

管理型廃棄物埋立護岸の地震時変動に伴う遮水シートの変形特性

狩野 真吾*・小田 勝也**・吉田 誠***・三藤 正明****

レベル 2 地震動が管理型廃棄物埋立護岸に作用した場合の最終護岸変位量が遮水機能に及ぼす影響を把握するため、二重遮水シートの遮水工を有する重力式護岸を対象とした模型実験を行い、護岸の変形が遮水工の変形挙動に与える影響について検討した。実験では、護岸にみたてた鋼板に静的な変位を与え、その際に発生する遮水シートの変形量をひずみゲージによって計測した。その結果、遮水シートは敷設面法肩部で特に顕著な伸び挙動を示し、法尻部の約 5 倍のひずみが発生した。また、遮水シートおよび不織布の端部を構造物に固定した結果、二重遮水シートの下部と崩壊した地盤との間に空隙が発生した。

1. はじめに

管理型廃棄物埋立護岸に要求される性能は、常時・異常時を問わず護岸内部の管理型廃棄物を安定的に保管し、かつ十分な遮水機能を有し続けることである。このことについて、遮水シートを用いた遮水工を有する管理型廃棄物埋立護岸の耐震設計法は必ずしも確立された状況ではない。これは、地震動が護岸に作用した時の護岸変形が遮水機能に及ぼす影響が明らかでなく、地震動に対する許容変形量を明確に規定することが困難なためである。そこで本研究では、兵庫県南部地震クラスのレベル 2 地震動が護岸に作用した場合の最終護岸変位量が遮水機能に及ぼす影響を把握するため、二重遮水シートの遮水工を有する重力式護岸を対象とした模型実験を行い、護岸の変形が遮水工の変形挙動に与える影響について明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

本実験は、護岸を想定した鋼板に静的な変位を与えた場合の背後地盤の変形挙動および遮水工の地盤への変形追随性を評価するものである。実験は護岸模型のスケールが異なる以下の 2 ケースを行う。ケース 1 では 1/10 スケールに縮小した護岸模型を作製し、護岸変形が遮水工の変形挙動に与える影響を評価する。ケース 2 では遮水工の法肩部付近を実スケールでモデル化し、実際の管理

型廃棄物海面処分場遮水工で使用されているものと同じ厚さの遮水シートの護岸変形に対する伸び挙動について検討する。両ケースにおける実験モデルの想定断面図を図-1 に示す。

3. 実験材料

(1) 遮水工

二重遮水シートの遮水工を有する実際の管理型廃棄物埋立護岸には、遮水材として 3 mm 厚の塩化ビニル (PVC) 製遮水シート、保護マットとして 5 mm 厚の不織布 (おもに短繊維) が使用される場合が多い。本実験での遮水材および保護マットは実際の遮水工と同じ素材を用い、2 枚の遮水シートと 3 枚の不織布を交互に敷設した五層構造とする。以下、本論文ではこの五層構造を指して「二重遮水シート」と記述する。

ここで、各ケースにおいて使用する遮水シートおよび不織布はそれぞれの実験スケールに対応した厚さのものを使用すべきであるが、粘弾性を示す PVC のような高分子材料や複合材料に適応される厳密な相似則は存在しない。そのため本実験では実験モデルと同等の縮尺を採用した。すなわち、ケース 1 では 0.2 mm 厚の PVC シートと 1 mm 厚の長繊維不織布、ケース 2 では 3 mm 厚の PVC シートと 5 mm 厚の短繊維不織布をそれぞれ使用する。なお、ケース 1 では 1 mm 厚の短繊維不織布を用意することができなかったため、長繊維不織布を用いることとした。以上をまとめ、実験に使用した材料を表-1 に示す。

(2) 裏込・捨石・廃棄物層

裏込石は、ケース 1 の縮小モデルでは 6 号砕石 (粒径：

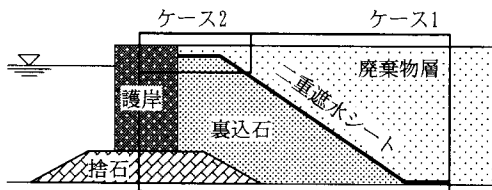


図-1 実験モデル想定断面

表-1 実験材料

	シート厚さ	不織布厚さ	裏込石	捨石マウンド	廃棄物層
ケース 1	0.2 mm	1 mm (長)*	6 号砕石	4 号砕石	7 号砕石
ケース 2	3 mm	5 mm (短)*	和田山石	なし	7 号砕石

* (長): 長繊維, (短): 短繊維

* 正会員 博(工) 国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室
** 正会員 工 修 国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室
*** 正会員 工 修 五洋建設株式会社 技術研究所
**** 正会員 工 博 五洋建設株式会社 技術研究所

5~13 mm)を使用し、ケース2の実スケールモデルでは福島県いわき市川前町産の和田山石(花崗岩;粒径は50 mm~150 mm)を使用する。

捨石は、ケース1では4号砕石(粒径:20~30 mm)を使用し、ケース2では使用しない。また廃棄物には、両ケースにおいて7号砕石(粒径:2.5~5 mm)を使用する。

以上をまとめたものを表-1に示す。

4. 実験手順

(1) ケース1

ケース1では護岸に見たてた鋼板(縦1800 mm×横1400 mm×厚さ12 mm)に静的な強制変位を与える1/10スケールモデルの模型実験を行う。実験モデルを図-2に示す。鋼板は油圧ジャッキにより土槽長手方向に変位させることが可能である。

模型地盤は以下の手順で作製する。まず鋼板背後に砕石を投入し捨石・裏込各層を作製する。その後、裏込層上に二重遮水シートを1:1.2の勾配で敷設する。なお、二重遮水シートの敷設面は平坦に均す。敷設の際、二重遮水シートの上端部は鋼板に固定し、下端部は土槽に固定する。また遮水シートにはひずみゲージをあらかじめ貼付しておく。最後に二重遮水シートの上に7号砕石を投入し、廃棄物層を作製する。

鋼板の載荷変形は、鋼板に取り付けられた上側1基および下側2基の油圧ジャッキを交互に5分間で約5 cmずつ収縮させることにより行う。したがって、鋼板は奇数載荷ステップ終了後は約5%の前傾状態、偶数載荷ステップ終了後はほぼ垂直状態となる。以上の動作を繰り返し、最終ステップ(第11ステップ)終了時の鋼板の傾斜勾配が約8%となるように変位量を調整する。なお、鋼板の最終変位量は地表面位置で約300 mmであり、これを実スケールに換算すると護岸変位量は約3 mである。これらの傾斜勾配および変位量は、兵庫県南部地震による重力式岸壁の前傾量(外山・松永, 1995)と同程度の変形に相当するものとして設定した。

実験での計測項目は、地盤変形量と遮水シートのひずみである。前者は地盤内に設置したターゲットを土槽側

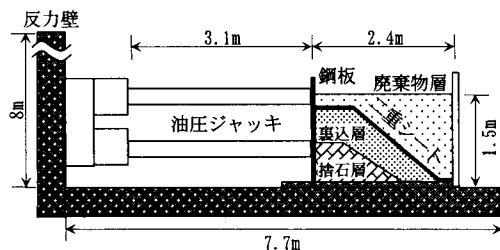


図-2 実験モデル(ケース1)

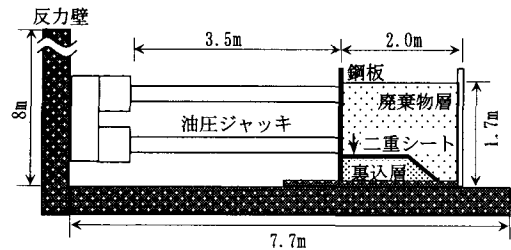


図-3 実験モデル(ケース2)

面のアクリル面側からデジタルカメラで撮影することにより変位量を計測し、後者は遮水シートに貼付したひずみゲージによって計測する。

(2) ケース2

ケース2では護岸背後の裏込層法肩部付近を対象として(図-1), 実スケールモデルによる鋼板の強制変位実験を行う。実験モデルを図-3に示す。模型製作および実験方法はケース1と同様である。鋼板の最終変位量は油圧ジャッキの最大変位量である約900 mmである。また、裏込層法面中央に先端の尖った裏込石を1個配置し、意図的に約10 cmの不陸を作製した。

実験での計測項目は、ケース1と同様に地盤変形量と遮水シートのひずみである。遮水シートのひずみは貼付したひずみゲージによって計測するほか、遮水シートに5 cm間隔の格子線を引き実験終了後の格子線の長さを計測することにより算定する。

5. 鋼板の強制変位による地盤の変形挙動の評価

(1) ケース1

鋼板の変位により、捨石層、裏込層および廃棄物層の各層は徐々に変形・崩壊が進行した。実験終了後の地盤状態のスケッチを図-4に示す。図中で二重遮水シートが破線になっている箇所は、廃棄物層の一部落下により遮水シートの観察が困難になった部分である。地盤内のターゲットの移動の有無から推定した主働崩壊面は、捨石層・裏込層ともに水平面から約60°であった。ここで、砕石の内部摩擦角を40°、壁面摩擦角を20°とした場合のクローンの土圧理論に基づく主働崩壊角は63°と計算され、実験結果とほぼ一致する。廃棄物層の変形は鋼板の変位によるほか、廃棄物層を支える二重遮水シート下部の空隙へ砕石が一部落下したことによる局所的な崩壊も含まれている。

(2) ケース2

鋼板の強制変位による廃棄物層の変形は、変位が増加するにつれて徐々に進行し、第3ステップ終了時(上側ジャッキ変位量:10 cm)には水平面から約60°の主働崩

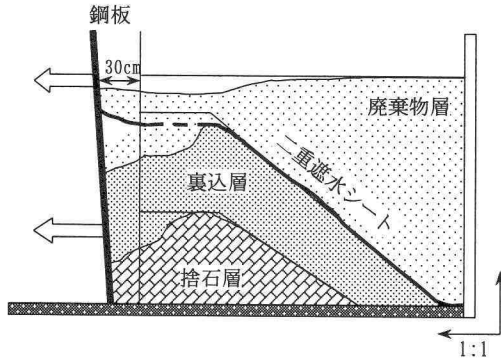


図-4 載荷後の地盤変形 (ケース 1)

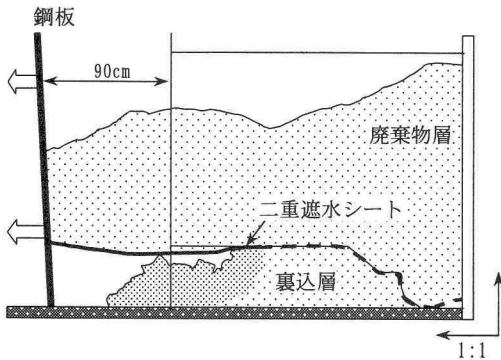


図-5 載荷後の地盤変形 (ケース 2)

破壊が発生した。その後、崩壊が背後に向かって進行し複数の崩壊面が形成され、最終的に図-5のスケッチに示すような地盤変形となった。廃棄物層の中程に窪んだ箇所がみられるが、これは土槽アクリル板側から廃棄物層に使用した碎石が裏込層に一部落下したためである。

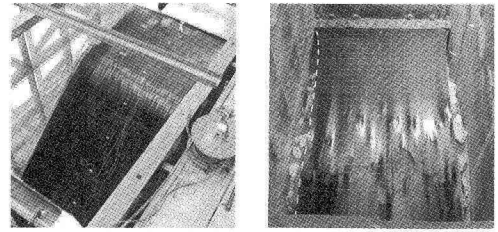
裏込層では第2ステップ終了時(鋼板は水平方向に約5 cm 変位)に鋼板との間に5 cm 程度の空隙が発生したが、その後第12ステップ終了時(鋼板は水平方向に約30 cm 変位)までは裏込石の崩落が頻発した。その後、図-5に示す最終状態に至るまで裏込石の崩落はほとんど発生しなかった。

一方、二重遮水シートは鋼板に固定されているため、鋼板の変位に伴い変形が進行したが、裏込層の天端鋼板近傍においては裏込層の変形に追随することなく、結果的に裏込層との間に空隙が発生し、廃棄物層の上載荷重によってたわみながら変形が進行した。この現象については第7章で詳細に述べる。

6. 鋼板の強制変位による遮水シートの変形挙動の評価

(1) ケース 1

実験終了後、廃棄物層を除去した時の遮水シートの写



(a) ケース 1

(b) ケース 2

図-6 実験後の遮水シート

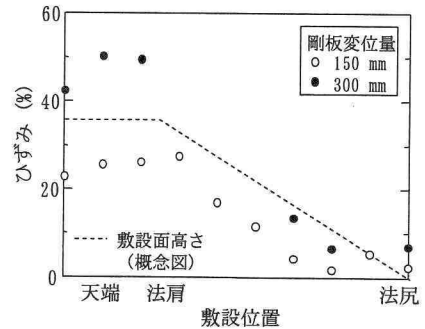


図-7 遮水シートのひずみ分布

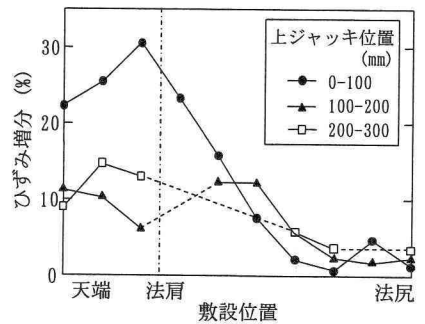


図-8 遮水シートのひずみ増分

真を図-6(a)に示す。目視の結果、遮水シート、不織布ともに損傷は認められなかった。また、天端部では遮水シートに最大で数センチ、不織布に最大で約10 cmのネッキングが発生した。

次に、遮水シートの変形をひずみゲージによって計測した結果を図-7に示す。なお、図中のプロットはひずみゲージの読み値を遮水シートの実際のひずみに換算した値であり、各プロットは2枚の遮水シートのひずみの平均値を示している。また、模型製作中に発生したひずみを差し引くことにより、各値は鋼板の変位に伴う遮水シートのひずみを表している。計測の結果、遮水シートの伸び量は上側(廃棄物層側)および下側(裏込層側)でほぼ同じ値となり、このことから2枚の遮水シートはほぼ一体となって変形したことがわかる。また、図-7か

ら明らかなように、遮水シートに発生するひずみは場所によって異なる。すなわち、実験終了後のひずみは法肩部付近で最大値(約50%)を、法尻部で最小値(約10%)を示した。また、鋼板の変位量が150 mmと300 mmの時点での各ひずみ値を比較すると、ひずみの増分は法尻に比べて法肩あるいは天端の方がより大きいことがわかる。場所による遮水シートの伸び挙動の違いは図-8でさらに顕著に見ることができる。すなわち、上側ジャッキの実験開始からの総変位量が100 mm, 200 mm, 300 mmの各ステップ間におけるひずみ増分を、初期段階(0 mm~100 mm)、中期段階(100 mm~200 mm)、および最終段階(200 mm~300 mm)の各段階について求めた結果、初期および最終段階では法肩部におけるひずみ増分がもっとも大きく、特に初期段階で最終的なひずみ(50%)の約6割が発生していることがわかる。一方、中期段階においてひずみ増分がもっとも大きいのは法面の中段付近であり、他の段階と傾向が異なる。この現象の理由として、法面中段付近で二重遮水シートが廃棄物層側に向かってわずかにはらみ出すような変形(図-4)が確認されており、それが遮水シートのひずみとして表れたと推察される。

ここで、本実験における鋼板の最終変位量は約300 mmであり、一方、遮水シートの敷設長は約3 mであることから、仮に遮水シートが全面にわたり同じだけ伸びたとすると、遮水シートの平均的な伸びは約10%となり、これは法尻部でのひずみにほぼ等しい。これらの結果より、本実験のように遮水シートの両端を構造物に固定し強制的に変形させた場合、遮水シートは法肩部で特に顕著な伸び挙動を示すと考えられる。本実験では最終的に平均の約5倍のひずみが法肩部で発生したことになる。

なお、狩野ら(2004a, 2004b)は大型土槽内に作製した裏込石の斜面上に遮水シートを敷設し静的な上載荷重を加えることにより、斜面の裏込不陸が遮水シートの変形に及ぼす影響を検討した結果、遮水シートに発生するひずみは法肩部で比較的大きな値を示した。この場合の変形は局所的な裏込石の突起貫入が主要因であったが、本実験のように裏込層の不陸がほとんど無視できる場合においても、法肩部には他の場所と比べて大きな変形が発生することが明らかとなった。

(2) ケース2

実験終了後、廃棄物層を除去した時の遮水シートの写真を図-6(b)に示す。遮水シートおよび不織布には裏込層法面中央に設置された裏込突起による局所的な貫入変形が見られるものの、目視による観察の結果、損傷は認められなかった。また、天端部では遮水シートに最大で約12 cm、不織布に最大で約15 cmのネッキングが発生

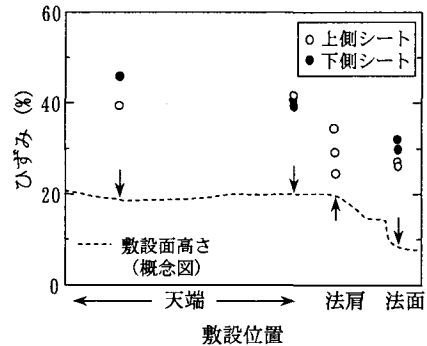


図-9 遮水シートのひずみ分布

した。

遮水シートの変形量についてひずみゲージによる計測を試みたが、地盤の変形中にほぼすべてのゲージが断線してしまい、鋼板の最終変形まで遮水シートのひずみを計測することができなかった。そのため、地盤の変形過程における遮水シートの伸びの変化を把握することはできなかった。

実験後に遮水シートに描かれた格子線の長さからひずみを算定した結果を図-9に示す。ケース1と同様、ひずみは場所によって異なる値を示し、天端において最大(40%強)となり、法尻方向に向かって減少する傾向がみられる。法肩部における変形量は鋼板近傍より小さく、ケース1から予想された法肩部における局所変形が顕著ではない。これは、法肩付近は裏込突起によって変形を受けた不織布との摩擦が大きく、遮水シートの変形が拘束されるのに対し、天端では後述のように二重遮水シート下部に空隙が発生し、遮水シートと不織布との摩擦が減少し変形が集中したためと考えられる。ただし、図-9に示したひずみは廃棄物層を除去した後での値であるため、廃棄物層の上載荷重が作用している変形実験中は荷重により二重遮水シートが裏込不陸に押しつけられ、これよりさらに大きなひずみが局所的に発生していると考えられる(狩野ら, 2003, 2004c)。

7. 地盤変形に対する二重遮水シートの追従性の評価

本実験では、二重遮水シートの両端をそれぞれ鋼板および土槽にボルト固定した。その結果、鋼板変位による地盤変形に伴い、二重遮水シートの下部と崩壊した裏込層天端との間に空隙が発生した。その様子を図-10および図-11に示す。空隙部では廃棄物層の全重量を二重遮水シートが支える形となり、空隙上部の廃棄物層の重量を空隙部の二重遮水シートの面積で割ることにより、二重遮水シートに作用する上載圧は表-2の通り計算され

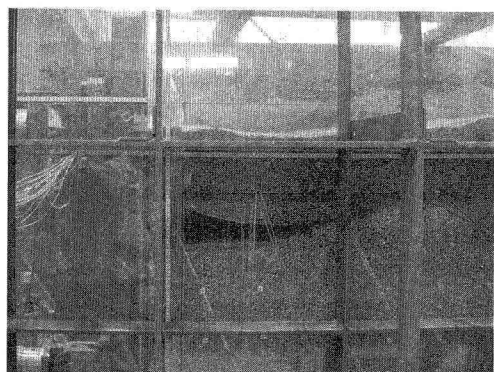


図-10 遮水層下側の空隙 (ケース 1, 移動量 40 mm)

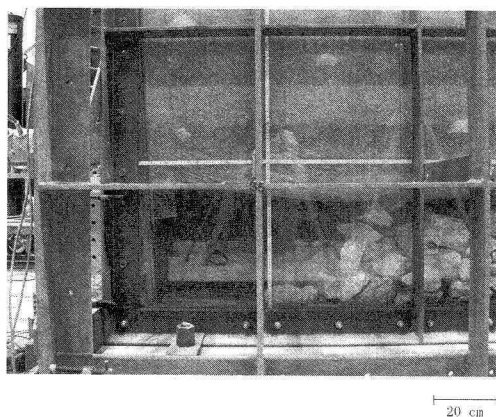


図-11 遮水層下側の空隙 (ケース 2, 移動量 900 mm)

表-2 空隙部の二重遮水シートにかかる上載圧

	空隙上部の廃棄物層体積 (m³)	砕石による*鉛直荷重 (kN)	空隙面積 (m²)	上載圧 (kPa)
ケース 1	0.263	4.73	1.05	4.50
ケース 2	1.75	31.5	1.68	18.8

* 単位体積重量 18 (kN/m³) として計算

る。近藤ら(2003, 2004)は水圧膨張試験により遮水シートの耐圧性を検討した結果、軟質 PVC シートは最大約 230 kPa の水圧でも破裂しなかった(破裂時水圧は約 200 kPa)。これより、本実験で発生した空隙部において遮水シートに作用する上載圧は遮水シートの破断強度を十分に下回るものと言える。実際には、本実験のように遮水工の端部を完全に固定する方法を採用することはほとんどないと考えられるが、仮に同様の現象が地震被災時に実際の海面処分場で発生した場合、例えば重機等の走行により空隙上部の遮水シートにはより大きな荷重が作用する可能性がある。遮水シートの端部処理工法につ

いては、地盤変形への追随性を考慮して例えば屯袋やコンクリート方塊によって端部を固定する施工例等が示されている(港湾空間高度化センター, 2000; 日本埋立浚渫協会, 2001)。地盤変形に対する遮水シートの追随性をより詳細に議論するためには、今回の実験ケースに加えて端部を固定しない場合でのデータが必要であるが、それは今後の課題である。

8. おわりに

本研究では、レベル 2 地震動が管理型廃棄物埋立護岸に作用した場合の最終護岸変位量が遮水機能に及ぼす影響を把握するため、重力式護岸を対象とした模型実験を行い、護岸の変形が遮水工の変形挙動に与える影響について検討した。すなわち、護岸にみたてた鋼板に強制変位を与えた際の遮水シートの変形量を計測し、地盤への追随性に関する考察を行った。これにより、以下の結論を得ることができた。

① 1/10 スケールモデルで鋼板の強制変位実験を行った結果、遮水シートは法肩部に特に顕著な伸び挙動を示し、法尻部の約 5 倍のひずみが発生した。

② 鋼板の変位に伴い背後地盤が変形、崩壊した結果、二重遮水シートの下部と崩壊した裏込層天端との間に空隙が発生した。これは、遮水シートおよび不織布の両端がそれぞれ鋼板および土槽にボルト固定されていることに起因する。

参考文献

- 狩野真吾・吉田 誠・三藤正明・近藤三樹郎・諸星一信 (2003): 突起物貫入による遮水シートの破断とひずみ分布の関係, 第 14 回廃棄物学会講演論文集, pp. 943-945.
- 狩野真吾・諸星一信・小田勝也 (2004a): 廃棄物海面処分場遮水シートの突き破り抵抗に関する研究, 国総研資料, 142 号, 154 p.
- 狩野真吾・小田勝也・吉田 誠・三藤正明 (2004b): 管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの敷設面陸に対する変形追随性, 海洋開発論文集 (印刷中).
- 狩野真吾・小田勝也・吉田誠・三藤正明 (2004c): PVC 遮水シートの突起物貫入に対する変形破断プロセス, ジオシンセティックス技術情報, 20 巻, 1 号, pp. 18-23.
- 近藤三樹郎・狩野真吾・渡辺克也・岩井 勉・永治勇吉 (2003): 遮水シートの折れ曲がり性能, ジオシンセティックス論文集, 18 巻, pp. 33-40.
- 近藤三樹郎・小田勝也・狩野真吾・篠 幸次・佐藤晶英 (2004): 海面処分場遮水シートの折れ曲がり破断特性試験, 第 38 回地盤工学研究発表会発表講演集 (印刷中).
- (財)港湾空間高度化センター(現(財)港湾空間高度化環境研究センター)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, 86 p.
- (社)日本埋立浚渫協会 (2001): 廃棄物海面処分場の施工要領(案), 216 p.
- 外山進一・松永康男 (1995): 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その 2)被災状況一岸壁, 防波堤, 海岸保全施設一, 港研資料, 813 巻, pp. 51-75.