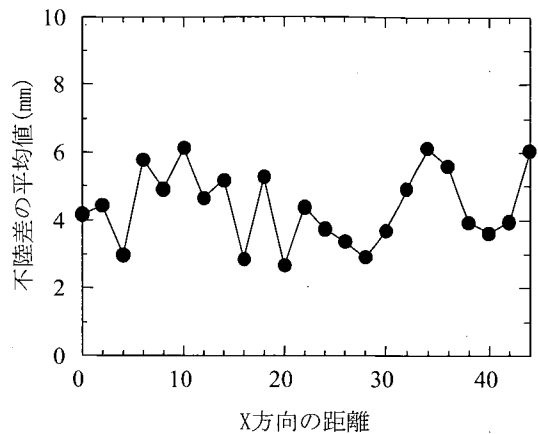


図-6.4 不陸差の平均値 (X方向)

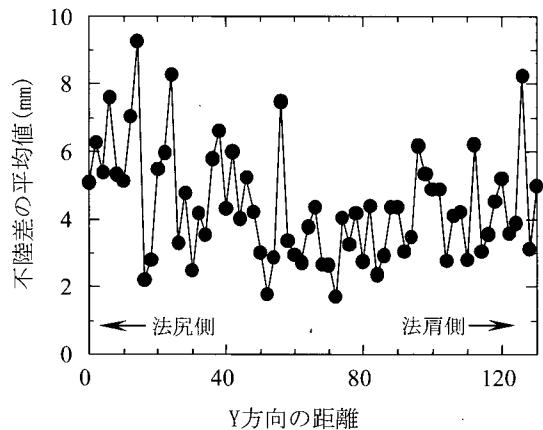


図-6.5 不陸差の平均値 (Y方向)

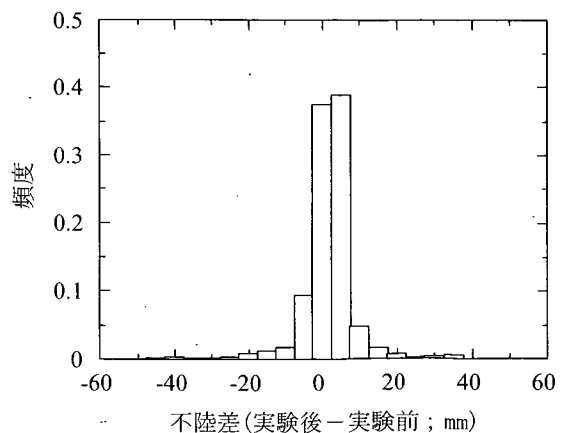


図-6.6 不陸差のヒストグラム

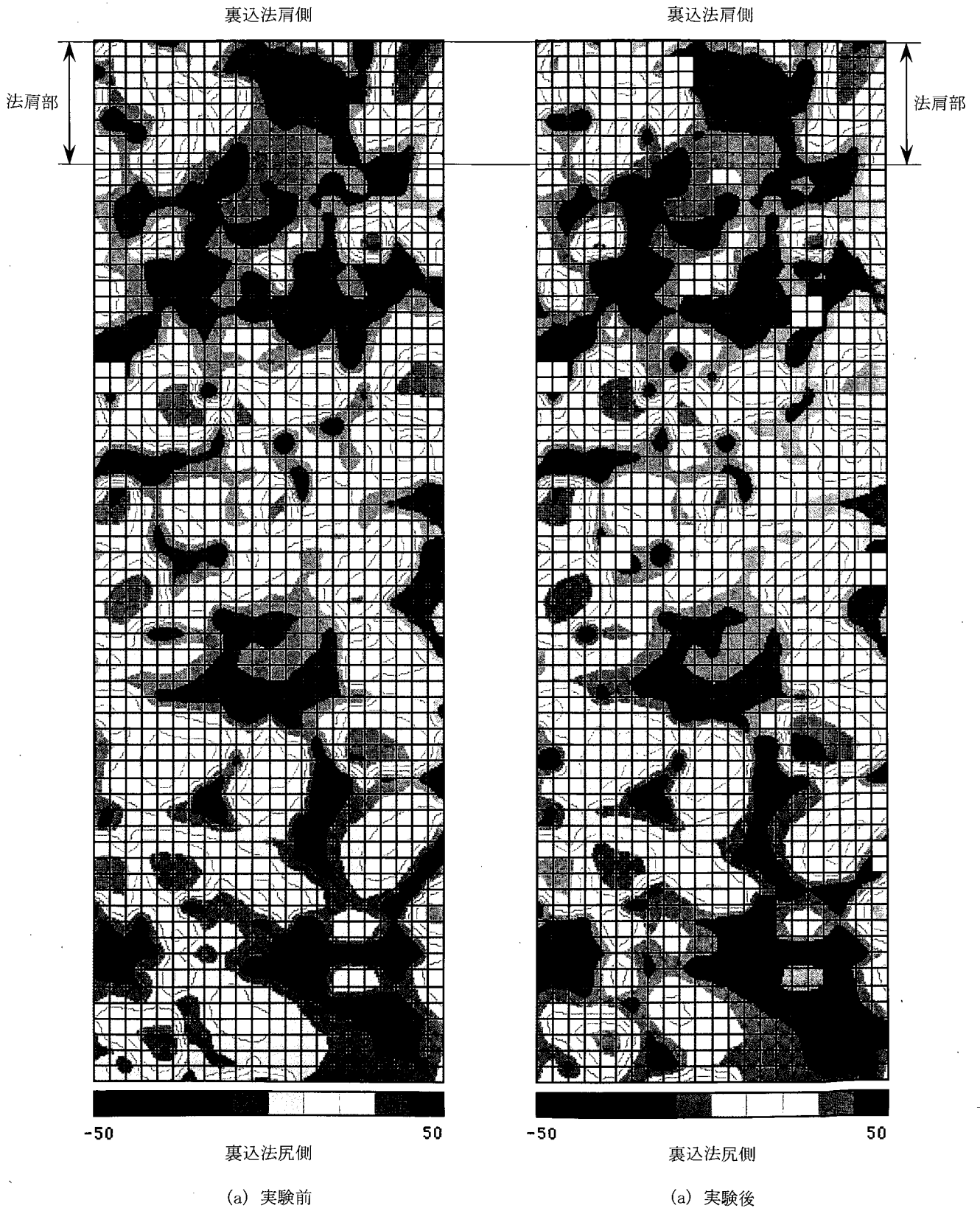


図-6.3 裏込不陸形状

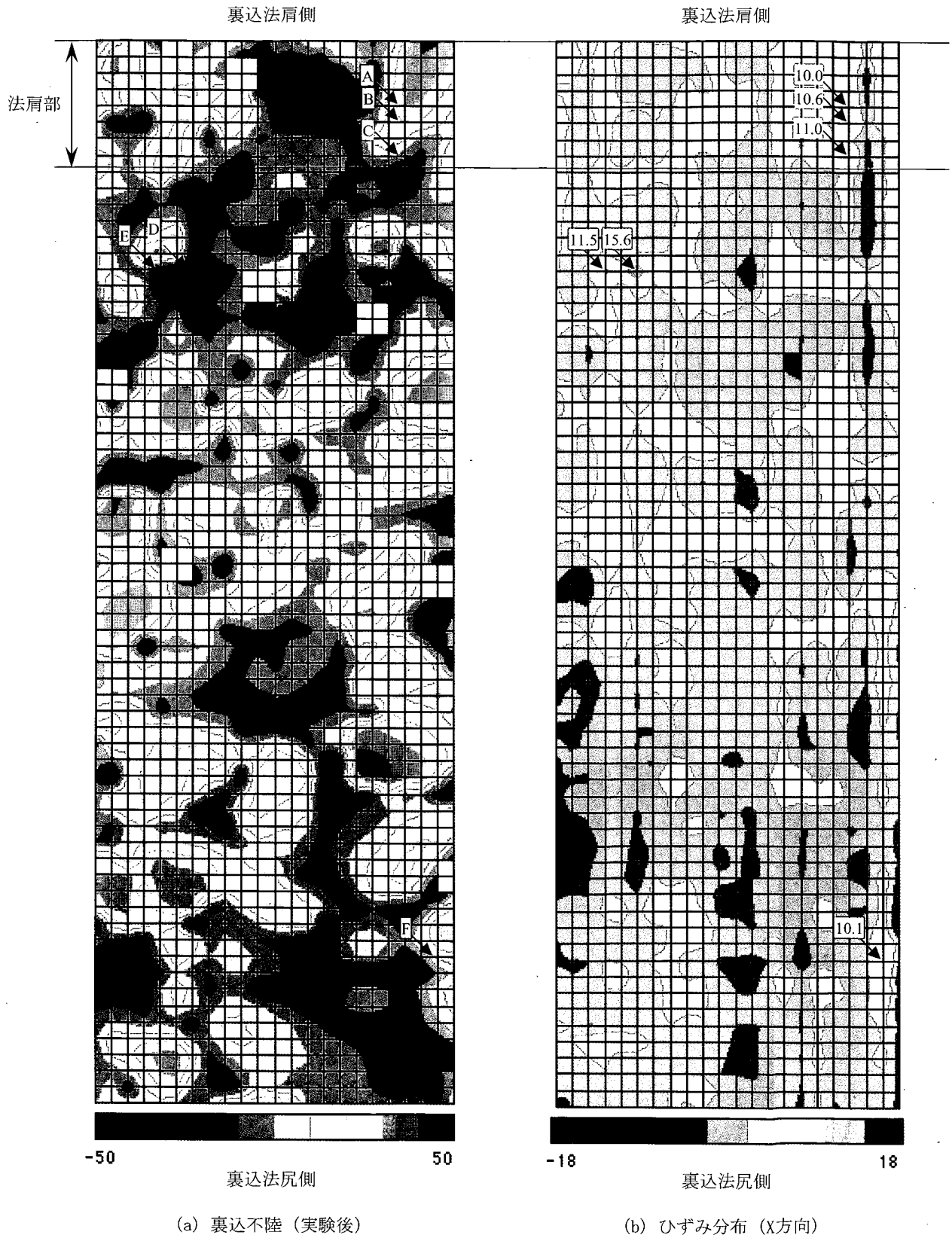


図-6.7 X方向のひずみ分布

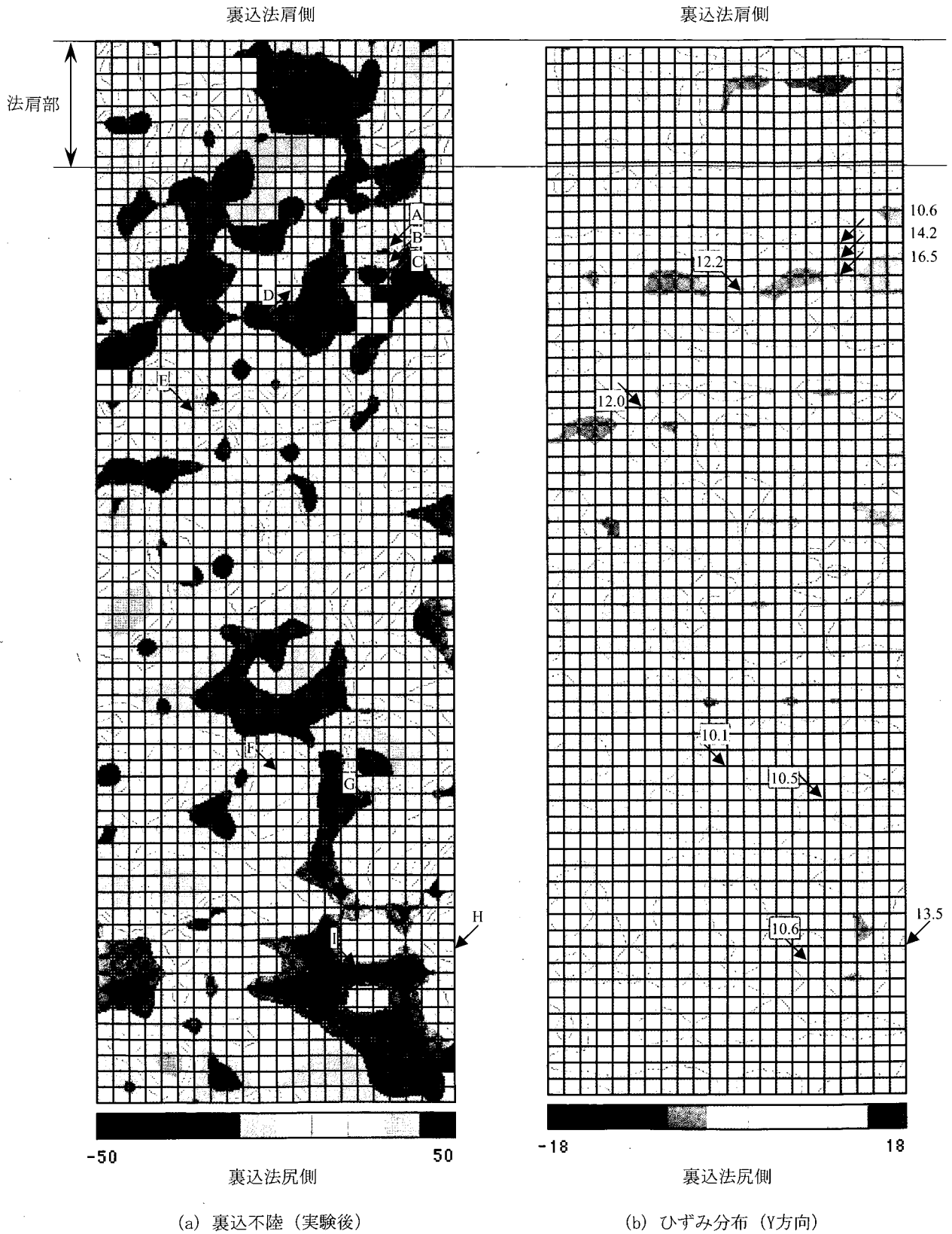


図-6.8 Y方向のひずみ分布

ずみ分布を、後者は Y 方向のひずみ分布を示す。正の値は引張り変形を、負の値は圧縮変形を表している。X 方向に 1452 カ所、Y 方向に 1495 カ所の計測点間の線ひずみを計測した結果、両方向ともに約 9 割が  $\pm 5\%$  の範囲であり、さらにそのうちの約 4 割が  $\pm 1\%$  の範囲であった。

X, Y それぞれの方向においてひずみ量が 10% 以上の箇所を図中に矢印とアルファベット (X 方向は A~F, Y 方向は A~I) で示す。

X 方向について、法肩部の A, B は右上部で 35 mm 以上の突起に隣接しており、突起先端近傍の局所変形に由来するひずみと考えられる。C については、1 メッシュ下方に 38 mm の窪みが存在するほか目立った不陸差が存在しない。ただし、この箇所は法面の角部に近いためシートが法面下方に引き延ばされる可能性がある。その結果として窪みに追従してひずみが発生したとも考えられるが、確かなことは不明である。一方、法面の D, E, F については、それぞれ 1 メッシュ上方に 35 mm 以上の突起が存在している。ここで、ひずみ計測箇所のうち裏込法面では、固化したモルタルが重力によって法面下方に偏ってしまい (写真-G.1 (e); 付録 G), その影響を受けて遮水シートが法面下側へ引き延ばされてしまった。そのため、法面方向については実験後のシート上の計測点と裏込不陸の計測点が正確に一致していない。このことを考慮すると、シートのひずみと裏込不陸の位置関係を正確に対応させるためには、法面におけるひずみ分布を上方に若干移動する必要がある。すなわち、D, E, F の計測線を上方に移動させると突起に隣接することになり、これらのひずみは A や B と同様、突起先端近傍の局所変形に由来すると考えられる。

Y 方向についても、10% 以上のひずみ発生箇所のすべてが裏込突起に隣接しており、X 方向におけるひずみと同様、突起先端近傍の局所変形に由来するひずみと考えられる。特に A~C や G, H などはその傾向が顕著に現れている。

以上のひずみ計測結果により、高ひずみの発生箇所と突起の分布には密接な関連性があり、裏込突起がシートの局所変形に直接的に関わったことが定量的に示された。この結果は、第 5 章における裏込地盤上の遮水シートのひずみ分布と共通するものであり、さらに、個々の裏込突起に着目した場合、石の貫入によって発生するシートのひずみは第 2 章および第 3 章で明らかになったシートの局所変形と同じ原理であると考えられる。また、本試験では遮水シートは破断しなかったが、これまでの貫入試験結果から考えて、仮に破断が起きた場合その箇所は

局部的に高ひずみが発生しやすい裏込谷部や突起の周辺であると推察される。

## 7. まとめ

本研究では、管理型廃棄物埋立護岸遮水工への施工実績が多い PVC 遮水シートについて、裏込石の突起が作用した場合の変形強度特性を検討した。すなわち、裏込石の貫入により発生する遮水シートの二次元ひずみ分布を計測し、遮水シートの破断プロセスについての考察を行った。

これにより、以下の結論を得ることができた。

(1) 自由樹脂や石膏、モルタルを用いることにより、突起物貫入時における遮水シートのひずみ分布計測方法を確立した。また、それによって遮水シートの塑性変形中におけるひずみ分布を計測することが可能となった。

(2) 突起物に対する遮水シートの突き刺し抵抗試験および裏込石 1 個を用いた遮水シートの耐圧試験の結果、遮水シートは突起先端近傍で円弧状に破断し、さらに破断箇所と変形中における最大塑性ひずみの発生箇所が一致した。これらから、突起物貫入による遮水シートの破断モードは、限界塑性ひずみを越えた瞬間に起こったひずみ支配型破壊であり、100% を超える局所的な塑性ひずみが破断の直接的な原因であると考えられる。

(3) 複数個の裏込石による耐圧試験において、角形裏込石を用いた場合のシートの最大ひずみは裏込突起先端の近傍で発生した。一方、丸形裏込石を用いた場合のシートの最大ひずみは裏込地盤の谷部で発生した。これらの計測結果により、突起形状とひずみ分布の関連性が明らかになった。

(4) 土槽による遮水シートの耐圧試験において、水深 5 m の水圧に相当する載荷、最大 10 cm の不陸差の条件下でシートを 24 時間放置した場合、シートに発生するひずみは数パーセント程度であり、最大でも 20% を下回った。その中で、不陸差の大きい谷部や大きな突起の周囲では X 方向、Y 方向ともに相対的に大きなひずみが発生した。また、裏込不陸の二次元分布と遮水シートのひずみ分布を比較した結果、高ひずみの発生箇所と裏込突起には密接な関連性があり、裏込突起がシートの局所変形に直接的に関わったことが示された。

これらの結果は、管理型廃棄物埋立護岸遮水工の裏込地盤の不陸形状が遮水シートの耐突起物性におよぼす影響を把握する際の基礎資料となると考えている。

## 8. おわりに

本研究で得られた結果は、管理型廃棄物埋立護岸遮水工に施工される遮水シートが敷設地盤の突起物の貫入を受けた際の変形強度特性を検討するうえで貴重なデータである。とくに、突起物が貫入した際に発生する遮水シートのひずみ分布を予測する際に非常に有効である。

本研究では、突起物の貫入に際して発生する遮水シートのひずみ分布が突起物の先端形状の影響を受けることを実験的に示した。しかしながら、突起物の先端形状のキャラクターゼーションがなお不十分であるため、突起物貫入による遮水シートの破断メカニズムの解明には至っていない。

したがって、今後は突起物の先端形状（先端曲率、先端角、突起長）が遮水シートの変形強度特性におよぼす影響を明らかにし、ひずみ速度や裏込石との摩擦係数を考慮した遮水シートの破断メカニズムを理論的に検証していく予定である。

(2003年11月17日受付)

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、五洋建設株式会社技術研究所、三藤正明部長ならびに吉田誠氏には実験に際して多大なるご尽力を賜りました。ここに記して深謝の意を表します。

#### 参考文献

- 今泉繁良, 池田浩和, 坪井正行, 宮地秀樹, 石川雅洋  
(2001): 遮水シートの突き刺し性能, 第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 912-914.
- 押方利郎, 花嶋正孝(1996): シャ水シートの貫通抵抗試験方法に関する実験的研究, 廃棄物学会論文誌, Vol. 7, pp. 244-252.
- (財)港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所  
(2000): 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, p. 86.
- 三木博史・林義之(1991): ジオメンブレンの突き破り抵抗に関する考察, 土木学会第46回年次学術講演会, III-372, pp. 766-767.
- 宮地秀樹, 坪井正行, 今泉繁良(1998): ジオメンブレンの突き刺し抵抗性に関する研究, ジオシンセティックス論文集, Vol. 13, pp. 156-163.
- 宮地秀樹, 今泉繁良, 吉直卓也(2002): 保護マットの組合せ順序と遮水シート貫入抵抗の関係について, 第13回廃棄物学会講演論文集II, pp. 942-944.
- 森芳信, 梅村順, 西村淳, 平井貴雄(1996): 廃棄物処分

場用遮水シートの材料評価方法, 第30回土質工学研究発表会, pp. 207-208.

森芳信, 梅村順, 西村淳, 平井貴雄(1996): 廃棄物処分場遮水シートの突起物に対する抵抗試験, 土木学会第51回年次学術講演会, III-A386, pp. 772-773.