

岩ズリを用いた重力式岸壁の 地震時挙動に関する模型振動実験と数値解析

瀬戸口 修造¹・小濱 英司²・楠 謙吾³・菅野 高弘⁴

¹正会員 株式会社ニュージェック 港湾・海岸グループ (〒136-0071 東京都江東区亀戸一丁目5-7)

E-mail: setoguchisz@newjec.co.jp

²正会員 港湾空港技術研究所 地震防災領域 (〒239-0826 横須賀市長瀬三丁目-1-1)

E-mail: kohama-e83ab@pari.go.jp

³正会員 株式会社ニュージェック 港湾・海岸グループ (〒136-0071 東京都江東区亀戸一丁目5-7)

E-mail: kusunokikn@newjec.co.jp

⁴正会員 港湾空港技術研究所 地震防災領域 (〒239-0826 横須賀市長瀬三丁目-1-1)

E-mail: sugano@pari.go.jp

2012年東北地方太平洋沖地震における係留施設の被害に、岸壁前面のはらみだしや岸壁背後地盤の沈下といった被害が報告されている。こうした被災岸壁の中には、背後地盤に岩ズリ材が使用されている場合があり、特に岸壁背後の地表面の沈下は地震時の岩ズリの体積収縮が寄与していることが考えられる。

本論文では、せん断土層による振動実験を実施し、相対密度と体積ひずみの関係を示した。また、被災した岸壁を模擬したケーソン式岸壁模型振動実験を実施し、重力式岸壁の地震時水平変位が岩ズリ部の密度にあまり依存しないことを示した。さらに、実施した2つの実験について有効応力解析による検討を行い、せん断土層では地表面沈下量、ケーソン模型実験では岸壁前面のはらみだし量、ケーソン背後直近での地表面沈下量等の再現を試みた。

Key Words : coarse-grained rock waste, settlement of ground, shake table test, effective stress analysis

1. はじめに

岩ズリとは、石材生成時に発生するズリ(副産物)のことで無規格材料である。無規格材料であることから、母岩、粒度組成、粒子形状などにおいて様々な種類の岩ズリが存在するが、一般的には、礫以上の粒径が荒く透水性の良いものが多く、地震時において過剰間隙水圧の蓄積があまりないことから、液状化対策の埋立柱として埋立地造成に利用される事がある。

2012年東北地方太平洋沖地震により多くの地域で港湾施設が被災した。岸壁においては、岸壁前面のはらみだしや岸壁壁体背後地盤の沈下といった被災報告がなされている¹⁾。Takahashi et alの調査結果²⁾によれば、茨城港常陸那珂港の埋立柱として岩ズリを用いていたケーソン式岸壁においても、ケーソンの海側への迫出しと、ケーソン背後の約1.3mの沈下が報告されている。岩ズリ埋立部上の表面において噴砂等は見られていないことから、岩ズリにおいて液状化は生じていないと考えられるが、地表面に沈下にはケーソン壁体の水平移動とともに

岩ズリの地震中の体積変化が寄与していることも考えられる。

これまでの岩ズリの動的特性についての研究は、せん断土槽を用いた振動実験による過剰間隙水圧の変化に着目したもの^{3,4)}が多く、地震中の繰り返しせん断による体積収縮について検討したものはあまりない。

本研究においては、まず最初に、繰り返しせん断による岩ズリの体積圧縮特性を把握することを目的としたせん断土槽実験を実施した。また、ケーソン式岸壁の模型振動実験を実施し、背後地盤の岩ズリが岸壁構造安定性へ与える影響について考察した。また、これら2つの実験結果について、二次元有効応力解析による再現解析を試みた。

2. 振動台実験

(1) 岩ズリの基本性状

実験に用いた岩ズリの基本性状を表-1に示す。この岩ズリは、Takahashi et alにおいて報告されている岸壁に

表-1 岩ズリの基本性状

土粒子密度	最大乾燥密度	最小間隙比	最大間隙比
ρ_d (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	e_{min}	e_{max}
2.734	2.003	0.385	0.752



写真-1 用いた岩ズリの粒子形状

用いられているものと同じ採石場から採取されたものであり、岩ズリの最大粒径は $\phi=106\text{mm}$ である。透水係数は、クレーガーによる一般的な土の D_{20} と透水係数の関係より、 $k=1.75 \times 10^1 \text{ m/s}$ 程度（岩ズリの D_{20} は 7mm 程度）と想定される。図-1に粒径加積曲線を示す。細粒分や砂分が極めて少なく、礫分以上が粒径のほとんどを占めており、透水性が良いことが分かる。また、港湾規準⁹⁾に則り粒度分布から液状化の可能性を考えれば、液状化の可能性は低い材料と判断される。岩ズリの形状は写真-1に示す通り扁平で角張っている。粒子表面には層状を成す構造が見られるが、粒子は堅く、その層に沿って脆く崩れやすいものではない。

(2) せん断土層振動実験

a) 実験内容

せん断土槽を用いた振動実験では、岩ズリの地震時沈下特性を把握することを目的としている。実験は大型振動台に設置した高さ 1.0m、幅 2.0m、奥行き 1.0m のせん断土槽を用いて行った。計測器は、加速度計と間隙水圧計を地中に設置している。レーザー式変位計は鋼製枠および地表面に、ターゲットは地表面に設置し加振後の沈下量を計測した。模型寸法と計測器配置を図-2に、実物模型を写真-2に示す。写真-2に示すように、せん断土槽は水平方向にフレキシブルな構造となっており、地盤の応答に追随して変形できる構造となっている。

実験ケースは表-2に示すように、緩詰め地盤 2 ケースと密詰め地盤 1 ケースの計 3 ケースを実施した。緩詰め地盤は、スコップを用いて気乾状態の岩ズりを静かに投入して作製した。密詰め地盤は、緩詰め地盤と同様にスコップで投入後、人力で踏み固めて作製した。岩ズり地盤を所定の高さまで投入後、地下水位面と地表面が等しくなるよう水位差を利用して土槽底面からゆっくりと注水した。

模型の縮尺比は、対象とした岸壁での岩ズり層厚約

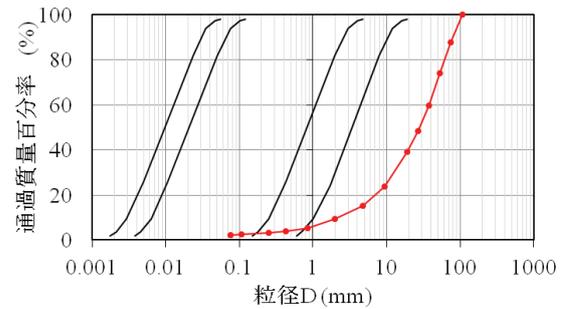


図-1 粒径加積曲線

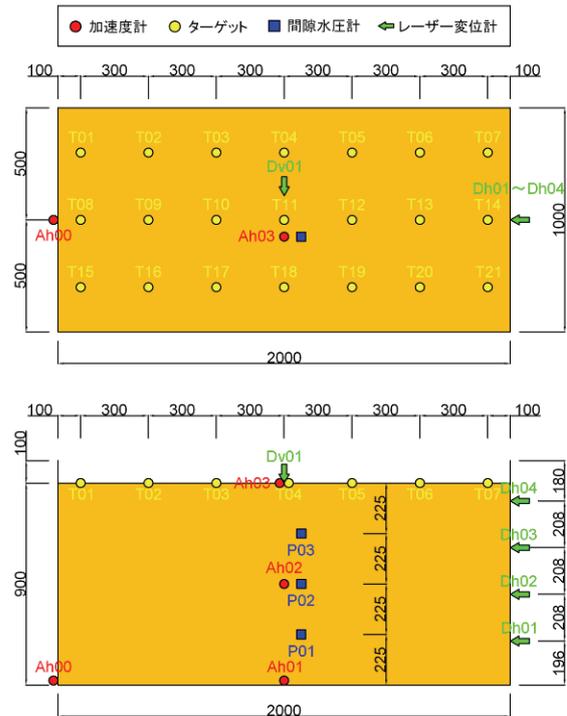


図-2 模型寸法と計測器配置 (単位 mm)



写真-2 実験前のせん断土槽

表-2 せん断土槽実験ケース

caes No.	土層 作製方法	初期相対密度 Dr (%)
case1	緩詰め	25
case2	緩詰め	34
case3	密詰め	55

20m を考慮し $\lambda=20$ (実物スケール/模型スケール) とした。相似則については、Iai により提案されている、1G 場における振動台実験の相似則⁶⁾を適用した。この相似則は、地盤を2層系飽和材料(間隙水と土骨格)の力のつり合い式と連続の式に基づき導かれたものである。実験で適用した相似則と縮尺比を表-3に示す。

実験に使用した入力地震波を図-3に示す。地震波は、港湾地域強震観測での常陸那珂-U における東北地方太平洋沖地震の推定地震動を工学的基盤面における E+F 波に変換したもの⁷⁾を使用し、相似則により時間縮尺 $\lambda^{0.75}$ を適用した相似則波と、そのままの縮尺とした原寸波を用いた。振動実験はステップ加振とし、一度作成した岩ズリ地盤に対して、相似則波を3回、原寸波を3回程度繰り返し実施した。

b) 実験結果と考察

それぞれのステップ加振により生じた体積ひずみを図-4に示す。相似則波1回目の加振では、case1で約6.5%、case3で約2.5%の体積ひずみが生じており、加振を繰り返す毎に体積ひずみの発生量は小さくなっている。これは、加振を繰り返す毎に岩ズリ地盤密度が大きくなるのが原因であると考えられるため、相対密度とステップ加振毎に生じた体積ひずみの関係で整理し図-5に示す。プロットは○(白抜き)が相似則波による加振結果、●(塗りつぶし)が原寸波による加振結果を示している。これより、相対密度が大きくなると体積ひずみが小さくなり、相対密度70%程度となると変位振幅が大きく継続時間の長い原寸波による加振であっても体積ひずみはほとんど発生していないことが分かる。

(3) ケーソン模型振動実験

a) 実験内容

実験は大型水中振動台に設置した高さ1.5m、幅4.0m、奥行き2.8mの鋼製剛土槽を用いて行った。裏埋の岩ズリ地盤の密度が緩い場合と密な場合の2ケース実施するため、土槽に中仕切り板を設置することで奥行き方向を2分割(1断面当たり1.4m)し、2断面同時加振を可能とした(写真-3)。Takahashi et al において報告されている重力式岸壁を参考に、相似率1/20の岸壁模型を作製した(図-6)。最下層の基盤層は、工学的基盤層を想定し、飯豊珪砂6号にジェットセメントを6%配合し固化処理土とした。固化処理土の上には砕石5号を用いて捨石マウンドを作製した。現地施設の後方の背後地盤では液状化が発生した砂層があるが、ケーソン背後の広範囲が岩ズリ材で埋め立てられており、また図-6の模型の範囲に砂層はほとんど含まれないため、岸壁への影響は小さいと判断し模型では考慮していない。ケーソン模型は、高さ0.98m、幅1.3m、奥行き0.775mの箱殻でモデル化し

表-3 相似則と縮尺比

パラメータ	実物/モデル	縮尺比
長さ	λ	20.00
密度	1	1.00
時間	$\lambda^{0.75}$	9.46
応力	λ	20.00
間隙水圧	λ	20.00
変位	$\lambda^{1.5}$	89.44
加速度	1	1.00
ひずみ	$\lambda^{0.5}$	4.47
剛性	$\lambda^{0.5}$	4.47
透水係数	$\lambda^{0.75}$	9.46

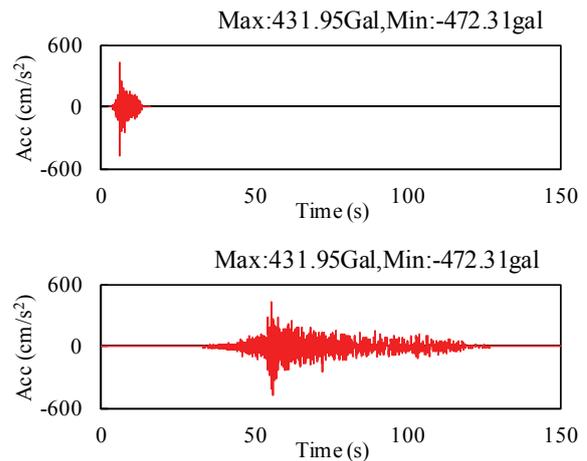


図-3 加振波(上:相似則波,下:原寸波)

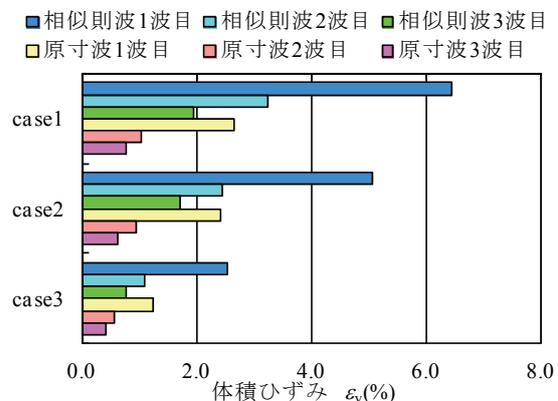


図-4 各ステップにおける体積ひずみ

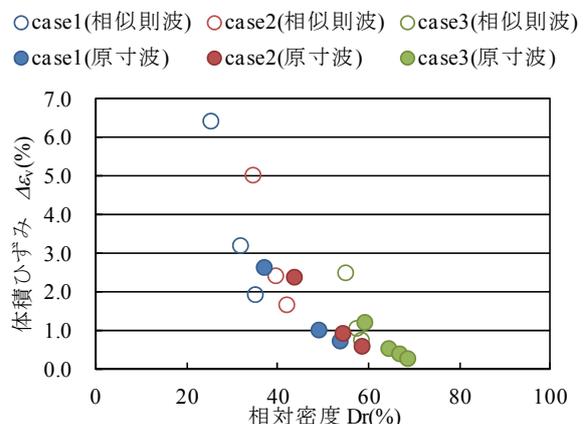


図-5 相対密度と体積ひずみの関係

た。ケーソンの鉛直方向の重心位置および設置圧が現地の実岸壁と整合する様に飯豊珪砂 6号を相対密度 80%、投入高さ 0.84m として鋼殻内に投入した。捨石マウンドは、砕石 5号を使用して静かに積み上げ、表面を慎重に均し成形した。ケーソン模型設置後、岩ズリ層をスコップにより慎重に投入した。

また、ケーソンは1断面に1函設置した。地盤作製後、水道水を注入することで地盤の間隙を満たし、海水部分も作製した。なお、密度管理により求めた岩ズリ層の相対密度は、緩詰め地盤で42%、密詰め地盤で93%であった。

図-6に示すように地盤中に加速度計および間隙水圧計を設置した。ケーソン天端、基礎捨石から0.15m、0.93m 上方の位置のケーソン前面、ケーソン背後0.2m 位置の岩ズリ層地表面にレーザー式変位計を設置した。また、ケーソン天端および岩ズリ地盤の地表面にターゲットを設置し加振後の地表面沈下量を計測した。

相似則は、せん断土槽実験と同様に Iai により提案された 1G 場における相似則⁶⁾を適用した。以後、実験条件や結果は模型スケールで表すこととする。

入力地震波は、せん断土槽振動実験に用いた地震波と同じ図-3 (相似則波) を使用した。

変形倍率は5倍としており、ケーソン天端の水平変位、ケーソン背後地盤の段差の括弧内の数値は相似則を適用して実物スケールに換算したものである。図中の青四角は間隙水圧計位置を示し、付記した数値は最大過剰間隙水圧比を表している。両断面ともに過剰間隙水圧の上昇は小さく、液状化は発生していない。ケーソン天端の水平変位は、模型スケールで緩詰め断面 6.4mm、密詰め断面 5.1mm であり、緩詰め断面と密詰め断面との差はあまり大きくない。しかし、ケーソンと背後地の段差は模型スケールにおいて緩詰め断面で 14.0mm、密詰め断面で 6.5mm となっており、その差はおおよそ2倍である。これは、構造物背後に岩ズリ材料を用いた場合、地震時の岩ズリ部の沈下量は地盤密度に応じて異なるためであると推察される。

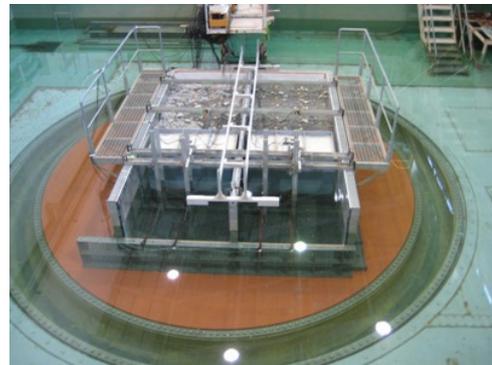


写真-3 実験前の模型

b) 実験結果と考察

加振後の残留変形図を図-7に示す。図中の青字は緩詰め断面の結果であり、赤字は密詰め断面の結果である。また、

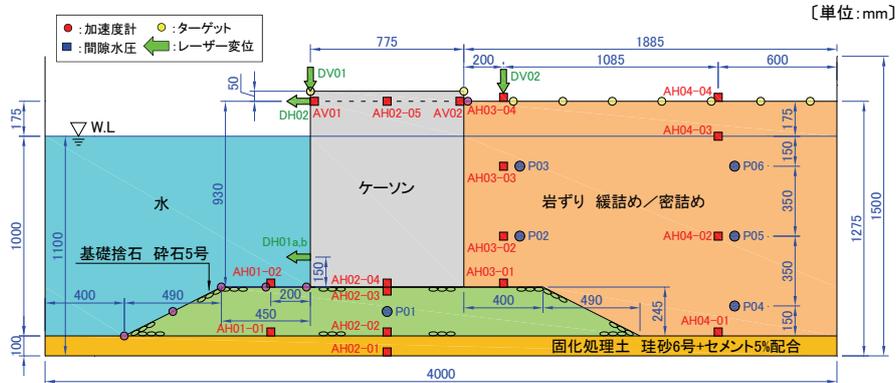


図-6 模型寸法と計測器配置

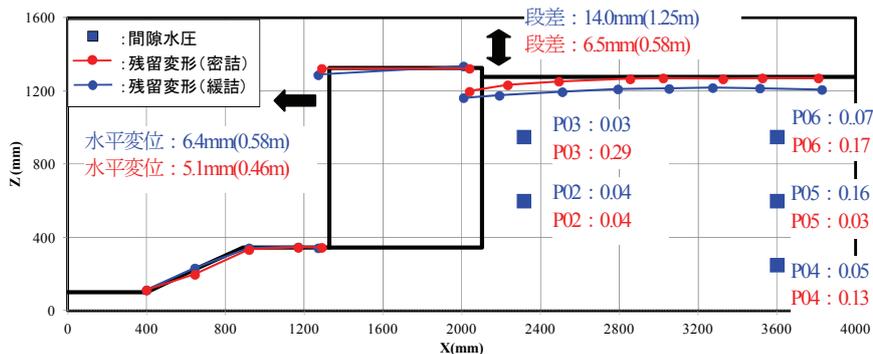


図-7 残留変形図(青文字：緩詰め地盤, 赤文字：密詰め地盤)

また、現地地盤の被災報告と比較してみると、緩詰め地盤ではケーソンの水平変位が実寸換算で 0.57m、ケーソン背後地盤の段差が 1.25m と近い値を示しており、現地の岩ズリは緩詰め状態であったことが推察される。

3. 有効応力解析による再現解析

(1) せん断土槽振動実験岩ズリのパラメータ決定

2章で実施された実験に対して、二次元有効応力解析 FLIP(Ver.7.2.2)を用いた再現解析を実施した^{8,9)}。本解析ではせん断土槽振動実験の再現解析を実施後、再現出来た岩ズリのパラメータを用いてケーソン模型振動実験の再現解析を行う。なお、せん断土槽実験とケーソン模型実験の岩ズリの相対密度が最も近いケースを解析対象とした。せん断土槽振動実験では、境界条件の影響が小さいと考えられるため、一次元解析とした。解析モデルを図-8に示す。

岩ズリ材のモデル化には揺すり込み沈下を表現するため、ダイレイタンスーを考慮できるカクテルグラスモデル^{10,11)}を適用した。岩ズリのカクテルグラスモデルにおけるパラメータは、せん断土槽振動実験の再現解析によるパラメトリックスタディで決定した。負のダイレイタンスー増分の係数である γ_{ed}^{cm} は、初期間隙比から最小間隙比 e_{min} まで体積収縮すると考え、 $-\epsilon_d^{cm}=0.13$ とした。また、負のダイレイタンスーを制御するパラメータ γ_{ad}^c と正負の両ダイレイタンスーを制御するパラメータ γ_{ad} を変化させて実験結果に整合するようした。他のカクテルグラスモデルでのパラメータは、砂に用いる一般的な値等

とした。表-4 およびに岩ズリのモデル化に用いたパラメータを示す。

入力地震波は、実験においてせん断土槽の底面に設置した加速度計 Ah01 での計測値を使用した。せん断土槽振動実験の加速度応答、間隙水圧、水平変位および鉛直変位の時刻歴変化を図-9に示す。鉛直変位については、加振中の増加傾向および残留変位量共に整合させることができた。水平変位については、実験結果に含まれるノイズが大きい、Dh03、Dh04 は加速度振幅が大きい 3s ~ 12s 付近で実験値と近い挙動を示し、振幅の程度も概ね整合している。間隙水圧は、全ての間隙水圧計位置で上載圧より低い値を示し、液状化に至っていないことが確認出来る。P03 位置での間隙水圧は加振中に変動しているが、これは、実験において動水圧が大きく出ているものと考えられる。以上より、本解析が妥当であると解釈しカクテルグラスモデルのパラメータを決定した。

表-4 岩ズリの動的特性パラメータ

パラメータ		岩ズリ
密度	$\rho_{sat}(t/m^3)$	1.74
基準拘束圧	$\sigma_{ma}^a(kN/m^2)$	3.530
せん断弾性係数	$G_{ma}(kN/m^2)$	2980
体積弾性係数	$K_{U/La}(kN/m^2)$	7772
ポアソン比	ν	0.33
間隙率	n	0.38
せん断抵抗角	$\phi_f(deg)$	39
粘着力	$c(kN/m^2)$	0
最大減衰定数	h_{max}	0.24
体積弾性係数(間隙水)	$K_f(kN/m^2)$	2200000

表-5 カクテルグラスモデルパラメータ

パラメータ	$-\epsilon_d^{cm}$	q_1	q_2	γ_k^m	l_k	γ_k	c_1	γ_{ed}	γ_{ed}^c
設定値	0.13	1.00	0.00	0.00	2.00	0.50	1.00	0.08	0.5

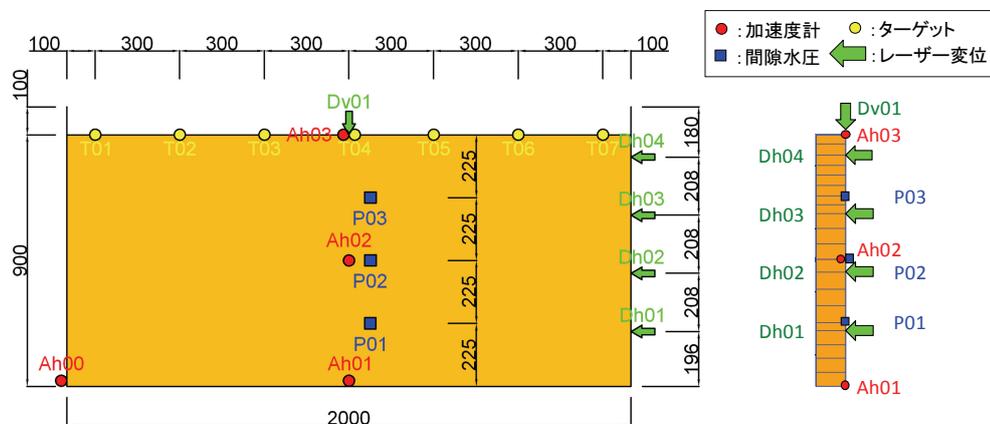


図-8 実験モデルと解析モデル

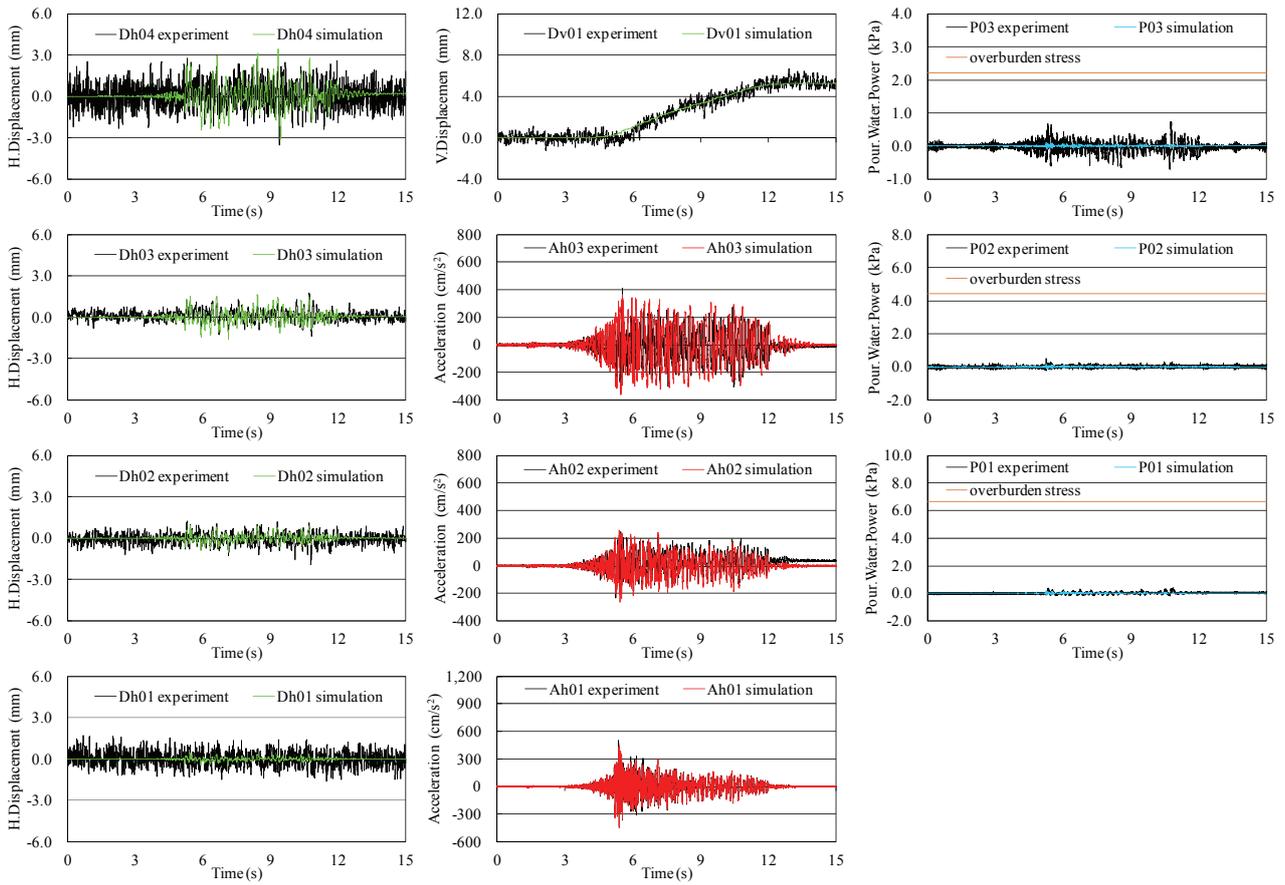


図-9 セン断土槽実験の再現解析結果

(2) ケーソン模型実験の再現解析

続いてせん断土槽に再現解析で得られた岩ズリの動的特性パラメータおよびカクテルグラスモデルパラメータを用い、ケーソン模型振動実験による再現解析を実施した。岩ズリ材以外の材料のモデル化は以下の様に行った。

ケーソンは線形平面要素でモデル化した。また、固化処理土はマルチスプリング要素でモデル化した。各部の動的特性パラメータをに示す。動的特性パラメータについては、実験過程により計測した重量や含水比、せん断波速度等を用いて算出した。実験に使用された基礎捨石は、砕石 5 号である。基礎捨石のせん断抵抗角 ϕ は別途実施した三軸 CD 試験より決定した。また、本来基礎捨石部は排水条件によるモデル化が望ましいと考えられるが、マルチスプリング要素によりモデル化しているため間隙水の体積弾性係数 K_f を低減させ、見かけの透水性を与える方法を採用した^{12, 13)}。図-10に解析断面と加速度、変位、間隙水圧の計測器を位置を示す。

各計測計位置での実験値と解析値の時刻歴比較を図-11に示す。岩ズリの沈下量 (DV02) については、加振中の増加傾向及び残留沈下量においてよく再現出来ている。ケーソン前面の水平変位 (DH02) についても残留変形量、時刻歴変化共に精度良く再現できた。ケーソン前面鉛直変位 (DV01) においては、実験における沈下

表-6 動的特性パラメータ

(a) 平面要素

パラメータ	ケーソン
密度 ρ (t/m ³)	2.08
せん断剛性係数 G (kN/m ²)	22300000
ポアソン比 ν	0.2

(b) マルチスプリング要素

パラメータ	固化処理土	基礎捨石
密度 ρ (t/m ³)	2.00	2.00
基準拘束圧 σ_{ma} (kN/m ²)	5.625	5.625
せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	245000	10370
体積弾性係数 K_{ma} (kN/m ²)	638900	27040
ポアソン比 ν	0.33	0.33
間隙率 n	0.45	0.47
せん断抵抗角 ϕ_f (deg)	0	39
粘着力 c (kN/m ²)	720	20
最大減衰定数 h_{max}	0.24	0.24
体積弾性係数(間隙水) K_f (kN/m ²)	2200000	22000

量は表現できていない。間隙水圧 (P04, P05, P06) については、図中のオレンジ色で表されている上載圧まで達しているものは無く、実験結果と同様に過剰間隙水圧の蓄積はほとんど見られない。加速度応答については浅い位置に設置した AH04-04 では加速度振幅がやや小さな値を示しているが、その他の加速度は再現性が良い。

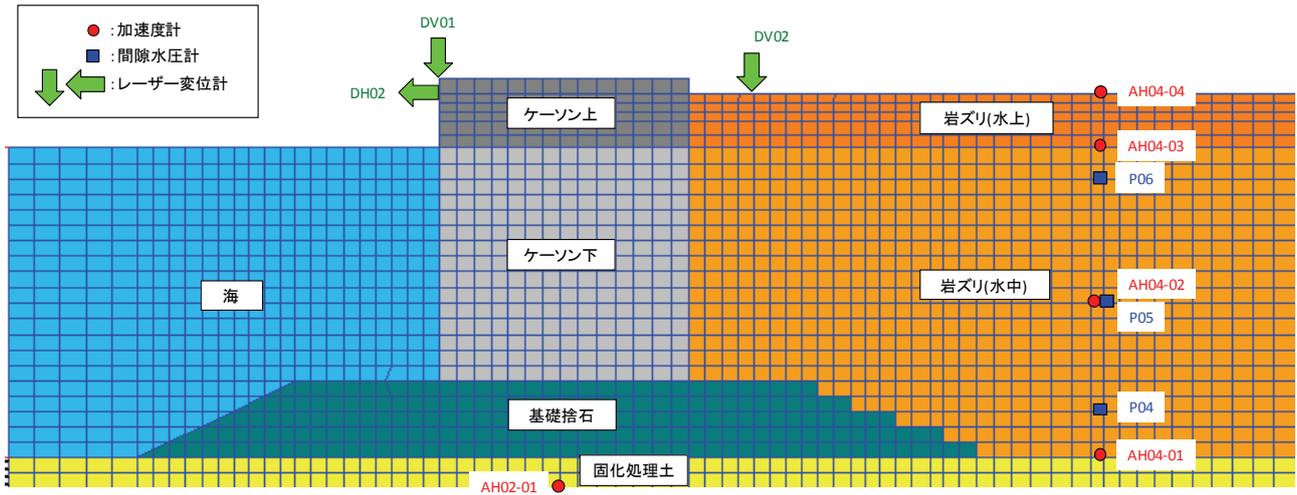


図-10 解析断面と計測器位置

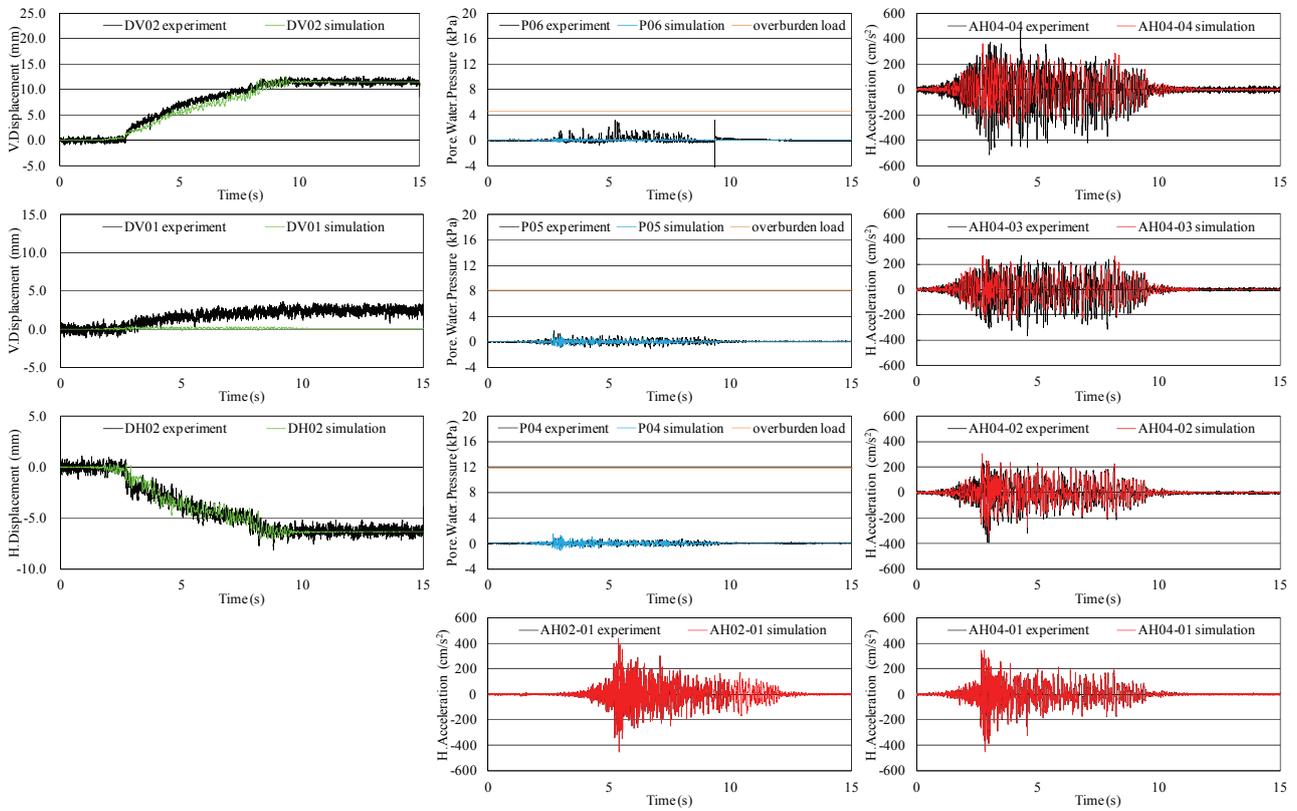


図-11 解析モデルおよび解析結果

実験と解析の残留変形の比較を図-12に示す。ケーソンから離れるにつれて解析による地表面沈下量がやや小さな値を示しているものの、岩ズリ部とケーソンの段差および全体的な地表面沈下はほぼ整合している。

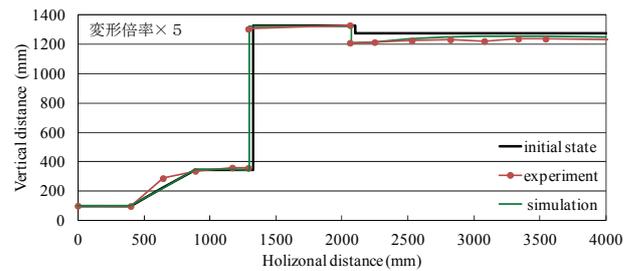


図-12 解析と実験の残留変形の違い

4. おわりに

岩ズリの体積収縮特性の把握および重力式岸壁に用いられた岩ズリの岸壁全体の地震時挙動への影響を確認するため、せん断土槽振動実験および大型模型振動実験を実施した。また、これら二つの実験により得られた結果を基に、二次元有効応力解析 FLIP による再現解析を実施した。

以上の検討内容より得られた知見を以下に示す。

- せん断土槽による振動実験の結果、相対密度が大きくなると体積ひずみが小さくなった。使用した岩ズリにおいては、相対密度 70%程度となると、加振力の大きい相似則を考慮しない原寸の地震波による振動であっても、体積ひずみはほとんど発生しなくなることを確認した。
- 大型模型による振動実験の結果、構造物背後に岩ズリ材料を用いた場合、地震時の岩ズリ部の沈下量は地盤密度に応じて異なることを確認した。また、ケーソン水平変位量については岩ズリ密度の影響は小さいことを確認した。現地地盤の被災報告と比較してみると、緩詰め地盤ではケーソンの水平変位が実寸換算で 0.57m、ケーソン～背後地盤の段差が 1.25m であり、現地の変形量に近いものとなった。
- 二次元有効応力解析 FLIP において岩ズリ要素をカクテルグラスモデルでモデル化し、せん断土槽による振動実験で再現性の良いカクテルグラスモデルパラメータを決定した。これを用いて大型模型による振動実験の再現解析を実施し、特に岸壁前面のはらみだしとケーソン背後直近の岩ズリ地盤の沈下量において整合した結果を得た。

謝辞：

本論文を作成するに当たり、せん断土槽実験、大型模型実験においては、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所よりご支援頂いた。また、実験を実施するにあたり、五洋建設株式会社の吉田誠氏に多大なご協力をいただいた。ここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高橋重雄, 戸田和彦, 菊池喜昭, 菅野高弘, 栗山喜昭, 山崎浩之, 長尾毅, 下迫健一郎, 根木貴史, 菅野甚活, 富田孝史, 河合弘泰, 中川康之, 野津厚, 岡本修, 鈴木高二朗, 森川嘉之, 有川太郎, 岩波光保, 水谷崇亮, 小濱英司, 山路徹, 熊谷兼太郎, 辰巳大介, 鷺崎誠, 泉山拓也, 関克己, 廉慶善, 竹信正寛, 加島寛章, 伴野雅之, 福永勇介, 作中淳一郎, 渡邊祐二: 2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 平成 23 年 4 月
- 2) Takahashi, H., Oohashi, T. and Endoh, H. : Earthquake Damage Investigation of Gravity-Type Quay Walls in Ibaraki Port, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Jpan Earthquake*, March,1-4,2012,Tokyo,Japan
- 3) 森田年一, 上部達生, 林恒一郎, 三藤正明: 岩ズリの液状化特性に関する実験的研究, 第 33 回地盤工学研究発表講演集, pp.751-752,1998.
- 4) 河村健輔, 新舎博, 笹井剛, 遠藤敏雄, 福本裕哉: 大規模埋立工事に使用する岩ズリ材料の液状化に関する模型振動台実験, 第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.453-454, 2007.
- 5) 社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 上巻, 2007, p.384.
- 6) Iai, S. : Similitude for Shaking Table Test on Soil-Structure Model in 1G-Gravitation Field, *Report of Port and Harbor Res Inst*, Vol27, No.3, pp3-24,1998.
- 7) (独)港湾空港技術研究所: 港湾地域強震観測, <<http://www.eq.pari.go.jp/kyosin/>>
- 8) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. : Analysis of Undrained Cyclic Behavior of Sand under Anisotropic Consolidation, *SOIL AND FOUNDATIONS*, Vol.32, No.2, pp.16-20, 1992.
- 9) 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.
- 10) 井合進, 飛田哲男, 小堤治: 砂の繰り返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係, 京都大学防災研究所年報, 第 51 号 B, pp.291-302, 平成 20 年 6 月
- 11) Iai, S., Tobita, T., Ozutsumi, O. and Ueda, K. : Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol.35, No.3, pp.360-392,2011.
- 12) (財)沿岸技術研究センター: 港湾構造設計事例集(平成 19 年度伴)上巻, 第 2 編係留施設, 第 1 章ケーソン式係船岸, pp.56-76,2007.
- 13) (財)沿岸技術研究センター: 港湾構造設計事例集(平成 19 年度伴)上巻, 第 2 編係留施設, 第 2 章直食い式横棧橋, pp.43-54,2007.

MODEL VIBRATION TEST AND NUMERICAL ANALYSIS
ON SEISMIC BEHAVIOR OF GRAVITY TYPE QUAY WALL
USING A COARSE-GRAINED ROCK WASTE

Shuzo SETOGUCHI, Eiji KOHAMA, Kengo KUSUNOKI and Takahiro SUGANO

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake caused the damages of mooring facilities, such as seaward displacement of quay walls and subsidence of backfill ground. It is supposed that ground surface subsidence at quays reclaimed with coarse-grained rock waste were influenced by its volume contraction characteristic during earthquake.

In this paper, we conducted shake table tests with shear box, indicating the relationship between the volumetric strain and relative density of coarse-grained rock waste. Further, conducting shake table test of gravity type quay wall, it is clarified that horizontal displacement of the gravity type quay is less dependent on density of the coarse-grained rock waste. Effective stress analysis was carried out to reproduce the results of the shear box test and the model quay wall test, using the same model parameters for the coarse-grained rock waste.