

管理型廃棄物埋立護岸の耐震性に関する模型振動実験

Shaking Table Test on Dynamic Behavior of Seawalls for Controlled Waste Disposal

吉田誠¹, 小田勝也², 狩野真吾³, 三藤正明¹, 秋本哲平¹

Makoto YOSHIDA¹, Katsuya ODA², Shingo KANO³, Masaaki MITO¹ and Tepei AKIMOTO¹

¹ 五洋建設技術研究所, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co. Ltd.

² 国土交通省国土技術政策総合研究所, National Institute for Land and Infrastructure Management

³ 東北大学大学院環境科学研究科, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

SUMMARY: The seismic design method for gravity-type seawalls for controlled waste disposal with water proof sheets has not been established, because a seismic behavior of seawalls for controlled waste disposal using water proof sheets as seepage was not clear. In this study, we conducted shaking table test about gravity-type seawalls for controlled waste disposal on clay ground in a harbor and evaluated quantitatively the deformation of gravity-type seawalls and water proof sheets on a realistic condition. It was assumed that the soft clay ground under the seawalls was improved by sand compaction pile method, and in this shaking table test, we used a simulated earthquake motion as the level 2 earthquake motion in the object harbor.

1 はじめに

環境省の発表によると,平成14年度における一般廃棄物最終処分場の残余年数が約13.1年,産業廃棄物最終処分場の残余年数が約4.5年と推計されており,最終処分場等の廃棄物処理施設の確保が大きな課題となっている。また陸上での最終処分場建設が難しくなる中,地域社会への影響が比較的少ない海面での管理型廃棄物埋立護岸の建設が期待されている。

管理型廃棄物埋立護岸遮水工に要求される性能は,常時安定性だけでなく,地震等の異常時においても護岸内部の廃棄物および保有水が流出せず,浸出しないように遮水性能が確保されることである。しかしながら,地震動が護岸に作用したときの遮水工の挙動が明らかになっていないため,遮水工を考慮した管理型廃棄物埋立護岸の耐震設計に関する明確な規定は存在していないのが現状である。

狩野ら[1],[2]は,管理型廃棄物埋立護岸に関する模型振動実験を実施し,地震時における遮水シートの変形特性を明らかにするとともに,遮水シートの変形が護岸・地盤変形に依存することを明らかにした。

本研究では,粘性土地盤を有する港湾をモデルとして試設計された管理型廃棄物埋立護岸について模型振動実験を実施し,実際に想定される管理型廃棄物埋立護岸について,地震時における遮水シートの変形および護岸の変形を定量的に評価した。なお,護岸直下の軟弱粘性土地盤はサンドコンパクションパイル工法による改良地盤とし,本実験の入力地震動には,対象港湾で想定されるレベル2相当の地震動として模擬波を使用した。

2 実験概要

2.1 対象モデル

検討断面はFig.1に示すような,粘性土地盤上に建設された管理型廃棄物護岸とした。遮水工は2重遮水シート工法とし,中間保護層の層厚を3mとした。護岸直下の軟弱粘性土地盤はサンドコンパクションパイル工法による改良地盤とした。実験対象範囲はFig.1の中の破線で囲まれた部分とした。

2.2 模型の作製

Fig.2に実験断面を示す。模型の縮尺は1/20とした。実験土槽には長さ4m,幅0.8m,高さ2mの箱型の鋼製枠を使用した。管理型廃棄物埋立護岸の地震時の実現象を精度良く再現するために,水中振動台を用いた。護岸前面側と土槽背面側は水が流入できるように,護岸前面側は解放

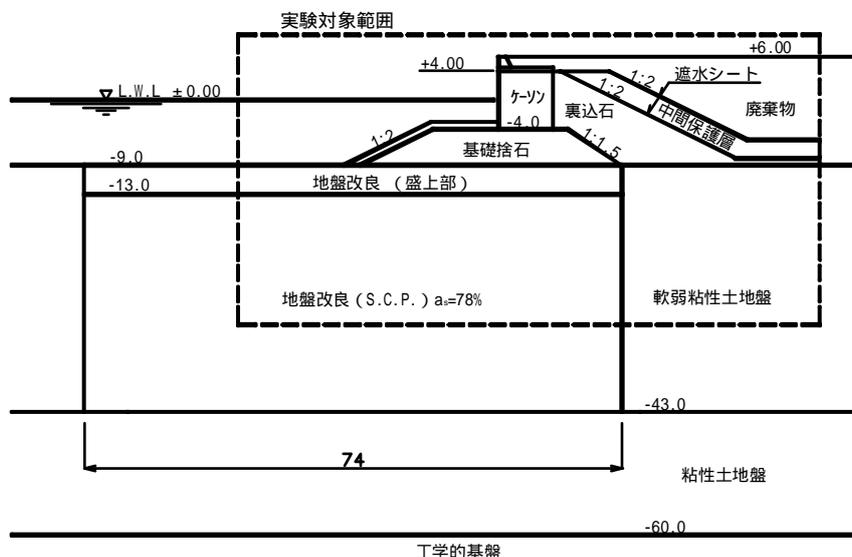


Fig. 1 Design model in section (in m)

し、背面側にはエキスパンドメタルに不織布を貼付したものを使用した。始めに土槽内の所定の位置に加速度計および水圧計を設置した後、模型地盤を作製した。改良地盤は、空中落下法により相馬珪砂5号を投入し、高さ約10cm毎に締固めて相対密度約80%の砂層を作製した。改良地盤完成後、碎石4号により基礎捨石を作製し、その上にケーソン模型を設置した。ケーソン模型背後に碎石6号を投入して裏込を作製し、その上に厚さ0.2mmの軟質PVCシートを設置した。軟質PVCシートは2重とし、シート間には碎石7号により中間保護層を作製した。Table 1に軟質PVCシートの物性値を示す。なおシートには、ひずみを測定するためにひずみゲージを貼付した。また遮水シート上端はコンクリートブロック(30mm×30mm×260mm, 3ヶ)を設置することにより固定し、下端はボルトで土槽に固定した。その上に碎石7号を投入して廃棄物層を作製し、最後に所定の高さまで注水を行った。廃棄物層が液状化すると現象が複雑になるため、廃棄物層には液状化しない材料でなおかつ入手が容易な単粒度碎石7号を使用した。なお、ケーソンの変位を計測するために変位計を所定の位置に設置した。

Table 1 Water proof sheet parameters (JIS A 6008, 1号ダンプル)

試験項目	単位	物性値
厚さ	(mm)	0.2
引張強さ	(kN/m ²)	23,000
伸び率	(%)	300
引裂強さ	(kN/m)	66
弾性係数	(kN/m ²)	6,700

2.3 相似側

模型振動実験では井合により提案されている1G場における相似則[3]を適用した。Table 2に相似則を示す。

Table 2 Scaling factors for 1G shaking tests

パラメータ	実物 / 模型	縮尺
長さ		20
密度	1	1
時間	0.75	9.46
応力		20
間隙水圧		20
変位	1.5	89.4
加速度	1	1
ひずみ	0.5	4.47

2.4 入力地震動

実験に使用した地震動は、レベル2相当の地震動である模擬波(Fig. 3)を工学的基盤に入力して1次元地震応答解析より算定した土槽底板の位置における地震動(Fig. 4)である。模擬波は、半経験的な強震動予測手法である経験的グリーン関数法[4]を用いて、工学的基盤において模擬的に作成された地震波である。なお、実験に使用する地震波形は、地震応答解析より算定した地震波形を、相似則に従い、時間軸を $1/0.75 (=1/9.46)$ に圧縮した。

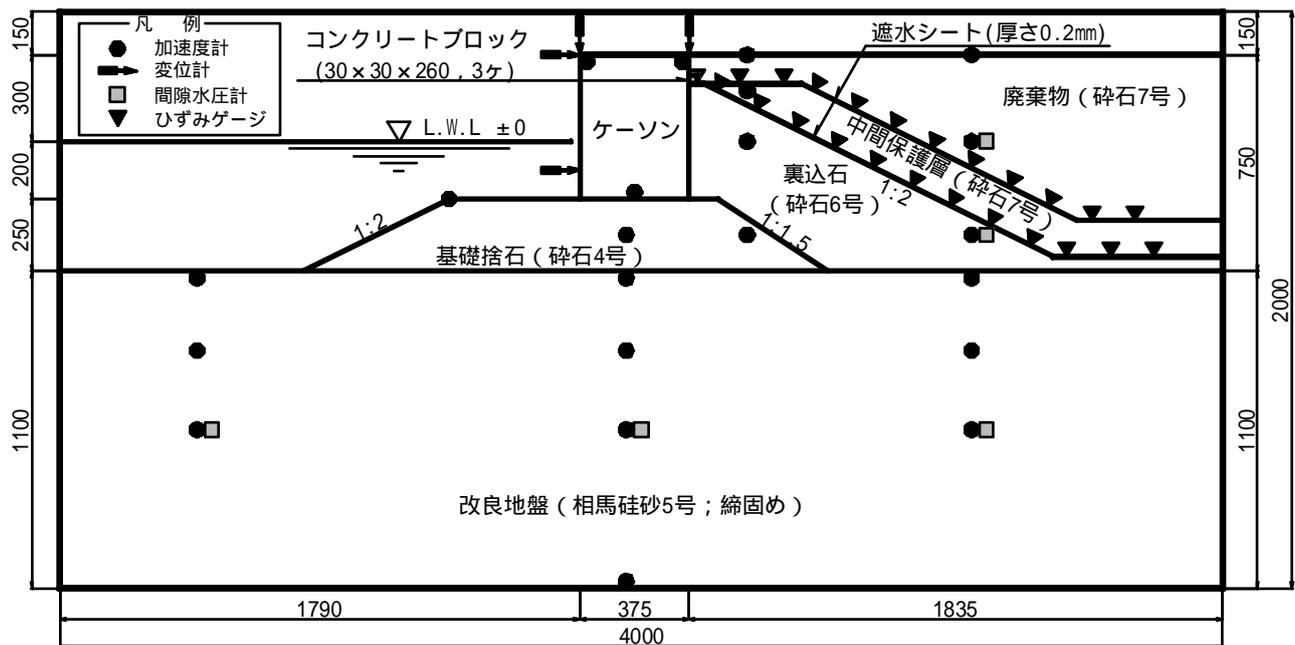
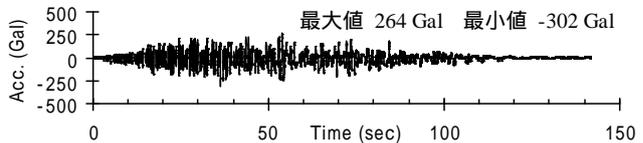
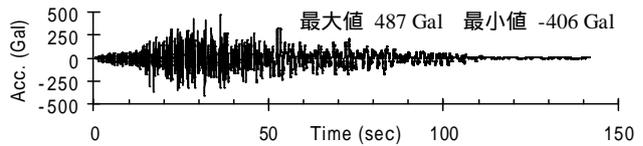


Fig. 2 Experimental model in section (in mm)

3 実験結果

実験結果は全て実スケールの値を用いた。なお、軟質 PVC シートのひずみは、ひずみゲージを貼付したシートの引張試験を行うことにより、ひずみゲージの値と実際のひずみの値の関係を求め、その結果から模型振動実験において計測したひずみゲージの値を補正した。

3.1 時刻歴

Fig. 5 に地盤およびケーソンの水平応答加速度、改良地盤の過剰間隙水圧比、ケーソンの水平変位および鉛直変位、遮水シートのひずみの時刻歴を示す。改良地盤の過剰間隙水圧比は W1 で最大 0.2 までしか上昇しておらず、液状化しなかったと考えられる。なお、廃棄物層には透水係数が高く液状化しにくい砕石 7号を使用したため、水圧計により廃棄物層が液状化しなかったことを確認した。地盤およびケーソンの水平応答加速度 AH1, AH8, AH11 および AH22 は、地震動が下から上に伝達するに従って加速度振幅が増加しており、廃棄物地表面の加速度は約 900Gal で入力地震動(AH1)の約 2 倍となった。ケーソンの水平変位 D2 および鉛直変位 D3 は、加振開始直後から変位し始めて漸増

するが、入力加速度が大きくなる 27s, 46s, 64s および 80s 付近で変位が大きくなる傾向を示している。ケーソンは最終的に海側へ 2.0m 水平変位し、0.8m 沈下した。軟質 PVC シートの下側のひずみ S4 および上側のひずみ S23 は、ケーソン変位と同様に、加振開始直後から漸増し、入力加速度が大きくなる 27s, 46s, 64s および 80s 付近で大きくなる傾向を示している。最大ひずみは、下側、上側ともに約 20%、残留ひずみはそれぞれ 7% および 14% であり、上側のシートのひずみの方が大きかった。本実験結果から算定した遮水シートの最大ひずみ約 20% は弾性範囲内であるため、実際に遮水シートは破断しなかったと考えられる。ケーソン変位の時刻歴波形とシートのひずみの時刻歴波形は良く似ており、シートのひずみはケーソン変位に依存していたと考えられる。このことから遮水シートのひずみを小さくするためには、ケーソン変位を抑えることが重要である。

3.2 ひずみ分布

Fig. 6 に軟質 PVC シートのひずみの最大値分布を示す。比較的ひずみが大きい箇所は、下側のシートについては裏込法面上側付近であり、上側のシートについては法肩から

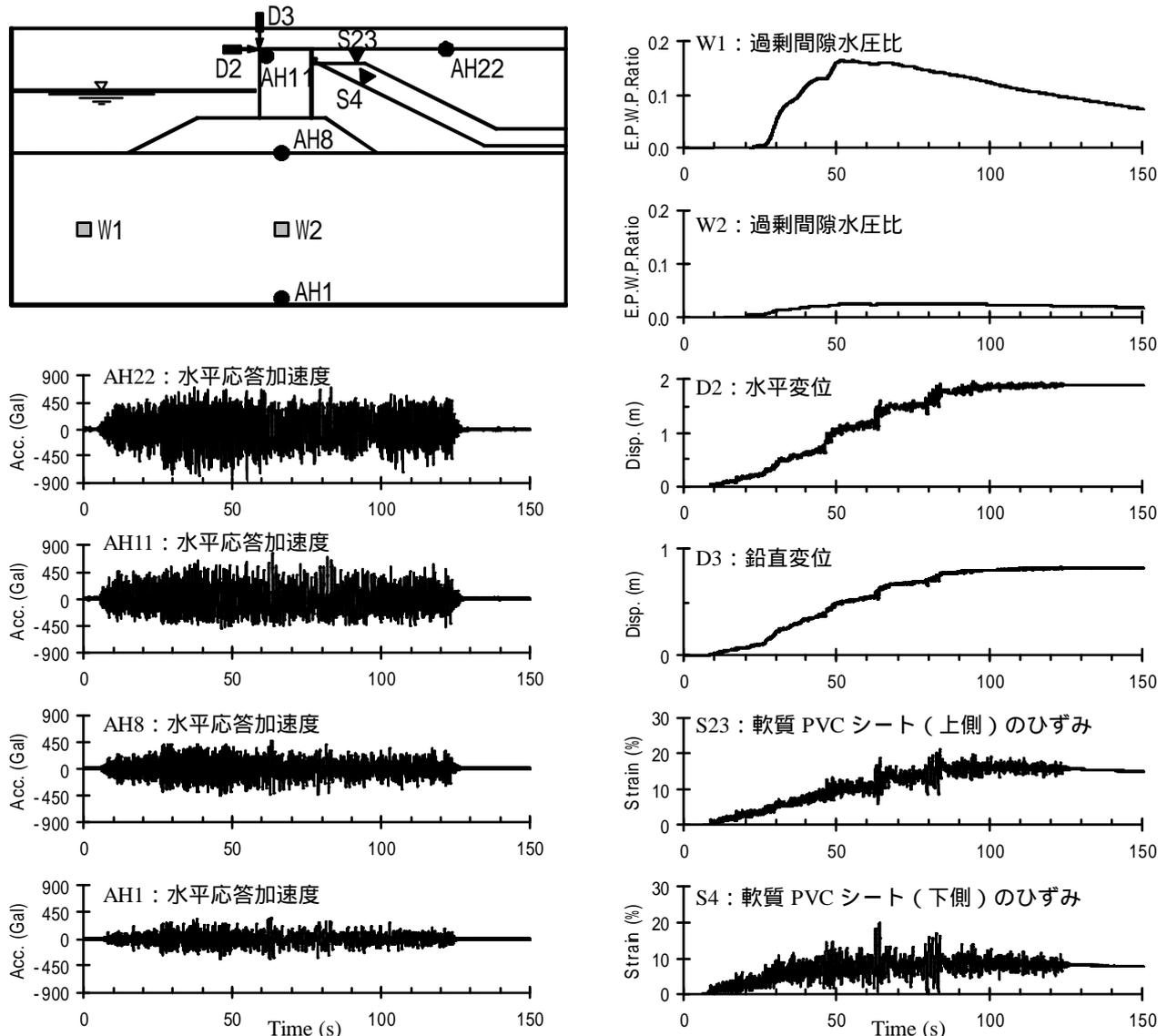


Fig. 5 Time histories of excess pore water pressure ratio, acceleration, displacement and strain

裏込法面上側までの範囲で、上側のシートの方がひずみが大きく、ひずみの大きい領域が広がった。論文[5]によると、地盤との摩擦力の大きさが遮水シートのひずみ分布に影響することが示唆されており、拘束圧が小さい上側のシートは地盤との摩擦力が小さくなり、比較的ひずみの大きい領域が広がったと考えられる。

3.3 実験前後における廃棄物地盤の地表面形状

Fig. 7 に地表面ターゲットにより計測した実験前後における廃棄物地盤の地表面形状を示す。ケーソン直背後における廃棄物地盤の地表面変位は、水平変位が約 1.7m、鉛直変位が約 2.1m だった。護岸内側の内水位が High Water Level である +2.1m で、なおかつ遮水シート天端の沈下量が廃棄物地盤地表面の沈下量と同じ 2.1m だった場合、地震後の遮水シート天端の標高は +1.9m となり、内水位より低くなって護岸内部の保有水が浸出する可能性がある。このため、遮水シート天端の標高を高く設定しなおす必要があると考えられる。

3.4 遮水シートのひずみと地盤の滑り面の関係

Fig. 8 に遮水シートのひずみが比較的大きかった箇所（図中楕円部分）および地盤の仮想滑り面（図中一点鎖線）を示す。地盤の滑り面は、廃棄物地盤の地表面で沈下が発生した箇所としなかった箇所の境界点とケーソン下端を結んだ直線とした。遮水シートのひずみは地盤の滑り面からケーソン寄りの部分で大きくなったと推測できる。これは、ケーソンの変位により滑り面に沿って地盤がケーソン側に動き、滑り面付近にひずみが集中したためと考えられる。

4 まとめ

粘性土地盤を有する港湾をモデルとして設計した管理型廃棄物埋立護岸について、レベル2相当の地震動である模擬波を用いた模型振動実験から、以下の知見が得られた。ケーソンの最大水平変位は約 2.0m、遮水シートのひずみは約 20% であり、ひずみは弾性範囲内であるため、実際に遮水シートは破断しなかったと考えられる。ケーソン変位の時刻歴波形とシートのひずみの時刻歴波形は良く似た形となっており、シートのひずみはケーソン変位に依存していたと考えられる。このことから遮水シートのひずみを小さくするためには、ケーソン変位を抑えることが重要となる。遮水シートのひずみは地盤の滑り面からケーソン寄りの部分で大きくなったと推測できる。これは、ケーソンの変位により滑り面に沿って地盤がケーソン側に動き、滑り面付近にひずみが集中したためと考えられる。本実験では、遮水シート天端が護岸内側の内水位よりも低くなった可能性があり、遮水シート天端標高を見直す必要があると考えられる。

今後は、本実験結果を基礎データとして数値解析による変形照査手法の開発を実施する予定である。

参考文献

[1] 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明: 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,

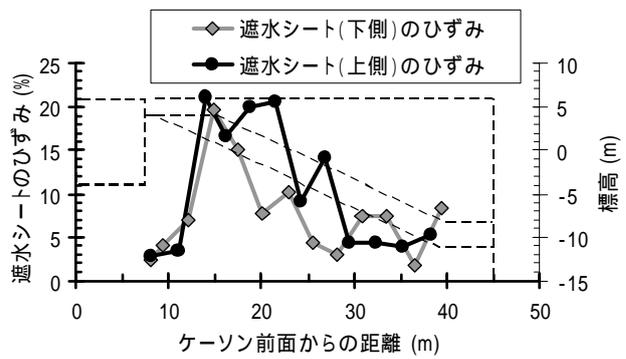


Fig. 6 Maximum strain distribution of water proof sheets

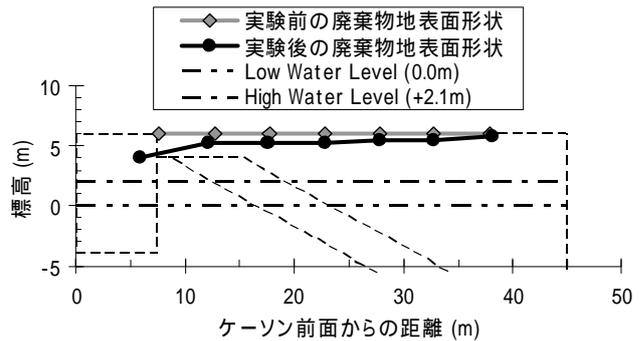


Fig. 7 Ground surface shape of waste layer before and after test

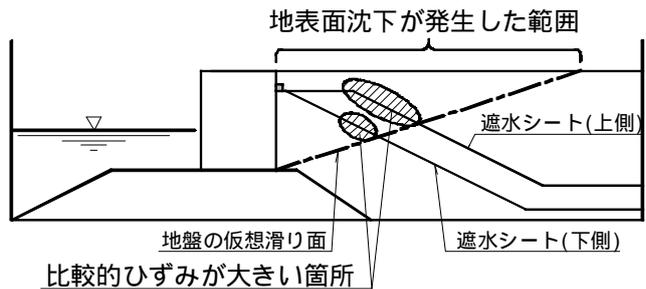


Fig. 8 Location of large strain area in water proof sheet and sliding surface

海洋開発論文集, Vol.21, pp.843-848, 2005 .
 [2] 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明: 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, 土木学会地震工学論文集, Vol. 28, 2005 (CD-ROM).
 [3] Susumu IAI: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.27, No.3, 1988 .
 [4] K. Irikura: Prediction of strongacceleration motions using empirical Green'sfunctions, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., pp.151-156, 1986 .
 [5] 狩野真吾, 小田勝也, 吉田誠, 三藤正明: 敷設条件の異なる遮水シートの変形特性に関する静的加力実験, 地盤工学研究発表会発表講演集, Vol.41, 2005 .(印刷中)