

地震時におけるケーソン岸壁のオンライン応答実験

山口大学大学院

山口大学工学部

宇部興産コンサルタント

山口大学大学院

学生会員 ○市川昌治

正会員 兵動正幸 吉本憲正

正会員 山下昌木

学生会員 木村真也 正木健太

1. まえがき 2001 年の芸予地震において、山口県内の港湾施設の被害は、使用に大きな支障が生じる程ではないが約 20 箇所報告された。そこで本研究では被害の一例として徳山地区において、置換工法とサンドコンパクションパイル工法（SCP 工法）によって改良されたケーソン式岸壁の被害について検証するために、ケーソン式岸壁及び支持地盤を一次元の質点系にモデル化しオンライン地震応答実験を実施した。

2. 地盤概要 対象地点は山口県徳山市の港湾地区に位置し、置換砂、SCP 工法により改良されたケーソン式岸壁の残留変位や沈下の被害が報告された箇所である。図 1 にボーリング調査から得られた地盤柱状図を示す。図から置換工法と同様に、SCP 工法においても 7m 付近から N 値 10 以下となっているが、改良された地点より採取した試料には細粒分が多く含まれていたことから、ボーリング調査において地盤改良範囲外も採取したと考えられる。

3. 解析対象モデルおよび実験条件 本研究で用いた解析対象モデルを図 2 に示す。図のように構造物および基礎地盤を一次元 12 質点系にモデル化した。置換工法または SCP 工法による地盤改良層の S2 層～S4 層をオンライン層として要素試験を行い、残りの S1 層と S5 層～S12 層を修正 R-O モデルによる解析を行った。置換工法により改良された地点には、裏込め土があるため、対象断面にあらかじめ円弧滑り解析によって得られた初期せん断応力をオンライン実験要素に作用させている。要素試験の試料には原位置で採取した試料を使用した。供試体作製方法は直径 6cm、高さ 4cm の円柱供試体を水中落下法により、置換砂では相対密度 36～42%，SCP 改良層では相対密度 80%を目標に作製した。ここでオンライン地震応答実験は、コンピュータによる応答計算と変位制御の室内要素実験をオンラインで結合し、地震時の挙動を再現する手法である。また、要素試験におけるせん断モードは地上に構造物を想定しているため、シェイクダウンモード②を採用した。入力加速度波形は、図 3 に示すように芸予地震の際、KiK-net から岩国で記録された波形の E-W 成分の芸予地震波と兵庫県南部地震の際に神戸ポートアイランドにおいて SMAC 強震計で観測された P1 波を採用した。次に試料の物性を示す。置換砂で用いられた試料、SCP 工法で用いられた試料の最大乾燥密度 ρ_{dmax} 、最小乾燥密度 ρ_{dmin} はそれぞれ置換砂では $\rho_{dmax}=1.72$ 、 $\rho_{dmin}=1.41$ 、SCP 工法では $\rho_{dmax}=1.57$ 、 $\rho_{dmin}=1.23$ である。また、

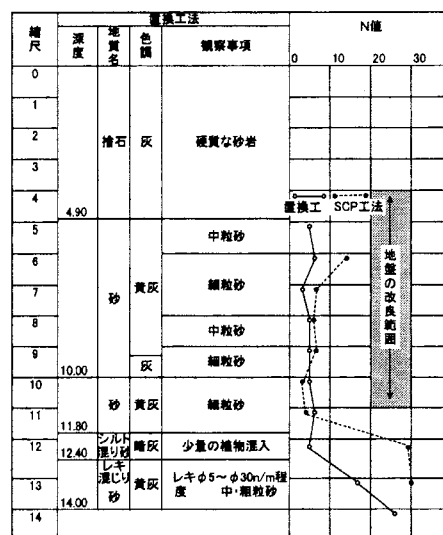


図 1 地盤柱状図

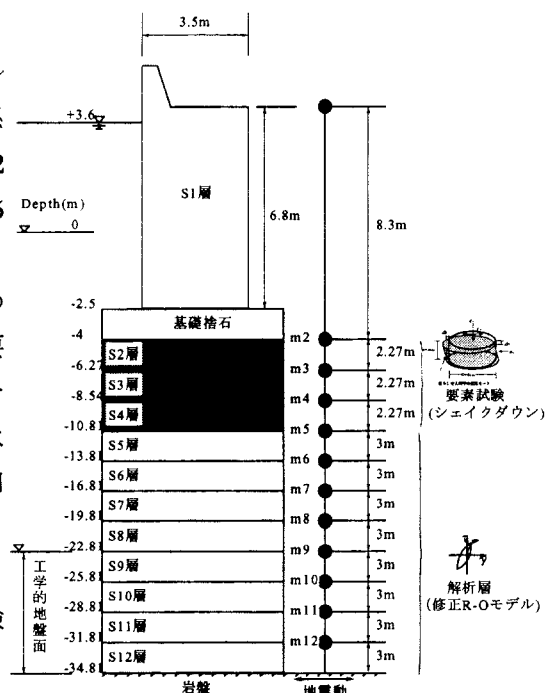


図 2 実験対象断面図

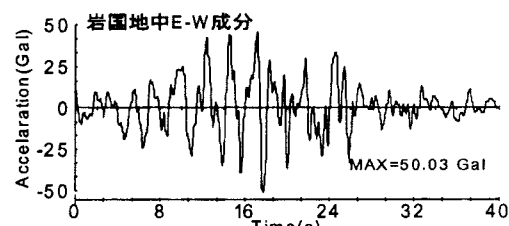


図 3 入力加速度波形

本研究で実施した実験ケースを表 1 に示す。

表 1 実験ケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
改良方法	置換工法	SCP	置換工法	SCP
地震波形	芸予地震波	芸予地震波	PI 波	PI 波

4. 実験結果および考察 ケース 1～4 を対象に実施したオンライン地震応答実験結果を示す。図 4 に応力ひずみ関係の結果をオンライン層である S2～S4 層について

示す。置換工法のいずれの層においても、初期せん断応力の作用によって残留ひずみが発生していることがわかる。一方、SCP 工法では、初期せん断応力を作用させていないため残留ひずみは置換工法に比べて発生していないことがわかる。図 5 はオンライン層についてケース 1, 2 での過剰間隙水圧比を示している。図からシェイクダウンによる負のダイレタンシーの密度増加によって、過剰間隙水圧の上昇は緩やかであり、最大でも 0.1～0.2 と低い値となっている。しかし、置換工法の値は SCP 工法より高い値を示していることがわかる。図 6 には構造物の残留変位量と構造物基礎地盤の沈下量について示している。まず、残留変位量に着目すると、置換工法では、芸予地震波において実験値は実測値と同様に SCP 工法よりも大きく発生していることが分かる。このことから、残留変位は、地震による過剰間隙水圧の発生や初期せん断応力の影響により地盤が軟化したことが原因と考えられる。また、PI 波では残留変位が 1m を越えている。次に沈下量を見てみると、芸予地震波では、実験値が実測値の半分になっているが、2 つの工法において傾向は実測値と類似していることがわかる。また、PI 波では大きな沈下が発生し、残留変位と併せて考えた場合、構造物が転倒することもあると考えられる。

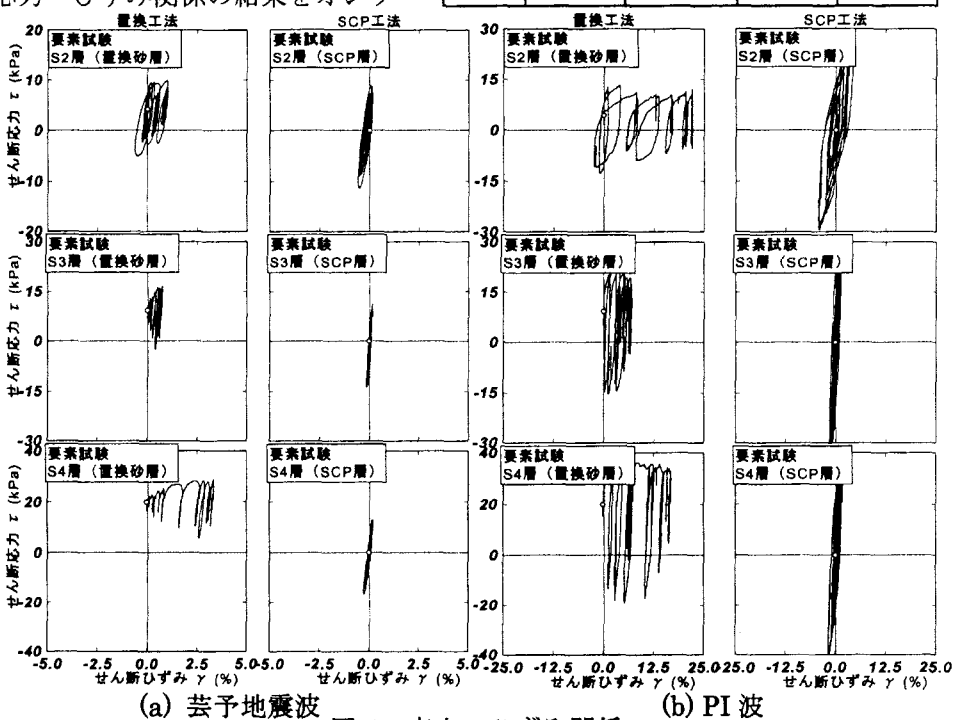


図 4 応力ひずみ関係

示していることがわかる。図 6 には構造物の残留変位量と構造物基礎地盤の沈下量について示している。まず、残留変位量に着目すると、置換工法では、芸予地震波において実験値は実測値と同様に SCP 工法よりも大きく発生していることが分かる。このことから、残留変位は、地震による過剰間隙水圧の発生や初期せん断応力の影響により地盤が軟化したことが原因と考えられる。また、PI 波では残留変位が 1m を越えている。次に沈下量を見てみると、芸予地震波では、実験値が実測値の半分になっているが、2 つの工法において傾向は実測値と類似していることがわかる。また、PI 波では大きな沈下が発生し、残留変位と併せて考えた場合、構造物が転倒することもあると考えられる。

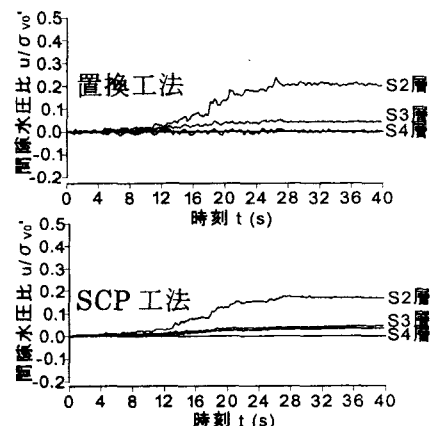


図 5 過剰間隙水圧比の時刻歴

5. まとめ 置換工法において、オンライン地震応答実験により得られた残留変位が実測値と合うことがわかった。これによって、徳山地区のケーソン式岸壁の被害は、地震による過剰間隙水圧の発生や初期せん断応力の影響により地盤が軟化したことによって、沈下と残留変位が発生したと推察される。したがって、液状化が想定されるような場所では、支持力の増加のため

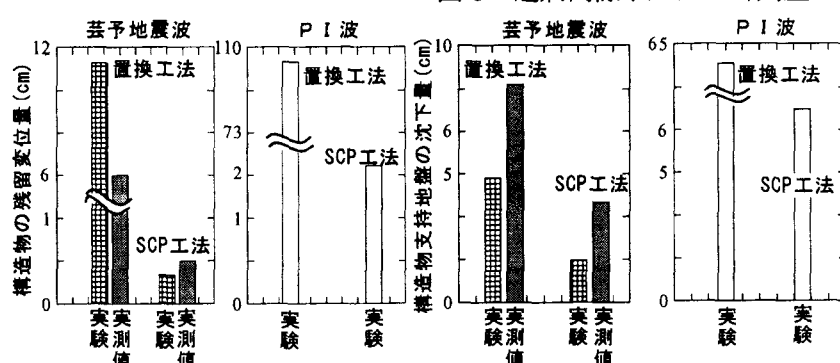


図 6 構造物の残留変位と構造物支持地盤の沈下量

だけでなく、液状化の対策を考慮した地盤改良の必要がある。また、兵庫県南部地震のような大きな地震が発生した場合、構造物に多大な被害を与えるような水平変位や沈下が発生する可能性があることがわかった。

参考文献 1) 兵動正幸, 吉本憲正: 芸予地震による山口県内の液状化について, 第 53 回土木学会中国支部発表概要集, pp823-824 2) 藤井照久・兵動正幸・日下部伸・福田賢二郎: オンライン地震応答実験による飽和砂地盤上の盛土の挙動, 土木学会論文集 No.652, 229-243, 2000, 6