

# 2次元動的有効応力解析に用いる 初期せん断剛性の確認に 常時微動観測結果を用いた1事例

小泉 勝彦<sup>1</sup>・新名 薫<sup>2</sup>・伊藤 春樹<sup>3</sup>・稲田 勉<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社 日本港湾コンサルタント  
(〒651-0086 兵庫県神戸市中央区磯上通 4-1-6 シオノギ神戸ビル)  
(元 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所)  
E-mail: katsuhiko\_koizumi@jportc.co.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所  
(〒760-0064 香川県高松市朝日新町 1 番 30 号 高松港湾合同庁舎 3F)  
E-mail: shinmyo-k88s3@mlit.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国土交通省四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所  
(〒760-0064 香川県高松市朝日新町 1 番 30 号 高松港湾合同庁舎 3F)  
(元 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所)  
E-mail: itou-k87s3@mlit.go.jp

<sup>4</sup>正会員 一般財団法人 沿岸技術研究センター  
(〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2 新橋エス・ワイビル 5F)  
E-mail: inada@cdit.or.jp

東予港中央地区複合一貫輸送ターミナル整備事業では、耐震強化岸壁の裏埋材としてカルシア改質土を使用した。カルシア改質土は強度にばらつきが大きいことが知られている。一方、耐震強化岸壁の性能評価は2次元の動的有効応力解析によって行われることが多い。このことから、この岸壁の性能評価においては、2次元動的有効応力解析に用いるカルシア改質土のパラメータを適切に決定することが課題であった。この課題を解決するため、現地に施工されたカルシア改質土の土質調査と並行して常時微動観測を実施した。そして、土質調査結果から決定した土層モデルを用いて常時微動 H/V スペクトルの数値シミュレーションを行った。その結果、シミュレーションと常時微動観測の H/V スペクトルのピーク周波数は良く一致し、解析モデルの適切性が確認できた。

**Key Words:** *H/V spectrums, numerical simulation of microtremors, Calcia stabilized soil, earthquake resistant quay wall*

## 1. 事業概要

東予港中央地区複合一貫輸送ターミナル整備事業は、フェリー貨物の需要増大に伴う船舶の大型化に対応するとともに、大規模地震発生時の緊急物資輸送拠点とすることを目的とした耐震強化岸壁(-7.5m)、航路・泊地(-7.5m)、ふ頭用地および臨港道路の整備事業<sup>1)</sup>である。事業の平面図を図-1に示す。この事業においては、事業実施に伴って発生する粘性土主体の浚渫土砂の処分が課題であった<sup>1)2)</sup>。このことから、浚渫土砂に転炉系製鋼スラグを混合す

ることで改質したカルシア改質土<sup>3)</sup>を裏埋材として活用した<sup>4)</sup>。



図-1 東予港中央地区複合一貫輸送ターミナル整備事業事業平面図<sup>1)</sup>

## 2. カルシア改質土の採用

### (1) 室内配合試験に基づく予備検討

#### a) 耐震強化岸壁の性能照査に当たっての問題点

カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材（転炉系製鋼スラグを原料として成分管理と粒度調整を施した材料）とを混合することで、浚渫土の物理的、化学的性質を改善した材料<sup>3)</sup>である。カルシア改質土は、強度発現、PH抑制、海域投入時の濁り発生抑制などの効果があり、深堀跡の埋め戻しや浅場マウンドの造成等に利用されている<sup>3)</sup>。加えて、海面埋立にも用いられている<sup>5)</sup>。しかしながら、耐震強化岸壁の裏埋材として用いた実績はなかった。耐震強化岸壁の性能は、2次元動的有効応力解析を用いて、レベル2地震に対する変形量から照査される<sup>6)</sup>。多くの場合、この照査にはひずみ空間における多重せん断ばねモデル<sup>7)</sup>を用いたFLIP ROSE 2Dが用いられる。この岸壁のレベル2地震動に対する照査を行うに当たっては、カルシア改質土をどのような材料として設定し、解析用のパラメータを決定するかが問題となった。

#### b) 室内配合試験の結果

この問題を解決するため、現地の浚渫土とカルシア改質材を混合した供試体の土質試験を行った<sup>8)</sup>。文献<sup>8)</sup>より、浚渫土の物理試験結果を表-1に、カルシア改質土の試験結果の一部を表-2に示す。文献<sup>8)</sup>によれば、カルシア改質土の力学的特徴は次のとおりである。

- ・ カルシア改質材の容積混合率に対して一軸圧縮強は、直線的に増加する。
- ・ 一軸圧縮強度と軸差ひずみの両振幅5%が液状化であると想定した場合の液状化強度比  $R_{L20}$  の関係もほぼ直線的である。
- ・ 最も容積混合率の小さい10%の供試体の  $R_{L20}$  も0.4程度

表-1 浚渫土の物理試験結果<sup>8)</sup>

湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 W(%)	細粒分含有率 Fc(%)
1.472	2.783	101.1	99.1
液性限界 $w_L$ (%)	塑性限界 $w_p$ (%)	塑性指数 $I_p$	工学的分類
74.5	30.3	44.2	粘土

表-2 カルシア改質土の試験結果<sup>8)</sup>

カルシア改質材混合率	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	含水比 W(%)	平均一軸圧縮強度 $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断剛性注) $G_0$ (MN/m <sup>2</sup> )
10%	1.629	16.0	68.4	5.75	43.9
20%	1.808	17.7	49.8	143.7	87.6
30%	1.964	19.3	37.3	352.5	129.3
40%	2.128	20.9	29.1	507.5	220.2

注) 動的変形特性試験より求めた値である。

度、20%以上では1.0以上であり、実質的には液状化しないものと考えられる。

- ・ 繰り返しに伴って軸ひずみの増加が見られるが、急激なひずみを増加は引張り破壊時を除いては見られない。
- ・ カルシア改質土もせん断ひずみの増加に伴ってせん断剛性の低下する材料であり、そのひずみ依存性は標準的な砂質土よりも粘性土に近い。さらに粘性土よりもひずみ依存性が低い。

図-2には、室内配合試験における平均一軸圧縮強度と初期せん断剛性の関係を示す。両社の間にも直線的な関係がみられる。

#### c) 耐震強化岸壁に対する適用性の確認

この岸壁では、裏埋材として液状化しない雑石を用いることで設計が進んでいた。雑石を裏埋材とした場合の標準断面図を図-3に示す。カルシア改質材の適用検討にあたっては、裏埋材をカルシア改質土に置き換えた図-4の断面を想定し、2次元の動的有効応力解析を実施した。使用したプログラムコードはFLIP ROSE 2Dである。カルシア改質土のパラメータは次の方針で決定した<sup>8)</sup>。

- ・ カルシア改質土は液状化しないものとし、液状化パラメータは設定しない。
- ・ カルシア改質土のせん断弾性係数の低下のモデル化は粘性土と同様とし、動的変形特性試験より得られるひずみ依存性を考慮する。

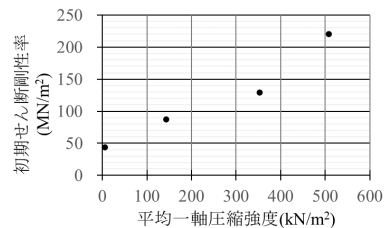


図-2 平均一軸圧縮強度と初期せん断剛性率の関係

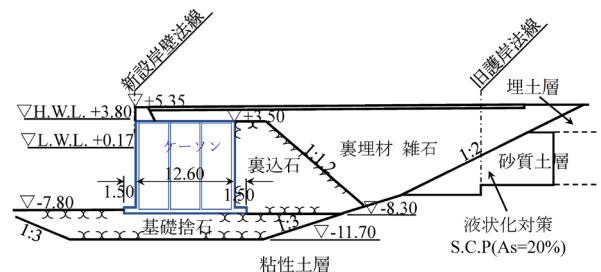


図-3 裏埋材として雑石を用いた標準断面

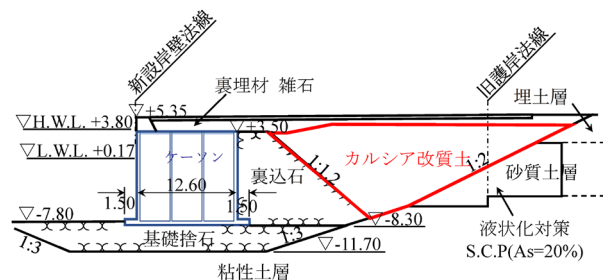


図-4 裏埋材としてカルシア改質土を用いた標準断面

- カルシア改質土は軟弱土固化処理工法の一つであり、一般的に軟弱土固化処理工法はせん断弾性係数の拘束圧依存性を考慮しないことから、せん断弾性係数の拘束圧依存性は考慮しない。
- カルシア改質土のせん断強さ及び初期せん断剛性は、動的変形特性試験の結果から算出する。
- 目標一軸圧縮強度は、70, 100, 150, 200, 300, 500 kNs/m<sup>2</sup>の6ケースとし、耐震強化岸壁の性能を満たす目標一軸圧縮強度を検討する。

入力地震は、当該施設に最も影響のある中央構造線断層帯地震（後に示す図-17）である。

照査の基準となる岸壁の水平変位量は、雑石を裏埋材とした場合の照査基準と同じである。

表-3に、目標一軸圧縮強度と解析結果の一覧を示す。

表-3よりカルシア改質土の目標一軸圧縮強度が70kN/m<sup>2</sup>以上であれば、裏埋土に雑石を用いた場合を同等の性能を有することが分かる。この結果から、この岸壁の裏埋材としてカルシア改質土を活用することとした。この岸壁を利用する事業者との調整の結果、カルシア改質土は図-5に示す範囲で活用することとなった。

文献9)には、カルシア改質土の一軸圧縮強度はばらつきが大きいことが指摘されており、この岸壁のカルシア改質土の設計基準強度を100kN/m<sup>2</sup>とした<sup>8)</sup>。カルシア改質土の最小容積混合率は30%となった<sup>8)</sup>。

#### d) カルシア改質土の施工

カルシア改質土による裏埋工は、図-6に示すフローに従って施工した。航路浚渫で発生した浚渫土は、土運船

に入れたまま、混合岸壁に接岸する。混合岸壁に接岸後、混合岸壁上のバックホウにより浚渫土を解きほぐす。次にカルシア改質材を運搬してきたガット船より、土運船にカルシア改質材を所定量投入する。混合岸壁上のバックホウで土槽内の浚渫土とカルシア改質材を混合する。混合後、耐震強化岸壁まで同じ土運船で運搬し、クレーン船により岸壁背後に投入する。図-7に施工時の状況写真を示す。カルシア改質土を混合した土運船1隻毎に約150本の供試体を採取した。採取した試料は、施工7日後、1ヶ月後、3ヶ月後、1年後の物性把握に使用した。

図-8には、施工時に作成した供試体の材令91日（3ヶ月）での一軸圧縮試験結果のヒストグラムを示す。後述

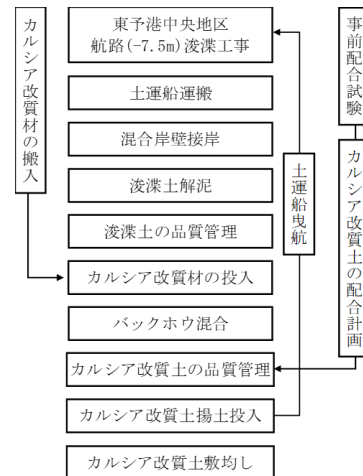


図-6 カルシア改質土の施工フロー



図-7 カルシア改質土の施工状況

表-3 偶発状態（レベル2地震）の解析結果 文献8)に加筆

裏埋材	目標一軸圧縮強度 (kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断剛性率 (MN/m <sup>2</sup> )	残留変形量 注1)		傾斜角 注2) (°)	躯体背後の段差 (cm)
			水平 (cm)	鉛直 (cm)		
雑石	—	—	59	13	0.5	55
カルシア改質土	70	64.25	63	13	0.6	39
	100	73.76	61	12	0.6	38
	150	88.86	63	12	0.6	35
	200	98.84	64	12	0.6	37
	300	118.82	64	12	0.6	36
	500	215.80	64	12	0.6	33
性能規定値			<100cm	<50cm	<3°	—

注1) 海側および下方への変位を正とする。

注2) 海側への傾きを正とする。

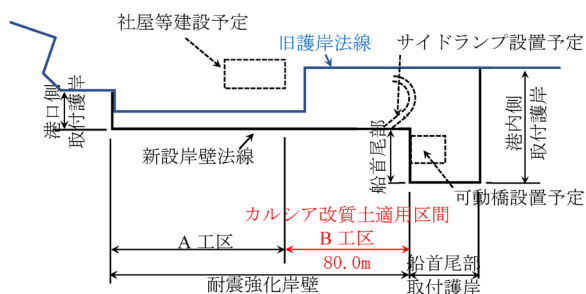


図-5 カルシア改質土の適用範囲

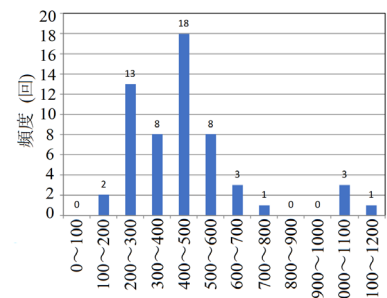


図-8 施工時供試体の一軸圧縮強度の頻度分布

する 3 か月後調査において試験した結果である。 $q_u=400 \sim 500 \text{ kN/m}^2$  (頻度：18回) と  $q_u=200 \sim 300 \text{ kN/m}^2$  (頻度：13回) が卓越する。 $q_u=900 \text{ kN/m}^2$  以上を示すものは4回と少ない。仮に、図-8で頻度の多い  $200 \sim 600 \text{ kN/m}^2$  の間で一軸圧縮強度がばらつくとした場合、初期せん断剛性は図-3より  $100 \sim 250 \text{ MN/m}^2$  の間でばらつくことが想定された。

### 3. カルシア改質土を裏埋とした岸壁の性能評価

#### (1) 施工後のカルシア改質土に関する調査

耐震強化岸壁へのカルシア改質土の使用は、前例の無い取り組みであった。このことから、カルシア改質土の土質調査などを行い、この岸壁の性能照査を行っておくことが重要であると考えられた。一方で、この岸壁は早期供用開始が求められており、工事の工程に支障を与えないように土質調査と性能照査の計画を立案した。表-4に土質調査と性能照査の工程と実施内容を示す。

工事の予定を確認すると、カルシア改質土の施工後、約3ヶ月はカルシア改質土が露出した状態であることが分かった。このことから、施工3ヶ月後に重点的な調査を実施することを計画した。また、カルシア改質土は、その強度の増加が緩やかに続く<sup>9)</sup>ことから、調査の時期は、施工後1ヶ月、3ヶ月、1年後とした。表-5には、1ヶ月、3ヶ月、1年後調査の調査項目の概要を示す。

カルシア改質土には最大粒径30mm程度のカルシア改質材が混合されており、乱さない試料採取が困難であることが想定された。そこで、乱さない試料採取には高品質サンプリングを適用することとした。使用したサンプリャーは、(株)コアーパック社製の「116TRIPLE」である。これに加えて、カルシア改質土が露出している3ヶ月後調査では、表面のカルシア改質土を塊として採取するブロックサンプリングも実施した。

既に述べたように、岸壁の性能照査に用いる初期せん断剛性はばらつきが大きいことが予想された。ポーリン

グでPS検層を行ってカルシア改質土のせん断波速度をしたとしても、その値がカルシア改質土全体を代表していないことが危惧された。このことから、地盤の速度構造を断面的に把握できる表面波探査を実施した。また、常時微動観測のH/Vスペクトルを用いて地盤や堤体のせん断波速度をFEM解析で推定する試みもある(例えば文献10)。このような研究を受けて、解析に用いる初期せん断剛性を確認することを目的として、常時微動

表-5 カルシア改質土の施工後の調査項目

調査時期	調査内容
1ヶ月後 調査 施工 完了後 31日	原位置試験 コーン貫入試験 (オートマチックラムサウンディング)
3ヶ月後 調査 施工 完了後 91日	原位置試験 コーン貫入試験 (オートマチックラムサウンディング) 表面波探査、常時微動観測 表層資料採取(ブロックサンプリング) ポーリング 原位置試験 PS検層、密度検層、キャリパー検層 乱れの少ない試料採取(高品質サンプリング) 力学試験 採取した供試体に対する力学試験、弾性波試験 (ベンダーエレメント) 現場混合した供試体に対する一軸圧縮試験 (材齢91日)
1年後 調査	原位置試験 コーン貫入試験 (オートマチックラムサウンディング) 表面波探査 ポーリング 原位置試験 PS検層、密度検層、キャリパー検層 乱れの少ない試料採取(高品質サンプリング) 力学試験 採取した供試体に対する力学試験、弾性波試験 (ベンダーエレメント) 現場混合した供試体に対する一軸圧縮試験 (材齢396日)

表-4 土質調査と性能照査の工程

	平成28(2016)年度	平成29(2017)年度	平成30(2018)年度	令和元(2019)年度
室内試験	事前配合試験 8 — 12		岸壁の性能照査	岸壁の性能照査
設計・照査	カルシア改質土適用性検討 6 — 3			9 — 12 摩擦係数測定試験
現地施工 (カルシア 改質土)	土捨て場での実証実験 10 — 12	試験配合 現地投入 6 — 8 — 9 ↓ 供試体保管		
土質調査 現地観測 供試体試験		1ヶ月後調査 — 3ヶ月後調査 —	1年後調査 —	

1ヶ月、3ヶ月、1年後調査の調査項目は表-5参照

観測を行ってH/Vスペクトルを求めることとした。ただし、施工1年後には、カルシア改質土の上に表層土が施工されていることから、常時微動観測は行わないこととした。図-9に、3ヶ月後調査の調査位置図を示す。

(2) 耐震性照査に係る初期せん断剛性とその検証

本項では、岸壁の耐震性照査に用いるパラメータのうち、3ヶ月後調査における初期せん断剛性の設定方法と常時微動観測結果に基づく検証について述べる。

(a) 初期せん断剛性の設定

図-9に、3ヶ月後調査で得られたカルシア改質土の地盤の密度、P波速度分布、S波速度分布を示す。図-10より、カルシア改質土は、G.L.-2m(T.P.+0.8m)付近を境に2層に分割でき、下層の方がせん断波速度Vsが大きいことが分かる。図-11に3ヶ月後調査における表面波探査の結果を示す。表面波探査の結果は、PS検層とは逆に、表面付近のカルシア改質土の方がVsが大きく、関係者を悩ませた。そして、距離程18mから27mにかけて、S波速度の大きい領域があることを示す結果であった。PS検層から求めたせん断剛性率とサンプリングした資料の弾性波試験から求めたせん断剛性率の比較を図-12に示す。サンプリングや整形による乱れの影響を受けている可能性があるにもかかわらず、室内の弾性波試験から求めたせん断剛性の方が大きくなっている。このようにカルシア改質土のせん断剛性率に関しては、傾向的に整合しない調査結果が得られていた。このことから、当初の計画通り、常時微動観測のH/Vスペクトルを用いた初期せん断剛性の検証を行うこととした。検証に用いるパラメータは、PS検層によって得られた表-9の値である。

(b) 常時微動の模擬解析

3ヶ月後調査時の常時微動観測時の岸壁の断面と常時微動の計測位置を図-13に示す。常時微動の模擬解析の方針は、次のとおりとした。

- ・ 検討断面は、微動観測時（施工後3カ月）と同じ状態を再現する。
- ・ 常時の微動を模擬するため、弾性線形平面要素を用いる。
- ・ 観測位置に影響が出にくいように加振位置を1000mま

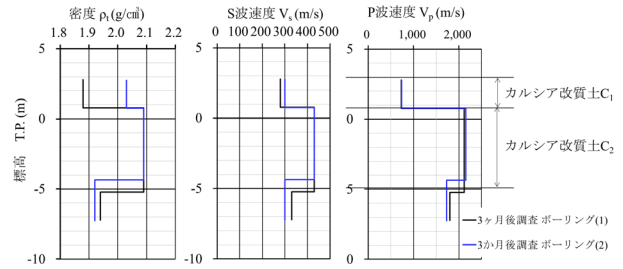


図-10 3ヶ月後調査におけるカルシア改質土の土質調査結果  
(地盤の密度、S波速度分布、P波速度分布)

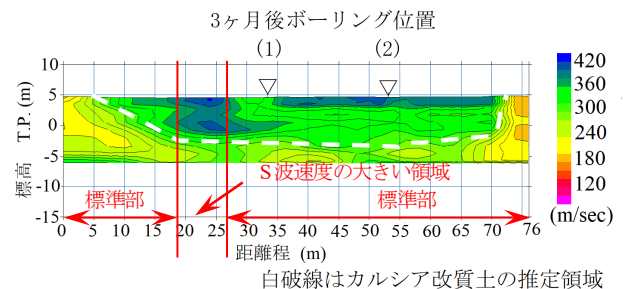


図-11 3ヶ月後調査の表面波探査結果

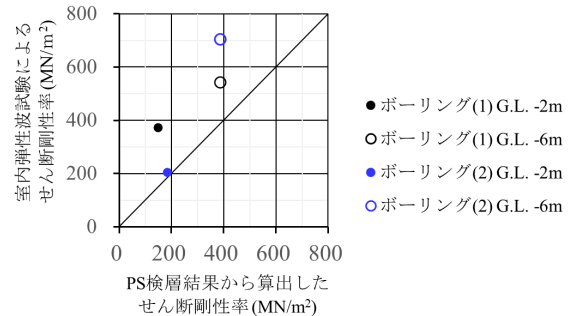


図-12 PS検層から求めたせん断剛性率とサンプリングした資料の弾性波試験から求めたせん断剛性率の比較

表-9 模擬微動解析に用いるカルシア改質土のパラメータ

カルシア改質土	密度 (t/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 (m/sec)	ポアソン比	せん断剛性率 (MN/m <sup>2</sup> )	ヤング率 (MN/m <sup>2</sup> )
C1	1.96	290	0.408	165.3	464.9
C2	2.09	430	0.479	386.2	1142.2

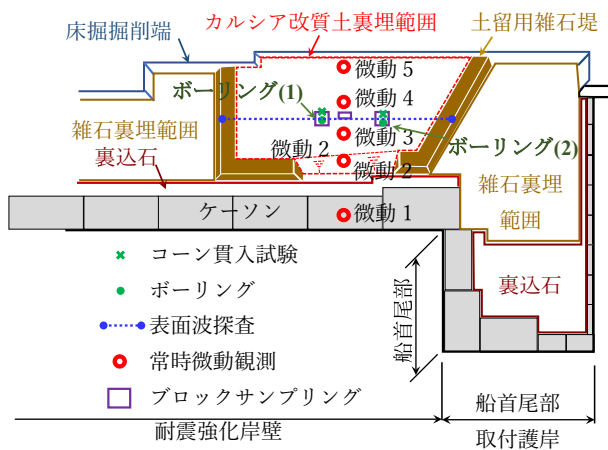


図-9 3か月後調査の調査位置

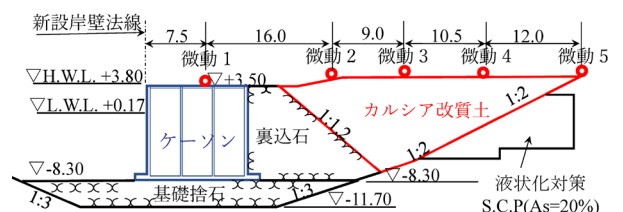


図-13 常時微動観測時の岸壁の断面図

で伸ばしてモデル化を行う。

- ・加振波形はホワイトノイズとする。
- ・側方境界は鉛直ローラとする。

解析モデルのイメージを図-14に示す。加振波の加速度波形と周波数スペクトルを図-15に示す。解析モデルには、図-15の波形を最大加速度 5Gal に調整したものを投入した。

図-16に、常時微動の模擬解析結果から得られた H/V スペクトルを示す。観測結果と常時模擬解析の結果の1次のピークがほぼ一致していることから、常時微動の模擬解析に使用した初期せん断剛性は、大まかには妥当であったと考えられる。

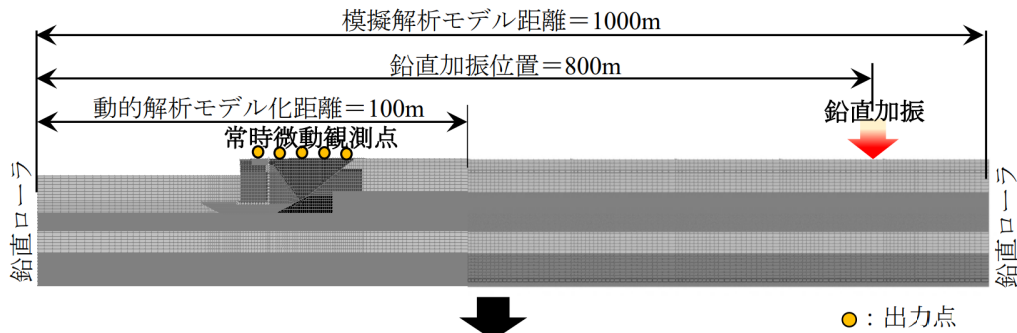
### (3) 岸壁の耐震性照査

#### a) 耐震性照査の区間分割

3ヶ月後調査の表面波探査の結果(図-11)から、縦断的にS波速度の速い領域があることが推定された。このことから、3ヶ月後調査に基づく耐震性照査は図-11の距離程 18~27m と他の区間(標準部)の2つに分けて行うこととした。

標準部の耐震性照査に用いるカルシア改質土の初期せん断剛性率は、前項で確認した PS 検層から算出したものを用いた。

距離程 18~27m 区間については、ボーリング調査を行っていないため、表面波探査の距離程 24m 地点の結果か



工学的基盤面までモデル化  
図-14 解析モデルのイメージ図

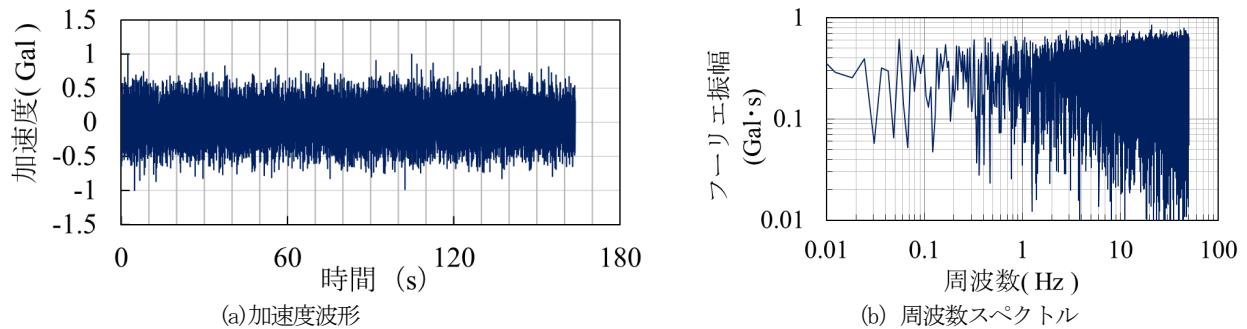


図-15 加振波形

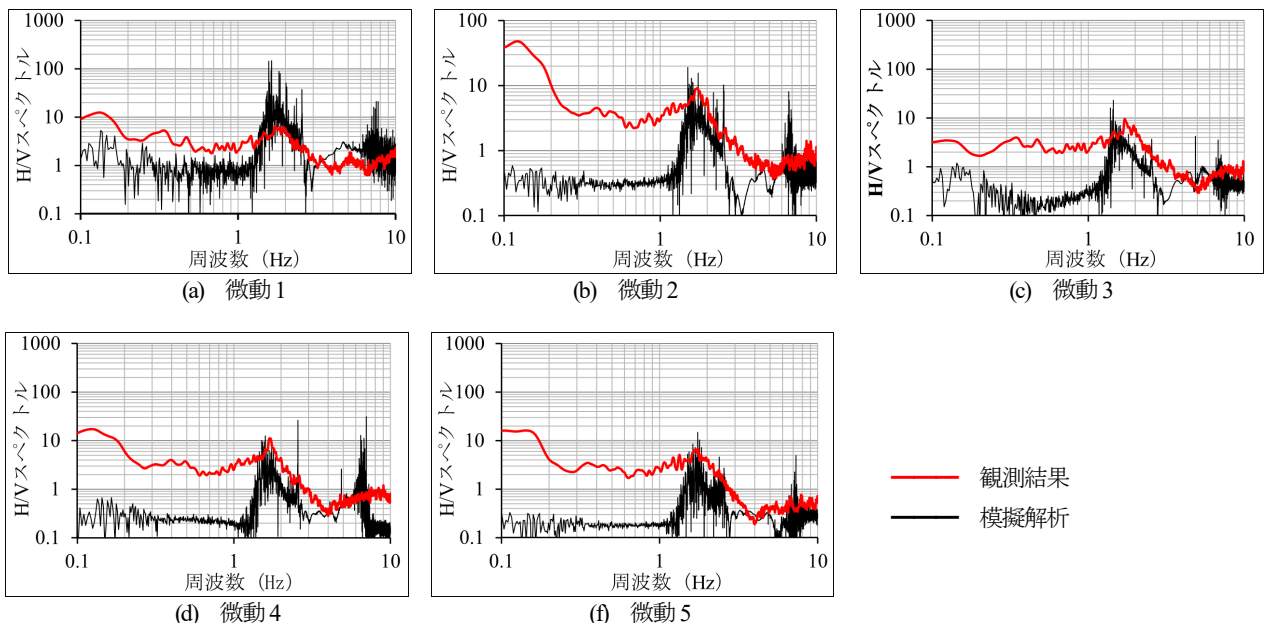


図-16 H/V スペクトルの観測結果と模擬解析の比較

ら初期せん断剛性は算定することとした。カルシア改質土の鉛直方向の層区分は、深さによる変動係数が 0.1 未満となるように設定した。

岸壁の性能照査に関しては、区間延長が長いこと、初期せん断剛性が小さいこと、初期せん断剛性の検証が行われていることの3点から、標準部の結果がより重要であると考えられる。そこで、以下においては標準部の性能照査について述べる。

**b) カルシア改質土と裏込材、在来地盤の境界の取扱い**

第2章1項c)目の耐震強化岸壁に対する適用性の確認における解析は、単に該当部分の裏埋材をカルシア改質土に変更したものであった。したがって、裏込材や在来地盤はカルシア改質土と格子点で接続された解析となっていた。本項の性能照査においては、文献 11) に記載されている釧路港西港区第4埠頭の被災事例を参考にジョイント要素を用いて、カルシア改質土と裏込部等の剥離を表現し、耐震性を確認した。ジョイント要素のパラメータは、壁面摩擦角の 15° から決定した。

性能照査の結果のうち、もっとも変位量が大きくなった中央構造線断層帯を震源とする地震(図-17 参照)の結果を図-18に示す。図-18の結果は表-3の照査基準を満足しているものの、表-3の事前検討の変位量よりも大きくなった。図-19に、事前検討と性能照査のカルシア改質土付近の変形モードの比較を示す。ただし、変形量は3倍に拡大表示している。図-19を見ると、カルシア改質土の境界にジョイント要素を入れない解析では、裏込石とカルシア改質土で引っ張りが生じるような変位がみられる。ジョイント要素を入れた解析では、カルシア改質土が逆三角形の塊となって在来地盤に沈み込むような変位が生じている。このことから、カルシア改質土と在来地盤等の境界に設定するジョイント要素の設定について、詳細に検討する必要があると考えられた。

これを受けて、(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所・日本製鉄株・JFE スチール株・日鉄日新製鋼(株)の4者による共同研究でカルシア改質土と地山等との摩擦係数を明らかにするための研究<sup>12)</sup>が実施された。表-4中の摩擦係数測定試験がこの研究に該当する。カルシア改質土と他地盤の境界の摩擦に関する研究の詳細は文献 12)を参照されたい。研究の結果、カルシア改質土と他地盤の摩擦係数は他地盤の内部摩擦角に相当する値を用いれば良いことが分かった。

**c) 性能照査の結果**

先のカルシア改質土の摩擦係数の研究を受けて、最も適切と考えられるジョイント要素を配置して行った性能照査の結果を図-20に示す。結果として、カルシア改質土を裏埋材に用いた断面は、表-3の従来の雑石を用いた断面と同等の性能を有することが確認できた。

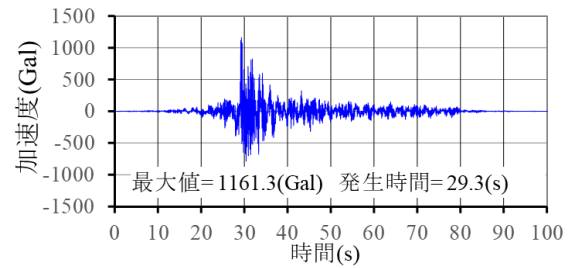


図-17 中央構造線断層地震の地震動

最大変位 (cm)		残留変位 (cm)		傾斜角 注2) (°)	躯体背後 の段差 (cm)
水平	鉛直	水平	鉛直		
120.0	25.0	96.0	22.0	0.9	126
性能規定値		<100cm	<50cm	<3°	—

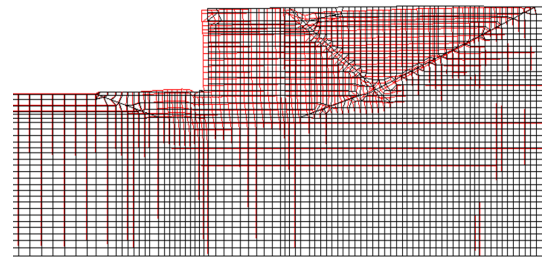
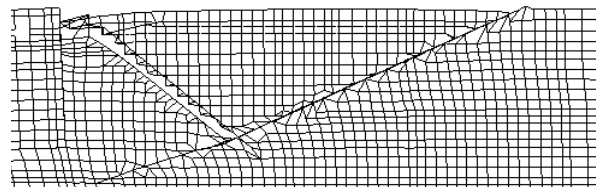
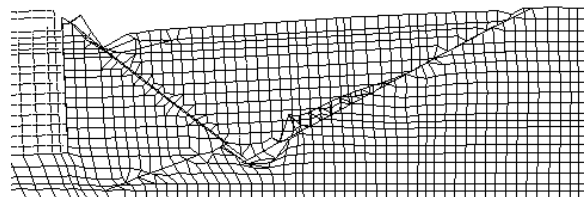


図-18 標準区間の断面照査の結果(ジョイント要素φ15°)



(a) ジョイント要素なし



(b) ジョイント要素(φ15° 壁面摩擦程度)

図-19 ジョイント用の有無による変形モードの比較 (変位スケール3倍)

最大変位 (cm)		残留変位 (cm)		傾斜角 (°)	躯体背後 の段差 (cm)
水平	鉛直	水平	鉛直		
95.1	23.3	71.1	19.7	0.2	43
性能規定値		<100cm	<50cm	<3°	—

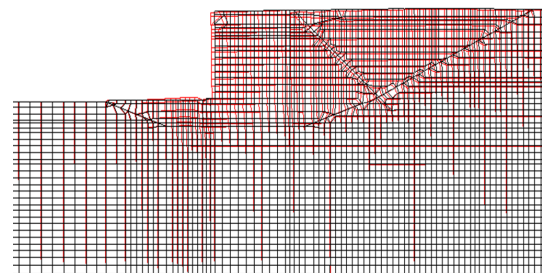


図-20 性能照査の結果(ジョイント要素のパラメータは摩擦係数試験から決定)

## 5. まとめ

本事例のまとめは、以下のとおりである。

- ・ 東予港の耐震強化岸壁では、裏埋材としてカルシア改質土を使用した。
- ・ この岸壁の性能照査を行うに当たり、ボーリング調査や表面波探査、常時微動観測を行ったが、カルシア改質土のVs構造に関しては、必ずしも整合する結果が得られなかった。
- ・ 性能照査に用いる2次元動的有効応力解析に用いる初期せん断剛性の確認のために、常時微動の模擬微動解析を行った。その結果、ボーリング調査のPS検層より求めたカルシア改質土の初期せん断剛性より求めたH/Vスペクトルの1次ピークは、常時微動解析結果と整合した。
- ・ カルシア改質土と裏込石、在来地盤との境界にはジョイント要素を配置した。ジョイント要素のパラメータは、カルシア改質土と他地盤との摩擦係数の研究結果から算定した。
- ・ こうして求めたカルシア改質土を裏埋材に用いた岸壁は、裏埋材に比液状化材である雑石を用いた断面と同等の性能を有することが確認された。

**謝辞：**この事例の解析等を実施するに当たっては、港湾空港技術研究所 菅野高弘上級専任研究員、水谷崇亮基礎工研究グループ長、大矢陽介上席研究官のご指導をいただきました。また、本論文の執筆にあたっては、(株)日本港湾コンサルタント 柴田大介氏の協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局：東予港中央地区複合一貫輸送ターミナル整備事業再評価，平成28年度

第1回 四国地方整備局 事業評価監視委員会資料 資料-6，平成28年8月1日。

- 2) 国土交通省四国地方整備局：東予港中央地区複合一貫輸送ターミナル整備事業再評価説明資料（重点審議），第3回 四国地方整備局 事業評価監視委員会資料 資料4-2-1，平成30年12月11日。
- 3) 社団法人日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き，pp.24-28，2008。
- 4) 古澤 達也，稲田 勉，伊藤 春樹，政岡 和宏：カルシア改質土を用いた耐震強化岸壁の設計手法の提案，沿岸技術研究センター論文集，No.20，pp.43-47，2020。
- 5) 田中 裕一，高将 真，今村 正，渋谷 貴志，山越 陽介，赤司 有三，北野 吉幸，菅野 浩樹：カルシア改質土による海面埋立，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.70，No.2，pp. I\_888-893，2014。
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成30年7月。
- 7) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol. 29, No. 4, pp. 27-56, 1990.
- 8) 山崎 元貴：耐震強化岸壁へのカルシア改質土適応のための検討，平成29年度 四国地方整備局管内技術・業務研究発表会講演概要集，pp.I\_77-I\_80，2017。
- 9) 沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル，平成29年2月
- 10) 秦吉弥，一井康二，村田晶，野津厚，宮島昌克，常田賢一：常時微動計測を利用した道路盛土のせん断波速度の評価—2007年能登半島地震で被災した能登有料道路を例として—，日本地すべり学会，Vo.48，No.6，pp.318-325，2011。
- 11) (一材) 沿岸技術研究センター：港湾構造物設計事例集（平成19年改訂版） 上巻，P.5-35，2007。
- 12) 松村 聡，水谷 崇亮，森川 嘉之，赤司 有三，本田 秀樹，清水 雅浩：カルシア改質土と異種材料との境界における摩擦特性，港湾空港技術研究所報，Vol.59-2-3，2020。

(Received October 30, 2021)

## AN APPLICATION OF H/V SPECTRUM OF OBSERVED MICROTREMORS AS A CONFIRMATION OF PARAMETER SETTING IN 2D FEM ANALYSIS

Katsuhiko KOIZUMI, Kaoru SINMYO, Haruki ITOU and Tutomu INADA

At the earthquake resistant quay wall in Toyo Port, Calcia stabilized soil (soil stabilized by grained converter slag) was used as back fill. The strength of Calcia stabilized soil scatters, and these features shall be considered in 2D dynamic FEM analysis in usual scheme of seismic design of earthquake resistant quay walls. Thus, establishment of the procedure to determine the appropriate values of input parameters in 2D dynamic FEM analysis was the problem to be solved.

For this purpose, in addition to soil sampling of Calcia stabilized soil, on site microtremor measurement were conducted. And the computed H/V spectrum by using numerical simulation of microtremors with the parameters determined by soil samples, were compared to the H/V spectrum of observed microtremors. As the result, the frequencies of the peaks of H/V spectrums were consistent. Thus, we confirmed that the values of the parameters determined by soil samples may be appropriate.