

55. 廃棄物海面処分場からの汚染物質漏洩防止機構に関する検討

A study on the sealing structure of a waste disposal site at sea

高木克実*, 大川賢紀*, 荒木健二**, 池末俊一***, 長澤大次郎****

Katsumi TAKAGI, Katsunori OOKAWA, Kenji ARAKI, Syunichi IKESUE, Daijiro NAGASAWA

ABSTRACT: Leaked pollutant from a waste disposal site at sea might cause a wider environmental problem of sea pollution. Recently, the requirements on such waste disposal are increased. However, the technical manual for the construction of them still has problems.

Last year, authors showed that the new structure of caisson type seawall, which has a solid reticulation formation resin and seepage control materials filling the gaps in the rubble, has a high sealing performance.

In this study, we pointed to the boundaries between rubble mound and caisson and between rubble mound and ground, and joints between caissons. Furthermore we noticed the sealing performance of them under seismic behavior.

Based on test results and advection dispersion analysis, it was predicted that its sealing performance would keep a high performance under seismic condition and be sufficient even if it was added 100 years later.

KEYWORD: waste disposal site at sea, caisson, joint, earthquake

1 はじめに

廃棄物海面処分場からの汚染物質の漏洩は、その周辺だけでなく海域汚染という広範囲の環境問題に発展する可能性があることから、近年その要求性能が厳しくなっている。

昨年度の研究では、重力式護岸構造において汚染物質の漏洩が懸念されるマウンド部に非水溶性遮水材料を充填することにより、遮水性能が十分確保されることを実験的に検証した。¹⁾ しかしながら、護岸全体系の遮水性能を適切に評価するためには、さらにケーソン間の縦目地部やマウンド内の遮水層およびケーソン、海底地盤との境界部の遮水性能を把握する必要がある。

そこで、本研究においては、それらの問題点に着目し、さらに護岸の遮水性の確保が最も困難となると考えられる地震を想定した検討を行い、より環境汚染に対するリスクを低減させた廃棄物処分場の提案を行う。具体的には、縦目地構造について、アスファルトマスチック・粘性土・波板鋼板を組み合わせた新たな構造形式を提案し、レベル2地震時の縦目地部における変形追従性能を評価した。マウンド部については、マウンド内の遮水層とケーソン・海底地盤との境界部の遮水性能を要素試験で確認した。また、ケーソン縦目地及びマウンド部を含む全体系モデルを用いた遮水実験により、提案した構造の遮水性能を検証した。さらに、同試験で考慮されていない地震時の遮水性能の低下については、要素試験の結果を用いた数値解析により評価した。

その結果、地震時に発生すると考えられる損傷時においても信頼性の高い遮水構造が実験的にも確認され、廃棄物海面処分場からの汚染物質漏洩防止機構として本構造の有用性を示した。本研究の成果は、海洋汚染防止の一助になると考える。

* 三菱重工業株式会社 高砂研究所 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd Takasago Research & Development Center

** 三菱重工業株式会社 横浜製作所 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd Yokohama Dockyard & Machinery Works

***三菱重工業株式会社 広島研究所 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd Hiroshima Research & Development Center

****財団法人 港湾空間高度化環境研究センター Waterfront Vitalization and Environment Research Center

2 縦目地部に関する検討

2.1 新型継ぎ手構造

一般にケーソンは耐用期間中に地震・波浪および地盤変形の影響をうけて移動するため、縦目地部には相対変位が生じる。しかし、現状はゴムシート等の簡単な構造であるため劣化等の問題が懸念される。近年、目地部にアスファルトマスチックを用いた構造が採用されつつあるが、地震・波浪に伴う短期変動に対する追従性に課題がある。

そこで、図 2.1 に示す新型の継ぎ手構造を考案した。本構造はアスファルトマスチック、粘性土および波板鋼板より構成されており、表 2.1 に示す各材料が互いに補完することで信頼性の高い遮水構造となる。本構造の利点を下記に示す。

- ・ 長期変動(地盤変動)に対してはアスファルトマスチックが追従し、短期変動(地震・波浪)に対しては波板鋼板により遮水。
- ・ 波板鋼板の許容変形を超えた場合、粘性土に上載圧を負荷し、隙間を充填することで遮水。
- ・ アスファルトマスチック損傷時は、波板鋼板＋粘性土でバックアップし、その間に加熱処理による修復を実施。

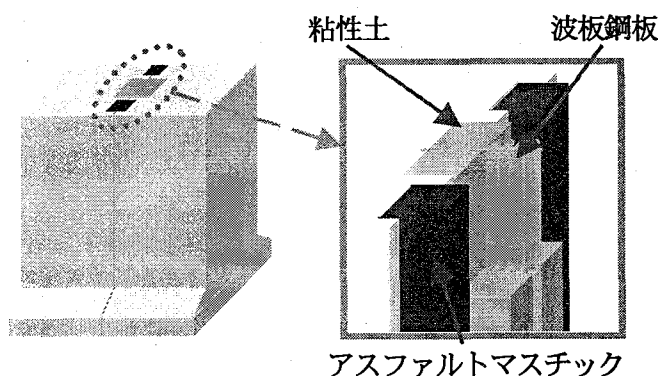


図 2.1 新型継ぎ手構造概略図

表 2.1 新型継ぎ手構造材料の特徴

材料名	アスファルトマスチック	粘性土	波板鋼板
遮水性	○ 境界: 10^{-9} cm/sec	○ 10^{-6} cm/sec	◎ 不透水
長期変動 追従性	◎	○ 塑性流動	○ 塑性変形
短期変動 追従性	×	○ 塑性流動	○ 塑性変形
修復性	○ 加熱	○ 上載圧	×

2.2 継ぎ手部追従性確認試験

新型継ぎ手構造の性能を確認するため、縦目地を有したケーソン模型を作成し、目地部の相対変位を付与し、透水試験を実施した。作成したケーソン模型は実機の 1/7 スケールであり、ケーソン間の相対変位は実機換算で 50cm と想定した。

図 2.2 に変形追従性の確認試験概要を示す。試験では、ケーソン模型を固定した M16 ナットを移動させることで、ケーソンの傾きを変化させたが、相対変位 20mm 付近で抵抗が大きくなったため、5t 油圧ジャッキ 4 本を用いて変形を与えた。変形状況を図 2.3 に示す。

本試験より、実機換算で 50cm の相対変位に充分追従可能であることを目視により確認した。さらに後述の検証試験にて漏水が無いことを確認した。また、本継ぎ手構造では、アスファルトマスチックがケーソン間の相対変位を抑制する働きを期待できるため、今後、さらに本継ぎ手構造におけるケーソン間の接着効果について、詳細な検討を実施する予定である。

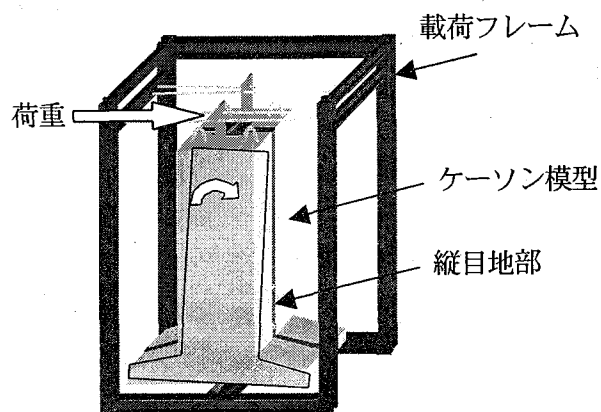


図 2.2 新型継ぎ手の変形追従試験概要

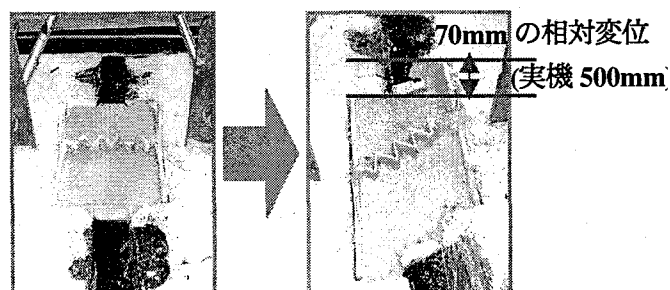


図 2.3 新型継ぎ手の変形状況

3 マウンド部に関する検討

3.1 遮水型マウンド構造

管理型廃棄物埋立護岸には、海洋への汚染物質の漏洩を防止する機能が要求される。しかし、現状のケーソン式護岸は、下部に碎石を積上げたマウンドにより支持されているため、碎石間を水みちとした漏洩が懸念される。また、前述のようにケーソンに作用する地震・波浪および地盤変形に伴いマウンド部にも相対変位が生じる。したがって、ケーソン式護岸を管理型廃棄物埋立護岸として適用するためには、マウンド部の遮水性能を確保する必要がある。

そこで、図 3.1 に示す遮水型マウンド構造を提案する。本構造は、ケーソンの相対変位に追従可能な非水溶性遮水材料をマウンドの空隙中に充填することにより、遮水性能を確保するものである。本構造の特徴を下記に示す。

- ・ 遮水材料と付着性の高い層をマウンド中に作成し、遮水性能を高める。
- ・ マウンドと海底地盤間の付着性を高めるために、アスファルトマスチックを海底地盤上に敷設する。

3.2 マウンド部遮水性確認試験

遮水型マウンド構造の遮水性能を確認するために実施した要素試験条件および試験結果を表 3.1 に示す。ここでは、遮水材と海底・ケーソンとの境界部および地震によるせん断変形を想定した透

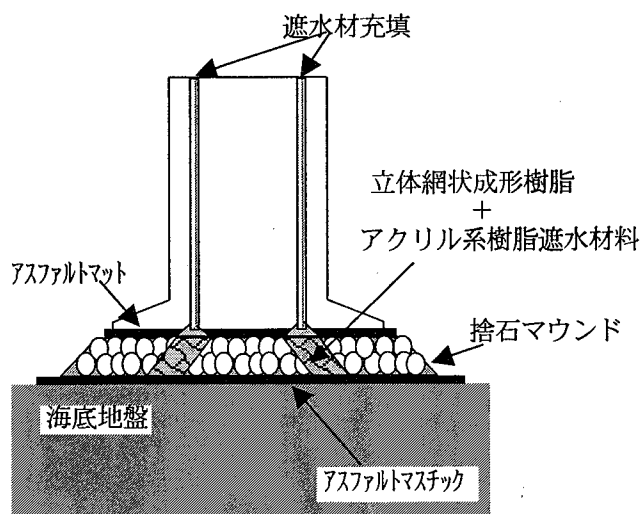


図 3.1 遮水型マウンド構造

水試験を実施した。透水試験の水圧はいずれも水位差 3m に相当する 0.03MPa とした。

マウンド下の境界部について、遮水材と海底地盤（改良地盤を想定しモルタル材料を使用）に加えて、海底地盤上にアスファルトマスチックを敷設することを考慮し、モルタルとアスファルトマスチックの境界部についても評価した。また、ケーソンの地震応答解析より地震時のケーソン相対変位（ケーソン幅の 5%）を推定し、遮水材とアスファルトマツの境界部を 1 度はがしたものの、遮水材料充填部にせん断ひずみを与えたものについても遮水性能を確認した。

表 3.1 に示すように、遮水材料自体は圧縮・せん断の両ひずみに対しても十分な柔軟性を有しており、透水係数 10^{-6} cm/sec のオーダーを確保できることを確認した。表 3.2 に示すように、境界部は、アスファルト系材料の付着性が良好であり、地盤上にアスファルトマスチックを敷設することにより、遮水性能を向上できることが確認できた。

表 3.1 遮水材料での要素試験結果

試験対象		透水係数 (cm/sec)	備考
ひずみ	圧縮 3%	3.32×10^{-6}	
	せん断 5%	5.81×10^{-6}	圧縮 3%後に実施

表 3.2 境界部透水試験結果

試験対象		接地圧 (MPa)	透水量係数 (cm ² /sec)	備考
試験型	As マツ -遮水材	0.153	3.57×10^{-3}	地震を想定し、1 度はがして実施。
	As マスチック -モルタル	0.153	—	透水試験は無負荷で実施
	遮水材 -モルタル	0.153	1.02×10^{-4}	

4 ケーソン模型を用いた検証試験

ここでは、2章および3章で提案されたケーソン縦目地部とマウンド部の全体系での遮水性能を確認するため、図4.1に示す装置を用いてケーソン模型透水試験を実施した。

ケーソン模型は2章と同一のものを用いており、マウンド部分の構造は図3.1に準じた構造とした。また、実際に作用する3m相当の水位差を付与するために、ケーソン模型の上流側（図4.1a）の右側）を密閉し水压を付与できる構造とした。

図4.2に水頭差を変化させたときの透水係数の算出結果を示す。このとき、透水係数はダルシー則に従い算出した。この図より、ケーソン式護岸全体の透水係数は 10^{-6} cm/secのオーダーであることが確認できる。したがって、不透水層基準と同等の遮水性能を有するためには、立体網状成型樹脂と遮水材料を約5mに渡り敷設すればよい。

次に検証試験結果を要素試験結果と比較して評価する。要素試験では、ケーソンの相対変位を考慮し圧縮・せん断ひずみを付与した場合や、マウンド部の境界部のズレを想定し、はがした場合について透水試験を実施し、遮水性能の低下度を把握した。

これら要素試験結果に基づいて、与えた損傷度毎に境界部を含めたマウンド部の透水係数を予測すると図4.3のようになる。なお、損傷度は境界部にズレが生じたときの損傷が大きいと考えられるため、以下の3パターンとした。

損傷度 小：圧縮ひずみのみ

損傷度 中：せん断ひずみのみ

損傷度 大：せん断ひずみ+境界部のズレ

検証試験においては、試験モデルを下側より積み上げていったため、マウンド部の圧縮ひずみおよび境界部のズレを模擬した状況となっており、図4.3より、損傷度：中として予測された透水係数と検証試験で得られた透水係数がほぼ同一の値となっているため、要素試験により全体構造を評価可能であることが確認できた。

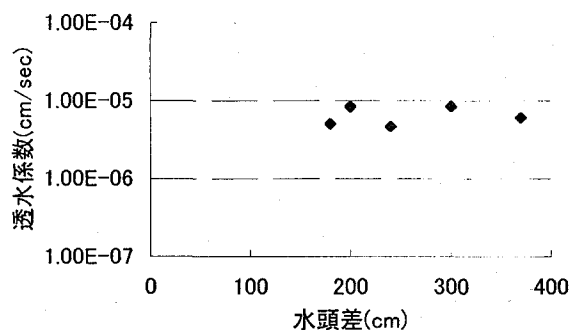


図4.2 ケーソン模型透水試験結果

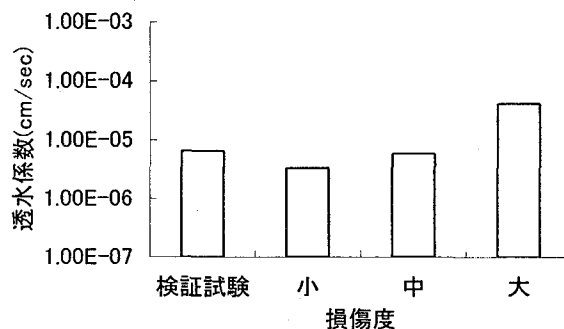
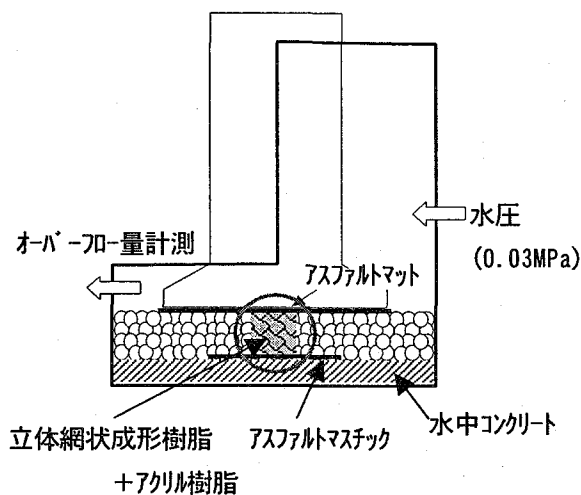
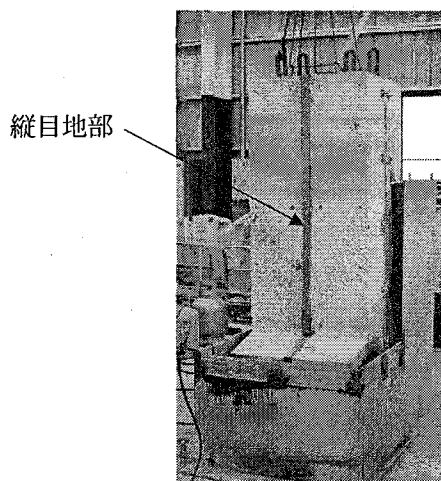


図4.3 損傷レベルと透水係数



a)試験装置の概要図



b)試験状況

図4.1 ケーソン模型透水試験装置および試験状況

5 移流分散解析による評価

検証試験で考慮されていない地震時の遮水性能の低下を評価するため図 5.1 に示す解析モデルを対象として汚染物質の漏洩予測解析を実施した。解析に用いた物性値を表 5.1 に示す。これらの値は、「管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル」²⁾より設定し、ケーソン部・マウンド部については、以下の方法により設定した。

- ・ ケーソン本体は不透水としマニュアル中の矢板継ぎ手の透水係数を目地間長で換算した。
- ・ 地震を考慮したときの要素試験結果を以下の多層地盤の水平方向換算透水係数算出式に代入し算出した（境界層の厚さ：1cm）。

$$k_h = \frac{\sum_i k_i \cdot H_i}{\sum_i H_i} \quad \left(\begin{array}{l} k_h: \text{水平方向の透水係数} \\ H_i: \text{各層の厚さ, } k_i: \text{透水係数} \end{array} \right)$$

尚、上式よりマウンド部は $4.11 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ となるため、不透水基準と同等の遮水性能を有するためには、遮水型マウンド構造を 10m に渡り敷設する必要がある。

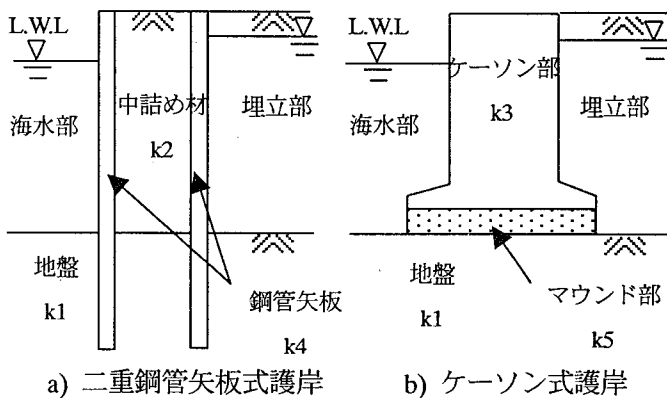
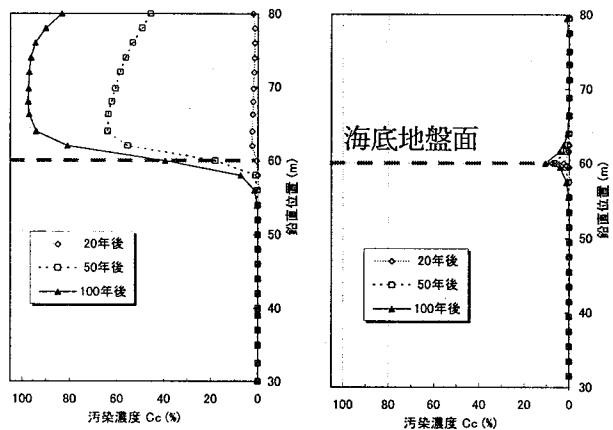


図 5.1 解析モデル

表 5.1 解析に用いた透水係数

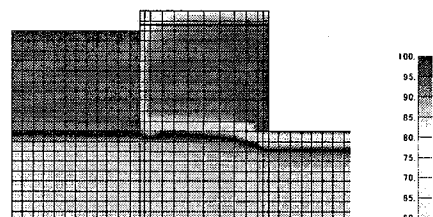
項目	透水係数 (cm/sec)
k1 地盤	1.70×10^{-7}
k2 中詰め砂	1.00×10^{-3}
k3 ケーソン部	5.98×10^{-6}
k4 鋼管矢板	1.93×10^{-6}
k5 マウンド部	4.11×10^{-5}

図 5.2 に海側断面における汚染濃度の鉛直分布を、図 5.3 に 100 年経過後の汚染濃度のコンター図を示す。図 5.2 より、提案したマウンド構造では特にケーソン本体部において汚染の漏洩を抑制することが確認できる。また、図 5.3 においても、提案した遮水型マウンド構造が、従来工法である二重鋼管矢板式護岸に比べて優れた遮水性能を有していることが確認できる。これらの結果から、遮水型マウンド構造により、100 年スケールで汚染物質の漏洩を防止することが可能となる。

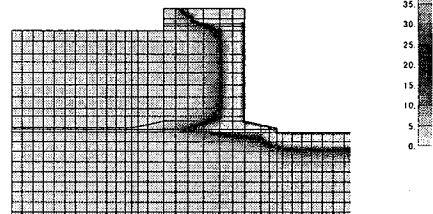


a) 二重鋼管矢板式護岸 b) ケーソン式護岸

図 5.2 海側断面における汚染濃度の鉛直分布



a) 二重鋼管矢板式護岸



b) ケーソン式護岸

図 5.3 100 年経過後の汚染濃度分布

6 おわりに

本検討により、提案した構造の遮水性能が地震時においても信頼性の高い遮水構造であり、100年スケールにわたって汚染物質の漏洩を防止する構造であることが確認でき、汚染物質漏洩防止機構としての本構造の有用性が示された。本構造を廃棄物処分場に採用することによって、海洋汚染防止の一助になると考える。

＜参考文献＞

- 1) 港湾空間高度化環境研究センター(WAVE):管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, 2000
- 2) 荒木健二, 高木克実, 大川賢紀, 長澤大次郎: 廃棄物海面処分場の護岸構造に関する検討, 第11回地球環境シンポジウム講演論文集, pp. 271-276, 2002.