

2.3 模型地盤の斜面破壊の再現解析

2.3.1 修正フェレニウス法による安定解析

a) 修正フェレニウス法

斜面安定解析の安全率を計算するために修正フェレニウス法を用いた。解析コードは COSTANA.Ver19.1A(富士通 FIP)を使用した。修正フェレニウス法では図 2-63 に示す斜面に対して、以下の式で安全率を求める。

$$\text{安全率 (Fs)} \quad F_s = \frac{R \sum [cl + \{(W - Ub) \cos \alpha - k_h W \sin \alpha\} \tan \phi]}{\sum (RW \sin \alpha + k_h Wh)} \quad (2.1)$$

Fs : 安全率

R : すべり面半径 (m)

c : 粘着力 (kn/m²)

L : 分割片で切られたすべり面の弧長 (m)

W : 分割片の全重量 (kN/m)

U : 間隙水圧 (kN/m²)

b : 分割片の幅 (m)

α : 各分割片で切られたすべり面の中点とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角 (°)

k_h : 設計水平震度

ϕ : せん断抵抗角 (°)

h : スライス重心とすべり面の中心との鉛直距離 (m)

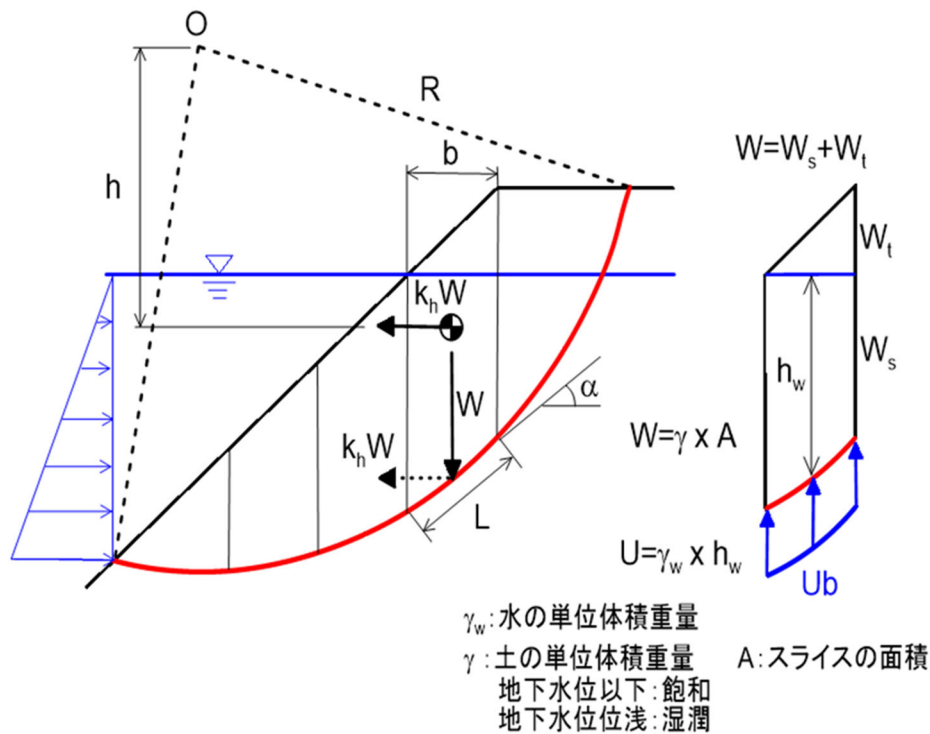


図 2-63 修正フェレニウス法の概略図

b) Case1

修正フェレニウス法による安定解析に用いた強度定数は、2.2.1 で測定した模型地盤のベーンせん断試験結果を用いて、同じ混合粘土の過圧密条件の一面せん断試験より求めた内部摩擦角 $\phi_{cu}=7.2$ 度を用いて 30g 場における有効拘束圧が作用する地盤で発揮されるせん断強度に補正した (図 2-64 の実線)、強度定数 $c=5.8\text{kPa}$ 、 $\phi=10.9$ 度を安定解析に用いた。

解析対象となるすべり面は、画像解析による地盤のせん断ひずみ分布と模型地盤の状況写真をより決定した。すべりの目安はせん断ひずみで 10%とした。図 2-65 にすべり面位置を示す。図はすべりが生じ始めた傾斜角 9 度の状況である。図中の赤破線線は上記の方法で求めたすべり線、青破線は実験結果に近い安定解析に用いた円弧、緑破線は安全率が最小となる円弧 (臨界円) である。臨界円は実験で生じたすべり面よりも深くに位置している。以降に、安定解析に用いたすべり面と臨界円における安全率と傾斜角の関係を図 2-66 に示す。実験で滑動し始めた傾斜角は 9 度～10.5 度であったが、その時の安全率は解析結果および臨界円の結果とも 1 をわずかに上回っている。安全率が 1 となる傾斜角は解析結果で 15.5 度、臨界円で 12 度となった。

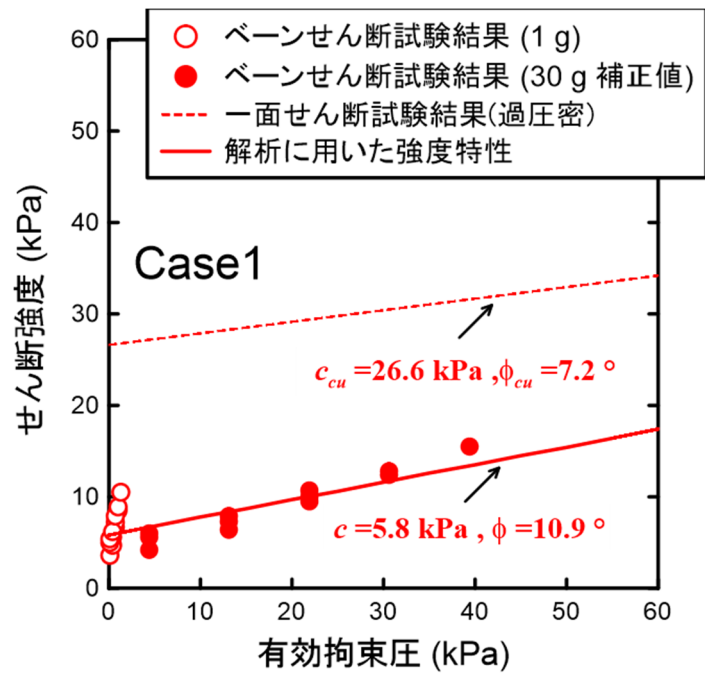


図 2-64 強度定数の設定 (Case1)

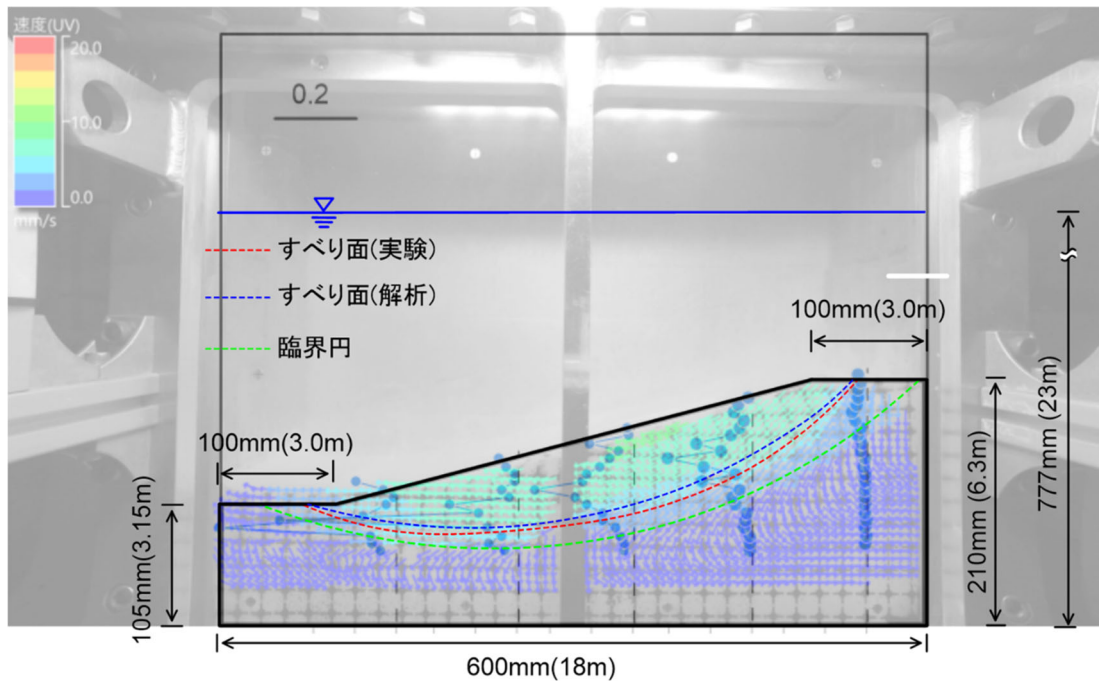


図 2-65 実験で見られたすべり面と解析に用いたすべり面および臨界円 (Case1)

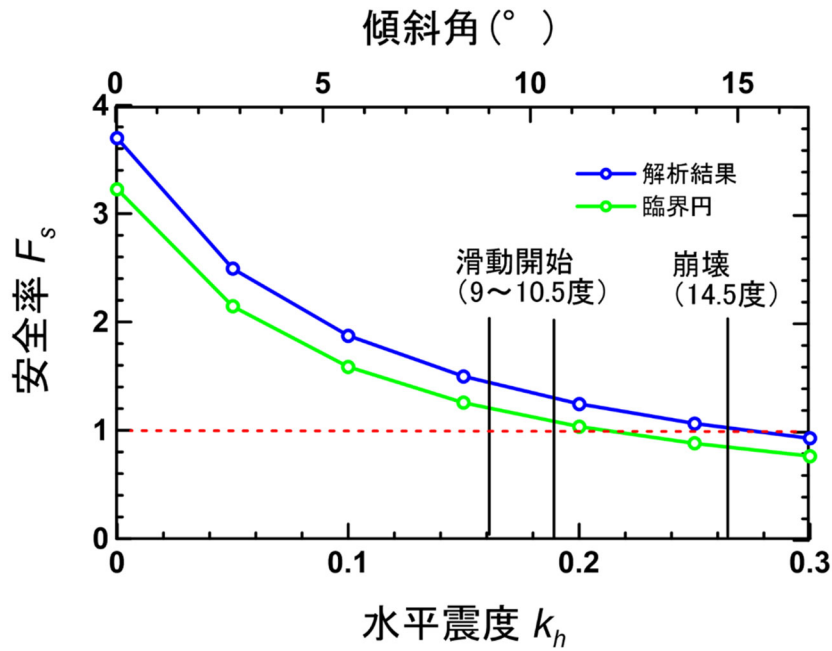


図 2-66 土槽の傾斜角と安全率の関係 (Case1)

c) Case2

修正フェレニウス法による安定解析に用いた強度定数は、2.2.2 で測定した模型地盤のベーンせん断試験結果を用いて、同じ混合粘土の過圧密条件の一面せん断試験より求めた内部摩擦角 $\phi_{cu}=7.2$ 度を用いて 30g 場における有効拘束圧が作用する地盤で発揮されるせん断強度に補正した (図 2-67 の実線)、強度定数 $c=6.4\text{kPa}$ 、 $\phi=11.5$ 度を安定解析に用いた。

解析対象となるすべり面は、画像解析による地盤のせん断ひずみ分布と模型地盤の状況写真をより決定した。すべりの目安はせん断ひずみで 10% とした。図 2-68 にすべり面位置を示す。図は地盤の変形が顕著に見られるようになった 333gal の 1 回目加振後の状況である。図中の赤破線線は上記の方法で求めたすべり線、青破線は実験結果に近い安定解析に用いた円弧、緑破線は安全率が最小となる円弧 (臨界円) である。臨界円は実験で生じたすべり面よりも深くに位置している。以降に、安定解析に用いたすべり面と臨界円における安全率と加振加速度の関係を図 2-69 に示す。実験で滑動し始めた加振加速度は 333gal であったが、その時の安全率は解析結果および臨界円の結果とも 1 をわずかに下回っている。安全率が 1 となる加振加速度は解析結果で 300gal、臨界円で 250gal となった。

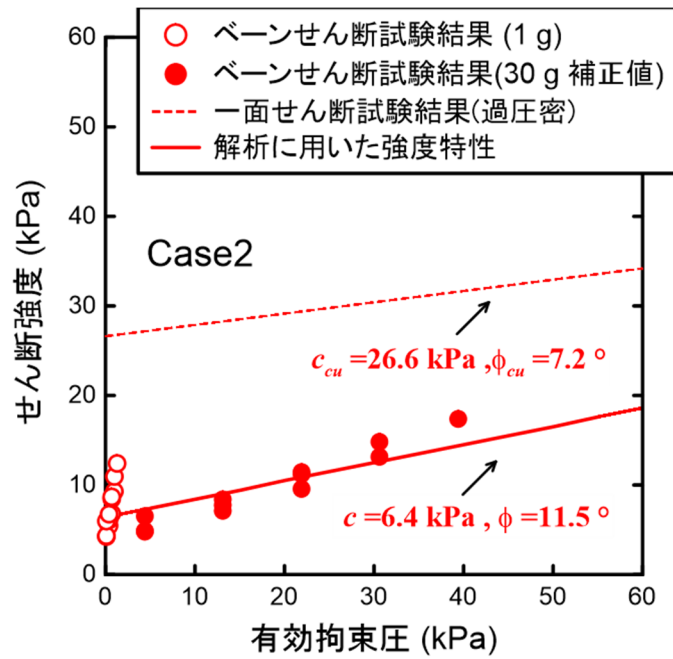


図 2-67 強度定数の設定 (Case2)

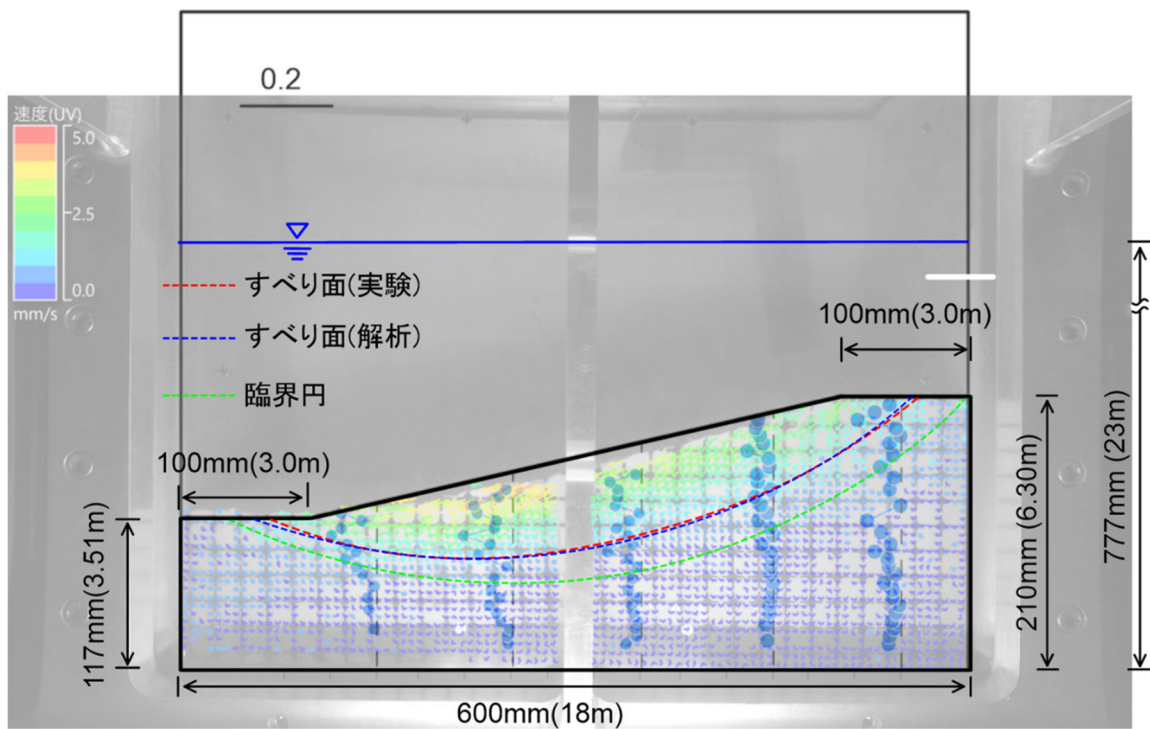


図 2-68 実験で見られたすべり面と解析に用いたすべり面および臨界円 (Case2)

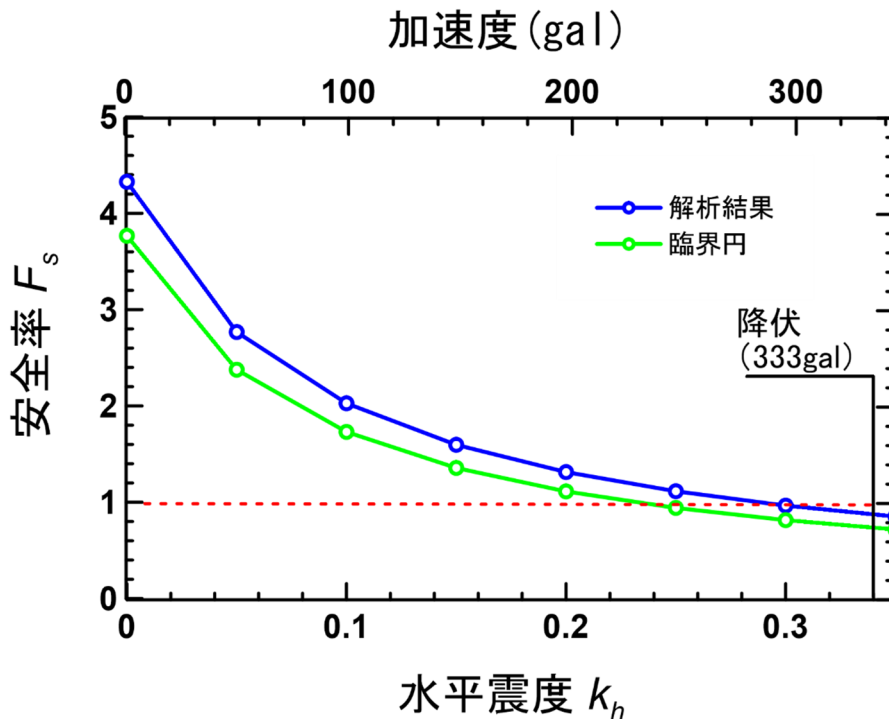


図 2-69 加振加速度と安全率の関係 (Case2)

d) Case3

修正フェレニウス法による安定解析に用いた強度定数は、2.2.3 で測定した模型地盤のベーンせん断試験結果を用いて、同じ混合粘土の過圧密条件の一面せん断試験より求めた内部摩擦角 $\phi_{cu}=7.2$ 度を用いて 30g 場における有効拘束圧が作用する地盤で発揮されるせん断強度に補正した (図 2-70 の実線)、強度定数 $c=5.3\text{kPa}$ 、 $\phi=10.8$ 度を安定解析に用いた。

解析対象となるすべり面は、画像解析による地盤のせん断ひずみ分布と模型地盤の状況写真をより決定した。すべりの目安はせん断ひずみで 10% とした。図 2-71 にすべり面位置を示す。図は地盤の変形が顕著に見られるようになった 250gal 加振後の状況である。図中の赤破線線は上記の方法で求めたすべり線、青破線は実験結果に近い安定解析に用いた円弧、緑破線は安全率が最小となる円弧 (臨界円) である。臨界円は実験で生じたすべり面よりも深くに位置している。以降に、安定解析に用いたすべり面と臨界円における安全率と加振加速度の関係を図 2-72 に示す。実験で滑動し始めた加振加速度は 250gal であったが、その時の解析結果の安全率は 1 をわずかに上回っている。安全率が 1 となる加振加速度は解析結果で 300gal、臨界円で 200gal となった。

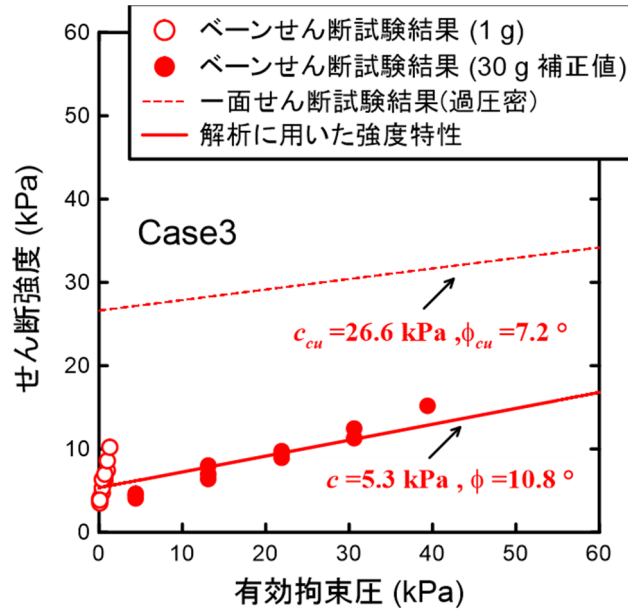


図 2-70 強度定数の設定 (Case3)

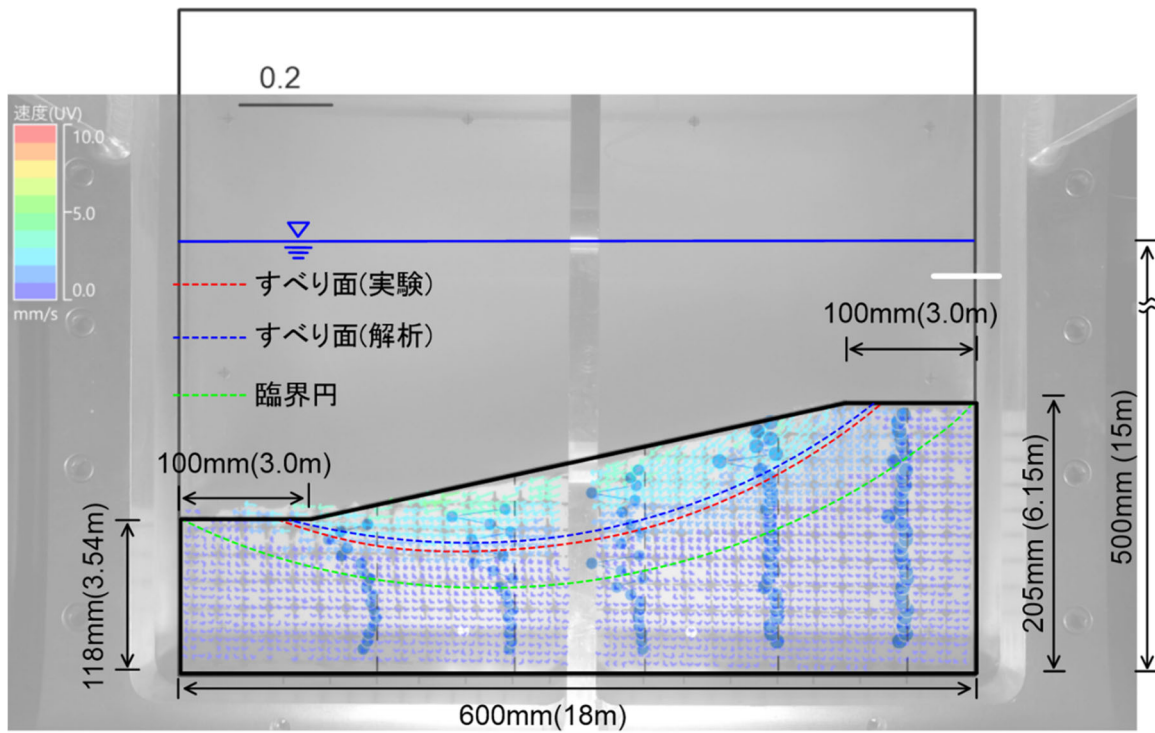


図 2-71 実験で見られたすべり面と解析に用いたすべり面および臨界円 (Case3)

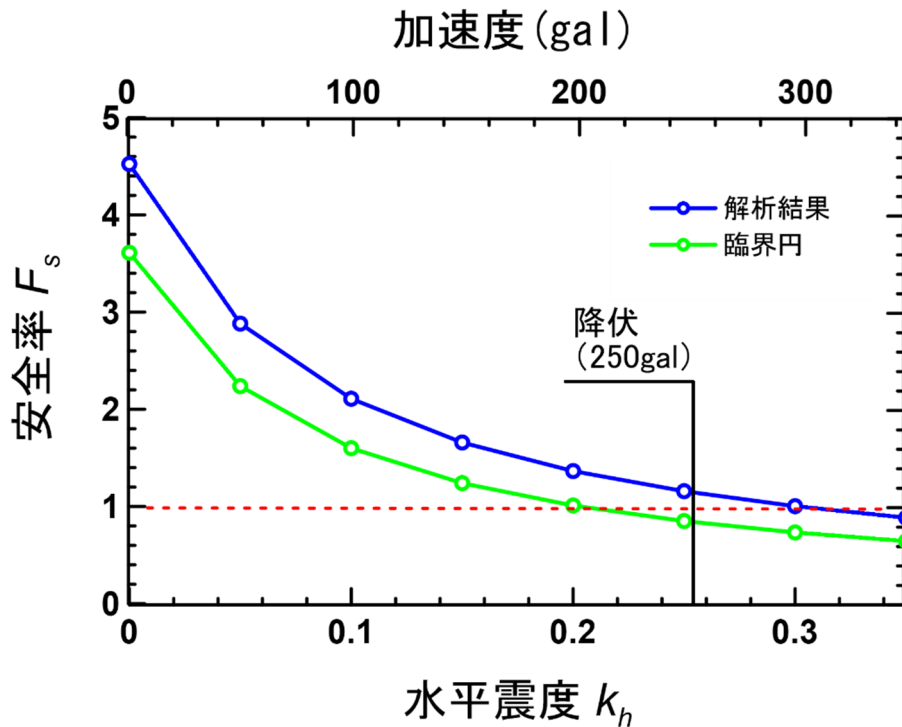


図 2-72 加振加速度と安全率の関係 (Case3)

2.3.2 静的解析および動的解析による再現解析

a) Case1

モールクーロンモデルを用いて再現解析を実施した。ここでは、有限差分法による解析コード「FLAC」を用いた。実験ケースを表 2-3 に示す。再現解析に用いた物性値を表 2-4 に示す。なお、表中の強度定数は、重力場でバーンセン断試験により測定したせん断強さを 30G 場の有効拘束圧で補正して求めたものであり、その結果を図 2-73 に示す。図 2-74 に模型地盤の概要を示す。図 2-75 に解析モデルを示す。解析では、実験で計測した傾斜角 α に対応する加速度 $A(\text{Gal})$ を(2.2)式に基づいて変換し、図 2-76 に示す加速度時刻歴を外力として与えた。図 2-77～図 2-79 に土槽傾斜角毎のせん断ひずみ増分とせん断ひずみ第 2 不変量 $\sqrt{J_2}$ の分布を示す。図より傾斜角 8 度で変位およびせん断ひずみが急増して、崩壊していることがわかる。

$$\tan \alpha = k_h = \frac{A}{981} \quad (2.2)$$

表 2-3 解析ケースと条件

実験ケース	斜面勾配 (°)	水深 (m)	遠心場 (g)	地震外力
Case1	14.7	23	30	静的
Case2	13.1			動的
Case3	12.3	15		

表 2-4 地盤の物性

モデル	Mohr-coulomb
密度 ρ (kg/m ³)	1744
ポアソン比 ν	0.4
ヤング率 E	$E = 16100 \times (\rho / \rho_0)^{0.66}$
せん断剛性 G	ν と E から算出
体積弾性率 K	ν と E から算出
粘着力 c (kPa)	5.8
内部摩擦角 ϕ (°)	10.9
引張強度 (Pa)	1×10^9

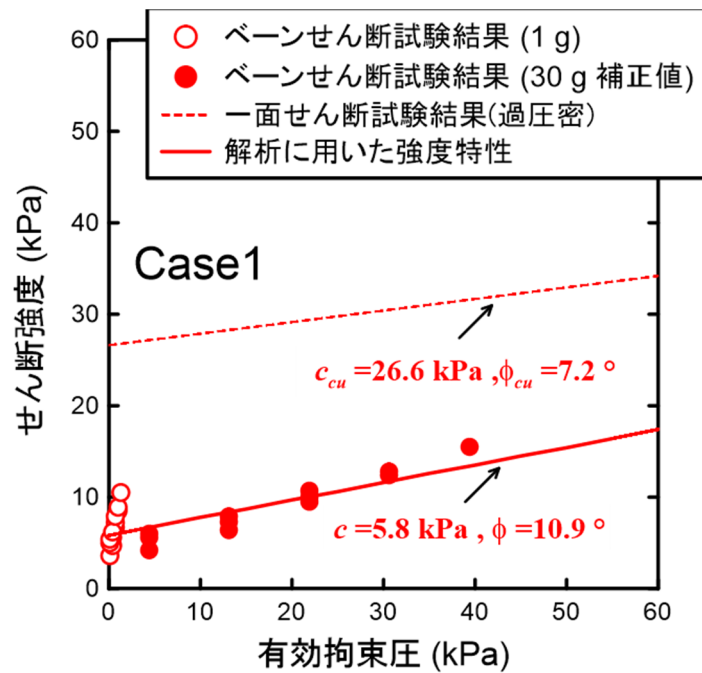


図 2-73 強度定数の設定

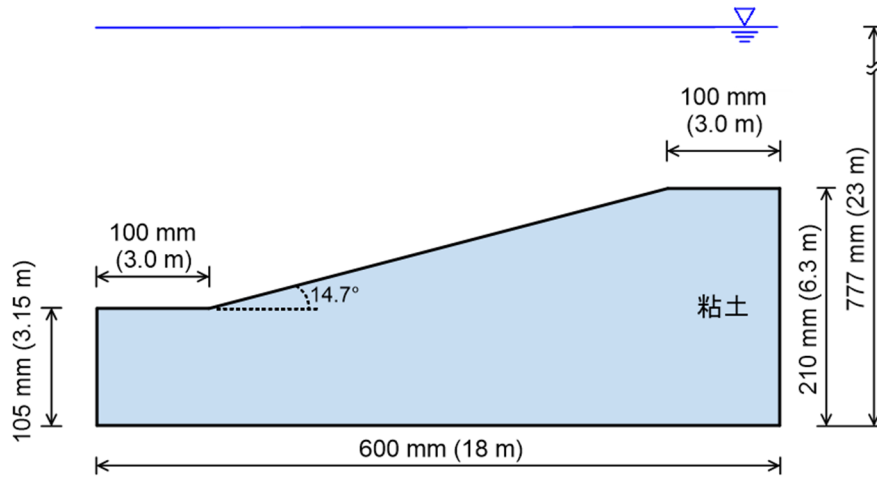


図 2-74 模型地盤の概要

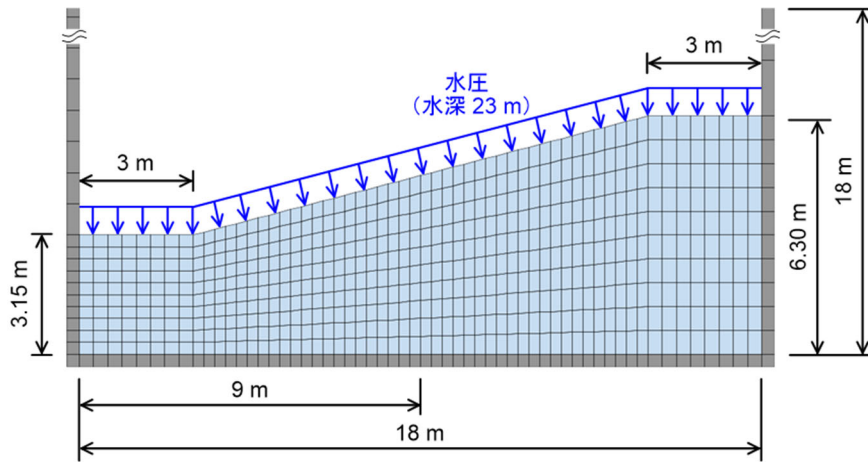


図 2-75 解析モデル

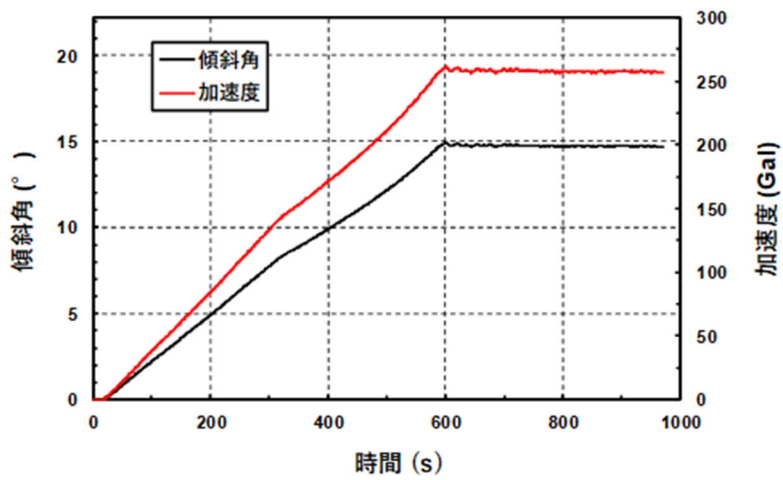
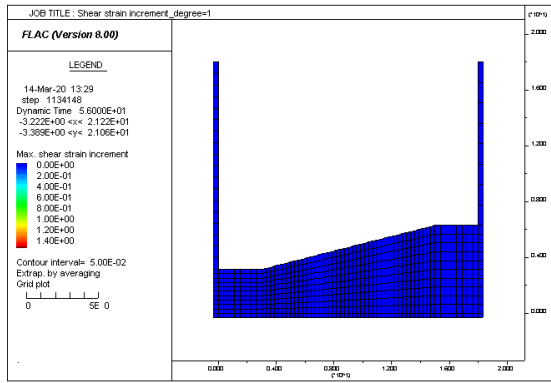
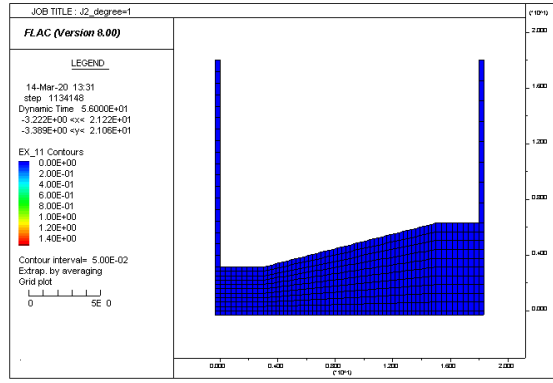


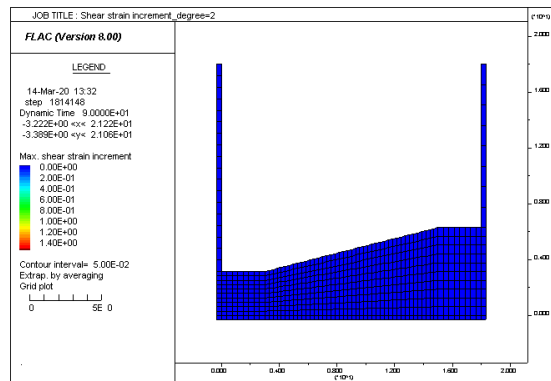
図 2-76 土槽傾斜角に対応した入力加速度



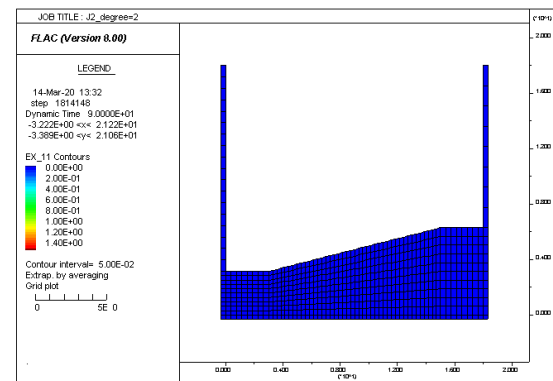
ひずみ増分 (傾斜角 1°、水平震度 0.02)



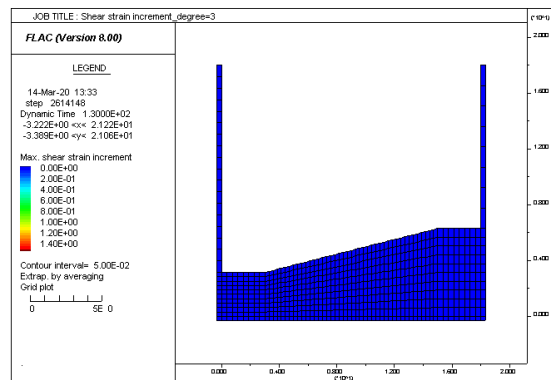
$\sqrt{J2}$ (傾斜角 1°、水平震度 0.02)



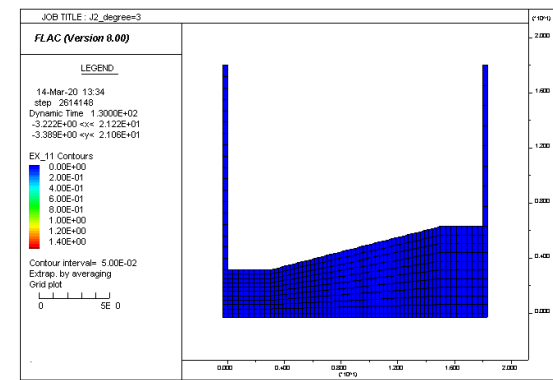
ひずみ増分 (傾斜角 2°、水平震度 0.03)



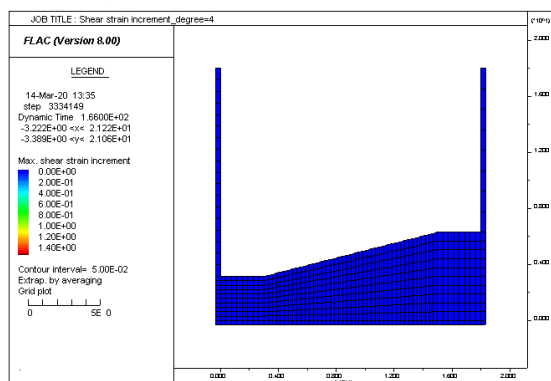
$\sqrt{J2}$ (傾斜角 2°、水平震度 0.03)



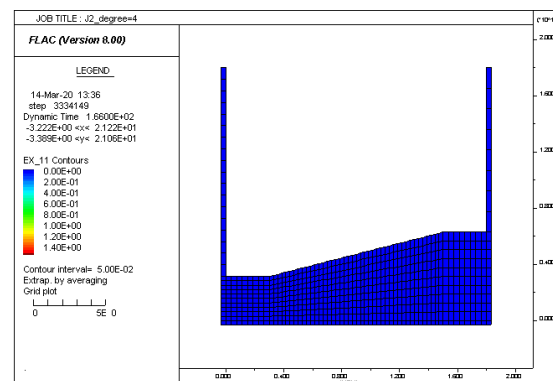
ひずみ増分 (傾斜角 3°、水平震度 0.05)



$\sqrt{J2}$ (傾斜角 3°、水平震度 0.05)

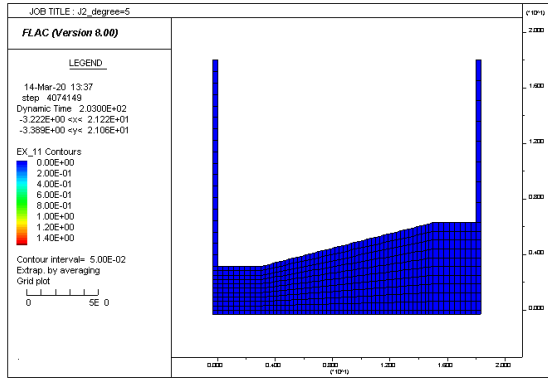
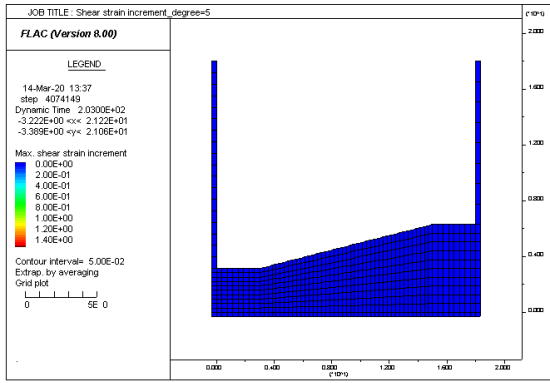


ひずみ増分 (傾斜角 4°、水平震度 0.07)



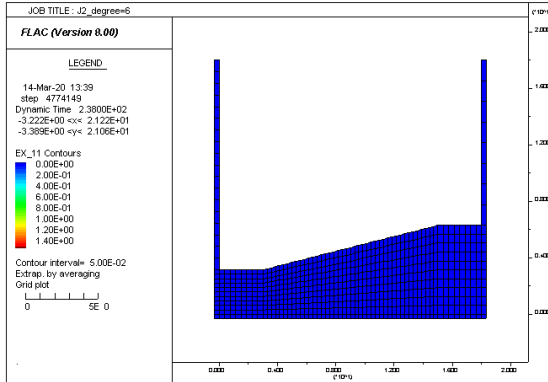
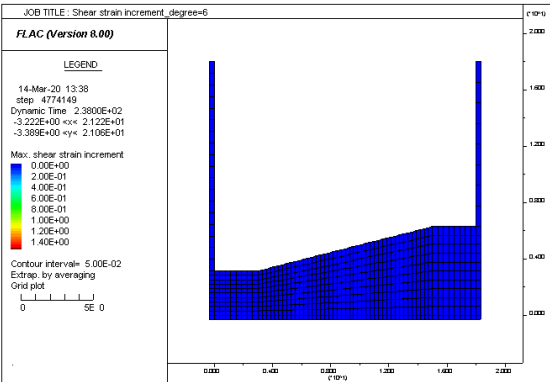
$\sqrt{J2}$ (傾斜角 4°、水平震度 0.07)

図 2-77 せん断ひずみ増分とせん断ひずみ第 2 不変量 $\sqrt{J2}$ の分布 (Case1) (その 1)



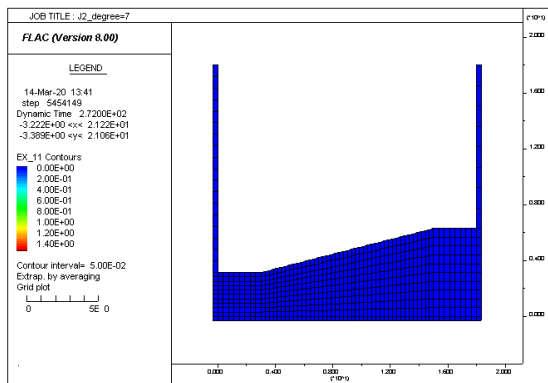
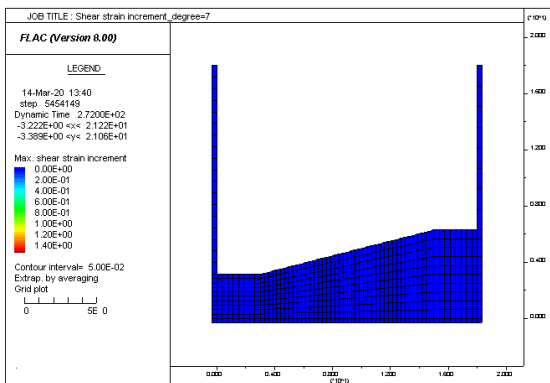
ひずみ増分 (傾斜角 5°、水平震度 0.09)

$\sqrt{J2}$ (傾斜角 5°、水平震度 0.09)



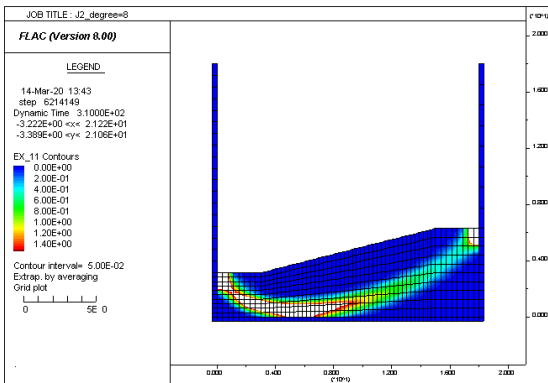
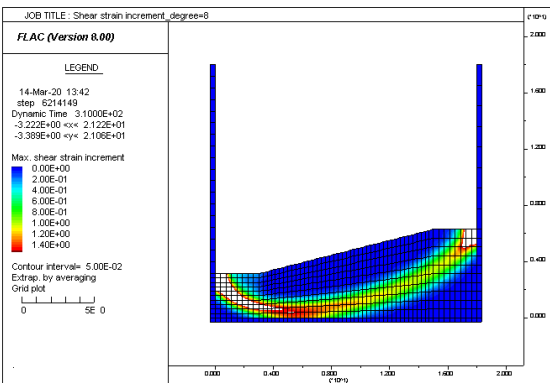
ひずみ増分 (傾斜角 6°、水平震度 0.11)

$\sqrt{J2}$ (傾斜角 6°、水平震度 0.11)



ひずみ増分 (傾斜角 7°、水平震度 0.12)

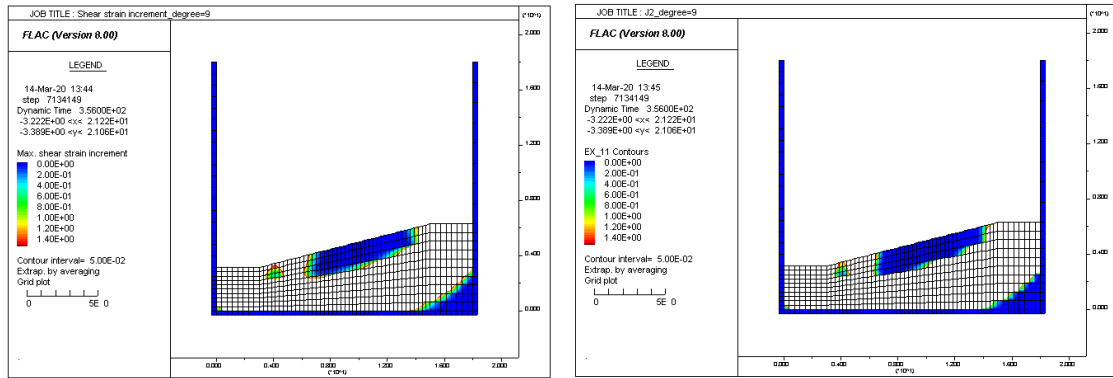
$\sqrt{J2}$ (傾斜角 7°、水平震度 0.12)



ひずみ増分 (傾斜角 8°、水平震度 0.14)

$\sqrt{J2}$ (傾斜角 8°、水平震度 0.14)

図 2-78 せん断ひずみ増分とせん断ひずみ第2不変量 $\sqrt{J2}$ の分布 (Case1) (その2)



ひずみ増分（傾斜角 9° 、水平震度 0.16） $\sqrt{J2}$ （傾斜角 9° 、水平震度 0.16）

図 2-79 せん断ひずみ増分とせん断ひずみ第 2 不変量 $\sqrt{J2}$ の分布（Case1）（その 3）

b) Case2

モールクーロンモデルを用いて再現解析を実施した。ここでは、有限差分法による解析コード「FLAC」を用いた。実験ケースを表 2-5 に示す。再現解析に用いた物性値を表 2-6 に示す。なお、表中の強度定数は、重力場でベーンせん断試験により測定したせん断強さを 30G 場の有効拘束圧で補正して求めたものであり、その結果を図 2-80 に示す。図 2-81 に模型地盤の概要を示す。図 2-82 に解析モデルを示す。

加振加速度 100gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-83 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-84 に示す。加振加速度 200gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-85 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-86 に示す。加振加速度 250gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-87 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-88 に示す。加振加速度 300gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-89 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-90 に示す。加振加速度 330gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-91 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-92 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 1 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-93 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-94 に示す。

加振加速度 330gal、80 波の 2 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-95 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-96 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 3 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-97 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-98 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 4 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-99 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-100 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 5 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-101 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-102 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 6 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-103 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-104 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 7 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-105 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-106 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 8 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-107 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-108 に示す。図より 250gal 加振からせん断ひずみが発生し始めていることがわかる。

表 2-5 解析ケースと条件

実験ケース	斜面勾配 (°)	水深 (m)	遠心場 (g)	地震外力
Case1	14.7	23	30	静的
Case2	13.1			動的
Case3	12.3	15		

表 2-6 地盤の物性

モデル	Mohr-coulomb
密度 ρ (kg/m ³)	1744
ポアソン比 ν	0.4
ヤング率 E	$E = 16100 \times (\rho / \rho_0)^{0.66}$
せん断剛性 G	ν と E から算出
体積弾性率 K	ν と E から算出
粘着力 c (kPa)	5.8
内部摩擦角 ϕ (°)	10.9
引張強度 (Pa)	1×10^9

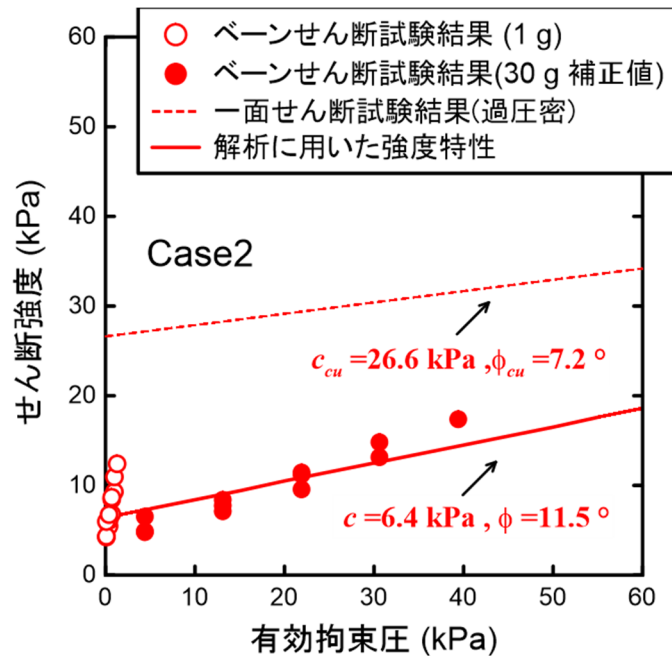


図 2-80 強度定数の設定

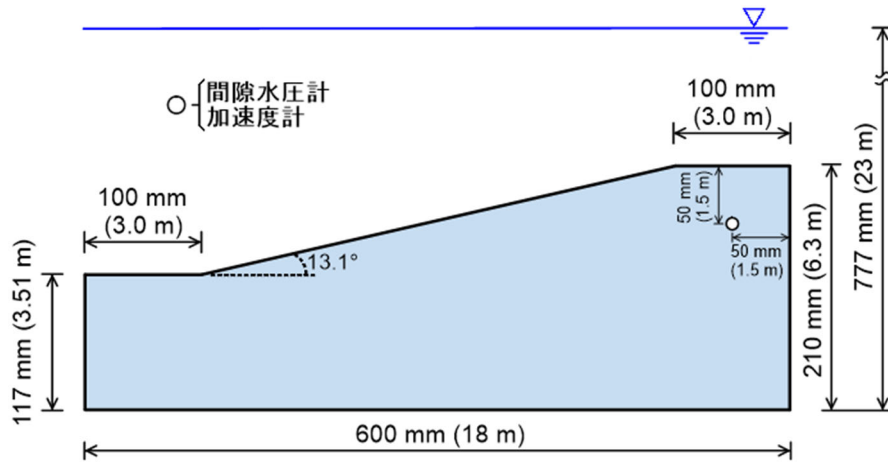


図 2-81 模型地盤の概要

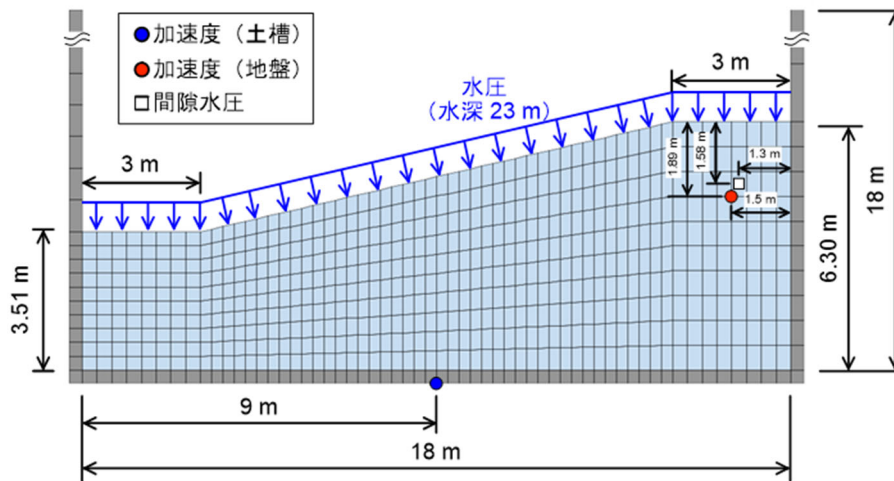
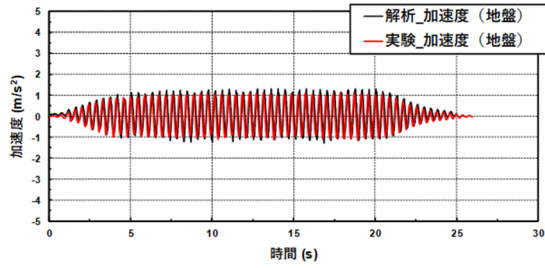
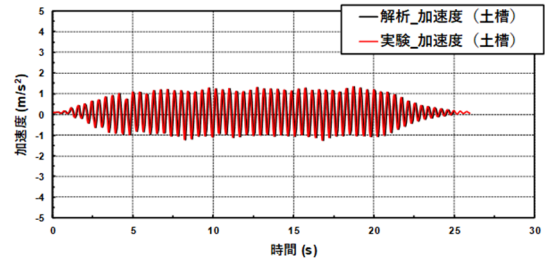


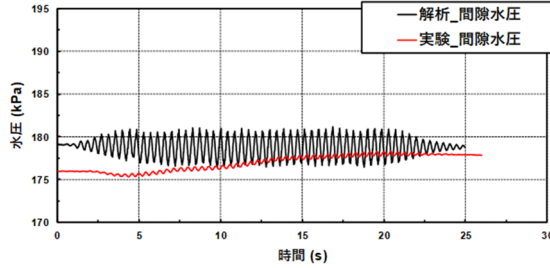
図 2-82 解析モデル



加速度 (地盤)

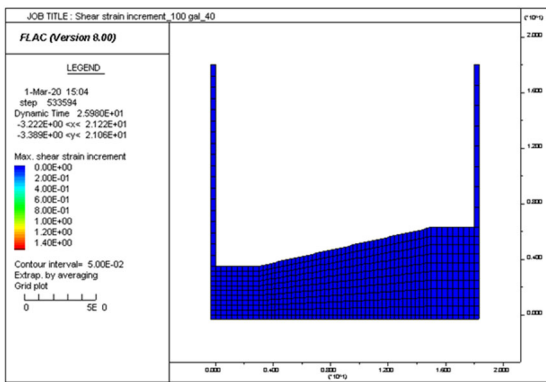


加速度 (土槽)

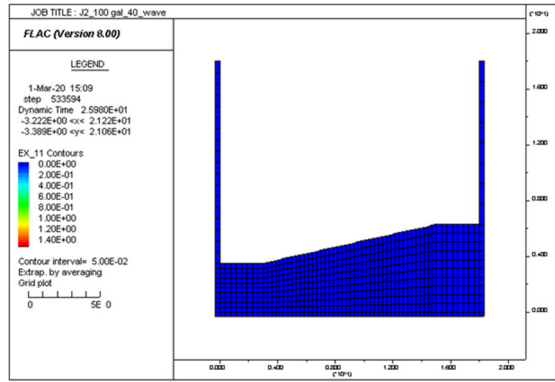


間隙水圧

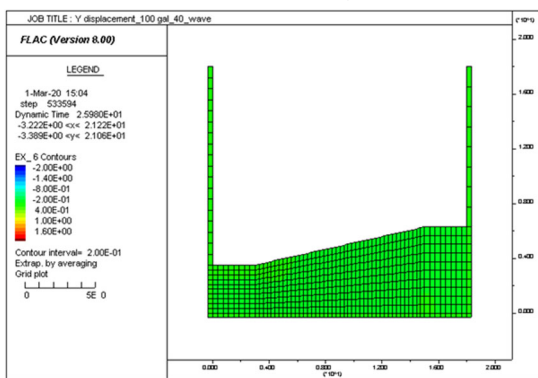
図 2-83 加速度と間隙水圧の時刻歴 (100gal 40 波)



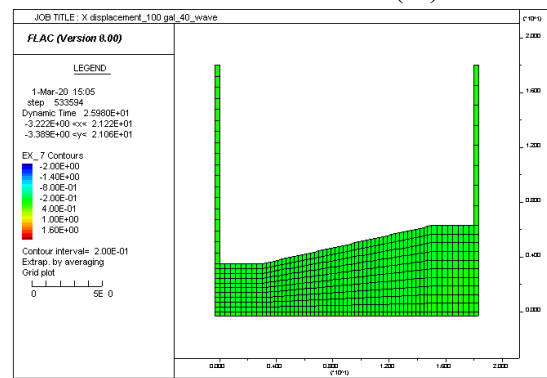
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

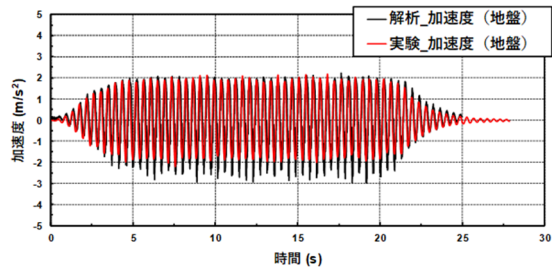


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

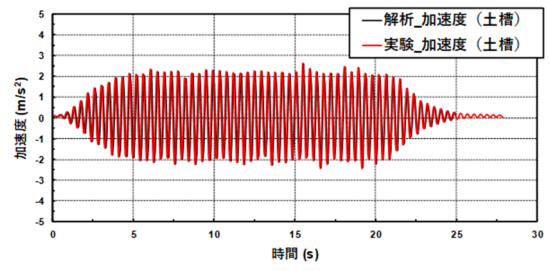


水平方向の相対変位 (単位 m)

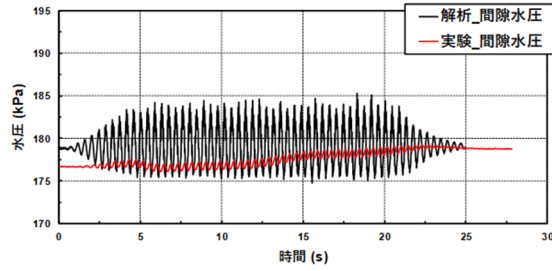
図 2-84 解析結果 (100gal 40 波)



加速度 (地盤)

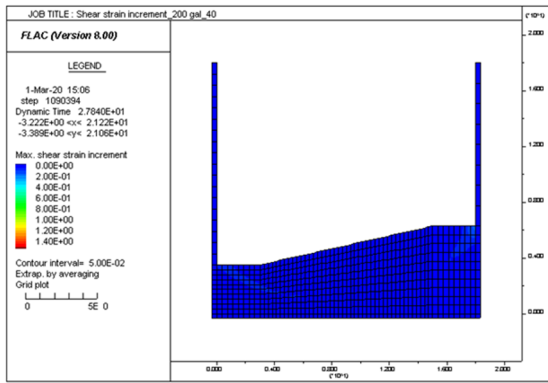


加速度 (土槽)

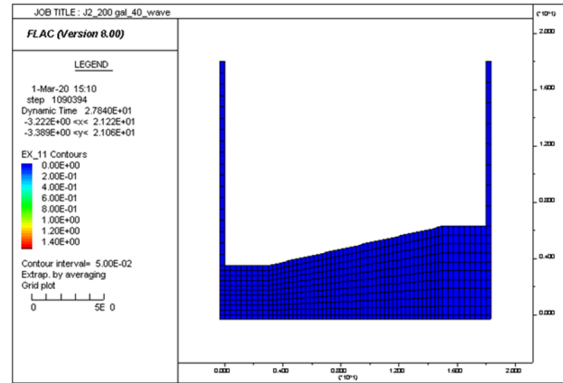


間隙水圧

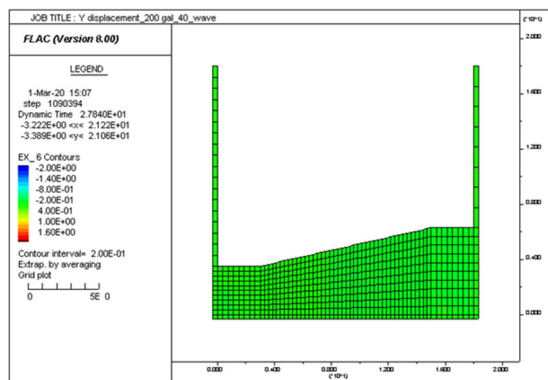
図 2-85 加速度と間隙水圧の時刻歴 (200gal 40 波)



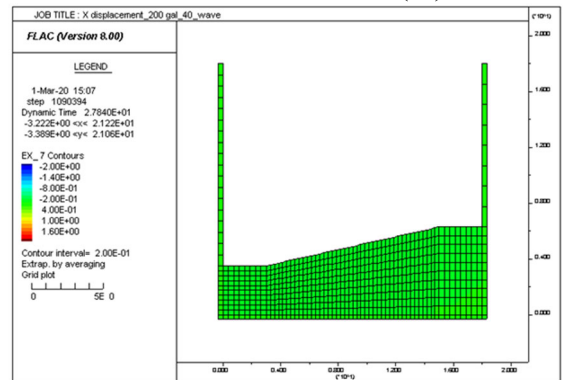
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

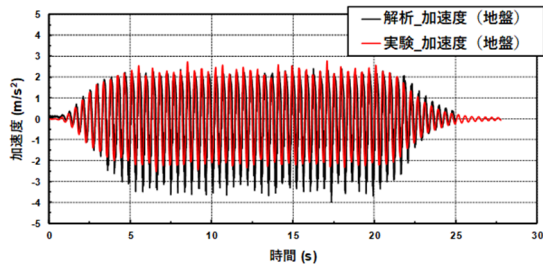


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

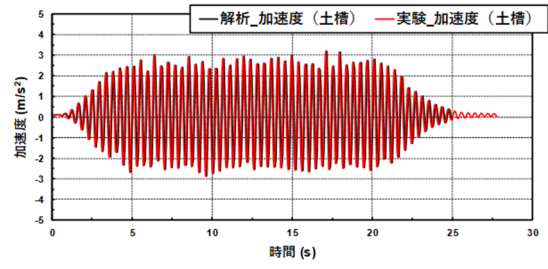


水平方向の相対変位 (単位 m)

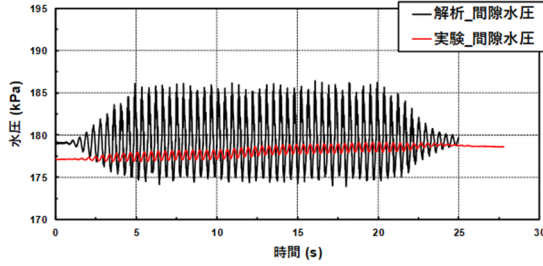
図 2-86 解析結果 (200gal 40 波)



加速度 (地盤)

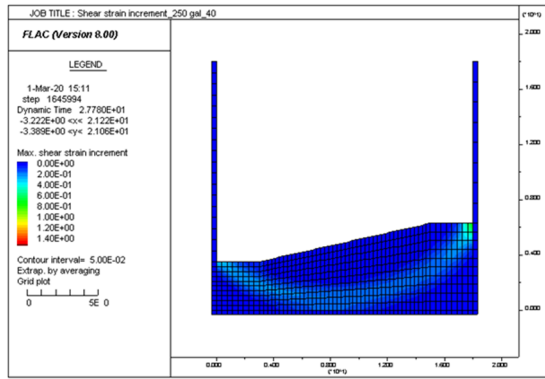


加速度 (土槽)

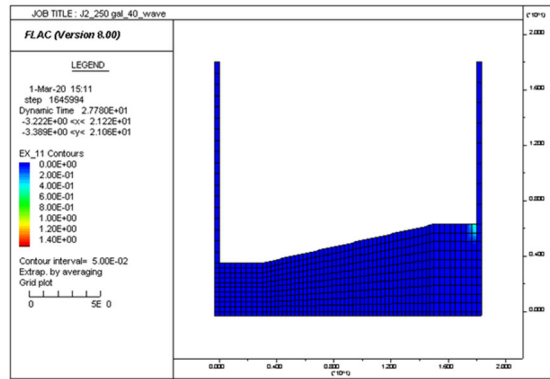


間隙水圧

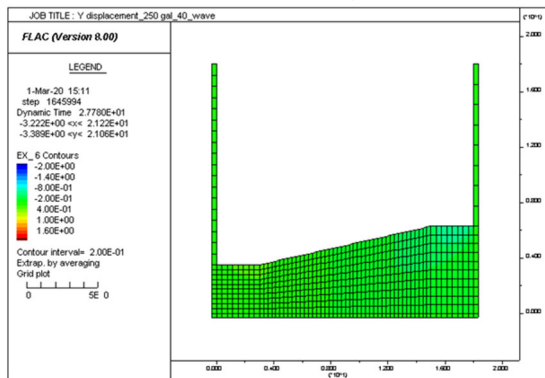
図 2-87 加速度と間隙水圧の時刻歴 (250gal 40 波)



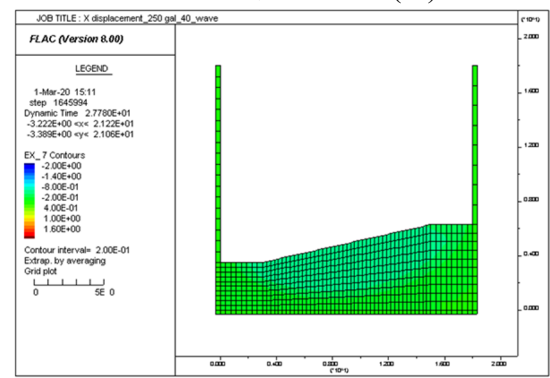
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

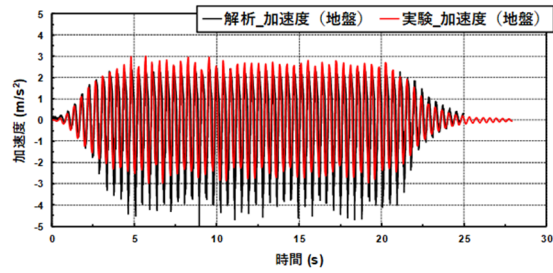


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

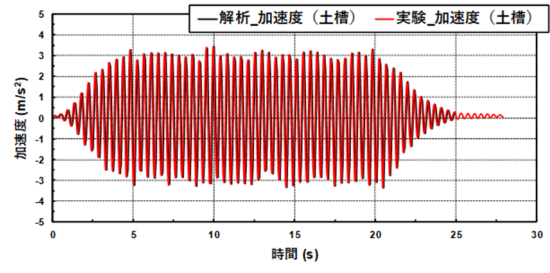


水平方向の相対変位 (単位 m)

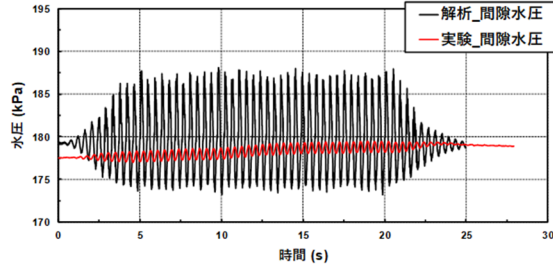
図 2-88 解析結果 (250gal 40 波)



加速度 (地盤)

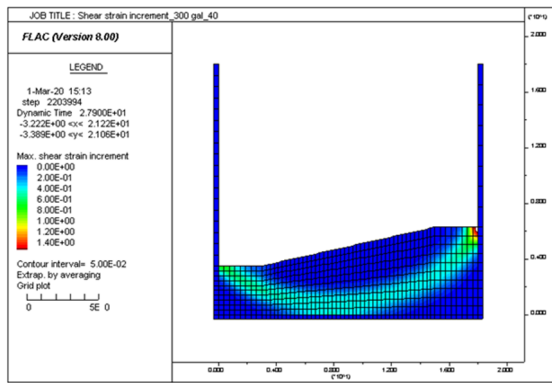


加速度 (土槽)

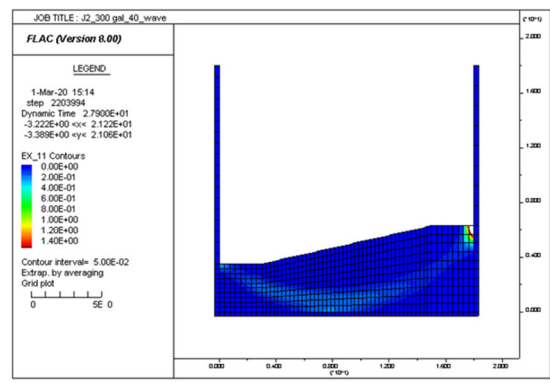


間隙水圧

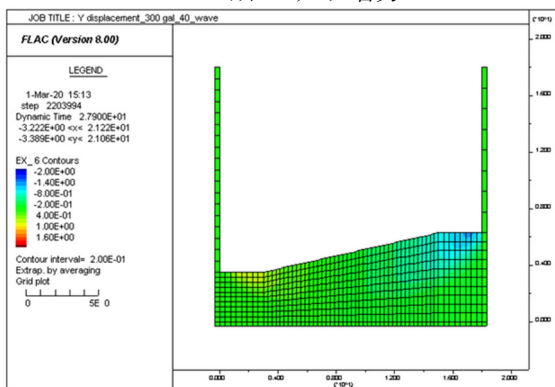
図 2-89 加速度と間隙水圧の時刻歴 (300gal 40 波)



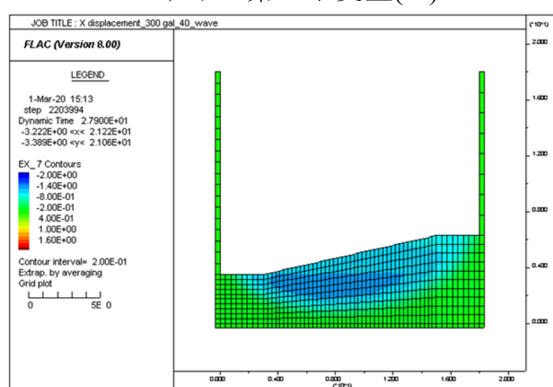
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

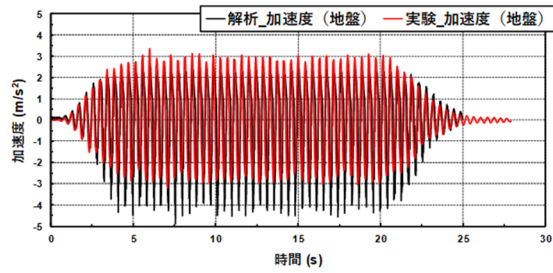


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

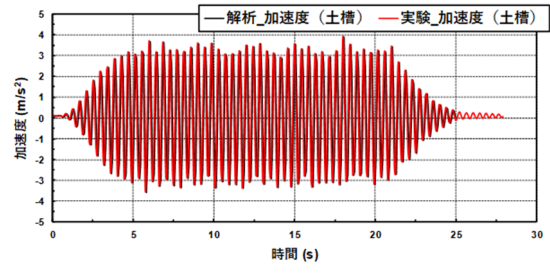


水平方向の相対変位 (単位 m)

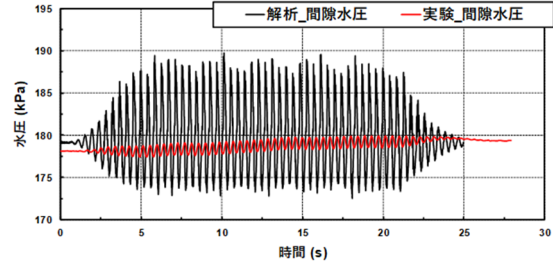
図 2-90 解析結果 (300gal 40 波)



加速度 (地盤)

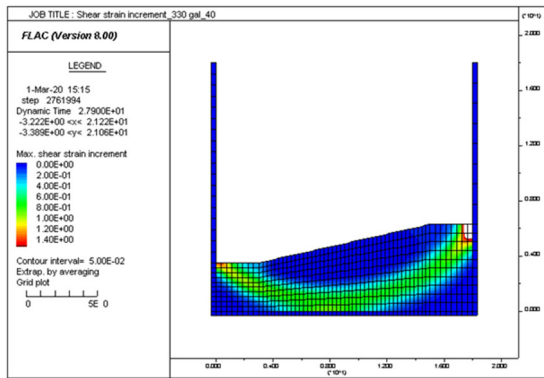


加速度 (土槽)

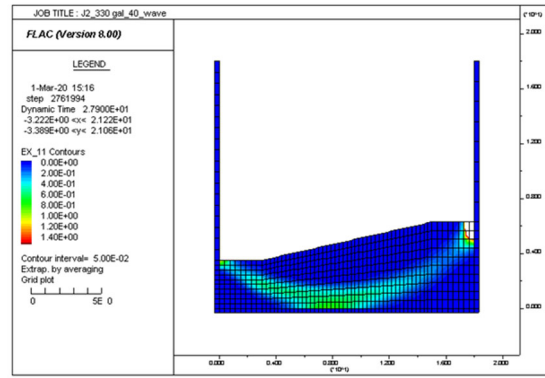


間隙水圧

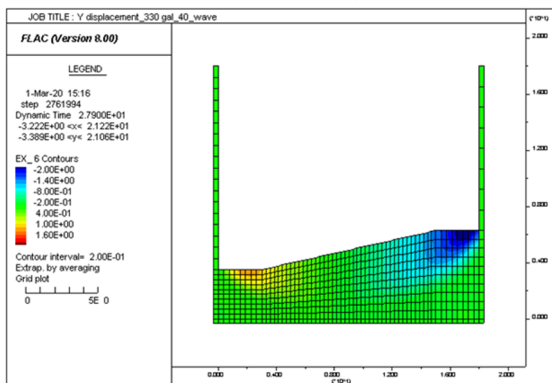
図 2-91 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 40 波)



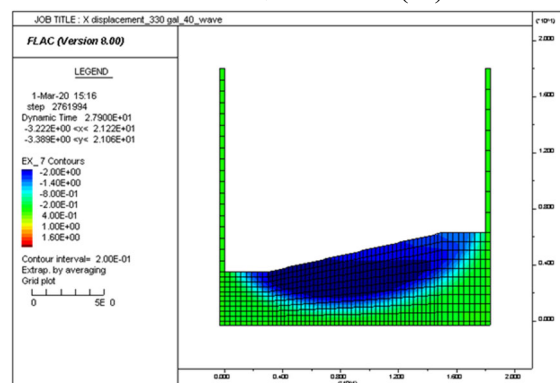
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

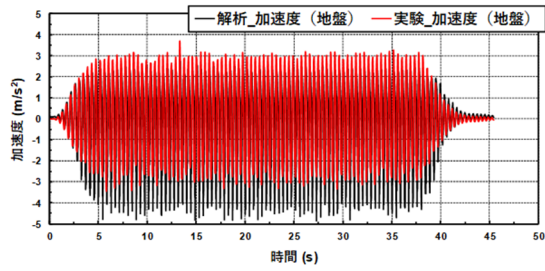


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

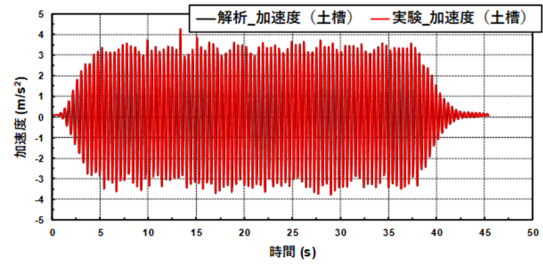


水平方向の相対変位 (単位 m)

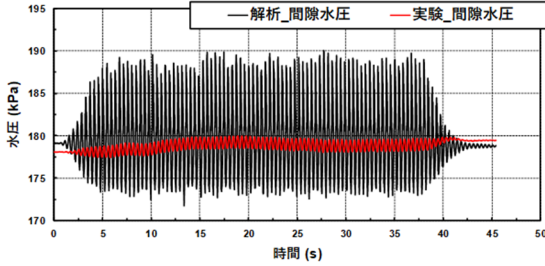
図 2-92 解析結果 (330gal 40 波)



加速度 (地盤)

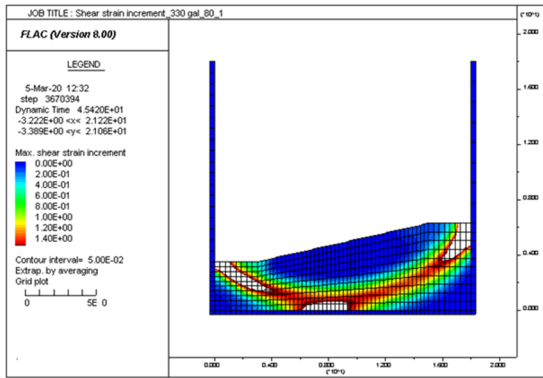


加速度 (土槽)

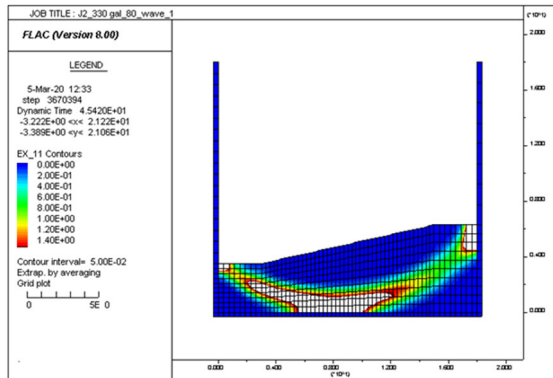


間隙水圧

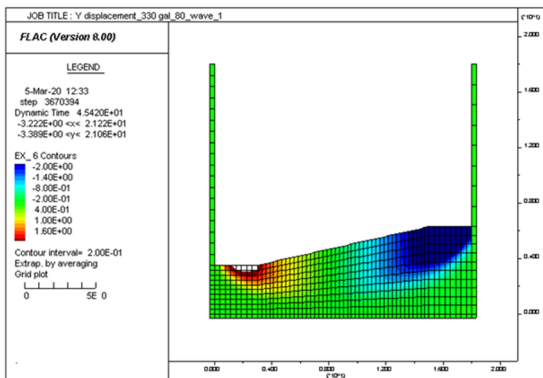
図 2-93 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_1)



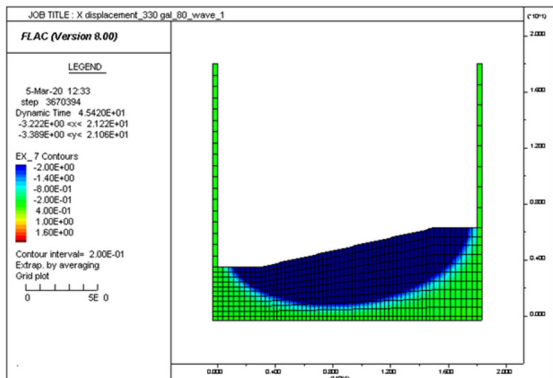
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

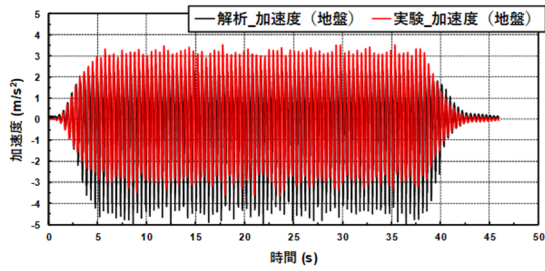


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

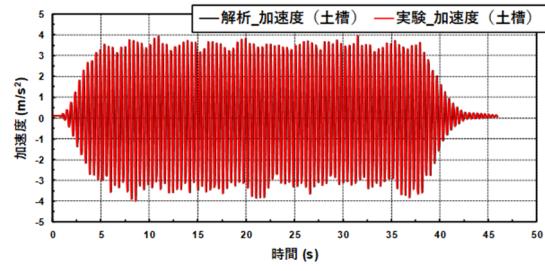


水平方向の相対変位 (単位 m)

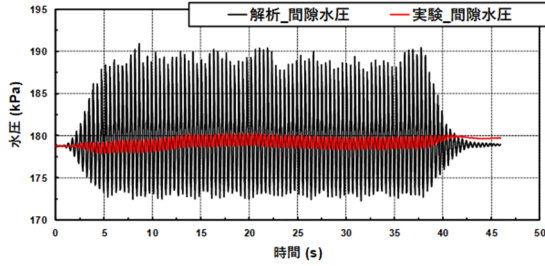
図 2-94 解析結果 (330gal 80 波_1)



加速度 (地盤)

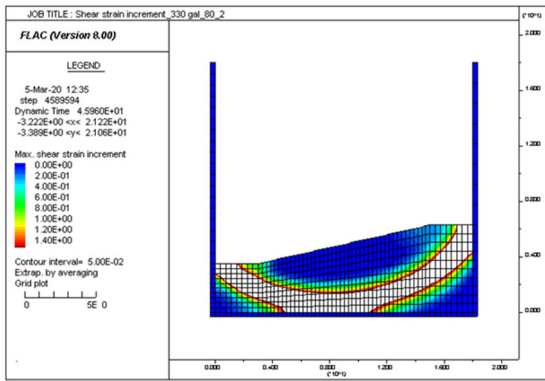


加速度 (土槽)

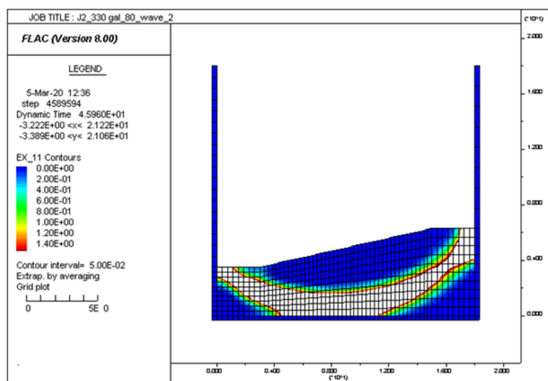


間隙水圧

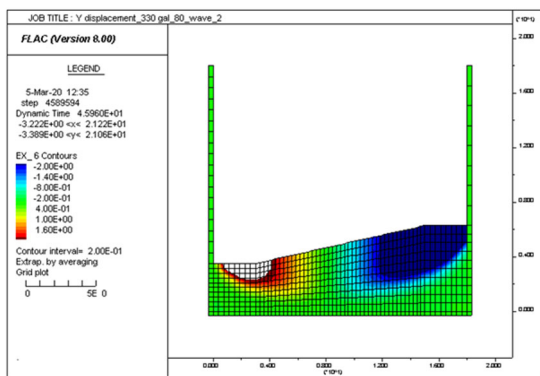
図 2-95 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_2)



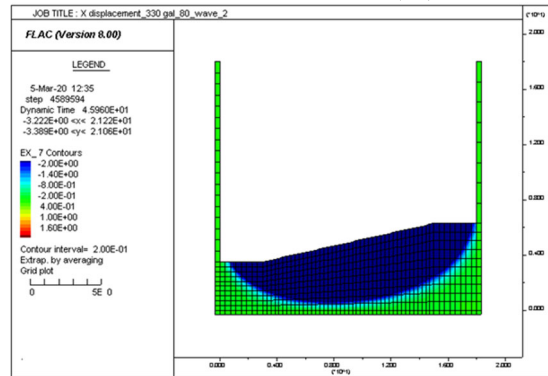
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

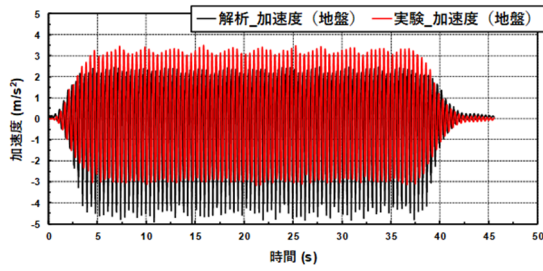


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

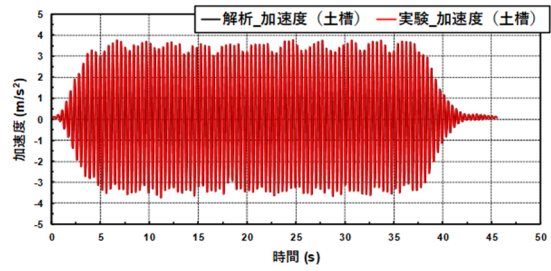


水平方向の相対変位 (単位 m)

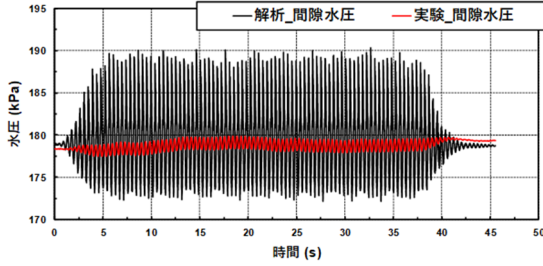
図 2-96 解析結果 (330gal 80 波_2)



加速度 (地盤)

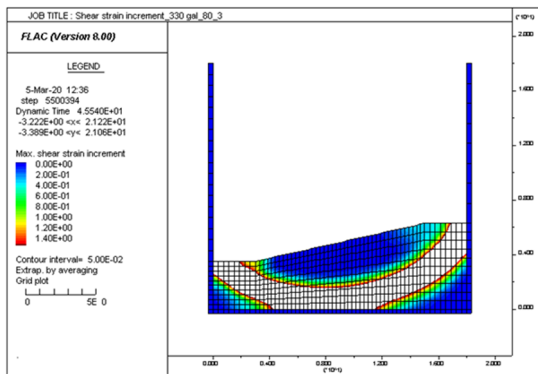


加速度 (土槽)

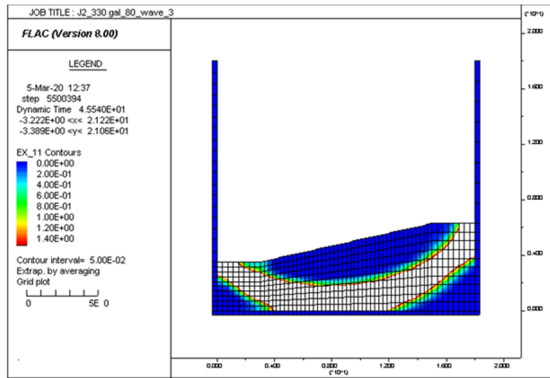


間隙水圧

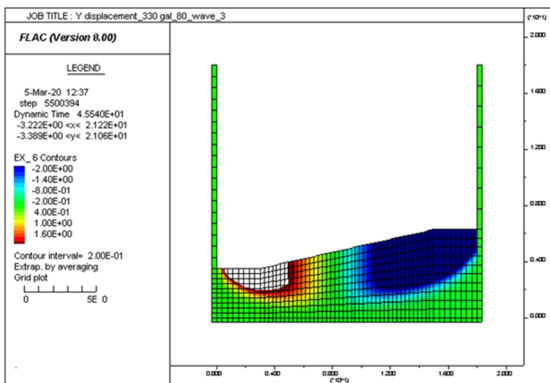
図 2-97 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_3)



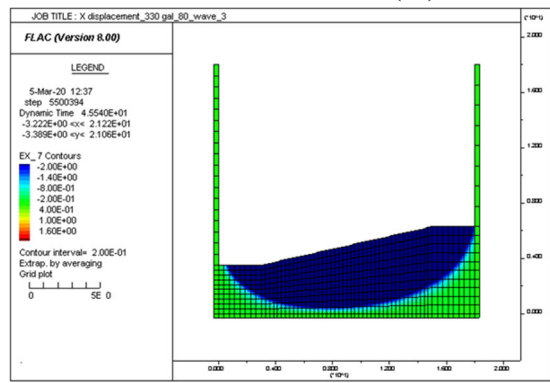
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

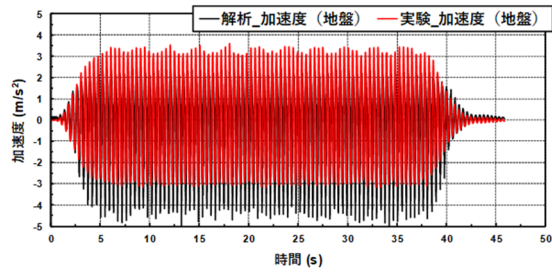


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

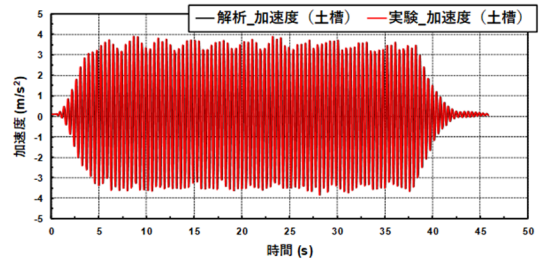


水平方向の相対変位 (単位 m)

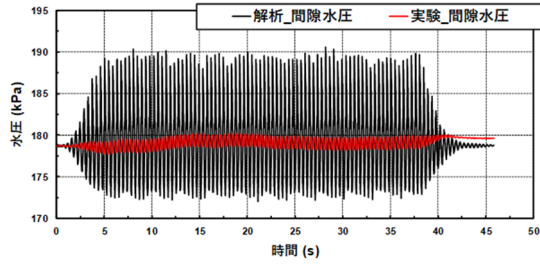
図 2-98 解析結果 (330gal 80 波_3)



加速度 (地盤)

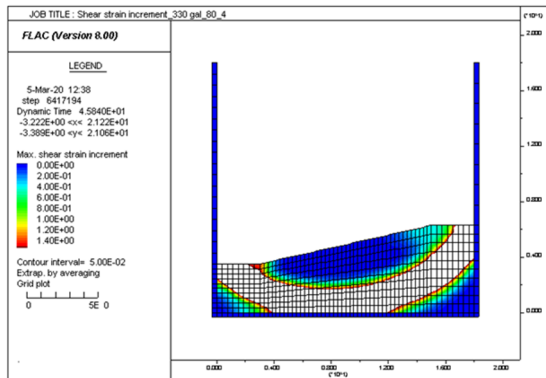


加速度 (土槽)

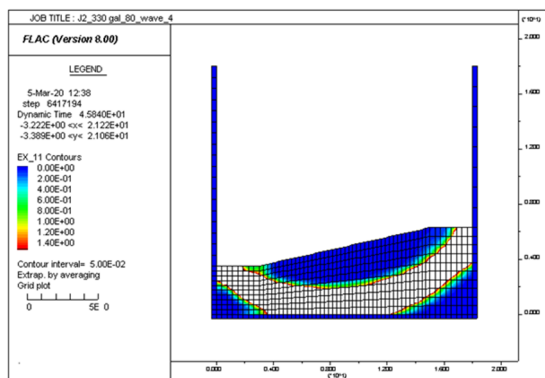


間隙水圧

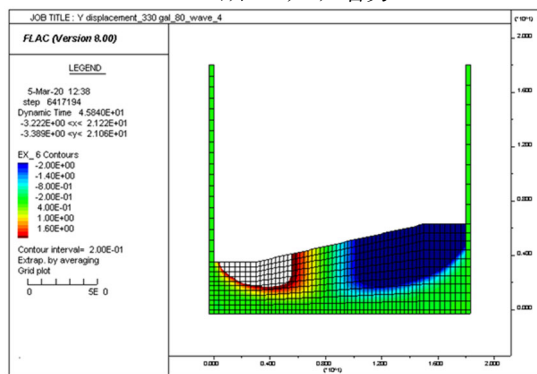
図 2-99 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_4)



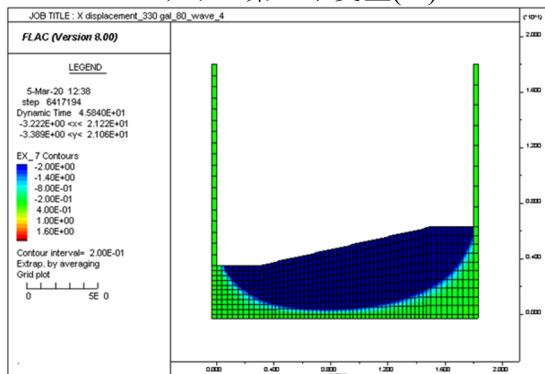
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

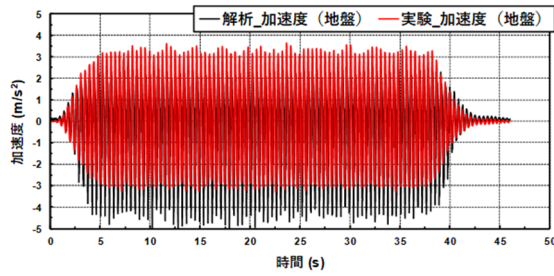


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

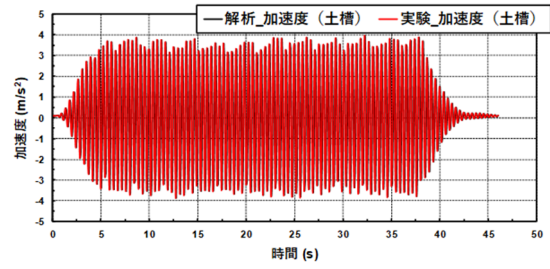


水平方向の相対変位 (単位 m)

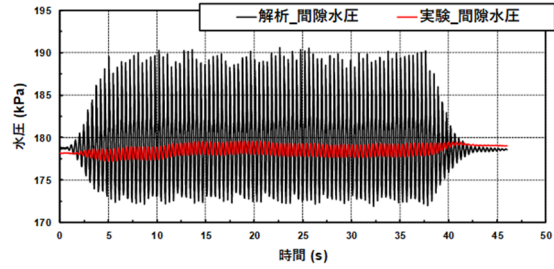
図 2-100 解析結果 (330gal 80 波_4)



加速度 (地盤)

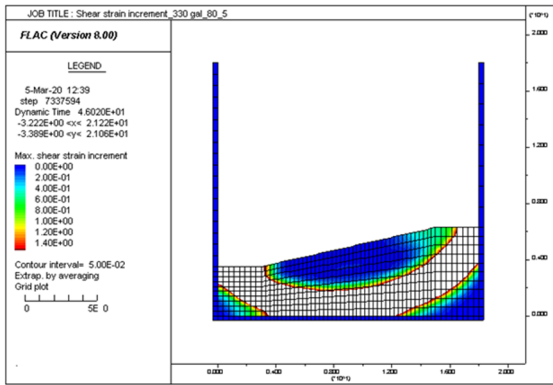


加速度 (土槽)

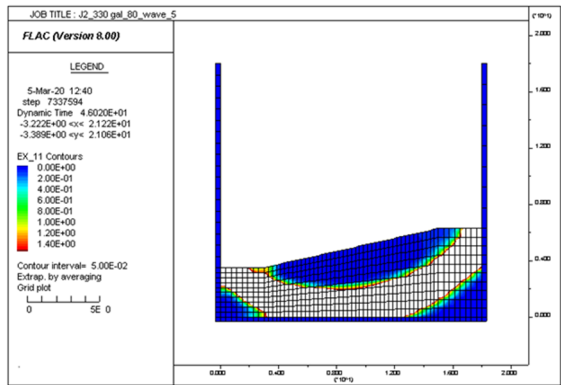


間隙水圧

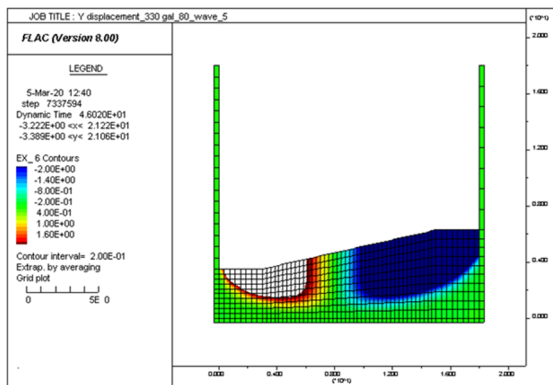
図 2-101 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_5)



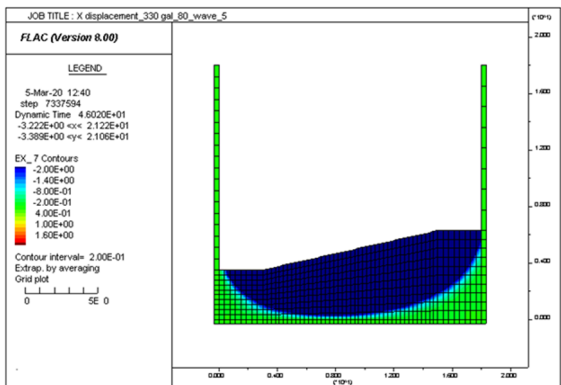
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

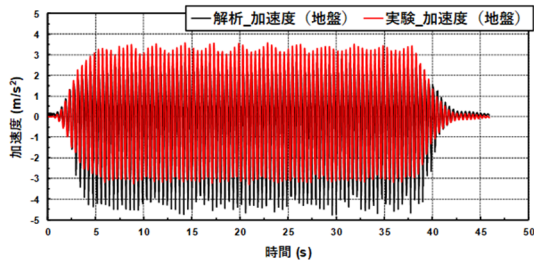


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

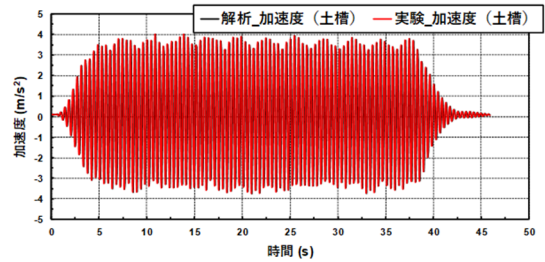


水平方向の相対変位 (単位 m)

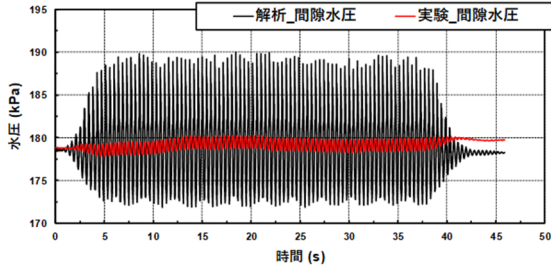
図 2-102 解析結果 (330gal 80 波_5)



加速度 (地盤)

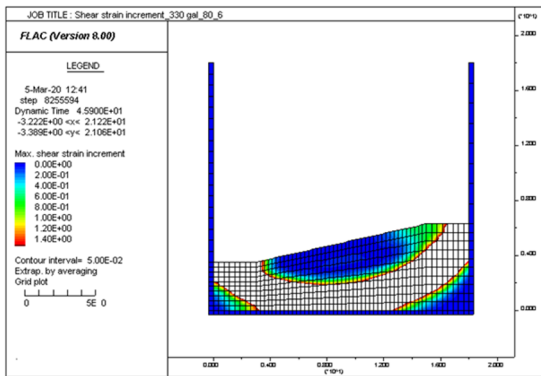


加速度 (土槽)

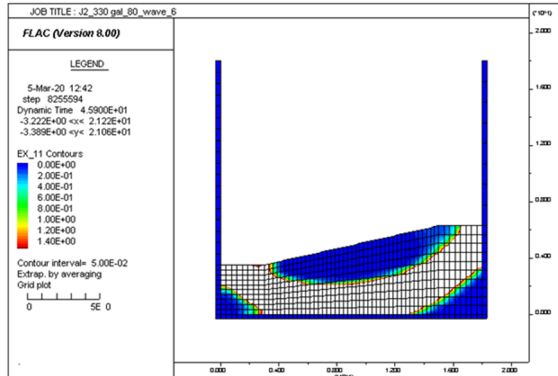


間隙水圧

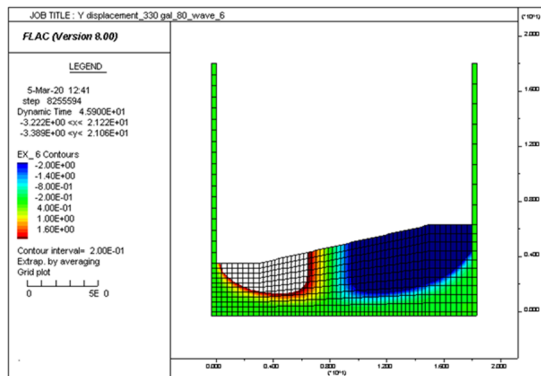
図 2-103 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_6)



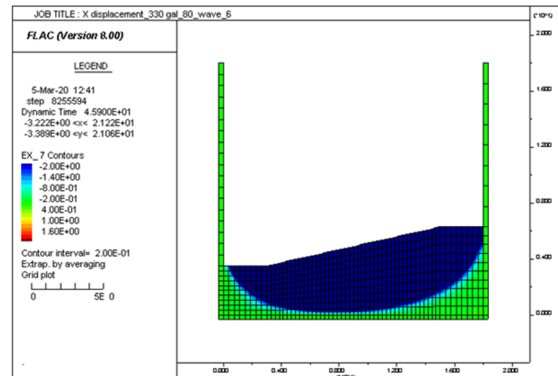
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

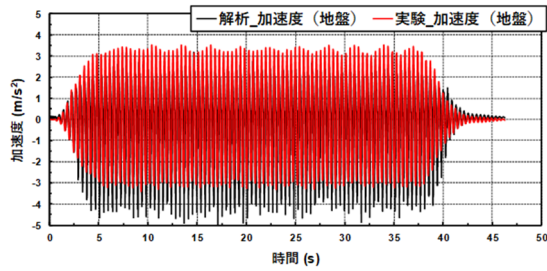


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

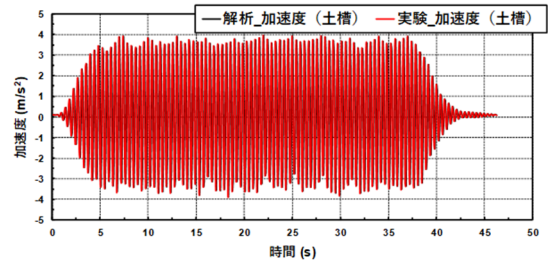


水平方向の相対変位 (単位 m)

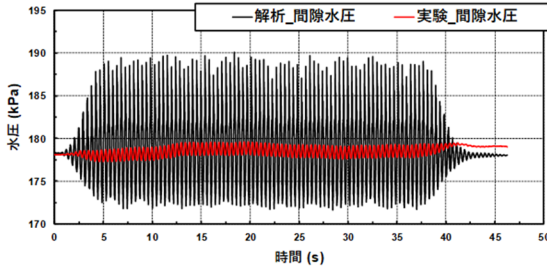
図 2-104 解析結果 (330gal 80 波_6)



加速度 (地盤)

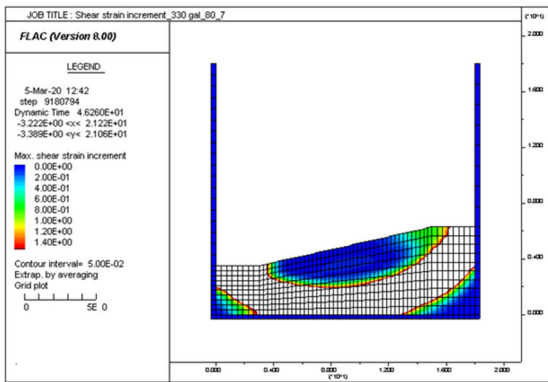


加速度 (土槽)

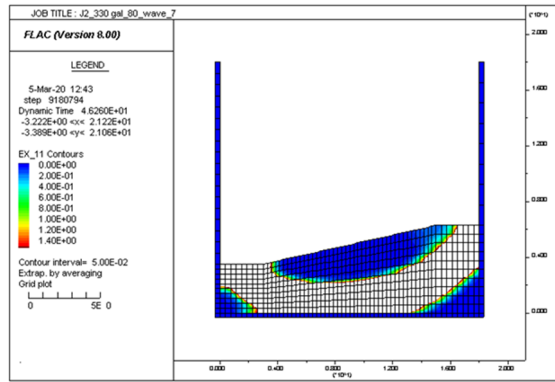


間隙水圧

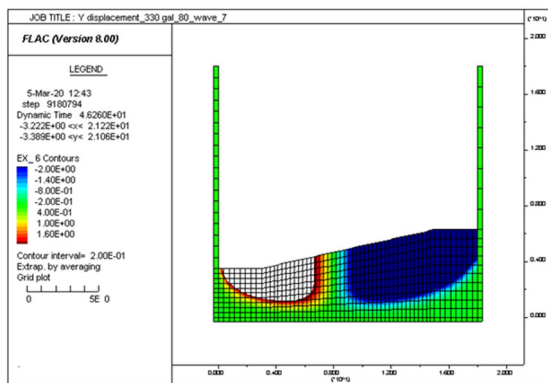
図 2-105 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_7)



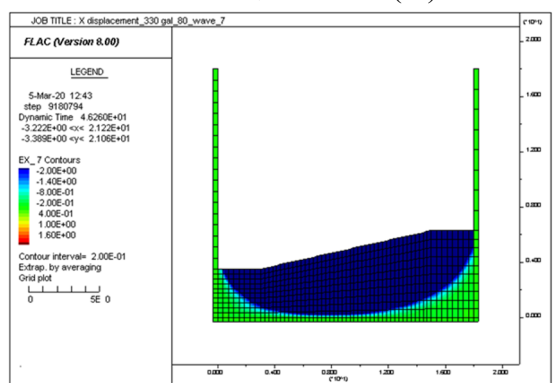
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

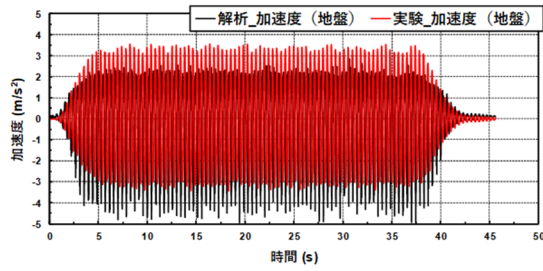


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

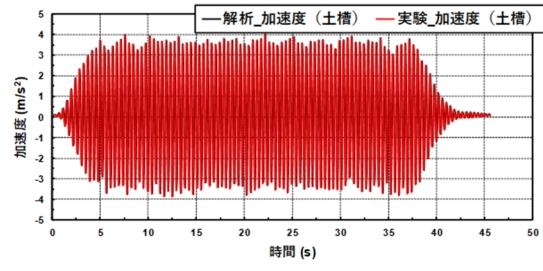


水平方向の相対変位 (単位 m)

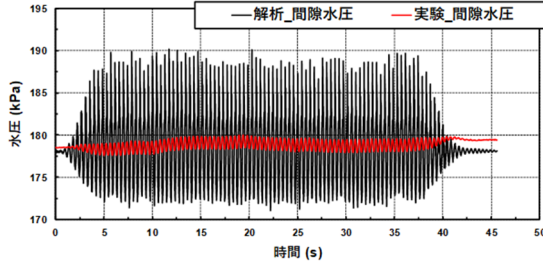
図 2-106 解析結果 (330gal 80 波_7)



加速度 (地盤)

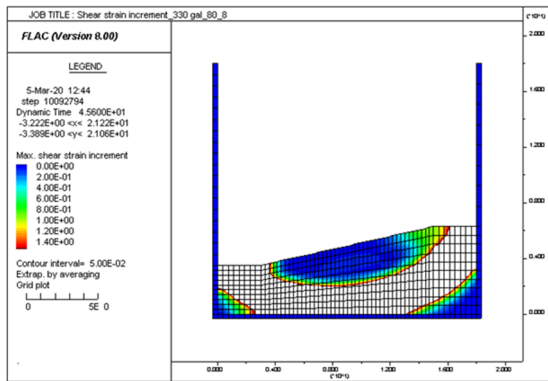


加速度 (土槽)

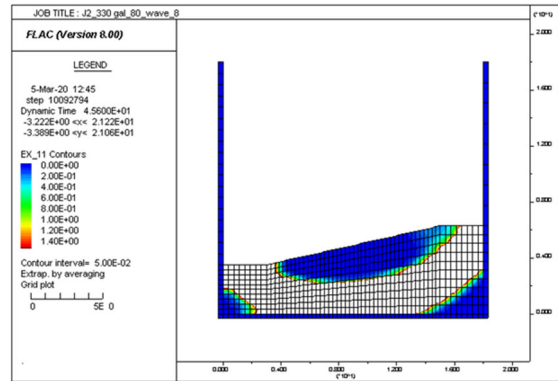


間隙水圧

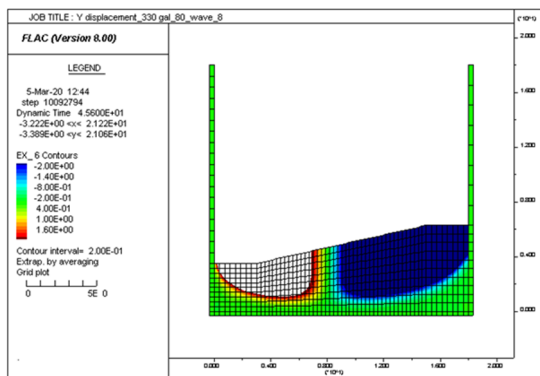
図 2-107 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_8)



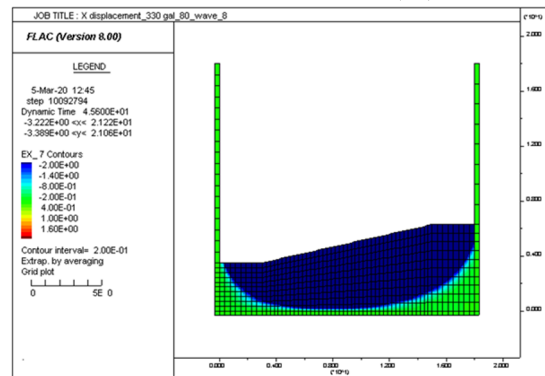
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)



鉛直方向の相対変位 (単位 m)



水平方向の相対変位 (単位 m)

図 2-108 解析結果 (330gal 80 波_8)

c) Case3

モールクーロンモデルを用いて再現解析を実施した。ここでは、有限差分法による解析コード「FLAC」を用いた。実験ケースを表 2-7 に示す。再現解析に用いた物性値を表 2-8 に示す。なお、表中の強度定数は、重力場でベーンせん断試験により測定したせん断強さを 30G 場の有効拘束圧で補正して求めたものであり、その結果を図 2-109 に示す。図 2-110 に模型地盤の概要を示す。図 2-111 に解析モデルを示す。

加振加速度 100gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-112 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-113 に示す。加振加速度 200gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-114 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-115 に示す。加振加速度 250gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-116 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-117 に示す。加振加速度 300gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-118 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-119 に示す。加振加速度 330gal、40 波における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-120 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-121 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 1 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-122 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-123 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 2 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-124 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-125 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 3 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-126 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-127 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 4 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-128 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を図 2-129 に示す。加振加速度 330gal、80 波の 5 回目における加速度、間隙水圧の時刻歴を図 2-130 に、せん断ひずみ増分、ひずみの 2 次不変量、鉛直方向の相対変位、水平方向の相対変位の分布を

図 2-131 に示す。図より 200gal 加振からせん断ひずみが発生し始めていることがわかる。

表 2-7 解析ケースと条件

実験ケース	斜面勾配 (°)	水深 (m)	遠心場 (g)	地震外力
Case1	14.7	23	30	静的
Case2	13.1			動的
Case3	12.3	15		

表 2-8 地盤の物性

モデル	Mohr-coulomb
密度 ρ (kg/m ³)	1744
ポアソン比 ν	0.4
ヤング率 E	$E = 16100 \times (\rho / \rho_0)^{0.66}$
せん断剛性 G	ν と E から算出
体積弾性率 K	ν と E から算出
粘着力 c (kPa)	5.3
内部摩擦角 ϕ (°)	10.8
引張強度 (Pa)	1×10^9

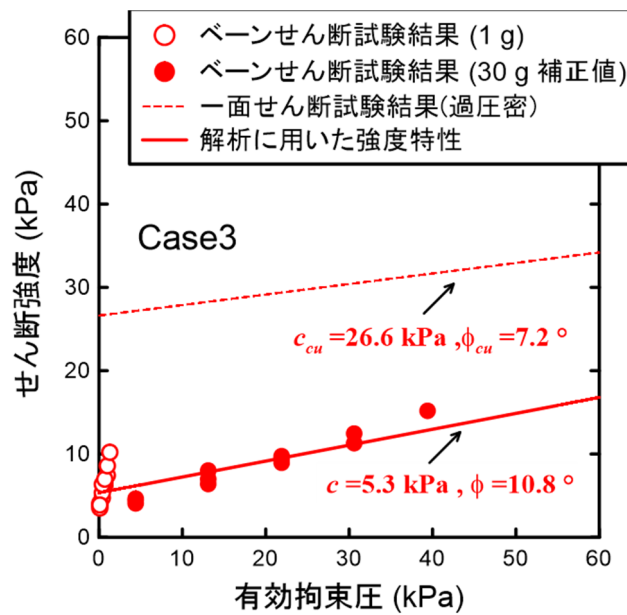


図 2-109 強度定数の設定

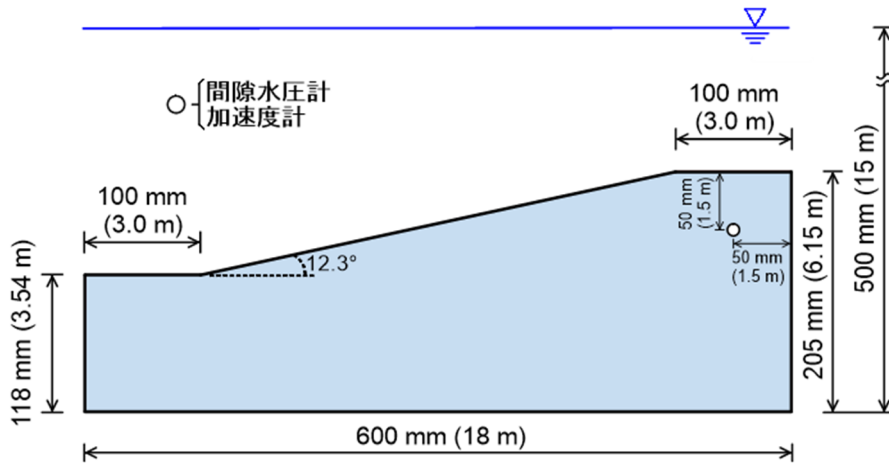


図 2-110 模型地盤の概要

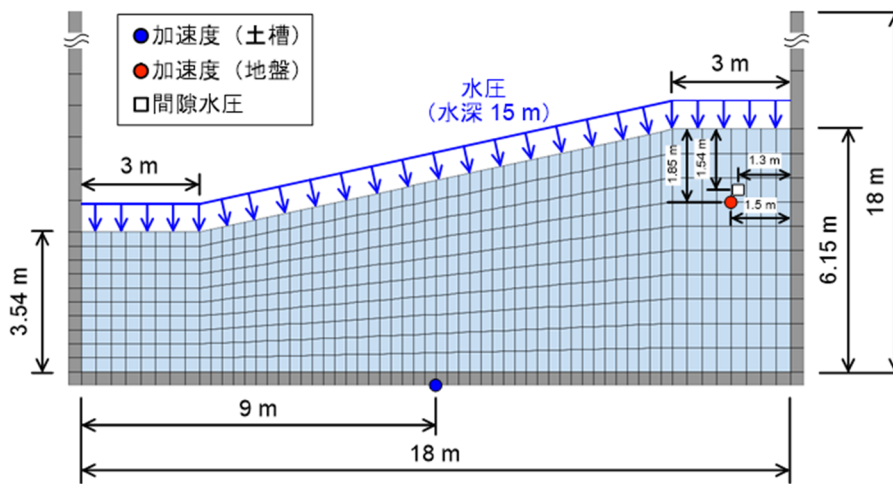
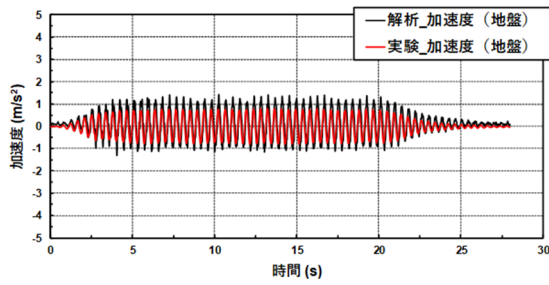
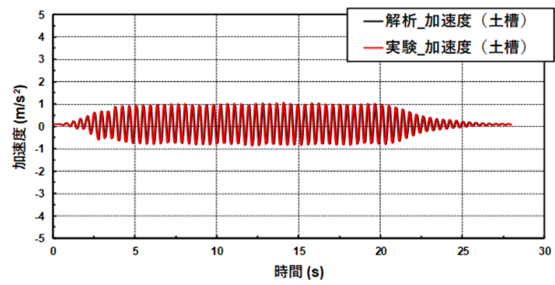


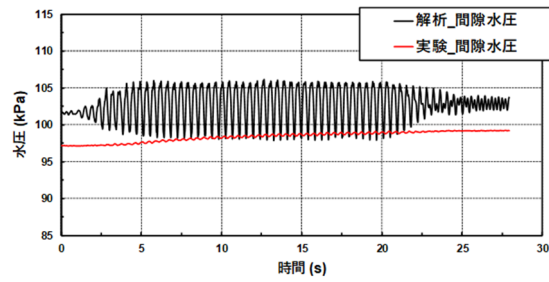
図 2-111 解析モデル



加速度 (地盤)

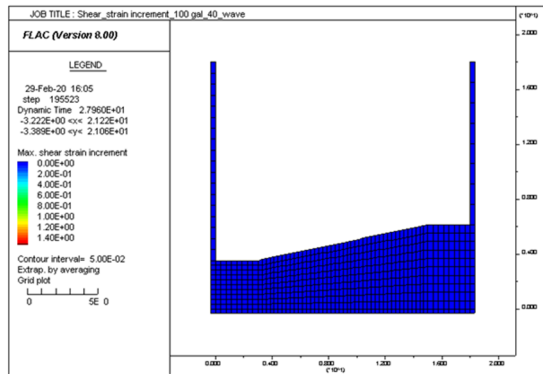


加速度 (土槽)

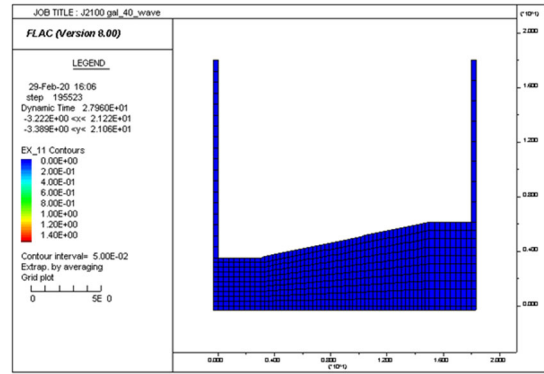


間隙水圧

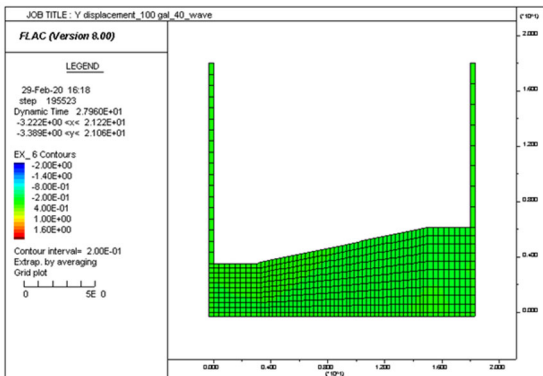
図 2-112 加速度と間隙水圧の時刻歴 (100gal 40 波)



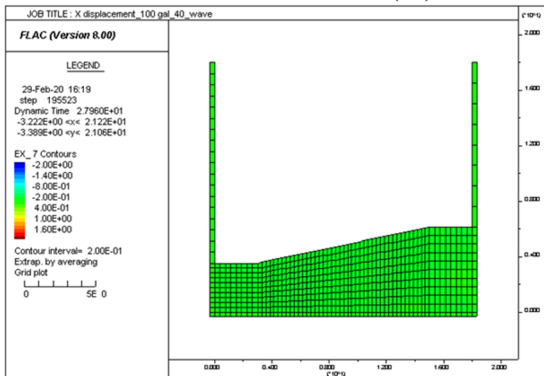
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

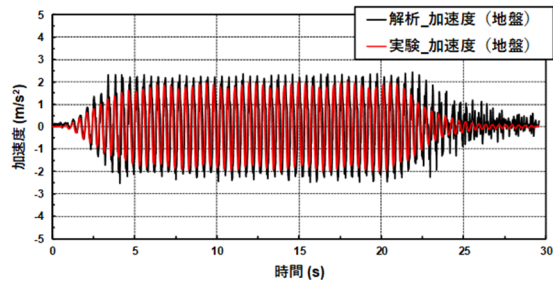


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

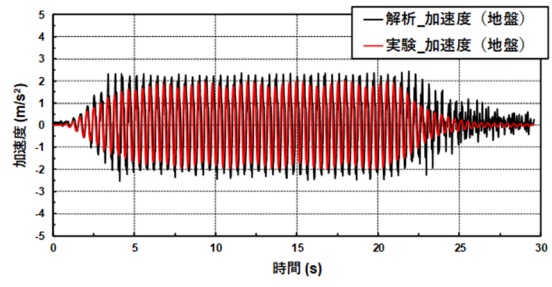


水平方向の相対変位 (単位 m)

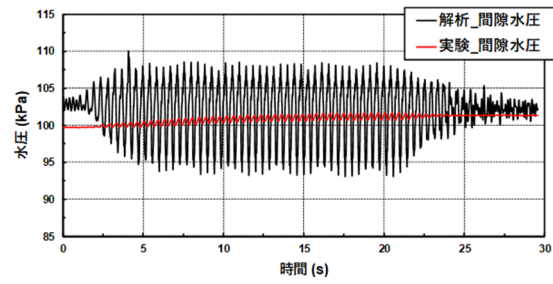
図 2-113 解析結果 (100gal 40 波)



加速度 (地盤)

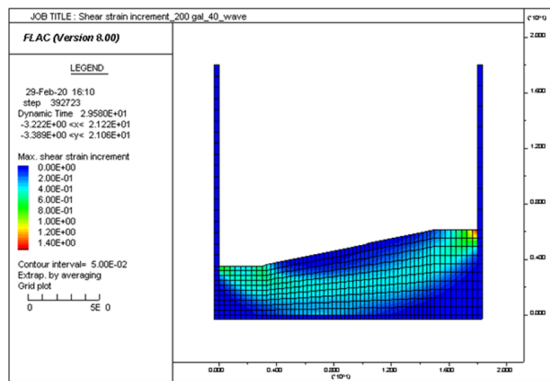


加速度 (土槽)

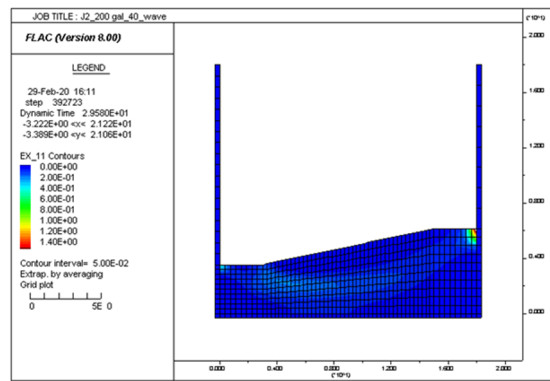


間隙水圧

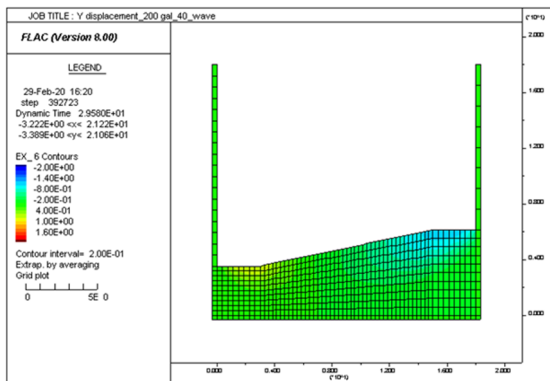
図 2-114 加速度と間隙水圧の時刻歴 (200gal 40 波)



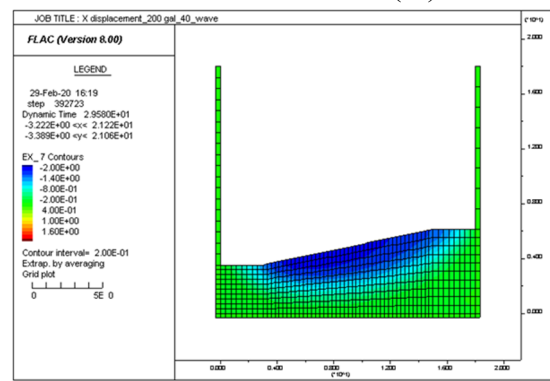
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

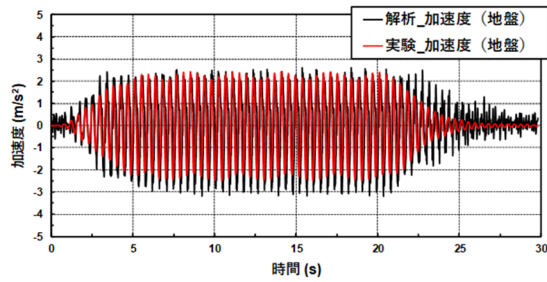


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

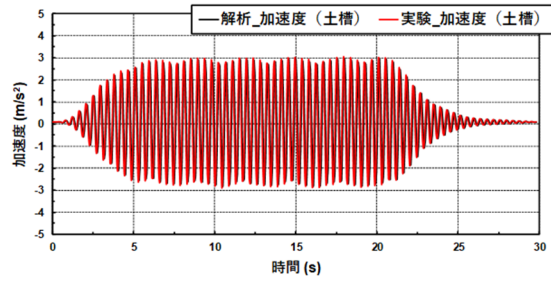


水平方向の相対変位 (単位 m)

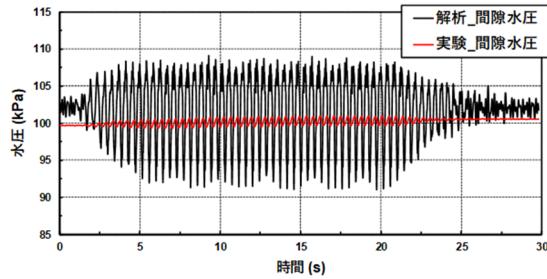
図 2-115 解析結果 (200gal 40 波)



加速度 (地盤)

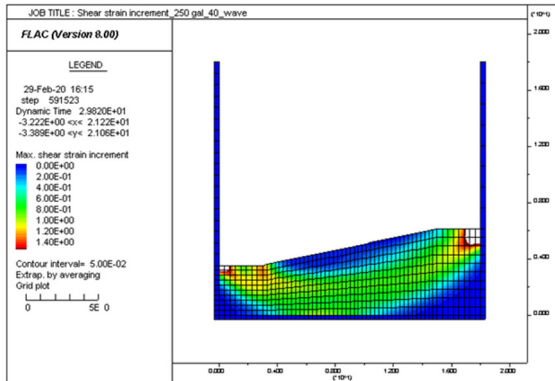


加速度 (土槽)

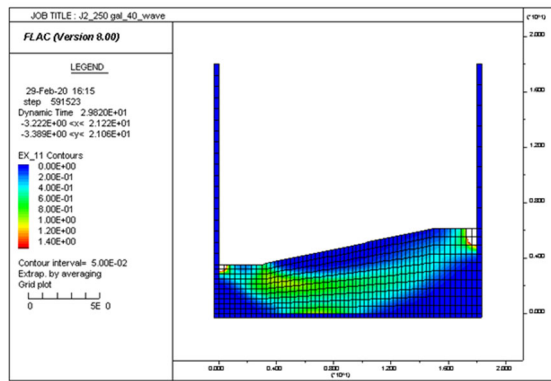


間隙水圧

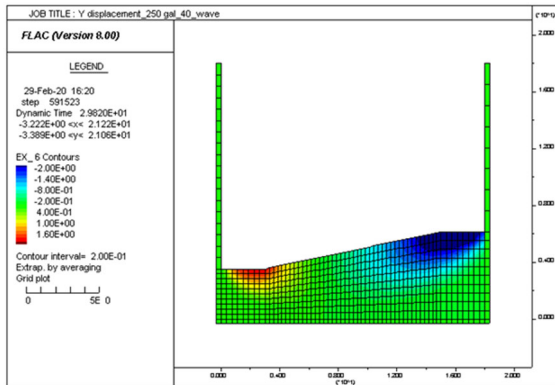
図 2-116 加速度と間隙水圧の時刻歴 (250gal 40 波)



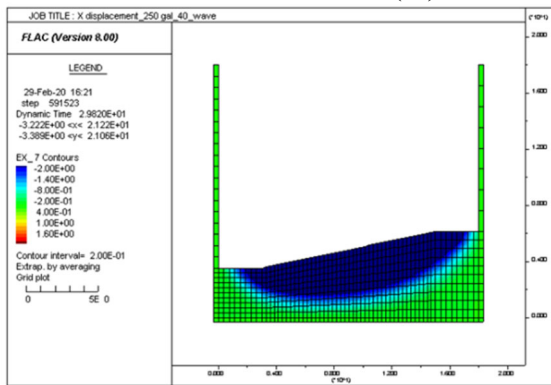
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

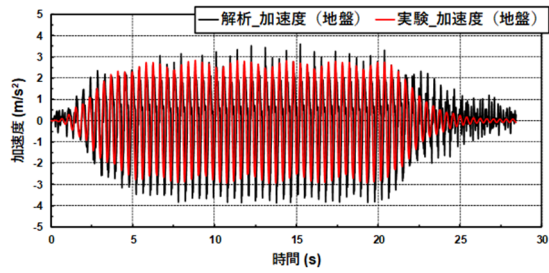


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

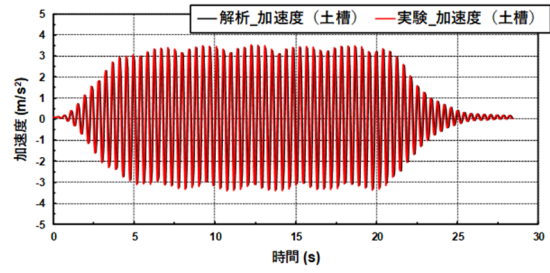


水平方向の相対変位 (単位 m)

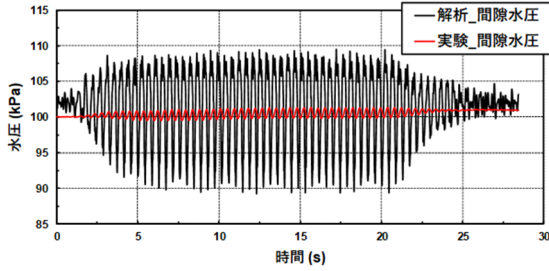
図 2-117 解析結果 (250gal 40 波)



加速度 (地盤)

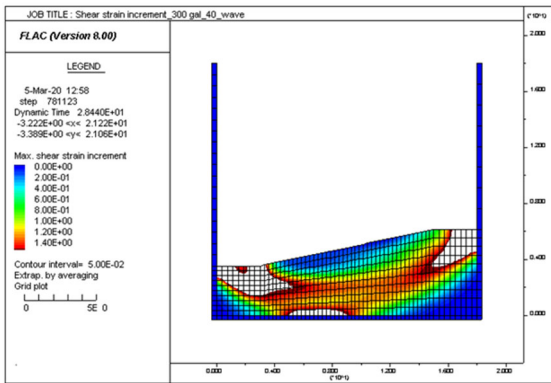


加速度 (土槽)

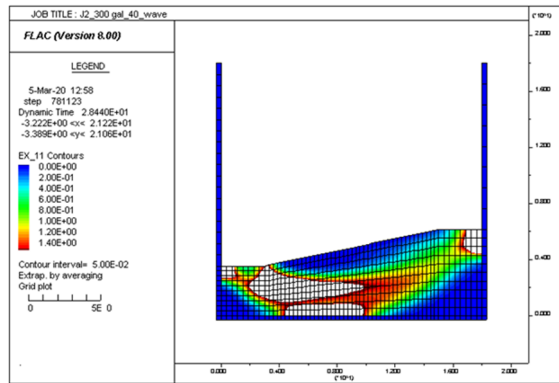


間隙水圧

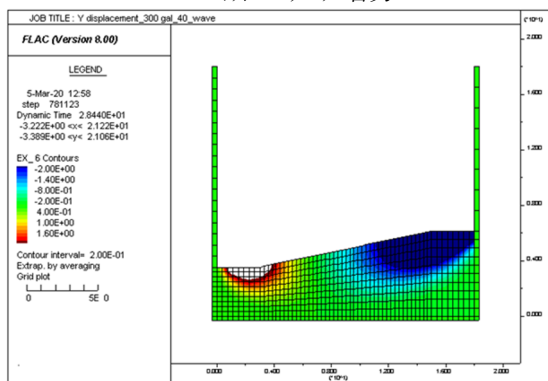
図 2-118 加速度と間隙水圧の時刻歴 (300gal 40 波)



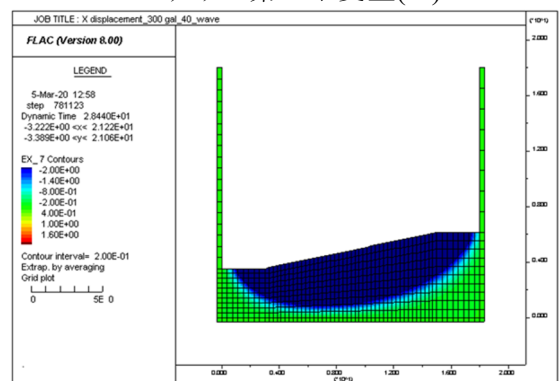
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

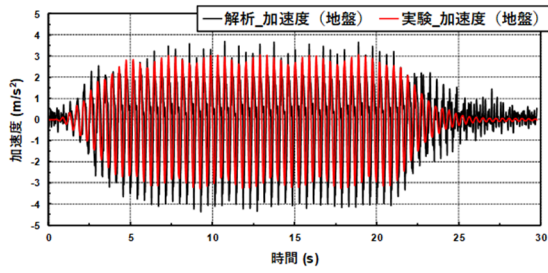


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

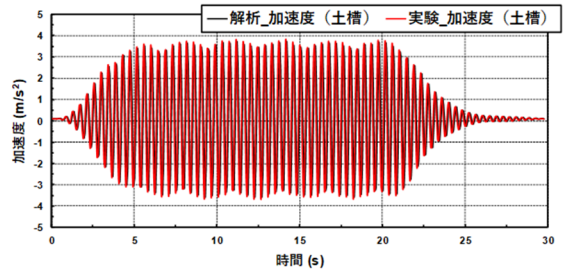


水平方向の相対変位 (単位 m)

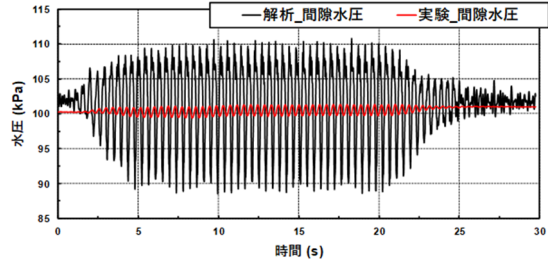
図 2-119 解析結果 (300gal 40 波)



加速度 (地盤)

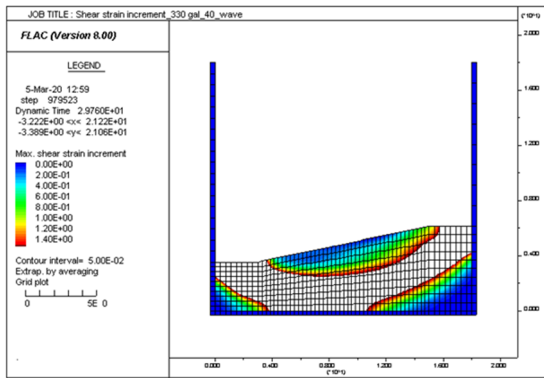


加速度 (土槽)

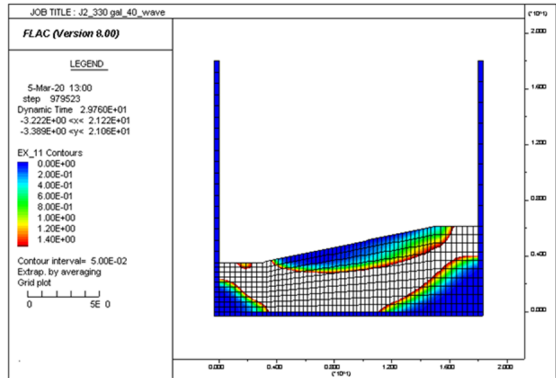


間隙水圧

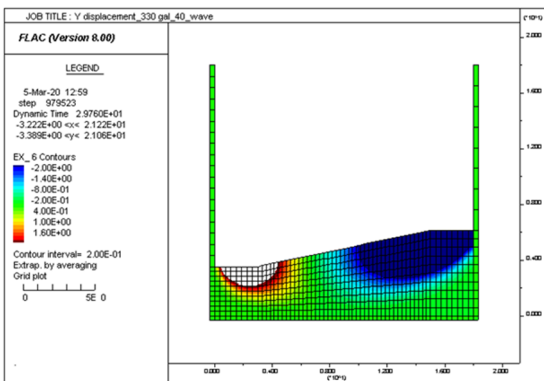
図 2-120 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 40 波)



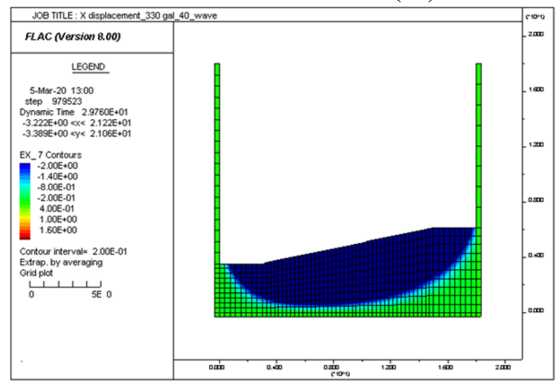
せん断ひずみ増分



ひずみの第 2 不変量(J2)

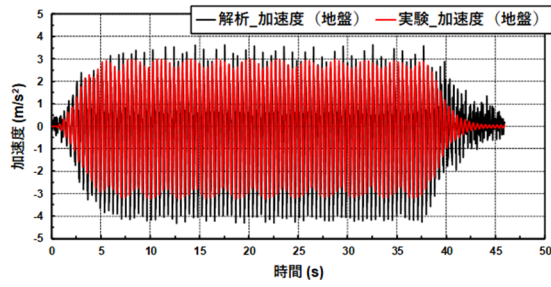


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

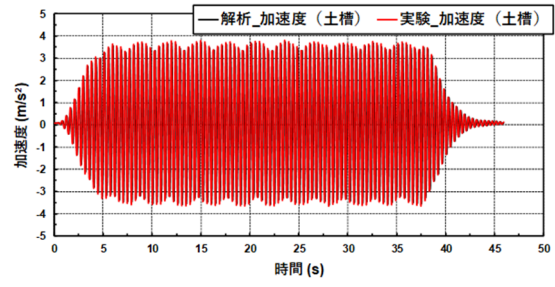


水平方向の相対変位 (単位 m)

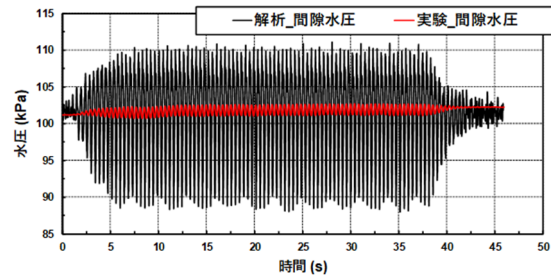
図 2-121 解析結果 (330gal 40 波)



加速度 (地盤)

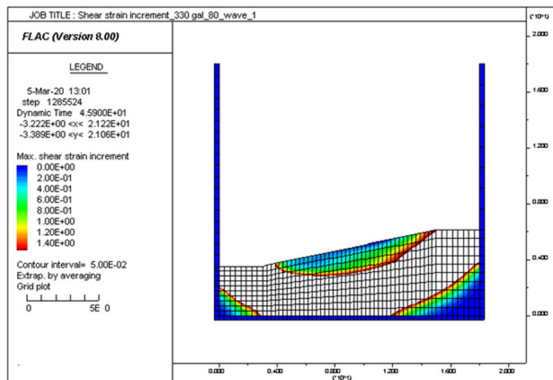


加速度 (土槽)

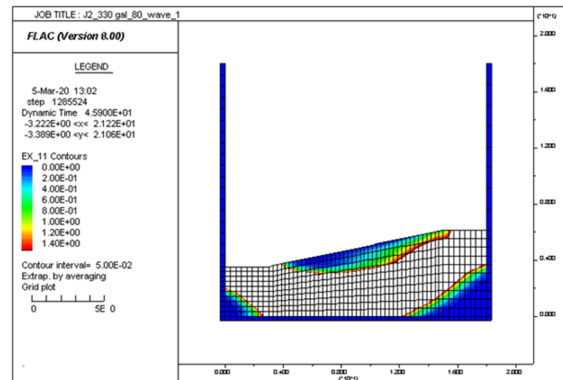


間隙水圧

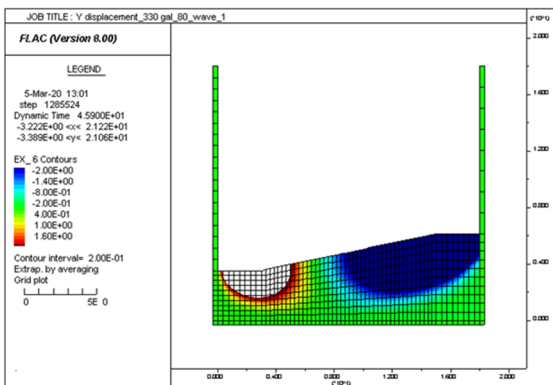
図 2-122 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_1)



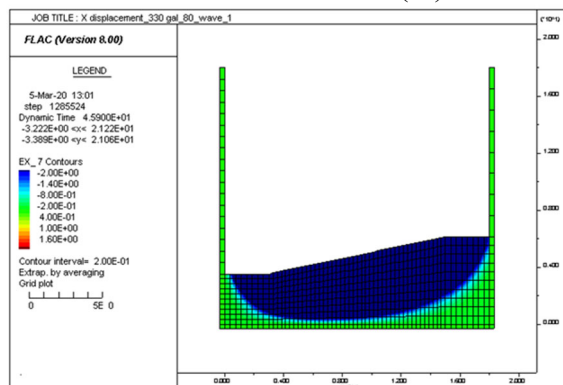
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

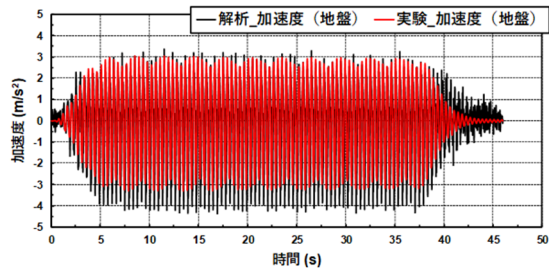


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

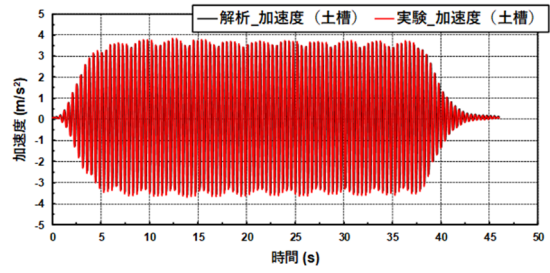


水平方向の相対変位 (単位 m)

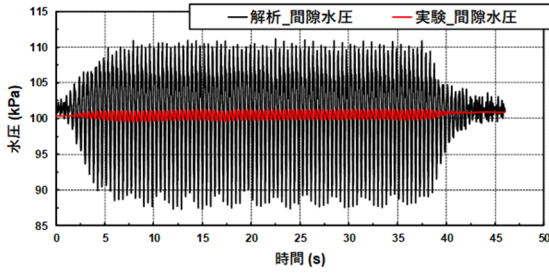
図 2-123 解析結果 (330gal 80 波_1)



加速度 (地盤)

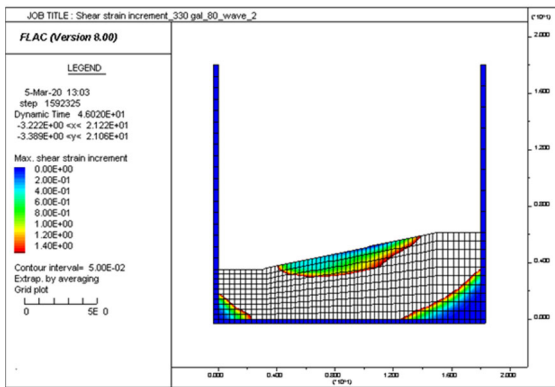


加速度 (土槽)

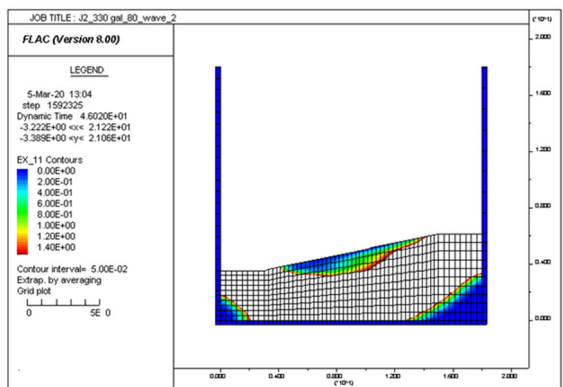


間隙水圧

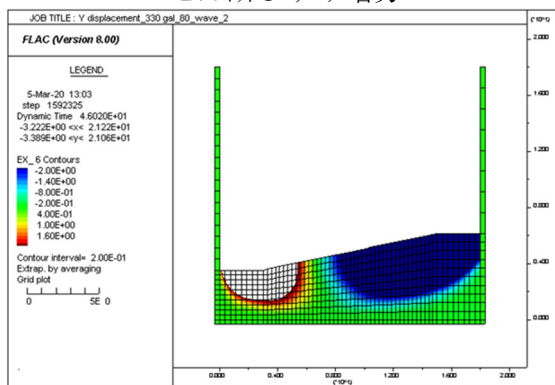
図 2-124 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_2)



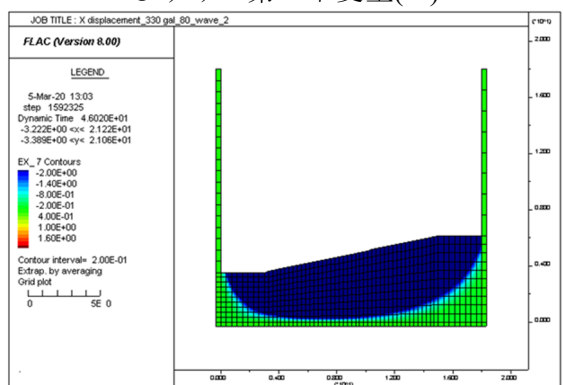
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

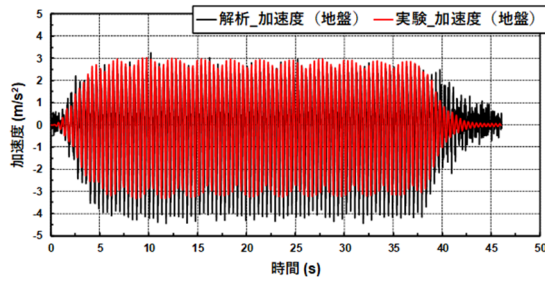


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

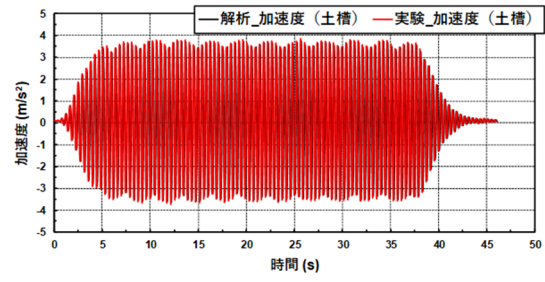


水平方向の相対変位 (単位 m)

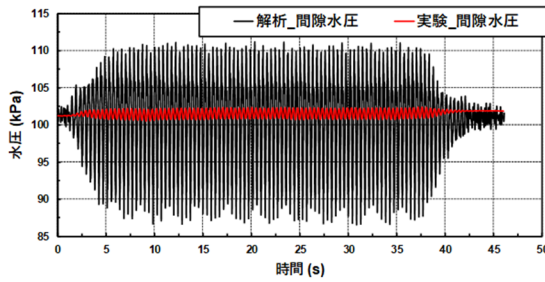
図 2-125 解析結果 (330gal 80 波_2)



加速度 (地盤)

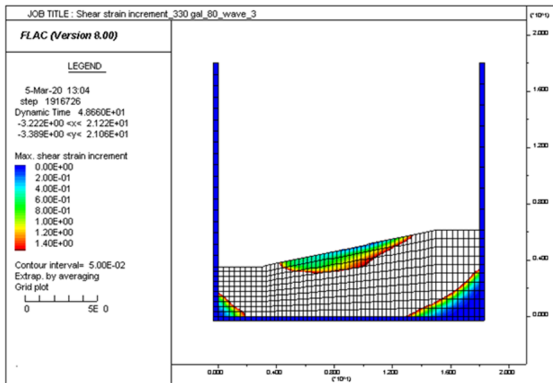


加速度 (土槽)

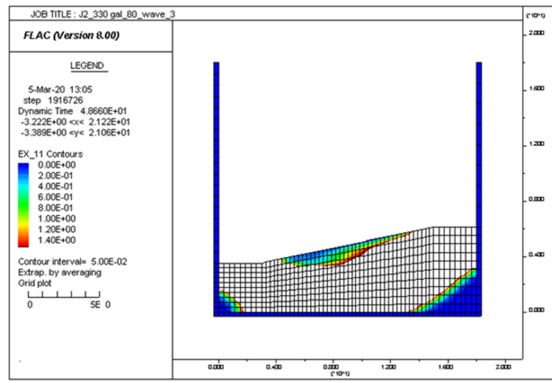


間隙水圧

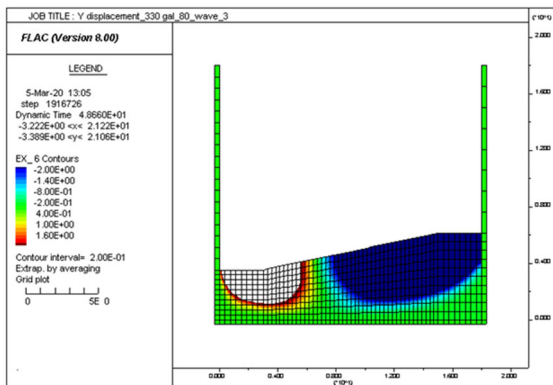
図 2-126 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_3)



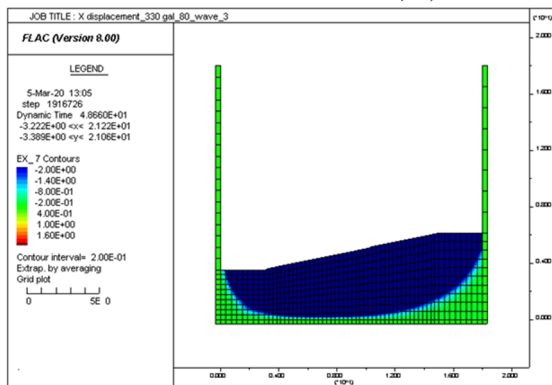
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

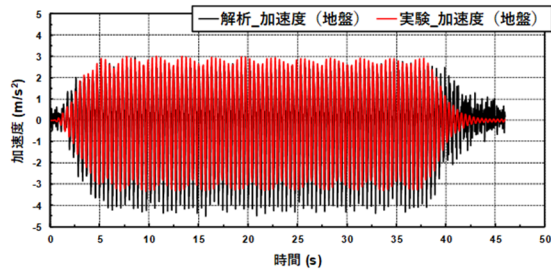


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

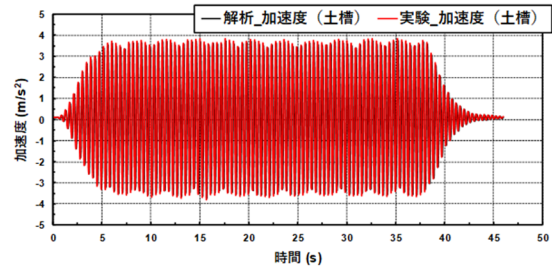


水平方向の相対変位 (単位 m)

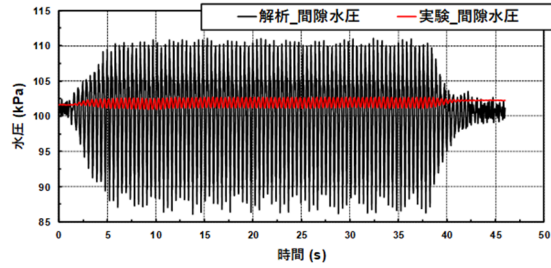
図 2-127 解析結果 (330gal 80 波_3)



加速度 (地盤)

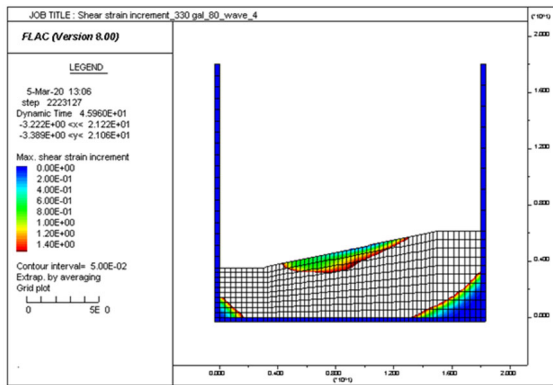


加速度 (土槽)

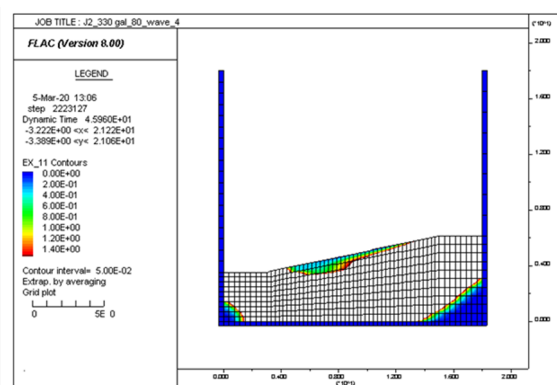


間隙水圧

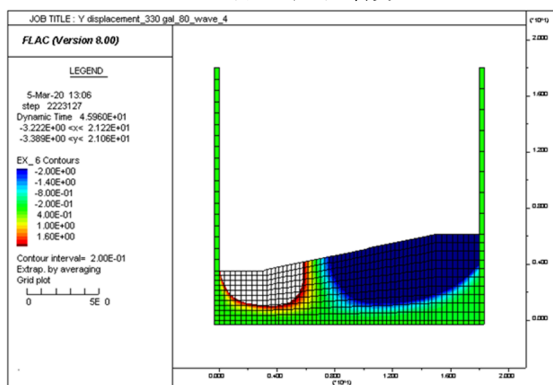
図 2-128 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_4)



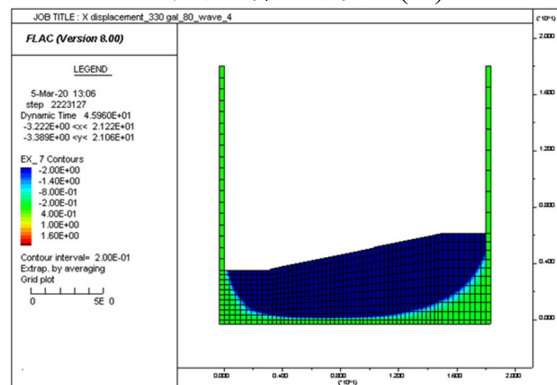
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)

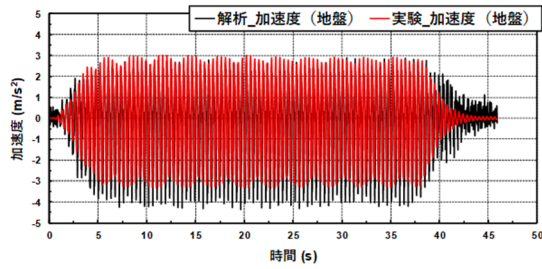


鉛直方向の相対変位 (単位 m)

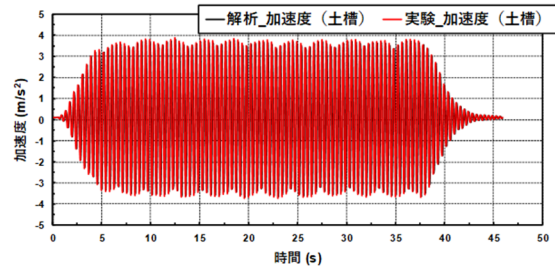


水平方向の相対変位 (単位 m)

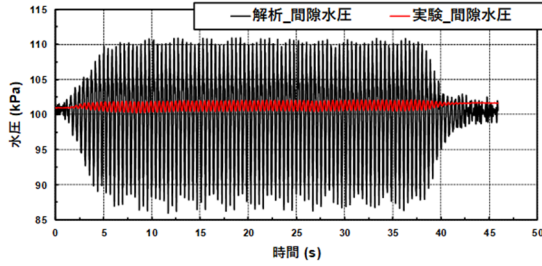
図 2-129 解析結果 (330gal 80 波_4)



加速度 (地盤)

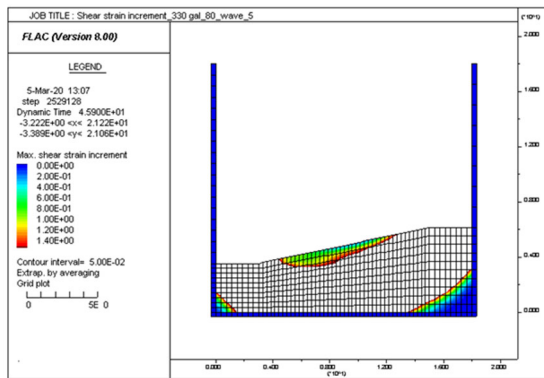


加速度 (土槽)

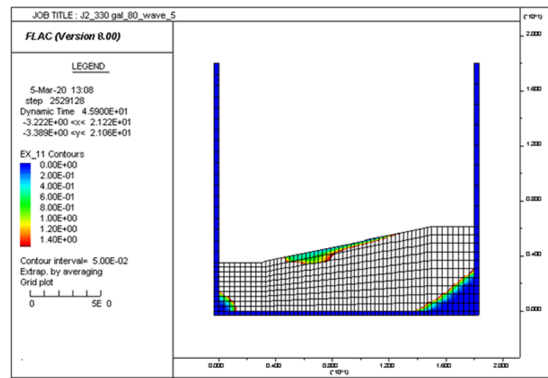


間隙水圧

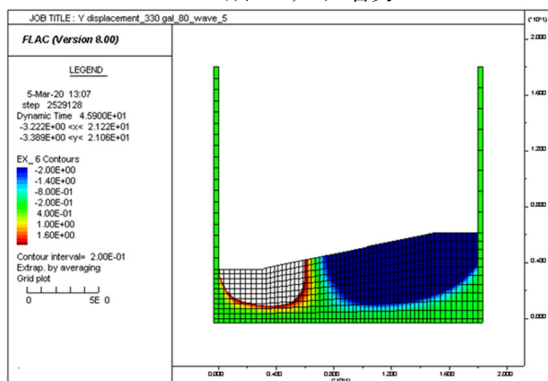
図 2-130 加速度と間隙水圧の時刻歴 (330gal 80 波_5)



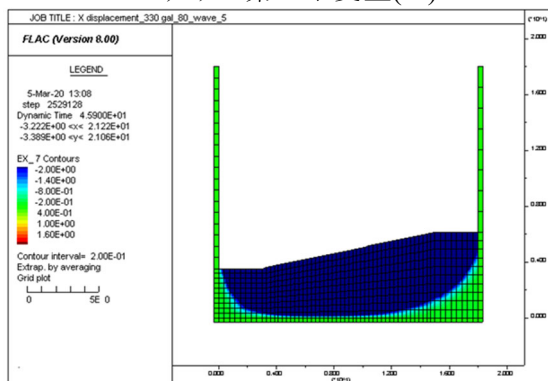
せん断ひずみ増分



ひずみの第2不変量(J2)



鉛直方向の相対変位 (単位 m)



水平方向の相対変位 (単位 m)

図 2-131 解析結果 (330gal 80 波_5)