

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。

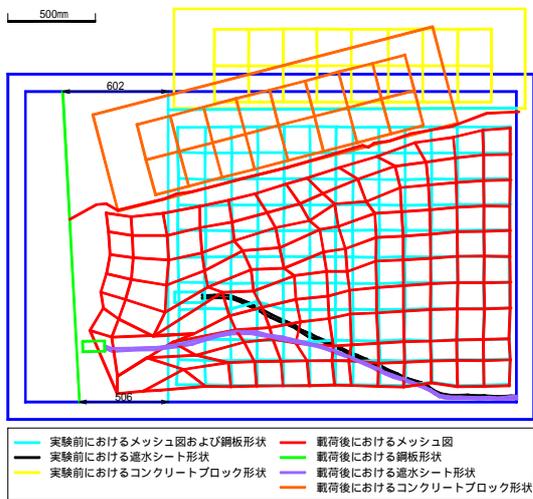
(3) ケース B-3

鋼板の変位により、背後地盤は主働崩壊による変形が発生した。第2ステップ終了時において、地盤内のターゲットの移動の有無から推定した廃棄物層の主導崩壊面は水平面から約60°だった。これは、上述のクーロンの土圧理論に基づく主働崩壊角(63°)とほぼ一致する。図-6.3に実験終了後の地盤の変形状態を示す。裏込層が天端から法肩部にかけて大きく崩れている様子がわかる。

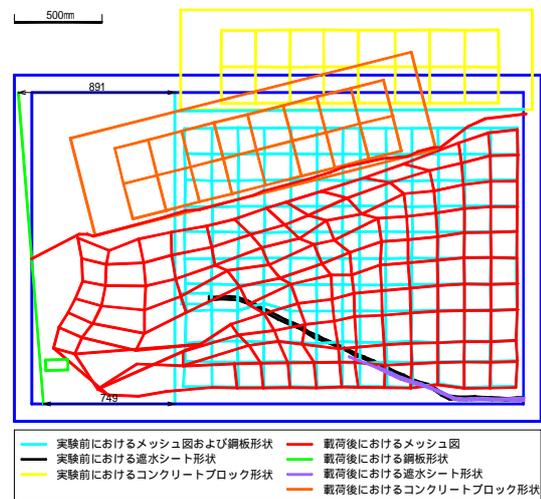
図-6.4に地盤内ターゲットの移動量を基に作成した地盤の変形図を示す。図-6.4(a)は第23ステップ終了時(鋼

板の背後地盤表面における変位：約60cm)の地盤状態を示し、図-6.4(b)は載荷終了時(鋼板の背後地盤表面における変位：約90cm)の地盤状態である。鋼板の変位に伴い、裏込層および鋼板に近い廃棄物層では地盤の崩壊が進んだ。廃棄物層表面の沈下量は鋼板に近づくに従って大きくなり、最大沈下量は約70cmだった。一方、裏込層の底部および廃棄物層の後方最深处付近のターゲット移動量は小さく、地盤がほとんど変形していないことがわかる。これは実験における土槽と地盤の境界条件によるもので、実際の護岸変形に伴う地盤の変形挙動とは異なる可能性がある。

6.2 遮水シートのひずみについて

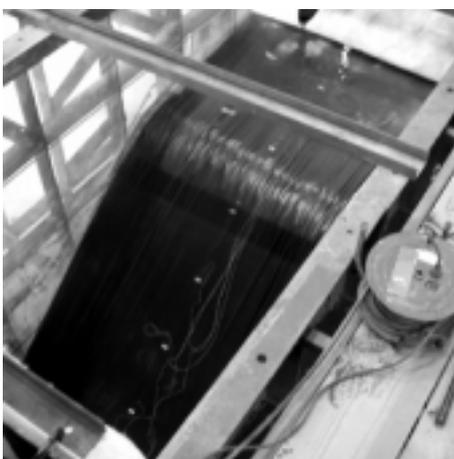


(a) 第23ステップ終了時

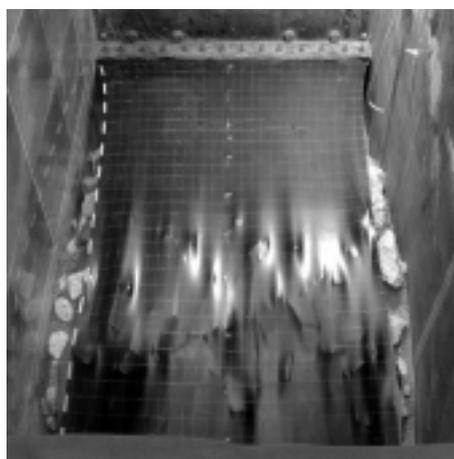


(b) 最終ステップ終了時

図-6.4 ケースB-3の地盤変形図



(a) ケースB-1



(b) ケースB-2



(c) ケースB-3

図-6.5 実験後の遮水シート

(1) ケース B-1

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-6.5(a)に示す。目視による観察の結果、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-6.6に示す。なお、図中のひずみは付録Aの式(A3)によって補正した値である。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、各値は剛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。実験終了後、遮水シートには法肩部付近で最大約50%、法尻部で約10%のひずみが発生した。また、鋼板の変位量が150 mmと300 mmの時点でのひずみを比較すると、天端および法肩でのひずみ増分は約20%であるのに対し、

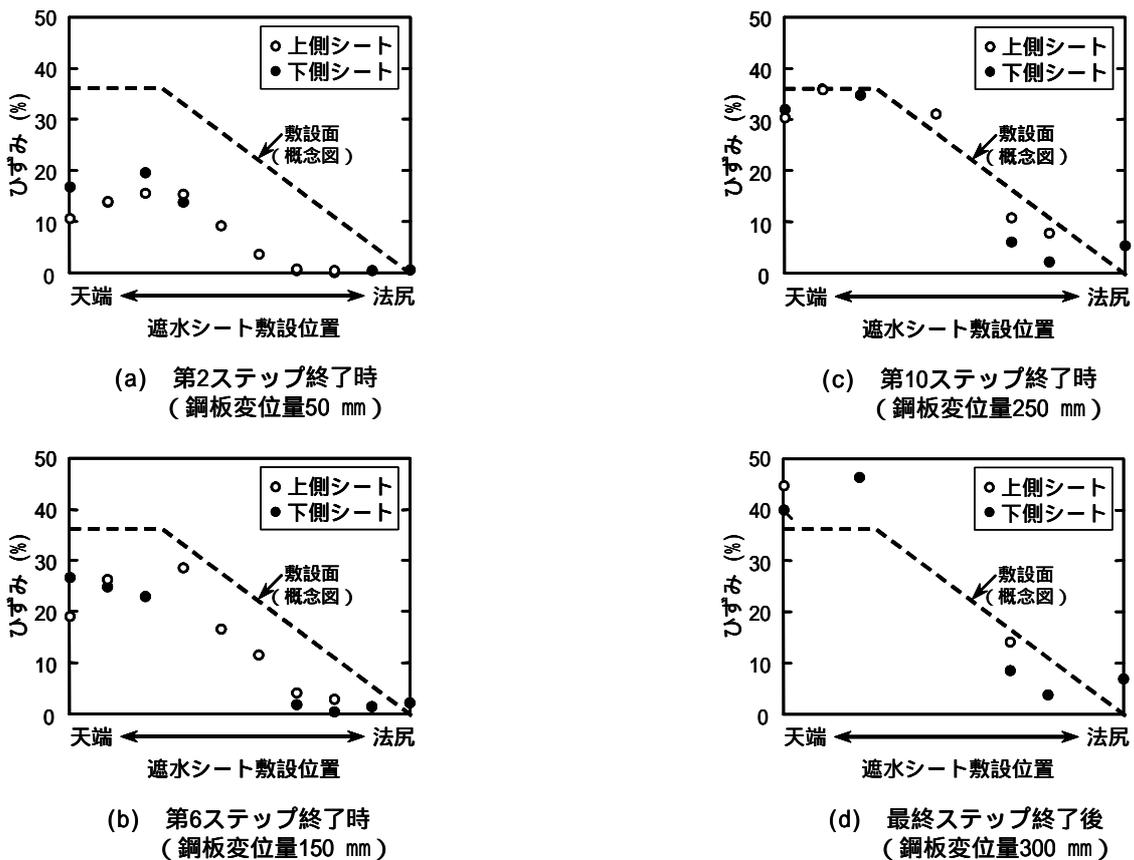


図-6.6 ケースB-1のひずみ分布

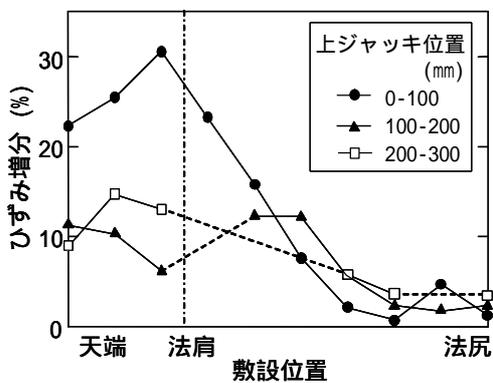


図-6.7 ケースB-1のひずみ増分分布

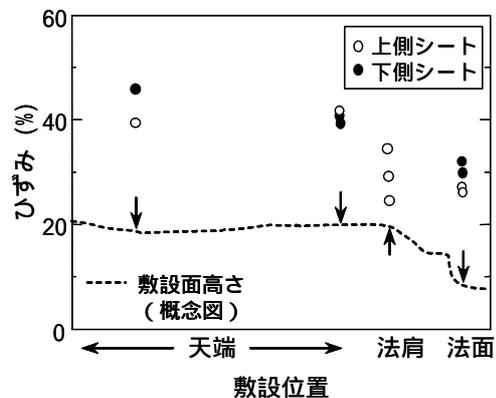


図-6.8 ケースB-2のひずみ分布

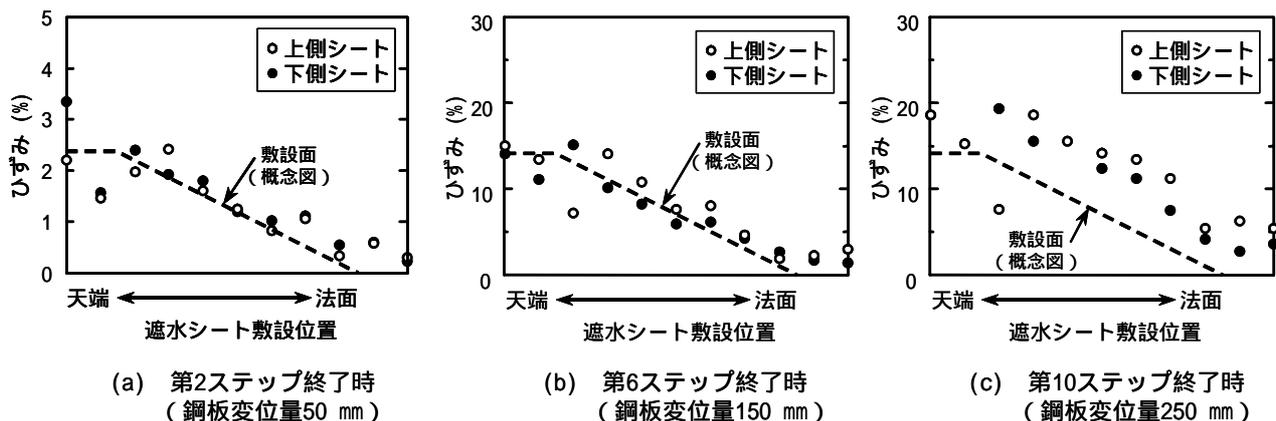


図-6.9 ケースB-3のひずみ分布

法尻でのひずみ増分はせいぜい数%である。このことから、遮水シートの変形は天端や法尻付近において顕著であることがわかった。

場所による遮水シートの伸び挙動の違いは図-6.7でさらに顕著に見ることができる。なお、図中のひずみ値は2枚の遮水シートの平均値を示している。背後地盤表面における鋼板の変位がそれぞれ実験開始から100 mm、200 mm、300 mmの各段階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)として求めた結果、初期および最終段階では法尻部におけるひずみ増分がもっとも大きかった。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-6.2)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、遮水シートは法尻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倍のひずみが法尻部で発生したことになる。

(2) ケース B-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-6.5(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

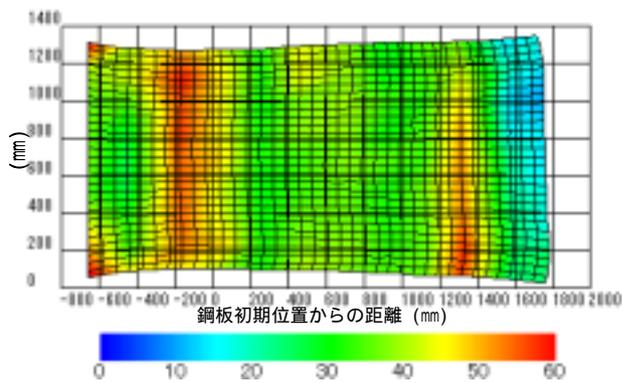
められなかった。また、天端部では遮水シートに最大で約12 cm、不織布に最大で約15 cmのネッキングが発生した。

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。

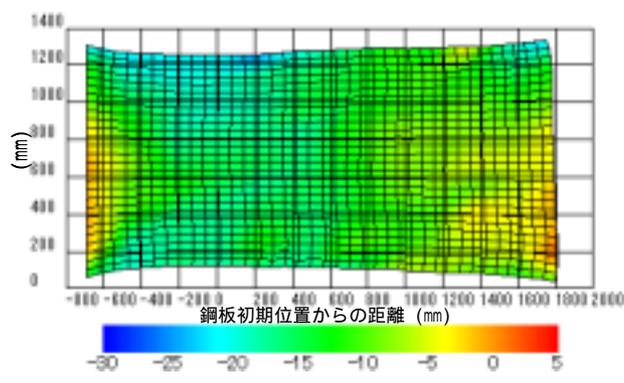
実験後に遮水シートに描かれた格子線の長さからひずみを算定した結果を図-6.8に示す。ひずみは天端において最大(40%以上)となり、法尻方向に向かって減少する傾向がみられた。法尻部における変形量は鋼板近傍より小さく、ケース B-1 から予想された法尻部における局所変形が顕著ではない。これは、法尻付近は裏込突起によって変形を受けた不織布との摩擦が大きく遮水シートの変形が拘束されたことによる。ただし、図-6.8に示したひずみは廃棄物層を除去した後での値であるため、廃棄物層の上載荷重が作用している実験中は上載荷重により遮水シートがたわみ、これよりさらに大きなひずみが発生していると考えられる。

(3) ケース B-3

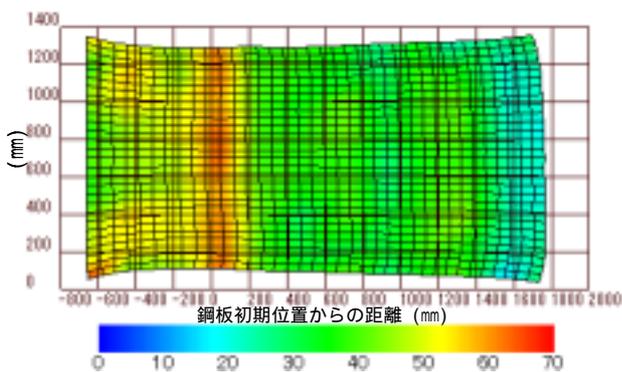
遮水シートは鋼板の変位によって引っ張られ、さらに地盤の変形に追随することによって変形した。すなわち、鋼板の変位が進行するにつれて裏込層の天端が崩壊し、遮水シートはそれに追随するように上端部が下方に変位した。実験終了後、廃棄物層を除去した時の上側(廃棄物層側)遮水シートの写真を図-6.5(c)に示す。目視による観察の結果、遮水シート2枚、不織布3枚ともに引っ張りや地盤不陸の突起による損傷は認められなかった。また、ネッキング現象は裏込層の天端において顕著であり、遮水シートは最大で約15 cm、不織布は最大で約24 cm、



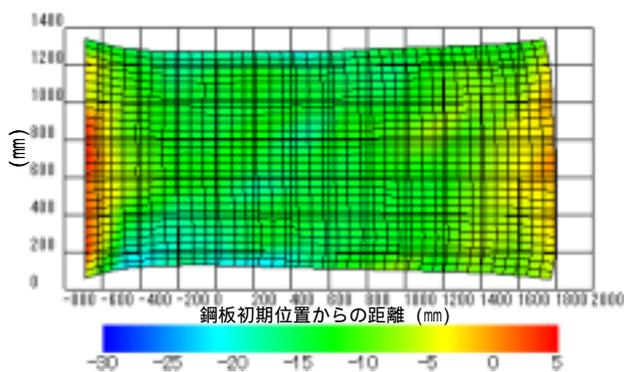
(a) 廃棄物層側（上側）



(a) 廃棄物層側（上側）



(b) 裏込層側（下側）



(b) 裏込層側（下側）

図-6.10 遮水シートの二次元ひずみ分布（Y方向）

図-6.11 遮水シートの二次元ひずみ分布（X方向）

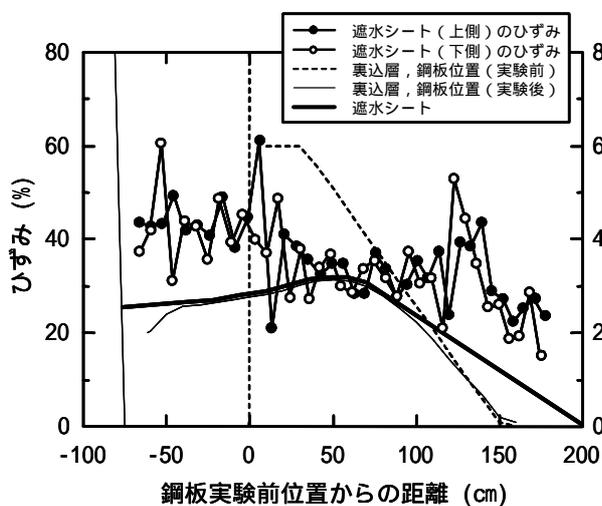


図-6.12 Y方向のひずみ分布

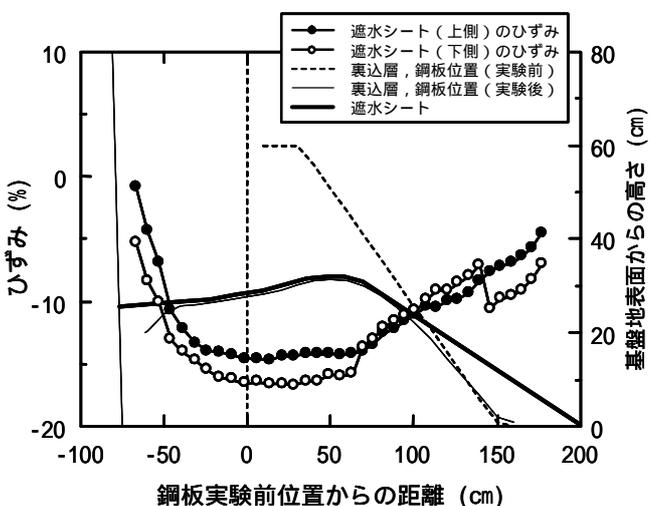


図-6.13 X方向のひずみ分布

幅が減少した。

図-6.9 に第 2 ステップ，第 6 ステップ，第 10 ステップ終了時におけるひずみゲージの計測結果を示す。模型作成時から実験開始までの間に遮水シートに発生したひずみは約 1% だった。図中のひずみはこの値を差し引いており，鋼板の変位によって発生したひずみを表している。計測の結果，ひずみは天端および法肩部において大

きく，鋼板から離れるに従って減少した。また，2 枚の遮水シートのひずみの値はほぼ等しかった。なお，第 6 ステップ以降はひずみゲージの配線が断線する箇所が増加し，最終ステップ時のひずみは計測することができなかった。

実験終了後の遮水シートの変形状態について，遮水シート面上の計測線の格子点間隔から算定した二次元ひ

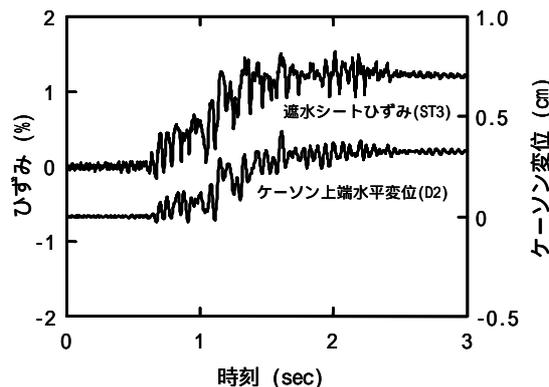
ずみ分布を図-6.10および図-6.11に示す。図中のX方向、Y方向はそれぞれ、模型の奥行き方向と土槽長手方向を表す。また、図-6.12および図-6.13はひずみの模型奥行き方向の格子点間隔長の平均値を模型断面図とともに示したものである。Y方向のひずみは鋼板に近い領域で大きく、その値は2枚のシートともに最大で約60%だった。また、それらの箇所は実験後のネッキングが顕著な箇所であり、X方向のひずみが最も小さい領域と一致した。ここで、横軸が約80cmから約180cmの間の領域は廃棄物層が除去されたため上載荷重がなくなり、遮水シートが裏込層から浮き上がった状態となった。そのため、この領域のひずみは最終ステップ終了時のひずみとは必ずしも一致しない。

7. 管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動に関する考察

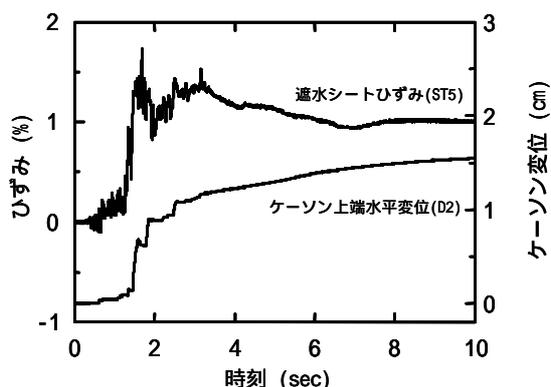
本章では、模型振動実験ならびに静的載荷実験から得られた知見を基に、地震時のケーソンの変形と遮水シートの挙動との関係、地盤の変形と遮水シートの挙動との関係、および二重遮水シートの地盤への追従性について考察する。

7.1 ケーソン変位と遮水シートの変形挙動との関連性

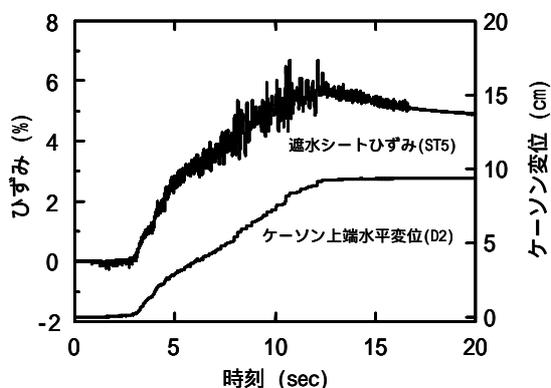
模型振動実験について、ケーソン上端の水平変位と遮水シートの加振時ひずみが最大であった計測箇所のひずみ時刻歴とを比較した結果、ケーソン変位の発生時刻と遮水シートのひずみの発生時刻は一致し、波形のピークもほぼ一致した(図-7.1)。また、図-7.2は、大船渡波による加振時のケーソン上端の水平変位と法肩部における遮水シートのひずみの値を両軸にプロットしたものであるが、両者の間には正の相関が見られた。これをケースA-1の大船渡波、ケースA-2の八戸波、ケースA-3の模擬波について遮水シートの全範囲について検討した結果、正の相関がもっとも強く現れたのは天端から法面上部にかけてであった(図-7.3)。法面および底面での相関性は各入力波ともに低かったが、あるいは正の相関が見られなかった。また、ケーソンの変位を計測した上下端、前背面のうち遮水シートのひずみ時刻歴との相関性をもっとも高いのは、ケースA-1およびケースA-2では上端の水平変位であり、ケースA-3では前面の鉛直変位であった。なお、ケースA-3の上端の水平変位も前面の鉛直変位と同様に高い相関性を示した。このことから、天端から法面上部における遮水シートのひずみとケーソン上端の水平変位とは、入力波の種類や模型断面の相違



(a) ケースA-1, 大船渡波



(b) ケースA-2, 八戸波



(c) ケースA-3, 模擬波

図-7.1 ケーソン変位と遮水シートのひずみの時刻歴比較

によらず地震時の変形挙動に対する相関性が高いと考えられる。

7.2 地盤変位と遮水シートの変形挙動との関連性

模型振動実験について、図-4.6の地盤変位ベクトル図から、背後地盤の遮水シート敷設近傍において変形が顕著なのは、ケーソン直背後の廃棄物層および裏込層の法肩部付近であった。これらの箇所は、ケーソンの変位に

伴って海側へ移動しながら沈下している．加振後におけ

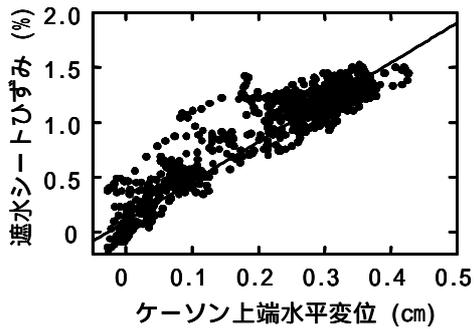


図-7.2 ケーソン変位と遮水シートのひずみの関係 (ケースA-1, 大船渡波, 天端法肩付近)

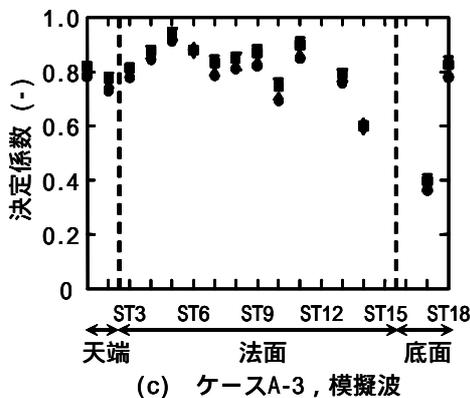
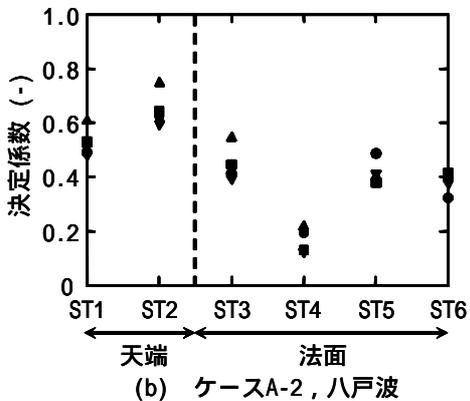
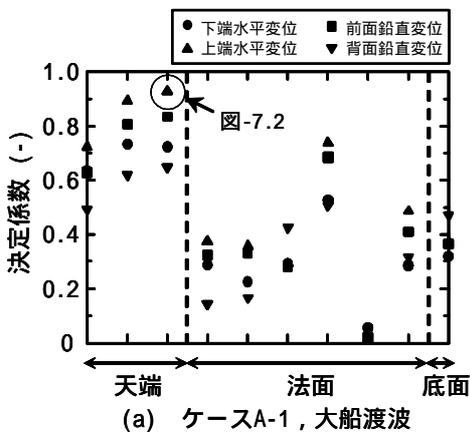


図-7.3 ケーソン変位と遮水シートのひずみの相関性

る遮水シートの残留ひずみをもっとも顕著なのは法肩から法面上部にかけてであるが、これは同箇所における地盤変位が遮水シートの変形に関連した結果であると考えられる。

また、遮水シート端部をコンクリート方塊で固定したケースA-2, A-3について、実験後の目視による観察の結果、コンクリート方塊は実験前に比べて若干動いた形跡が認められた(図-7.4)。しかし、遮水シートの固定代の長さが実験前後でほとんど変化しなかったことから、コンクリート方塊の移動は地盤の沈下によるものと考えられ、遮水シートが地震動により引き抜かれることはなかった。このことから、遮水シートは地震時、地盤と一体となって変形したと考えられる。



(a) 実験前



(b) 実験後

図-7.4 遮水シート固定端の実験前後の様子 (ケースA-3)

7.3 遮水シートの地盤への追随性

地震時、護岸変位ならびに地盤変位に伴って遮水シートが変形する際、地盤への追随性が低いと遮水シート下部に空隙が発生しやすくなる。そのような状態で遮水シートに荷重が作用した場合、空隙直上の遮水シートは荷重によって局所変形を受け、シートの破断や損傷等、遮水機能の低下につながる可能性がある。そのため、地震動による護岸変形後も遮水機能の健全性を維持するためには、遮水シートは地盤の変形に追随することが望ましい。ここでは、遮水シート端部の固定条件について着目することにより、地震時の遮水シートの地盤への追随性



(a) ケースB-1, 第4ステップ終了時



(b) ケースB-2, 最終ステップ終了時

図-7.5 遮水シート下部の空隙

表-7.1 空隙部の二重遮水シートにかかる上載圧

ケース	空隙上部の廃棄物層体積 (m ³)	碎石による鉛直荷重 (kN)	空隙面積 (m ²)	上載圧 (kPa)
B-1	0.263	4.73	1.05	4.50
B-2	1.75	31.5	1.68	18.8

* 単位体積重量18(kN/m³)として計算

を検討する。

実際の廃棄物海面処分場では、遮水シートの施工性の向上や廃棄物処分時に遮水シートを安定させる等のために、遮水シートは天端において護岸あるいは裏込層天端に固定する場合が多い。たとえば、日本埋立浚渫協会発行「廃棄物海面処分場の施工要領(案)」(2001)では、コンクリート方塊や屯袋による天端固定の方法が示されている。

模型振動実験では、遮水シートの上端部を固定しないケース(ケース A-1)と、コンクリート方塊によって固定したケース(ケース A-2, A-3)を行った。ケース A-1 では遮水シートの変形は地盤の変形に追従することによ

り発生すると予想された。実際、地盤内ターゲットの移動量に基づく地盤変位と遮水シートのひずみ分布を比較することで、両者の関連性が定性的に確認できた。さらに、遮水シートはケーソンに固定していないにも関わらず、加振中の変形挙動はケーソンの水平方向の変形挙動と相関性が高かった。一方、ケース A-2 およびケース A-3 では、遮水シートの残留ひずみは法面上部付近でもっとも大きく、天端および法尻に向かうにつれて減少する傾向が見られた。加振後の背後地盤は法面上部で大きく変形しており、このことが遮水シートのひずみに影響を及ぼしたと考えられる。全ケースともに遮水シートは地盤によく追従し、模型断面の観察および遮水シート撤去時の観察では遮水シート下部に局所変形が発生しうるような空隙は存在しなかった。

一方、静的載荷実験では、遮水シートの端部は鋼板にボルトで固定したケースと、鋼板側面上を上下方向にスライド可能な治具に固定したケースを行った。実際の重力式護岸構造物を想定した場合、前者はケーソンに固定した場合に相当し、後者はコンクリート方塊等によって固定した場合に相当する。その結果、端部を鋼板にボルトで固定したケースでは鋼板直背後の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(図-7.5)、廃棄物層の全重量を二重遮水シートが支える現象が起こった。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-7.1 の通り計算される。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 シートの破裂時水圧は約 200 kPa であった。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シートの端部を動かないように構造物に固定することは少ないと考えられるが、仮に同様の現象が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。

以上の結果より、遮水シートの地盤への追従性を損なわないためには、遮水シートの天端端部はケーソン等の護岸構造物からなるべく切り離し、固定端を裏込層天端上に設置することが望ましい。その際、ケーソンの変形に伴う裏込層天端の変形・崩壊によって処分場内の有害物質が外海へ流出するのを防ぐため、天端長は十分に確保し、また、変形後の天端高が管理水位を下回らないよう注意することが必要である。

8. まとめ

本研究では、地震動作用時の護岸変形が遮水シートの変形に及ぼす影響を把握するため、遮水シートを用いた遮水工を有する重力式護岸形式の管理型廃棄物埋立護岸を対象とした模型実験を行った。その結果、以下に示す事項が明らかになった。

(1) 模型振動実験の結果、加振中に遮水シートに発生するひずみは場所によって異なり、振動に伴う最大ひずみは裏込法肩から法面上部において発生した。また、これらの箇所のひずみの時刻歴はケーソン上端の水平変位の時刻歴と相関性が高いことがわかった。

(2) 模型振動実験における加振後の遮水シートの残留ひずみは、裏込法肩から法面上部において顕著だった。目視による観察の結果、遮水シートは地盤と一体となって変形したこと、および背後地盤のターゲット移動量の計測結果から、遮水シートの残留ひずみ分布は背後地盤の変形に追従した結果であることが明らかになった。

(3) 静的載荷実験において鋼板が変位した結果、背後地盤は大きく変形・崩壊し、それに伴い二重遮水シートにも変形が生じた。その際、2枚の遮水シートに発生したひずみがほぼ等しかったことから、2枚の遮水シートは一体となって変形したことがわかった。

(4) 静的載荷実験において、二重遮水シートの地盤への追従性は天端の固定条件によって変化し、地盤に追従して変形した場合、約90 cmの鋼板変位に対して遮水シートには局所的に最大約60 %のひずみが発生したが、シートは破断しなかった。これにより、地盤の変形時の二重遮水シートの健全性が確認された。

(5) 地震時において、遮水シートの天端端部をケーソン等の護岸構造物から切り離し、固定端を裏込天端上に設置することにより、遮水シートの地盤への追従性が損なわれないことが明らかになった。

これらの結果は、極大地震動を考慮した管理型廃棄物埋立護岸の耐震性能設計法を開発する際の基礎資料となると考えている。

9. おわりに

本研究で得られた結果は、遮水シートを用いた遮水工を有する重力式護岸形式の管理型廃棄物埋立護岸について、地震動作用時の護岸変形が遮水工の遮水機能の健全性に及ぼす影響を検討するうえで貴重なデータである。とくに、地震時におけるケーソンならびに地盤の変形と遮水シートの変形挙動との関連性について検討する際に

非常に有効である。

今後は、地震動作用時の護岸および遮水シートの変形挙動を評価するための動的解析を行い、模型実験結果のシミュレーションを行う。さらに、模型実験および数値解析の結果を基に、モデルサイトにおける管理型廃棄物埋立護岸の極大地震動を考慮した試設計を行う予定である。

(2005年5月30日受付)

謝辞

本研究の遂行にあたり、独立行政法人港湾空港技術研究所 菅野高弘構造振動研究室長、野津厚主任研究官ならびに小濱英司主任研究官には適切なるご指導を頂きました。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- S. Iai (1988): Similitude for shaking table tests on soil-structure-fluid model in 1g gravitational field, Report of the Port and Harbour Res. Inst., Vol. 27, No. 3, pp. 3-24.
- Irikura, K. (1986): Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's functions, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., pp.151-156.
- 狩野真吾, 諸星一信, 小田勝也, 近藤三樹郎 (2003): 廃棄物海面処分場遮水工に用いられる遮水材の変形強度特性, 国土技術政策総合研究所資料, No.124, 23p.
- 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明 (2004a): 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, 海岸工学論文集, Vol. 51, pp.796-800.
- 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地震時変形特性, 第15回廃棄物学会講演論文集, pp.1131-1133.
- 狩野真吾, 諸星一信, 小田勝也 (2004c): 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, 国土技術政策総合研究所資料, No.142, 154p.
- 狩野真吾, 小田勝也, 近藤三樹郎 (2005a): 水圧膨張実験における遮水シート・不織布の変形強度特性に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.213, 22p.
- 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明, 秋本哲平 (2005b): 管理型廃棄物埋立護岸の動的挙動に関する模型振動実験, 第40回地盤工学研究発表会発

表講演集（印刷中）。

狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明（2005c）：管理型廃棄物埋立護岸の地震時変形挙動に関する模型振動実験，海洋開発論文集，Vol.21（印刷中）。

狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明（2005d）：管理型廃棄物埋立護岸の地震時挙動に関する実験的研究，第28回地震工学研究発表会（印刷中）。

狩野真吾，小田勝也，吉田誠，三藤正明，秋本哲平（2005e）：管理型廃棄物埋立護岸遮水シートの模型振動実験，第60回土木学会年次学術講演会（印刷中）。

環境省総合環境政策局（2004）：環境統計集（平成16年版）。

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，Vol.18，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39回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.643-644。

（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，86p。

（社）日本埋立浚渫協会（2001）：廃棄物海面処分場の施工要領（案），216p。

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 - 岸壁、防波堤、海岸保全施設 - ，港湾空港技術研究所資料，813巻，pp.51-75。